

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Título del trabajo

PROYECTO DE TITULACIÓN

**“MIGRACIÓN DEL CONTROL ANALÓGICO - MANUAL A UN
CONTROL DIGITAL – SEMIAUTOMÁTICO PARA LA
ELABORACIÓN DE BOTANAS A BASE DE MAÍZ POR
PROCESO DE EXTRUSIÓN”**

Previo la obtención del Título de:

Magíster en Automatización y Control Industrial

Presentado por: *Marco Antonio Rodríguez Sotero*

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

1. DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios por haberme dado el aliento, la salud y tenacidad necesaria para emprender y culminar esta aventura académica.

2. AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al amigo del espejo, por su paciencia cuando estaba estresado, por su dedicación cuando estaba cansado, por tu sentido del humor cuando estaba aburrido, por tu capacidad de mantener la calma cuando todo parecía derrumbarse, por sus desvelos cuando ya no quería hacer nada, por priorizar el deber antes que el placer, pero, sobre todo: gracias por no rendirte cuando tenías todo en contra y todo esto solo era un sueño (¡si se pudo!)

A la ESPOL por haber aceptado dentro de sus filas a este soldado raso cuando tocó la puerta del cuartel de las fuerzas especiales ecuatorianas.

A todos mis profesores por su enorme paciencia, sus conocimientos y experiencias al contribuir a desarrollarme una visión más amplia y gratificante de mi carrera profesional.

Al Dr. Douglas Plaza y a personal administrativo de la ESPOL por haber creído en mí y la paciencia al guiarme durante todo mi proceso de ingreso (sin su ayuda esto no hubiese sido posible)

A mi familia por su paciencia, apoyo y comprensión ante mi inquietud por retomar los estudios.

A mis pocos amigos por sus palabras de aliento y afecto que, aun conociendo lo imperfecto de mi persona, siguen apreciando mi compañía.

A las vicisitudes y desafíos que en su momento me parecían insorteables, ya que sin darme cuenta me permitieron el escenario perfecto para forjarme y conocer de qué estaba hecho.

3. DECLARACIÓN EXPRESA

Yo Marco Antonio Rodríguez Sotero acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, Octubre del 2025.

Marco Antonio Rodríguez Sotero

EVALUADORES

Richard Sánchez Rosado
PROFESOR TUTOR

Salazar López Carlos Alberto
PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la migración del sistema de control analógico–manual a un sistema de control digital–semiautomático para la elaboración de botanas fritas a base de maíz mediante proceso de extrusión. Esta modernización responde a la necesidad de atender diversas problemáticas detectadas durante el diagnóstico inicial del proceso productivo. Entre las más relevantes se identificaron la variabilidad en las cantidades de los ingredientes, los altos tiempos de paro ocasionados por fallas eléctricas, la baja repetitividad en los ciclos operativos y la elevada cantidad de producto rechazado por no cumplir con las especificaciones de calidad establecidas por la empresa. Estas condiciones, además de aumentar los costos de operación, afectaban de manera directa la estandarización del producto final.

Para enfrentar estas deficiencias, se diseñó e implementó un sistema de control digital conformado por un PLC, una interfaz HMI y variadores de frecuencia, acompañado de la creación de un tablero eléctrico nuevo y un diagrama actualizado. Este diseño permitió integrar de manera eficiente sensores, dispositivos de medición, motores y actuadores, cumpliendo con los lineamientos establecidos en normas internacionales como IEC 61131-3 para la programación del controlador y ISA 101 para el diseño de interfaces hombre–máquina. Asimismo, se llevó a cabo la calibración de los flujómetros de agua y aceite, así como del módulo de pesaje de harina, con apoyo del departamento de metrología, asegurando una medición confiable de variables críticas para la consistencia del proceso.

La estrategia de programación buscó replicar fielmente la secuencia del sistema analógico previo, pero con mejoras sustanciales en confiabilidad, precisión y supervisión. La implementación involucró la reubicación del equipo en una nueva nave industrial, ajustes mecánicos y eléctricos, pruebas en condiciones reales y la capacitación del personal de producción, mantenimiento y calidad. A través de esta etapa se realizaron ajustes necesarios para validar los tiempos del proceso, asegurar la correcta interacción entre dispositivos y garantizar que el sistema digital mantuviera la calidad del producto desde el arranque de cada ciclo.

Los resultados obtenidos demostraron una mejora significativa en la operación de la planta. Entre los beneficios más importantes se registró una reducción superior al 95% en los tiempos de paro, pasando de interrupciones prolongadas de hasta dos horas a tiempos mínimos que permitieron una continuidad operativa más eficiente. Asimismo, el producto rechazado disminuyó hasta en un 85.7% semanal gracias a la estabilidad del proceso y al control preciso de los ingredientes. El sistema también permitió mejorar la trazabilidad, facilitar el diagnóstico de fallas mediante alarmas y generar un entorno de operación más seguro y estandarizado.

En conclusión, la migración al sistema digital–semiautomático representó un avance significativo en términos de eficiencia, calidad y confiabilidad del proceso de elaboración de botanas fritas. El proyecto no solo resolvió las limitaciones principales del sistema anterior, sino que también estableció una base sólida para la futura expansión del nivel de automatización, permitiendo que la empresa continúe avanzando hacia tecnologías más robustas, modernas y competitivas dentro del sector alimentario.

ABSTRACT

This project presents the migration from an analog–manual control system to a digital–semi-automatic control system for the production of corn-based fried snacks through an extrusion process. The modernization initiative arose from several issues identified in the original production system, including variations in ingredient dosing, long downtime caused by electrical failures, low repeatability in operating cycles, and a high volume of product rejected for not meeting established quality specifications. These problems not only increased production costs but also compromised the consistency and standardization required in the final product.

To address these deficiencies, a new digital control architecture was designed and implemented using a PLC, an HMI, and variable-frequency drives, supported by a redesigned electrical panel and updated wiring diagrams. The system incorporated sensors, actuators, and calibrated measuring devices such as water and oil flowmeters and a flour weighing module. Programming was carried out according to international standards, including IEC 61131-3 for PLC programming and ISA 101 for HMI design, ensuring a structured, reliable, and user-friendly control platform. The digital system replicated the operation of the previous analog control while adding precision, stability, and enhanced monitoring capabilities.

The implementation process involved equipment relocation, integration of mechanical and electrical updates, real-world operational testing, and training of production, maintenance, and quality personnel. Through iterative adjustments, the system successfully matched and stabilized the timing and sequences previously achieved under manual control. Alarm-based diagnostics and real-time visualization improved fault detection, operational safety, and process traceability.

The results revealed significant improvements in production performance. Downtime was reduced by more than 95%, decreasing from interruptions of up to two hours to only a few minutes. Product rejection decreased by up to 85.7% per week due to improved process stability and more accurate ingredient dosing. Additionally, the digital

system increased overall operational efficiency, optimized resource utilization, and provided a scalable automation foundation aligned with the ISA-95 automation pyramid for potential future expansions.

In conclusion, transitioning to a digital–semi-automatic control system substantially enhanced the reliability, efficiency, and quality of the corn snack production process. The project not only resolved critical limitations of the analog system but also positioned the company to adopt more advanced and competitive automation technologies in the food manufacturing sector.

ÍNDICE GENERAL

1. DEDICATORIA.....	2
2. AGRADECIMIENTOS	3
3. DECLARACIÓN EXPRESA.....	4
EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS	IX
SIMBOLOGÍA	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
CAPÍTULO 1.....	20
1. Introducción.....	20
1.1 Descripción del problema	21
1.2 Justificación del problema.....	21
1.3 Objetivos.....	22
1.3.1 Objetivo General	22
1.3.2 Objetivos Específicos	22
1.4 Marco teórico	24
1.4.1 Generalidades del maíz	24
1.4.2 Productos a base de maíz	25
1.4.3 Botanas.....	26
1.4.4 Propiedades fisicoquímicas de los productos fritos	27
1.4.5 Contenido de grasa	29

1.4.6 Nivel de grasa.....	29
1.4.7 Análisis de dureza	30
1.4.8 Análisis sensorial	31
1.5 Proceso.....	32
1.6 Maquinaria	34
1.7 Revisión tecnológica e ingenieril : Pirámide de Automatización Industrial hardware, comunicaciones, normas.	40
1.7.1 Pirámide de Automatización Industrial.....	40
1.7.2 Hardware	42
1.7.2.1) PLC (Controlador Lógico Programable).....	42
1.7.2.1.1) Historia y evolución.....	42
1.7.2.1.2) Principio de funcionamiento.....	42
1.7.2.1.3) Criterios de selección	44
a) Criterios cuantitativos	44
b) Criterios Cualitativos.....	45
1.7.2.1.4) Marcas y familias relevantes	48
1.7.2.2) HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	49
1.7.2.2.1) El funcionamiento de una HMI.....	50
1.7.2.2.2) Tipos de HMI	50
1.7.2.2.3) Ventajas de los sistemas HMI en la industria	51
1.7.2.2.4) Softwares Comerciales de Programación HMI	52
1.7.2.2.5) Protocolos de Comunicación Compatibles	53
1.7.2.3) VFD (Variador de Frecuencia).....	55
1.7.2.3.1) Funcionamiento un Variador de Frecuencia	55
1.7.2.3.2) Tipos de control	56
a) Control escalar “V/Hz” (Voltio-Frecuencia)	56

b) Control vectorial sin sensores (Sensorless Vector Control - SVC)	57
c) Control de par directo (Direct Torque Control – DTC)	58
1.7.2.3.3) Integración con PLC ↔ VFD	59
a) Métodos de conexión	59
1.7.3) Comunicaciones	62
a) El Modelo OSI	62
OSI frente a TCP/IP	65
1.7.3.1) Protocolos industriales.....	67
1.7.3.2) Criterios de selección	68
1.7.3.3) Topología de red	69
1.8) Revisión de control :estrategias, sintonía, desempeño.....	77
1.8.1) Estrategias de control	77
1.8.2) Sintonía de control / Tuning Methods	80
1.8.3) Desempeño del control.....	83
CAPÍTULO 2.....	86
2.1 Metodología	86
2.2 Levantamiento de Entradas y Salidas	89
2.3 Selección del PLC	92
2.4 Selección del HMI.....	95
2.5 Selección del Variador de Frecuencia (VDF).....	98
2.6 Selección de la topología de comunicación	101
2.7 Selección del software de programación.	103
2.8 Diagrama eléctrico.....	108
2.9 Comunicación EtherNet/IP entre dispositivos de control	112
CAPÍTULO 3.....	113
3.1 Resultados Y Análisis	113

3.2 Comunicación EtherNet/IP entre los dispositivos de control: PLC, HMI y VDF al Switch 115	
3.3 Configuración y carga de la programación del PLC, HMI y VDF	117
3.4 Programa del PLC	118
3.5 Programa del HMI.....	120
3.6 Reubicación de la máquina.....	123
3.7 Calibración de los dispositivos de medición.....	125
3.8 Pruebas y calibración del equipo.	126
CAPÍTULO 4.....	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
4.1 Conclusiones	134
4.2 Recomendaciones	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137
APÉNDICES	142
Anexos.....	150

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de Varianza: técnica estadística para comparar medias entre grupos
CCW	Connected Components Workbench: software para programación de controladores
CE	Conformidad Europea: marcado obligatorio para productos en el Espacio Económico Europeo
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FBD	Diagrama de bloques de funciones: referencia al uso de bloques de funciones secuenciales
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IEC 60204-1	Estándar de seguridad de máquinas: requisitos generales para equipos eléctricos de máquinas industriales
IEC 61131-3	Estándar PLC: define cinco lenguajes de programación para PLC
IEC 62443	Estándar de ciberseguridad: marco global para ciberseguridad en automatización industrial
IEC62061(SIL)	Estándar de confiabilidad de seguridad: cuantifica confiabilidad de sistemas de seguridad
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado / Integrated Development Environment
IEC	International Electrotechnical Commission / Comisión Electrotécnica Internacional
IL o STL	Lista de instrucciones: lenguaje de programación tipo ensamblador
IP65	Clasificación de protección: protección frente a polvo y agua
ISA	International Society of Automation / Sociedad Internacional de Automatización
ISA101	Norma para HMI: mejores prácticas para diseño, implementación y mantenimiento

ISO	International Organization for Standardization / Organización Internacional de Normalización
ISO 13849 (PL)	Estándar de seguridad: evalúa confiabilidad y arquitectura de sistemas de control de seguridad en maquinaria
ISPE	Pharmaceutical Engineering: Sociedad Internacional de Ingeniería Farmacéutica
IT	Information Technology / Tecnología de la Información
IAE	Integral of Absolute Error: integral del error absoluto
ISE	Integral of Squared Error: integral del error al cuadrado
ITAE	Integral of Time-weighted Absolute Error: integral del error absoluto ponderado por el tiempo
KPI	Key Performance Indicator: indicador clave de desempeño
MTTR	Mean Time To Repair / Restore: tiempo medio de reparación o restauración
NOM-187-SSA1/ SCFI-2002	NOM = Norma Oficial Mexicana, es una norma mexicana que se enfoca en regular los productos derivados del maíz como masa, tortillas, tostadas, y harinas preparadas para su elaboración, así como los establecimientos donde éstos se procesan.
OT	Operational Technology / Tecnología Operacional
PLe	Performance Level: nivel de prestación de seguridad
Profeco	Procuraduría Federal del Consumidor
PROFINET	Process Field Network: estándar industrial de comunicación Ethernet
ROI	Return on Investment / Retorno de la inversión
SFC	Diagrama de funciones secuenciales: uso de bloques de funciones para programación
SIL	Safety Integrity Level: nivel de integridad de seguridad
ST	Texto estructurado: lenguaje de programación de alto nivel

Secure Shell
(SSH)

Un protocolo de red que proporciona una forma segura de acceder y administrar computadoras de forma remota a través de una red no segura como Internet.

SIMBOLOGÍA

%G	Porcentaje de grasa en un producto
%H	Porcentaje de Humedad en un producto
°C	Grados Centígrados: unidad de temperatura
ARP	Address Resolution Protocol / Protocolo de Resolución de Direcciones
D	Dureza: medida de dureza de un material
DA	Densidad aparente del producto: medida de densidad
Derating	Reducción de potencia: operar equipos por debajo de su máxima capacidad nominal
DNS	Domain Name System / Sistema de Nombres de Dominio
EMC	Compatibilidad electromagnética
EMI	Electromagnetic Interference / Interferencia electromagnética
Ethernet	Tecnología de red: conexión de dispositivos en una LAN
FTP	File Transfer Protocol / Protocolo de Transferencia de Archivos
HMI	Human-Machine Interface / Interfaz Hombre-Máquina
HTTP	HyperText Transfer Protocol / Protocolo de Transferencia de Hipertexto
ICMP	Internet Control Message Protocol / Protocolo de Mensajes de Control de Internet
IP	Internet Protocol / Protocolo de Internet

Kg	Kilogramo: unidad de masa
LAN	Red de área local
mA	Miliamperio: unidad de corriente eléctrica
mV	Milivoltio: unidad de voltaje
MSE	Mean Squared Error / Error cuadrático medio
N	Newtons: unidad de fuerza
PLC	Controlador Lógico Programable
POP3	Post Office Protocol v3 / Protocolo de Oficina de Correo versión 3
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol / Protocolo Simple de Transferencia de Correo
STO	Safe Torque-Off / Desconexión segura del par
SSH	Secure Shell / Carcasa segura
Switch	Conmutador de red
TCP	Transmission Control Protocol / Protocolo de Control de Transmisión
UDP	User Datagram Protocol / Protocolo de Datagrama de Usuario
UL	Underwriters Laboratories / Certificación de seguridad
VDF	Variador de Frecuencia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo mundial de maíz de 2019 – 2020 (Žilić, 2022, como se citó en Ramírez, 2024, p. 3).	24
Figura 2. Productos elaborados con maíz (García-Lara & SernaSaldivar, 2018, como se citó en Ramírez, 2024, p. 8).....	25
Figura 3. Botanas más consumidas en México (PROFECO, 2018).....	26
Figura 4. Grafica de superficie de respuesta estimada para la modalidad de la botana hecha a base de harinas de maíz, chícharo y salvado de avena (Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020).	28
Figura 5. Apariencia de la botana elaborada a 165 °C y 198 s con harinas de maíz, chícharo y salvado de avena (Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020).	31
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de botanas fritas por extruido con las etapas/estaciones en las cuales se intervino (Color amarillo).	32
Figura 7. Saibainuo: Fabricante chino de maquinaria para la elaboración de botana frita por extruido. (made-in-china, 2025)	34
Figura 8. Heat and Control: Fabricante americano de Maquinaria para la elaboración de botana frita por extruido. (Heat and Control, 2025).....	37
Figura 9. Pirámide de automatización según el modelo ISA 95.....	41
Figura 10. Teoría del SCAN (Barrido del programa) (UNAM, 2025).....	42
Figura 11. Funcionamiento de un PLC (UNAM, 2025).....	43
Figura 12. Gráfica radar con 3 opciones a evaluar	46
Figura 13. Gráfica radar que muestra los Criterios de selección PLC (UNAM, 2025).....	47
Figura 14. Distintas Marcas Comerciales de PLC (UNAM, 2025).....	48
Figura 15. Ejemplo de Diagrama de un HMI (Cursos Aula 21, 2025).	49
Figura 16. Beneficios de un HMI en la industria (autex-open, 2024)	51
Figura 17. HMI Siemens programada en el software TIA Portal (Tecno PLC, 2025).	52
Figura 18. Distintos Protocolos de Comunicación Industrial (infoplc, 2025)	54
Figura 19. Diagrama básico de un variador de frecuencia (Cursos Aula 21, 2025) ...	55
Figura 20. Control de Ventilador (Diaz, 2024).....	56
Figura 21. Control de CNC (Diaz, 2024).....	57

Figura 22. Control Banda Transportadora para material de construcción (Diaz, 2024)	58
Figura 23. Diagrama de bloques del cableado de Entrada analógica en el VDF PowerFlex 525 (Rockwell Automation, 2025)	59
Figura 24. Diagrama de bloques del cableado de Entrada digital en el VDF PowerFlex 525 (Rockwell Automation, 2025)	60
Figura 25. Control de VDF mediante comunicación PROFINET (infopl, 2024)	61
Figura 26. Modelo OSI (Instrumentacion y control, 2025)	64
Figura 27. Diferencias entre modelo TCP IP y OSI (CCNA, 2025)	66
Figura 28. Topologías de red (IBM, 2024)	70
Figura 29. Representación de señales en los medios físicos (Todo de Redes, 2025).	71
Figura 30. Ubicación anterior del equipo antes de ser reubicado.	86
Figura 31. Control Analógico-Manual.	87
Figura 32. VDF de los rodillos extrusores controlado mediante entradas y salidas cableadas	88
Figura 33. PLC Micro 850 2080-LC50-48QWB Seleccionado (Rockwell Automation, 2025)	94
Figura 34. HMI 2711R-T7T (Rockwell Automation, 2025)	97
Figura 35. Familia de VDF PowerFlex 525 Estructura D (Rockwell Automation, 2025).	100
Figura 36. Topología Ethernet/IP en Estrella con PLC, HMI Y VDF (Rockwell Automation, 2025)	102
Figura 37. Connected Components Workbench (CCW) (Rockwell Automation, 2025).	103
Figura 38. CCW permite programar varias familias de varios componentes de automatización (Rockwell Automation, 2025).	104
Figura 39. Controladores Micro 800 (Rockwell Automation, 2025)	105
Figura 40. Controladores Micro 870 (Rockwell Automation, 2025)	105
Figura 41. Terminales gráficos PanelView 800 (Rockwell Automation, 2025)	105
Figura 42. Variadores PowerFlex (Rockwell Automation, 2025)	106
Figura 43. Arrancadores suaves SMC (Rockwell Automation, 2025)	106

Figura 44. Servo Drives Kinetix (Rockwell Automation, 2025).....	106
Figura 45. Relé electrónico de sobrecarga E200 (Rockwell Automation, 2025)	107
Figura 46. Relé electrónico de sobrecarga E300 (Rockwell Automation, 2025).	107
Figura 47. Relés de seguridad programables 440C-CR30 (Rockwell Automation, 2025).....	107
Figura 48. Diagrama eléctrico del VDF de los tornillos extrusores para el traslado de masa.....	108
Figura 49. Diagrama eléctrico de las entradas identificadas en el levantamiento eléctrico y usadas en la programación del PLC.....	109
Figura 50. Diagrama eléctrico de las salidas identificadas en el levantamiento eléctrico y usadas en la programación del PLC.	110
Figura 51. Diagrama eléctrico de la comunicación entre los dispositivos de control: PLC, HMI y VDF.	111
Figura 52. Diagrama de flujo de la comunicación entre los dispositivos de control: HMI, PLC y VDF.....	112
Figura 53. Desarrollo inicial del nuevo tablero de control.	113
Figura 54. Desarrollo intermedio del nuevo tablero de control.....	114
Figura 55. Desarrollo final del nuevo tablero de control.....	114
Figura 56. Conexiones EtherNet/IP centralizadas en el switch y a la derecha el PLC Micro 850.	115
Figura 57. Conexiones EtherNet/IP centralizadas en el switch y a la derecha el VDF PowerFlex 525.....	116
Figura 58. Comunicaciones entre los dispositivos de control con el software CCW.	117
Figura 59. Los 5 lenguajes estandarizados de la normativa IEC 61131-3 (Incibe, 2023).	118
Figura 60. Fragmento del Programa de PLC en lenguaje Escalera.....	119
Figura 61. Pantalla principal basada en el estándar ISA101.	122
Figura 62. Pantalla secundaria basada en el estándar ISA101.	122
Figura 63. Reubicación de la máquina en las nuevas instalaciones del fabricante de botana.....	123
Figura 64. Ubicación del nuevo tablero de control.....	124

Figura 65. Sistema de pesaje de Harina, flujómetros de agua y aceite con la etiqueta de aprobación por parte del departamento de metrología.	125
Figura 66. La máquina en pruebas bajo condiciones reales y en capacitación del personal de planta.	126
Figura 67. Etapas/Estaciones del proceso con los tiempos del control analógico - manual vs los logrados con el control digital-semiautomático.	127
Figura 68. Tiempos para producir un lote vs número. de lotes durante un turno de 8 hrs vs número. de lotes de un día de 3 turnos vs el número. de lotes durante 7 días de la semana.	128
Figura 69. Tiempo de paro por turno de 8 hrs vs Tiempo de paro por un día de 3 turnos vs Tiempo de paro durante 7 días de la semana.	130
Figura 70. Kg de producto rechazado por turno de 8 hrs vs Kg de producto rechazado por un día de 3 turnos vs Kg de producto rechazado durante 7 días de la semana.	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Análisis de varianza ANOVA para % de Humedad(Almeida & Rooney, 1996, como se citó en Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020, p. 7).....	27
Tabla 2 Efectos de la grasa en el producto (Pitchon, 1980 como se citó en González, 2021, p. 29)).	29
Tabla 3 Propiedades fisicoquímicas de los productos fritos a (Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020).	30
Tabla 4 Propiedades fisicoquímicas para el análisis sensorial (Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020).	31
Tabla 5. Etapas/ Estaciones del proceso de elaboración de botanas fritas por extruido.	33
Tabla 6. Características de la Maquinaria ofrecida por Saibainou (made-in-china, 2025)	35
Tabla 7. Características de la Maquinaria ofrecida por Heat and Control. (Heat and Control, 2025)	38
Tabla 8. Niveles de la Pirámide de Automatización Industrial (Cybus, 2025)	40
Tabla 9. Capas del Modelo OSI (IBM, 2025)	62
Tabla 10. OSI frente a TCP/IP (IBM, 2025)	65
Tabla 11. Tabla comparativa de protocolos (Cursos Aula 21, 2025)	67
Tabla 12. Criterios de selección de un protocolo industrial (Mitsubishi Electric, 2025).	68
Tabla 13. Tipos y Características de las Topología de red (IBM, 2024)	69
Tabla 14. Características Medios de Transmisión (Universidad de Valencia, 2025) .	71
Tabla 15. Normas más relevantes en los sistemas de automatización.....	75
Tabla 16. Comparativa de arquitecturas de control. (Seborg, 2016).....	77
Tabla 17. Métodos de sintonía PID (Tuning Methods). (Seborg, 2016).....	80
Tabla 18. Métodos de evaluación del desempeño en lazo de control (Technological University Dublin , 2004).	84
Tabla 19. Señales eléctricas de Entradas Identificadas.....	89
Tabla 20 Señales de Salidas Identificadas.	91
Tabla 21. Tabla comparativa de modelos de PLC.	92

Tabla 22. Tabla comparativa de modelos de HMI.....	95
Tabla 23.Tabla comparativa de modelos de VDF	98
Tabla 25 Direcciones IP de los dispositivos de control.	111

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En México, las botanas son productos muy consumidos, en muchas ocasiones durante el día, para cubrir diferentes necesidades dependiendo del consumidor.

El sector alimenticio, al estar consciente de ello, siempre se encuentra en una continua búsqueda de procesos eficientes que le permitan lograr un producto de gran calidad estandarizada de una manera rentable.

Para ello se apoya en gran medida en la automatización para realizar cientos de procesos monótonos y críticos, buscando obtener el mayor aprovechamiento eficientemente sus recursos: incrementando las ganancias y reduciendo lo mayor posible las pérdidas.

La elaboración de botanas fritas a base de maíz por proceso de extrusión a nivel industrial representa múltiples desafíos para la automatización, al buscar obtener un producto de valor y que a su vez cumpla con los requerimientos específicos de los consumidores. Este proceso requiere de la comprensión y control de varios factores críticos, como lo son:

1. Contenido de humedad
2. Contenido de grasa
3. Nivel de grasa
4. Análisis de dureza
5. Análisis sensorial

En el sector alimenticio se pueden encontrar múltiples fabricantes de Maquinaria y pueden presentar excelentes opciones para nuestro productor de Botanas Fritas, sin embargo, por reducción de costos y tiempo se ha buscado la mejora de su proceso mediante la automatización de su equipo a un nivel más personalizado. El presente trabajo surge a partir de brindar soluciones mediante la automatización a este dilema e iremos desglosando el contexto con el que se idearon las soluciones brindadas.

1.1 Descripción del problema

La producción de alimentos a un nivel industrial siempre ha representado un gran desafío para el sector alimenticio, debido a los altos estándares de calidad e inocuidad con los cuales se rigen.

Acompañados de una alta demanda de sus productos por parte de los consumidores. Lo cual ha significado la búsqueda de procesos más confiables, eficientes y seguros que estandaricen la calidad, así como los tiempos y recursos de producción.

Se han identificado los siguientes puntos de mejora en el manejo de materias primas:

- 1.- Inconsistencia de calidad del producto e incumplimiento de las especificaciones de calidad al presentar un alto índice de variaciones en los ingredientes
- 2.- Elevados tiempos de paro ante una falla en el sistema de control durante el manejo de las materias primas.
- 3.- Poca confiabilidad y repetitividad en los tiempos requeridos para la producción de algún pedido de producción.
- 4.- Elevada cantidad de producto rechazado por no cumplir con las especificaciones de calidad.

1.2 Justificación del problema

El proyecto de automatización satisface la necesidad de reducir los tiempos de paros por fallas eléctricas, así como la reducción del desperdicio de la materia prima por producto que no cumple los estándares de calidad debido las constantes variaciones de las cantidades de los ingredientes y por consecuencia poder lograr una estandarización en la calidad, los tiempos de producción e insumos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Migrar el control analógico - manual a un control digital – semiautomático de los distintos sistemas que conforman la máquina del manejo de materias primas para la elaboración de botanas a base de maíz por proceso de extrusión, mediante la implementación de dispositivos modernos de control, para lograr una producción de alta calidad y con una mayor eficiencia de los recursos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un nuevo diagrama eléctrico, mediante software AutoCAD para desarrollar un nuevo tablero de control.
- Calibrar los dispositivos de medición: flujómetros de aceite y agua, así como del módulo de pesaje (báscula) de harina mediante el apoyo del departamento de metrología para la obtención de mediciones lo más exactas posibles.
- Conectar los elementos eléctricos que interactúan con el tablero de control, mediante la instalación de: sensores, botones, paros de emergencia, motores e instrumentos de medición para poder controlar el comportamiento de la máquina.
- Programar PLC, HMI y VDF replicando la secuencia de operación de los distintos sistemas analógicos que conforman el equipo así lograr los mismos tiempos de operación de la máquina.

- Probar el comportamiento del sistema de control digital – semiautomático mediante corridas de ciclos bajo condiciones reales, para ajustar y validar el proceso, así como para capacitar al personal de planta sobre el nuevo sistema de control
- Reducir la cantidad de producto rechazado mediante el control digital – semiautomático para eficientar los recursos empleados en la producción
- Reducir los tiempos de paro a través de la implementación del tablero de control y el diagrama eléctrico para estandarizar los tiempos de producción.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Generalidades del maíz

Dentro de los alimentos de origen vegetal más importantes a nivel global están los cereales, destacando el maíz. Entre los principales consumidores del maíz con millones de toneladas a nivel mundial, se encuentran Estados Unidos, seguido de China, la Unión Europea, Brasil y México (Žilić, 2022, como se citó en Ramírez, 2024, p. 3). (Figura 1).

En México, el consumo de maíz es de 44.5 millones de toneladas y es la principal fuente de energía para la población mundialmente (Žilić, 2022, como se citó en Ramírez, 2024, p. 3).

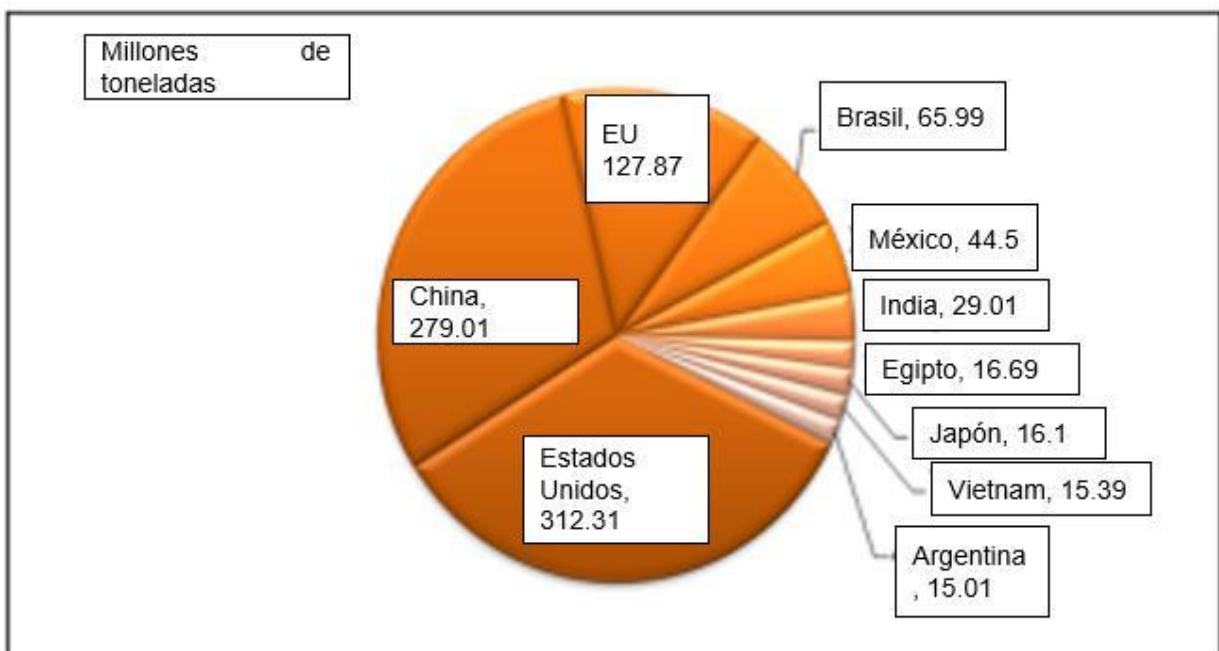


Figura 1. Consumo mundial de maíz de 2019 – 2020 (Žilić, 2022, como se citó en Ramírez, 2024, p. 3).

1.4.2 Productos a base de maíz

En México, el 60 % del maíz es utilizado como alimento y es consumido de diferentes maneras, ya sea entero o procesado. Con este cereal se elaboran diferentes productos de panadería, tortillas, harinas de maíz modificadas o harinas de maíz con características especiales, cereales para el desayuno y botanas. La molienda seca genera sémolas y harinas principalmente utilizadas para panificación y cereales para el desayuno. La molienda húmeda para la producción de almidones y jarabes de glucosa; mientras que el proceso de nixtamalización es empleado para la producción de tortillas, botanas de maíz y totopos. (Žilić, 2022, como se citó en Ramírez, 2024, p. 7)

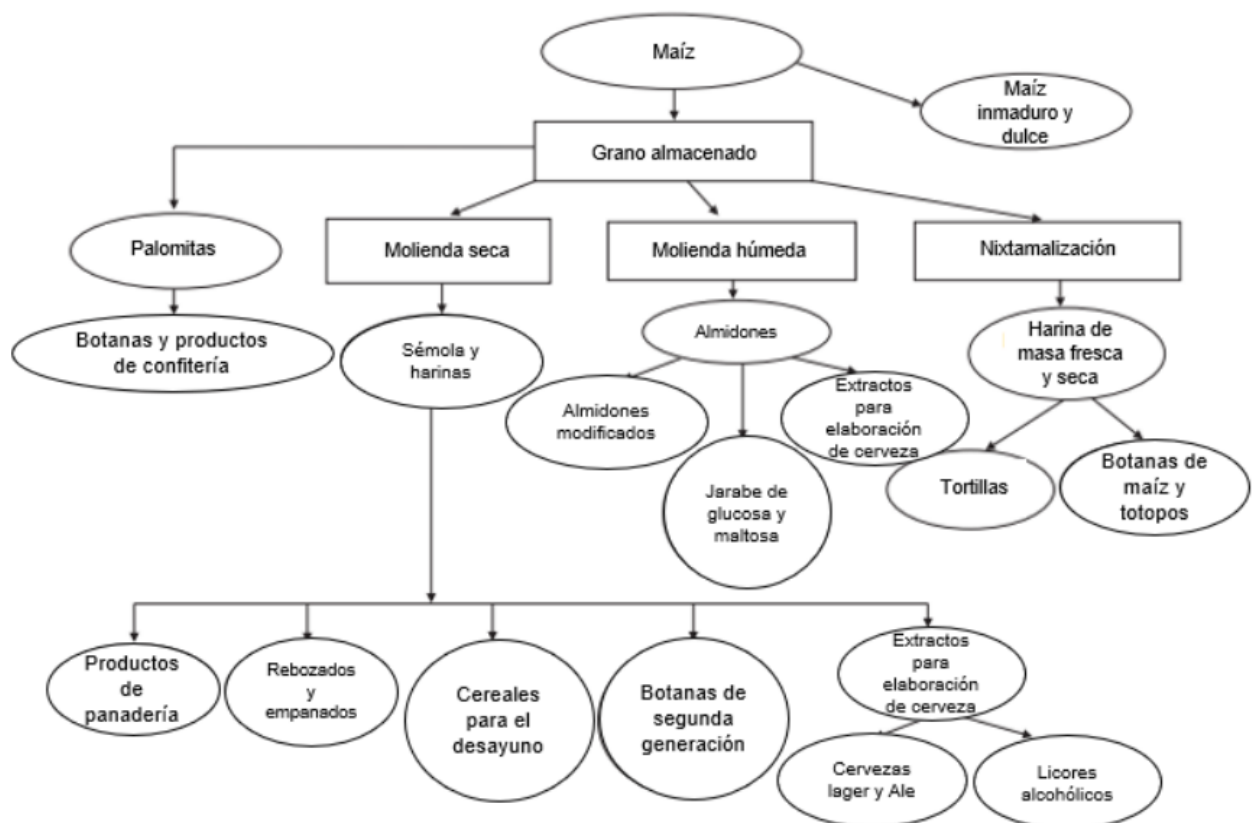


Figura 2. Productos elaborados con maíz (García-Lara & SernaSaldivar, 2018, como se citó en Ramírez, 2024, p. 8)

1.4.3 Botanas

Las botanas, de acuerdo con la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, se definen como “productos de pasta, de harinas, de cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como de granos, frutas, semillas o leguminosas con o sin cáscara o cutícula, tubérculos; productos nixtamalizados y piel de cerdo, que pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extruidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos”. Dentro de esta categoría se incluyen productos como barras de cereal, galletas, panes, productos extruidos, nueces, entre otras (Hess et al., 2016, como se citó en Ramírez, 2024, p. 9).

En la Figura 3 se pueden apreciar las botanas más consumidas en México según la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO, 2018)

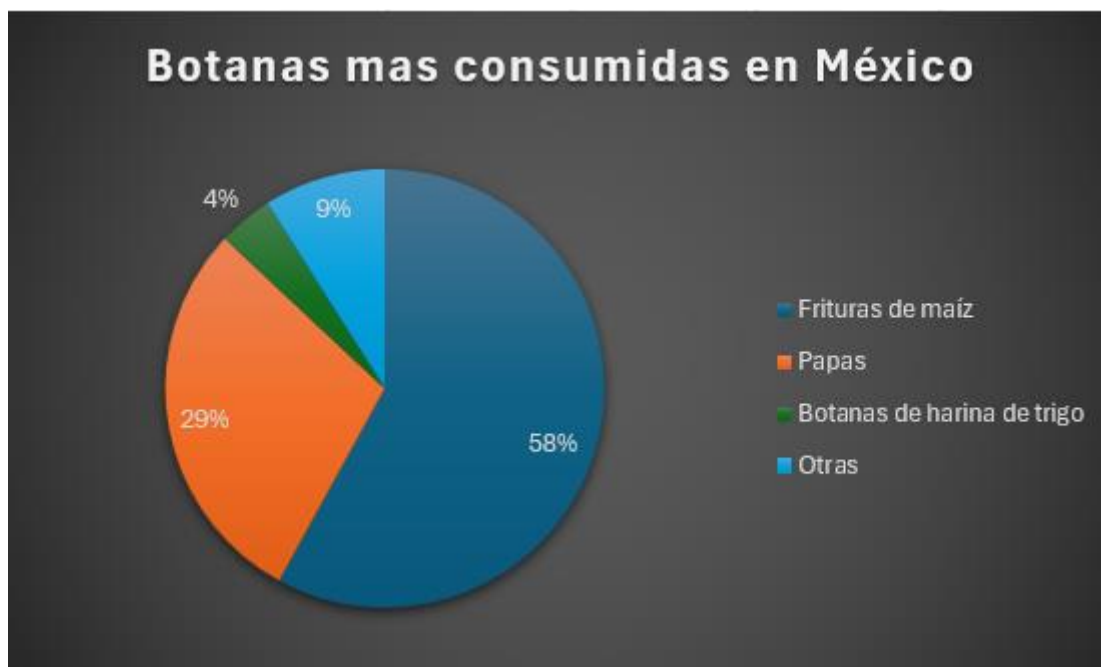


Figura 3. Botanas más consumidas en México (PROFECO, 2018)

1.4.4 Propiedades fisicoquímicas de los productos fritos

En base al documento del **Estudio de los parámetros de freído sobre las propiedades fisicoquímicas de una botana hecha de harinas de maíz, chicharo y salvado de avena** realizado el Brazilian Jornal of Food Teachnology en 2020 , se logró de manera indirecta determinar y conocer los factores más relevantes a controlar en la fabricación de botana frita por extrusión ,ya el proceso del cliente se encuentra protegido por temas de propiedad intelectual. Conocer las variables de un proceso similar al del cliente fue más que suficiente para conocer la importancia que estos factores tienen en su proceso y como estos se relacionan entre sí, los cuales son:

1.4.4.1 Contenido de humedad

Durante el proceso de freído ocurre una rápida deshidratación, llegándose hasta un contenido de humedad del 1,5-2,5% (Almeida & Rooney, 1996, como se citó en Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020, p. 7)

El análisis estadístico para %H (Porcentaje de Humedad) del producto frito mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los factores temperatura y tiempo de freído en el análisis de varianza ANOVA (Tabla 1).

Tabla 1 Análisis de varianza ANOVA para % de Humedad(Almeida & Rooney, 1996, como se citó en Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020, p. 7)

Factor	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	51,2533	1	51,2533	33,91	0,0006
B: Tiempo	127,245	1	127,245	84,18	0,0000
AB	1,26563	1	1,26563	0,84	0,3906
Error total	10,5805	7	1,5115		
Total (corr.)	190,346	10			

GL = grados de libertad, Razón-F = estadístico F, Valor-P = nivel de significancia observado

Es importante conocer y controlar el nivel de humedad que tendrá la masa de la fritura antes de ser ingresada al aceite para ser freída, ya que entre mayor sea su nivel de humedad mayor tiempo de freído se requerirá para eliminar esa humedad y eso puede ocasionar un mayor nivel de absorción de aceite en la botana final, afectando la apariencia y la dureza e incumpliendo las especificaciones de calidad .

La Figura 4, muestra como el porcentaje de Humedad (% H) disminuye con el incremento de temperatura y tiempo de freído. (Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020)

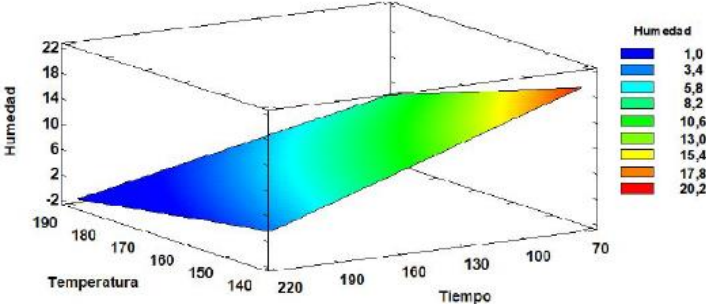


Figura 4. Grafica de superficie de respuesta estimada para la modalidad de la botana hecha a base de harinas de maíz, chícharo y salvado de avena (Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020).

1.4.5 Contenido de grasa

El análisis estadístico para %G mostró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el factor tiempo. Se observó que el contenido de grasa, presente en la botana, es menor a bajas temperaturas y tiempos cortos de freído (Tabla 2). La industria maneja un intervalo entre el 22 y el 28% de grasa en producto terminado (Lucas et al., 2012). Algunos productos comerciales en sus formulaciones reportan un intervalo de 28,15 a 32,9% de grasa . (Escobedo García, 2013 como se citó en Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020, p. 8)

1.4.6 Nivel de grasa

Los aceites y las grasas tienen una poderosa influencia sobre los procesos de cocción por extrusión mediante su actuación como lubricantes entre el material particulado y los tornillos del extrusor, de igual manera es un componente importante ya que puede proporcionar variaciones de sabor y de textura a los productos alimenticios (Pitchon, 1980 como se citó en González, 2021, p. 29)

El controlar la cantidad adecuada de aceite en la mezcla para la elaboración de la masa permite que la fritura final conserve su forma y como lubricante para los mecanismos del extrusor.

Tabla 2 Efectos de la grasa en el producto (Pitchon, 1980 como se citó en González, 2021, p. 29)).

Grasa en productos extruidos (%)	Efectos en el producto
< 7%	Poco o ningún efecto.
7 – 12%	Por cada 1% grasa sobre 7%, la densidad del producto final aumentará en 16 g/l.
12–17%	El producto tendrá poca o ninguna expansión, pero podrá mantener la integridad.
+ 17%	La integridad del producto final puede ser pobre.

1.4.7 Análisis de dureza

Se observó que Dureza (D) incrementa con el aumento de temperatura y la disminución del tiempo de freído. La fuerza de dureza o punto de quiebre de los productos se usa para medir la crujencia de un producto frito.(Shyu & Hwang, 2001 como se citó en Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020, p. 8) (Tabla 3)

Tabla 3 Propiedades fisicoquímicas de los productos fritos a (Brazilian Jornal of Food Teachnology, 2020).

Parámetro	Mínimo	Máximo	Promedio ± Desviación estándar
%H	2,85 (165 °C – 90 s)	15,90 (165 °C – 72 s)	8,55 ± 4,30
%G	19,41 (165 °C – 72 s)	27,45 (165 °C – 198 s)	23,67 ± 2,40
IAA (g/g muestra)	4,32 (165 °C – 72 s)	5,93 (186 °C – 135 s)	5,32 ± 0,49
ISA (%)	7,41 (150 °C – 90 s)	15,22 (144 °C – 135 s)	11,34 ± 2,79
DA (g/cm ³)	0,54 (186 °C – 135 s)	0,90 (144 °C – 135 s)	0,64 ± 0,12
D (N)	19,07 (144 °C – 135 s)	39,76 (180 °C – 90 s)	23,16 ± 4,00

1.4.8 Análisis sensorial

Los resultados del análisis sensorial mostraron mayor preferencia en sabor y apariencia hacia el producto frito a 165 °C – 198 s .Este tratamiento presentó menor contenido de humedad (2,85%), densidad (0,538 g/cm³) y dureza (19,260 N); y mayor porcentaje de grasa (27,45%) comparada con las otras dos seleccionadas para este estudio. (Brazilian Journal of Food Technology, 2020).(Figura 5)



Figura 5. Apariencia de la botana elaborada a 165 °C y 198 s con harinas de maíz, chícharo y salvado de avena (Brazilian Journal of Food Technology, 2020).

Se observó que el porcentaje de grasa presente en la botana fue menor a bajas temperaturas y tiempos cortos de freído (Tabla 4).

Tabla 4 Propiedades fisicoquímicas para el análisis sensorial (Brazilian Journal of Food Technology, 2020).

Proceso de freído		Parámetros			
Temperatura (°C)	Tiempo (s)	% H	% G	DA (g/cm ³)	D (N)
180	180	3,10	23,72	0,546	20,85
165	198	2,85	27,45	0,538	19,26
186	135	4,4	24,25	0,538	21,94

H = humedad; G = grasa; DA = densidad aparente del producto frito; D = dureza en Newtons.

1.5 Proceso

Esta es la imagen del diagrama de flujo utilizado por el fabricante de la elaboración de botanas a base de maíz por proceso de extrusión y las etapas/estaciones donde nos enfocaremos (Figura 6), así como la descripción de cada una (Tabla 5).

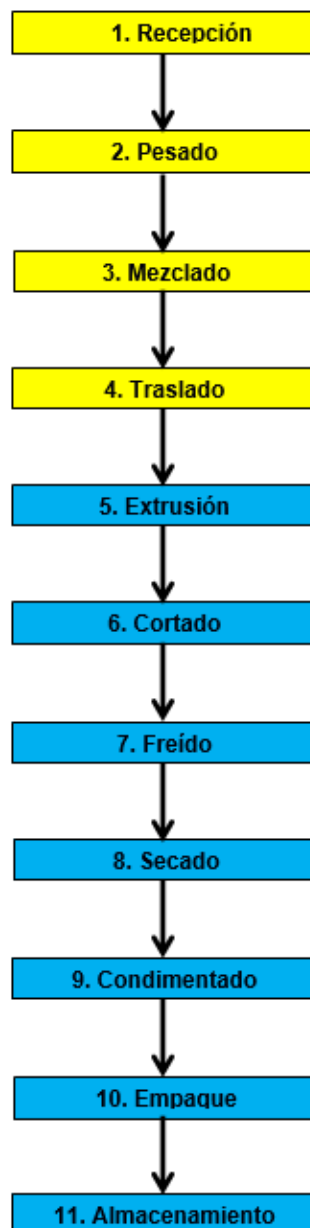


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de botanas fritas por extruido con las etapas/estaciones en las cuales se intervino (Color amarillo).

Tabla 5. Etapas/ Estaciones del proceso de elaboración de botanas fritas por extruido.

Etapas/Estación	Descripción/Características
1. Recepción	Estación donde se coloca el saco de 400 kg de harina para suministrar la materia prima al proceso
2. Pesado	Estación donde se pesa la cantidad de harina requerida para un ciclo de trabajo.
3. Mezclado	Estación donde aspas mecánicas hacen girar la harina y el flujómetro de agua, así como de aceite permiten el ingreso de los fluidos hasta llegar a la cantidad requerida y después de un tiempo de mezclado se obtiene una masa uniforme.
4. Traslado	Estación donde mediante tornillos son fin y bandas transportadoras horizontales y verticales, traslada la masa previamente formada hasta el extrusor.
5. Extrusión	Estación que comprime la masa y la hace pasar por el molde que dará forma a las frituras
6. Cortado	Cuchilla giratoria que corta con un determinado grosor y una determinada velocidad la masa extruida con la forma deseada de las frituras
7. Freído	Contenedor con aceite comestible a determinada temperatura, donde caen y se cuecen las frituras durante una determinada cantidad de tiempo
8. Secado	Estación donde se saca la botana de la etapa de freído y, durante el traslado a los condimentadores, se le da un tiempo de reposo para poder eliminar el exceso de aceite y adquirir una temperatura ambiente
9. Condimentado	Estación donde se le agrega las especias, condimentos y saborizantes a la botana cocida y previamente enfriada
10. Empaque	Estación donde se pesan y embolsan las cantidades de botana acorde a los requerimientos de producción.
11. Almacenamiento	Estación donde se colocan un determinado número de bolsas de botana en cajas de cartón para su almacenamiento. Traslado en tarimas a los almacenes de producción para su posterior surtido de pedidos.

1.6 Maquinaria

Aquí se muestra información de los equipos comerciales especializados que se pueden encontrar en el sector alimenticio con presencia en México, desde fabricantes chinos como Saibainuo (Figura 7 y Tabla 6). y fabricantes americanos como Heat And Control (Figura 8 y Tabla 7).

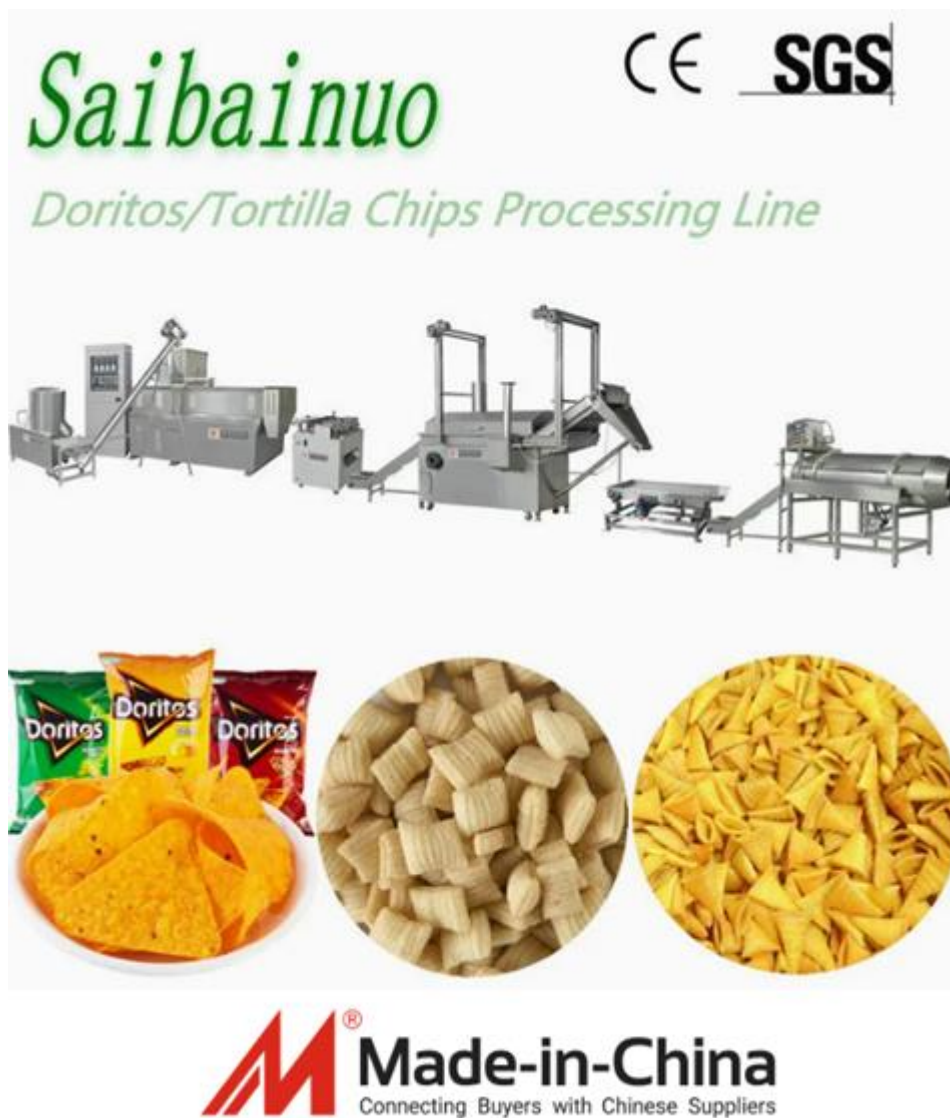

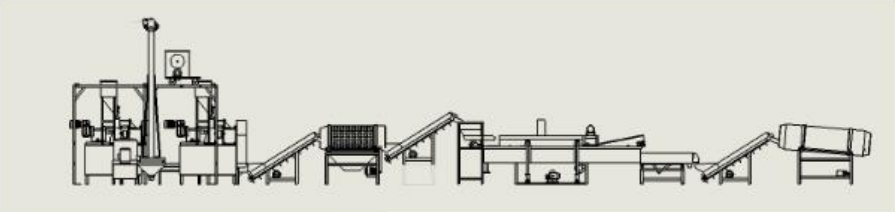





Figura 7. Saibainuo: Fabricante chino de maquinaria para la elaboración de botana frita por extruido. (made-in-china, 2025)

Tabla 6. Características de la Maquinaria ofrecida por Saibainou (made-in-china, 2025)

Línea de producción de snacks de maíz Saibainou, de origen chino	
Introducción:	<p>La línea de extrusoras Kurkures para la fabricación de Cheetos fritos y horneados puede procesar cualquier tipo de materia prima a base de almidón, como almidón de patata, harina de maíz y harina de trigo.</p> <p>Esta línea se caracteriza por su técnica única, configuración racional, alta automatización y rendimiento estable</p>
1. Materias primas:	polvo de patata, almidón de patata, harina de trigo, aceite vegetal
2. Productos:	<p>Doritos de todas las formas, como redondos, triangulares, hexagonales, etc. El tamaño de los productos se puede cambiar según los requisitos de los clientes</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div>
3. Capacidad:	120-480 G/H
4. Diagrama de flujo:	<p>Mezcla — Extrusión — Separación — Freír / Hornear — Sistema de saborizante — Embalaje</p> <div style="text-align: center;">  <p>Frying production line</p> <pre> graph LR A[Mixer] --> B[Screw conveyor] B --> C[Kurkure machine] C --> D[Roller screen] D --> E[Hoist] E --> F[Fryer] F --> G[Flavoring] G --> H[Packing] </pre> </div>

5. Voltaje en China:	380 V/50 Hz, monofásico: 220 V/50 Hz, podemos fabricarlo según el voltaje local de los clientes según los diferentes países.
6. Materiales de las máquinas:	Todas las máquinas están fabricadas con acero inoxidable 304
Modelos	<p data-bbox="550 571 1244 616">SLG65 100-150 kg/h puff snacks processing line</p>  <hr data-bbox="523 795 1364 806"/> <p data-bbox="550 817 1244 862">SLG70 200-250 kg/h puff snacks processing line</p>  <hr data-bbox="523 1064 1364 1075"/> <p data-bbox="518 1097 1157 1142">SLG85 400-500 kg/h puff snacks processing line</p> 

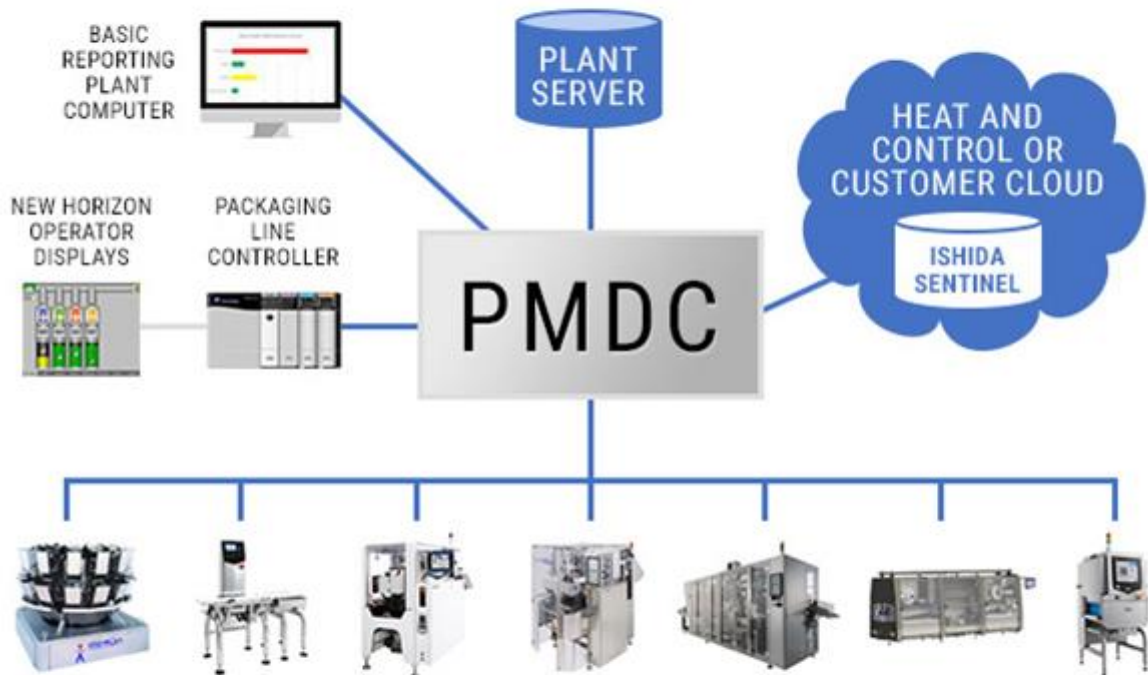


Figura 8. Heat and Control: Fabricante americano de Maquinaria para la elaboración de botana frita por extruido. (Heat and Control, 2025)

Tabla 7. Características de la Maquinaria ofrecida por Heat and Control. (Heat and Control, 2025)

Línea de producción Chips de maíz Heat and Control de origen Americano	
Introducción:	Es proveedor líder de soluciones y producción de chips de maíz extruidos o laminados de la más alta calidad, además de ofrecer una línea completa especializada, desde el grano de maíz hasta el empaçado.
1. Materias primas:	Manejo de polvo de patata, almidón de patata, harina de trigo, harina de maíz, aceite vegetal.
2. Productos:	<p>Bolas de queso y bocanadas de queso, podemos manejar guisantes verdes, cacahuetes recubiertos rebozados, garbanzos fritos, extruidos de harina de maíz o de trigo.</p> 
3. Capacidad:	Determine la capacidad o volumen deseado según los objetivos de producción del cliente.
4. Diagrama de flujo:	<p>Cocción y remojo de maíz</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lavado y drenado - Molienda de maíz / Preparación de masa - Extrusión / Laminación - Freír - Módulo soporte del freidor - Filtrado de aceite - Calentamiento de aceite -Enfriamiento de aceite

	<ul style="list-style-type: none"> - Almacenamiento de aceite - Enfriamiento de producto - Embalaje
5. Voltaje	El fabricante pueda crear una solución personalizada para cumplirlos al país de entrega.
6. Materiales de las máquinas:	Materiales robustos, duraderos y de calidad alimentaria, como acero inoxidable, acero al carbono o aleaciones especiales. Estos materiales son resistentes a la corrosión, el desgaste y la contaminación.
Modelos	El fabricante pueda crear una solución personalizada para cumplir las necesidades del cliente.

1.7 Revisión tecnológica e ingenieril : Pirámide de Automatización Industrial hardware, comunicaciones, normas.

1.7.1 Pirámide de Automatización Industrial

La pirámide de automatización estructura las entidades de producción automatizadas en capas de tareas específicas y su correspondiente infraestructura de TI. Este conjunto de niveles general divide tradicionalmente un centro de producción en seis niveles, formando una pirámide de alta complejidad en la base y alta especialización en la cima. Los datos en los niveles inferiores suelen ser críticos en tiempo real y deben procesarse directamente en el borde de una instalación IIoT (Industrial Internet of Things / Internet industrial de las cosas). (Cybus, 2025)

La Pirámide de Automatización (PA) se deriva del estándar ANSI/ISA 95. Esta representación conceptual sugiere los niveles definidos en el estándar ISA-95. (MPDI, 2021)

En las siguientes imágenes podemos encontrar una descripción de los 5 niveles que conforman la Pirámide de Automatización Industrial (Tabla 8), lo cual nos permite comprender la relevancia que cada nivel tiene y como se relacionan entre sí .

Tabla 8. Niveles de la Pirámide de Automatización Industrial (Cybus, 2025)

Nivel	Denominación	Función principal
Nivel 0	Proceso físico / producción	Incluye máquinas, procesos reales, materia prima, actuadores/sensores físicos.
Nivel 1	Sensado y manipulación / Control básico	Sensores y actuadores, controladores lógicos (PLC, DCS) que manipulan el proceso directamente.
Nivel 2	Supervisión y control	Sistemas SCADA/HMI, supervisión, adquisición de datos, control de área.

Nivel 3	Ejecución de operaciones / MES	Sistemas de ejecución de manufactura (MES) que gestionan la producción, calidad, mantenimiento.
Nivel 4	Planificación empresarial / ERP	Nivel empresarial que gestiona logística, finanzas, recursos, planificación global.

El presente proyecto se enfoca principalmente en migrar el control analógico con el que se operaba (nivele 0) a un nuevo control digital (Nivel 2) y sienta las bases para que el cliente en un futuro pueda implementar los siguientes niveles de la pirámide de la automatización en su proceso de botanas fritas por extrusión. (Figura 9)

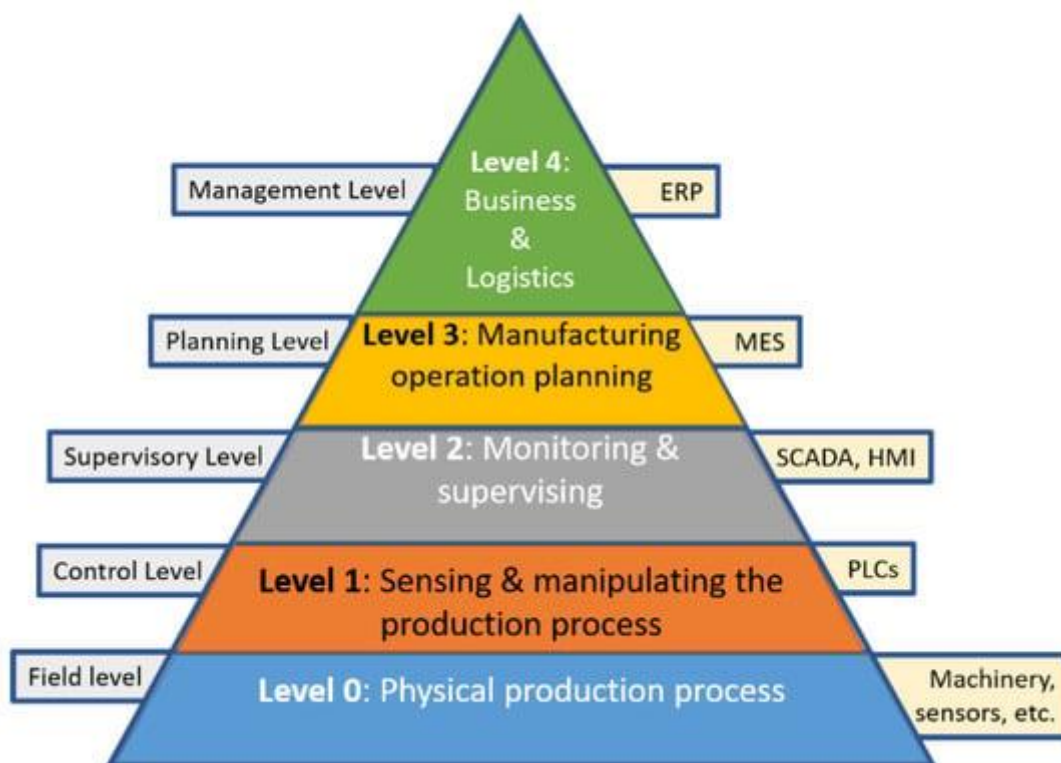


Figura 9. Pirámide de automatización según el modelo ISA 95

1.7.2 Hardware

1.7.2.1) PLC (Controlador Lógico Programable)

1.7.2.1.1) Historia y evolución

Los PLC surgieron en la década de 1960 para reemplazar los sistemas de control cableados de relés electromecánicos en la industria automotriz. Se han ido modernizando con capacidades de red, procesamiento más rápido, E/S analógicas y digitales, y compatibilidad con estándares abiertos (Bolton, 2015)

1.7.2.1.2) Principio de funcionamiento

El PLC ejecuta un ciclo de escaneo compuesto por :

1. Lectura de entradas digitales y analógicas.
2. Ejecución del programa de control.
3. Actualización de salidas.
4. Comunicación con dispositivos externos.

A continuación, se ilustra como el ciclo Scan (figura 10), va y lee la entrada, la coloca en memoria, el programa de usuario se ejecuta y si se da la condición de acuerdo con la entrada se escribe en memoria de salida la acción de la bobina, terminando el ciclo activando la salida y prentiendo la lámpara. (figura 11)

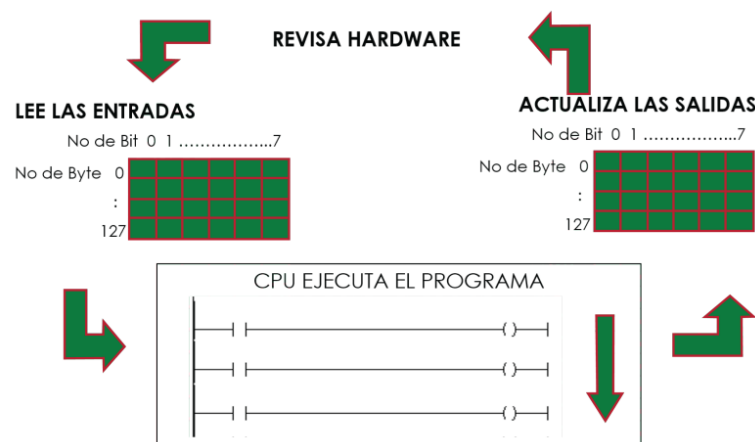


Figura 10. Teoría del SCAN (Barrido del programa) (UNAM, 2025)

Se manejan **E/S digitales** (ON/OFF) y **analógicas** (0-10 V, 4-20 mA). La velocidad de ciclo y la capacidad de memoria son fundamentales para sistemas de control complejos (UNAM, 2025)

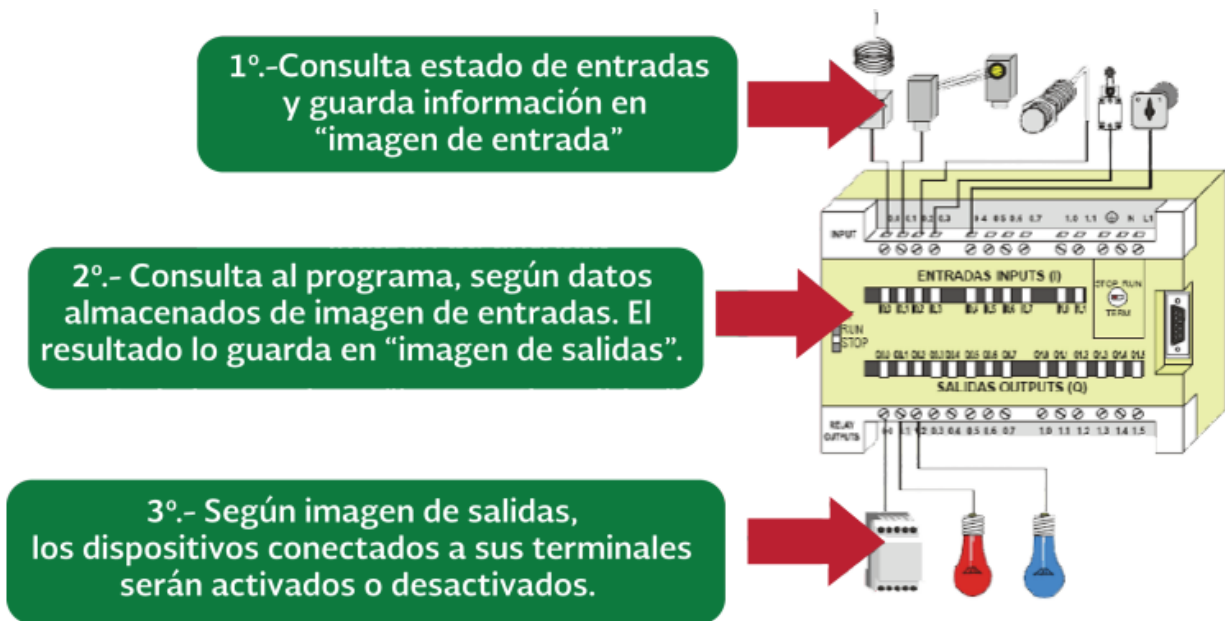


Figura 11. Funcionamiento de un PLC (UNAM, 2025)

1.7.2.1.3) Criterios de selección

Para seleccionar el PLC que se puede utilizar en el control de una instalación se deben analizar ciertas características, así como algunos criterios que pueden ser agrupados en dos categorías: **cuantitativos** y **cualitativos** (UNAM, 2025).

a) Criterios cuantitativos

Los resultados pueden ser medidos o contados, y cualquier otra persona que trata de evaluar cuantitativamente la misma situación debe obtener los mismos resultados. (UNAM, 2025)

- a) **Ciclo de ejecución.** Mide el tiempo que el autómata tarda en ejecutar una instrucción o un Kbyte de instrucciones. Depende directamente de la velocidad de la CPU del equipo e influirá directamente en el ciclo de Scan.
- b) **Capacidad de entradas y salidas.** Define el número de E/S que se pueden conectar a un equipo. Determina por lo tanto la capacidad del equipo para conectarse con el proceso
- c) **Características de las entradas y salidas.** Determina el tipo de E/S que se pueden conectar al autómata. Establece por lo tanto la forma en que el equipo se relaciona con el proceso.
- d) **Módulos funcionales.** Algunos tipos de acciones que se pueden llevar a cabo sobre el proceso, por ejemplo, el posicionamiento de ejes, el control de procesos continuos, la noción del tiempo, etcétera, requieren de módulos especiales que pueden ser añadidos al autómata para complementarlo pero que en su configuración básica quizá no tiene.
- e) **Memoria de programa.** Define el tamaño de la memoria del autómata programable y al igual que en el caso de las PC, ésta se mide en bytes o múltiplos de bytes.
- f) **Conjunto de Instrucciones.** No todos los autómatas son capaces de ejecutar los mismos tipos de instrucciones. Por ejemplo, no todos pueden realizar operaciones

en coma flotante. Esta característica determina la potencia (capacidad) del equipo para afrontar el control de ciertos tipos de procesos.

- g) **Comunicaciones.** Otra de las características más importantes a la hora de poder establecer comparaciones entre PLC es la capacidad que tengan para intercambiar información entre sí o con otros módulos de E/S.
- h) **Periferia y programadores.** Los PLC pueden ser complementados con dispositivos auxiliares que sin ser esenciales para llevar a cabo su principal función (controlar un proceso), si facilitan ciertas tareas secundarias.

b) Criterios Cualitativos

Como su propio nombre indica son criterios que hacen referencia a aspectos que determinan en cierta medida la calidad del PLC. (UNAM, 2025)

- a) **Ayudas al desarrollo de programas.** Hace referencia a la cantidad de información y ayuda que presta la empresa distribuidora del equipo a nivel local o estatal. Hoy en día con el desarrollo de Internet gran parte de esta información estará recogida en páginas web del fabricante.
- b) **Fiabilidad del producto.** Es una característica muy importante que hace referencia directamente al funcionamiento del PLC.
- c) **Servicios del suministrador (proveedor).** Es muy importante evaluar qué servicios extra aporta el distribuidor del equipo a nivel local o nacional, tales como cursos de formación, su precio, el lugar de impartición y el número de fechas disponibles, así como la capacidad para aportar recursos humanos y técnicos, etcétera.
- d) **Normalización en planta.** Esta característica hace referencia a la capacidad del equipo para ser conectado e intercambiar información de manera correcta y efectiva con el resto de los dispositivos y equipos que ya estén instalados en una planta dada.
- e) **Compatibilidad.** Con equipos de otras gamas.
- f) **Costo.** la apreciación de cuán caro o barato le parece a una persona un producto.

Como se puede observar, para la selección de un PLC se requiere de la evaluación de sus aspectos cuantitativos (Cantidades) y cualitativos (Cualidades) los cuales pueden ser fácilmente identificados mediante el uso de una gráfica radar que permita evaluar los múltiples criterios de selección de una manera eficiente y precisa.

En un **gráfico de radar**, uno o más grupos de valores se representan sobre múltiples variables comunes. Cada variable tiene su propio eje, y cada eje se dispone de manera radial alrededor de un punto central. Los puntos de datos de una sola observación se trazan sobre cada eje y se conectan entre sí para formar un polígono. (RICOH Predictive Insight, 2025). Algunos aspectos clave:

- Cada eje representa una variable (criterio de selección).
- La distancia desde el centro hacia el extremo del eje representa el valor de esa variable (normalizado o no) para la alternativa.
- Al conectar los valores de todos los ejes, se obtiene un polígono que permite ver visualmente fortalezas y debilidades de la alternativa respecto a los múltiples criterios simultáneamente.
- Es especialmente útil cuando se desea comparar varias alternativas con respecto a los mismos criterios, por ejemplo: superponer 3 polígonos correspondientes a 3 opciones. (Figura 12)

Gymnast Scoring Radar Chart

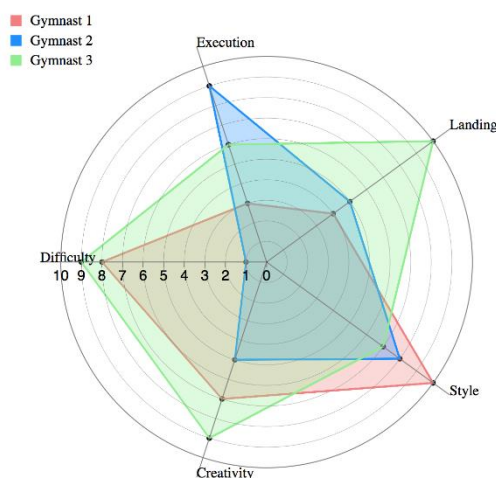


Figura 12. Gráfica radar con 3 opciones a evaluar

Con los aspectos cualitativos y cuantitativos más relevantes en la selección de un PLC podemos armar una gráfica radar exclusivamente para la evaluación de las distintas alternativas de PLC disponibles en el mercado y este proceso abrumador pueda hacerse de una mera simple y eficiente. (Figura 13)

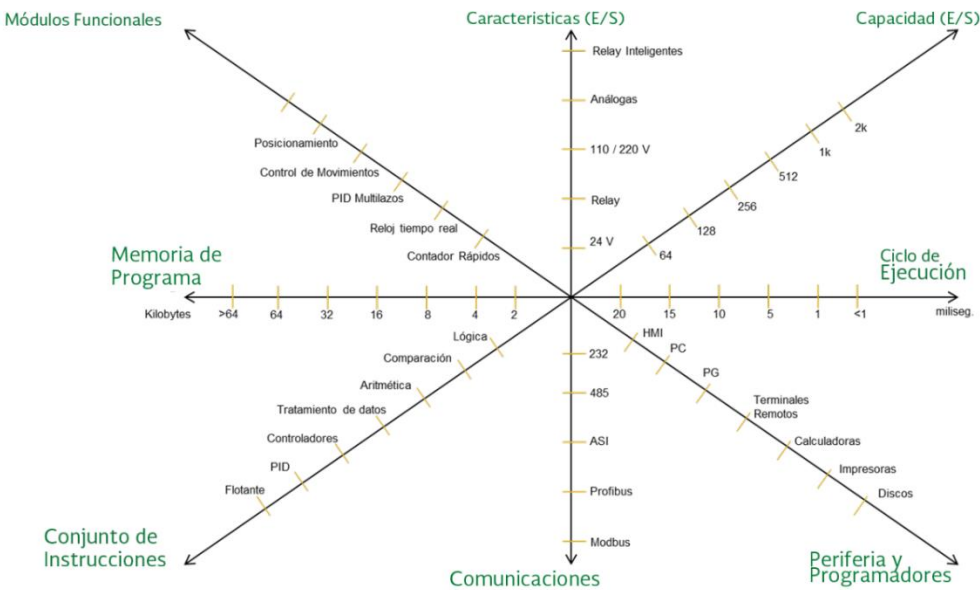


Figura 13. Gráfica radar que muestra los Criterios de selección PLC (UNAM, 2025)

1.7.2.1.4) Marcas y familias relevantes

Por lo general la marca o nombre del fabricante del equipo es un aval suficiente para conocer el grado de fiabilidad de este y gracias a la gran demanda que el sector industrial requiere de PLC's , hoy en día hay una amplia variedad marcas comercialmente disponibles en el mercado de la automatización. (Figura 14)



Figura 14. Distintas Marcas Comerciales de PLC (UNAM, 2025)

1.7.2.2) HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

Un sistema HMI o solo HMI ,es un panel de control o una pantalla que conecta al operario con una máquina, un dispositivo o un proceso productivo.

Aunque el concepto puede aplicarse a cualquier interfaz de usuario, en el ámbito industrial el término se refiere a las pantallas que permiten supervisar y controlar maquinaria en tiempo real. (Cursos Aula 21, 2025)

Desde una pantalla táctil que gestiona una línea de producción hasta una consola de monitoreo remoto, el HMI proporciona información clave sobre el rendimiento del sistema, incluyendo variables como temperatura, presión o velocidad de producción.

(Cursos Aula 21, 2025) (Figura 15)

Un HMI permite al operador supervisar y controlar procesos industriales, visualizar alarmas y registrar datos. Mejora la seguridad y eficiencia de operación (Bradshaw, 2018)

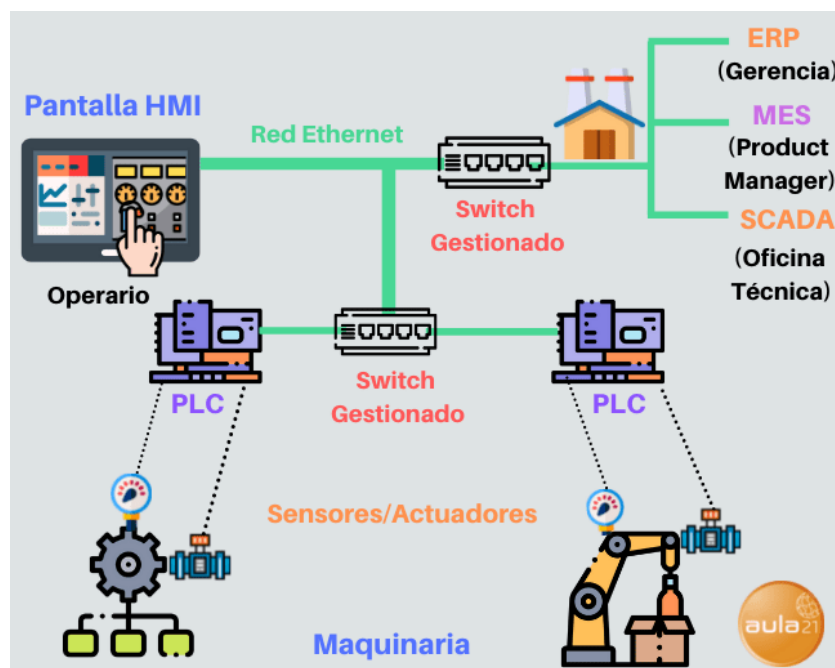


Figura 15. Ejemplo de Diagrama de un HMI (Cursos Aula 21, 2025).

1.7.2.2.1) El funcionamiento de una HMI

1. **Recibe información** de sensores y controladores lógicos programables (**PLC**).
2. **Muestra los datos** en forma de gráficos, diagramas o paneles de control.
3. **Permite al operario** tomar decisiones, como ajustar la velocidad de una máquina o detener el sistema en caso de una anomalía.

Gracias a su conexión con los PLC, las HMI recopilan y visualizan datos en tiempo real, eliminando la necesidad de procesos manuales y minimizando el riesgo de errores humanos.

1.7.2.2.2) Tipos de HMI

Existen diversos tipos de sistemas HMI, que varían en función de su diseño y aplicación:

1. **Pantallas integradas:** Incorporadas directamente en las máquinas, permiten un acceso rápido y directo a los controles.
2. **Pantallas táctiles avanzadas:** Ofrecen una experiencia de usuario más intuitiva y flexible, permitiendo un manejo más eficiente del sistema.
3. **HMI móviles:** A través de dispositivos portátiles o aplicaciones, permiten el monitoreo remoto, lo que es ideal para plantas con grandes extensiones geográficas.
4. **HMI en red y en la nube:** Estas interfaces envían datos a plataformas en la nube, permitiendo su análisis remoto y una mejor toma de decisiones

1.7.2.2.3) Ventajas de los sistemas HMI en la industria

La adopción de HMI ha supuesto un gran avance en la automatización industrial, y sus beneficios son notables (Cursos Aula 21, 2025) (Figura 16):

1. **Centralización de datos:** Todos los indicadores clave se muestran en una única pantalla, facilitando la supervisión.
2. **Reducción de tiempos de inactividad:** Al detectar anomalías en tiempo real, permite una intervención rápida y efectiva.
3. **Optimización de procesos:** Gracias a la información precisa que ofrece, los operarios pueden tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia operativa.
4. **Mejor usabilidad:** Diseñadas para ser intuitivas, las HMI modernas facilitan el trabajo del personal de mantenimiento y los ingenieros.

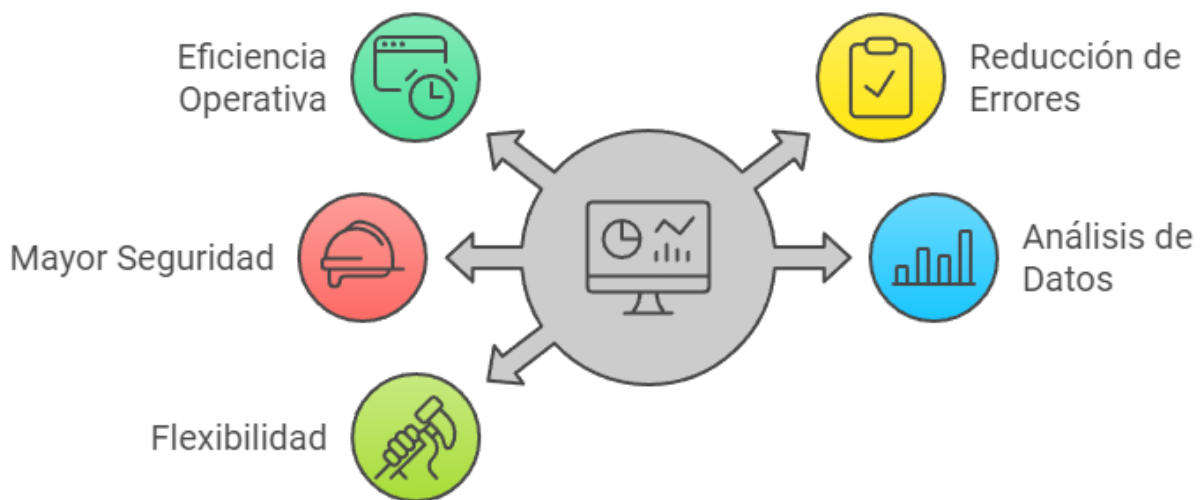


Figura 16. Beneficios de un HMI en la industria (autex-open, 2024)

1.7.2.2.4) Softwares Comerciales de Programación HMI

Cada marca principal de automatización industrial ofrece su propio software, que a menudo forma parte de un entorno de desarrollo integrado (IDE) más grande, algunos de los cuales son:

- **Siemens: TIA Portal** (Totalmente Integrado de Automatización) es el entorno principal, que incluye herramientas para programar PLCs y HMIs. (Figura 17)
- Rockwell Automation (Allen-Bradley): Utiliza **FactoryTalk View** (Machine Edition o Site Edition) para el desarrollo de HMI, que se integra con Studio 5000 para la lógica del PLC.
- **Schneider Electric**: Ofrece software como **Vijeo Designer** o herramientas integradas en su plataforma EcoStruxure para la programación de sus paneles HMI Magelis.
- **Pro-face (Schneider Electric)**: El software **GP-Pro EX** se utiliza para la gestión de operaciones y diseño de pantallas HMI de Pro-face.
- Unitronics: Su entorno **UniLogic** es un software todo-en-uno que programa tanto el PLC como la HMI integrada en sus dispositivos.
- **Maple Systems**: Utiliza el software **EBPro** (a menudo gratuito) para sus paneles HMI.

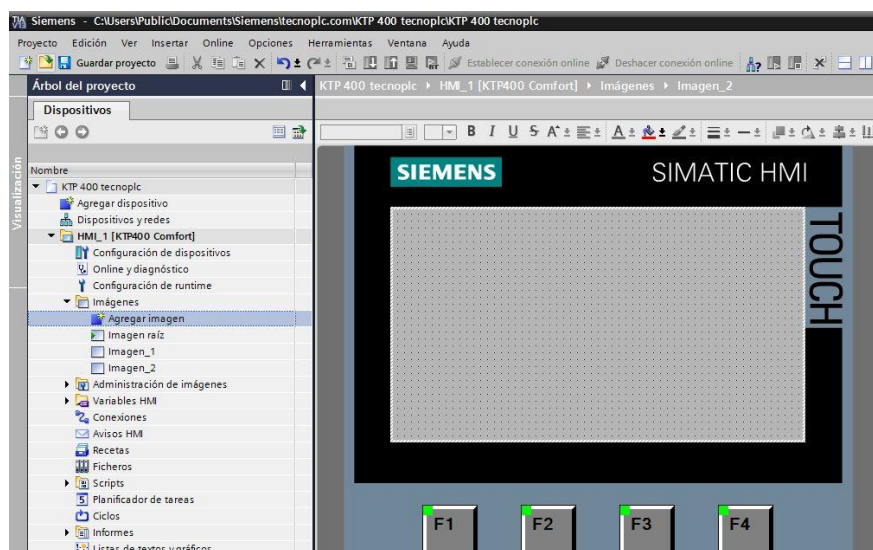


Figura 17. HMI Siemens programada en el software TIA Portal
(Tecno PLC, 2025)

1.7.2.2.5) Protocolos de Comunicación Compatibles

La compatibilidad de protocolos es crucial para asegurar que la HMI pueda comunicarse con el PLC u otros dispositivos de control. La mayoría de los softwares HMI comerciales son compatibles con una amplia gama de protocolos, incluyendo los estándares de la industria y los específicos de la marca (Figura 18):

a) Protocolos Comunes (Multimarca)

- **Modbus:** Uno de los protocolos más universales y ampliamente utilizados, disponible tanto en versión serial (**Modbus RTU**) como Ethernet (**Modbus TCP/IP**).
- **Ethernet/IP:** Un protocolo basado en Ethernet muy común en Norteamérica, especialmente con equipos Rockwell Automation.
- **OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture):** Un estándar clave para la interoperabilidad e integración de datos entre diferentes sistemas (HMI, SCADA, MES, etc.).
- **Profinet:** El protocolo Ethernet industrial predominante en Europa, utilizado principalmente con sistemas Siemens.
- **Profibus:** La versión de bus de campo serial (RS-485) de Profinet.

b) Protocolos Específicos de Marca

- **CIP (Common Industrial Protocol):** La base de Ethernet/IP, DeviceNet y ControlNet.
- **Profinet I/O:** Específico para dispositivos Siemens.

Al elegir un software y hardware HMI, es fundamental verificar que el software soporte el protocolo utilizado por el PLC u otros controladores en el sistema.(Figura 18)



Figura 18. Distintos Protocolos de Comunicación Industrial (infoplc, 2025)

1.7.2.3) VFD (Variador de Frecuencia)

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que se utiliza para modificar la frecuencia de la corriente eléctrica que alimenta un motor de corriente alterna (CA).

(Cursos Aula 21, 2025)

1.7.2.3.1) Funcionamiento un Variador de Frecuencia

El funcionamiento interno de un **variador de frecuencia** se basa en un circuito electrónico dividido en **tres etapas principales**:

- Un **convertidor de entrada**, también conocido como etapa rectificadora.
- Un **bus de corriente continua (CC)** que actúa como filtro.
- Un **inversor de salida**, compuesto por microcontroladores y transistores IGBT (transistores bipolares de puerta aislada).

Estas tres fases trabajan en conjunto para transformar la energía eléctrica y permitir un control preciso sobre la velocidad del motor.(Figura 19)

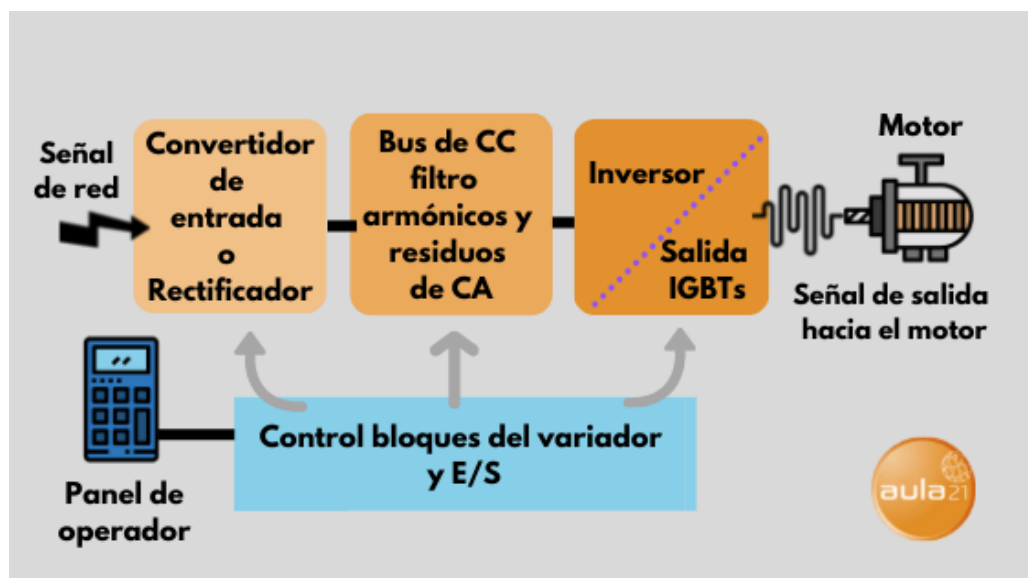


Figura 19. Diagrama básico de un variador de frecuencia (Cursos Aula 21, 2025)

1.7.2.3.2) Tipos de control

Existen varias formas de controlar un VDF , regularmente dependiendo de la aplicación a desempeñar, será la selección de un modo de control en específico. En el presente trabajo abordaremos los más comunes de encontrar en el sector industrial (Tabla 9)

a) Control escalar “V/Hz” (Voltio-Frecuencia)

Principio: Se mantiene una relación fija entre voltaje y frecuencia para conservar el flujo magnético en el motor (Diaz, 2024).

Ventajas:

- Curva personalizable V/Hz
- Generalmente no utiliza sintonía.
- Se pueden controlar varios motores a la vez con un solo drive.
- Configuración básica con aplicaciones básicas.

Desventajas:

- Si tiene una carga grande , le costara trabajo moverla.
- Se utiliza velocidad comandada y sin retroalimentación.
- No se controla de manera eficiente.

Aplicaciones típicas:

- Bombas centrifugas.
- Ventiladores.(Figura 20)



Figura 20. Control de Ventilador (Diaz, 2024)

b) Control vectorial sin sensores (Sensorless Vector Control - SVC)

Principio: Se descompone la corriente del estator en componentes de flujo y par, y se controla de forma que el motor se comporte parecido a uno de corriente continua en cuanto a dinámica (Díaz, 2024).

Modalidades:

- Sensorless (lazo abierto vectorial)
- Lazo cerrado (con encoder o sensor de velocidad)

Ventajas:

- Mejor control de Variables.
- Se permite realizar una mejor sintonía.

Desventajas:

- Puede presentar mayor temperatura sobre el motor.
- Se tienen menores velocidades.
- Controla un motor a la vez.

Aplicaciones típicas:

- CNC. (Figura 21)
- Aplicaciones de precisión .



Figura 21. Control de CNC (Díaz, 2024)

c) Control de par directo (Direct Torque Control – DTC)

Principio: Controla directamente el par y el flujo magnético del motor sin necesidad de modulador tradicional, logrando respuesta muy rápida (Diaz, 2024).

Ventajas:

- mayor control de variables
- Se permite realizar una mayor sintonía
- Torque continuo

Desventajas:

- Puede presentarse mayor temperatura sobre el motor
- Se tienen menores velocidades, pero se tiene mayor control de la misma
- Controla un motor a la vez

Aplicaciones típicas:

- aplicaciones que requieren torque lineal (Figura 22)



**Figura 22. Control Banda Transportadora para material de construcción
(Diaz, 2024)**

1.7.2.3.3) Integración con PLC ↔ VFD

a) Métodos de conexión

Los VFD suelen ser controlados mediante 3 configuraciones de conexión diferentes ,dependiendo de la aplicación como veremos a continuación para su referencia de velocidad:

- **Señal analógica:** El PLC genera una señal 0-10 V o 4-20 mA como referencia de frecuencia para el VFD. (Figura 23).

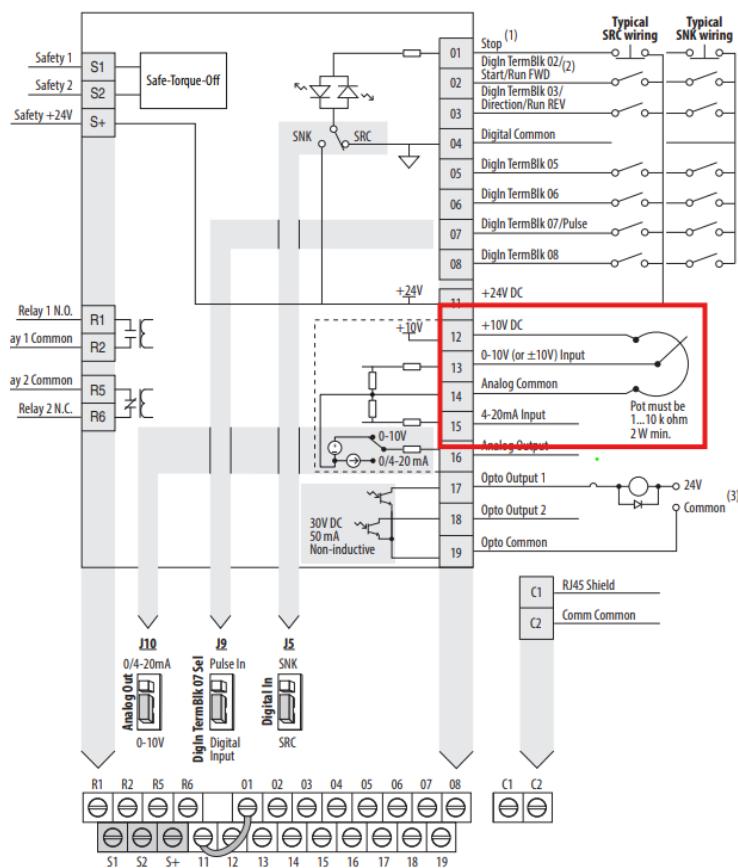


Figura 23. Diagrama de bloques del cableado de Entrada analógica en el VFD PowerFlex 525 (Rockwell Automation, 2025)

- **Entradas/salidas discretas:** Se controla la señal de arranque/parada, cambio de sentido, selección de escalas de velocidad, enviando señales digitales desde botones, Switch o PLC al VDF. (Figura 24)

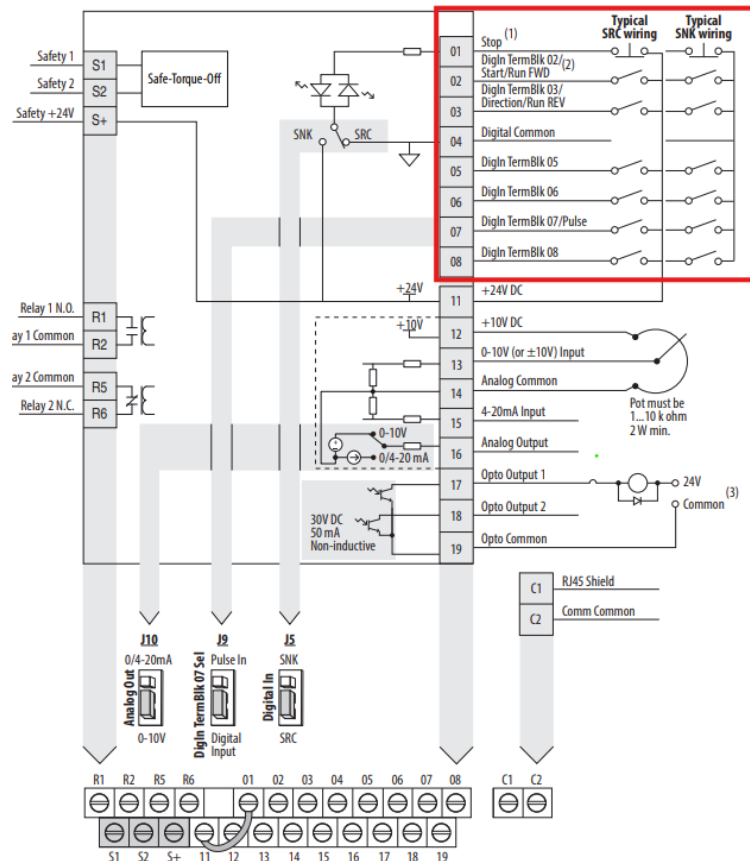


Figura 24. Diagrama de bloques del cableado de Entrada digital en el VDF PowerFlex 525 (Rockwell Automation, 2025)

- **Comunicación digital:** Uso de protocolos (por ejemplo, Modbus RTU, Ethernet industrial, PROFIBUS/PROFINET) para que el PLC lea parámetros y controle el VFD más allá de simples señales de I/O. (Figura 25)

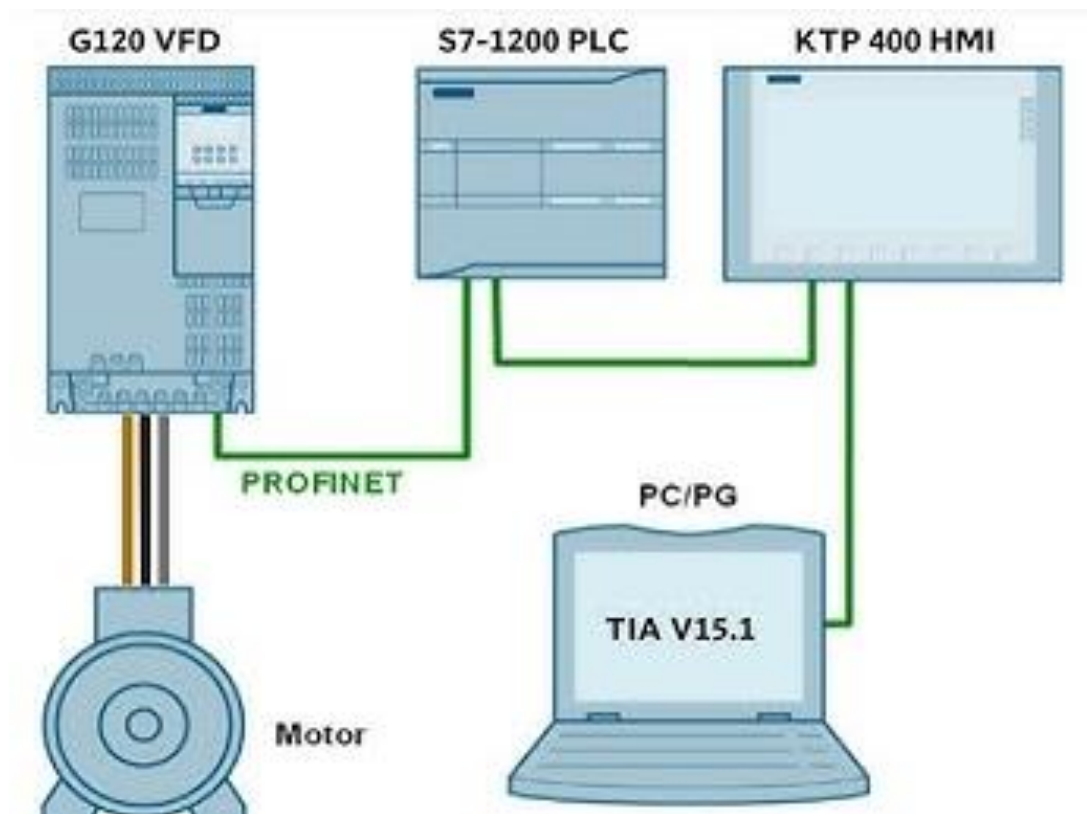


Figura 25. Control de VFD mediante comunicación PROFINET
(infopl, 2024)

1.7.3) Comunicaciones

a) El Modelo OSI

El modelo OSI, o de interconexión de sistemas abiertos, es un modelo conceptual que divide la comunicación y la interoperabilidad de la red en siete capas abstractas. Proporciona un modelo estandarizado que permite que diferentes aplicaciones, sistemas informáticos y redes se comuniquen. (IBM, 2025)

En la siguiente Tabla 9 podemos encontrar un resumen de las características de cada capa del Modelo OSI

Tabla 9. Capas del Modelo OSI (IBM, 2025)

Capa	Función principal	Protocolos típicos mencionados	Ejemplos derivados del texto
Capa 7: Aplicación	Proporciona servicios de red a las aplicaciones; facilita comunicación con capas inferiores; transferencia de archivos; comunicación y autenticación; acceso remoto; servicios de directorio.	HTTP, FTP, DNS, SMTP.	Navegadores web, clientes de correo, acceso remoto a archivos, autenticación entre dispositivos, servicios de directorio en red.
Capa 6: Presentación	Transforma datos a formatos aceptados por la aplicación; conversión de sintaxis; cifrado/descifrado; compresión/descompresión; traducción de datos en encapsulación y des encapsulación.	SSL/TLS, JPEG, MPEG, EBCDIC, ASCII.	Conversión de archivos de texto, cifrado para transmisión segura, compresión de imágenes/video, formateo de datos para aplicaciones.
Capa 5: Sesión	Establecimiento, gestión y terminación de sesiones; sincronización; puntos de recuperación; reconexión ante fallos; manejo de	Llamadas a procedimientos remotos (RPC) implícitas en el texto.	Inicio/cierre de sesión, recuperación de sesiones interrumpidas, sincronización de flujos de datos, sesiones

	sesiones relacionadas (audio/video).		usadas en videoconferencias o comunicaciones remotas.
Capa 4: Transporte	Entrega extremo a extremo; segmentación y reensamblaje; direccionamiento por puertos; control de flujo; multiplexación; manejo de errores; servicios orientados y no orientados a conexión.	TCP, UDP.	Segmentación de mensajes, retransmisión ante errores, control de flujo entre dispositivos, servicios con acuse de recibo o sin confirmación.
Capa 3: Red	Transferencia entre nodos; enrutamiento; fragmentación y reensamblaje; control de tráfico; direccionamiento lógico.	IPv4, IPv6, protocolos de enrutamiento implícitos.	Determinar rutas entre redes, fragmentar paquetes grandes, gestionar congestión, entregar paquetes entre nodos en redes distintas.
Capa 2: Enlace de datos	Transferencia sin errores en la misma red; control de flujo; sincronización; multiplexación; acceso al medio; encuadre; direccionamiento MAC; retransmisión por errores.	ARP, MAC, LLC, subcapa MAC.	Conversión IP→MAC, transmisión en tramas, control de acceso en canales compartidos, retransmisión de tramas dañadas.
Capa 1: Física	Transmisión de bits por medios físicos; velocidad de bits; sincronización; modos de transmisión; topologías físicas; codificación de señal.	USB, Bluetooth, Ethernet (capa física).	Uso de fibra óptica, repetidores, cables, radio, topologías físicas (bus, estrella, malla), sincronización bit a bit, transmisión dúplex o semidúplex.

Comprender como las capas del modelo OSI interactúan y como se pueden afectar entre sí, nos permite diseñar una red de automatización estable y robusta. (Figura 26)

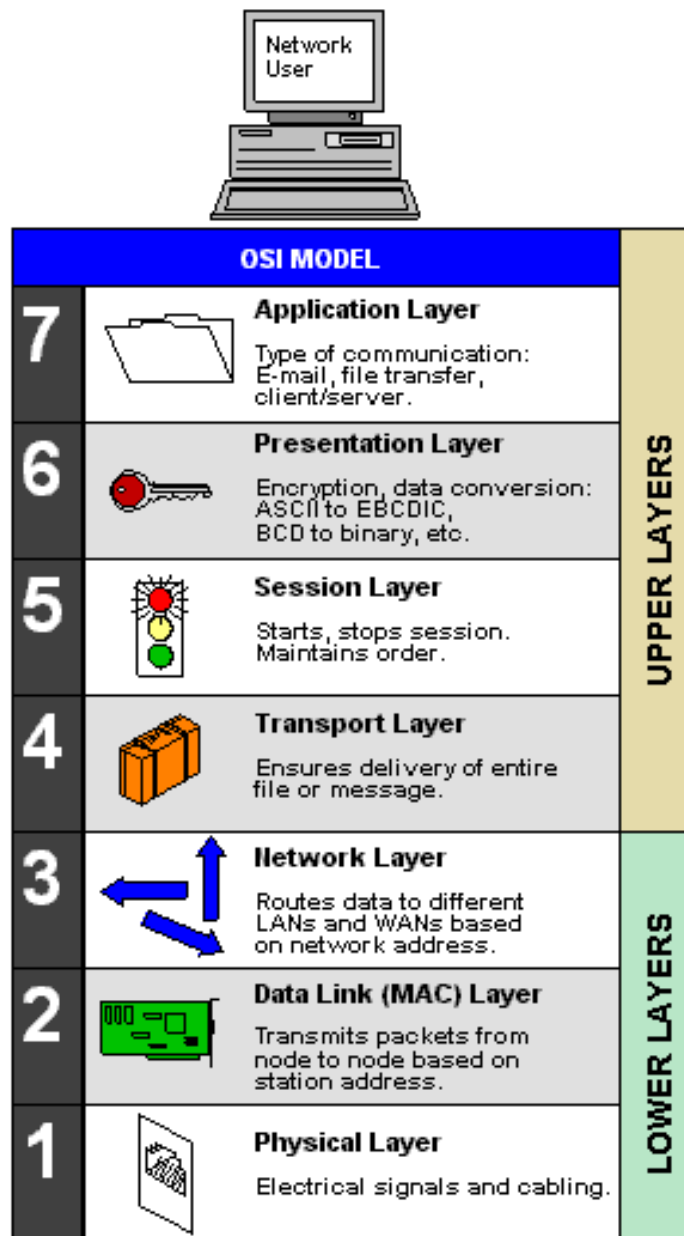


Figura 26. Modelo OSI (Instrumentacion y control, 2025)

OSI frente a TCP/IP

A diferencia del modelo OSI, el modelo TCP/IP se basa en protocolos estandarizados que se implementan de manera amplia y directa en redes del mundo real. Consta de cuatro capas, en lugar de siete, pero cada capa corresponde a una o más capas del modelo OSI. (IBM, 2025)

En la siguiente Tabla 10 podemos encontrar un resumen de las características de cada capa del Modelo OSI

Tabla 10. OSI frente a TCP/IP (IBM, 2025)

Capa	Función principal	Protocolos típicos mencionados	Ejemplos derivados del texto
Capa de acceso a la red (equivalente a OSI 1 y 2)	Incluye hardware y software para interactuar con el medio; combina capas de enlace de datos y física; maneja la transmisión física de datos entre dispositivos en la misma red.	Ethernet, ARP.	Comunicación física en LAN, interacción de interfaces de red, transmisión de tramas y bits en redes locales.
Capa de Internet	Dirección lógica, enrutamiento y reenvío de paquetes entre redes; determina rutas; opera como la capa de red OSI.	IP, ICMP.	Enrutamiento de paquetes a través de múltiples redes, asignación de direcciones lógicas, control de mensajes y errores.
Capa de transporte	Transferencia confiable de datos extremo a extremo; control de flujo; comprobación de errores; interfaz entre capas superiores e inferiores.	TCP, UDP.	Entrega de datos entre aplicaciones, establecimiento de conexiones seguras, envío sin conexión de datagramas.
Capa de aplicación (equivalente a OSI 5, 6 y 7)	Proporciona servicios de red directamente a las aplicaciones; gestiona protocolos que usan los usuarios; combina sesión, presentación y aplicación del OSI.	HTTP, FTP, POP3, SMTP, DNS, SSH.	Navegación web, correo electrónico, transferencia de archivos, comunicación segura entre dispositivos y servicios.

El modelo OSI tiene valor principalmente educativo y sirve como marco conceptual para diseñar protocolos que funcionen con tecnologías existentes. En la práctica, el modelo TCP/IP se convirtió en la base de las redes modernas debido a su diseño robusto, escalable y orientado a la implementación real, permitiendo el crecimiento masivo de Internet y el soporte de miles de millones de dispositivos y grandes volúmenes de tráfico. (IBM, 2025)

En la siguiente figura 27 podemos ver las principales diferencias entre modelo TCP IP y OSI

Capas según el modelo OSI		Capas según el modelo DoD	
7	Aplicación <i>Application</i>	4	Aplicación <i>Process</i>
6	Presentación <i>Presentation</i>		
5	sesión <i>Session</i>		
4	Transporte <i>Transport</i>	3	Transporte <i>Host-to-Host</i>
3	Red <i>Network</i>	2	Internet <i>Network</i>
2	Enlace de datos <i>Data Link</i>	1	Acceso al medio <i>Media</i>
1	Física <i>Physical</i>		

Figura 27.Diferencias entre modelo TCP IP y OSI (CCNA, 2025)

1.7.3.1) Protocolos industriales

El intercambio de datos entre máquinas, dispositivos y sistemas en entornos industriales mediante bus de campo o Ethernet industrial, garantizando procesos de fabricación eficientes, fiables y automatizados. (Hilscher, 2025)

En la siguiente tabla 11 podemos observar los protocolos usualmente implementados en entornos industriales, así como sus principales características.

Tabla 11. Tabla comparativa de protocolos (Cursos Aula 21, 2025)

Protocolo	Características
Modbus (RTU y TCP)	Uno de los más sencillos y extendidos, ideal para aplicaciones básicas.
PROFIBUS	Muy usado en automatización de procesos y compatible con una amplia variedad de dispositivos.
PROFINET	Evolución de PROFIBUS sobre Ethernet, con mayor velocidad y flexibilidad.
EtherNet/IP	Combina la tecnología Ethernet con el estándar industrial CIP.
DeviceNet	Basado en CAN Bus, ideal para conectar sensores y actuadores a corta distancia.
CANopen	Mencionado como uno de los protocolos utilizados.
FOUNDATION Fieldbus	Incluido dentro de los protocolos más utilizados.
ControlNet	Mencionado dentro de los protocolos del nivel de dispositivo.
EtherCAT	Mencionado como uno de los protocolos incluidos.
HART	Protocolo utilizado en el nivel de dispositivo.
CC-Link	Mencionado como bus de campo utilizado en industrias.
RS232 / RS422 / RS485	Conexiones serie punto a punto usadas en el pasado y aún presentes; tienen limitaciones para escalar la red.
CAN Bus	Base de DeviceNet y presente en comunicaciones de dispositivos.

1.7.3.2) Criterios de selección

Conocer y comprender cada uno de los criterios de selección de un protocolo de comunicación ,nos permite determinar de una manera más fácil y eficiente ,que protocolo usar dependiendo de las características con las que una determinada aplicación debe de cumplir.

En la Tabla 12 podemos encontrar un resumen de los criterios de selección acorde a los lineamientos de Mitsubishi Electric con los cuales debe de cumplir un protocolo de comunicación industrial .

Tabla 12. Criterios de selección de un protocolo industrial (Mitsubishi Electric, 2025).

N.o	Criterio de selección	Descripción
1	Rendimiento	Tanto en velocidad como en determinismo.
2	Fiabilidad	Admite arquitecturas redundantes o en anillo.
3	Medio	Óptico, cableado, inalámbrico.
4	Conexiones	Ethernet frente a estándares de conectores patentados o de otro tipo.
5	Convergencia	Capacidad de coexistir con múltiples protocolos.
6	Abierto	Respaldado por proveedores externos.
7	Probado	Estándar registrado mundialmente con antecedentes de adopción y uso.
8	Integrador	Capacidad de integrar dispositivos con otros protocolos a través del uso de un convertidor.
9	Compatible con herramientas de TI estándar	SNMP (Simple Network Management Protocol / Protocolo Simple de Administración de Red) para gestión de dispositivos y resolución de problemas.

1.7.3.3) Topología de red

La topología de red se refiere a la forma en que los nodos y las conexiones se organizan física y lógicamente en una red. (IBM, 2024)

En la tabla 13 podemos encontrar el resumen de las topologías más comunes que podemos encontrar en entornos industriales y en la figura 28 podemos encontrar una imagen representativa de las señales eléctricas.

Tabla 13. Tipos y Características de las Topología de red (IBM, 2024)

Topología	Descripción	Ventajas	Desventajas
Punto a punto	Dos nodos conectados por un único enlace donde los datos viajan ida y vuelta entre los dos puntos	Es la red más fácil de configurar.	Su simplicidad es una desventaja; no aplicable a la mayoría de los usos modernos.
Bus	Cada nodo se conecta a un solo cable central por donde fluye toda la transmisión de datos.	Topología rentable, fácil de configurar y de agregar nuevos nodos.	Una falla en el enlace central afecta a todos; menos segura; más nodos → red más lenta.
Anillo	Nodos y enlaces organizados en forma de anillo; cada nodo tiene dos vecinos; datos fluyen unidireccionalmente.	Baratas de instalar y ampliar; datos fluyen rápidamente.	Una falla en un nodo puede colapsar la red.
Doble anillo	Dos anillos concéntricos que envían datos en direcciones opuestas para proteger contra fallas.	Ofrece soporte a infraestructuras críticas; el segundo anillo cubre fallas del primero.	
Estrella	Todos los nodos conectados a un hub central,	Facilita resolución de problemas; falla de un	Falla del hub central detiene toda la red; el

	formando una estructura en estrella.	nodo no afecta al resto.	rendimiento depende del hub.
Árbol	Combinación de bus y estrella: un hub central con varias redes de estrella conectadas.	Permite conectar más dispositivos; acelera el flujo de datos; fácil identificar problemas individuales.	Mismos inconvenientes que bus y estrella: vulnerabilidad por un punto de falla.
Malla	Cada dispositivo se conecta al menos con otro; puede ser completa (todos con todos) o parcial.	Comunicación muy rápida; múltiples rutas; alta resiliencia; mayor seguridad.	Costosa de configurar; requiere muchos cables; instalación y mantenimiento complicados.
Híbrida	Combinación de varias topologías, como árbol (estrella + bus).	Ofrece flexibilidad y permite diseños específicos según necesidades.	Requiere más cableado y dispositivos; mayores costos de mantenimiento.

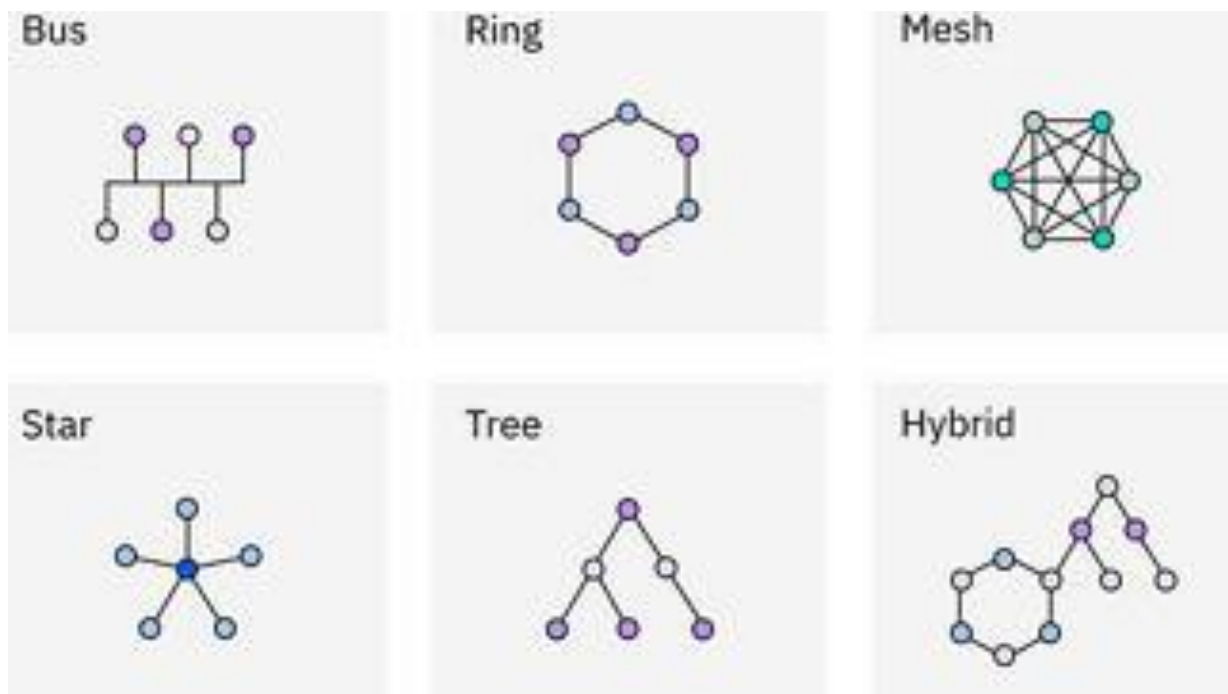


Figura 28. Topologías de red (IBM, 2024)

1.7.3.4) Medios físicos

La capa física define las especificaciones eléctricas, mecánicas, de procedimiento y funcionales para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre sistemas finales. (Todo de Redes, 2025)

Una de las funciones principales es codificar en señales los dígitos binarios que representan las tramas de la capa de Enlace de datos, además de transmitir y recibir estas señales a través de los medios físicos (alambres de cobre, fibra óptica o medio inalámbrico) que conectan los dispositivos de la red. (Todo de Redes, 2025)(Figura 29)

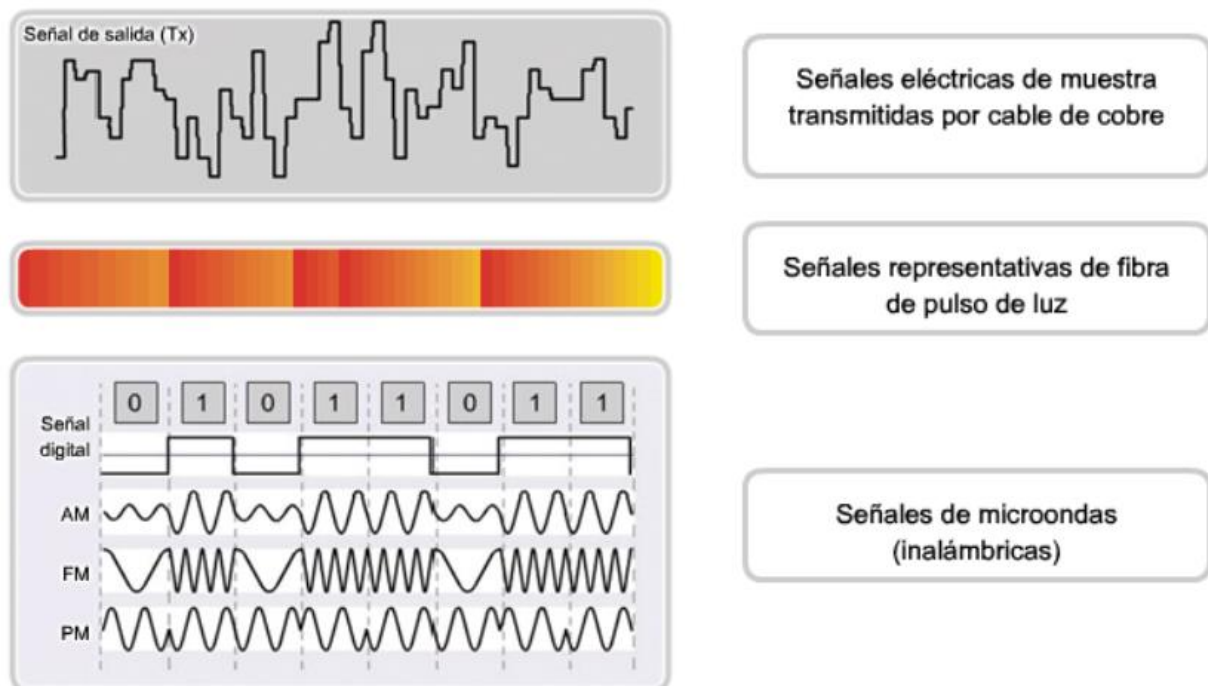


Figura 29. Representación de señales en los medios físicos (Todo de Redes, 2025).

En la tabla 14 podemos encontrar un resumen de las principales características de los medios de transmisión en base a lineamientos de la Universidad de Valencia.

Tabla 14. Características Medios de Transmisión (Universidad de Valencia, 2025)

Medio físico	Parámetros típicos	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
--------------	--------------------	----------	-------------	--------------

típicas				
Par trenzado	Dos hilos de cobre entrelazados (UTP/STP); disponible en diferentes categorías; soporta transmisión digital y analógica.	Reduce interferencia eléctrica; disponible en varias categorías; adecuado para telefonía y transmisión de datos.	Menor inmunidad al ruido que la fibra; limitado por categoría; depende del apantallamiento.	Telefonía, Ethernet, redes con conectores RJ45/RJ11.
Cable coaxial	Núcleo de cobre, aislante y malla exterior; versiones de banda base y banda ancha; robusto ante interferencias.	Robusto ante interferencias; adecuado para señales de TV y datos.	El tipo banda ancha es más costoso y complejo; menos usado hoy en día.	Televisión, transmisión de datos.
Fibra óptica	Núcleo de vidrio/plástico; transmisión óptica; monomodo y multimodo; alta inmunidad al ruido; largas distancias.	Alto ancho de banda; alta velocidad; muy inmune a interferencias electromagnéticas; adecuada para grandes distancias.	Muy cara; instalación compleja; requiere amplificadores en trayectos largos.	Redes de larga distancia; ambientes con alto ruido eléctrico.
Medios no guiados (radio, microondas, Wi-Fi, Bluetooth)	Transmisión inalámbrica mediante ondas electromagnéticas; enlaces cortos (Wi-Fi/Bluetooth) y largos (microondas).	Útiles cuando no puede tenderse cable; permiten movilidad; adecuados para distancias cortas y enlaces punto a punto extensos.	Susceptibles a interferencias; variabilidad ambiental; menor estabilidad y seguridad que medios guiados.	Conexión de dispositivos móviles; enlaces industriales inalámbricos; microondas punto a punto.

1.7.4) Normas y estándares

Una norma es un conjunto de requisitos destinados a determinar la calidad de un proceso, sistema, producto o material. Un grupo de expertos define una norma basándose en el conocimiento del sector. (ISA, 2025)

A continuación, se describen las normas más relevantes para este proyecto de automatización :

ISA: International Society of Automation / Sociedad Internacional de Automatización

Las normas ISA ayudan a los profesionales de la automatización a optimizar los procesos y mejorar la seguridad, la ciberseguridad y la eficiencia en operaciones de diversos sectores industriales. (ISA, 2025)

IEC: International Electrotechnical Commission / Comisión Electrotécnica Internacional

Es una organización no gubernamental que encabeza los trabajos de normalización para el comercio internacional de productos y servicios vinculados con las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas. Los países que participan en esta comisión informan sobre sus intereses nacionales, permitiendo regular las actividades comerciales relacionadas con estos productos y servicios. (Economía, 2025)

ISO: International Organization for Standardization / Organización Internacional de Normalización

ISO es una organización internacional independiente y no gubernamental. Reúne a expertos de todo el mundo para acordar las mejores formas de hacer las cosas. (ISO, 2025)

COFEPRIS: Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios

Proteger a la población Mexicana contra riesgos a la salud provocados por el uso y consumo de bienes y servicios, insumos para la salud, así como por su exposición a factores ambientales y laborales, la ocurrencia de emergencias sanitarias y la prestación de servicios de salud, mediante la regulación, control, vigilancia y fomento sanitario. (Cofepris, 2025)

Es importante comprender que la COFEPRIS en base a sus normas es quien evalúa y autoriza la producción de botana frita por medio de extrusión a nuestro cliente.

Estas son algunas de las normas de la COFEPRIS que más impacto tienen en la producción y venta de botanas fritas en México.

NOM-251-SSA1-2009 (Prácticas de higiene): Establece los requisitos mínimos de buenas prácticas de higiene para evitar la contaminación durante todo el proceso de producción, según el Gob MX. (NORMA Oficial Mexicana, 2025)

NOM-051-SCFI/SSA1-2010 (Etiquetado): Determina la información comercial y sanitaria que debe mostrar el empaque, como la información nutrimental, fecha de caducidad y sellos de advertencia. (NORMA Oficial Mexicana, 2025)

NOM-086-SSA1-1994 (Especificaciones nutrimentales): Se aplica si se realizan cambios en la composición del producto (por ejemplo, si se promociona como "bajo en grasa"). Esta norma define los criterios para las declaraciones sobre el contenido de grasa, grasa saturada, sodio y azúcares. (NORMA Oficial Mexicana, 2025)

Beneficios de la implementación de estándares

Las normas ofrecen numerosas ventajas. Validan que se han seguido las mejores prácticas. Además, ayudan a las organizaciones manufactureras y afines al aprovechar años de experiencia y conocimientos especializados . La norma ISA señala estos beneficios de la implementación de estándares :

1. Aumentar la seguridad humana
2. Mejorar la comunicación
3. Reducir los costos de diseño e implementación
4. Habilitar la intercambiabilidad de componentes y sistemas
5. Reducir el tiempo de inactividad y los costes de mantenimiento, y la necesidad de mantener grandes inventarios.
6. Proteger el medio ambiente natural

En la siguiente Tabla 15 ,se describen las Normas más relevantes dentro de un proyecto de automatización industrial.

Tabla 15. Normas más relevantes en los sistemas de automatización

NO	Norma	Descripción breve
1	IEC 61131 (Partes 1-10)	Estándar internacional que define los requisitos funcionales para controladores programables industriales (PLC) y sus periféricos: lenguaje de programación, pruebas, comunicaciones, seguridad funcional.
2	IEC 62443 Serie	Serie de normas horizontales que establecen un marco para la ciberseguridad de sistemas de automatización y control industrial (IACS), incluyendo procesos, productos y redes.
3	IEC 60364 Serie	Norma para instalaciones eléctricas de baja tensión, aplicable a edificaciones industriales, que cubre diseño, construcción, protección y verificación de instalaciones eléctricas.

4	IEC 60204-1	Norma para equipamiento eléctrico, electrónico y programable de máquinas industriales (≤ 1000 V AC/1500 V DC), que incluye requisitos de seguridad, EMC, puesta a tierra, protección eléctrica.
5	ISA 95 (IEC 62264)	Norma para la integración entre sistemas de control de planta y sistemas empresariales, define modelos de datos y funciones de intercambio entre producción y nivel empresarial.
6	IEEE 802.3	Norma específica que establece las características de transmisión de datos sobre distintos medios físicos (cobre, fibra óptica), velocidades (10 Mbps a 400 Gbps), topologías y técnicas de control de acceso (CSMA/CD).
7	IEC 61508	Norma específica para seguridad funcional de sistemas eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relacionados con la seguridad (E/E/PE).
8	ISO 13849 (PL)	Norma internacional que evalúa la confiabilidad y la arquitectura de los sistemas de control de seguridad en maquinaria.
9	IEC 62061(SIL)	Estándar internacional fundamental que cuantifica la confiabilidad de un sistema de seguridad para ejecutar correctamente una función de seguridad cuando se necesita

1.8) Revisión de control :estrategias, sintonía, desempeño.

En un proyecto de automatización es de suma importancia conocer las estrategias de control que se implementaran para controlar determinadas variables dentro de un proceso, así como las maneras en que dichas estrategias son ajustadas para que funciones de una manera adecuada y la correcta evaluación para determinar si se encuentran operando de la manera más eficiente.

1.8.1) Estrategias de control

Conocer las características de las estrategias de control, son fundamentales para comprender e identificar cual es la metodología más adecuada para un determinado proceso o en base al comportamiento el proceso, poder comprender de una manera más clara cuál es el sistema de control que implementa determinado proceso. Las cuales se abordan con mayor detalle en la siguiente tabla 16

Tabla 16. Comparativa de arquitecturas de control. (Seborg, 2016)

N.0	Tipo de Control / Type of Control	Descripción técnica	Características principales	Ventajas	Desventajas
1	Control en lazo abierto / Open-loop Control	Sistema donde la salida no se retroalimenta al controlador; la acción de control depende únicamente de la entrada de referencia.	No existe medición de salida. Simplicidad estructural. Bajo costo de implementación.	Bajo costo y simplicidad. Fácil de diseñar e implementar.	No corrige perturbaciones ni errores; sensible a variaciones del proceso.
2	Control en lazo cerrado / Closed-loop Control	La salida se mide y retroalimenta al controlador, que ajusta	Uso de sensores y retroalimentación. Estabilidad ante	Mantiene desempeño estable ante perturbaciones.	Mayor complejidad y costo. Requiere

		la acción de control para reducir el error.	perturbaciones. Precisión superior.	Mayor precisión y robustez.	calibración y mantenimiento.
3	Control en cascada / Cascade Control	Utiliza un controlador maestro y otro esclavo para mejorar la respuesta ante perturbaciones en variables intermedias.	Dos lazos interconectados. Mejora dinámica de respuesta. Control jerárquico.	Mayor rapidez y estabilidad frente a perturbaciones internas.	Diseño y sintonía más complejos; requiere mediciones adicionales.
4	Control con realimentación anticipada / Feed-forward Control	Compensa perturbaciones antes de que afecten la salida mediante un modelo predictivo del proceso.	Requiere conocimiento del modelo del proceso. Actuación preventiva.	Reduce efectos de perturbaciones antes de que ocurran.	Precisión dependiente del modelo; difícil de implementar si el proceso es no lineal.
5	Control en razón o relación / Ratio Control	Mantiene una relación fija entre dos o más variables de proceso, ajustando automáticamente una de ellas.	Uso de sensores proporcionales. Ideal en mezclas o dosificaciones.	Mantiene proporciones constantes; útil en procesos de mezcla.	Requiere sensores precisos; sensible a errores de medición.
6	Control de relación selectiva / Selective Control	Controla una variable basada en la señal más crítica o limitante de un conjunto de mediciones.	Selección de señal mínima o máxima. Protección de equipos o límites de seguridad.	Previene condiciones peligrosas. Estable en operaciones críticas.	Puede reducir eficiencia al priorizar condiciones extremas.
7	Control en promedio / Averaging Control	Regula una variable promedio de múltiples mediciones distribuidas.	Promedia señales de sensores múltiples. Uso común en grandes reactores u hornos.	Representa mejor el comportamiento global del proceso.	Pérdida de precisión local; requiere múltiples sensores.

8	Control adaptativo / Adaptive Control	Ajusta automáticamente los parámetros del controlador en función de cambios en el proceso.	Algoritmos autoajustables. Alta flexibilidad ante variaciones dinámicas.	Óptimo ante condiciones variables. Reduce intervención humana.	Complejidad computacional elevada; riesgo de inestabilidad si se diseña mal.
9	Control predictivo basado en modelo / Model Predictive Control (MPC)	Utiliza un modelo matemático para predecir el comportamiento futuro del sistema y optimizar la acción de control.	Basado en optimización multivariable. Considera restricciones.	Control eficiente y óptimo en procesos complejos.	Alto costo computacional; requiere modelo preciso del sistema.
10	Control distribuido / Distributed Control System (DCS)	La función de control se reparte entre varios controladores conectados mediante una red de comunicación.	Arquitectura jerárquica. Supervisión centralizada. Alta escalabilidad.	Alta confiabilidad. Mantenimiento sencillo. Flexibilidad de expansión.	Costo inicial elevado. Complejidad en la integración de redes.

1.8.2) Sintonía de control / Tuning Methods

Una vez que conocemos las distintas estrategias de control más usadas en la automatización industrial, podemos analizar los métodos que se emplean para la sintonía/ ajuste en cada una de ellas. (Tabla 17)

Tabla 17. Métodos de sintonía PID (Tuning Methods). (Seborg, 2016)

N.o	Tuning Method (English / Español)	Características	Ventajas	Desventajas
1	Ziegler–Nichols Method / Método de Ziegler–Nichols	Basado en la ganancia y periodo último del proceso; método empírico ampliamente difundido.	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido y fácil de aplicar. - No requiere modelo matemático del proceso. - Sirve como punto de partida para ajustes posteriores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede generar sobre impulso alto. - Menor robustez ante perturbaciones. - Desempeño pobre en procesos con gran retardo.
2	Cohen–Coon Method / Método de Cohen–Coon	Derivado de un modelo de primer orden con retardo (FO-PTD); optimiza la respuesta considerando tiempo muerto.	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor precisión que Z–N. - Mejora la respuesta ante procesos lentos. - Reduce el error estacionario. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil de aplicar sin un modelo adecuado. - Menos robusto ante ruido o variaciones del proceso.
3	Internal Model Control (IMC) / Control con Modelo Interno	Basado en un modelo matemático del proceso; introduce un filtro (λ) que define la rapidez de respuesta.	<ul style="list-style-type: none"> - Robusto ante perturbaciones y errores de modelado. - Permite ajustar directamente el compromiso entre rapidez y estabilidad. - Diseño sistemático. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere un modelo preciso. - No siempre es aplicable en sistemas con fuerte no linealidad.

4	Simplified IMC (SIMC) / Método IMC Simplificado (Skogestad)	Variante simplificada del IMC; el tiempo de ajuste λ se toma como el máximo entre la constante de tiempo y el retardo.	<ul style="list-style-type: none"> - Solo requiere un parámetro de ajuste. - Buen balance entre rapidez y robustez. - Aplicable a una amplia variedad de procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible a errores en la estimación del retardo. - No garantiza desempeño óptimo en sistemas no lineales.
5	Lambda Tuning / Sintonía Lambda (λ)	Controla el tiempo de respuesta deseado en lazo cerrado mediante un parámetro λ definido por el usuario.	<ul style="list-style-type: none"> - Permite definir el desempeño dinámico deseado. - Asegura estabilidad y suavidad en la respuesta. - Simple de implementar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitado a modelos de primer orden con retardo. - Puede ser conservador (respuesta lenta).
6	AMIGO Method / Método AMIGO	Basado en la optimización de la ganancia integral con restricciones de robustez (M-constrained).	<ul style="list-style-type: none"> - Balancea precisión, estabilidad y robustez. - Adecuado para sistemas con gran retardo. - Buen desempeño en controladores PI/PID. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere un modelo bien identificado. - Mayor complejidad computacional.
7	Direct Synthesis (DS) / Síntesis Directa	Calcula los parámetros PID directamente a partir de una función de transferencia deseada de lazo cerrado.	<ul style="list-style-type: none"> - Permite diseñar la dinámica deseada del sistema. - Método analítico y reproducible. - Facilita la integración con simulación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible a errores de modelado. - Difícil de aplicar en sistemas no lineales o con incertidumbre.
8	ITAE Criterion / Criterio ITAE (Integral of Time-weighted Absolute Error)	Minimiza el error absoluto ponderado en el tiempo para lograr una respuesta suave y sin sobreimpulso.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la respuesta transitoria. - Minimiza error estacionario y oscilaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere análisis matemático. - No siempre aplicable en tiempo real.

			- Ofrece un control estable y preciso.	
9	Relay Auto-tuning / Auto-sintonía por Relé	Técnica experimental que introduce oscilaciones en el lazo cerrado para estimar la ganancia y periodo último automáticamente.	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere modelo previo. - Puede realizarse con el proceso en operación. - Método rápido y práctico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede provocar oscilaciones no deseadas. - Riesgo de inestabilidad temporal. - Requiere supervisión en procesos sensibles.

1.8.3) Desempeño del control

Sobre el desempeño y evaluación de los sistemas de control , la Technological University Dublin / Universidad Tecnológica de Dublín menciona lo siguiente :

El monitoreo de las variables de proceso es útil, no solo para evaluar el estado del proceso, sino también para controlar la calidad del producto.

En las pruebas de miles de lazos de control en cientos de plantas operativas, Techmation Inc. y otros han descubierto que más del 30 % de los lazos de control automáticos en realidad aumentan la variabilidad en comparación con el control manual debido a una mala calibración del controlador.

Una razón por la que tantos lazos de control funcionan de forma deficiente es que a menudo hay numerosos lazos (más de mil) en una planta de proceso grande y no hay suficientes ingenieros de control para mantenerlos todos.

Señalan que para garantizar la máxima calidad del producto es fundamental mantener el sistema de control de forma adecuada.

Analizar cómo la práctica estándar actual para el control de procesos industriales consiste en instalar plataformas de sistemas de control distribuido (DCS) y PLC. Estas plataformas acumulan grandes volúmenes de datos de proceso, pero existen muy pocas herramientas de minería de datos. Resulta evidente, por lo tanto, la necesidad de una evaluación y monitorización automáticas del rendimiento del lazo de control. El objetivo de la monitorización debe ser proporcionar información que permita evaluar el estado actual del controlador existente y ayudar a los ingenieros de control a decidir si es necesario un rediseño

Cuando se determina que el rendimiento del controlador es inadecuado, es importante comprobar si se puede alcanzar un nivel de rendimiento aceptable con la estructura de control existente

Con estos objetivos en mente, el siguiente paso es revisar algunas de las técnicas existentes para la evaluación del rendimiento del lazo. Se decidió dividir las técnicas de evaluación en las siguientes categorías:

1. Evaluación en el dominio del tiempo,
2. Evaluación en el dominio de la frecuencia,
3. Control de varianza mínima (CVM) como referencia,
4. Técnicas de análisis estadístico
5. Otros métodos de evaluación

En la Tabla 18 podemos encontrar las características de los distintos métodos de evaluación.

Tabla 18. Métodos de evaluación del desempeño en lazo de control (Technological University Dublin , 2004).

Método	Características	Ventajas	Desventajas
1. Time Domain Assessment (Evaluación en el dominio del tiempo)	Evalúa el rendimiento del lazo de control mediante la respuesta transitoria (tiempo de subida, tiempo de asentamiento, sobreimpulso, error estacionario). Usa índices como IAE, ISE, ITAE e IE.	Fácil de interpretar; permite cuantificar el desempeño directamente desde la respuesta temporal; aplicable a la mayoría de los sistemas de control.	Sensible al ruido y perturbaciones; no traduce fácilmente los resultados a un valor económico; puede requerir datos limpios y bien muestreados.
2. Frequency Domain Assessment (Evaluación en el dominio de la frecuencia)	Analiza el comportamiento de lazo cerrado mediante diagramas de Bode, Nyquist y Nichols; usa márgenes de ganancia y fase, y el módulo máximo del lazo cerrado	Permite evaluar estabilidad y robustez; adecuado para sistemas lineales; útil para diagnóstico de desempeño y rediseño de controladores.	Más complejo de implementar; requiere análisis de frecuencia; difícil de aplicar directamente a señales con ruido o sistemas no lineales.
3. Minimum Variance Control (MVC) as a Benchmark (Control de	Usa el principio de control de varianza mínima para comparar el desempeño real con el ideal; cuantifica	Proporciona una medida objetiva del potencial de mejora del lazo; ampliamente usado	Puede requerir datos y modelos precisos; puede producir acciones de control muy

Varianza Mínima como referencia)	la distancia del sistema respecto al rendimiento óptimo teórico.	como referencia; aplicable en entornos industriales.	agresivas; no siempre alcanzable en la práctica.
4. Statistical Analysis Techniques (Técnicas de análisis estadístico)	Evalúan el desempeño mediante indicadores estadísticos (por ejemplo, índice RPI, gráficos de control, análisis de hipótesis). Se basa en la correlación entre variables y errores.	Identifica degradación del control sin necesidad de cambiar parámetros; útil para monitoreo continuo y detección de fallos.	Requiere historial de datos largo; interpretación compleja; puede no identificar la causa exacta de un mal desempeño.
5. Other Assessment Techniques (Otros métodos de evaluación)	Agrupar técnicas específicas para diagnóstico de problemas particulares, como detección de oscilaciones, fricción estática o comportamientos no lineales.	Permite identificar causas específicas de bajo rendimiento (oscilaciones, saturación, histéresis); aplicable a sistemas reales con ruido.	No generalizables; usualmente dependen de algoritmos o condiciones particulares; pueden requerir conocimiento previo del sistema.

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

El equipo se reubicó en una nueva nave industrial debido al crecimiento de la planta del cliente y durante ese proceso se determinó actualizar los distintos sistemas que conforman la máquina: el sistema mecánico, el sistema eléctrico y el sistema de control analógico - manual con el que opero su equipo desde hace años. (Figura 30).



Figura 30. Ubicación anterior del equipo antes de ser reubicado.

El sistema de control analógico-manual se conformaba principalmente de relevadores, contactores, temporizadores analógicos, botones, flujómetros y celdas de pesaje , todo esto conformando una estrategia de control en lazo abierto para el control del proceso de fabricación de botanas fritas a base de extrusión (Figura 31).



Figura 31. Control Analógico-Manual.

El control anterior contaba con algunos variadores de frecuencia, pero solo uno funcionaba y se encontraba operando mediante entradas y salidas digitales discretas, cableadas a contactos de relevadores y temporizadores. (Figura 32).



Figura 32. VDF de los rodillos extrusores controlado mediante entradas y salidas cableadas

2.2 Levantamiento de Entradas y Salidas

Se realizó el levantamiento e identificación de señales de entradas y salidas (Tabla 19 y 20) requeridas para el proceso, así como el tipo de señal y nivel de voltaje de operación. Lo cual nos permitió realizar un diagrama eléctrico, así como la selección del PLC y HMI a programar.

Tabla 19. Señales eléctricas de Entradas Identificadas

Señales de Entradas Identificadas				
No	Descripción	Tipo	Estado	Voltaje
1	Paro de Emergencia Tablero mezcladora.	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
2	Subir tasa	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
3	Descargar Harina	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
4	Paro de Mezclador	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
5	Arranque del Mezclador	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
6	Encender Aspas	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
7	Bajar Tina	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
8	Subir Tina	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
9	Confirmación Tina Abajo	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC

10	Confirmación Tina Arriba	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
11	Confirmación de Guarda de Mezclador Abierta	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
12	Paro de Emergencia en Tablero Local	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
13	Selector de control On - Off	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
14	Señal Flujo de Agua	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
15	Señal Flujo de Aceite	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
16	Señal Peso de Harina	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
17	Paro de Emergencia Cordón de Seguridad	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
18	Botón Jog de Seguridad	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
19	Sensor Nivel Max de Masa en Tolva	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
20	Confirmación Compuesta de Harina Cerrada	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC

Tabla 20 Señales de Salidas Identificadas.

Señales de Salidas Identificadas				
No	Descripción	Tipo	Estado	Voltaje
1	Tornillo elevador de Harina	Digital	Apagado	24 VDC
2	Bajar Tina de Mezclado	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
3	Subir Tina de Mezclado	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
4	Vibrador de Harina	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
5	Banda Transportadora de Masa	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
6	Banda Elevadora de Masa	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
7	Aspas de Mezclador	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
8	Electroválvula Compuerta de Harina	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC
9	Electroválvula de Agua	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
10	Electroválvula de Aceite	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
11	Luz Amarilla, Tina Abajo	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
12	Luz Verde, Tina Arriba	Digital	Normalmente Cerrado	24 VDC
13	Luz Roja, Paro de Emergencia Activo	Digital	Normalmente Abierto	24 VDC

2.3 Selección del PLC

En base al levantamiento de las señales de entradas y salidas, se presentó al cliente una tabla comparativa de modelos de PLC`s de distintas marcas comerciales disponibles adecuados para la aplicación (Tabla 21): Allen-Bradley, Siemens, Schneider y Omron ,que cumplieran con los requerimientos buscados.

Tabla 21. Tabla comparativa de modelos de PLC.

Característica Técnica	Allen-Bradley Micro 850 (2080-LC50-48QWB)	Siemens S7-1200 (1214C AC/DC/Rly)	Schneider M221 (TM221CE40R)	Omron CP1E (CP1E-N40SDR-A)
Alimentación	120/240 V AC	120/230 V AC	24 V DC (Modelo AC disponible)	100-240 V AC
E/S Digitales Integradas	28 Entradas (20 DC / 8 AC)	14 Entradas DC	24 Entradas DC	24 Entradas DC
Salidas Digitales Integradas	20 Salidas (Relé)	10 Salidas (Relé)	16 Salidas (Relé)	16 Salidas (Relé)
E/S Analógicas Integradas	4 Entradas (0-10V)	2 Entradas (0-10V)	2 Entradas (0-10V)	2 Entradas (0-10V)
Memoria de Programa	100 KB	100 KB	20 MB	10k Pasos (aprox)
Capacidad de Expansión	Hasta 4 módulos de E/S	Hasta 8 módulos de E/S + 3 módulos comunicación	Hasta 7 módulos de expansión	Hasta 6 módulos de expansión
Puerto Ethernet	Sí (EtherNet/IP)	Sí (Profinet/Modbus TCP)	Sí (Modbus TCP)	Opcional (Módulo Ethernet)
Puertos Seriales	RS-232/RS-485	RS-485 (Vía Signal Board opcional)	RS-232/RS-485	RS-232C integrado

Control de Movimiento	Hasta 3 ejes PTO/Pulsos	PTO y funciones integradas	PTO y funciones integradas	Posicionamiento simple
Software de Programación	Connected Components Workbench (CCW)	TIA Portal Basic	EcoStruxure Machine Expert Basic	CX-Programmer / Sysmac Studio
Ventaja Clave	Software de programación gratuito, E/S integradas abundantes.	Potente integración con HMI Siemens y VFDs, gran ecosistema.	Excelente relación calidad/precio, funciones de movimiento simples.	Fácil de usar para aplicaciones básicas, alta confiabilidad.

Se determinó usar un PLC Micro 850 con modelo 2080-LC50-48QWB (Figura 33) de la marca Allen-Bradley en base a :

1. Integración de Ecosistema y Estandarización:

- La fácil integración con otros componentes de Rockwell, como los HMIs PanelView 800 y los VFDs PowerFlex 525.
- La planta del cliente ya utiliza equipos Allen-Bradley, lo que simplifica el inventario de repuestos y la capacitación del personal.
- El personal de Mantenimiento ya está familiarizado con la marca por lo que puede diagnosticar y resolver problemas más rápidamente.

2. Software de Programación Gratuito y Unificado (CCW):

- El software Connected Components Workbench (CCW) es gratuito para la versión básica que programa este PLC, lo que representa un ahorro de costos significativo frente a competidores como Siemens (TIA Portal) u Omron (Sysmac Studio), que suelen requerir licencias pagadas.
- CCW también programa los HMIs y VFDs, optimizando la ingeniería.

3. Abundancia de E/S Integradas:

- El modelo 48QWB ofrece un buen número de E/S integradas (28 DI, 20 DO, 4 AI) directamente en la unidad base.
- Esto evita adquirir costosos módulos de expansión para esta aplicación.

4. Conectividad EtherNet/IP de Serie:

- Incluye un puerto Ethernet/IP integrado, el protocolo ampliamente usado en el sector industrial

5. Robustez y Soporte Global:

- Allen-Bradley es una marca reconocida por su calidad de construcción robusta y una red de soporte global y local muy extensa, lo cual es destacable para el mantenimiento a largo plazo.

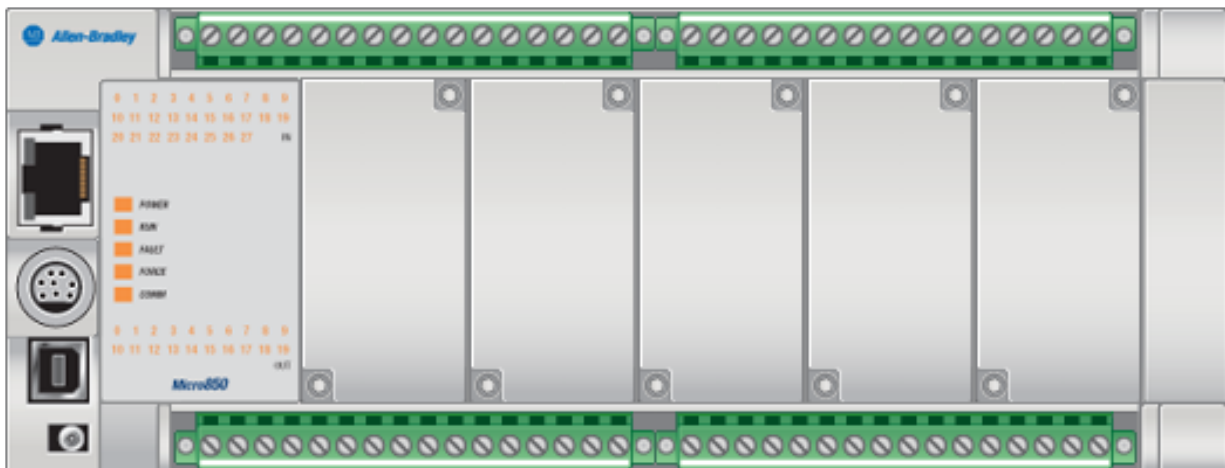


Figura 33. PLC Micro 850 2080-LC50-48QWB Seleccionado (Rockwell Automation, 2025).

2.4 Selección del HMI

En base a la selección del PLC , se presentó al cliente una tabla comparativa de modelos de HMI`s de distintas marcas comerciales disponibles (Tabla 22) : Allen-Bradley, Siemens, Schneider y Omron ,que cumplían con los requerimientos de la aplicación.

Tabla 22. Tabla comparativa de modelos de HMI

Característica Técnica	Allen-Bradley PV 800 (2711R-T7T)	Siemens KTP700 Basic (6AV2123-2GB03-0AX0)	Schneider Harmony (HMI-BSC7T)	Omron NB7W (NB7W-TW00B)
Tamaño de Pantalla	7 pulgadas	7 pulgadas	7 pulgadas	7 pulgadas
Tipo de Pantalla	TFT LCD Color	TFT LCD Color	TFT LCD Color	TFT LCD Color
Resolución	800 x 480 px (WVGA)	800 x 480 px (WVGA)	800 x 480 px (WVGA)	800 x 480 px (WVGA)
Tipo de Entrada	Táctil resistiva	Táctil resistiva y Teclas	Táctil resistiva	Táctil resistiva
Alimentación	24 V DC	24 V DC	24 V DC	24 V DC
Puertos Ethernet	1 (10/100 Mbps)	1 (10/100 Mbps)	1 (10/100 Mbps)	1 (10/100 Mbps)
Puertos Seriales	RS-232/422/485	RS-485/RS-232 (conector DB9)	RS-485/RS-232	RS-232/RS-422/485
Memoria de Usuario	256 MB Flash	10 MB configurables	64 MB Flash	128 MB Flash
Grado de Protección	IP65 (frontal)	IP65 (frontal)	IP65 (frontal)	IP65 (frontal)

Software de Programación	Connected Components Workbench (CCW)	TIA Portal Basic	EcoStruxure Machine Expert	NB-Designer
Ventaja Clave	Integración nativa con Micro800/MicroLogix, software gratuito.	Fuerte integración con PLCs Siemens (TIA Portal), funcionalidad avanzada.	Buena relación calidad-precio, soporta múltiples protocolos.	Facilidad de uso con PLCs Omron, interfaz de usuario intuitiva.

Se determinó usar un HMI 2711R-T7T (Figura 34) de la marca Allen-Bradley en base a :

1. Integración de Ecosistema Rockwell:

- La razón principal es la integración nativa con los controladores Allen-Bradley, específicamente las familias Micro800 y MicroLogix.
- La comunicación EtherNet/IP entre el PLC y el HMI es plug-and-play, lo que simplifica la configuración y reduce los errores de comunicación.

2. Software de Programación Unificado (CCW)

- Este HMI se programa utilizando el software gratuito Connected Components Workbench (CCW), que también se utiliza para los PLCs Micro800 y los VDFs PowerFlex 525.
- Usar una sola plataforma de software para múltiples componentes reduce la curva de aprendizaje y optimiza el tiempo de desarrollo del proyecto.

3. Facilidad de Mantenimiento y Estandarización:

- La planta del cliente cuenta con equipos Allen-Bradley, lo que simplifica el inventario de piezas de repuesto y la formación del personal de mantenimiento.
- El personal de Mantenimiento ya está familiarizado con la marca por lo que puede diagnosticar y resolver problemas más rápidamente.

4. Certificaciones y Robustez Industrial:

- El dispositivo cuenta con certificaciones industriales robustas (IP65, UL, CE) y está diseñado para soportar las condiciones típicas del entorno industrial

(choque, vibración, temperaturas de operación específicas), asegurando una alta confiabilidad.



Figura 34. HMI 2711R-T7T (Rockwell Automation, 2025)

2.5 Selección del Variador de Frecuencia (VDF)

En base a la selección del PLC y pese a que se contaba con un variador funcional del control anterior un PowerFlex 525 de 10 HP a 220 VAC .Se presentó al cliente una tabla comparativa de modelos de VDF de distintas marcas comerciales disponibles: Allen-Bradley, Siemens, Schneider y Danfoss ,que cumplieran con los requerimientos de la aplicación.(Tabla 23)

Tabla 23.Tabla comparativa de modelos de VDF

Característica Técnica	Allen-Bradley PowerFlex 525 (25B-B032N104)	Siemens SINAMICS G120C (ej. 6SL3210-1KE28-0AF1)	Schneider Electric Altivar 320 (ej. ATV320U75N4B)	Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 (ej. 131H2230)
Potencia	10 HP (7.5 kW)	10 HP (7.5 kW)	10 HP (7.5 kW)	10 HP (7.5 kW)
Voltaje de Entrada	200–240 V CA, trifásico	200–240 V CA, trifásico	200–240 V CA, trifásico	200–240 V CA, trifásico
Corriente de Salida	32.2 A	~26 A (varía por modelo)	17 A (para modelo 400V, puede diferir)	31 A
Grado de Protección	IP20 (tipo abierto)	IP20 (tipo abierto)	IP20 (compacto, otros opcionales)	IP20 (otros opcionales)
Comunicación	EtherNet/IP y RS-485 integrados	PROFINET, PROFIBUS, EtherNet/IP, USS/Modbus RTU (depende del módulo)	Modbus y CANopen integrados, opciones para EtherNet/IP, Profinet, etc.	Múltiples protocolos opcionales (PROFINET, EtherNet/IP, PROFIBUS, etc.)
Funciones de Seguridad	Safe Torque-Off (STO) integrado (certificación PLe/SIL2)	Safe Torque-Off (STO) integrado	STO, SLS, SS1, SMS, etc. (cinco funciones)	Safe Torque Off y Safe Stop (integrados)
Control de Motor	V/Hz, vectorial sin sensores, vectorial en lazo cerrado	V/f, vectorial sin sensores (SVC), vectorial en lazo cerrado	V/Hz, vectorial sin sensores, V/F 5 puntos, motor sincrónico	V/Hz, vectorial sin sensores, vectorial en lazo cerrado

Característica Adicional	Núcleo de control extraíble para facilitar la configuración	Amplia integración en el portal TIA de Siemens	Funciones de seguridad avanzadas y lógica ATV integrada	Funcionalidad de control de movimiento avanzada (IMC)
---------------------------------	-------------------------------------------------------------	------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

El cliente determinó reutilizar el VDF PowerFlex 525 de 10 HP a 220 VAC, pero esta vez controlado mediante protocolo EthernetNet/IP (Figura 35), en base a:

1. Integración Superior con el Ecosistema Rockwell

- La planta del Cliente ya utiliza PLCs Allen-Bradley y el PowerFlex 525 se integra perfectamente mediante EtherNet/. Esto permite la configuración, el control y el diagnóstico completos directamente desde el software del PLC, reduciendo drásticamente el tiempo de puesta en marcha.

2. EtherNet/IP Integrado de Serie

- A diferencia de muchos competidores donde la conectividad Ethernet es un módulo opcional que aumenta el costo, el PowerFlex 525 incluye un puerto EtherNet/IP integrado de serie. Esto lo hace más económico para aplicaciones que requieren comunicación en red.

3. Flexibilidad de Mantenimiento y Configuración

- Su diseño modular permite separar el módulo de control del módulo de potencia. La función de "copiado" de parámetros a través del módulo de control (HIM) o el software CCW facilita la sustitución rápida de variadores dañados sin necesidad de reprogramar, minimizando el tiempo de inactividad.
- La planta del cliente cuenta con equipos Allen-Bradley, lo que simplifica el inventario de piezas de repuesto y la formación del personal de mantenimiento.
- El personal de Mantenimiento ya está familiarizado con la marca por lo que puede diagnosticar y resolver problemas más rápidamente.
- Ahorro del costo significativo de un nuevo VDF al reciclar el encontrado en el sistema de control anterior.

4. Amplio Rango de Temperatura Operativa

- El PowerFlex 525 tiene uno de los rangos de temperatura más amplios del mercado (-20 °C a 70 °C con derating), lo que lo hace adecuado para una variedad de entornos industriales severos.

5. Funciones de Seguridad Integradas (STO)

- Cuenta con Safe Torque-Off (STO) certificado según los estándares PLe/SIL2 como característica estándar. Esto simplifica el cumplimiento de las normas de seguridad de la maquinaria (IEC 60204-1).



Figura 35. Familia de VDF PowerFlex 525 Estructura D (Rockwell Automation, 2025).

2.6 Selección de la topología de comunicación

Se implemento una configuración en estrella de la comunicación Ethernet/IP entre el PLC, HMI y VDF mediante un Switch Ethernet/IP de 5 puertos para generar una red de comunicación. (Figura 36), debido a que la topología en **Estrella** es la topología predominante en las redes Ethernet industriales modernas (como EtherNet/IP y PROFINET) y suele ser la elección recomendada por defecto debido a las siguientes ventajas cuantificables y normativas:

1. **Facilidad de Diagnóstico y Mantenimiento :**

En un sistema en estrella, cada dispositivo tiene su propio cable dedicado que va al switch central. Si un cable o dispositivo falla, el switch puede identificar exactamente qué puerto dejó de funcionar. El resto de la red sigue operando sin interrupción. Esto reduce drásticamente el tiempo medio de reparación en comparación con un bus donde un fallo puede paralizar toda la red.

2. **Alto Rendimiento y Ancho de Banda Dedicado:**

Gracias al uso de switches Ethernet, cada conexión es punto a punto. Los dispositivos pueden comunicarse en full-duplex (enviar y recibir datos simultáneamente) a 100 Mbps o 1 Gbps sin colisiones de datos. Esto garantiza una latencia baja y predecible, esencial para aplicaciones de control en tiempo real.

3. **Facilidad de Escalabilidad:**

La expansión es simple: basta con conectar el nuevo dispositivo a un puerto de switch disponible. No se requiere "cortar la línea" o recalcular terminaciones de bus como en la topología de bus/línea.

4. **Cumplimiento de Normas de Ciberseguridad (IEC 62443):**

La topología en estrella facilita la implementación de la norma IEC 62443 al permitir la segmentación lógica de la red en diferentes zonas y conductos utilizando switches gestionados y firewalls. Esto es crucial para proteger los sistemas de control industrial (ICS) de amenazas cibernéticas.

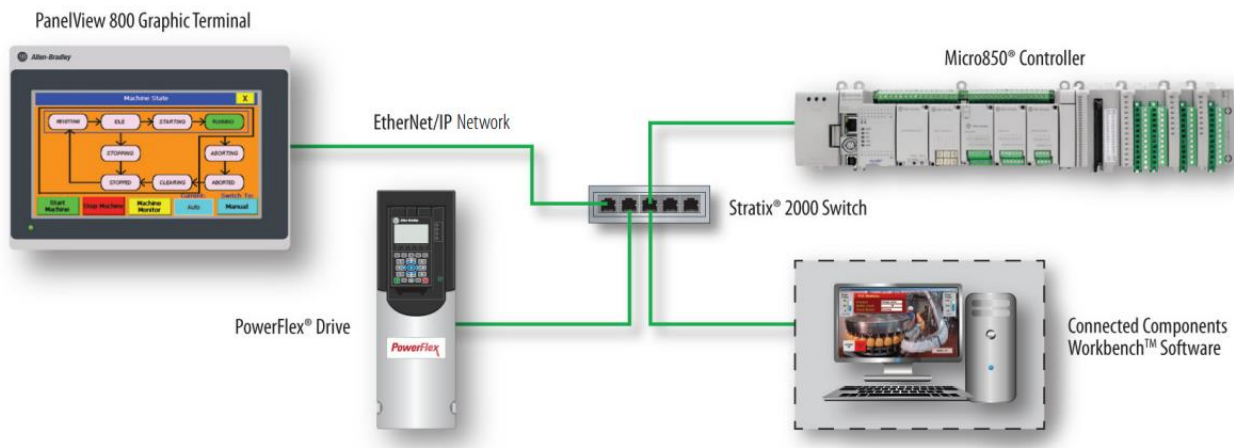


Figura 36. Topología Ethernet/IP en Estrella con PLC, HMI Y VDF (Rockwell Automation, 2025).

2.7 Selección del software de programación.

El software llamado Connected Components Workbench (CCW) proporcionado por el fabricante Allen-Bradley fue el seleccionado para realizar la programación y configuración de los dispositivos de control al usar un solo programa para el PLC, HMI y VDF. (Figura 37)

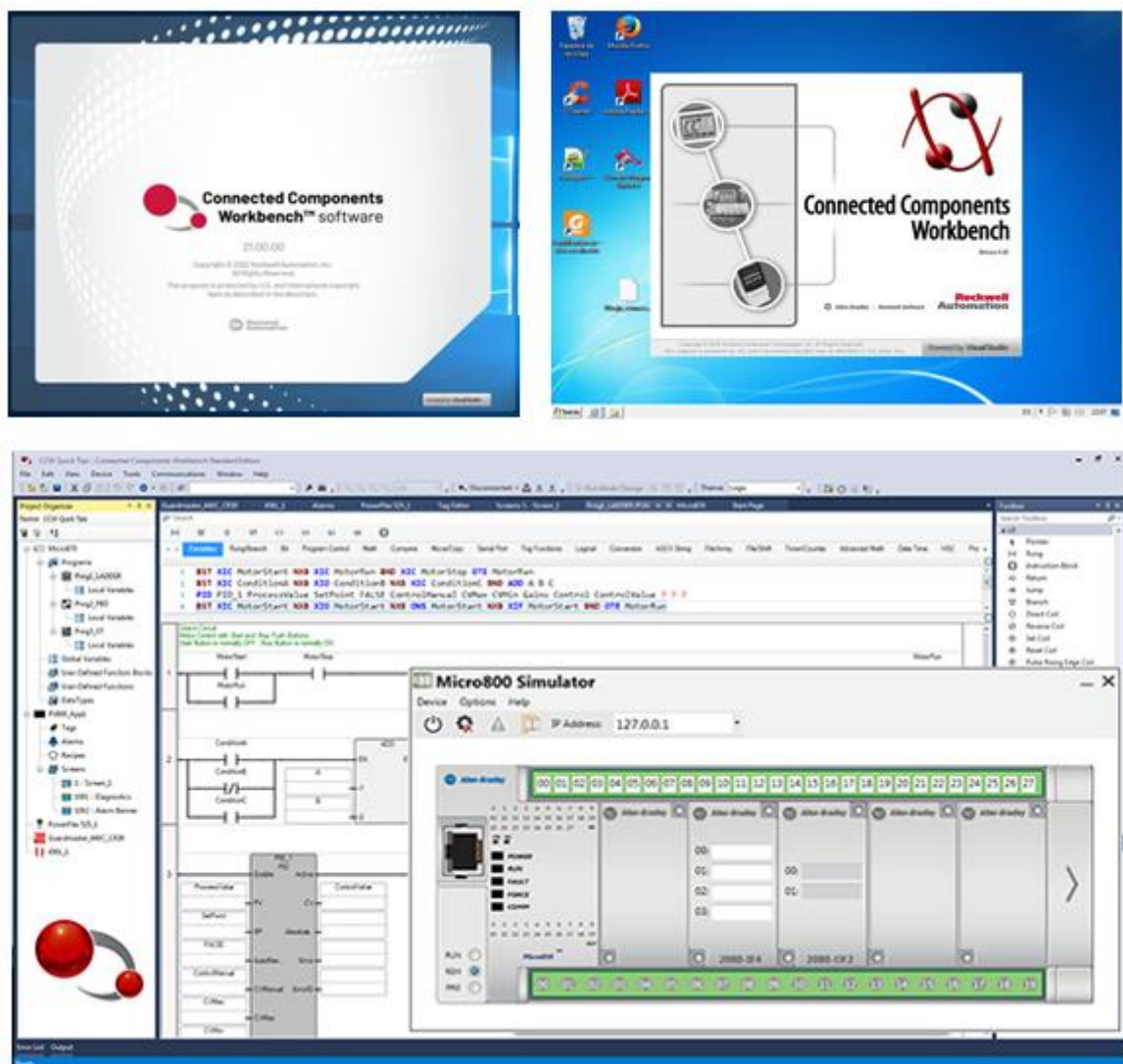


Figura 37. Connected Components Workbench (CCW) (Rockwell Automation, 2025).

Es un software gratuito que se puede descargar desde el sitio web de Rockwell Automation y agrupa varias familias de varios componentes de automatización (Figura 38) en un mismo entorno de programación y configuración de:

- Integrar con una interfaz hombre-máquina (HMI).
- Programar y simular controladores.
- Configurar dispositivos de seguridad.
- Diseñar, comprobar y depurar en diferentes lenguajes de programación.



Figura 38. CCW permite programar varias familias de varios componentes de automatización (Rockwell Automation, 2025).

El software Connected Components Workbench (CCW) de Rockwell Automation permite programar, configurar y diseñar dispositivos de automatización. Algunos de los dispositivos que se pueden programar con CCW son lo podemos encontrar en las figuras 39 a la 47 :



Figura 39. Controladores Micro 800 (Rockwell Automation, 2025).



Figura 40. Controladores Micro 870 (Rockwell Automation, 2025).



Figura 41. Terminales gráficos PanelView 800 (Rockwell Automation, 2025).



Figura 42. Variadores PowerFlex (Rockwell Automation, 2025)



Figura 43. Arranadores suaves SMC (Rockwell Automation, 2025).



Figura 44. Servo Drives Kinetix (Rockwell Automation, 2025).



Figura 45. Relé electrónico de sobrecarga E200 (Rockwell Automation, 2025)



Figura 46. Relé electrónico de sobrecarga E300 (Rockwell Automation, 2025).



Figura 47. Relés de seguridad programables 440C-CR30 (Rockwell Automation, 2025).

2.8 Diagrama eléctrico

Con base en los dispositivos y elementos eléctricos identificados en el levantamiento de entradas y salidas, se diseñó un diagrama eléctrico en el software AutoCAD del nuevo sistema de control digital-semiautomático (Figura 48).

En el diagrama eléctrico podemos encontrar las conexiones del VDF reciclado del control anterior e implementado en el control de los tornillos extrusores para el traslado de la masa, así como la IP 192.168.0.3 asignada para una comunicación y control EtherNet/IP con el PLC y el HMI.

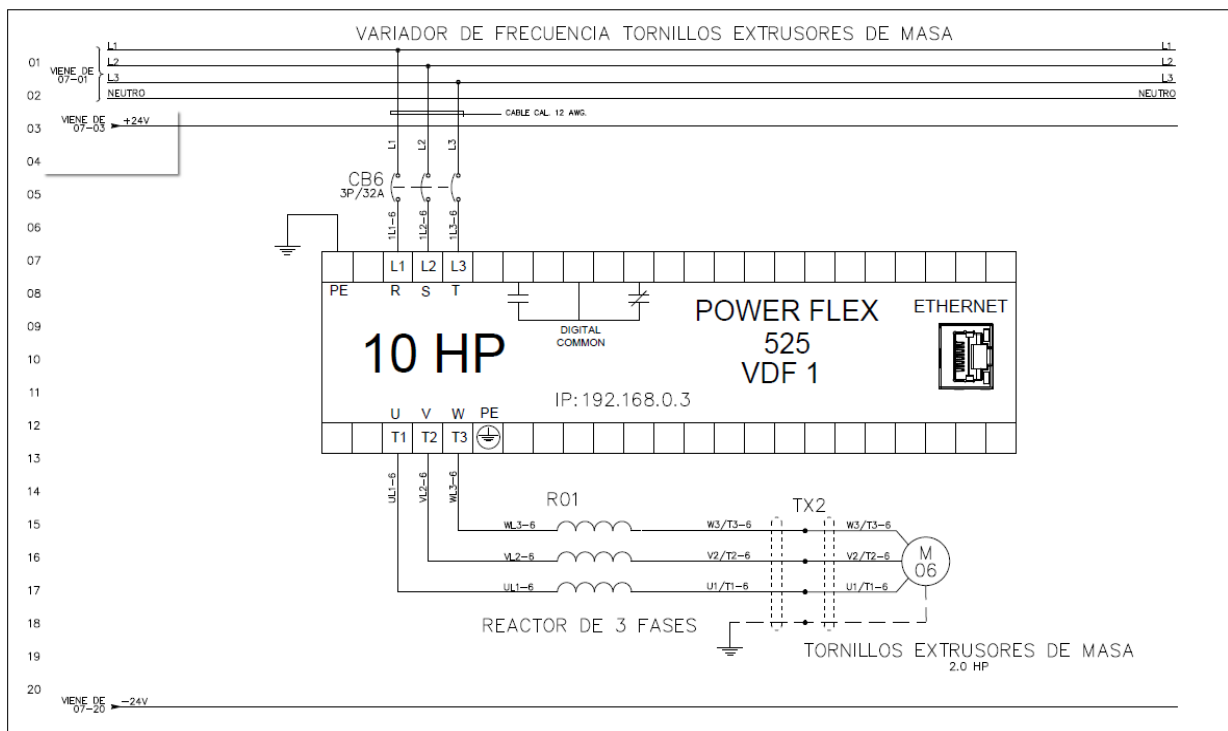


Figura 48. Diagrama eléctrico del VDF de los tornillos extrusores para el traslado de masa.

En estas otras secciones del diagrama eléctrico realizado podemos apreciar de una manera ordenada las entradas y salidas del PLC en base al levantamiento eléctrico. Así como la asignación de alguna etiqueta o nombre para su posterior identificación en la programación (Figura 49 y 50).

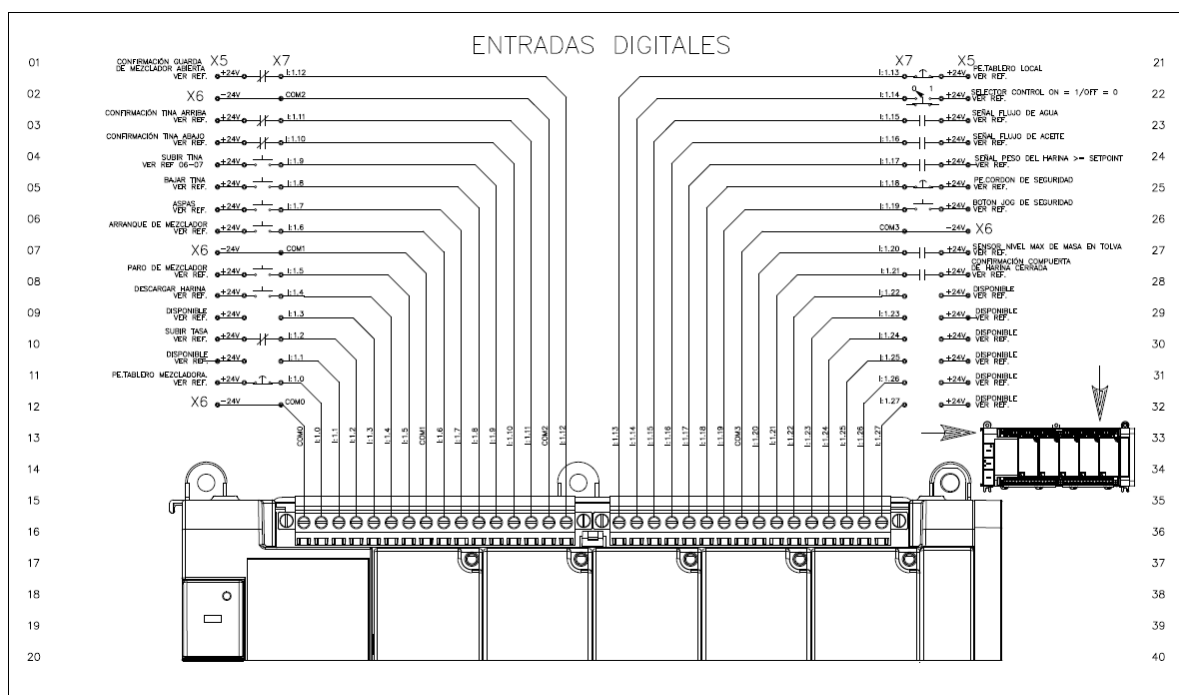


Figura 49. Diagrama eléctrico de las entradas identificadas en el levantamiento eléctrico y usadas en la programación del PLC.

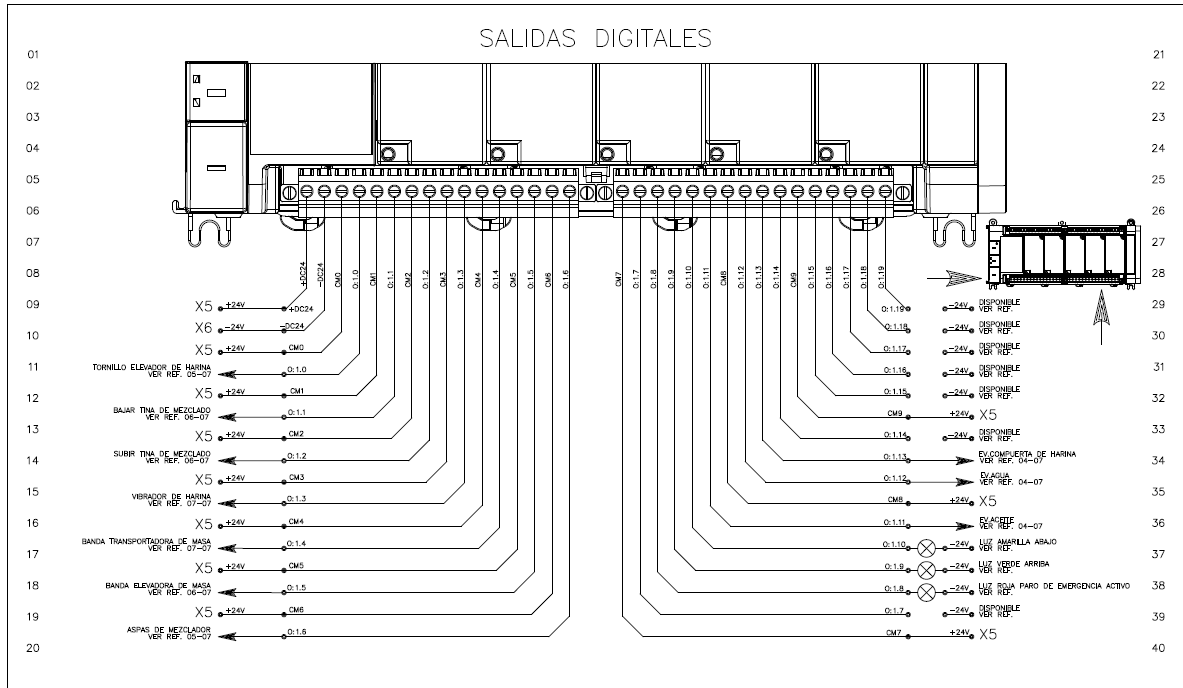


Figura 50. Diagrama eléctrico de las salidas identificadas en el levantamiento eléctrico y usadas en la programación del PLC.

En la figura 51 encontramos el Switch EtherNet/IP de 5 puertos que nos permitirá realizar la conexión y comunicación de los dispositivos de control en topología estrella, así como los números de IP asignados para cada uno (Tabla 25).

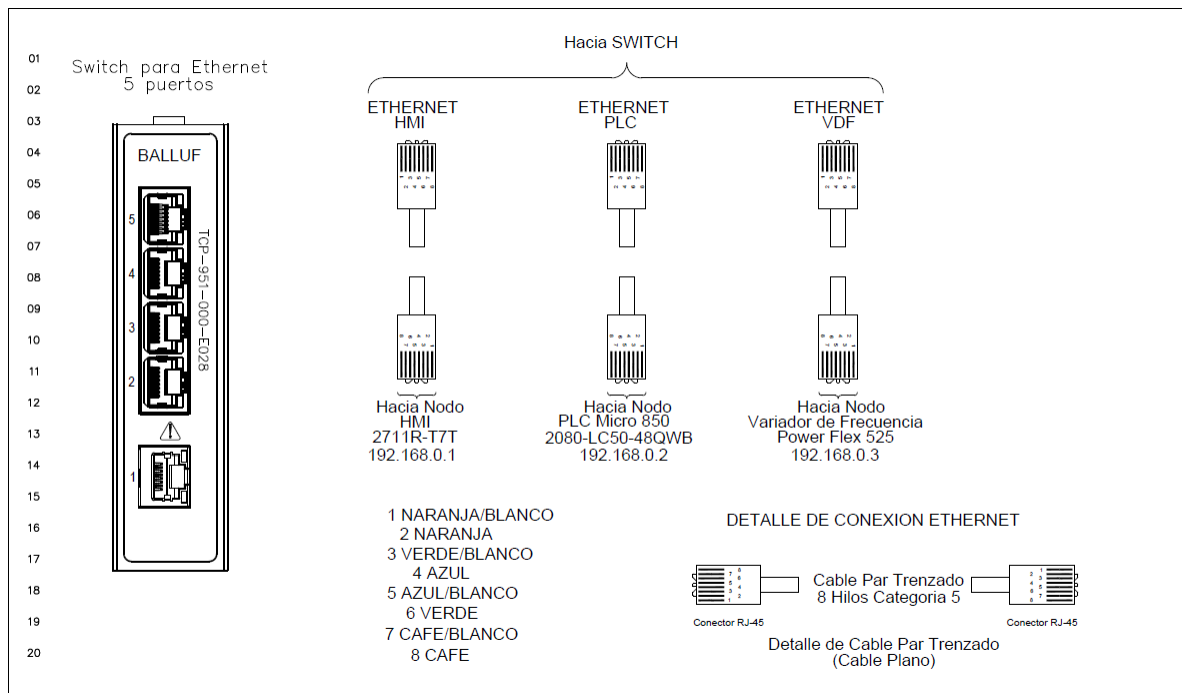


Figura 51. Diagrama eléctrico de la comunicación entre los dispositivos de control: PLC, HMI y VDF.

Tabla 24 Direcciones IP de los dispositivos de control.

Dispositivo de Control	Dirección IP	Mascara
HMI	192.168.0.1	255.255.255.0
PLC	192.168.0.2	255.255.255.0
VDF	192.168.0.3	255.255.255.0

2.9 Comunicación EtherNet/IP entre dispositivos de control

Pasos para seguir para la comunicación entre los dispositivos de control: HMI, PLC y VDF (Figura 52). Se puede consultar el apartado Anexos para un mayor detalle de los procedimientos.

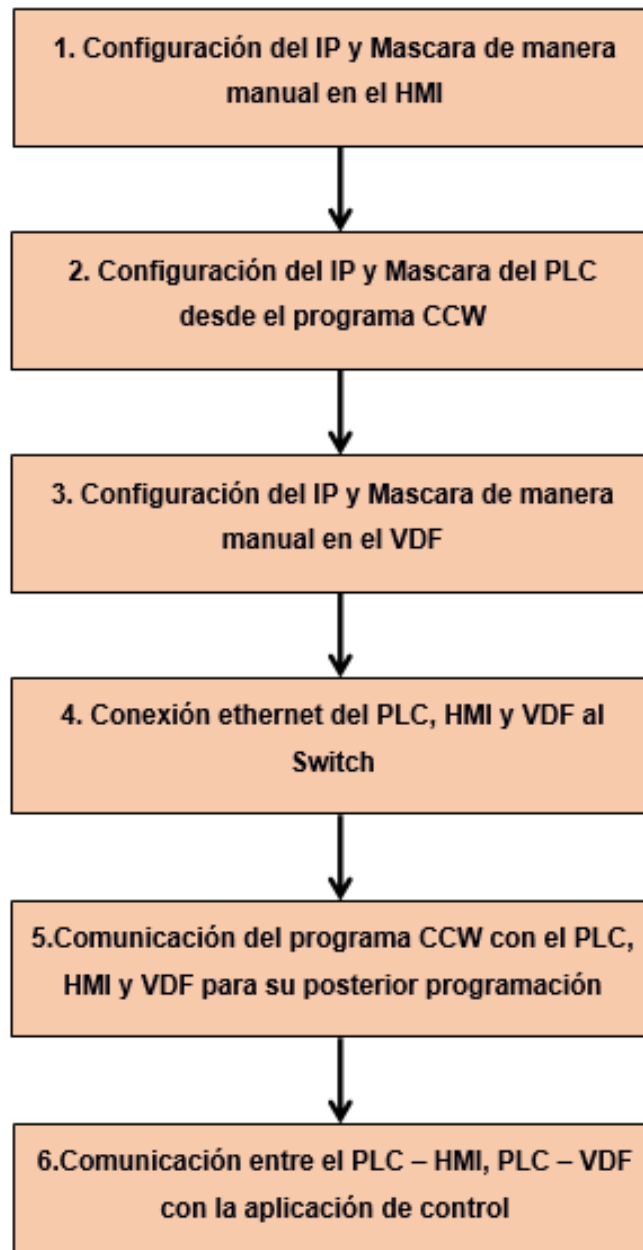


Figura 52. Diagrama de flujo de la comunicación entre los dispositivos de control: HMI, PLC y VDF.

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados Y Análisis

Mediante el diagrama eléctrico diseñado, se desarrolló un tablero de control por parte de los contratistas del cliente (Figura 53,54 y 55).

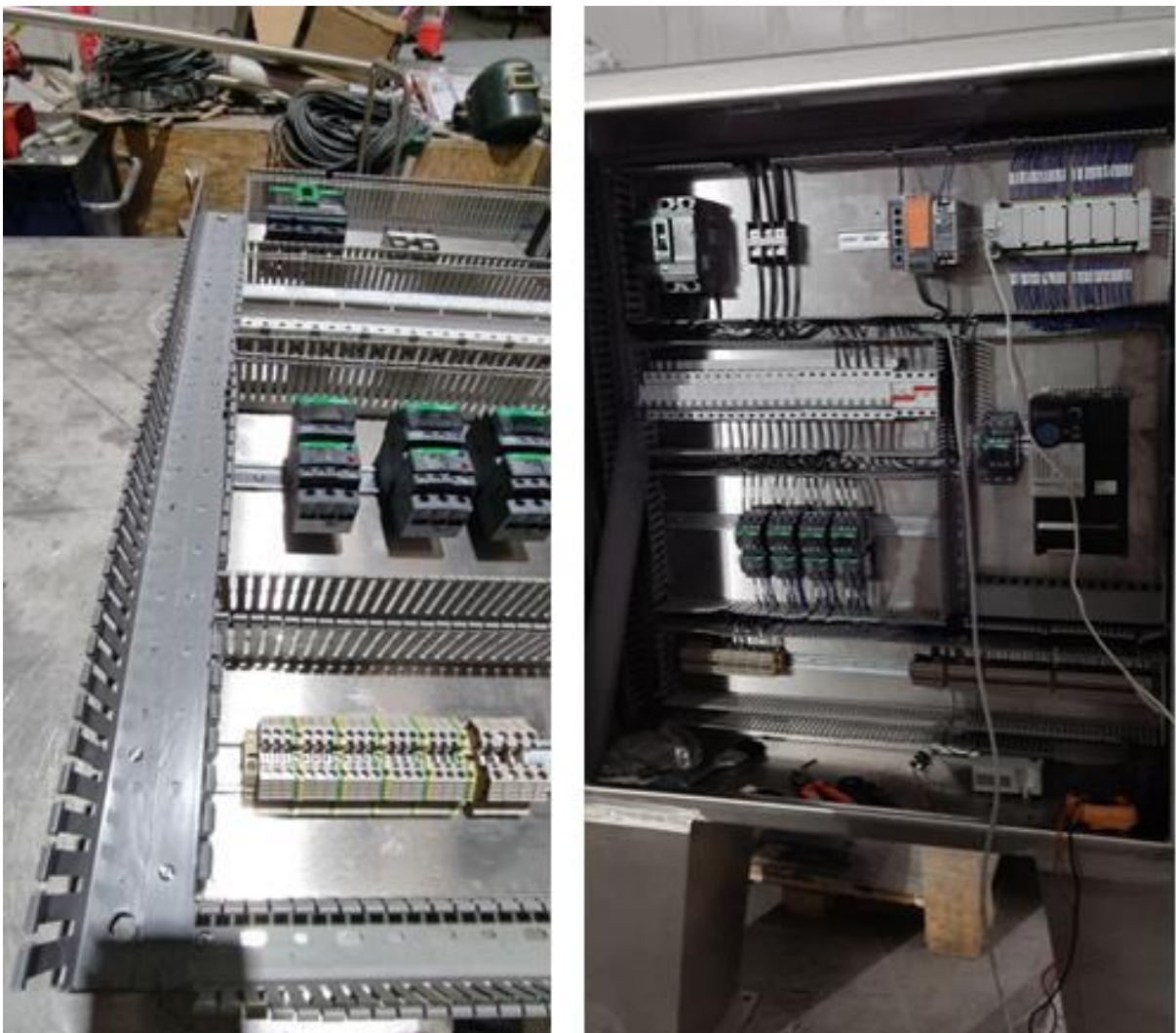


Figura 53. Desarrollo inicial del nuevo tablero de control.

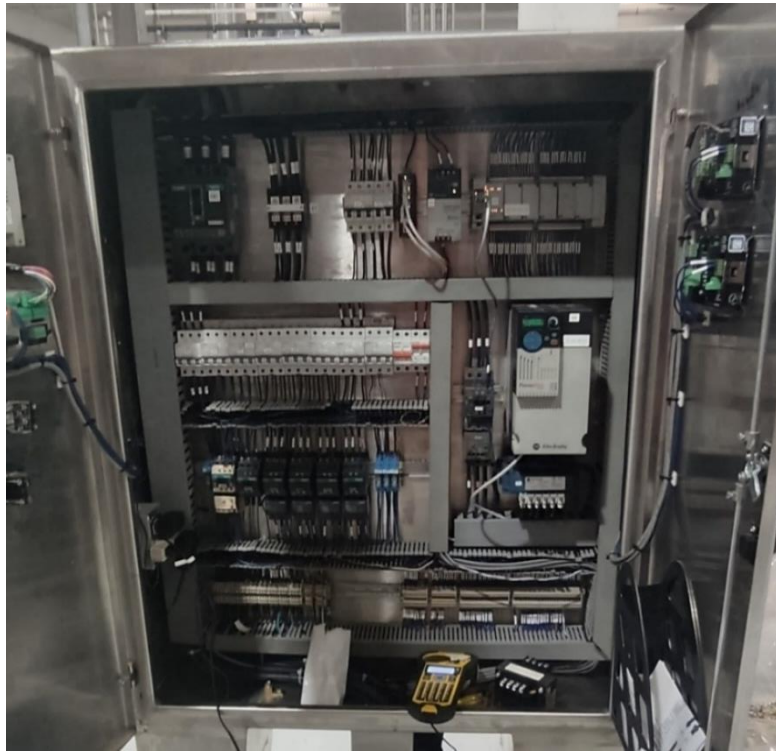


Figura 54. Desarrollo intermedio del nuevo tablero de control.

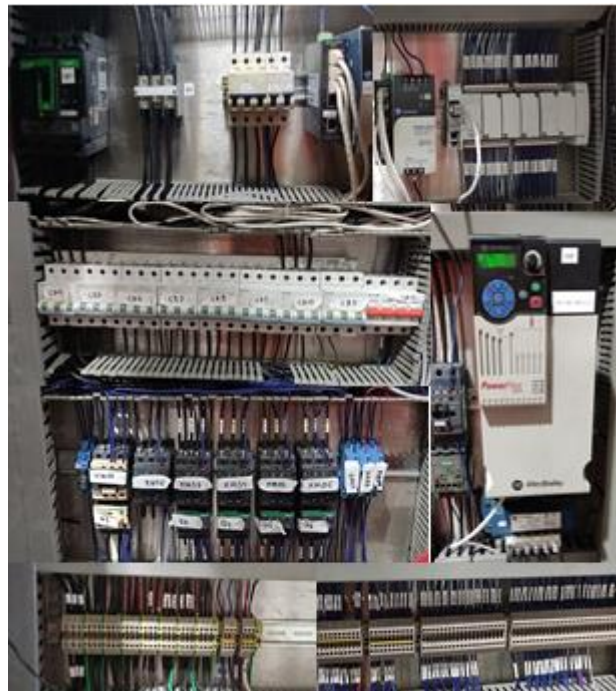


Figura 55. Desarrollo final del nuevo tablero de control.

3.2 Comunicación EtherNet/IP entre los dispositivos de control: PLC, HMI y VDF al Switch

Se realizo el cableado EtherNet/IP de los dispositivos de control centralizando las conexiones al switch EtherNet/IP en topología estrella (Figura 56 y 57).



Figura 56. Conexiones EtherNet/IP centralizadas en el switch y a la derecha el PLC Micro 850.

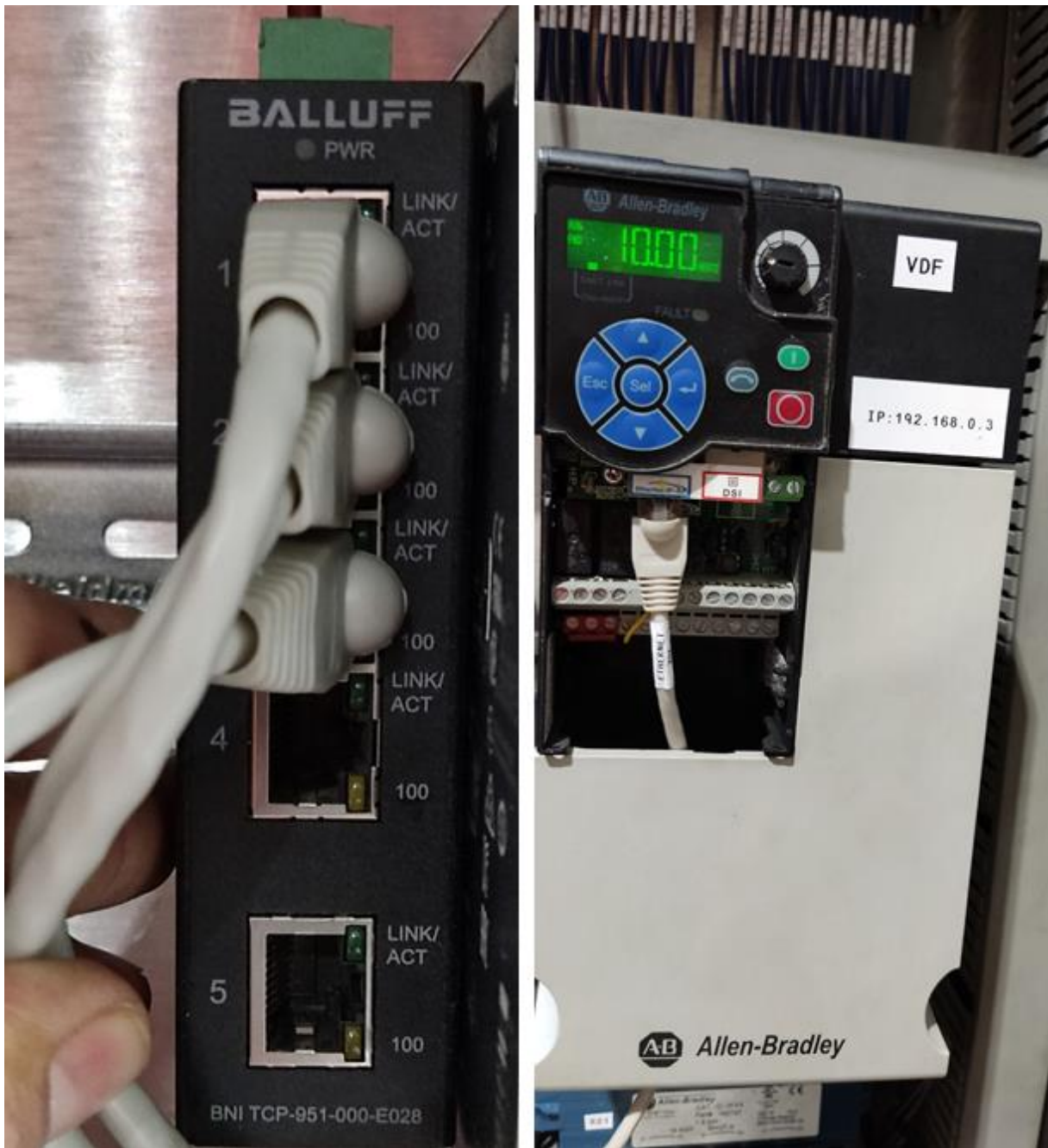


Figura 57. Conexiones EtherNet/IP centralizadas en el switch y a la derecha el VDF PowerFlex 525.

3.3 Configuración y carga de la programación del PLC, HMI y VDF

Se energizó el tablero de control para entablar por 1ra vez las comunicaciones entre los dispositivos de control con el software CCW y así poder descargar sus respectivos programas al PLC y HMI, así como los parámetros de configuración al VDF. (Figura 58)



Figura 58. Comunicaciones entre los dispositivos de control con el software CCW.

3.4 Programa del PLC

Según la normativa IEC 61131-3, los 5 lenguajes estandarizados para programación de PLC (Figura 59) son:

Los lenguajes de programación SFC, FBD y LAD son lenguajes de tipo visual, es decir, están estructurados mediante símbolos gráficos, mientras que los lenguajes de programación ST, IL y STL están formados por listados de sentencias.

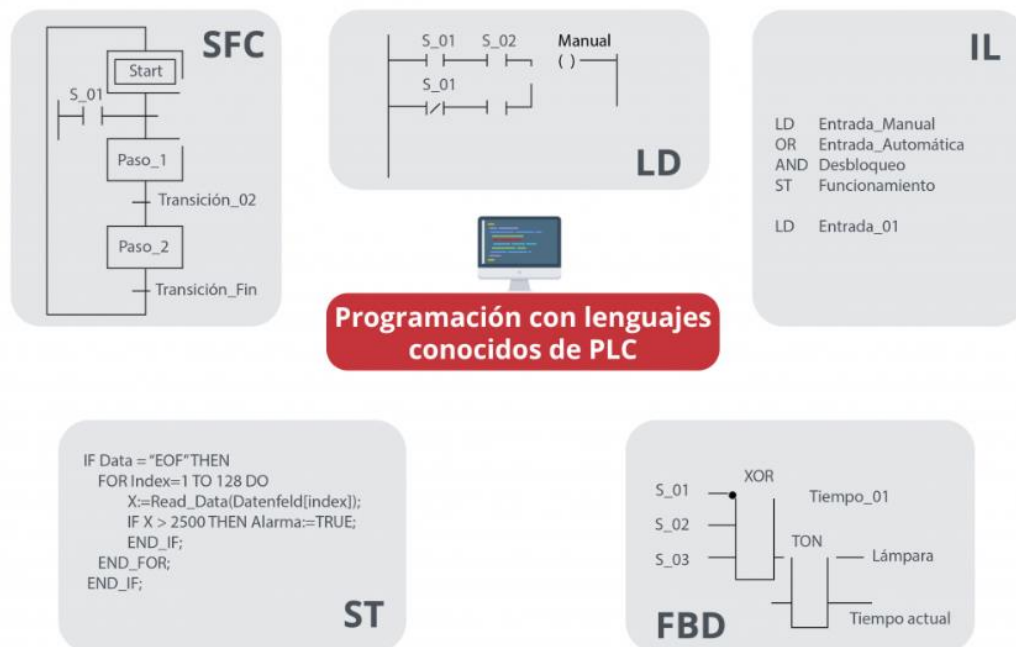


Figura 59. Los 5 lenguajes estandarizados de la normativa IEC 61131-3 (Incibe, 2023).

Para nuestra programación de PLC se determinó usar el lenguaje escalera debido a:

1. La cantidad moderada de entradas y salidas detectadas en el levantamiento eléctrico.
2. El sistema de control de la maquina operaba en lazo abierto por lo que las secuencias de operación de los elementos eléctricos del equipo no requirieron funciones/instrucciones especializadas o complejas para su elaboración.

- Facilitar la comprensión del programa de PLC al personal de mantenimiento, ya que ellos cuentan con experiencia en lógica de contactos y este lenguaje en particular les resulta más familiar.

En la siguiente imagen se puede apreciar un fragmento del programa del PLC en lenguaje de escalera para el control de la mezcladora. (Figura 60).

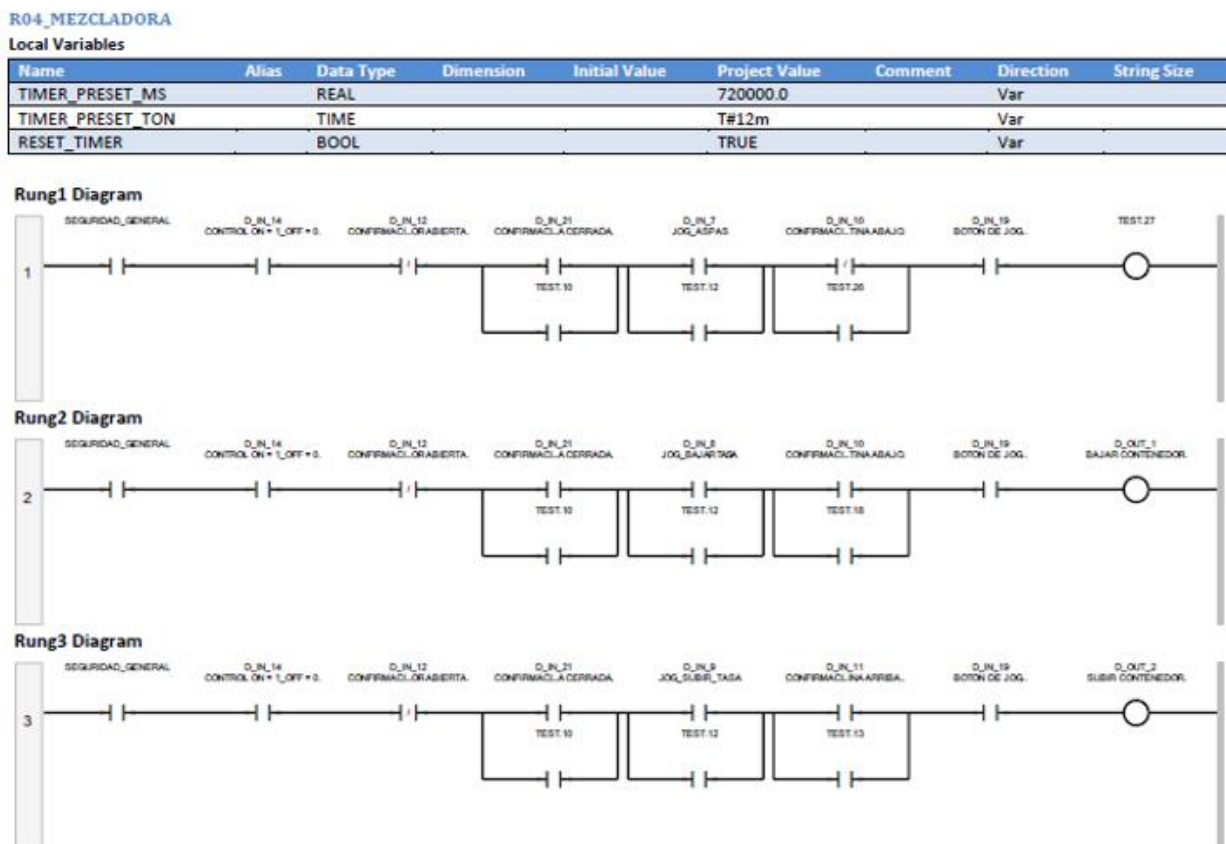


Figura 60. Fragmento del Programa de PLC en lenguaje Escalera.

3.5 Programa del HMI

El estándar ISA101 HMI pretende marcar una serie de convenciones y normas a la hora del diseño y jerarquía de interfaces HMI utilizadas en la automatización industrial de máquinas y procesos

Enfocándose primordialmente en:

Fondo: Nunca hay que utilizar un fondo negro. Utilizar fondos de colores claros o degradados ya que no cansan tanto la vista y son más amigables. Estos fondos claros van a permitir resaltar más el resto de los elementos de la pantalla

Colores: La pantalla ha de ofrecer armonía y, si utilizamos muchos colores y elementos, corremos el riesgo de que ofrezca una sensación poco armoniosa. Como hemos comentado, es agradable utilizar fondos claros, sinópticos, grises y dejar los colores para mostrar avisos o incidencias.

Los colores primarios brillantes deben evitarse, en su mayor parte, excepto para ayudar a señalar situaciones anormales. El objetivo es crear pantallas que, en condiciones normales de funcionamiento, resulten algo aburridas. Es fácil ver una condición de alarma roja intermitente en una pantalla de color apagado.

Secciones Claras: Es importante tener claras las diferentes secciones en que vamos a dividir la navegación de la pantalla, en las siguientes secciones:

Trabajo: Es la pantalla que va a utilizar el operario en el 95% de tiempo con acceso a los botones, entradas de datos y visualizaciones básicas.

Edición: Esta sección está reservada para personal autorizado. Aquí es donde configuramos los parámetros de máquina o recetas del sistema. Esta sección no se debe de cambiar por un operador de máquina de manera regular.

Alarmas: Visualizamos las alarmas actuales que tengamos, así como información sobre cómo resolver las posibles incidencias. También podemos tener acceso a un histórico de estas alarmas.

Mantenimiento: Es a la sección dedicada a las funciones de mantenimiento, podemos poner los movimientos manuales y datos sobre el mantenimiento de la máquina (horas de producción, consumos de motores, etc.)

Producción: Esta sección refleja todos los datos de producción de la máquina, puede ser sencillo, un totalizador de piezas realizadas o un análisis más complejo de producciones por turnos y dato OEE de eficiencia

Sinóptico: Dependiendo de la aplicación, es recomendable poner un sinóptico que de una forma esquemática identifique los elementos de la instalación

3 pasos máximos: Las pantallas han de ser claras y permitir interacciones rápidas de no más de 3 pasos para acceder a cualquier sección, por eso la organización y menús han de estar depurados.

Menú con iconos: un buen menú es importante para tener un rápido acceso a las distintas secciones de la pantalla. Personalmente, me he dado cuenta de que los usuarios están cada día más familiarizados con los iconos. En el menú siempre tiene que aparecer la forma de volver al inicio de forma rápida

En base al estándar ISA101 HMI se desarrolló, busco desarrollar un HMI lo más adecuado posible a la aplicación, como se puede apreciar en las figuras 61 y 62. (Se puede consultar el manual de usuario en el apartado de anexos).



Figura 61. Pantalla principal basada en el estándar ISA101.



Figura 62. Pantalla secundaria basada en el estándar ISA101.

3.6 Reubicación de la máquina

Al haber expandido sus instalaciones, el fabricante de botanas decidió reubicar y actualizar algunos de sus equipos. Se puede apreciar en la figura 63 cómo fue ese proceso



Figura 63. Reubicación de la máquina en las nuevas instalaciones del fabricante de botana.

Durante la reubicación de la máquina, se requirió la ubicación e instalación del nuevo tablero de control. En la sección punteada de la figura 64 se puede apreciar donde fue ubicado durante el proceso.

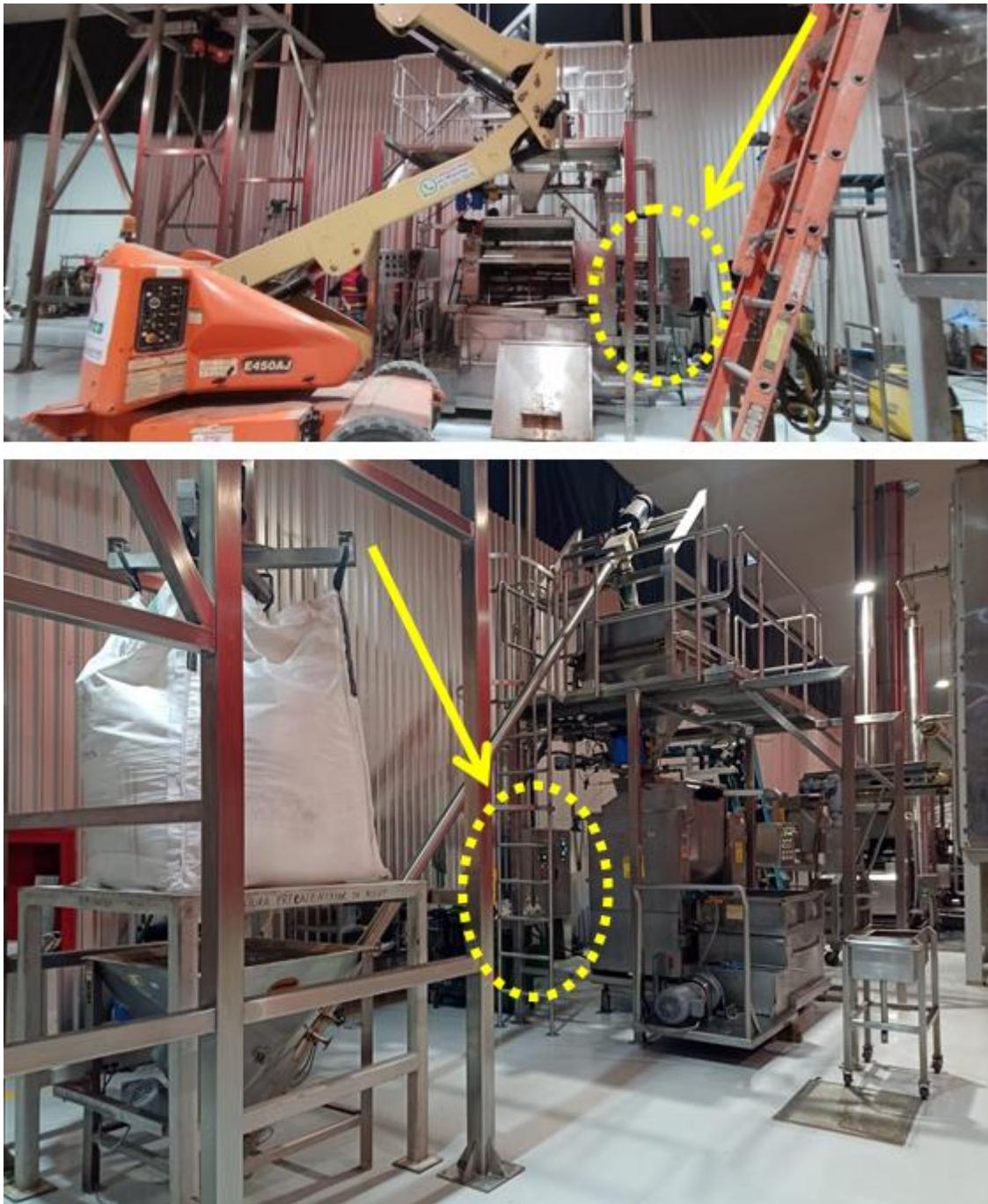


Figura 64. Ubicación del nuevo tablero de control.

3.7 Calibración de los dispositivos de medición

Se calibraron los dispositivos de medición: flujómetros de aceite y agua (así como del módulo de pesaje (bascula) de harina mediante el apoyo del departamento de metrología hasta obtener su sello de aprobación que garantiza las correctas mediciones que el proceso requiere (Figura 65).

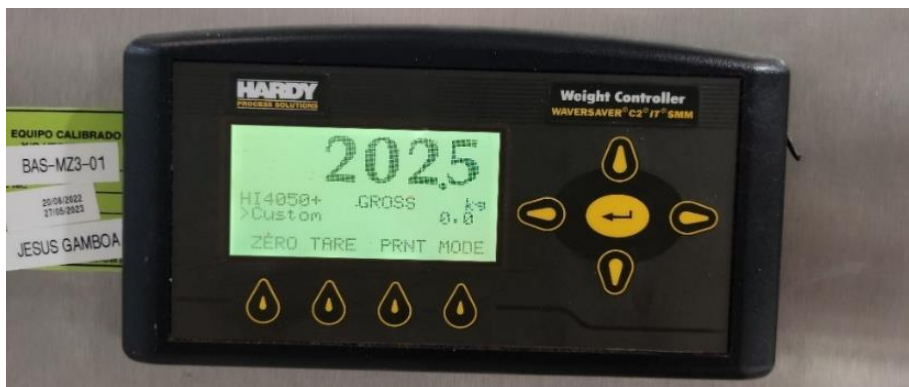


Figura 65. Sistema de pesaje de Harina, flujómetros de agua y aceite con la etiqueta de aprobación por parte del departamento de metrología.

3.8 Pruebas y calibración del equipo.

Se probó, ajustó y calibró el comportamiento del sistema de control digital-semiautomático en condiciones reales de operación (Figura 66), hasta lograr conseguir los mismos tiempos del control analógico – manual en laso abierto.

Lo cual dio la oportunidad de capacitar al personal de las distintas áreas de la planta: producción, mantenimiento y calidad para el manejo de este nuevo sistema de control.



Figura 66. La máquina en pruebas bajo condiciones reales y en capacitación del personal de planta.

Tiempos de las etapas/estaciones del proceso con control analógico usado por los operadores durante los ciclos cuando no se presentaba algún fallo eléctrico vs los tiempos del control digital-semiautomático que se lograron replicar (Figura 67).

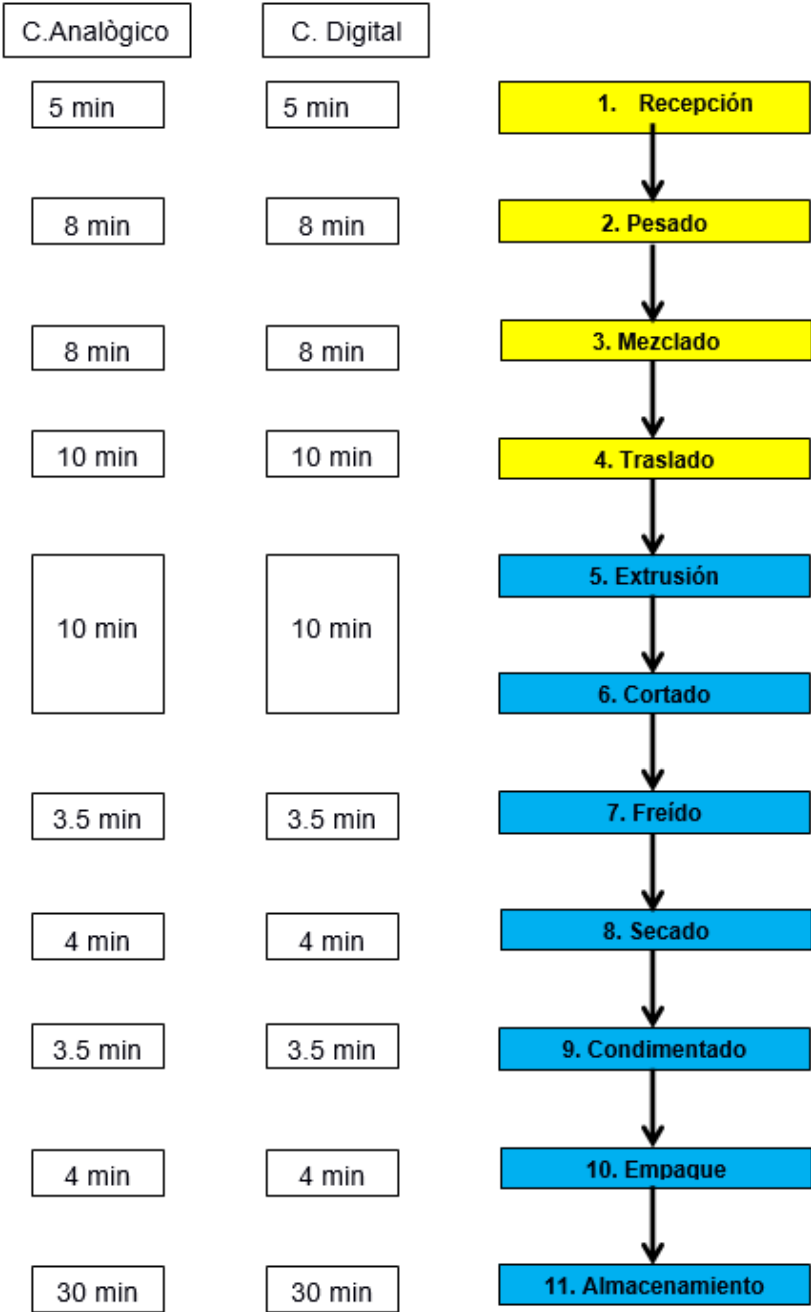


Figura 67. Etapas/Estaciones del proceso con los tiempos del control analógico - manual vs los logrados con el control digital-semiautomático.

Se monitoreó la operación del equipo durante 7 días, con 3 turnos por día y turnos de 8 hrs c/u y se encontraron los siguientes resultados:

a) Con base en los tiempos de producción de un lote con los cuales trabajaban los operadores usando el control analógico en lapsos donde no se presentaba alguna falla eléctrica en el equipo, se pudo determinar una referencia a la cual llegar con la operación del control digital (Figura 68).

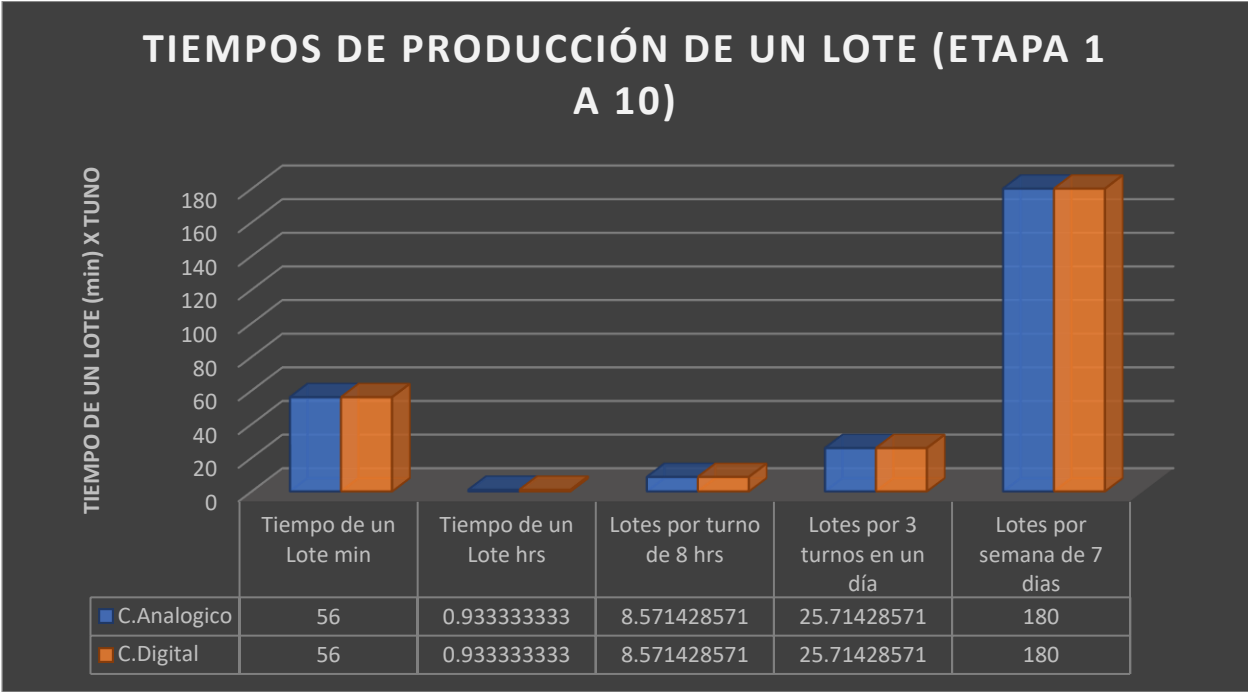


Figura 68. Tiempos para producir un lote vs número. de lotes durante un turno de 8 hrs vs número. de lotes de un día de 3 turnos vs el número. de lotes durante 7 días de la semana.

¿Qué gana el cliente con estos resultados?

1. **Continuidad operativa sin curva de aprendizaje crítica:**
El nuevo sistema de control digital replica fielmente el comportamiento del sistema analógico anterior, lo que permite que los operadores **mantengan sus hábitos de trabajo** sin afectar la eficiencia, reduciendo así la curva de adaptación.

2. **Modernización sin sacrificar productividad:**

Al establecer una referencia de desempeño basada en los tiempos reales del sistema anterior, el nuevo control digital se configuró para **igualar o superar** ese estándar, asegurando que **la transición no afecte la producción**.

3. **Mayor confiabilidad y eficiencia operativa:**

Con el cambio a un sistema de control más moderno, el cliente obtiene una plataforma **más estable, precisa y con menor riesgo de fallos**, lo que se traduce en **95% menos paros, menor mantenimiento correctivo y mejor calidad de control**.

4. **Base sólida para futuras mejoras y automatización:**

Este nuevo sistema no solo cumple con los estándares actuales, sino que también **abre la puerta a mejoras futuras**, como integración con sistemas de monitoreo remoto, análisis de datos o expansión de la automatización.

b) Se encontraron tiempos de paro por fallas eléctricas de 5 min gracias al diagrama eléctrico, al tablero de control y alarmas en el HMI para alertar a los usuarios, cuando anteriormente se llegaron a presentar fallas de hasta 2 hrs durante un turno (Figura 69).

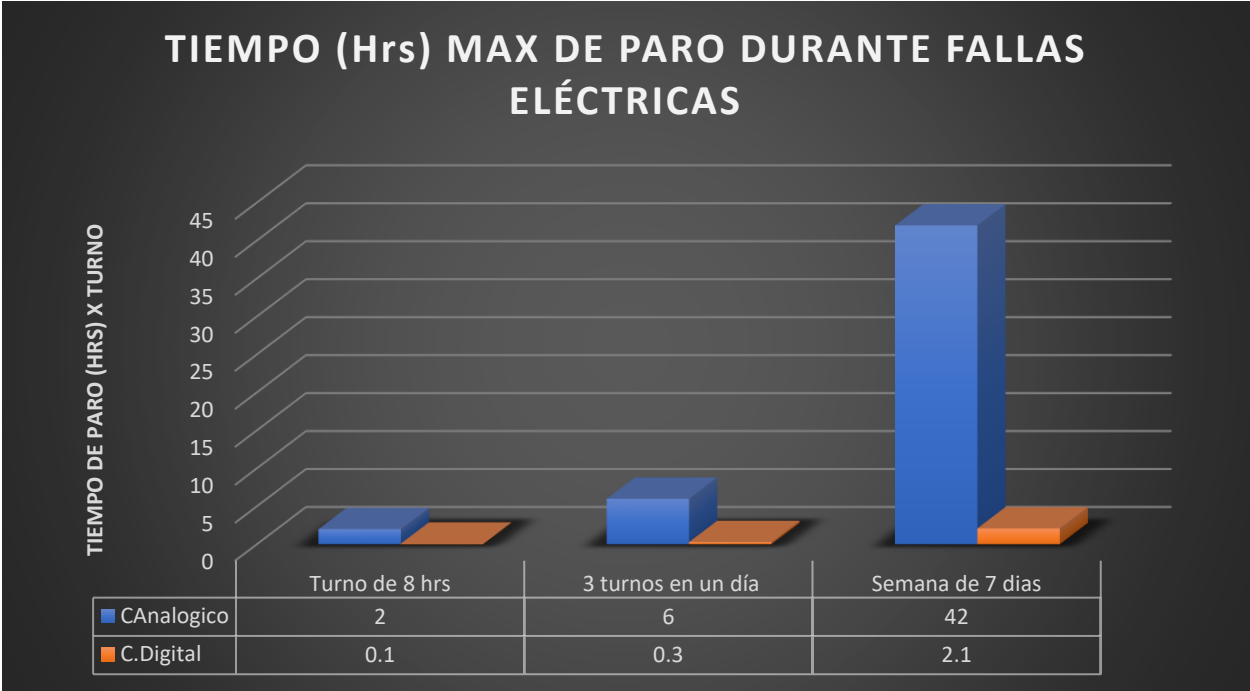


Figura 69. Tiempo de paro por turno de 8 hrs vs Tiempo de paro por un día de 3 turnos vs Tiempo de paro durante 7 días de la semana.

¿Qué gana el cliente con estos resultados?

Gracias a la incorporación del nuevo sistema de control con alarmas en el HMI, un diagrama eléctrico claro y un tablero de control bien diseñado, el cliente logra:

- 1. Reducción drástica del tiempo de paro por fallas eléctricas:**
Se disminuyeron los tiempos muertos de hasta 2 horas a solo 5 minutos. Esto significa una **reducción de más del 95%** en los tiempos improductivos por este tipo de fallas.

2. **Mayor disponibilidad del equipo y aumento del tiempo productivo:**
Al minimizar las interrupciones, el equipo puede operar durante más tiempo de manera continua, lo cual **mejora el rendimiento general de la planta** y permite cumplir con metas de producción más fácilmente.

3. **Reacción más rápida ante fallas:**
Las alarmas visibles en el HMI permiten que los operadores **detecten e intervengan rápidamente**, sin necesidad de largos tiempos de diagnóstico, lo que optimiza la respuesta ante eventos no deseados.

4. **Mayor confiabilidad y control del proceso:**
Con estas mejoras, el sistema se vuelve **más confiable y fácil de operar**, lo que reduce la dependencia de técnicos especializados para resolver fallas eléctricas menores y facilita la formación de nuevos operadores.

c) Se identificó un desperdicio estrictamente necesario en cantidades de producto rechazado por variaciones en las especificaciones de producción . (Figura 70)

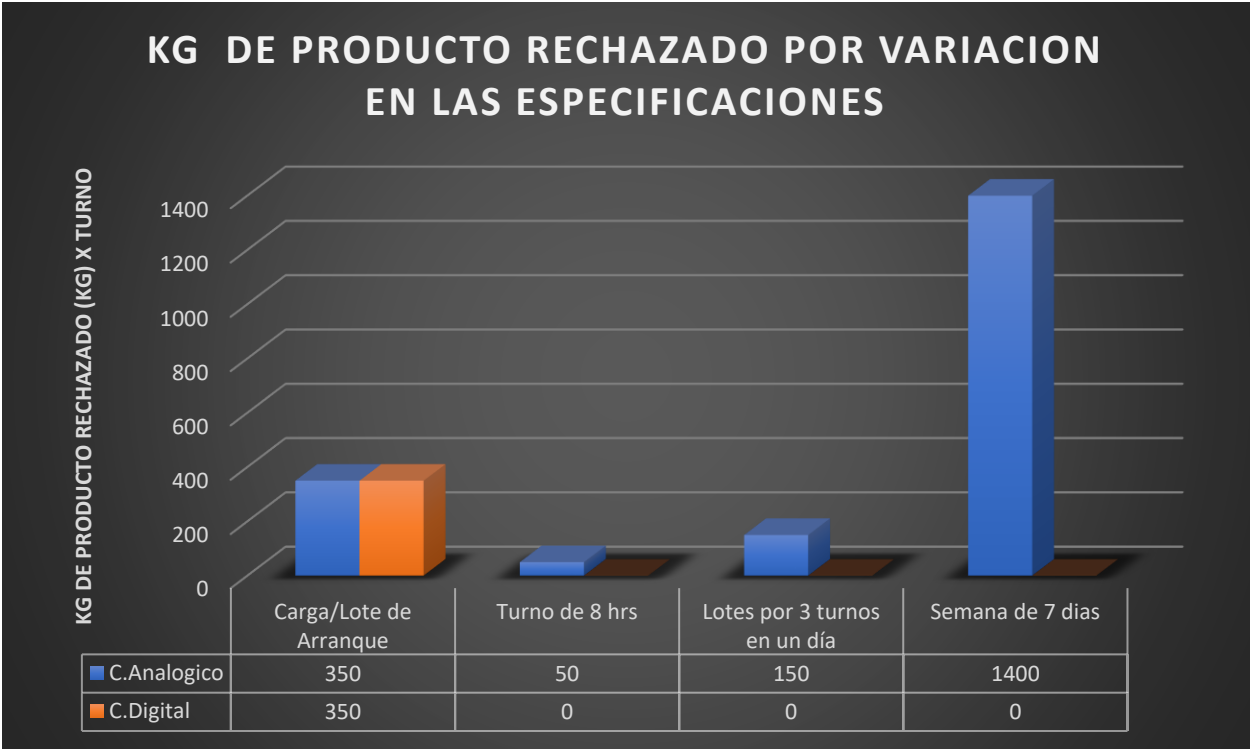


Figura 70. Kg de producto rechazado por turno de 8 hrs vs Kg de producto rechazado por un día de 3 turnos vs Kg de producto rechazado durante 7 días de la semana.

¿Qué gana el cliente con estos resultados?

- Reducción significativa del desperdicio de producto:**
 Gracias a la estabilidad y precisión del nuevo sistema de control digital, se ha logrado **minimizar el producto rechazado** a lo estrictamente necesario para el arranque. Esto representa un **ahorro directo de 85.7% Kg de masa** ya que se eliminó el desperdicio adicional que antes llegaba hasta **1.4 toneladas semanales**, lo que impacta positivamente en el costo operativo.

2. **Mayor eficiencia en el arranque del proceso:**
El nuevo sistema permite un **ajuste más rápido y preciso de parámetros** en cada estación de la línea, reduciendo el tiempo de calibración y validación, y asegurando que la producción inicie dentro de especificación desde el primer lote operativo.
3. **Eliminación de ajustes manuales no estandarizados:**
Se reduce la dependencia de la intervención manual por parte de operadores experimentados, quienes antes debían compensar las fallas del sistema anterior ajustando ingredientes “a ojo”. Esto genera un proceso **más estandarizado, replicable y confiable**, con menor riesgo de errores humanos.
4. **Ahorro en insumos clave (harina, agua, aceite):**
Al evitar desperdicio innecesario durante la puesta en marcha, el cliente **aprovecha mejor la materia prima**, lo que se traduce en menores costos y mayor aprovechamiento por lote producido.
5. **Mejora en la trazabilidad y control de calidad:**
Al garantizar que la producción comienza dentro de parámetros validados, se mejora la **consistencia del producto final**, facilitando el cumplimiento de normas de calidad y reduciendo reclamos o devoluciones.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La migración del sistema de control analógico–manual a un control digital–semiautomático para el manejo de materias primas ha generado una transformación significativa en la eficiencia, confiabilidad y estandarización del proceso productivo. Concretamente, el cliente gana:

1. Mayor eficiencia en el uso de recursos

Gracias al control digital y a la calibración precisa de los dispositivos de medición (flujómetros, básculas, etc.), se logró **replicar al 100% la secuencia de operación anterior** lo que se traduce en menores costos operativos y mayor aprovechamiento por lote producido .

2. Reducción de producto rechazado

La replicación fiel de los tiempos y secuencias del sistema anterior permitió que el nuevo control digital mantenga la calidad del producto desde el arranque, eliminando variaciones provocadas por errores manuales o inestabilidad eléctrica, lo que reduce significativamente el producto fuera de especificación **hasta un 85.7% Kg de producto rechazado por semana.**

3. Disminución de tiempos muertos y paros operativos

Con la implementación del nuevo tablero de control, el diseño del diagrama eléctrico y el uso de alarmas visibles en el HMI, los tiempos de paro por fallas **redujeron más del 95% el tiempo de paro durante 7 días de la semana**, permitiendo una operación más continua y productiva.

4. Un sistema moderno, estandarizado y más confiable

El cliente ahora cuenta con un sistema de control digital estructurado, documentado y replicable, mucho más fácil de mantener y escalar. Esto proporciona mayor seguridad, confiabilidad y capacidad de diagnóstico frente a cualquier eventualidad.

5. Transferencia de conocimiento y autonomía operativa

El proceso incluyó la capacitación del personal operativo en el nuevo sistema de control. Esto no solo les permite adaptarse rápidamente, sino que también empodera al equipo para operar y mantener el sistema con menor dependencia externa.

6. Un equipo más coordinado y enfocado

La colaboración exitosa entre mecánicos, eléctricos, mantenimiento y programación fortaleció el trabajo interdisciplinario y demostró que la planta es capaz de ejecutar proyectos complejos sin afectar la operación diaria.

7. Base sólida para futuras mejoras y automatización

Este nuevo sistema no solo soluciona los problemas del pasado, sino que sienta las bases para una futura expansión o automatización del proceso, facilitando la integración de nuevas tecnologías y monitoreo en tiempo real.

4.2 Recomendaciones

Se sugiere a los operadores revisar constantemente las alarmas en el HMI cada vez que se presente un paro de máquina, así saber el origen de la falla y poder restablecer inmediatamente el equipo.

A personal de mantenimiento se sugiere mantener una copia del diagrama eléctrico en el gabinete de control para poder tener accesible su consulta y contar en su almacén con refacciones de los dispositivos eléctricos ante cualquier falla.

BIBLIOGRAFÍA

- autex-open. (22 de Octubre de 2024). *autex-open*. Obtenido de ¿Qué es una HMI (Interfaz Hombre-Máquina) y cuáles son sus principales características?: <https://www.autex-open.com/sistemas-mes/que-es-una-hmi-interfaz-hombre-maquina-y-cuales-son-sus-principales-caracteristicas/>
- Bolton, W. (2015). *Programmable Logic Controllers*.
- Bradshaw, J. (2018). *Industrial Automation and HMI Systems*.
- Brazilian Journal of Food Technology. (30 de Marzo de 2020). *SCIELO Brazil*. Obtenido de Estudio de los parámetros de freído sobre las propiedades fisicoquímicas de una botana hecha de harinas de maíz, chicharo y salvado de avena: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/WBBNbLxtQMyMZjjTD6FRp9d/?lang=es>
- CCNA. (2025). *¿Cuál es la diferencia entre el modelo TCP/IP y el modelo OSI?* Obtenido de ¿Cuál es la diferencia entre el modelo TCP/IP y el modelo OSI?: <https://ccnadesdecero.es/diferencias-modelo-tcp-ip-y-modelo-osi/>
- Cofepris. (2025). *cofepris*. Obtenido de cofepris: <https://www.gob.mx/cofepris/que-hacemos>
- Cursos Aula 21. (2025). *Cursos Aula 21*. Obtenido de ¿Qué es un sistema HMI y cómo transforma la automatización industrial?: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/>
- Cursos Aula 21. (2025). *Cursos Aula 21*. Obtenido de Variadores de Frecuencia: Funcionamiento y aplicaciones reales: <https://www.cursosaula21.com/que-es-variador-de-frecuencia/>
- Cursos Aula 21. (2025). *Redes de comunicación industrial: todo lo que debes saber*. Obtenido de Redes de comunicación industrial: todo lo que debes saber: <https://www.cursosaula21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/>
- Cybus. (2025). *Pirámide de automatización*. Obtenido de Pirámide de automatización: https://www.cybus.io/en/resources/glossary/automation-pyramid/?utm_source=chatgpt.com

- Diaz, R. (2024). *Academia PLC:Curso completo de Drives VFD o variadores de frecuencia*. Obtenido de Academia PLC:Curso completo de Drives VFD o variadores de frecuencia: <https://www.udemy.com/course/curso-completo-de-drives-vfd-o-variadores-de-frecuencia-plc/>
- Economia. (2025). *Organismos Internacionales de Normalización*. Obtenido de Organismos Internacionales de Normalización: <https://platiica.economia.gob.mx/normalizacion/comision-electrotecnica-internacional-iec/>
- González, T. A. (20 de Agosto de 2021). *Universidad Nacional Autonoma de Mexico*. Obtenido de Tesis:Extrusion en Alimentos: <https://ru.dgb.unam.mx/items/71dc931d-e877-4a1c-8909-ebd18fb4b324>
- Heat and Control. (16 de Abril de 2025). *Heat and Control*. Obtenido de Heat and Control: <https://es.heatandcontrol.com/solutions/corn-chips>
- Hilscher. (2025). *Hilscher glossary*. Obtenido de Hilscher glossary: <https://www.hilscher.com/it/service-support/glossary#:~:text=PROFIBUS,actuators%20in%20industrial%20automation%20systems.>
- IBM. (15 de Febrero de 2024). *¿Qué es la topología de red?* Obtenido de ¿Qué es la topología de red?: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/network-topology>
- IBM. (2025). *¿Qué es el modelo OSI?* Obtenido de ¿Qué es el modelo OSI?: <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/osi-model>
- Incibe. (02 de Febrero de 2023). *Lenguajes de programación y software*. Obtenido de Lenguajes de programación y software: <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/tecnicas-de-programacion-segura-en-los-plc>
- infopl. (2024). *Control de velocidad de Sinamics G120 con S7-1500 por Profinet y Profibus*. Obtenido de Control de velocidad de Sinamics G120 con S7-1500 por Profinet y Profibus: <https://www.infopl.net/descargas/siemens/automatas/s7-1500/control-velocidad-sinamics-g120-s7-1500-profinet-profibus>
- infopl. (2025). *infopl*. Obtenido de Simplificación de protocolo OT, IT e IIoT para la industria 4.0: <https://www.infopl.net/noticias/moxa/moxa-protocolo-ot-it-iiot-industria-4-0>

- Instrumentacion y control. (2025). *Integracion del Modelo OSI y las redes Industriales*. Obtenido de Integracion del Modelo OSI y las redes Industriales: <https://instrumentacionycontrol.net/integracion-del-modelo-osi-y-las-redes-industriales/>
- ISA. (2025). *ISA Standards*. Obtenido de ISA Standards: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards>
- ISO. (2025). *ISO: Global standards for trusted goods and services*. Obtenido de ISO: Global standards for trusted goods and services: <https://www.iso.org/home.html>
- made-in-china. (16 de Abril de 2025). *made-in-china*. Obtenido de made-in-china: https://es.made-in-china.com/co_saibainuochina/
- Mitsubishi Electric. (2025). *Criteria de selección de redes industriales*. Obtenido de Criterios de selección de redes industriales: <https://mx.mitsubishielectric.com/fa/es/resources/blog/assets/industrial-network-selection-criteria/>
- MPDI. (2021). *Nuevas fronteras en la Industria 4.0*. Obtenido de La pirámide de automatización como constructora de un gemelo digital completo: Estudio de caso de un sistema de fabricación didáctico.: https://www.mdpi.com/1424-8220/21/14/4656?utm_source=chatgpt.com
- NORMA Oficial Mexicana. (2025). *NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010: https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4010/seeco11_C/seeco11_C.htm#:~:text=Esta%20norma%20oficial,las%20caracter%C3%ADsticas%20de%20dicha%20informaci%C3%B3n.
- NORMA Oficial Mexicana. (2025). *NORMA Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4890075&fecha=26/06/1996#gsc.tab=0
- NORMA Oficial Mexicana. (2025). *NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-200*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-200: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3980/salud/salud.htm>
- PROFECO. (Septiembre de 2018). *REVISTA DEL CONSUMIDOR* . Obtenido de Estudio Calidad Frituras y Botana:

- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/393470/Estudio_Calidad_Frituras_y_Botana.pdf
- qlik. (2025). *qlik*. Obtenido de Radar chart: https://help.qlik.com/en-US/sense/November2025/Subsystems/Hub/Content/Sense_Hub/Visualizations/VisualizationBundle/radar-chart.htm?utm_source=chatgpt.com
- RICOH Predictive Insight. (2025). *RICOH Predictive Insight*. Obtenido de RICOH Predictive Insight: https://help.ricohsoftware.com/swinfocenter/ricoh-predictive-insight/en-us/spvSWIC_project.ditamap/%24/spv_visualstyperadarchart?utm_source=chatgpt.comhttps://help.ricohsoftware.com/swinfocenter/ricoh-predictive-insight/en-us/spvSWIC_project.ditamap/%24/s
- risoul. (01 de Marzo de 2025). *www.risoul.com.mx*. Obtenido de *www.risoul.com.mx*: <https://www.risoul.com.mx/blog/caracteristicas-del-software-connected-components-workbench-de-rockwell>
- Rockwell Automation. (2025). *2711R PanelView 800*. Obtenido de 2711R PanelView 800: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/hmi/2711r-panelview-800.html>
- Rockwell Automation. (2025). *Connected Components Workbench Software*. Obtenido de Connected Components Workbench Software: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/capabilities/industrial-automation-control/design-and-configuration-software.html>
- Rockwell Automation. (Septiembre de 2025). *Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex serie 520*. Obtenido de Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex serie 520: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001_-es-e.pdf
- Seborg, D. E. (2016). *Process Dynamics and Control* (Fourth ed.). Santa Barbara, California, United State: John Wiley & Sons.
- Segovia Ochoa, R. A. (noviembre de 2024). *Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Química*. Obtenido de Tesis:Desarrollo de una botana a base de maíz con alto contenido: https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/11278/2/FQMAC-261916.pdf?utm_source=chatgpt.com

Technological University Dublin . (2004). *Control loop performance assessment: a classification of*. Obtenido de Control loop performance assessment: a classification of: <https://scispace.com/pdf/control-loop-performance-assessment-a-classification-of-4fkp1qrxzg.pdf>

Tecno PLC. (2025). *Tecno PLC*. Obtenido de Creación de una pantalla HMI TIA Portal: <https://www.tecnoplac.com/creacion-de-una-pantalla-hmi-tia-portal/>

Todo de Redes. (2025). *Capa 1: Nivel Físico*. Obtenido de Capa 1: Nivel Físico: <https://tododeredes.com/modelo-osi/capa-1/>

Topología de red . (2025). *Topología de red en estrella*. Obtenido de Topología de red en estrella: <https://topologiasdered.com/red-en-estrella/>

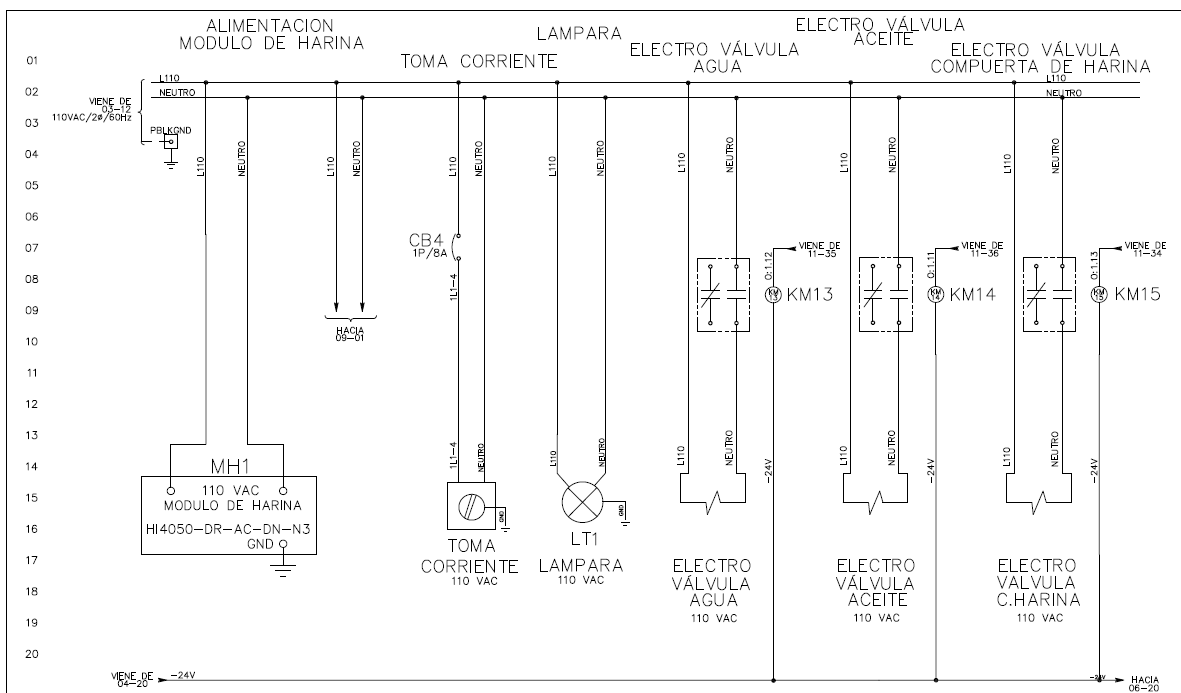
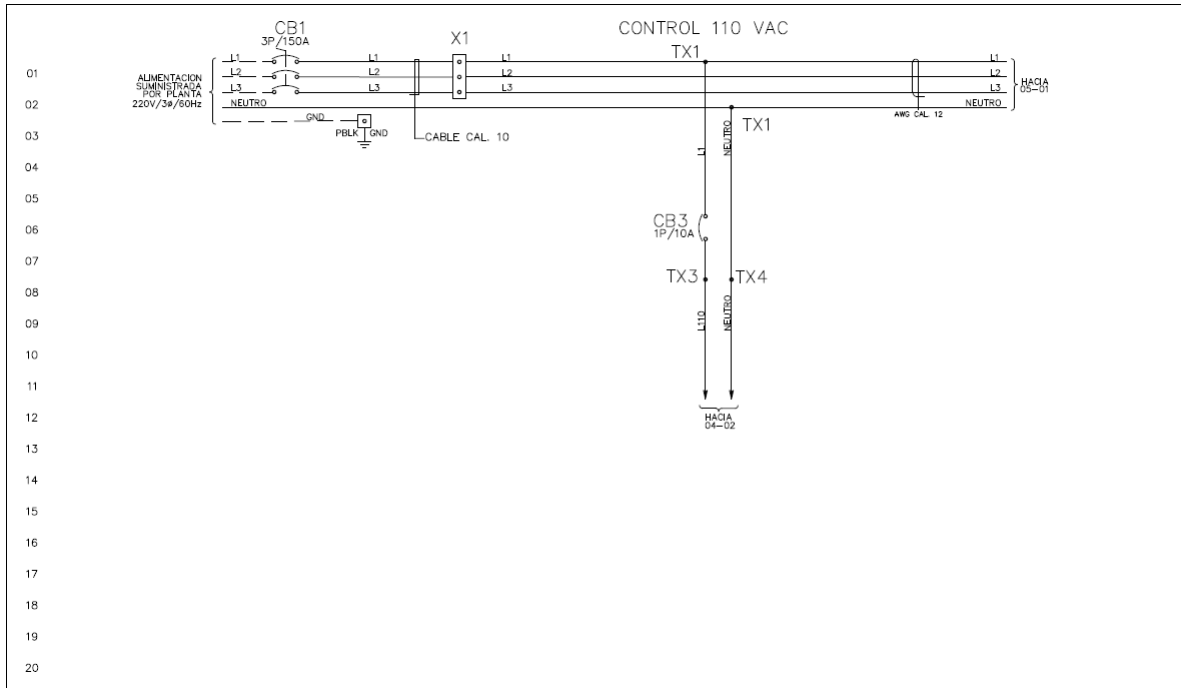
topologias de red. (10 de Abril de 2025). *topologias de red*. Obtenido de topologias de red: <https://topologiasdered.com/red-en-estrella/>

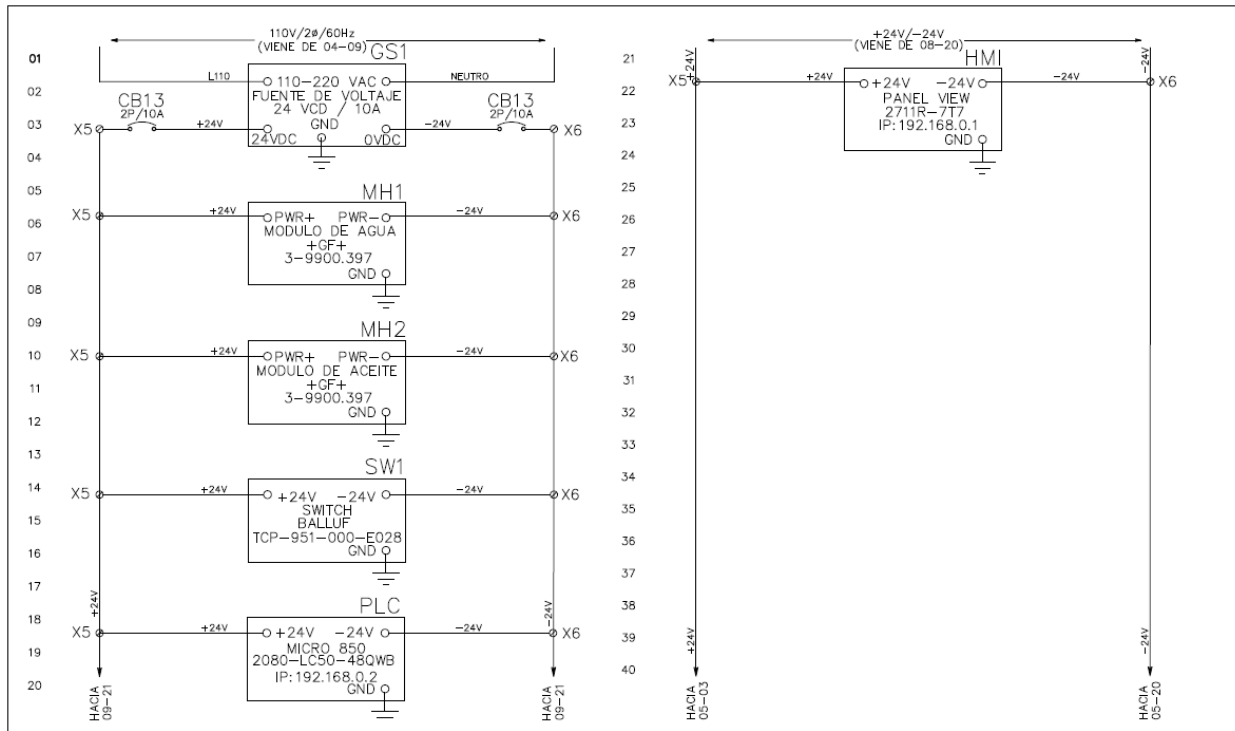
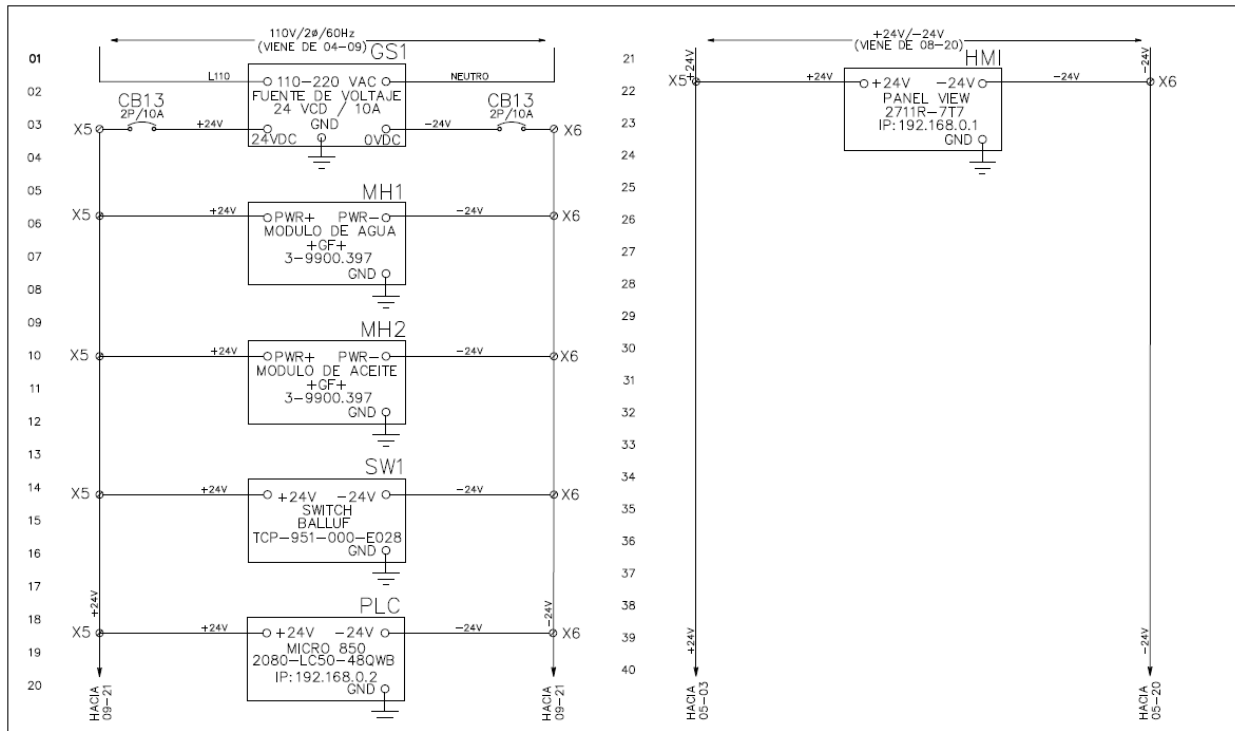
UNAM. (2025). *Controladores Logico Programables:Funcionamineto del PLC*. Obtenido de Controladores Logico Programables:Funcionamineto del PLC: https://www.campus-virtual.mineria.unam.mx/Mineria/Cursos/Plc/Documentos/PLC_U2.pdf

Universidad de Valencia. (2025). *Redes de comunicacion: Topologia y enlaces*. Obtenido de Redes de comunicacion: Topologia y enlaces: https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo2_rev0.pdf

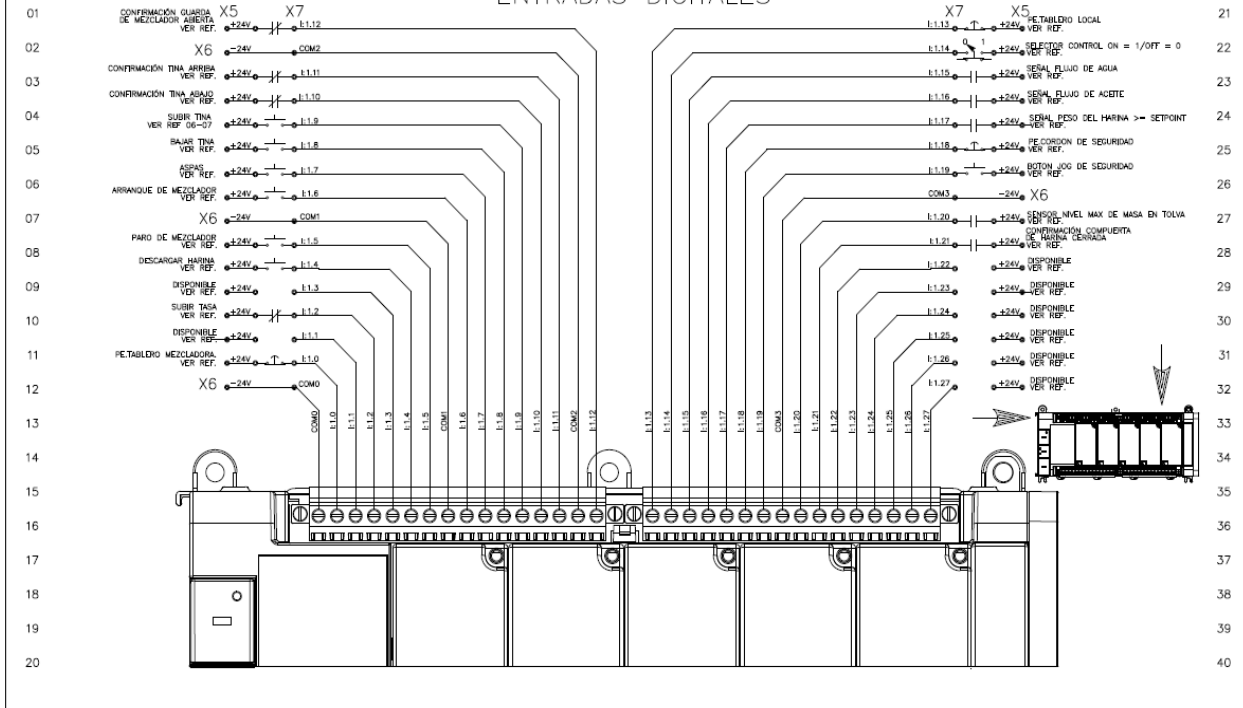
APÉNDICES

Diagrama eléctrico diseñado en AutoCAD

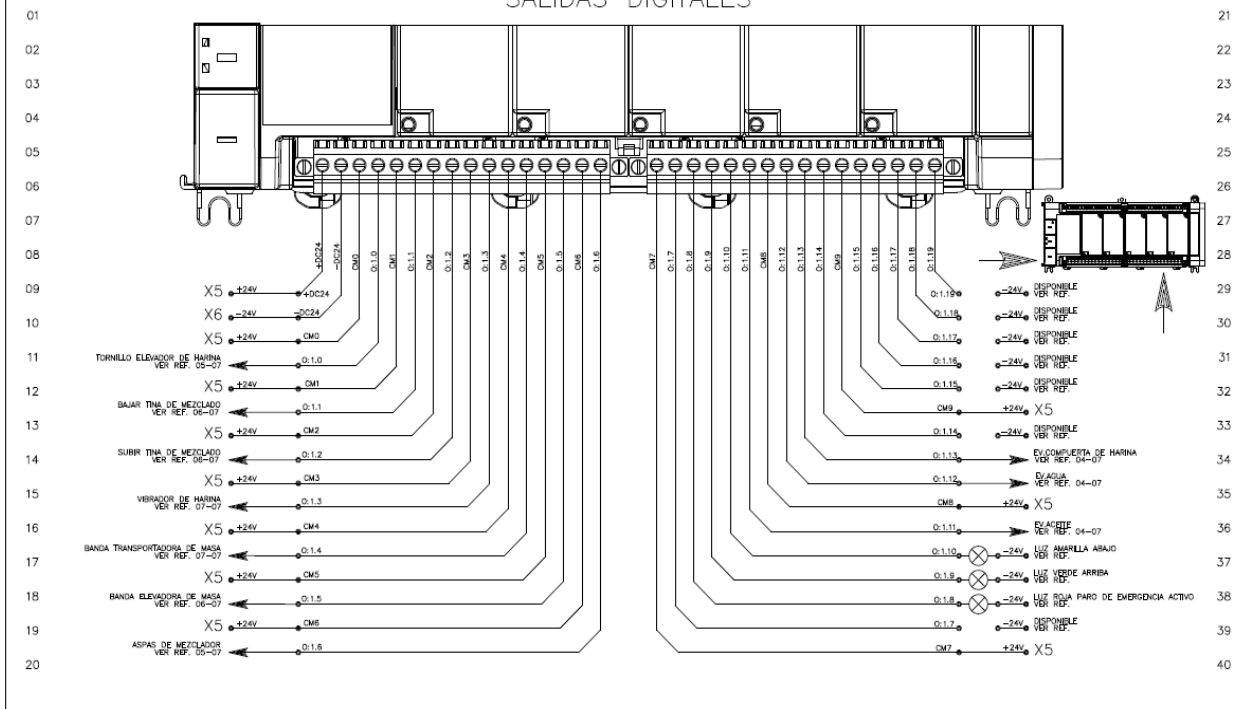


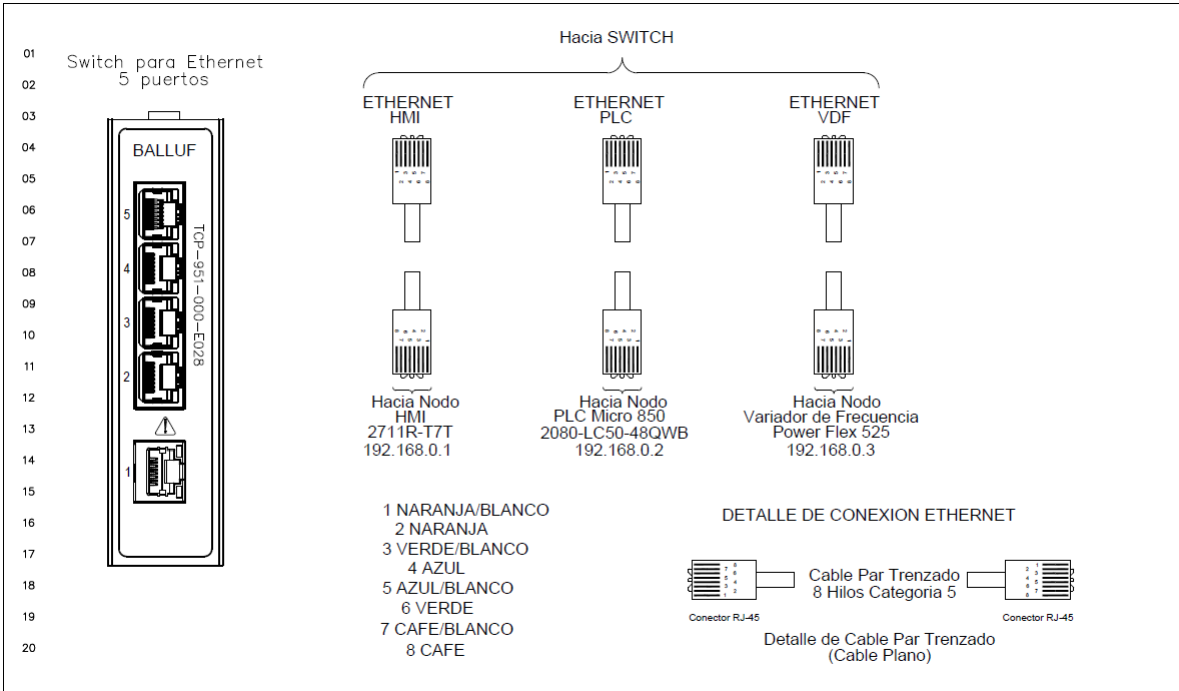


ENTRADAS DIGITALES



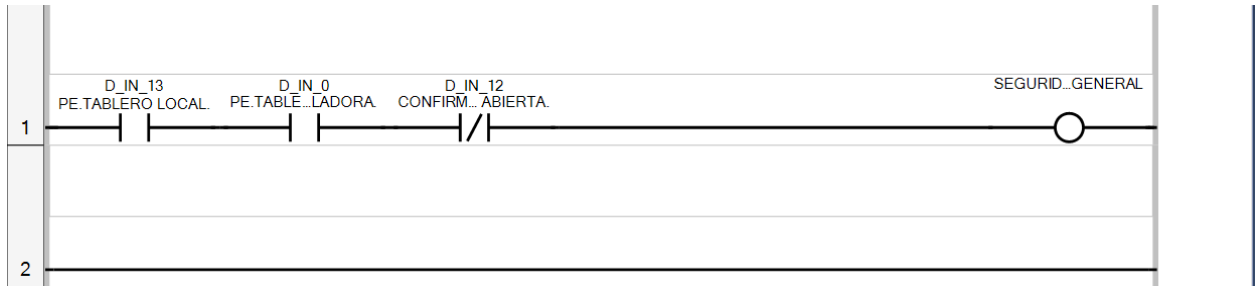
SALIDAS DIGITALES





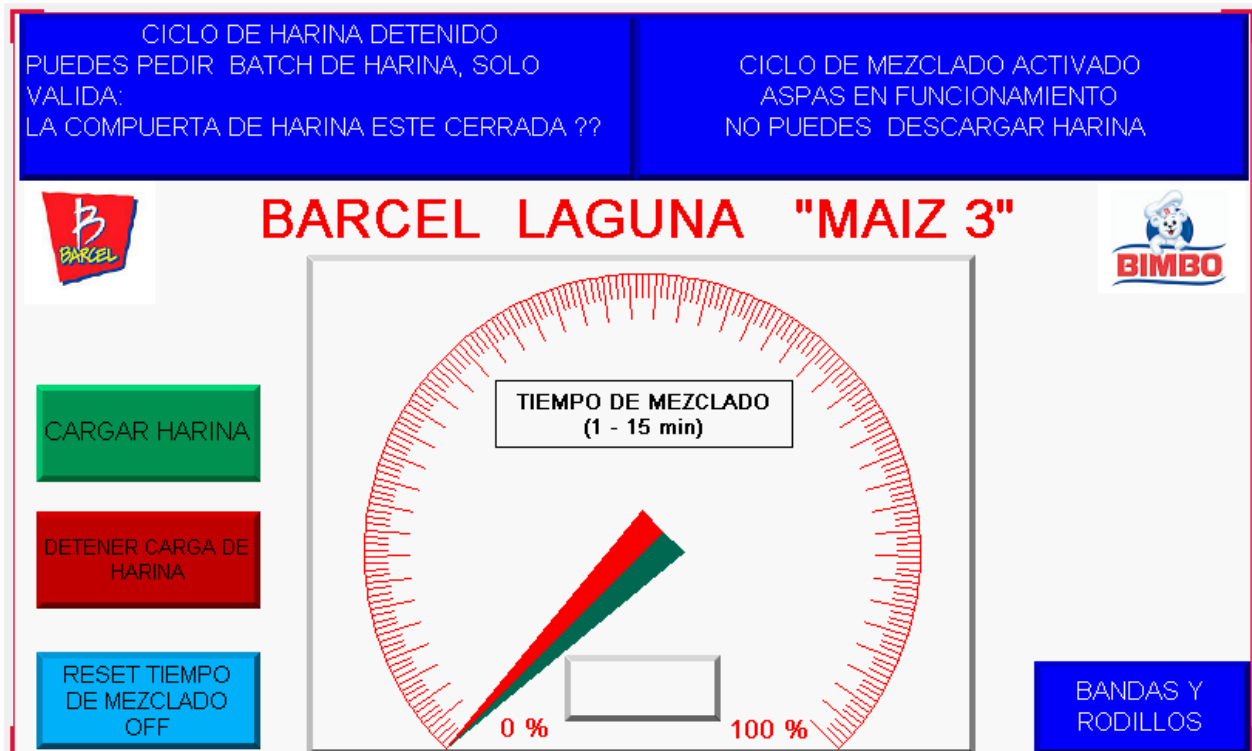
Manual de Operación

1.- El quipo cuenta con 2 botones de paro y un micro en una guarda lateral en la mezcladora. Validar que no estén activos y la guarda lateral de la mezcladora esté colocada y confirmando el micro de seguridad.



2.- El tablero de control cuenta con un selector de control ON/OFF. Girarlo de OFF a ON borra una posible falla en el variador de frecuencia de los tornillos extrusores y habilita (ON) el funcionamiento del programa.

3.- Presionar el botón "Bandas y rodillos" para cambiar a la pantalla del modo manual.



4.- Presionar el botón Manual (amarillo)/ Automático(negro) según el modo de trabajo deseado.

5.-Los dispositivos se pueden activar de manera individual en manual (M: amarillo) u automático (A: negro) y su indicador mostrará el estatus de cada dispositivo.

CICLO DE HARINA DETENIDO
 PUEDES PEDIR BATCH DE HARINA, SOLO VALIDA:
 LA COMPUERTA DE HARINA ESTE CERRADA ??

CICLO DE MEZCLADO ACTIVADO
 ASPAS EN FUNCIONAMIENTO
 NO PUEDES DESCARGAR HARINA

BARCEL LAGUNA "MAIZ 3"

A M.VIBRADOR OFF

A TORNILLO ELEVADOR OFF

A COMPUERTA OFF

A B.ELEVADORA OFF

A B.TRANSPORTADORA OFF

A GUSANOS OFF

STATUS SENSOR DE NIVEL MAXIMO DE MASA ACTIVO

T.SENSOR NIV DE MASA (1 - 10 seg)

VELOCIDAD DE GUSANOS (1 - 60 Hz)

PRINCIPAL

ON

TRANPOSTADORES OFF

MANUAL

CICLO DE HARINA DETENIDO
 PUEDES PEDIR BATCH DE HARINA, SOLO VALIDA:
 LA COMPUERTA DE HARINA ESTE CERRADA ??

CICLO DE MEZCLADO ACTIVADO
 ASPAS EN FUNCIONAMIENTO
 NO PUEDES DESCARGAR HARINA

BARCEL LAGUNA "MAIZ 3"

A M.VIBRADOR OFF

A TORNILLO ELEVADOR OFF

A COMPUERTA OFF

A B.ELEVADORA OFF

A B.TRANSPORTADORA OFF

A GUSANOS OFF

STATUS SENSOR DE NIVEL MAXIMO DE MASA ACTIVO

T.SENSOR NIV DE MASA (1 - 10 seg)

VELOCIDAD DE GUSANOS (1 - 60 Hz)

PRINCIPAL

ON

TRANPOSTADORES OFF

AUTOMATICO

Anexos

Requerimientos para el uso e instalación del Connected Components Workbench(CCW)

Requisitos de **hardware**

Para usar el software Connected Components Workbench de manera eficaz, su computadora debe cumplir los siguientes requisitos de hardware:

Requisitos mínimos	
Procesador	Procesador Intel Core i5 Standard Power (i5-3xxx) o equivalente
Memoria RAM	8 GB
Espacio en disco duro	20 GB libres
Unidad óptica	DVD-ROM (solo se requiere si el software se instala mediante un DVD)
Dispositivo de señalamiento	Cualquier dispositivo de señalamiento compatible con Microsoft Windows®

Requisitos de **software**

La versión más reciente admite los siguientes sistemas operativos, versiones y service packs:

Sistemas operativos compatibles
Windows Server 2012*
Windows Server 2012 R2
Windows Server 2016*
Windows Server 2019
Windows 10 IoT Enterprise 2016 LTSC 64 bits
Windows 10 IoT Enterprise 2019 LTSC
Windows 10
Windows 11**

Todos los sistemas operativos compatibles requieren la instalación de .NET Framework 3.5 SP1.

* Requiere la versión 20 o una anterior del software Connected Components Workbench.

** Requiere la versión 20 o una posterior del software Connected Components Workbench.

Selección del PLC

Familia de controladores programables Micro800 Guía de selección

Número y tipos de entradas/salidas

Número y tipos de entradas/salidas para los números de catálogo del Micro800

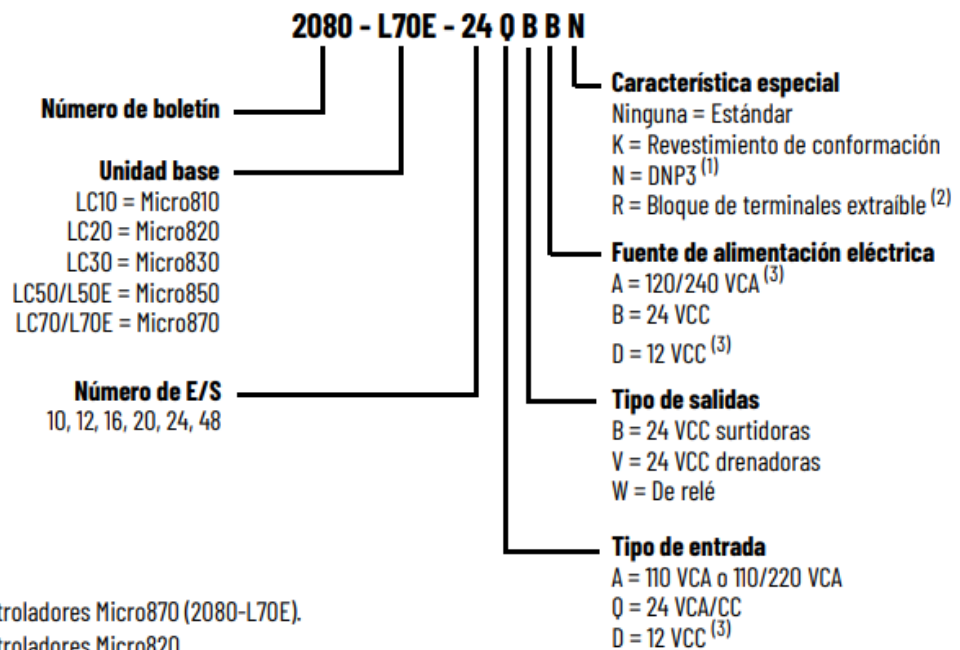
Familia de controlador	Números de catálogo	Entradas				Salidas			Salida analógica de 0...10 VCC	Entrada analógica de 0...10 V (compartida con entrada de CC)	Compatibilidad con PTO/PWM (1)	Compatibilidad con HSC incorporadas (2)
		120 VCA	120/240 VCA	24 VCC/ VCA	12 VCC	Relé	24 VCC surtidoras	24 VCC drenadoras				
Micro810	2080-LC10-12AWA	-	8	-	-	4	-	-	-	-	-	-
	2080-LC10-12QWB	-	-	8	-	4	-	-	-	4	-	-
	2080-LC10-12DWD	-	-	-	8	4	-	-	-	4	-	-
	2080-LC10-12QBB	-	-	8	-	-	4	-	-	4	-	-
Micro820	2080-LC20-20AWB	8	-	4	-	7	-	-	1	4	-	-
	2080-LC20-20AWBR	8	-	4	-	7	-	-	1	4	-	-
	2080-LC20-20QWB	-	-	12	-	7	-	-	1	4	-	-
	2080-LC20-20QWBR	-	-	12	-	7	-	-	1	4	-	-
	2080-LC20-20QBB	-	-	12	-	-	7	-	1	4	1(PWM)	-
	2080-LC20-20QBBR	-	-	12	-	-	7	-	1	4	1(PWM)	-
Micro830	2080-LC30-10QWB	-	-	6	-	4	-	-	-	-	-	2
	2080-LC30-10QVB	-	-	6	-	-	-	4	-	-	1(PTO/PWM)	2
	2080-LC30-16AWB	10	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-
	2080-LC30-16QWB	-	-	10	-	6	-	-	-	-	-	2
	2080-LC30-16QVB	-	-	10	-	-	-	6	-	-	1(PTO/PWM)	2
	2080-LC30-24QWB	-	-	14	-	10	-	-	-	-	-	4
	2080-LC30-24QVB	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2(PTO/PWM)	4
	2080-LC30-24QBB	-	-	14	-	-	10	-	-	-	2(PTO/PWM)	4
	2080-LC30-48AWB	28	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-
	2080-LC30-48QWB	-	-	28	-	20	-	-	-	-	-	6
Micro850	2080-LC50-24QWB	14	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-
	2080-L50E-24AWB	14	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-
	2080-LC50-24QWB	-	-	14	-	10	-	-	-	-	-	4
	2080-L50E-24QWB	-	-	14	-	10	-	-	-	-	-	4
	2080-LC50-24QVB	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2(PTO/PWM)	4
	2080-L50E-24QVB	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2(PTO/PWM)	4
	2080-LC50-24QBB	-	-	14	-	-	10	-	-	-	2(PTO/PWM)	4
	2080-L50E-24QBB	-	-	14	-	-	10	-	-	-	2(PTO/PWM)	4
	2080-LC50-48AWB	28	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-
	2080-L50E-48AWB	28	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-
	2080-LC50-48QWB	-	-	28	-	20	-	-	-	-	-	6
	2080-L50E-48QWB	-	-	28	-	20	-	-	-	-	-	6
	2080-LC50-48QWBK	-	-	28	-	20	-	-	-	-	-	6
	2080-L50E-48QWBK	-	-	28	-	20	-	-	-	-	-	6
	2080-LC50-48QVB	-	-	28	-	-	-	20	-	-	3(PTO/PWM)	6
	2080-L50E-48QVB	-	-	28	-	-	-	20	-	-	3(PTO/PWM)	6
	2080-LC50-48QBB	-	-	28	-	-	20	-	-	-	3(PTO/PWM)	6
	2080-L50E-48QBB	-	-	28	-	-	20	-	-	-	3(PTO/PWM)	6

Los controladores Micro850 son aptos para aplicaciones que requieren más E/S digitales y analógicas, o E/S analógicas de mayor rendimiento. Estos controladores pueden aceptar un máximo de cuatro E/S de expansión y vienen con factores de formato de 24 puntos y 48 puntos con un puerto Ethernet incorporado.

Los controladores Micro850 incluyen:

- Compatibilidad con E/S de expansión
- Hasta seis entradas de contador de alta velocidad (HSC) incorporadas ^(a)
- HSC de 100 kHz de velocidad disponible en modelos de 24 VCC
- Hasta tres salidas de tren de impulsos (PTO) ^(b) incorporadas para posicionamiento básico
- Interrupciones de entradas de alta velocidad
- Protocolo Modbus RTU (puerto serial)
- Compatibilidad con Modbus/TCP
- Compatibilidad con EtherNet/IP
- Compatibilidad con CIP serial
- Programación de USB incorporada y puerto serial (RS-232/RS-485)
- Puerto Ethernet 10/100 Base-T (RJ45) incorporado
- Ranuras enchufables para personalizar según las necesidades

Detalles del número de catálogo del Micro800



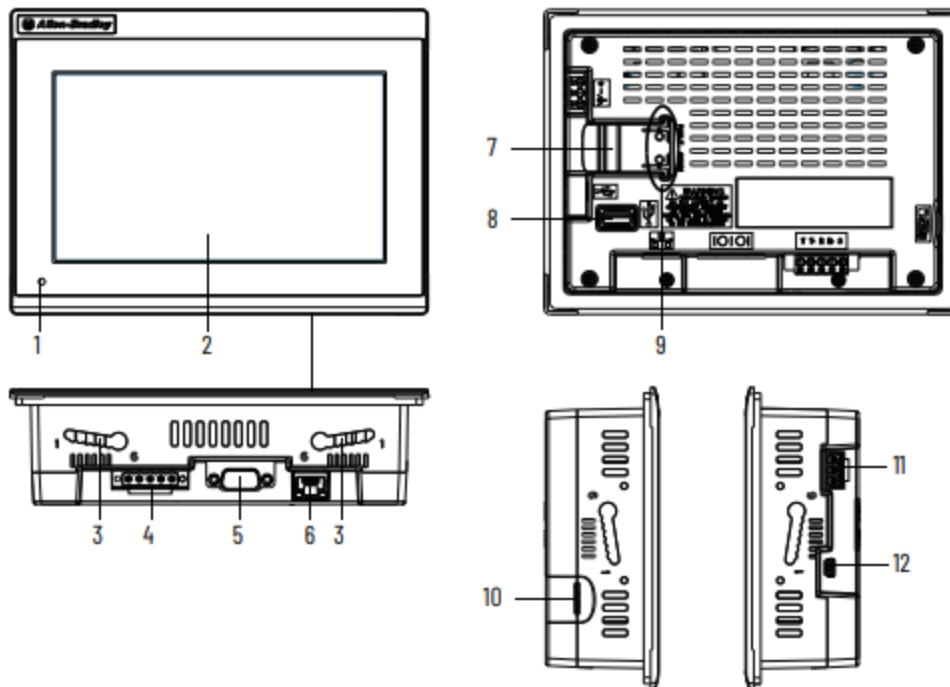
⁽¹⁾ Disponible solo para controladores Micro870 (2080-L70E).

⁽²⁾ Disponible solo para controladores Micro820.

⁽³⁾ Disponible solo para controladores Micro810.

Selección del HMI

PanelView 800 Terminales - 2711R-T7T



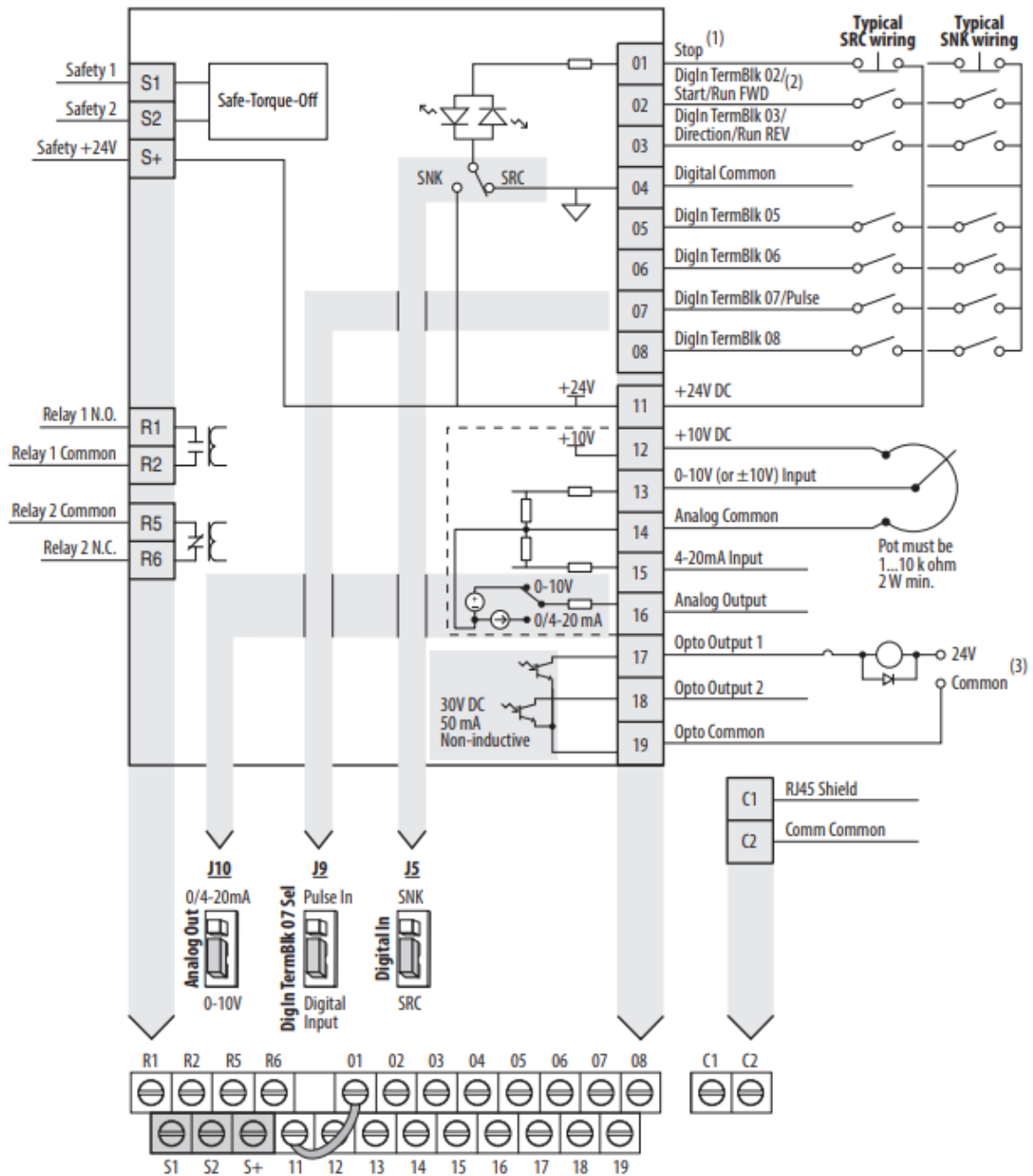
Descripción de los terminales PanelView 800 2711R-T7T

Elemento	Descripción	Artículo	Descripción
1	Indicador de estado de alimentación ⁽¹⁾	7	Batería reemplazable del reloj en tiempo real
2	Pantalla táctil	8	Puerto anfitrión USB
3	Ranuras de montaje	9	Indicador de estado de diagnóstico
4	Puerto RS-422 y RS-485	10	Ranura para tarjeta microSD (Secure Digital)
5	Puerto RS-232	11	Entrada de alimentación de 24 VCC
6	Puerto Ethernet 10/100 Mb	12	Puerto de dispositivo USB ⁽²⁾

(1) El indicador LED de estado de la alimentación eléctrica está rojo en el modo protector de pantalla o de atenuación, y verde en el modo normal (operacional).

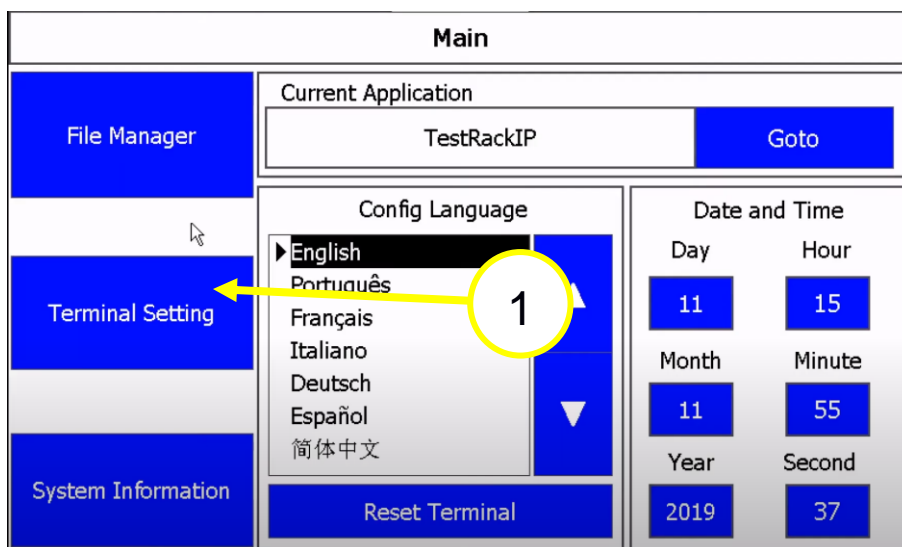
(2) El puerto del dispositivo USB no está concebido para uso por parte del cliente.

Diagrama de conexión del VDF PowerFlex 525

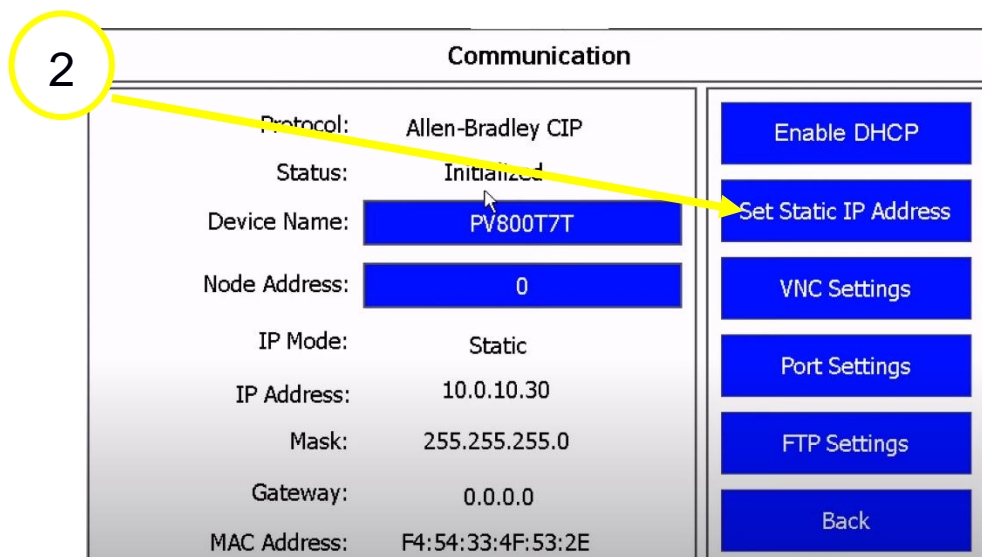


Asignación de la dirección IP y mascara en el HMI

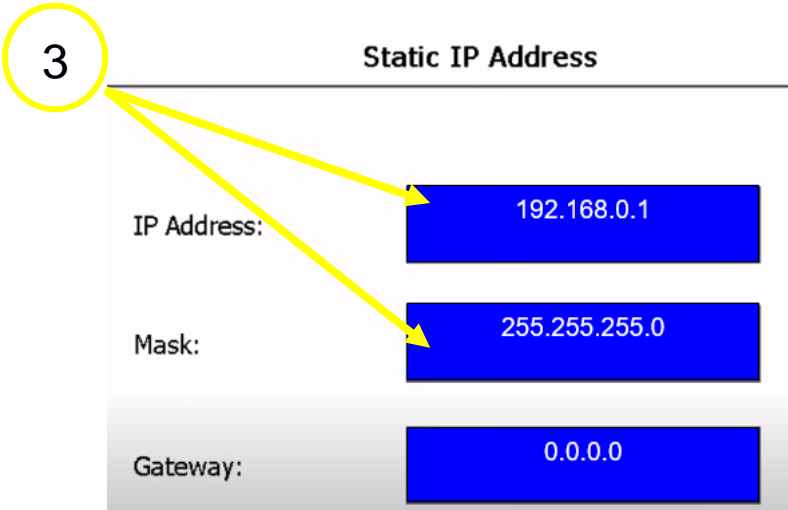
Al encender por 1ra vez el HMI y no contar con un proyecto cargado, se mostrará la siguiente pantalla y presionamos el botón “Terminal Setting”(1)



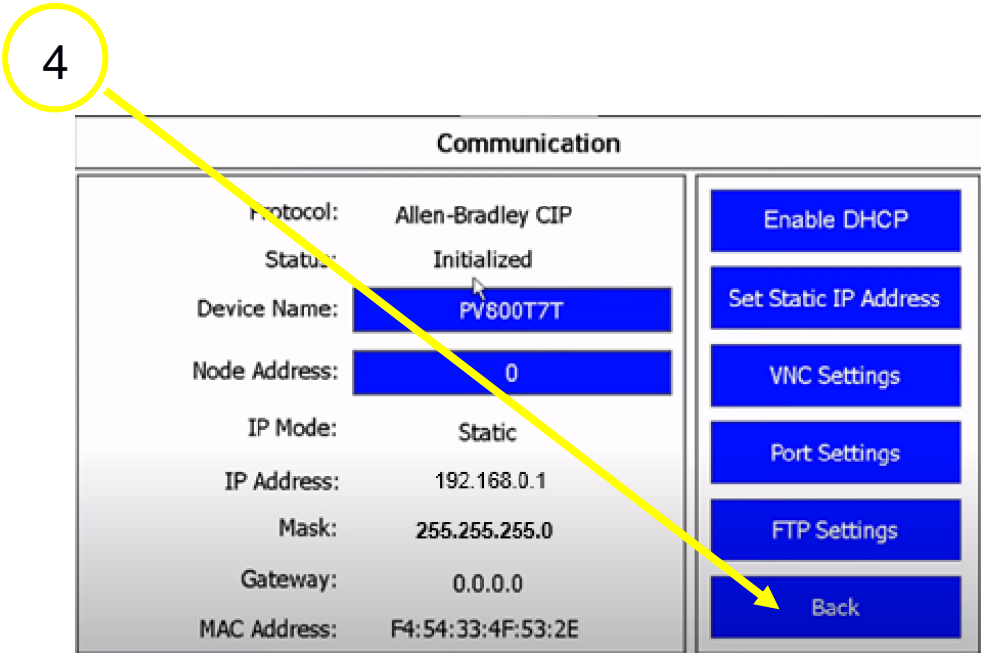
El HMI mostrará los datos por default del su protocolo EtherNet/IP, presionamos el botón “Set Static IP Adress” (2) para ingresar la dirección IP asignada.



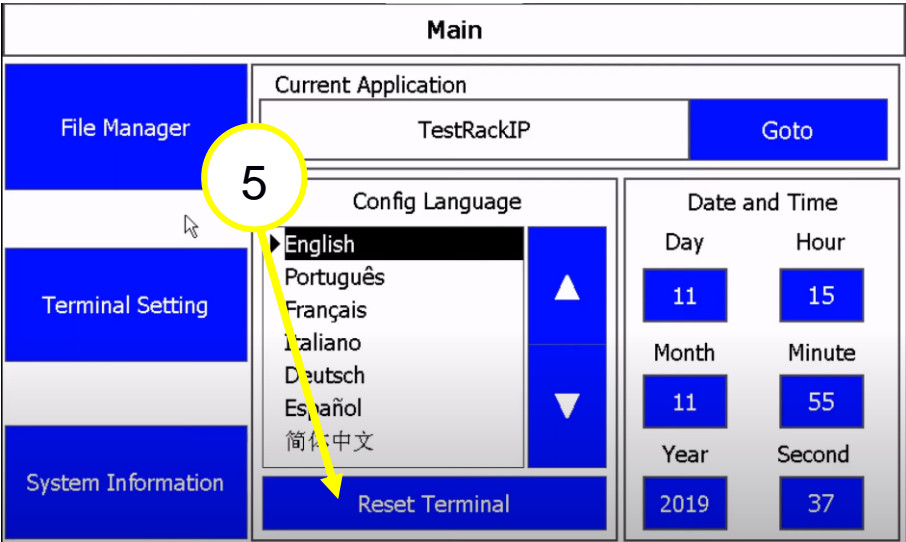
Dentro de la opción “Static IP Address “(3) asignamos el número de IP y el número de máscara, lo dejamos igual ya que es la misma que necesitamos para nuestra configuración.



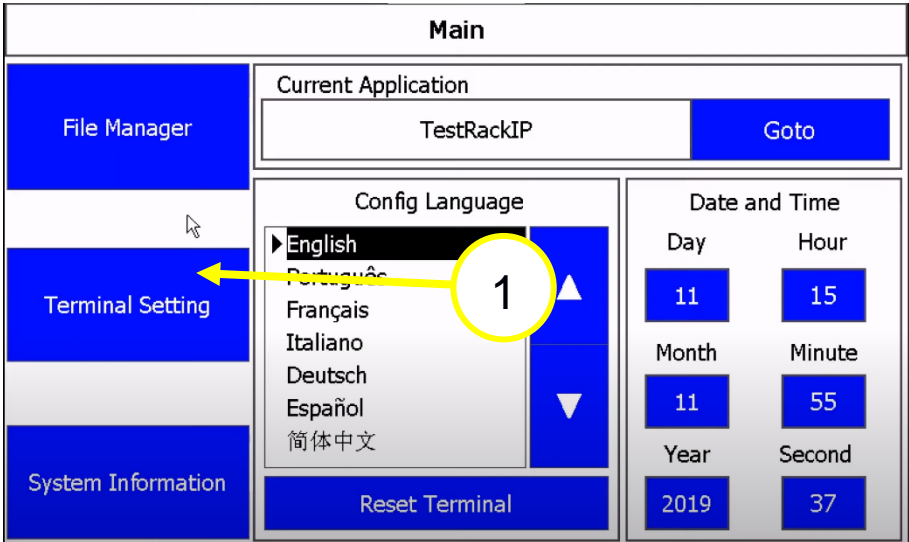
Una vez ingresada la IP, presionamos el botón “Back” (4) para regresar al menú principal



Presionamos el botón “Reset Terminal” (5) para guardar los cambios y poder ver la IP asignada una vez que se restablece el HMI



Una vez restablecido el HMI, presionamos nuevamente el botón “Terminal Setting”(1)



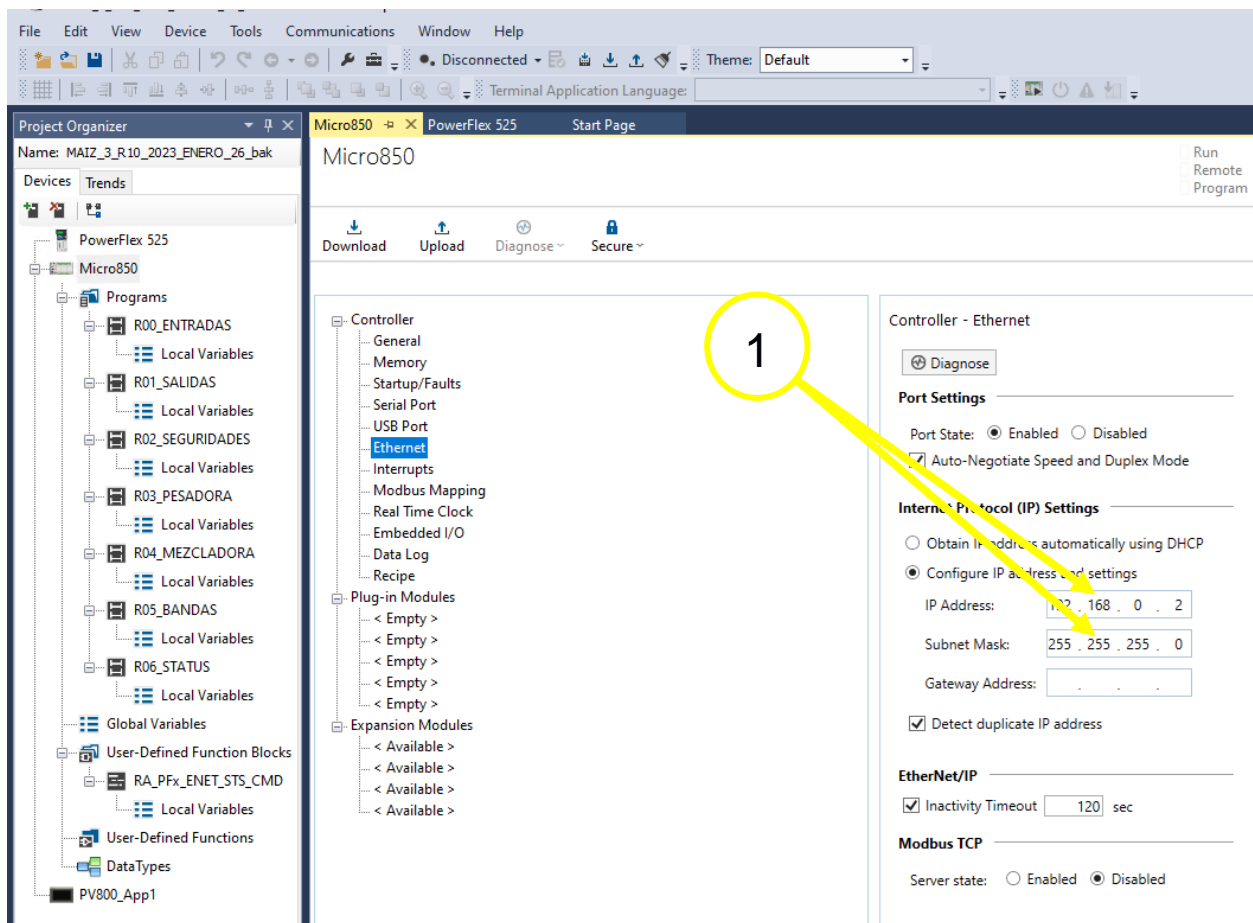
Ahora ya podemos apreciar la dirección IP y máscara (6) en la configuración EtherNet/IP del HMI

Communication	
Protocol:	Allen-Bradley CIP
Status:	Initialized
Device Name:	PV800T7T
Node Address:	0
IP Mode:	Static
IP Address:	192.168.0.1
Mask:	255.255.255.0
Gateway:	0.0.0.0
MAC Address:	F4:54:33:4F:53:2E

- Enable DHCP
- Set Static IP Address
- VNC Settings
- Port Settings
- FTP Settings
- Back

Asignación de la dirección IP y máscara en el PLC

Dentro del programa CCW abrimos la configuración del PLC dado de alta y en el apartado Ethernet asignamos la dirección IP y la máscara (1) . Guardamos los cambios y descargamos por el puesto USB del PLC la configuración

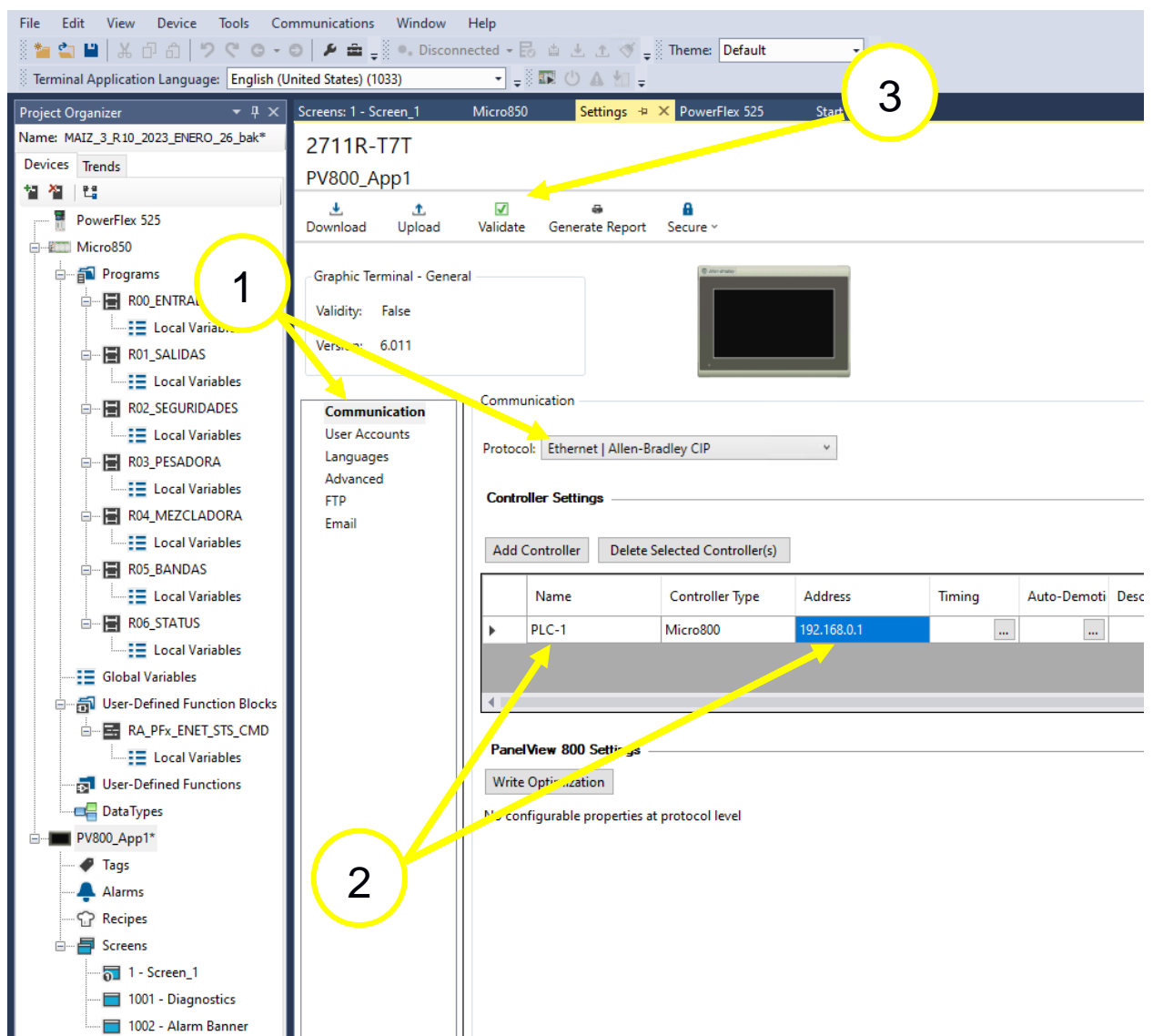


Comunicación entre el PLC y el HMI

En CCW abrimos la configuración del HMI seleccionamos el apartado Communications y en la opción Protocol seleccionamos Ethernet/Allen-Bradley CIP(1)

Presionamos Add Controller y asignamos un nombre a nuestro PLC, el tipo de controlador y la dirección IP del PLC (2).

Guardamos los cambios al proyecto y presionamos validar (3). La comunicación entre el PLC y HMI está realizada y solo falta descargar mediante cable EtherNet/IP el diseño de las pantallas de operación para que la configuración sea cargada al HMI presionando el botón Download ()



Control del variador PowerFlex 525 a través de EtherNet/IP

Para establecer la conectividad EtherNet/IP con un variador PowerFlex 525, es necesario configurar la dirección IP y la máscara de subred.

Establezca C128 en 1 "Parámetros".

C128 [EN Addr Sel]

Related Parameter(s): [C129-C132](#), [C133-C136](#), [C137-C140](#)

[PF 525] PowerFlex 525 only.

Enables the IP address, subnet mask and gateway address to be set with a BOOTP server. Identifies the connections that would be attempted on a reset or power cycle. A reset or power cycle is required after selection is made.

Options
1 "Parameters"
2 "BOOTP" (Default)

Al configurar C128 en 1, como ilustra la figura anterior, le indicamos a la unidad que mire los parámetros de la dirección IP a través de BOOTP (software propio de Rockwell para asignar direcciones IP y máscaras).

El siguiente paso es asignar una dirección IP a la unidad. Esto se logra mediante los siguientes pasos.

Establezca C129 en el entero del primer octeto.

Establezca C130 en el entero del segundo octeto.

Establezca C131 en el entero del tercer octeto.

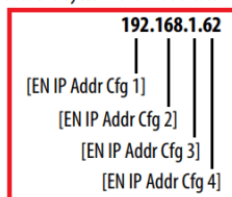
Establezca C132 en el entero del cuarto octeto.

C129 [EN IP Addr Cfg 1]
C130 [EN IP Addr Cfg 2]
C131 [EN IP Addr Cfg 3]
C132 [EN IP Addr Cfg 4]

Related Parameter(s): [C128](#)

[PF 525] PowerFlex 525 only.

Sets the bytes in the IP address. A reset or power cycle is required after selection is made.



IMPORTANT C128 [EN Addr Sel] must be set to 1 "Parameters".

Values	Default:	0
	Min/Max:	0/255
	Display:	1

Al configurar estos cuatro parámetros, la IP de la unidad será la siguiente: C129, C130, C131, C132. Para nuestro caso: 192.168.0.3

El siguiente paso es asignar una máscara de subred a la unidad. Esto se logra mediante los siguientes pasos.

Establezca C133 en el entero del primer octeto.

Establezca C134 en el entero del segundo octeto.

Establezca C135 en el entero del tercer octeto

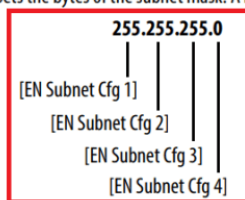
Establezca C136 en el entero del cuarto octeto.

C133 [EN Subnet Cfg 1]
C134 [EN Subnet Cfg 2]
C135 [EN Subnet Cfg 3]
C136 [EN Subnet Cfg 4]

Related Parameter(s): [C128](#)

(PF 525) PowerFlex 525 only.

Sets the bytes of the subnet mask. A reset or power cycle is required after selection is made.




IMPORTANT C128 [EN Addr Sel] must be set to 1 "Parameters".

Values	Default:	0
	Min/Max:	0/255
	Display:	1

Al configurar estos cuatro parámetros, la máscara de subred de la unidad será la siguiente: C133.C134.C135.C136. Para nuestro caso: 255.255.255.0

Por último, debemos reiniciar la unidad para que la dirección tome:

Establezca P053 en 4, "Reinicio del módulo"

P053 	[Reset To Defaults]	0/4	0 = "Ready/Idle"
	Resets parameters to their factory defaults values. After a Reset command, the value of this parameter returns to zero.		1 = "Param Reset" 2 = "Factory Rset" 3 = "Power Reset" 4 = "Module Reset" ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
	(1) Power cycle of the drive, NO parameters are reset.		
	(2) Setting is available in PowerFlex 525 FRN 5.xxx and later.		
	(3) Setting is available in PowerFlex 523 FRN 3.xxx and later.		

Al establecer este parámetro en 4, el módulo se reinicia sin afectar la memoria del variador. Este paso es necesario para que el variador configure los parámetros que le asignamos en los pasos anteriores. O simplemente se puede apagar la alimentación del VDF y al volver a encender se habrá dado un reinicio al equipo

Al estar conectado en línea con el CCW y abrir la configuración del VDF podemos ver la IP y máscara que asignamos de manera manual

PowerFlex 525 RA_PfX_ENET_STS_CMD-POU RA_PfX_ENET_STS_CMD-VAR Start Page

PowerFlex 525

- Overview
- Parameters**
- Faults / Alarms
- Device Info
- Wizards
- Address

0 - PowerFlex 525 All Parameters Show Non-Defaults Filter Value Reset Defaults

Port	#	Name	Value	Units	Internal Value	Default	Min	Max	
0	118	Reserved	0		0	0	0	0	...
0	119	Reserved	0		0	0	0	0	...
0	120	Reserved	0		0	0	0	0	...
0	121	Comm Write Mode	Save		0	Save	0	1	...
0	122	Cmd Stat Select	Velocity		0	Velocity	0	1	...
0	123	RS485 Data Rate	9600		3	9600	0	5	...
0	124	RS485 Node Addr	100		100	100	1	247	...
0	125	Comm Loss Action	Fault		0	Fault	0	3	...
0	126	Comm Loss Time	5.0	Sec	50	5.0	0.1	60.0	...
0	127	RS485 Format	RTU 8-N-1		0	RTU 8-N-1	0	5	...
0	128	EN Addr Sel	Parameters		1	BOOTP	1	2	...
0	129	EN IP Addr Cfg 1	192		192	0	0	255	...
0	130	EN IP Addr Cfg 2	168		168	0	0	255	...
0	131	EN IP Addr Cfg 3	0		0	0	0	255	...
0	132	EN IP Addr Cfg 4	3		3	0	0	255	...
0	133	EN Subnet Cfg 1	255		255	0	0	255	...
0	134	EN Subnet Cfg 2	255		255	0	0	255	...
0	135	EN Subnet Cfg 3	255		255	0	0	255	...
0	136	EN Subnet Cfg 4	0		0	0	0	255	...
0	137	EN Gateway Cfg 1	0		0	0	0	255	...
0	138	EN Gateway Cfg 2	0		0	0	0	255	...
0	139	EN Gateway Cfg 3	0		0	0	0	255	...
0	140	EN Gateway Cfg 4	0		0	0	0	255	...
0	141	EN Rate Cfg	Auto detect		0	Auto detect	0	4	...
0	142	Reserved	0		0	0	0	0	...

Control Bar

Comunicación entre el PLC y el VDF

