Diseño y construcción de un prototipo de dosificación automático empleando tecnología de controladores lógicos programables

Design and construction of an prototype using programmable logic controller technology

Ing. Efraín Guadalupe Sámano Mora[1]
[1]Departamento de estudios multidisciplinarios, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Yuriria, CP. 48940, Guanajuato México. eg.samanomora@ugto.mx

Resumen/Abstrac

Los sistemas de dosificación automática son dispositivos que permiten controlar el suministro de materiales, como líquidos, solidos, pastas, en otros, sin la necesidad de intervención humana de manera directa. Gracias a ellos es posible dispensar productos de manera precisa evitando derrames o errores de medición, disminuir tiempos en operación, así como su monitoreo en tiempo real y ajustes de funcionamiento por mandos o tableros a distancia. Este proyecto presenta el desarrollo de un prototipo despachador de productos de limpieza y desinfección, el cual, muestra la compatibilidad y facilidad de integración de periféricos bajo una lógica centralizada. El objetivo es demostrar, mediante un caso práctico, cómo la tecnología de controladores lógicos programables simplifica el diseño funcional, reduce los riegos de falla, garantiza la flexibilidad como la escalabilidad del sistema y asegura una mayor vida útil en aplicaciones de dosificación automática.

Palabras clave: automatización industrial; controlador lógico programable; dosificación automática; interfaz hombre-máquina; Modbus RTU; norma IEC 61131.

Introducción

En la actualidad, el paso de sistemas manuales a automáticos se ha dado de manera gradual y mediante distintas técnicas. Entre ellas destacan, la lógica cableada, la cual, aunque funcional, requiere de una alta destreza manual, tiempos prolongados de implementación y un uso excesivo de materiales (cable, relevadores, contactores y temporizadores). Por otro lado, el uso de microcontroladores ha ganado terreno, sin embargo, estos operan generalmente en rangos de 5V a 12V, lo que exige circuitos de acoplamiento adicionales para interactuar con entornos industriales de 24V o aquellos de mayor tensión. Además, estos dispositivos no cuentan con aislamiento y resistencia al ruido electromagnético necesario para entornos de uso rudo (Henao Castañeda y Ramirez Cardona, 2025).

Ante la necesidad de tecnología que garantice robustez y confiabilidad en condiciones de operación constante, los controladores lógicos programables surgen como la solución ideal. Que, a diferencia de los métodos mencionados, presenta una arquitectura diseñada para la durabilidad, facilidad de programación y flexibilidad de expansión, integrando aislamiento galvánico y cumpliendo con normativas industriales.

Los autómatas programables permiten centralizar el control en solo equipo robusto facilitando la programación mediante software y reduciendo los puntos de falla.

En el estudio de la revista DELOS, (Henao Castañeda y Ramirez Cardona, 2025) evaluaron diversos métodos de control aplicados a procesos industriales. Describen que, mientras la lógica cableada ofrece soluciones para sistemas simples o educativos, carece de la flexibilidad, al estar limitada por el uso excesivo de elementos adicionales, dificultando el seguimiento del cableado, su modificación y la adición de nuevas etapas, incrementando los costos de instalación. Por otro lado, la aplicación de microcontroladores como las placas Arduino se mantiene mayormente en la creación de prototipos debido a la necesidad de hardware adicional que permita trabajar con elementos de uso industrial. En conclusión, de acuerdo con la investigación de (Henao Castañeda y Ramirez Cardona, 2025), el PLC resalta como la tecnología más viable para aplicaciones robustas. Esto se debe no solo por estar estandarizados bajo la norma IEC-61131-3, sino por a su alta escalabilidad, flexibilidad de ampliación y facilidad de instalación, sumado a un diagnóstico sencillo y

la capacidad de recuperar datos tras fallos de energía mediante memorias no volátiles. Estas ventajas se resumen en la siguiente tabla (Tabla 1):

Tabla 1. Comparación de los métodos de automatización.

Criterio	Lógica cableada	PLC	Arduino
Costo	Alto	Alto	Bajo
Flexibilidad	Muy baja	Alta	Alta
Facilidad de instalación	Media	Alta	Alta
Complejidad técnica	Baja	Media	Alta
Escalabilidad	Nula	Alta	Media
Aplicación industrial	Muy limitada	Alta	Baja (prototipado)
Tiempo de programación.	Largo	Corto	Medio
Mantenimiento y diagnostico	Difícil	Sencillo	Requiere personal capacitado.

Objetivo general:

Desarrollar un prototipo de un sistema de dispensado automático de materiales químicos de limpieza y desinfección, basado en tecnología de Controladores Lógicos Programables, para simplificar el diseño técnico, instalación y actualización, asegurar un ciclo de vida superior y optimizar la eficiencia operativa, así como, la experiencia de usuario.

Objetivos específicos:

- Desarrollar un sistema de dispensado de productos mediante la integración de hardware industrial (Automata IVC1L-1410MAR y pantalla VS-070HS), asegurando la compatibilidad, escalabilidad y robustez del sistema a largo plazo.
- Establecer la comunicación de datos entre el controlador y la interfaz HMI a través del protocolo RS485, para optimizar el intercambio de información en tiempo real, el control y monitoreo del proceso desde una pantalla industrial y fluidez en la experiencia de usuario.
- Implementar la lógica de control en lenguaje Ladder, integrando algoritmos basados en contadores, temporizadores, funciones y variables que permitan el despacho de producto y la validación de crédito a través de un monedero electrónico de manera precisa.
- Diseñar una interfaz de usuario (HMI) intuitiva y funcional, que facilite la interacción del operador con las señales del controlador y mejore la experiencia de uso del sistema automatizado.

Marco teórico

A) Marco normativo: Estándar IEC61131 para controladores programables.

La International Electrotechnical Commission (IEC) normaliza mediante el estándar IEC 61131 todo lo relacionado con controladores lógicos programables y sus periféricos. (Narciso *et al.,* 2011)

La norma IEC 61131-1 define a un controlador lógico programable como un sistema electrónico digital diseñado específicamente para su uso en entornos industriales y de automatización, cuya finalidad es ejecutar funciones de control lógico, secuencial, temporización, conteo y procesamiento aritmético mediante el uso de una memoria programable. Introduce los principios de funcionamiento, bajo el concepto del ciclo de escaneo (scan cycle), mediante el cual el dispositivo realiza de forma repetitiva e invariable las etapas de: lectura del estado de las entradas, ejecución del programa almacenado en memoria y actualización del estado de las salidas. Se establece los criterios generales de diseño que deben cumplir los controladores lógicos programables, tales como la configuración y construcción mediante módulos independientes (modularidad), capacidad de expansión, operación confiable en ambientes exigentes y compatibilidad con periféricos estandarizados (International Electrotechnical Commission, 2003).

La norma IEC 61131-2 establece los requisitos eléctricos y ambientales obligatorios para los autómatas programables industriales, entre ellos:

- Niveles de tensión estandarizados a 24VDC para señales industriales.
- Aislamiento galvánico entre entradas, salidas y CPU.
- Inmunidad a interferencias electromagnéticas (EMI).
- Tolerancia a vibraciones, temperatura, humedad y condiciones de uso rudo.
- Protección contra perturbaciones eléctricas y ruido inducido por cargas inductivas.

(IEC, 2007)

De acuerdo con (John y Tiegelkamp, 2001), una de las razones que impulsó la adopción masiva de los autómatas programables fue la estandarización de sus lenguajes de programación mediante la norma IEC 61131-3, la cual define lenguajes gráficos y textuales como Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST), Instruction List (IL) y Sequential Function Chart (SFC). Esta estandarización permite que los programas puedan mantenerse, modificarse y ampliarse sin necesidad de rediseñar físicamente el sistema. Asimismo, facilita el diagnóstico, identificación y corrección de errores, así como la posibilidad de expansión o modificación del sistema de control como el propuesto en este proyecto. (John y Tiegelkamp, 2001)

B) Pantalla LED INVT modelo VS-070HS

El modelo VS-070HS, es un dispositivo diseñado para la creación de Interfaces Hombre-Máquina (HMI) (INVT, 2018). Es programable mediante el software HMITool. (INVT, 2020). (Figura 3).

Características técnicas:

Interfaces de Comunicación.

- Puerto USB 2.0.
- Puertos serie: COM1 (RS232/422/485) y COM2 (RS232/422/485). (INVT, 2018)

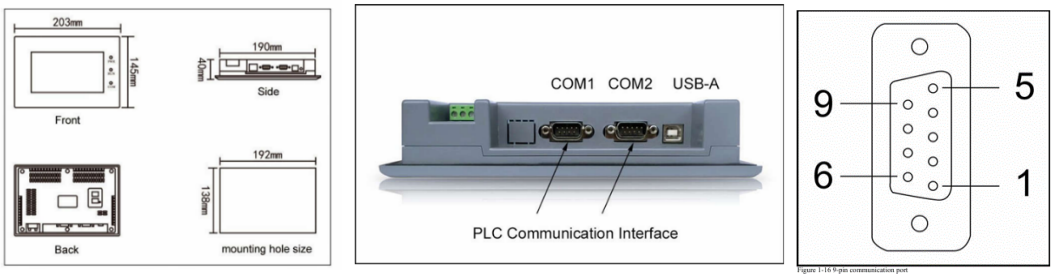


Figura 1, Figura2, Figura 3. Dimensiones de la pantalla y puertos serie para la comunicación RS232/422/485. Fuente: (INVT, 2020)

Tabla 2. Tabla de asignación de pines (RS232, RS422 Y RS485).

PIN	COM1:RS232	COM2:RS232	COM2:RS485
1	-	-	-
2	RX	-	-
3	TX	-	
4		-	-
5	GND	GND	GND
6	-	RX-	-
7	-	RX+	-
8	-	TX-	B-
9	-	TX+	A+

(INVT, 2020)

C) Controlador Lógico Programable INVT modelo IVC1L 1410-MAR
D)

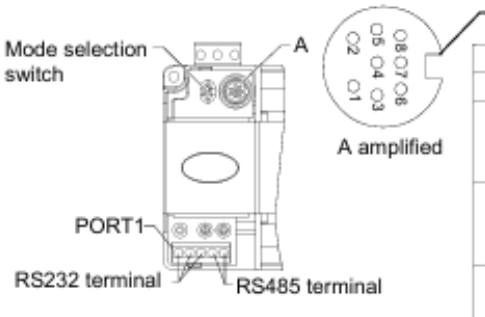
El autómata INVT modelo IVC1L-1410MAR de estructura compacta e integrada, equipado con un microprocesador de alto rendimiento, Entradas/Salidas (E/S) integradas y bus de expansión. Su programación y monitoreo se realizan a través del software AutoStation.
Especificaciones Técnicas:

Alimentación y Potencia.

- Fuente auxiliar: De 24V DC (limitada a 500mA).
- Entradas Digitales (X0 - X13) Opto acopladas
- Filtrado Digital: 10ms por defecto.
- Salidas Digitales (Y0 - Y11) con aislamiento galvánico.

Puertos de Comunicación y estados del controlador

- PORT0: Puerto serial RS232 requiere de un conector Mini DIN8. Soporta protocolos de programación y Modbus RTU (Slave).
- PORT1: Puerto dual para conexión RS232 o RS485. Soporta Modbus RTU (Master/Slave).



Pin No.	Name	Description
3	GND	Ground
4	RXD	Serial data receiving pin (from RS232 to PLC)
5	TXD	Serial data transmitting pin (from PLC to RS232)
1,2,6, 7, 8	Reserved	Undefined pin, leave it suspended

Figura 4. Puertos de comunicación del PLC INVT IVC1L 1410MAR
Fuente: (INVT Automatic Control Technology Co., Ltd. [INVT], 2011)

La Figura 5 ilustra el esquema detallado de asignación de Entradas/Salidas (E/S) y la disposición de los bornes de conexión del modelo INVT IVC1L.

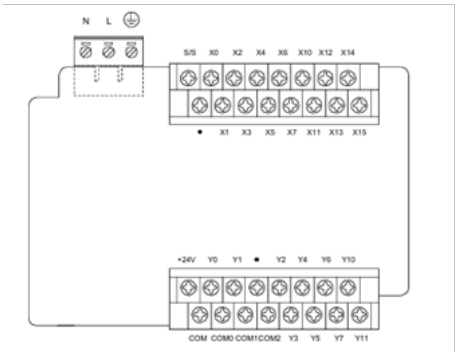


Figura 5. Diagrama de distribución de terminales (PinOut)
Fuente: (INVT Automatic Control Technology Co., Ltd. [INVT], 2011)

La tabla 3 describe el funcionamiento y distribución de dichas terminales.

Tabla 3. Descripción y distribución de terminales del controlador IVC1L-1410MAR

Pin	Descripción
L/N	Terminal de alimentación 120 a 220Vac
+24V	Fuente auxiliar de DC para equipos externos, utilizada junto con COM integrada al PLC
COM	Polo negativo de la fuente auxiliar
S/S (Sink" (Sumidero) o "Source" (Fuente).)	Conexión de referencia común para las entradas digitales.
•	Terminal nula
X0 a X15	Terminales de entrada digital
Y0, COM0	Terminales de salida (Grupo 0)
Y1, COM1	Terminales de salida (Grupo 1)
Y2 a Y11, COM2	Terminales de salida (Grupo 2)
⏚	Tierra Física

Función Principal de la terminal S/S:

El terminal S/S (Source/Sink) define el nivel de referencia eléctrico para las entradas digitales del autómata, permitiendo la compatibilidad con diferentes tipos de sensores (PNP/NPN) y dispositivos de entrada. A continuación, se muestra las posibles configuraciones del puerto S/S:

- Modo SINK (Sumidero): Las entradas se configuran para activarse con 0 – 3 V.
- Modo SOURCE (Fuente): Las entradas se configuran para activarse con +24 V.

(INVT, 2011)

E) *Aceptador de monedas electrónico SR 213.*

El modelo SR 1213, por su versatilidad en la discriminación multimoneda y su salida de colector abierto (Open Collector), permite la detección precisa de señales mediante conexión directa a una de las entradas del modelo INVT IVC1L 1410MAR.

Especificaciones Técnicas:

Características de la Señal de Salida.

- Tipo de Salida: Pulso de colector abierto (Open Collector - NPN).
- Configuración Lógica: Normalmente Abierta (N.O.) o Normalmente Cerrada (N.C.) seleccionable mediante interruptor físico.
- Ancho de Pulso (ms):
  - Fast (Rápido): 20ms.
  - Medium (Medio): 40ms.
  - Long (Largo): 60ms.



Figura 6. Selector de velocidad de salida de pulso
Fuente: (Rockolas y Más, s. f.)



Figura 7. Selector del pulso de colector (NO) o (NC)
Fuente: (Rockolas y Más, s. f.)

(Rockolas y Más, s. f.).

Metodología

El desarrollo del prototipo de dosificación automática se basa en una arquitectura centralizada bajo el estándar IEC 61131, orientada a garantizar robustez eléctrica, escalabilidad en el software y fluidez en el intercambio de datos en tiempo real. La metodología se estructura en 4 etapas la integración de hardware, configuración de la comunicación industrial bajo el protocolo RS485, desarrollo del algoritmo en lenguaje escalera (Ladder) y el diseño del entorno gráfico de operación. (Figura 8).

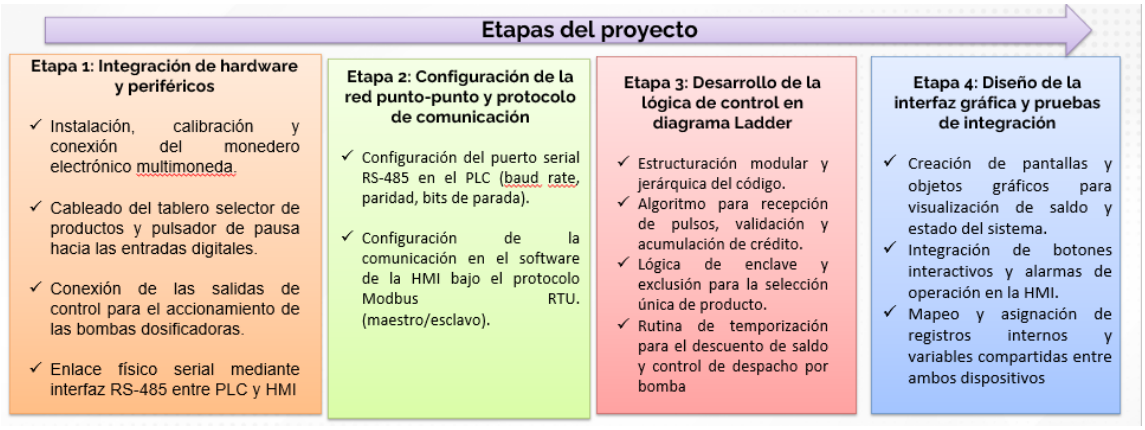


Figura 8. Etapas para el desarrollo del prototipo de dosificación inteligente
Fuente: Elaboración propia.

Etapa 1: Integración física y acondicionamiento de periféricos

La figura 9 muestra el diagrama a bloques del prototipo dosificador inteligente basada en una arquitectura centralizada, la cual, permite la interacción y comunicación entre componentes bajo el estándar IEC 61131.

El sistema se divide en tres bloques principales:

1. Procesamiento de crédito y control de efectivo: Integración de un aceptador de monedas electrónico para detectar el ingreso de efectivo.
2. Interfaz de usuario: Consiste en una pantalla conectada al autómata programable mediante el protocolo RS485. Esta permite al usuario ver su saldo y recibir instrucciones visuales.
3. Control de selección y despacho: Conformado por el controlador lógico programable como cerebro del sistema, quien gestiona los pulsadores de selección y el botón de paro manual (pausa del sistema), así como las salidas de potencia para el control de las bombas de despacho.



Figura 9. Diagrama a bloques de la arquitectura del sistema dosificador inteligente.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen las etapas del montaje del prototipo de dosificación automática.

1.- Configuración del aceptador multimoneda y conexión al PLC IVC1L 1410MAR:

Para la instalación del monedero electrónico, se estableció el siguiente esquema de conexión (Figura 10):

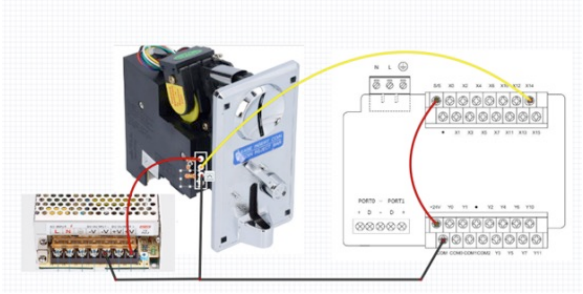


Figura 10. Conexión entre el aceptador de monedas y el PLC.
Fuente: Elaboración propia.

Este dispositivo cuenta con una salida de pulso de colector abierto (Open Collector - NPN) (Rockolas y Más, s. f.). Por tanto, para habilitar la detección de señales tipo NPN en las entradas del PLC es necesario configurarlo en modo SINK (Figura 11) (INVT, 2011)

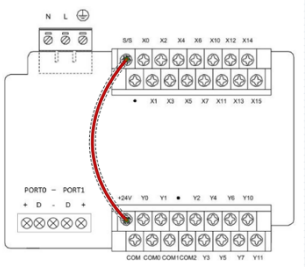


Figura 11. Conexión entre las terminales S/S y +24V.Fuente: Elaboración propia.

2. - Configuración de pulsadores de selección y paro

La selección de los productos y el paro manual se realiza mediante interruptores de presión (push buttons). La distribución de los productos y el paro fue la siguiente:

- X0: Fabuloso.
- X1: Pinol.
- X2: Cloro.
- X3: Roma.
- X4: Salvo.
- X5: Zote.
- X15: Paro por pulsador

3.- Conexión física de la interfaz de comunicación (HMI - PLC)

El enlace físico entre la pantalla táctil INVT VS-070HS y el controlador IVC1L-1410MAR se implementó mediante una conexión serial punto a punto bajo el estándar RS-485.

Etapa 2: Configuración de la red industrial (P2P) y protocolo Modbus RS485.

Configuración de la comunicación serial para el modelo IVC1L 1410MAR desde el software AutoStation.
Para garantizar el intercambio de datos entre el autómata IVC1L-1410MAR y la pantalla VS-070HS mediante el protocolo industrial Modbus RTU sobre la interfaz RS-485. Los parámetros de configuración serial implementados se resumen en la Tabla 3:

Tabla 3. *Parámetros de comunicación serial Modbus RT para el controlador*

Parámetro	Valor configurado	Función / Descripción
Velocidad (Baud rate)	19,200 bps	Tasa de transferencia de bits por segundo
Bits de datos (Data bits)	8 bits	Longitud de la palabra de datos
Paridad (Parity check)	Ninguna (None)	Sin bit de comprobación de paridad
Bit de parada (Stop bit)	1 bit	Delimitador de fin de paquetes de datos
Modo de operación	Slave Station	Nodo esclavo para recepción de peticiones
Dirección de estación (Node ID)	1	Identificador único del PLC en el bus

Configuración del enlace en la pantalla HMI desde el software HMITools

De manera similar, en el software HMITool se configuró la comunicación seleccionando el modelo del autómata (INVT IVC1L) y asignando el puerto COM2, el cual permite la conexión física por RS-485. Para que ambos equipos se entiendan sin errores, se aplicaron los mismos valores de velocidad y formato de datos indicados en la Tabla 3.

Etapa 3: Arquitectura y lógica de control en lenguaje Ladder para el sistema de dispensado.
La programación del módulo IVC1L-1410MAR se desarrolló en lenguaje de contactos o diagramas de escalera (Ladder) utilizando el software AutoStation.
La figura 12 describe el diagrama de flujo del algoritmo de control.

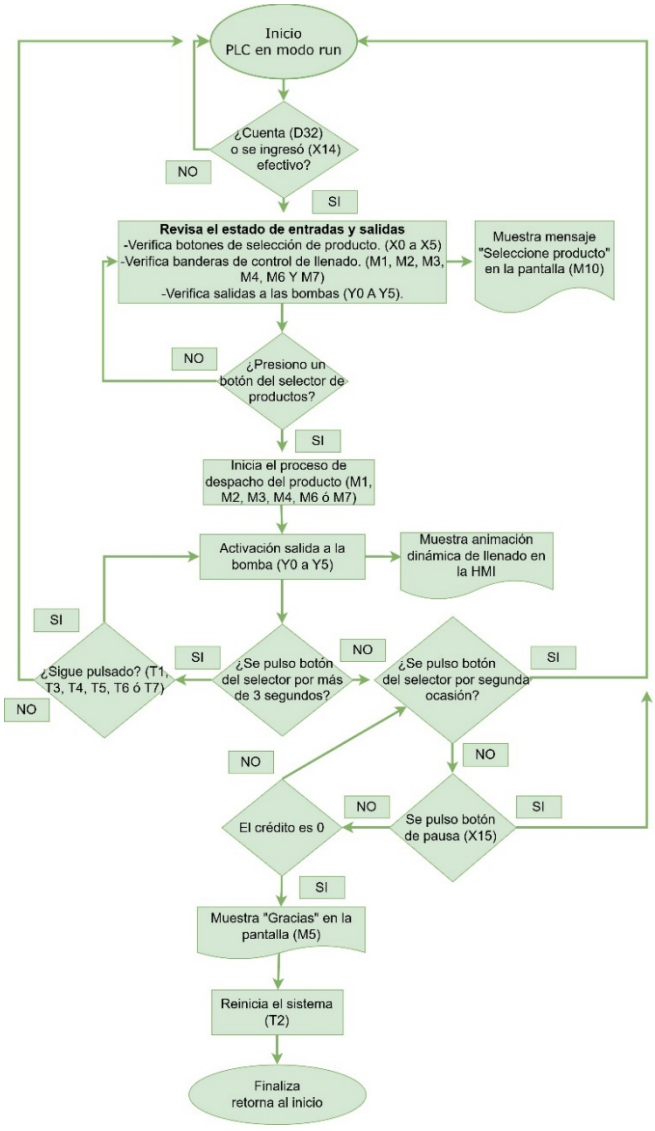


Figura 12: Diagrama de flujo de la lógica de operación del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

Para su correcto funcionamiento la secuencia de instrucciones es la siguiente:

- Inicio y comprobación de efectivo.
- Selección de producto.
- Proceso de despacho.
- Control de pausa y paro.
- Finalización y reinicio.

Para garantizar el funcionamiento eficiente y escalabilidad del sistema despachador, se implementó una estructura jerárquica en la distribución del código. La figura 13 muestra el menú principal (MAIN) quien coordina seis subprogramas independientes.
Demostrando mediante este caso práctico como la norma IEC 61131-3 aplicada a sistemas automatizados con controladores lógicos programables, permite la escalabilidad, reduce la complejidad del software e integración de hardware; adicional disminuye costos de mantenimiento a largo plazo al facilitar diagnósticos rápidos.

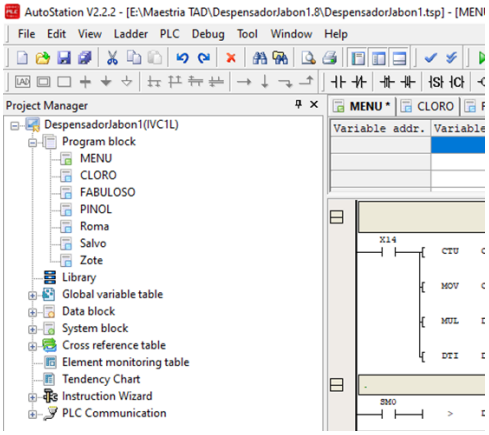


Figura 13: Distribución del código del proyecto y escalabilidad del software
Fuente: Elabolación propia.

La Figura 14 ilustra la lógica programada en el software AutoStation para la validación de crédito:

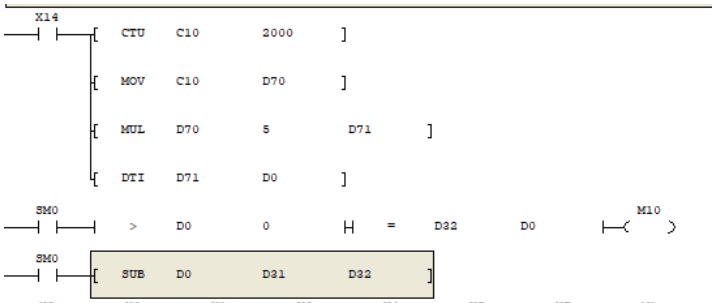


Figura 14: Habilitación de la interfaz HMI, validación y calculo en tiempo real del crédito.
Fuente: Elaboración propia.

El acceso a las subrutinas de despacho se estructuró mediante una lógica de interbloqueo (interlocking) vinculada al tablero de selección (Figura 15):

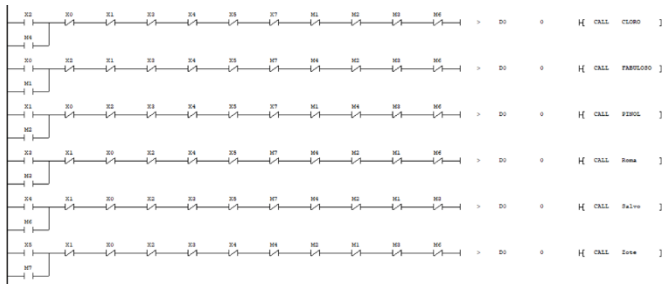


Figura 15: Condiciones para el llamado de las subrutinas en el menú principal.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 16 muestra la función de paro manual o paro de emergencia:

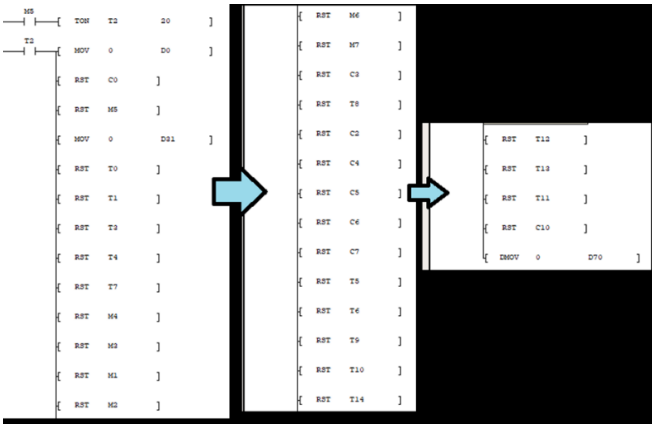


Figura 16: Paro manual.
Fuente: Elaboración propia.

La estructura de programación en los bloques de función es similar para los seis productos, operando bajo la misma secuencia de control. Por esta razón, se tomará como modelo las líneas de instrucción para el suministro de uno de ellos.

Lógica de control para pausa por doble pulsación (Figura 17).

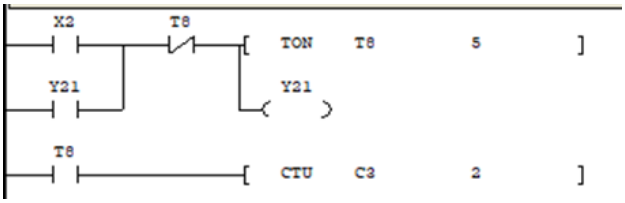


Figura 17: Paro por segunda pulsación.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 18 muestra la sección de programación para la activación de la salida a la bomba de suministro.

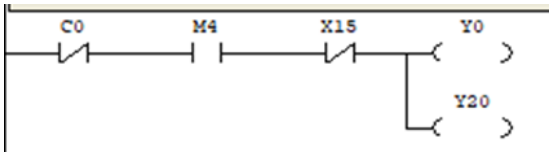


Figura 18: Salidas para control de la bomba y animación de llenado en la HMI.
Fuente: Elaboración propia.

Algoritmo de control de saldo (Figura 19):

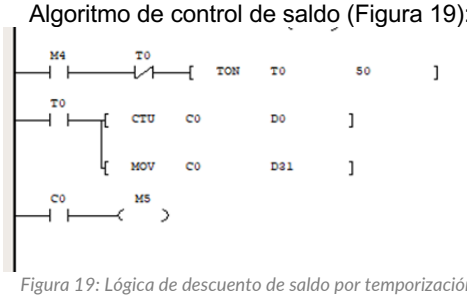


Figura 19: Lógica de descuento de saldo por temporización.
Fuente: Elaboración propia.

Etapa 4: Desarrollo del entorno visual HMI y monitoreo en tiempo real.

La programación de la interfaz gráfica se desarrolló en el software HMITools, donde se integraron y configuraron los objetos gráficos, que permiten al usuario monitorear su saldo en tiempo real e interactuar con el sistema.

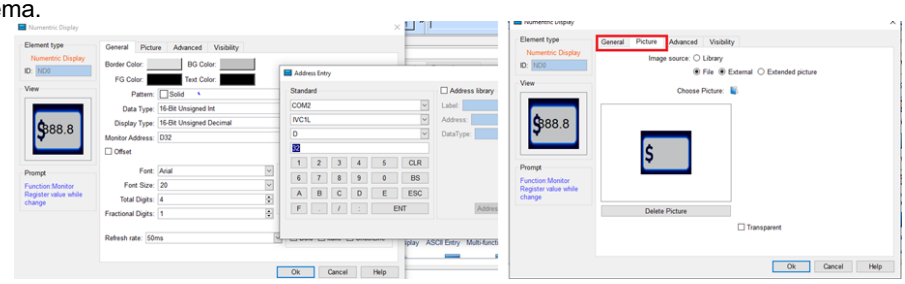


Figura 20: Configuración saldo disponible mediante el elemento Numeric Display y ejemplo de imagen precargada.
Fuente: Elaboración propia.

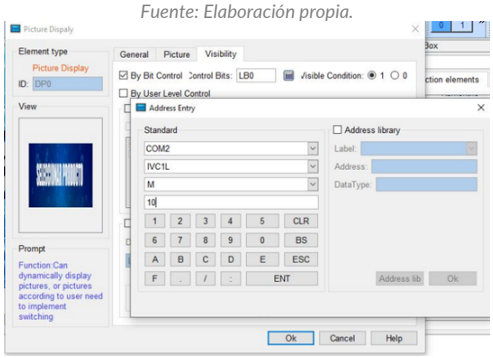


Figura 21: Configuración del mensaje dinámico "seleccione producto".
Fuente: Elaboración propia.

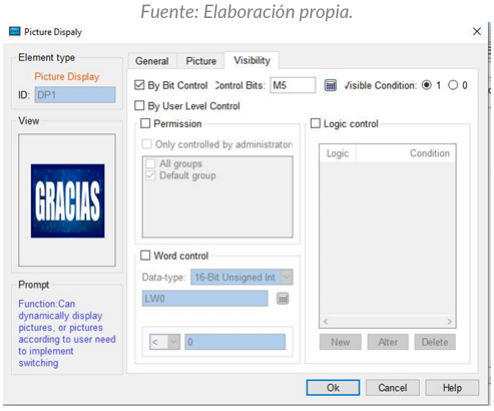


Figura 22: Configuración del mensaje dinámico "gracias".
Fuente: Elaboración propia.

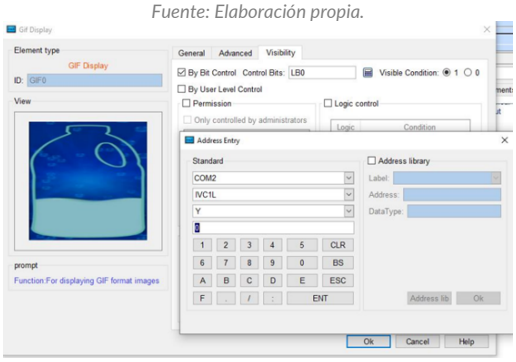


Figura 23: Ejemplo de indicador dinámico para uno de los subproductos
Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Como producto final en el desarrollo del prototipo inteligente, se obtuvieron los siguientes resultados durante su elaboración y operación:

Se logró el diseño de la interfaz gráfica en el software HMITool para el despensador de productos químicos de limpieza y desinfección, en una sola pantalla con todos los elementos de control y monitoreo (Figura 24). En simulación se observa la correcta implementación de:

- Despliegue de mensajes dinámicos (Figura 25).
- Monitoreo de Saldo (Figura 26).
- Animaciones en tiempo real (Figura 27).
- Finalización de Servicio (Figura 28).



Figura 24: Interfaz Gráfica final en el software HMITools
Fuente: Elaboración propia.



Figura 25: Resultados simulador "Selector de producto".
Fuente: Elaboración propia.

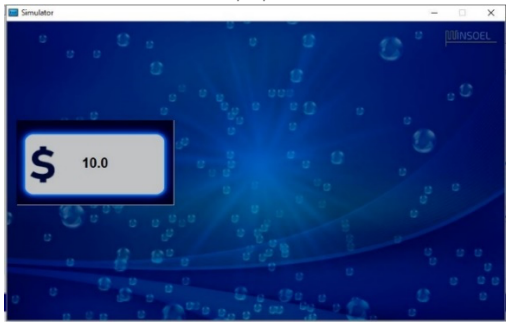


Figura 26: Resultados simulador validación de efectivo
Fuente: Elaboración propia.

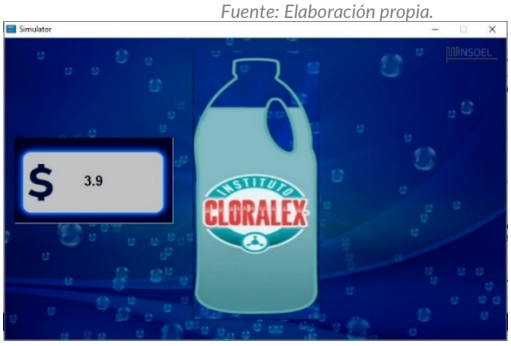


Figura 27: Resultados simulador surtido del cloro.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 28: Resultados simulador culmino del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

Realizando pruebas de funcionamiento con el hardware real se obtuvieron los siguientes resultados:

La Figura 29 muestra el estado del PLC IVC1L-1410MAR durante una secuencia de despacho activa. Se observa la correcta ejecución de la lógica programada. Los indicadores LED confirman la operación del prototipo.



Figura 29: Emulación del software de Auto Stattion en el modelo 1410MAR
Fuente: Elaboración propia.

Se logro realizar las pruebas necesarias para comprobar la comunicación entre el controlador y la interfaz fuese fluida, y que los elementos gráficos se desplegaran según la lógica programada. De manera satisfactorio se obtuvo:

- Ingreso de efectivo y validación (Figura 30).
- Funcionamiento del sistema y descuento en tiempo real (Figura 31).
- Conclusión del servicio (Figura 32).



Figura 30: Ingreso de efectivo y validación
Fuente: Elaboración propia.



Figura 31: Funcionamiento del sistema y descuento en tiempo real.
Fuente: Elaboración propia.

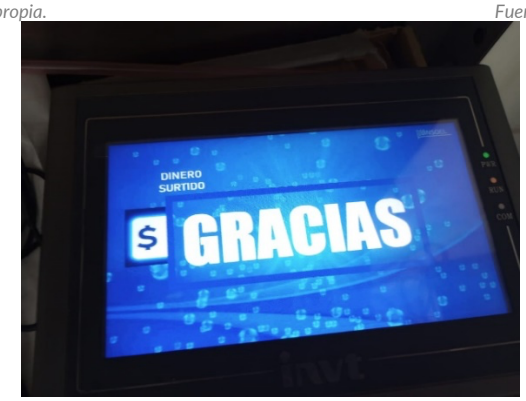


Figura 32: Conclusión del servicio.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 33 muestra el diagrama donde se representa la arquitectura física final que permite la comunicación entre los tres subsistemas principales:

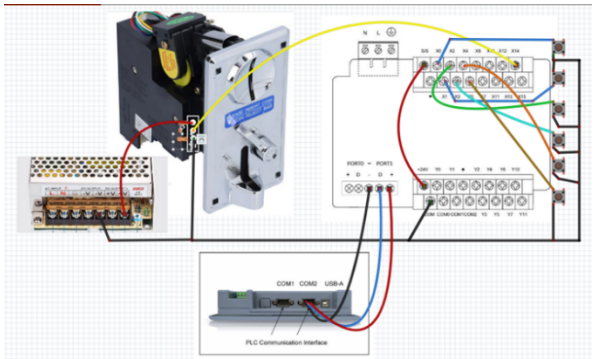


Figura 33: Diagrama de los 3 subsistemas: procesamiento de crédito interfaz de usuario y lógica de selección de producto. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se concluye que al emplear el dispositivo IVC1L - 1410MAR en el desarrollo del prototipo de dispensador automatizado resulta ser la elección perfecta debido a que:

- Cumple con la normativa IEC 61131-1 e IEC 61131-2 según las características del controlador otorgan al prototipo la robustez necesaria para operar en entornos de alta exigencia operativa, uso continuo, garantizando inmunidad al ruido electromagnético y contando con aislamiento galvánico.
- La elección de programación en ladder para el prototipo adopta el estándar IEC 61131-3, facilitando el desarrollo de la lógica de control mediante un menú principal y subrutinas en el software AutoStation; adicionalmente se asegura que, el diseño no dependa de un solo propietario, facilitando futuras expansiones de software y permitiendo que el mantenimiento y conocimiento del mismo sea transferible.
- Implementar una arquitectura centralizada, así como las configuraciones de las entradas en modo SINK permitió la coordinación con los periféricos de manera que se simplificó el cableado siendo este conectado directamente y por tanto reduciendo los puntos de falla al no utilizar circuitos de acoplamiento.
- La metodología de programación basada en subrutinas independientes demostró ser una solución flexible de expansión y de alta escalabilidad en el software, permitiendo que el sistema crezca sin necesidad de modificar la estructura principal del código ni detener la operación por tiempos prolongados y la capacidad para realizar diagnósticos rápidos e independientes.
- Al integrar el protocolo RS485 para la comunicación entre el autómata y la HMI se validó la capacidad de respuesta del sistema en tiempo real, asegurando una experiencia de usuario fluida y optimizada durante el despacho y monitoreo del saldo.
- Gracias al ciclo de escaneo y la distribución modular del PLC se garantizan tiempos de respuesta cíclicos, constantes, predecibles y sin errores. Este proceso invariable permite que el sistema opere con una alta confiabilidad, manteniendo el control sincronizado y seguro.
- En conjunto, la fundamentación teórica y la metodología aplicada demuestran que la transición de sistemas convencionales a una arquitectura basada en PLC no es solo una mejora tecnológica, sino una inversión rentable que minimiza costos de mantenimiento y asegura la continuidad operativa en escenarios industriales.

De esta manera, se concluye, que la elección del controlador lógico programable en el presente proyecto no responde únicamente a una preferencia tecnológica, sino al cumplimiento de un estándar internacional diseñado específicamente para aplicaciones industriales y de automatización de alta confiabilidad.

Referencias

Pérez Ramírez, J., Campoy Salguero, J. M., y Gaxiola Soto, B. A. (2005). Control adaptativo implantado en un micro-PLC. *Impulso, Revista De Electrónica, Eléctrica Y Sistemas Computacionales.* 18, 48-53

Henao Castañeda, F. J., y Ramirez Cardona, D. A. (2025). Evaluación comparativa de cuatro métodos de automatización aplicados a procesos de estampado industrial: lógica cableada, método analítico, PLC y Arduino. *Revista DELOS*, 18,(70), 01-26. https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n70-131

Guauxochitl, J. C., Sotomayor, A., López, J. F., y Hanan, J. (2023). Proyecto final: Dispensadora de dulces automatizada, Portafolio de Actividades: Automatización Industrial, Departamento de Ciencias e Ingenierías, *Universidad Iberoamericana Puebla.*

Narciso, F., Ríos Bolívar, A., Hidrobo, F., y González, O. (2011). Una Especificación Sintáctica de los Lenguajes de Programación Textuales de la Norma IEC 61131-3. *Actas del Congreso de Computación Aplicada -CAIP'2011,* 1043-1050.

Programmable controllers – Part 1: General information, IEC 61131-1:2003, 2003.

Programmable controllers – Part 2: Equipment requirements and tests, IEC 61131-2:2007, 2.ª ed., 2007.

John, K. H., y Tiegelkamp, M. (2001). *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems (2da. Ed).* Springer.

Shenzhen INVT Electric Co., Ltd., “INVT HMI VS series”, INVT Guangming Technology Building, Songbai, Manual Code: 518106, Road,Matian,Guangming District, Shenzhen, China.

Shenzhen INVT Electric Co., Ltd., “HMITool Configuration Software Application Manual,” Manual Code: 66001-01439, Shenzhen, China: INVT, 2020.

INVT Automatic Control Technology Co., Ltd., “IVC1 Series PLC User Manual,” Version V1.0, Shenzhen, China: INVT, 2011.

Rockolas y Más, "Manual para conectar el monedero electrónico," Soluciones y Asesoramiento en Computación

Hurtado, I. D. "Manual para instalar Monedero electrónico," Microledpcb.