



CARRERAS TECNOLÓGICAS				
TSCMECÁNICA AUTOMOTRIZ	<input type="checkbox"/>		TS OFFSET	<input type="checkbox"/>
TS MECÁNICA INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>		TS TDII	<input type="checkbox"/>
TS ELECTRICIDAD	<input type="checkbox"/>		TS CONTABILIDAD	<input type="checkbox"/>
TS ELECTRÓNICA	<input type="checkbox"/>			
CARRERAS TECNOLÓGICAS UNIVERSITARIAS				
TSU MECÁNICA INDUSTRIAL	<input type="checkbox"/>			
TSU MECATRÓNICA	<input checked="" type="checkbox"/>			
COORDINACIÓN /GESTOR/ ÁREA / UNIDAD /COMITÉ/ COMISIÓN				
TITULACIÓN				

### MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO TÉCNICO

“Sistema Didáctico Automatizado con Manipulador y Cinta Transportadora

Controlado por PLC”

PROYECTO <input checked="" type="checkbox"/>	PLAN <input type="checkbox"/>
PROYECTO INSTITUCIONAL	<input type="checkbox"/>
PROYECTO INTERNO DE CARRERA/GESTOR/ÁREA/UNIDAD/COMITÉ/COMISIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>

Realizado por:	Vinicio Mateo Valverde Tipan

Quito – Ecuador  
Septiembre – 2025

## MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO TÉCNICO

### DATOS GENERALES DEL PROYECTO

<b>1.1. Nombre del proyecto</b>
Sistema didáctico automatizado con manipulador y cinta transportadora controlado por PLC.
<b>1.2. Cobertura y localización</b>
El proyecto se va a llevar a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior Central Técnico, se implementa en el área de Mecatrónica.
<b>1.3. Tipo de proyecto</b>
Desarrollo de la programación en PLC Delta y del diseño de una interfaz HMI para un sistema automatizado de control de un manipulador y una banda transportadora, con capacidad de operación en tiempo real.
<b>1.4. Estudiantes participantes</b>
Vinicio Mateo Valverde Tipan
<b>1.5. Docente tutor</b>
Javier Almeida

## Índice de contenido

### Contenido

1.	Antecedentes .....	5
2.	Objetivo del proyecto .....	6
2.1.	Objetivo General .....	6
2.2.	Objetivos Específicos .....	6
3.	Fundamentación Teórica .....	6
3.1.	Programación Ladder en el sistema didáctico automatizado con PLC Delta .....	6
3.2.	Lógica secuencial de control .....	7
3.3.	Comunicación PLC–HMI mediante Modbus RTU.....	7
3.4.	Diseño de la interfaz HMI.....	8
4.	Descripción del proyecto.....	10
4.1.	Desarrollo del código Ladder .....	10
4.2.	Configuración del HMI .....	12
4.3.	Pruebas de funcionamiento y ajustes .....	14
5.	Errores detectados, problemas identificados y soluciones aplicadas .....	15
5.1.	Primer error .....	15
5.1.1.	Solución:.....	15
5.2.	Segundo error .....	16
5.2.1.	Solución:.....	16
6.	Cuadro resumen de costos del proyecto .....	16
7.	Conclusiones y Recomendaciones .....	18
7.1.	Conclusiones .....	18
7.1.1.	Descripción de resultados evidenciados.....	18
7.1.2.	Correspondencia con objetivos específicos.....	19
7.1.3.	Valoración Global .....	19
8.	RECOMENDACIONES .....	19

Indice de tablas

**Tabla 1** ..... 14

**Tabla 2** ..... 16

Indice de gráficos

**Figura 1** ..... 8

**Figura 2** ..... 9

**Figura 3** ..... 11

**Figura 4** ..... 11

**Figura 5** ..... 12

**Figura 6** ..... 13

**Figura 7** ..... 13

**Figura 8** ..... 15



## **Sistema didáctico automatizado con manipulador y cinta transportadora controlado por PLC**

### **1. Antecedentes**

La implementación de la carrera de Mecatrónica en el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico representó un avance importante a la demanda de profesionales especializados. Esta disciplina integra electrónica, mecánica, control y sistemas de información, siendo fundamental para la automatización de la industrial. lo cual al ser una carrera totalmente nueva en el instituto no se contaba con los equipamientos necesarios e infraestructura de laboratorios. Esta situación generó un entorno donde la enseñanza principalmente se sustentaba en contenidos teóricos, sin contar con los recursos ni los equipos en los cuales se desarrollarían las prácticas que definen el perfil a un técnico mecatrónico.

Pertenecer a la primera promoción de la carrera de mecatrónica, se pudo identificar la ausencia de bancos de pruebas o módulos didácticos que impedían la realización de prácticas en la programación (PLC) tanto como la configuración e interfaz con (HMI). Al no tener un laboratorio designado de la simulación de lo teórico a lo práctico. esto generaba complementar su conocimiento y habilidades claves. Dada esta carencia se alejaba de la realidad de la tecnología y operación de procesos industriales que se encontraran en su vida laboral.

Estas limitaciones dieron paso a un plan de la adquisición proyecto técnico capaz de que la formación de los estudiantes materialice lo aprendido con un recurso totalmente tangible. Justificando el proyecto de: (Diseñar y programar un sistema didáctico automatizado que incluya un manipulador y cinta transportadora, con el fin de fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en la carrera de Mecatrónica. Esto se logrará mediante la integración práctica de un controlador PLC Delta, una interfaz HMI, sensores industriales y sistemas neumático).

## **2. Objetivo del proyecto**

### **2.1. Objetivo General**

Diseñar y programar un sistema didáctico automatizado que incluye un manipulador y cinta transportadora, con el fin de fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en la carrera de Mecatrónica. Se logrará mediante la integración práctica de un controlador PLC Delta, una interfaz HMI, sensores industriales y sistemas neumático.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Determinar los requerimientos y especificaciones técnicas del sistema automatizado, considerando los sensores, actuadores, entradas y salidas requeridas, así como la secuencia lógica de operación definida.

Elaborar e implementar el código Ladder dentro del software ISPSOft para el PLC Delta, utilizando los elementos (contactos, bobinas, temporizadores, contadores, etc.).

Configurar e implementar la interfaz gráfica (HMI) con el control manual y automático del sistema, diseñando pantallas que permitan la visualización en tiempo real del monitoreo y el control de procesos industriales.

## **3. Fundamentación Teórica**

### **3.1. Programación Ladder en el sistema didáctico automatizado con PLC Delta**

Para el desarrollo de la automatización del sistema, este se programó en el Lenguaje (Ladder) con el diagrama en escalera utilizando el PLC Delta (serie DVP) y el software ISPSOft. EL lenguaje Ladder es el más común ya que por sus graficas puede simular circuitos eléctricos siendo muy intuitivo para los ingenieros y técnicos de automatización (Quintero, 2020). La normativa ICE 61131-3 sostiene que el lenguaje Ladder fue el primer lenguaje estandarizado para PLCs y es el más intuitivo y visual lo cual ayuda a su comprensión para los técnicos especialmente en los sistemas secuenciales ya que se puede detectar rápidamente condiciones que no cumplen. (SL., 2023). También la normativa IEC 61131-3 incluye 5 lenguajes de

programación principales: (Structured Text (ST), Instruction List (IL), Sequential Function Chart (SFC), Function Block Diagram (FBD) y Ladder Diagram (LD)) de los cuales el proyecto técnico está utilizando el lenguaje Ladder. Por ejemplo, el controlador compacto PLC DVP-EX dispone de las entradas y salidas de los puertos de salida y de entrada RS-232/RS-485 por su rapidez de contadores, temporalizadores y relés internos (SL., 2023).

### **3.2. Lógica secuencial de control**

La operación de la cinta transportadora y del manipulador neumático se rige por estados finitos, donde cada fase del proceso como el movimiento de la banda o la extensión del cilindro las cuales se activan por medio del enclavamiento (SET/RESET). Estas condiciones ocurren solo siempre y cuando la detección de los sensores sea (capacitivo/inductivo) que verifican la posición del (inicio/fin/posición) tanto del brazo neumático, banda transportadora, pistones neumáticos y posición de la pieza. El programa en Ladder se organiza en redes funcionales independientes, las cuales se dedican a la gestión de energía la secuencia principal y los protocolos de seguridad (KONETIA, 2025).

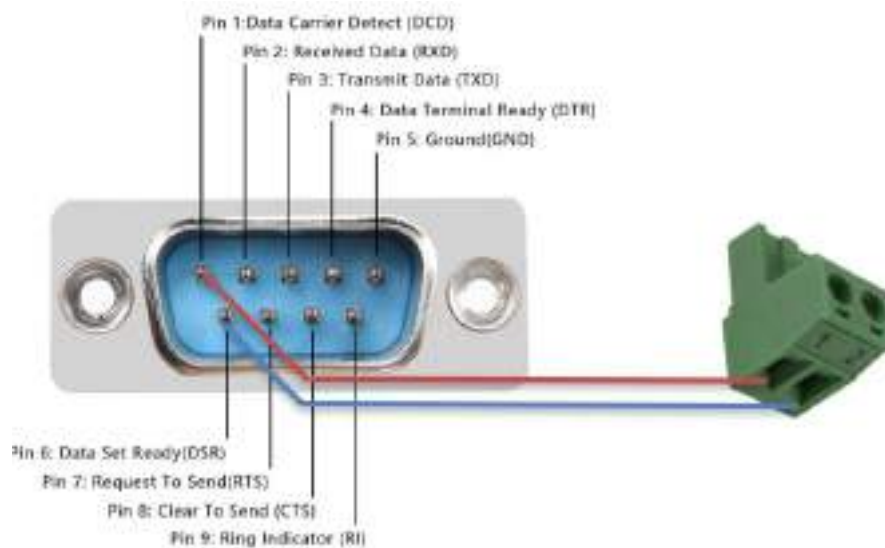
### **3.3. Comunicación PLC–HMI mediante Modbus RTU**

La comunicación entre PLC y HMI se implementa mediante el protocolo Modbus RTU usando el puerto de comunicación física un bus serie RS-485. Este prototipo opera bajo una arquitectura maestro-esclavo. Cada rama Modbus RTU contiene la dirección del esclavo ya que el dispositivo maestro puede enlazar hasta con 247 esclavos (PLCs) en el mismo bus.

El protocolo Modbus RTU contiene una dirección esclava, el código se codifica en un formato binario el cual incluye un CRC-16 para asegurar la transmisión. Modbus RTU utiliza la transmisión byte de 8 bits a las velocidades que pueden ir desde 1.200 a 15.200 baudios (aula21, 2025).

**Figura 1**

Conexión de los pines VGA al terminal enchufable hembra doble



*Nota.* Esta conexión se realiza en el tablero de forma paralela con los conectores banana hembra señalados como: RS-485 HMI y RS-485 PLC, como se muestra en la siguiente

### 3.4. Diseño de la interfaz HMI

La integración entre la interfaz hombre-maquina (HMI) y el hardware de control (PLC) mediante Modbus. Este protocolo se traduce en comandos digitales tangibles como botones para el inicio, reinicio, continuar o parar el ciclo según lo requiera (wecon, 2025).

El diseño y desarrollo de la interfaz se fundamentó con los lineamientos de las normas ISA-101 con el objetivo de crear las pantallas más claras, eficientes y orientadas para las tareas del operador.

En este proyecto se implementó:

El desarrollo y diseño realizó aplicando los lineamientos de la norma ISA-101, para que las pantallas sean más claras, eficientes y orientadas en las tareas del usuario.

En este proyecto se implementaron:

- Ubicaciones elementos críticos con la jerarquía visual definida (estado de proceso, alertas, avisos, controles principales y estado del sistema,) en lugares de acceso visual.
- Se adoptó una asignación estricta de colores codificados, donde verde para condiciones normales de operación, amarillo advertencias o precaución y rojo alarmas o de paro, evitando colores decorativos sin significado.
- La interfaz se dividió según la agrupación por función, cada uno con su función específica (Transporte, monitoreo, manipulador) proporcionando interacción intuitiva y ordenada con el sistema.

Estas características de diseño optimizan su usabilidad, ya que no solo aceleran la interpretación, sino que también garantiza una interpretación fácil y segura. De este modo facilitan que los estudiantes comprendan las interfaces con entornos industriales.

*Figura 2*

Pantalla 2 de la interfaz, controles en el modo automático



*Nota.* La pantalla se diseñó en base a la normativa ISA-101

El programa del PLC se modulará mediante la arquitectura modular para facilitar su desarrollo y mantenimiento futuro. Cada subsistema físico (banda transportadora, manipulador

neumático, interfaz de usuario y gestión de periféricos) se implementó como un módulo independiente dentro del entorno ISPSOft de Delta. Esta organización nos admite utilizar instrucciones de llamada (CALL) y retorno (SRET) que nos permite utilizar subrutinas específicas.

De esta manera, cada sección del proceso puede desarrollarse y probarse por separado. El código modular reduce la duplicación de lógicas (por ejemplo, rutinas de temporizadores o contadores reutilizables) y simplifica futuras extensiones (añadir sensores o actuadores). En general, esta estructura independiente de bloques mejora la calidad del programa Ladder y facilita su mantenimiento a largo plazo.

#### **4. Descripción del proyecto**

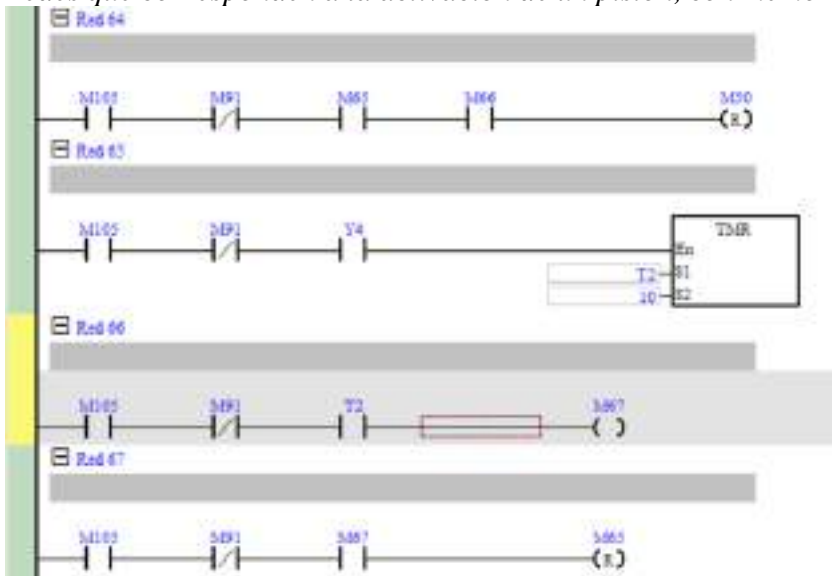
##### **4.1.Desarrollo del código Ladder**

El desarrollo del programa se realizó en ISPSOft conforme a la normativa IEC 61131-3, usando lógica de contactos normalmente abierto (NO) y normalmente cerrados (NC) combinados con bobinas para representar las condiciones lógicas del sistema. Para el control del tiempo y secuencia se incluyen temporalizadores, memorias, y contadores los cuales controlaran (por ejemplo, tiempo de espera entre movimientos) así como bloques lógicos para funciones complejas.

Cada red Ladder corresponde a una parte de la operación (alimentación de la cinta, activación del manipulador, seguridad, etc.), facilitando la lectura. Mejora la legibilidad y el seguimiento del flujo del proceso lo cual nos permite simular y monitorear las variables y así poder hacer correcciones precisas o modificaciones.

Figura 3

Redes que corresponden a la activación de un pistón, con memorias y un temporizador



Además, se etiquetaron todas las entradas y salidas físicas a utilizar, junto con varias memorias internas, lo que resulta fundamental para el entendimiento del código y el seguimiento del funcionamiento del sistema durante la depuración y el mantenimiento.

Figura 4

Etiquetación en la aplicación ISPSOft: entradas y salidas.

Dispositivo	Comentario
X0	Sensor de proximidad #1
X1	Sensor inductivo #0
X2	Sensor inductivo #1
X3	Sensor inductivo #2
X4	Sensor inductivo #4
X5	Sensor inductivo #5
X6	Sensor inductivo #1
X7	Sensor magnético DERECHA
X8	Sensor magnético ABAJO
X9	Sensor magnético ARRIBA
X0	Sensor magnético IZQUIERDA
X1	Por definir
Y0	SERVO DRIVE
Y1	SERVO DRIVE
Y2	SERVO DRIVE
Y3	END PISTON #2
Y4	END PISTON #1
Y0	END MOV. IZQUIERDA
Y1	END MOV. DERECHA
Y2	END MOV. SUBIR
Y3	END MOV. BAJAR
Y4	END GRUOPER

5907428 Steps      0      Desconecta: Devic1, (R3012 COM0) - 482

## 4.2. Configuración del HMI

La interfaz HMI está diseñada siguiendo los principios de la norma ISA-101, priorizando claridad, consistencia y agrupación por funciones. Se implementaron pantallas específicas para cada modo de operación (manual, automático y de configuración):

- Pantalla de inicio: permite seleccionar el modo manual o automático.
- Modo manual: presenta controles gráficos para el movimiento del brazo robótico (giros, elevación, apertura/cierre de la garra) y la operación de la banda transportadora en ambas direcciones.
- Modo automático: incluye botones de arranque, paro y reinicio, así como acceso a la configuración del servo drive y el indicador del paro de emergencia.

Cada elemento de control en el HMI (botones virtuales y selectores) utiliza una codificación por color según su función: verde para acciones normales, rojo para paro, amarillo para reinicio y azul para funciones secundarias. Todos los textos y símbolos utilizan contraste alto para garantizar legibilidad y reducir errores durante la operación

*Figura 5*

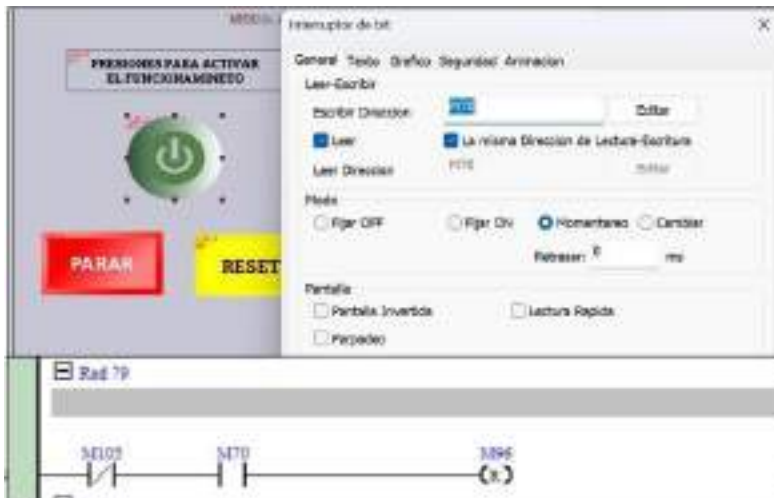
*Interfaz del HMI en el modo manual*



*Nota:* Cada elemento gráfico se vincula a una variable del PLC; por ejemplo, los botones mandan a la activación de una memoria la cual activa el proceso programado.

Figura 6

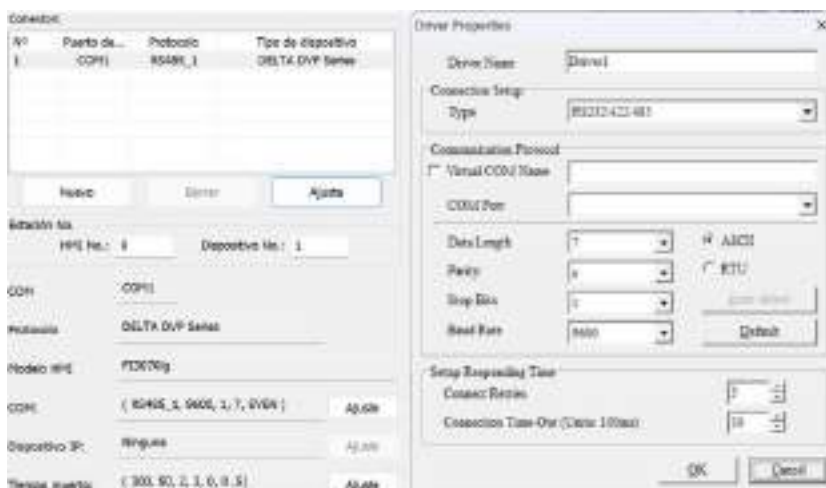
### Configuraciones para comunicaciones entre PLC



En la figura 6, al presionar el botón de inicio se encuentra vinculada a la dirección de memoria [M70]. Dentro del programa en lenguaje Ladder, esta señal se redirige para activar la memoria [M96], que es la responsable de poner en marcha el ciclo principal del sistema. Este incluye el funcionamiento de la banda transportadora, el manipulador y el sistema de clasificación.

Figura 7

### Configuración de propiedades en aplicativos



*Nota:* En la figura se aprecia, en el sector izquierdo, la configuración del puerto de comunicación en la interfaz HMI y en el derecho, los parámetros establecidos en COMMGR

para garantizar el intercambio de datos estable entre ambos dispositivos y sin pérdida de información.

### 4.3. Pruebas de funcionamiento y ajustes

Se realizó una validación en pruebas reales del sistema.

Se verifica que cada acción (como el arranque de la cinta o el desplazamiento del manipulador) que se ejecuten al cumplir las condiciones programadas. Los errores detectados (fallos de sincronización, condiciones no contempladas, etc.) se corrigen iterativamente: se modifican redes Ladder, se ajustan tiempos y se actualizan las direcciones Modbus. Este ciclo de prueba y error es clave para depurar fallas y garantizar un desempeño confiable del software.

*Tabla 1*

Proceso	Efecto
Selección de modo de operación en la interfaz	Se activan memorias internas según el modo elegido (manual o automático) y se habilitan las funciones asociadas
En modo automático, pulsar botón <i>Play</i>	Inicia la secuencia programada de manipulación y transporte
Verificación de sensores de posición magnéticos y de referencia	Confirma que el manipulador y actuadores están en posición inicial segura
Manipulador abre el Gripper y baja el brazo	Prepara el sistema para sujetar el objeto
Gripper se cierra sobre el objeto	El objeto queda asegurado para su traslado
Manipulador sube el brazo y gira hacia la banda transportadora	Prepara el sistema para sujetar el objeto
Manipulador baja el brazo y abre el Gripper	Suelta el objeto sobre la banda
Sensor de detección en la banda se activa	Se habilita el movimiento de la banda transportadora
Banda transportadora se mueve	Traslada el objeto hacia la estación de clasificación
Sensor capacitivo e inductivo detectan material	Identifican si el objeto es plástico o metal
Según detección, banda se detiene y se activa pistón correspondiente	El pistón empuja el objeto hacia el contenedor adecuado

Si no se detecta material válido, banda continúa hasta el final	El objeto es desplazado al área de descarte
Activación del botón de <i>Pausa</i> en la interfaz	El proceso se detiene temporalmente y guarda la posición actual para poder reanudarlo desde el mismo punto
Activación del botón de <i>Reset</i> en pantalla o paro de emergencia físico	Detiene inmediatamente todo el sistema y devuelve los actuadores a la posición inicial segura
Manipulador retorna a posición inicial	Sistema queda listo para el siguiente ciclo

## 5. Errores detectados, problemas identificados y soluciones aplicadas

### 5.1. Primer error

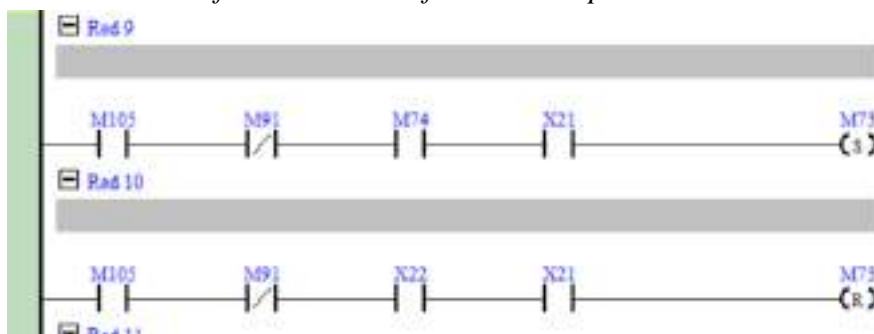
Durante las fases iniciales del sistema, se identificó que todos los procesos se estaban ejecutando de forma simultánea. Este comportamiento generaba una ejecución caótica, ya que cada etapa del proceso actuaba como si fuera independiente, sin respetar una secuencia lógica de operación. La causa principal fue la ausencia de un control que coordinara los pasos ordenados entre una etapa y la siguiente.

#### 5.1.1. Solución:

Para resolver esta condición, se introdujo memorias de tipo (SET/RESET) que controlan el inicio y final de cada etapa. De esta forma, se garantiza que un proceso comience hasta que el anterior haya terminado, asegurando una secuencia de trabajo correcta.

Figura 8

*Identificación de interfaz utilizada por el usuario en el*



En este caso la dirección de la memoria [M73] se activa o se desactiva para saber que está en dicha etapa. Su estado depende de la entrada X21 que es entrada del sensor que detecta si el brazo ha retornado a su posición inicial).

## 5.2.Segundo error

Durante las pruebas de cada interfaz del sistema cuentan con memorias que compartían o estaban mezcladas entre distintas interfaces., lo que causa que una acción comenzaba desde una pantalla se activara también desde otra, generando interferencias en la lógica de control.

### 5.2.1. Solución:

La corrección se realizó desde la configuración del software HMI. Se reestructuraron la asignación de memorias, de forma que cada proceso y cada interfaz utiliza bloques de memoria independientes, evitando cruces entre modos o pantallas diferentes.

## 6. Cuadro resumen de costos del proyecto

Tabla 2

ítem	Descripción	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	SERVODRIVE SINEE 750W / 220V / PULSOS	1	201.25	201.25
2	SERVOMOTOR SINEE 750W 2.39Nm 3000RPM	1	170.10	170.10
3	CABLE DE ENCODER SINEE L=3m	1	28.00	28.00
4	CABLE DE POTENCIA SINEE L= 3m	1	28.00	28.00
5	HMI WECON 7" ETHERNET, RS422, 232, 485, MICRODE COLORES, USB, USB, SD CARD SLOT	1	191.52	191.52
6	PLC DELTA SS2 8 ENTRADS 6 OUT A TRANSISTOR	1	90.93	90.93
7	MODULO DELTA COMBINADO 8IN 8 1 65.10 65.10 OUT A RELÉ PARA PLC DVP	1	65.10	65.10

<b>8</b>	CABLE DE PROGRAMACIÓN USB/DB9, MINI DIN 8	1	30.00	30.00
<b>9</b>	CABLE DE COMUNICACIÓN PLC HMI	1	7.50	7.50
<b>10</b>	ACTUADOR LINEAL LONGITUD EFECTIVA 600mm, INCLUYE ELEMENTO DE MONTAJE Y SENSORES, CARGA 25Kg	1	423.99	423.99
<b>11</b>	FUENTE AMLPULS 100- 240AC INPUT 24V/5A 120W OUTPUT	1	33.60	33.60
<b>12</b>	CILINDRO NEUMÁTICO DE ACERODEL DEDO DE DOBLE EFECTO DELAIRE ALTO BUEN SELLADO, MHZ2 NEUMÁTICO, CILINDROS DE AIRE INDUSTRIALES	1	60.56	60.56
<b>13</b>	CILINDRO ROTATORIO NEUMÁTICO DE LA OSCILACIÓN DEL CILINDRO ROTATORIO DE 180 GRADOS	1	77.85	77.85
<b>14</b>	BAOMAIN 4 ELECTROVÁLVULA INTEGRADA 4V210-08 DC 24V CABEZA ÚNICA 2 POSICIONES 5 VÍASCON SILENCIADOR BASE SET DE ACCESORIOS RÁPIDOS	1	72.54	72.54
<b>15</b>	TAILONZ PNEUMATIC VÁLVULA ELECTROMAGNÉTICA 4V220-08 DC24V 1/4 "NPT DOBLE BOBINA OPERADA POR PILOTO ELÉCTRICA 2 POSICIÓN 5 VÍAS TIPO DE CONEXIÓN	2	43.84	87.69
<b>16</b>	CILINDRO NEUMÁTICO DE DOBLEVARILLA TN20X10S CILINDRO DE EMPUJE COMPACTO DE DOS EJES (TN20X125-S)	1	111.97	111.97
<b>17</b>	CS1-J CILINDRO DE AIRE SENSOR MAGNÉTICO INTERRUPTOR CON INDICADOR LED ROJO SENSORMAGNÉTICO 5 A 240V DC/AC	2	29.56	59.13

<b>18</b>	YWBL-WH INTERRUPTOR MAGNÉTICO DEL SENSOR, CILINDRO NEUMÁTICO MAGNÉTICO DEL SENSOR DEL INTERRUPTORMAGNÉTICO DC AC 5V-240V, INTERRUPTOR MAGNÉTICO	3	29.95	89.87
<b>19</b>	MESA DE 120X60	1	70.00	70.00
<b>20</b>	CABLE # 12 AWG 15 METROS	1	8.00	8.00
<b>21</b>	PULG BABANA MACHO	90	0.25	22.50
<b>22</b>	ACCESORIOS BROCA, PERNOS, TORNILLO, ESTAÑO, CONECTORES, RIEL DIN, CABLE UTP	1	9.50	9.50
<b>23</b>	CAJA DE 40X40X20 DE DOBLE FONDO METALICO	1	59.95	59.95
<b>SUBTOTAL</b>				<b>1,999.55</b>
<b>IVA 15 %</b>				<b>299.93</b>
<b>TOTAL</b>				<b>2,299.48</b>

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### 7.1. Conclusiones

#### 7.1.1. Descripción de resultados evidenciados.

Al culminar el proyecto técnico, se pudo evidenciar que se desarrolló exitosamente un sistema automatizado completamente operativo. Se alcanzó a construir un prototipo físico que integra una cinta transportadora, un brazo neumático, sensores y actuadores controlados por un PLC Delta. La comunicación vía Modbus RTU muy estable entre el PLC y la interfaz HMI permitieron supervisar y controlar en tiempo real el proceso. Este proyecto simula de manera real una secuencia industrial de clasificación de elementos, utilizando los principios de la mecatrónica. Como evidencia del producto final, se cuenta con un prototipo pedagógico tangible y listo para su uso en el laboratorio, cumpliendo con los propósitos del proyecto.

### **7.1.2. Correspondencia con objetivos específicos.**

El primer objetivo específico se cumplió totalmente. Esto se demuestra en la documentación técnica generada, que incluye listados de componentes, diagramas de entradas/salidas y el diagrama de secuencia operativa se desarrolló totalmente. El segundo objetivo también se cumplió totalmente, siendo el programa completamente funcional en Ladder en ISPSOft y cargado en el PLC Delta en su implementación. El tercer objetivo se cumplió totalmente, verificado por la interfaz del HMI con las pantallas interactivas y los dos modos de funcionamiento (manual y automático) que permiten la interacción directa del usuario con el sistema.

### **7.1.3. Valoración Global**

El proyecto tiene un alto valor técnico y profesional por la solución concreta a una carencia de formativa identificada. La utilidad del sistema desarrollado radica en la capacidad para que los estudiantes interactúen, de manera segura y tangible, en todas las etapas de un proceso automatizado industrial. El aprendizaje principal adquirido fue la integración de conocimientos de neumática, electrónica, programación y supervisión para resolver un problema real de la industria. El trabajo no solo cumple con su meta de crear un equipo didáctico, sino que valida la metodología del aprendizaje didáctico y práctico que fortalece la enseñanza de la carrera de Mecatrónica.


## **8. RECOMENDACIONES**

Para mejoras técnicas del prototipo: Se recomienda desarrollar e integrar a la HMI un módulo de adquisición de datos históricos para su verificación. Esto permitiría grabar variables críticas como :(tiempos de ciclo, estados de sensores y fallas) para su posterior análisis en las clases. Además, para incrementar su realismo industrial, se sugiere la integración de un controlador de visión artificial o un sensor de proximidad inductivo más avanzado para poder ya poder integrar una industria 4.0 completa.

Para futuras réplicas o escalamiento: Para cualquier réplica o adaptación de este proyecto, es fundamental elaborar un manual de usuario y mantenimiento detallado. Este documento debe explicar el funcionamiento y si se cumplen los sistemas paso a paso, en los procedimientos de prueba, la guía de resolución de fallas comunes y el cronograma de mantenimiento preventivo. Esta medida asegurará la durabilidad del equipo y facilitará que otros estudiantes o docentes puedan operarlo y mantenerlo sin depender exclusivamente de los desarrolladores del prototipo.

Para la institución (mantenimiento y política de uso): Se recomienda que la coordinación de la carrera haga una inducción formal para el uso y mantenimiento del equipo didáctico. Este protocolo debería incluir fechas de las sesiones prácticas, una inducción para los usuarios quienes van a operar y así puedan utilizar de manera segura y viable. La designación de un Ingeniero a cargo para las revisiones periódicas. Implementarlo garantizará que el recurso se utilice de manera apropiada y se preserve en buen estado a lo largo del tiempo y continúe beneficiando a la mayor cantidad de estudiantes .


**REALIZADO  
POR:**

Vinicio Valverde	
<b>ESTUDIANTE</b>	<b>FIRMA</b>

**APROBADO  
POR:**

Ing. Javier Almeida	
<b>TUTOR</b>	<b>FIRMA</b>

**REVISADO  
POR:**

Mgs. Mauricio Echeverría	 <b>ISU</b> CENTRAL FIRMA TÉCNICO
<b>COORDINADOR DE CARRERA</b>	

COORDINACION  
Mecatrónica