

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Implementación de un sistema de posicionamiento
basado en un motor asíncrono controlado con
variador de velocidad

Autor: Álvaro Montilla Mora

Tutor: Luis Fernando Castaño Castaño

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnología Industriales

Implementación de un sistema de posicionamiento basado en un motor asíncrono controlado con variador de velocidad

Autor:

Álvaro Montilla Mora

Tutor:

Luis Fernando Castaño Castaño

Doctor Ingeniero Industrial

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

*A mi familia y amigos, en especial a mis padres por
darme la oportunidad elegir mi destino en la vida.*

Índice

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivo.....	1
2	El sistema electromecánico	3
3	El equipo de sensores y actuadores	5
3.1	Variador de velocidad “Yaskawa VS mini J7”	5
	¿Qué es un variador de velocidad?	5
	Descripción	5
	Especificaciones	5
	Cableado.....	6
	Tipos de operaciones.....	8
	Programación.....	9
	Diagnóstico de fallos	12
3.2	Motor asíncrono	19
	Características del motor.....	19
3.3	Potenciómetro.....	20
3.4	Caja reductora	21
3.5	Sensores de bandeja.....	22
4	El equipo de control. PLC.....	24
	Concepto de autómatas programables o PLC.....	24
	Usos del PLC.....	24
	Funciones básicas de un PLC.....	24
	Autómata de la planta (M340 de Schneider).....	25
	Software del autómata	26
5	Funciones implementadas en el PLC.....	27
5.1	Ensayos previos en la planta	27
5.2	Función auxiliar de escalado (FunEscalado).....	28
5.3	Función de posicionamiento de la cinta (FunPosCinta).....	30
5.4	Función test (FunTest)	34
5.5	Función de supervisión de bandejas (FunSupervisorCinta)	38
5.6	Función de entrada y salida de bandejas (FunCruce)	46
6	Proyectos y funciones futuras de desarrollo	51
6.1	Función almacén.....	51

6.2	Función posicionadora de bandejas	51
6.3	Implementación de las funciones en la planta.....	51
6.4	Función calibradora	52
7	Conclusiones y viabilidad del proyecto	53



1 Introducción

1.1 Motivación

Este proyecto explora las posibilidades de posicionamiento de un eje a través de un motor asíncrono controlado por un variador de velocidad.

Los motores son una de las partes fundamentales de la industria. Hoy en día, la inmensa mayoría de los que encontramos son motores eléctricos, ya que su rendimiento y su escasa contaminación los coloca muy por delante de los motores de combustión.

Los motores accionan las diferentes máquinas que posee la industria, como las cintas transportadoras, ventiladores centrífugos, bombas, etc. Estos motores trabajan a velocidades variables, con el objetivo de aumentar la producción, tener un mayor rendimiento, conseguir un ahorro energético, etc. Por lo tanto es necesario conseguir un control preciso sobre la velocidad del motor para conseguir estos objetivos.

Además, el motor eléctrico más extendido hoy en día en la industria es el motor asíncrono (también conocido como trifásico), debido a sus grandes ventajas respecto al motor monofásico o al de corriente continua:

- Los motores asíncronos son más eficientes, es decir, tienen menos pérdidas internas.
- Los motores asíncronos no necesitan de bobinado de arranque.
- Permiten diferentes conexiones de arranque (estrella-triángulo), que permite menor consumo en el arranque.
- En motores de la misma potencia, los asíncronos son mucho más pequeños.

Aunque el motor asíncrono no es un elemento que esté diseñado para posicionar un eje (este cometido es más apropiado para los servomotores o los motores paso a paso), en algunas ocasiones podría plantearse el interés de utilizarlo como elemento posicionador de bajo coste, o en instalaciones donde ya están montados estos motores y se desea añadir unas prestaciones de posicionado adicionales de las que carecía la instalación.

1.2 Objetivo

En este proyecto, se pretende plantear una solución de posicionamiento de una cinta transportadora basada en el uso de un motor asíncrono con variador de velocidad y realimentación de la posición a través de un potenciómetro, gestionado a nivel de control a través de un autómata programable.

Haremos especial hincapié en las características de los elementos que componen el sistema, de los ensayos con el variador de velocidad, así como en el diseño de las funciones encapsuladas que permitan el uso de las mismas a cualquier usuario de la planta.



El variador usado en el proyecto es el “Yaskawa VS mini J7”. Asimismo, el autómata sobre el que se centrará el proyecto será el M340 de la marca Schneider. Las funciones necesarias para el manejo del variador desde el autómata de implementarán en el programa UnityPro.



Figura 1.2.1. Variador de velocidad Yaskawa VS mini J7



2 El sistema electromecánico

El objetivo del proyecto es plantear una solución de posicionamiento de una cinta transportadora. Esta cinta se encuentra acoplada en una instalación de procesamiento de piezas. A continuación tenemos el esquema de dicha instalación:

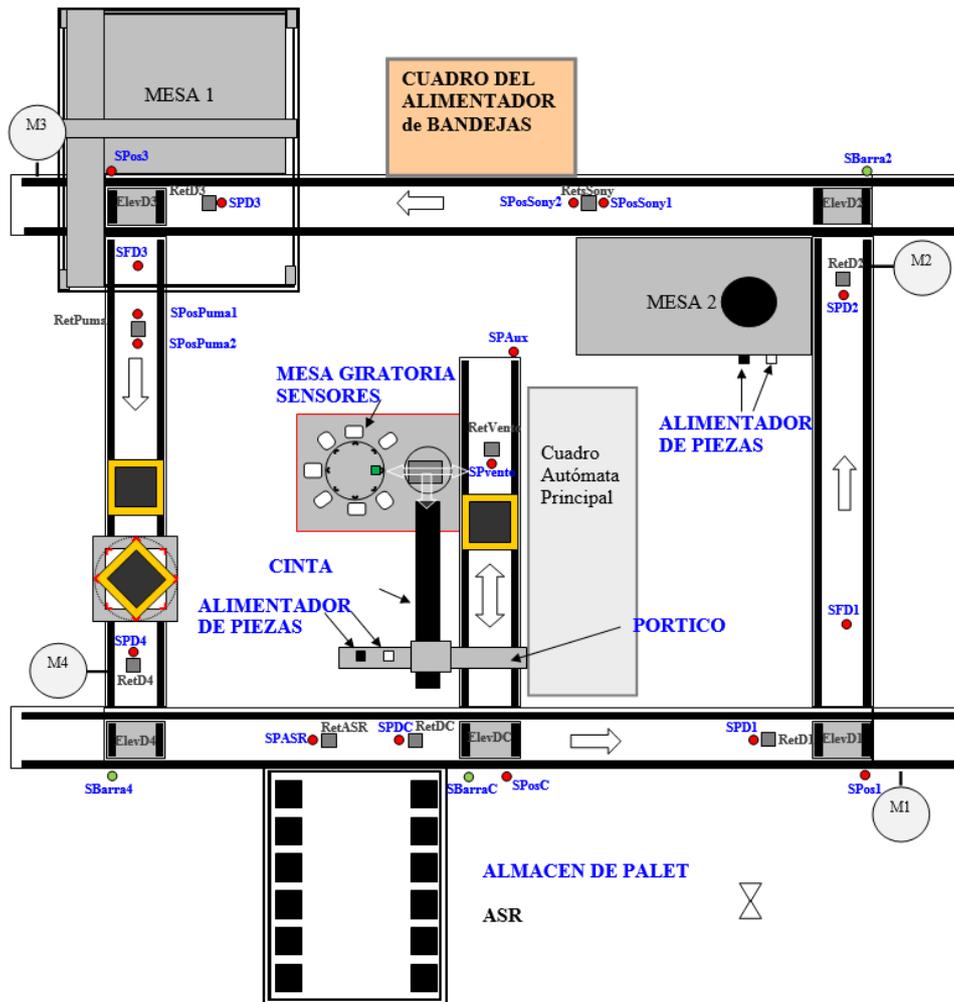


Figura 2.1

La cinta estudiada en este proyecto es la que se encuentra en la posición central, la cual da acceso al pórtico y a la mesa giratoria, y es la única cinta de la instalación que opera en ambos sentidos.

La cinta está manejada por un motor asíncrono de 0,14kW, el cual está anclado a una caja reductora de velocidad con una relación de reducción de 1/20, y cuenta con un potenciómetro que nos indica la posición de la cinta. Todos estos elementos están descritos detalladamente en el apartado 3 del proyecto.



Así misma, toda la planta está controlada mediante el autómatas programable m340, de la marca Schneider. Este autómatas está descrito en el apartado 4 del proyecto.

La finalidad del proyecto es bien sencilla: Crear las funciones necesarias para operar la cinta. Para ello necesitaremos las siguientes funciones:

- Función que controle el posicionamiento de la cinta, independientemente de otros factores.
- Función que controle la entrada y salida de bandejas en el cruce con la cinta principal.
- Función que supervise cuantas bandejas hay y donde se encuentran (en una posición relativa a la cinta) en cada momento.
- Una función auxiliar de test, que se ejecute siempre en el encendido de la planta, y que se encargue de contar cuantas bandejas hay y dejarlas en una posición de origen.

A raíz de estas funciones irán surgiendo otras secundarias, y que se explicarán detalladamente en el apartado correspondiente.

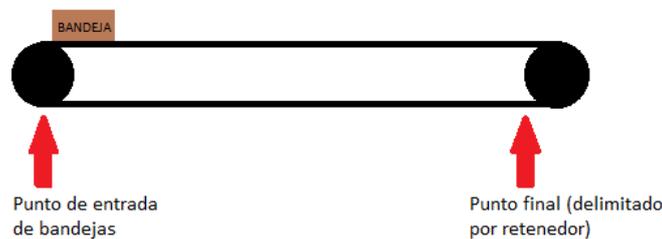


Figura 2.2

La cinta se caracteriza por un punto de entrada de bandejas (el cual también es el punto de salida de bandejas), y un límite en el otro extremo para evitar que las bandejas caigan de la cinta.



3 El equipo de sensores y actuadores

3.1 Variador de velocidad “Yaskawa VS mini J7”

¿Qué es un variador de velocidad?

Un variador de velocidad es un dispositivo electrónico que permite alimentar al motor con una tensión y frecuencia variable, modificando las magnitudes fijas de tensión y frecuencia de red, regulando así su velocidad.

Se utilizan cuando las necesidades del funcionamiento del motor precisan de dominio del par y la velocidad, regulación sin golpes mecánicos, movimientos complejos, etc. Estos dispositivos permiten conseguir considerables ahorros de energía, menor ruido de funcionamiento del motor, mejor control, mayor duración de vida útil del motor, etc.

Descripción

Es el **actuador** principal de este proyecto. El Yaskawa VS Mini J7 es un convertidor de frecuencia para motores asíncronos trifásicos. El rango de potencia abarca desde 0,1KW a 3,7KW (0,13 a 5 CV). Permite el manejo en los modos de operación “local” (desde la propia consola del variador) y en modo “remoto” (mediante entradas propias del variador controlamos la marcha, con unas frecuencia pre-programadas).

El interfaz físico para su programación y el manejo del modo de operación local consta de dos LEDs indicadores (RUN y ALARM), pantalla de 3 dígitos y diferentes teclas para su programación.

Este variador dispone de 5 entradas multifuncionales, de las cuales 4 son programables, y una salida programable. Son las que se usarán para el control desde el autómatas. Además, dispone de un bus de comunicaciones serial llamado MEMOBUS.

Especificaciones

- Tensión de alimentación: 200-240V (monofásico y trifásico), 380-460V (trifásico)
- Frecuencia de alimentación: 50/60Hz
- Rango de corriente de entrada: 1.8-20.5A (monofásico), 1.1-24A (trifásico 230V), 1.6-12A (trifásico 400V)
- Características V/f: Es posible programar cualquier patrón V/f.
- Margen de control de frecuencia: De 0.1 a 400Hz.
- Método de control: Onda senoidal PWM (control V/f).
- Resolución de configuración de frecuencia:
 - Referencia digital: 0.1Hz
 - Referencia analógica: 1/1000 de frecuencia máxima de salida.



- Capacidad de sobrecarga: Corriente de salida nominal de 150% después de un minuto.
- Tiempo de aceleración/desaceleración: 0.1 a 999seg.
- Funciones de protección: Protección de sobrecarga del motor, sobrecorriente instantánea, sobrecarga, sobrevoltaje, bajo voltaje, pérdida momentánea de energía, sobrecalentamiento de la aleta de enfriamiento, nivel de prevención de bloqueo de velocidad, falla del ventilador de enfriamiento y falla de la conexión a tierra.
- E/S: 4 entradas de función múltiple y una salida de función múltiple.

Cableado

El cableado estándar del Yaskawa VS mini J7 es el que tenemos a continuación:

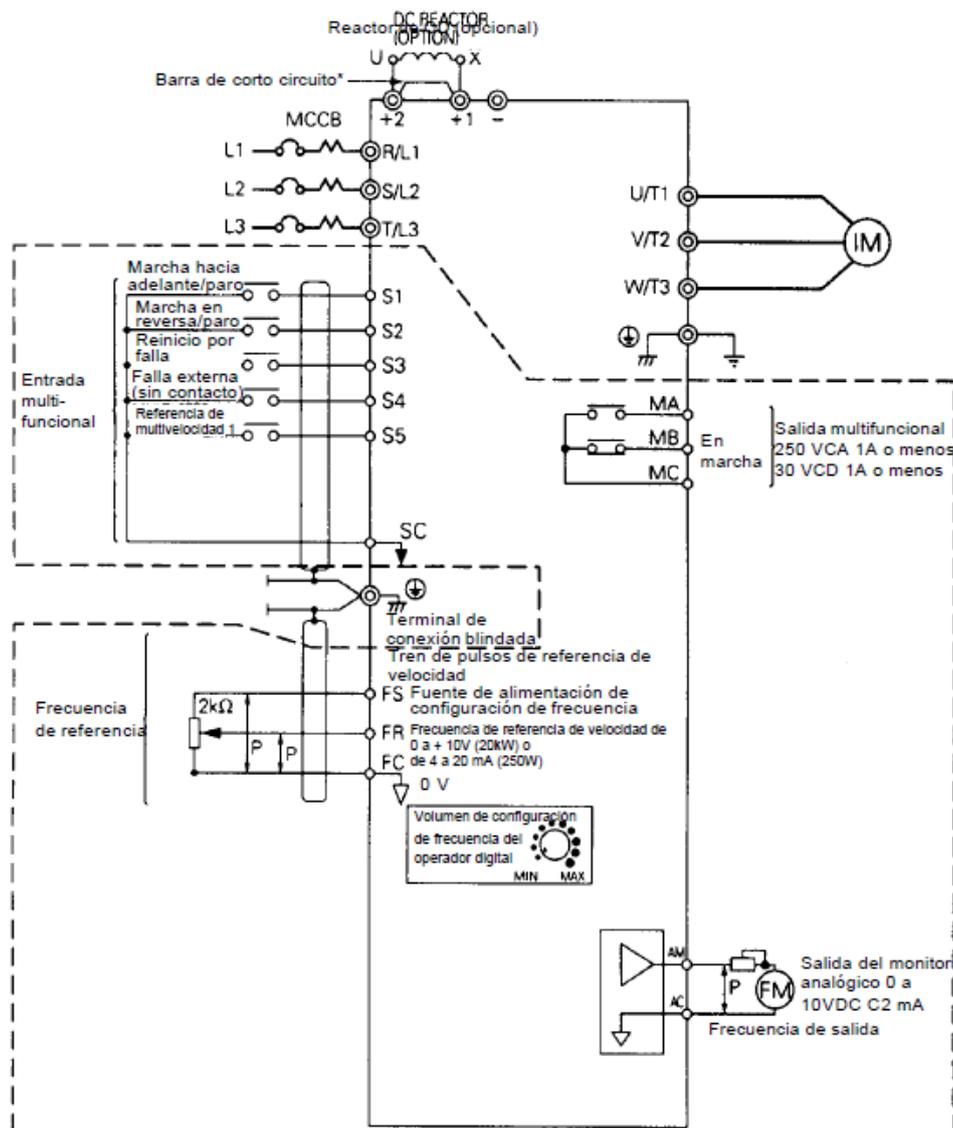


Figura 3.1.1



La descripción de los terminales vistos en el esquema anterior está explicada en la siguiente tabla:

Tipo	Terminal	Nombre	Función (nivel de señal)			
Circuito principal	R/L1, S/L2, T/L3	Entrada de la fuente de alimentación de CA	Utilice la entrada de alimentación del circuito principal (para inversor monofásico, R/L1, S/L2). Aunque está disponible el T/L3, no utilice la terminal para otros propósitos como el de terminal de relevador.			
	U/T1, V/T2, W/T3	Salida del inversor	Salida del inversor			
	+2, +1	Conexión del reactor de CD	Cuando se conecte el reactor de CD opcional, retire la barra del cortocircuito del circuito principal entre +2 y +1.			
	+1, (-)	Entrada de CD de la fuente de alimentación	Entrada de CD de la fuente de alimentación (+1: positivo, -: negativo)*			
		Conexión a tierra	Conexión a tierra 200V: conexión a tierra a 100 Ω o menos 400V: conexión a tierra a 10 Ω o menos			
Circuito de control	Entrada	Secuencia de contacto multifuncionales	S1	Entrada de marcha adelante	Cerrado: marcha FWD (adelante)	Aislamiento de fotoacople 24VCD, 8mA.
			S2	Selección 2 de entrada multifuncional	Cerrado de configuración de fábrica: marcha REV (en reversa)	
			S3	Selección 3 de entrada multifuncional	Configuración de fábrica: Restablecimiento de falla	
			S4	Selección 4 de entrada multifuncional	Configuración de fábrica: Falla externa (Contacto NA)	
			S5	Selección 5 de entrada multifuncional	Configuración de fábrica: Referencia 1 de velocidad múltiple	
			SC	Selección común de entrada multifuncional	Común de señal de control	
	Frecuencia de referencia	FS	Energía para configuración de frecuencia	+12V (corriente permitida de 20mA máx.)		
		FR	Frecuencia de referencia de velocidad maestra	De 0 a +10DC (20k Ω) o de 4 a 20mA (250 Ω) o 20mA (250 Ω) (resolución de 1/1000)		
		FC	Común de frecuencia de referencia	0V		
	Salida	Salida de contacto multifuncional	MA	Salida de contacto NA	Contacto de forma C Configuración de fábrica: marcha	Capacidad de contacto 250VCA 1A o menos, 30VCD 1A o menos
			MB	Salida de contacto NC		
			MC	Común de salida de contacto		
		AM	Salida de monitor analógico	Configuración de fábrica: Frecuencia de salida de 0 a +10VCD	De 0 a +10VCD, 2mA o menos,	
		AC	Común de monitor analógico	0V	Resolución de 8 bits	

Figura 3.1.2



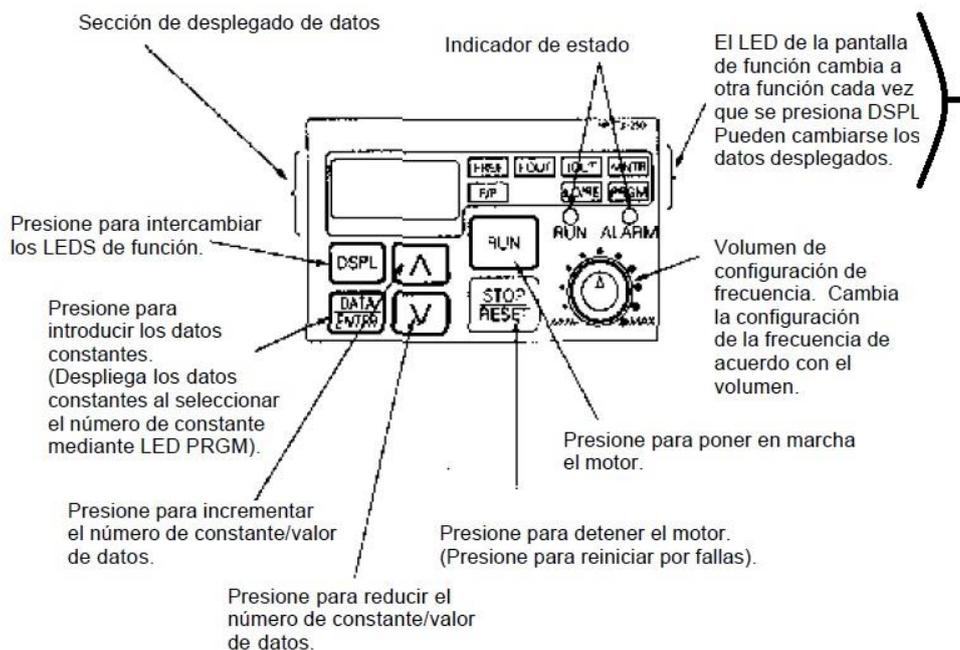
La configuración de las distintas entradas y salidas del variador para este proyecto ha sido la siguiente:

- Entradas multifuncionales:
 - S1: Marcha hacia adelante.
 - S2: Marcha hacia atrás.
 - S3: Referencia de velocidad lenta.
 - S4: Falla externa.
 - S5: Sin uso.

- Salida multifuncional: Señal de fallo.

Tipos de operaciones

A continuación se describen las secciones de la pantalla y del teclado, que establecen todas las funciones del variador:



Los colores en paréntesis indican el color del LED.

FREF Configuración/ monitoreo de la frecuencia de referencia (VERDE)	FOUT Monitoreo de la frecuencia de salida (VERDE)	IOUT Monitoreo de la corriente de salida (VERDE)	MNTR Monitor de multifunciones múltiples (VERDE)
F/R Selección de marcha hacia adelante o en reversa (FDW/REV) (VERDE)		LO/RE Selección LOCAL/REMOTO (ROJO)	PRGM Número de constante/datos (ROJO)

Figura 3.1.3



Existen dos LEDs indicadores en la parte superior derecha del interfaz. El estado del variador se define mediante distintas combinaciones de los LEDs: encendido, parpadeante y apagado (ON, BLINKING y OFF).

: ON [ENCENDIDO]	: BLINKING [PARPADEANDO] (Parpadeo largo)	: BLINKING [PARPADEANDO]	: OFF [APAGADO]
MARCHA ALARMA	Operación lista (durante paro)	Rampa hasta detenerse	Operación normal
(Verde) (Rojo)	MARCHA ALARMA 	MARCHA ALARMA 	MARCHA ALARMA

Figura 3.1.4

Los detalles sobre cómo funcionan los LEDs indicadores en caso de fallo del variador se explican en el apartado “Diagnóstico de fallos” (página 12).

Programación

Pulsando la tecla “DSPL” podemos intercambiar entre las distintas funciones del variador. Para la programación, deberemos estar en la función “PRGM”.

La programación de las variables de configuración del variador es bastante sencilla. Dentro de la función “PRGM”, encontraremos una serie de variables, denominadas nXX, que irán desde n01 hasta n79. Cada una de estas variables tiene asignada una función específica, a continuación se explicarán las más utilizadas e importantes del proyecto:

Selección/inicialización de parámetros (n01)

La siguiente tabla describe los datos que se pueden configurar o leer cuando se configura n01 de las siguientes maneras:

Configuración n01	Parámetro que puede establecerse	Parámetro que puede verse
0	n01	De n01 a n79
1	De n01 a n79*	De n01 a n79
6	Historial de falla liberado	
7	No utilizado	
10	Inicializar (Secuencia de 2 cables)	
11	Inicializar (Secuencia de 3 cables)=	

Figura 3.1.5

El valor de fábrica es n01=1.



Configuración de patrones V/f

No. de parámetros	Nombre	Unidad	Margen de configuración	Configuración inicial
n09	Frecuencia máx. de salida	0.1Hz	De 50.0 a 400Hz	60.0Hz
n10	Voltaje máx.	1V	De 1 a 255V (De 0.1 a 510V)	230V (460V)
n11	Frecuencia de salida de voltaje máx. (frecuencia base)	0.1Hz	De 0.2 a 400Hz	60.0Hz
n12	Frecuencia media de salida	0.1Hz	De 0.1 a 399Hz	1.5Hz
n13	Voltaje de frecuencia media de salida	1V	De 0.1 a 255V (De 0.1 a 510V)	12V (24V)
n14	Frecuencia mínima de salida	0.1Hz	De 0.1 a 10.0Hz	1.5Hz
n15	Voltaje de frecuencia mínima de salida	1V	De 1 a 50V (De 0.1 a 100V)	12V (24V)

Figura 3.1.6

Marcha en reversa prohibida (n05)

Configuración	Descripción
0	Marcha en reversa activada
1	Marcha en reversa desactivada

Figura 3.1.7

El valor de fábrica es n05=0.

Tiempo de aceleración (n16) y desaceleración (n17)

Podemos configurar un tiempo de aceleración mediante la variable n16, y un tiempo de desaceleración mediante la variables n17. El valor estará medido en segundos (s).

Selección del método de paro (n04)

Selecciona el método de paro cuando se retira el comando de marcha.

Configuración	Descripción
0	Desaceleración hasta detenerse
1	Marcha libre del motor hasta detenerse

Figura 3.1.8

El valor de fábrica es n04=0. El tiempo de desaceleración vendrá dado por el valor configurado en n17.



Uso de señales de entrada

Las funciones de las terminales de entrada multifuncional de la función S2 a S5 pueden configurarse mediante los parámetros n36 a n39 respectivamente. A continuación se explican las posibles configuraciones de estos parámetros.

Nota: No puede haber dos parámetros con el mismo valor de configuración.

Configuración	Nombre	Descripción
0	Comando de marcha FWD/REV (selección de secuencia de 3 cables)	Configuración activada únicamente por n37
2	Marcha en reversa (selección de secuencia de 2 cables)	
3	Falla externa (entrada de contacto NA)	El inversor se detiene mediante la entrada de señales de falla externa
4	Falla externa (entrada de contacto NC)	El operador digital muestra en pantalla EF  .
5	Reinicio por falla	Restaura la falla. La restauración de la falla no es efectiva cuando la marcha está ENCENDIDA.
6	Referencia de multi-velocidad 1	
7	Referencia de multi-velocidad 2	
8	Referencia de multi-velocidad 3	
10	Comando con CONTROL MANUAL	
11	Selección de tiempo de acelerac/ desacelerac	
12	Bloque base externo (entrada de contacto NA)	El motor se desacelera hasta detenerse por esta entrada de señal. El operador digital muestra en pantalla
13	Bloque base externo (entrada de contacto NC)	bb
14	Comando de búsqueda desde la frecuencia máxima	Señal de referencia de búsqueda de velocidad
15	Comando de búsqueda desde la frecuencia configurada	
16	Comando de detención de acelerac/ desacelerac	
17	Selección LOCAL/REMOTO	
18	Selección de terminal de comunicación/circuito de control	
19	Falla de paro de emergencia (entrada de contacto NA)	El inversor se detiene mediante la entrada de la señal de paro de emergencia de acuerdo con la selección del método de detención (n04). Cuando se selecciona el método de desaceleración de frecuencia hasta detenerse (n04 configurado en 1), el inversor se desacelera hasta detenerse de acuerdo con la configuración de tiempo de desaceleración 2 (n19).
20	Alarma de paro de emergencia (entrada de contacto NA)	
21	Falla de paro de emergencia (entrada de contacto NC)	
22	Alarma de paro de emergencia (entrada de contacto NC)	El operador digital muestra en pantalla SIP (encendido en falla, parpadeante en alarma).
34	Com. ARRIBA/ABAJO (UP/DOWN)	Configuración activada únicamente para n39 (terminal S5)
35	Autopruueba	Configuración activada únicamente para n39 (terminal S5)

Figura 3.1.9

Selección de multivelocidad (n21 a n28)

Podemos configurar hasta 8 referencias de velocidad en las variables n21 a n28, siempre medidas en hertzios (Hz).

Una vez configuradas estas velocidades, podemos seleccionar las entradas multifuncionales como entradas de referencia de velocidad.



Uso de la señal de salida (n40)

La única salida disponible en el variador se puede configurar mediante la variable n40 con las siguientes opciones:

Configuración	Nombre	Descripción	Pág. ref.
0	Falla	Cerrado cuando se presenta una falla del inversor.	–
1	Marcha del inversor	Cuando se introduce el comando FWD/REV o cuando el voltaje sale del inversor.	–
2	Frecuencia acordada	Cerrado cuando la configuración de la frecuencia concuerda con la frecuencia de salida del inversor.	88
3	Velocidad cero	Cerrado cuando la frecuencia de salida del inversor es menor que la frecuencia mínima de salida.	–
4	Detección de frecuencia	Frecuencia de salida??nivel de detección de frecuencia (n58).	74
5	Detección de frecuencia	Frecuencia de salida??nivel de detección de frecuencia (n58).	74
6	Detección del torque excesivo (entrada de contacto NA)	—	73
7	Detección del torque excesivo (entrada de contacto NC)	—	73
10	Falla menor	Cerrado cuando se indica la alarma.	–
11	Base bloqueada	Cerrado cuando la salida del inversor está apagada.	–
12	Modo de operación	Cerrado cuando la selección LOCAL/REMOTO selecciona "LOCAL".	–
13	Inversor listo	Cerrado cuando no se detecta la falla del inversor y cuando está lista la operación.	–
14	Reinicio por falla	Cerrado durante el reintento por falla.	–
15	En UV	Cerrado cuando se detecta voltaje bajo.	–
16	En marcha en reversa	Cerrado durante la marcha en reversa.	–
17	En búsqueda de velocidad	Cerrado cuando el inversor conduce una búsqueda de velocidad.	–
18	Salida de datos desde comunicaciones	Opera independientemente la terminal de salida multifuncional desde la operación del inversor (por comunicación MEMOBUS).	–

Figura 3.1.10

Diagnóstico de fallos

A continuación, se describen las pantallas de alarmas y fallos, las explicaciones de las condiciones de fallos, y las acciones correctivas que se deben tomar en cada uno de los casos:

☀ : ENC 🕒 : Parpadeante ● : APAG

Figura 3.1.11



Desplegado de las alarmas		Estado del inversor	Explicación	Causas y acciones correctivas
Operador digital	MARCHA ALARMA (Verde) (Rojo)			
UV Parpadeante		Advertencia Los contactos de falla no cambian el estado.	UV (bajovoltaje del circuito principal) El voltaje de CD del circuito principal cae por debajo del nivel de detección de voltaje bajo mientras que el inversor produce la señal de apagado (OFF). 200V: El voltaje de CD del circuito principal desciende por debajo de aprox. 200V (180V para mod. monofásico) 400V: El voltaje de CD del circuito principal desciende por debajo de aprox. 400V.	Verifique lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de la fuente de alimentación. • El cableado de la fuente de alimentación del circuito principal. • Que estén debidamente apretados los tornillos terminales.
OV Parpadeante			OV (sobrevoltaje del circuito principal) El voltaje de CD del circuito principal excede el nivel de detección de sobrevoltaje mientras que el inversor produce una señal de APAGADO. Nivel de detección: aprox. 410V o más (aprox. 820V para clase 400V).	Verifique el voltaje de la fuente de alimentación.
OH Parpadeante			OH (sobrecalentamiento de la aleta de enfriamiento) La temperatura de la toma de aire se eleva mientras que el inversor produce una señal de apagado (OFF).	Verifique la temperatura de la toma de aire.
CAL Parpadeante			CAL (comunicaciones MEMOBUS en espera) No se han recibido datos correctos del PLC cuando los parámetros n02 (selección de comando de operación) es 2 o n03 (selección de frecuencia de referencia) es 6 y la energía está ENCENDIDA.	Verifique los dispositivos de comunicación y las señales de transmisión.

Figura 3.1.12



Desplegado de las alarmas		Estado del inversor	Explicación	Causas y acciones correctivas
Operador digital	MARCHA, ALARMA (Verde) (Rojo)			
<p>OP □</p> <p>Parpadeante</p>	 	<p>Advertencia</p> <p>Los contactos de falla no cambian el estado.</p>	<p>OP₀: (error de configuración de parámetros cuando la configuración de parámetros se realiza mediante comunicaciones MEMOBUS)</p> <p>OP1: Se configuran dos o más valores para la selección de entrada multifuncional. (parámetros del n38 al n39)</p> <p>OP2: No es correcta la relación entre los parámetros V / f. (parámetros n09, n11, n12, n14)</p> <p>OP3: El valor de configuración de la corriente nominal del motor excede 120% la corriente nominal del inversor. (parámetro n32)</p> <p>OP4: El límite superior/ inferior de la frecuencia de referencia es inverso. (parámetros n30, n31)</p> <p>OP5: Los valores de configuración de las frecuencias de salto 1 y 2 no son adecuadas. (parámetros del n49 al n50)</p> <p>OP9: La configuración de la frecuencia portadora es incorrecta. (parámetro n46)</p>	<p>Verifique los valores de configuración.</p>
<p>OL 3</p> <p>Parpadeante</p>			<p>OL 3 (detección de torque excesivo)</p> <p>La corriente del motor excedió el valor preconfigurado y el parámetro n32.</p>	<p>Reduzca la carga y expanda el tiempo de acelerac/desacelerac</p>
<p>SER</p> <p>Parpadeante</p>	 		<p>SER (error de secuencia)</p> <p>El comando de selección LOCAL/REMOTO o la comunicación/terminal del circuito de control cambiando señales desde la señal multifunción mientras que el inversor produce energía de salida.</p>	<p>Verifique el circuito externo (secuencia).</p>

Figura 3.1.13



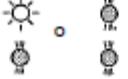
Desplegado de las alarmas		Estado del inversor	Explicación	Causas y acciones correctivas
Operador digital	MARCHA ALARMA (Verde) (Rojo)			
bb Parpadeante			BB (bloque base externo) Está activo el comando del bloque base en la terminal multifuncional. Está apagada (OFF) la salida del inversor (marcha sin motor). La condición temporal se libera cuando se retira el comando de entrada	Verifique el circuito externo (secuencia).
EF Parpadeante			EF (comandos de marcha FWD/REV simultáneos) Cuando los comandos de marcha FWD y REV se introducen simultáneamente durante más de 500ms, el inversor se detiene de acuerdo al parámetro n04.	Verifique el circuito externo (secuencia).
SFP Parpadeante		Advertencia Los contactos de falla no cambian el estado.	STP (paro de la función del operador) Se presiona paro/reinicio (STOP/RESET) durante la marcha mediante el comando FWD/REV de las terminales de circuito de control, o mediante el comando de marcha desde comunicaciones. El inversor se detiene de acuerdo con el parámetro n04.	Abra el comando FWD/REV de las terminales de circuito de control.
			STP (paro de emergencia) El inversor recibe la señal de alarma del paro de emergencia. El inversor se detiene de acuerdo con el parámetro n04.	Verifique el circuito externo (secuencia).
FAn Parpadeante			FAN (falla del ventilador de enfriamiento) Esta bloqueado el ventilador de enfriamiento.	Verifique lo siguiente: • Ventilador de enfriamiento • No está conectado el cableado del ventilador de enfriamiento.
CE Parpadeante			CE (falla de comunicaciones MEMOBUS)	Verifique los dispositivos de comunicación o las señales de comunicación.

Figura 3.1.14



Desplegado de las alarmas		Estado del inversor	Explicación	Causas y acciones correctivas
Operador digital	MARCHA ALARMA (Verde) (Rojo)			
OC	● ☀	Operación de seguridad Se apaga (OFF) la salida y el motor se desacelera hasta detenerse	OC (corriente excesiva) La corriente de salida del inversor excede momentáneamente aprox. 200% de la corriente nominal. (Falla de la fuente de alimentación de control) Se detectó falla de voltaje de la fuente de alimentación de control.	<ul style="list-style-type: none"> Cortocircuito o conexión a tierra en el lado de salida del inversor. Carga excesiva GD² Tiempo excesivamente rápido de acelerac/ desacelerac (parám. del n18 al n20) Motor especial utilizado Motor de arranque durante la marcha sin motor. Se ha arrancado un motor de una capacidad mayor que la del margen del inversor. Contactor magnético abierto/cerrado en el lado de salida del inversor.
GF			GF (falla de conexión a tierra) La corriente de falla de conexión a tierra en la salida del inversor excedió la corriente nominal del inversor.	<ul style="list-style-type: none"> Verifique el aislamiento del motor. Verifique que la conexión entre el inversor y el motor no esté dañada.
OV			OV (voltaje excesivo del circuito principal) El voltaje de CD del circuito principal excede el nivel de detección de sobrefatiga debido a la energía excesiva regenerativa del motor. Nivel de detección: 200V: Se detiene en el circuito principal voltaje de CD inferior aprox. 410V 400V: Se detiene en el circuito principal el voltaje de CD aprox. 820V o más	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de desaceleración insuficiente (parámetros n17 y n19) Reducción de sobretracción de carga (elevador, etc.) ? Incremento del tiempo de desaceleración.
UV1			UV1 (voltaje bajo del circuito principal) El voltaje de CD del circuito principal cae por debajo del nivel de detección de voltaje bajo mientras que la salida del inversor está encendida. 200V: Se detiene en el circuito principal Voltaje de CD por debajo de aprox. 200V (180V para modelo monofásico) 400V: Se detiene en el circuito principal Voltaje de CD aprox. 400V o más	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del voltaje de la fuente de alimentación de entrada. Fase abierta del suministro de entrada. Pérdida momentánea de energía. ? Verifique lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> Voltaje de la fuente de alimentación Está conectado el cableado de la fuente de alimentación del circuito principal. Los tornillos de la terminal están apretados adecuadamente.

Figura 3.1.15



Despliegado de las alarmas		Estado del inversor	Explicación	Causas y acciones correctivas
Operador digital	MARCHA ALARMA (Verde) (Rojo)			
OH		Operación de protección Se apaga (OFF) la salida y el motor desacelera hasta detenerse.	OH (sobrecalentamiento de la aleta de enfriamiento) La temperatura se elevó debido a la operación de sobrecarga del inversor o a la elevación de la temperatura de la toma de aire.	<ul style="list-style-type: none"> Carga excesiva. Configuración indebida del patrón V/f. Tiempo de acelerac. insuficiente si se presenta la falla durante la aceleración. La temperatura de la toma de aire excede 122°F (50°C). Se detiene el ventilador de enfriamiento. ? Verifique lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> Tamaño de la carga. Configuración del patrón V/f (parámetros del n09 al n15). Temperatura de la toma de aire.
OL 1	● ☀		OL1 (sobrecarga del motor) La protección de sobrecarga del motor opera mediante el relevador integrado de sobrecarga térmica electrónica.	<ul style="list-style-type: none"> Verifique el tamaño de la carga o la configuración del patrón V/f (parámetros del n09 al n15) Configure al corriente nominal del motor que se muestra en la placa de características del parámetro n32.
OL 2			OL2 (sobrecarga del inversor) La protección de sobrecarga del inversor opera mediante el relevador integrado de sobrecarga térmica electrónica.	<ul style="list-style-type: none"> Verifique el tamaño de la carga o la configuración V/f (parámetros del n09 al n15) Verifique la capacidad del inversor.
OL 3			OL3 (detección del torque excesivo) La corriente de salida del inversor excedió el valor preconfigurado en el parámetro n80. Cuando se detecta un torque excesivo el inversor realiza la operación de acuerdo con la configuración preestablecida del parámetro n59.	Verifique la máquina y corrija la causa de la falla o incremente el valor del parámetro n80 hasta el valor más alto que permita la máquina.

Figura 3.1.16



Desplegado de las alarmas		Estado del inversor	Explicación	Causas y acciones correctivas
Operador digital	MARCHA ALARMA (Verde) (Rojo)			
EF0		Operación protectora Se apaga (OFF) la salida y el motor desacelera hasta detenerse.	<p>EF_{ext} (falla externa) El inversor recibe una entrada de falla externa desde la terminal del circuito de control.</p> <p>EF0: Referencia de falla externa a través de comunicaciones MEMOBUS</p> <p>EF2: Comando de entrada de falla externa desde la terminal del circuito de control S2</p> <p>EF3: Comando de entrada de falla externa desde la terminal del circuito de control S3</p> <p>EF4: Comando de entrada de falla externa desde la terminal del circuito de control S4</p> <p>EF5: Comando de entrada de falla externa desde la terminal del circuito de control S5</p>	Verifique el circuito externo (secuencia).
F00			CPF-00 Se detectó falla de memoria inicial.	Cicle la potencia. Si persiste la falla reemplace el operador digital o el inversor.
F01			CPF-01 Se detectó error ROM.	Cicle la potencia. Si persiste la falla reemplace el operador digital o el inversor.
F04			CPF-04 Se detectó falla EEPROM del circuito de control del inversor.	<ul style="list-style-type: none"> Registre los datos de todos los parámetros e inicialícelos. (Consulte la página 25 para inicialización de parámetros.) Cicle la potencia. Si persiste la falla reemplace el inversor.

Figura 3.1.17



Despliegado de las alarmas		Estado del inversor	Explicación	Causas y acciones correctivas
Operador digital	MARCHA, ALARMA (Verde) (Rojo)			
F05	● ☀	Operación protectora Se apaga (OFF) la salida y el motor desacelera hasta detenerse	CPF-05 Se detectó falla del convertidor AD	Cicle la potencia. Si persiste la falla reemplace el inversor.
F06			CPF-06 • Falla de conexión de la tarjeta de opción. • Se conectó una tarjeta de opción no correspondiente.	Retire la energía al inversor. Verifique la conexión del operador digital. Verifique el software del inversor (n79).
F07			CPF-07 Falla del circuito de control del operador (convertidor EEPROM o AD)	Cicle la potencia. Si persiste la falla reemplace el operador digital o el inversor.
CE			CE (falla de comunicaciones MEMOBUS) No es posible la recepción normal de los datos de comunicación.	Verifique los dispositivos de comunicación o las señales de comunicación.
SRP	☼ or ● ☼	Detención de acuerdo al parámetro.	STP (paro de emergencia) El inversor se detiene de acuerdo con el parámetro n04 después de recibir la señal de falla de paro de emergencia.	Verifique el circuito externo (secuencia).
— (OFF)	● ●		• Voltaje de fuente de alimentación insuficiente • Falla de la fuente de alimentación de control • Falla del hardware	Verifique lo siguiente: • Voltaje de la fuente de alimentación. • Que esté conectado el cableado de la fuente de alimentación del circuito principal. • Que estén debidamente apretados los tornillos terminales. • Secuencia de control. Reemplace el inversor.

Figura 3.1.18

3.2 Motor asíncrono

El motor es el otro **actuador** del proyecto. Es el encargado de mover la cinta según las señales que le envíe el variador.

Características del motor

- Potencia: 0.14kW.
- Alimentación trifásica a 380V a través del variador de velocidad.
- 1360rpm a 50Hz.

Este tipo de motores no vienen provistos de ningún tipo de protección, ya sea contra cortocircuitos, termistancia para la temperatura... Por lo cual todas las protecciones que se deseen deben ser estudiadas y aplicadas de manera independiente.



Figura 3.2.1. Chapa informativa del motor utilizado en el proyecto

3.3 Potenciómetro

El potenciómetro es el **sensor** principal de nuestro sistema. Es el encargado de medir la posición de la cinta.

Un potenciómetro es un elemento el cual ofrece una diferencia de tensión entre dos de sus extremos dependiendo de la posición de su eje de giro. Cuentan con una resistencia interna variable según la posición del eje para obtener esta diferencia de tensión. En concreto, nuestro potenciómetro es de 10kΩ, lo que significa que su rango de operación va desde 0Ω a 10kΩ.

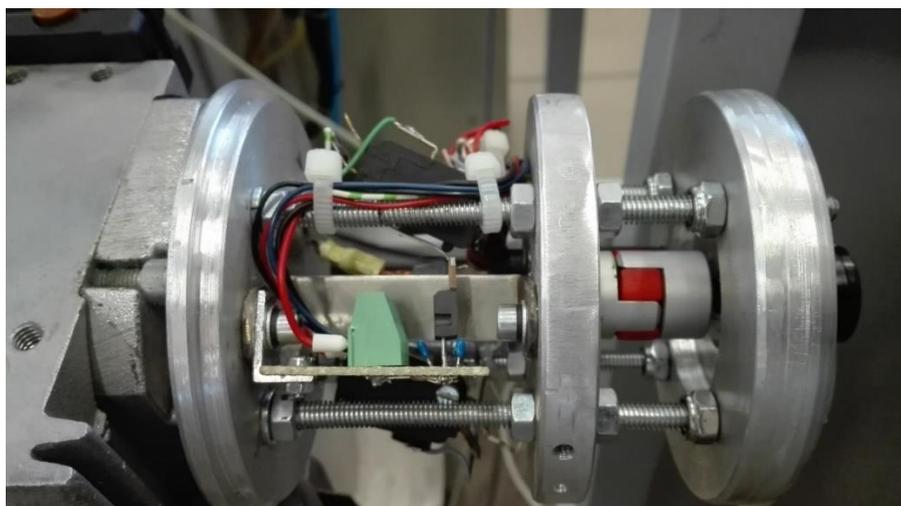


Figura 3.3.1



El potenciómetro tiene su eje anclado a la salida de la caja reductora (Apartado 3.4). Normalmente, los potenciómetros no pueden dar infinitas vueltas, si no que tienen un límite que no les permite avanzar una vez han llegado a su valor máximo o mínimo, por lo cual se precisa de una protección para evitar este problema. La solución final fue colocar finales de carrera, los cuales directamente cortan la señal de movimiento en el sentido en el que se ha llegado al límite.

La introducción de este sistema de seguridad obliga a modificar el cableado, de tal manera que queda como a continuación:

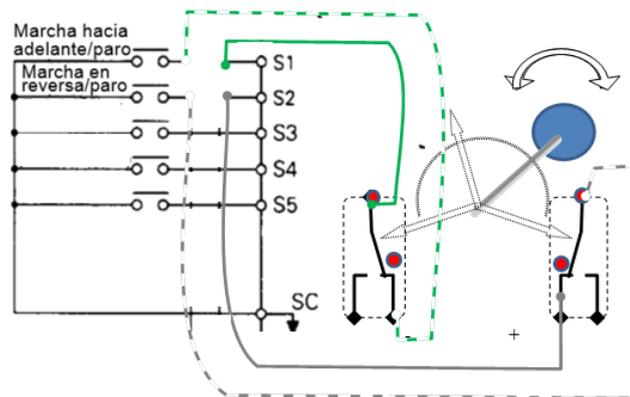


Figura 3.3.2

3.4 Caja reductora

La caja reductora es un elemento encargado de reducir la velocidad de salida del eje del motor trifásico. Sin esta caja reductora sería totalmente imposible controlar el motor de una forma precisa, ya que la velocidad de salida del motor es demasiado alta para las pretensiones de este trabajo (incluso a una frecuencia mínima).



Figura 3.4.1



Esta caja reductora nos ofrece una relación de reducción de 1/20, y puede aguantar una velocidad máxima de 1680rpm y una potencia de 140W, más que suficiente para el uso que va a cometer.

3.5 Sensores de bandeja

Los sensores son elementos cruciales en el proyecto. Son los encargados de transmitir al autómatas la posición real de las bandejas, cuando estas los activan. En el proyecto intervienen 3 tipos de sensores:

- Sensor de barra (ED_BARRA_CRUCE): Este sensor es activado mediante presión. Cuando una bandeja entra en su entorno, lo “empuja”, produciendo un movimiento que activa el sensor. Se usan para activar y desactivar los elevadores encargados de transportar una bandeja de una cinta a otra.
- Sensor magnético (ED_POSICION_CRUCE): Las bandejas están provistas de bandas magnéticas en sus cuatro costados. Cuando estas bandas se colocan junto a un sensor magnético lo activan. Estos sensores también se usan para el tránsito de bandejas entre las cintas, y para detectar si hay una bandeja sobre un retenedor.

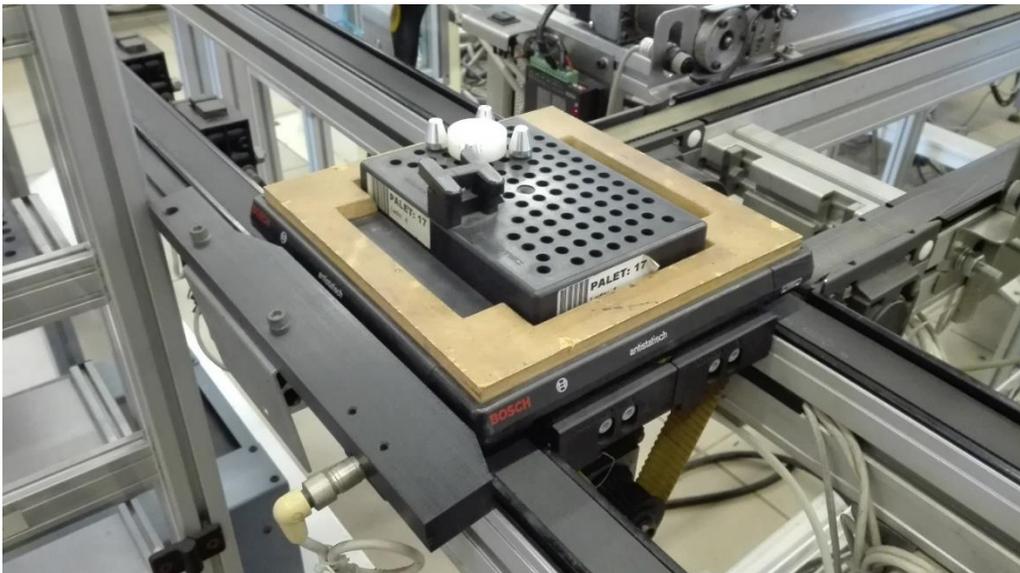


Figura 3.5.1. Sensor de barra, siendo presionado y activado por una bandeja. Además, esta barrera también dispone de un sensor magnético.



- Sensor de barrera (ED_HOME_BARRERA): Está compuesto de 2 elementos. Uno es el encargado de emitir infrarrojos, y el otro es el encargado de recibirlos. Cuando el segundo detecta los infrarrojos, envía una señal al autómat, y cuando no recibe los infrarrojos (normalmente porque una bandeja se interpone en su camino), deja de emitir esta señal al autómat.



Figura 3.5.2. Sensor de barrera, siendo cortado por una bandeja a su paso.



4 El equipo de control. PLC

Concepto de autómatas programables o PLC

Los autómatas industriales son elementos muy importantes dentro de la industria, ya que son los que gobiernan el control de los sistemas implantados. De acuerdo con la definición NEMA (National Electrical Manufacturers Association) un controlador programable es: “Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales o analógicos, varios tipos de máquinas o procesos”.

Usos del PLC

El PLC tiene un campo de aplicación muy grande. Se utiliza en todo tipo de instalaciones que requiere un proceso de fabricación, maniobra, control, señalización industrial, etc. Además es muy apreciado en la industria, por su robustez en ambientes industriales, su cada vez mejores prestaciones, reducidas dimensiones, fiabilidad, facilidad de montaje, mantenimiento económico, facilidad de programación y modificación del programa interno, etc.

Funciones básicas de un PLC

- Detección: Lectura de la señal de los sensores distribuidos por el sistema de fabricación o instalación en general.
- Mando: Elaborar y enviar las acciones correspondientes al sistema mediante los accionadores.
- Diálogo hombre-máquina: Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas.
- Programación del autómatas: Para crear y modificar el programa de aplicación del autómatas.
- Redes de comunicación: Permite establecer comunicación con otras partes de control.
- Sistemas de supervisión: Los autómatas también permiten comunicarse a través de su tarjeta de red con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial (SCADA).
- Control de procesos continuos: Además del control de sistemas de eventos discretos, los autómatas también llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómatas.



Autómata de la planta (M340 de Schneider)

El encargado de gestionar todos los sensores y actuadores de la planta es el autómata M340, de la marca Schneider.

Nuestro autómata consta de:

- CPU: Es la encargada de realizar todos los cálculos necesarios para ejecutar el programa. Además, posee una memoria en la cual almacena el programa.
- Tarjeta de red: Comunica todo el sistema PLC con un ordenador desde el cual se programa y se envían comandos al PLC.
- Módulos de entrada y salida: Se encargan de gestionar las diferentes entradas y salidas del PLC. Éstas pueden ser analógicas o digitales. Las entradas y salidas digitales funcionan a 24V.
- Placa PLC: En ella colocamos todos los elementos anteriores, en una posición determinada, ya que de la posición depende la comunicación del PLC en términos de direcciones.

Como se ha explicado anteriormente, para el manejo del variador son necesarias 4 salidas digitales (S1 a S4) y una entrada digital (Fallo). Además, el proyecto precisa de la introducción de los sensores de barrera, barra y magnético explicados en el apartado 3.5.



Figura 4.1. Autómata M340, de la marca Schneider



Software del autómatas

Para la programación del programa necesario para el funcionamiento de la planta se ha usado el programa Unity Pro XL. Este programa es muy intuitivo, y nos ofrece las posibilidades necesarias para llevar a cabo el proyecto.

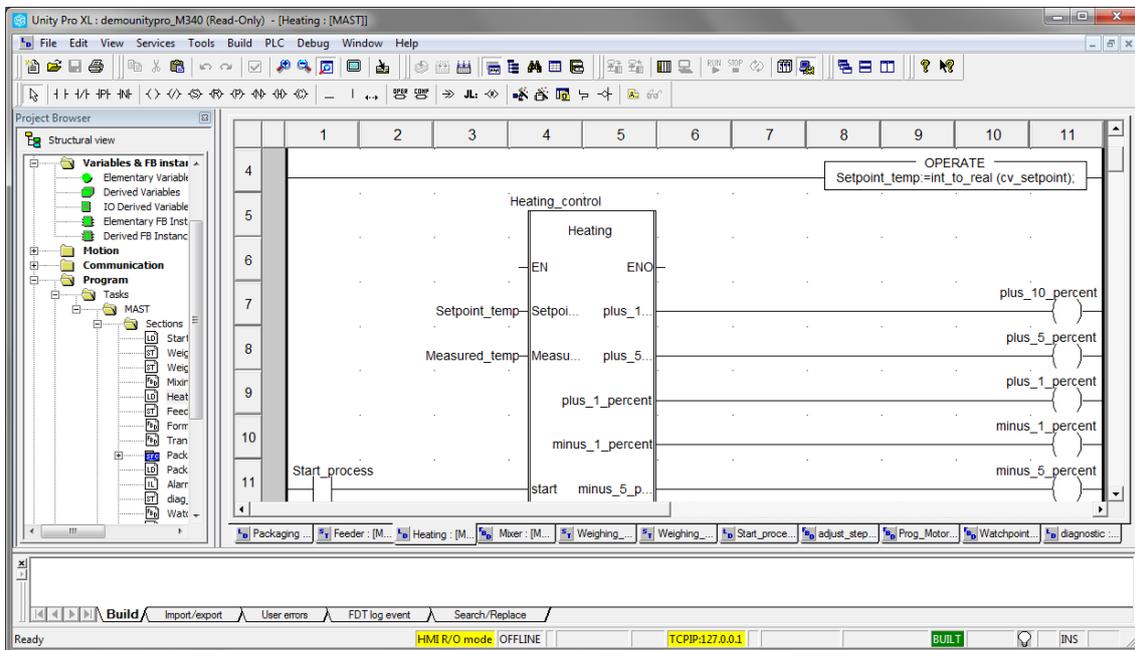


Figura 4.2. Ejemplo de la pantalla principal de Unity Pro XL

Unity Pro XL dispone de diferentes lenguajes de programación para sus funciones. Se usará lenguaje tipo “Ladder” (LD) en todas las funciones del proyecto.

Explicamos brevemente la simbología de los elementos principales que utilizamos en la programación de las funciones en lenguaje Ladder en Unity Pro XL.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.
	Bobina SET	Permite desactivar una bobina SET previamente activada.

Figura 4.3



5 Funciones implementadas en el PLC

5.1 Ensayos previos en la planta

Nos centramos en probar todas las posibilidades del variador que creemos nos pueden ayudar en el proyecto.

Lo primero que probamos fue cómo reacciona el variador ante diferentes velocidades. Programamos la frenada del variador con el valor $n04=1$ (desacelerar hasta pararse). El objetivo principal era ver a qué velocidad considerábamos que la desviación entre el punto de orden de frenado y el punto real no era admisible. Estos son los resultados de dichas pruebas:

Velocidad (Hz)	Punto solicitado de frenado	Punto real de frenado	Desviación
1	5000	5001	1
5	5000	5002	2
10	5000	5002	2
20	5000	5004	4
30	5000	5005	5
45	5000	5007	7
60	5000	5010	10

Hay que comentar que la función que maneja el variador y el significado de los valores de puntos de frenado se explican en el apartado 5.3, y que su creación fue necesaria para llevar a cabo los diferentes ensayos de velocidades.

Una vez vemos los resultados, elegimos la velocidad de operación normal 30Hz, y la “velocidad de referencia 1” 5Hz. Esta velocidad de 30Hz la elegimos porque ofrecía una desviación de apenas 4 unidades. Esta desviación es muy interesante y vital para el proyecto, ya que, durante los ensayos, se pudo apreciar como el valor de la posición dada por el potenciómetro fluctuaba con valores de ± 1 en parado, dando una idea de la precisión milimétrica del potenciómetro.

Nos centramos ahora en el rango de operación de la cinta. Si llevamos la cinta a los extremos, sabemos que saltará la seguridad de final de carrera para evitar daños en el potenciómetro (apartado 3.3). Al llevar la cinta a ambos extremos, vemos que salta en los valores del potenciómetro 251 y 9547, es decir, no completa el rango de 0 a 10.000. Para trabajar más cómodamente, creamos una función auxiliar que nos escale estos valores.

En el apartado 2 del proyecto se explican las diferentes funciones que necesitamos para llevar a cabo el proyecto. Son las siguientes:

- Función que controle el posicionamiento de la cinta, independientemente de otros factores.
- Función que controle la entrada y salida de bandejas en el cruce con la cinta principal.
- Función que supervise cuantas bandejas hay y donde se encuentran (en una posición relativa a la cinta) en cada momento.



- Una función auxiliar de test, que se ejecute siempre en el encendido de la planta, y que se encargue de contar cuantas bandejas hay y dejarlas en una posición de origen.

La primera función que obtenemos es la función que controla el posicionamiento de la cinta, ya que esta función es necesaria para llevar a cabo todos los ensayos del apartado 5. Para ello estudiamos las medidas de la cinta:

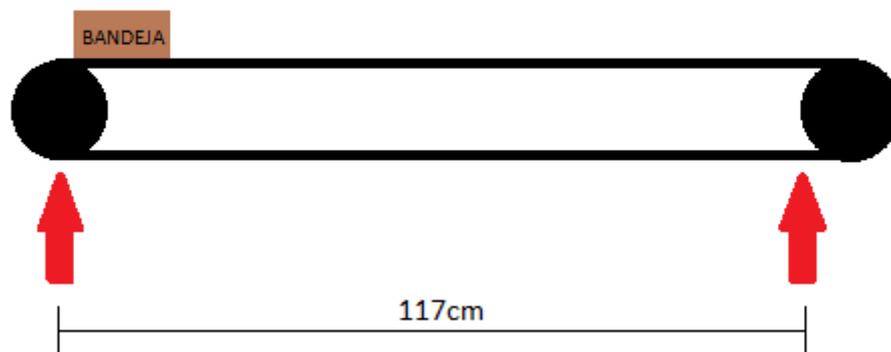


Figura 5.1.1

Para dejar cierto margen de seguridad en los extremos y evitar que salte la protección, elegimos como punto de entrada de bandejas el valor 300 del potenciómetro. Una vez tenemos nuestro valor de inicio, calculamos el valor en el cual la bandeja llega al retenedor del extremo opuesto. Este valor es 9170.

También es de interés la longitud de las bandejas: 24,8cm.

Teniendo el margen de operación de la cinta, procedemos a realizar la función auxiliar de escalado.

5.2 Función auxiliar de escalado (FunEscalado)

Para trabajar con referencias de posición de una manera más cómoda, creamos una función que nos escale los valores del potenciómetro.

Hemos determinado que nuestro intervalo de funcionamiento de la cinta será de [300, 9170]. Para trabajar más cómodamente, decidimos crear la función auxiliar de escalado, la cual escala este intervalo uno mucho mejor para trabajar con él: [0, 10000].

Creamos nuestra función (FunEscalado):

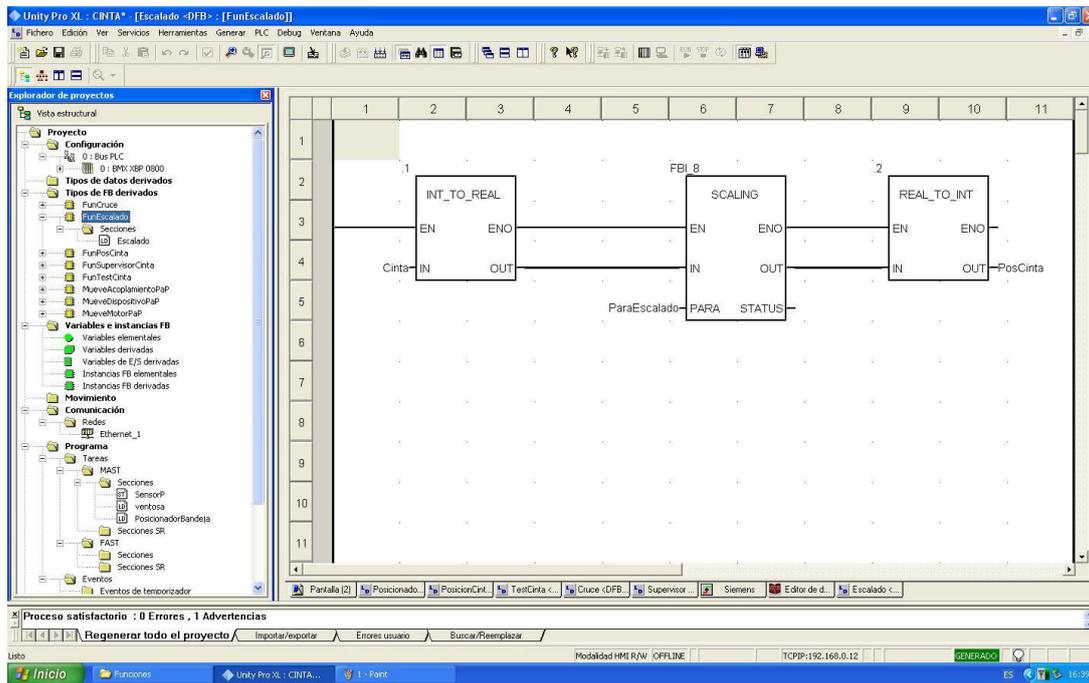


Figura 5.2.1

Esta función está compuesta por otra función llamada “Scaling”, que es la que realiza la operación de escalado. Esta función recibe y da valores en formato real, y nosotros trabajamos en formato int, por lo cual necesitamos un bloque convertidor a la entrada y a la salida de la función.

Nombre	NP	Tipo	Valor	Comentario
Escalado	1	INT		
<salidas>				
PosCinta	1	INT		
<entradas/salidas>				
<publico>				
<privado>				
FBI_7		SCALING		
FBI_8		SCALING		
ParaEscalado		Para_SCALING		
in_min		REAL	300	300
in_max		REAL	9170	9170
out_min		REAL	0	
out_max		REAL	10000	
clip		BOOL		
<secciones>				
FunPosCinta		<DFB>		
FunSupervisorCinta		<DFB>		
FunTestCinta		<DFB>		
MueveAcoplamientoPaP		<DFB>		
MueveDispositivoPaP		<DFB>		
MueveMotorPaP		<DFB>		

Figura 5.2.2



Entradas de la función:

- Cinta

Salidas de la función:

- PosCinta

Como vemos en la figura X, la función “Scaling” necesita unos valores iniciales y finales para poder realizar el escalado correctamente.

La función recibe como dato el valor real de la cinta (Cinta), y da el valor escalado (PosCinta).

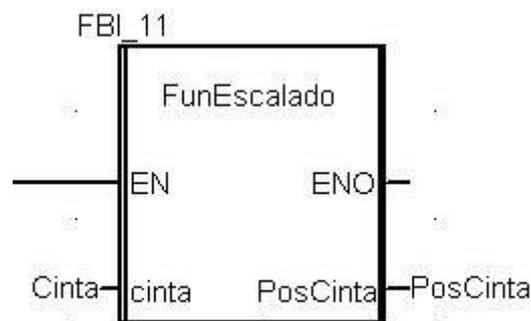


Figura 5.2.3

Como vemos en la figura 5.1.1 (apartado 5.1), la longitud total en la que opera la cinta en sus extremos es de 117cm, y si nuestra precisión es de 10000 puntos, significa que cada punto equivale a una distancia de 0,117mm, lo que es aproximadamente una décima de milímetro, siendo una gran precisión.

5.3 Función de posicionamiento de la cinta (FunPosCinta)

Esta función es la encargada de posicionar la cinta en un punto concreto. La función recibe una referencia de posición, y se encarga de llevar la cinta hasta dicha posición.

En este punto entra en juego el valor de la desviación (Apartado 5.1), ya que el valor real del potenciómetro tiende a oscilar mínimamente, incluso en parado. Es por esto que durante los ensayos en la planta, si pedíamos a la función que llevase la cinta a una posición concreta, no dejaría de corregir nunca esta posición debido a la fluctuación, lo cual podía resultar fatal para los relés de salida del autómat. La solución a esto fue bien sencilla: Llevar la cinta a un intervalo aceptable respecto de la posición solicitada.

La elección de este intervalo viene determinada por el valor de la desviación de frenada de la cinta, cuyo valor es 5. A partir de aquí, diseñamos la función en base a que en cuanto la posición fuese igual a la solicitada, la cinta quedaría parada si está en un intervalo de



±5 respeto de la posición solicitada. Este intervalo es más que aceptable, ya que como hemos visto, cada punto es aproximadamente una décima de milímetro, por lo cual este intervalo sería de unas 6 décimas de milímetro, algo totalmente despreciable.

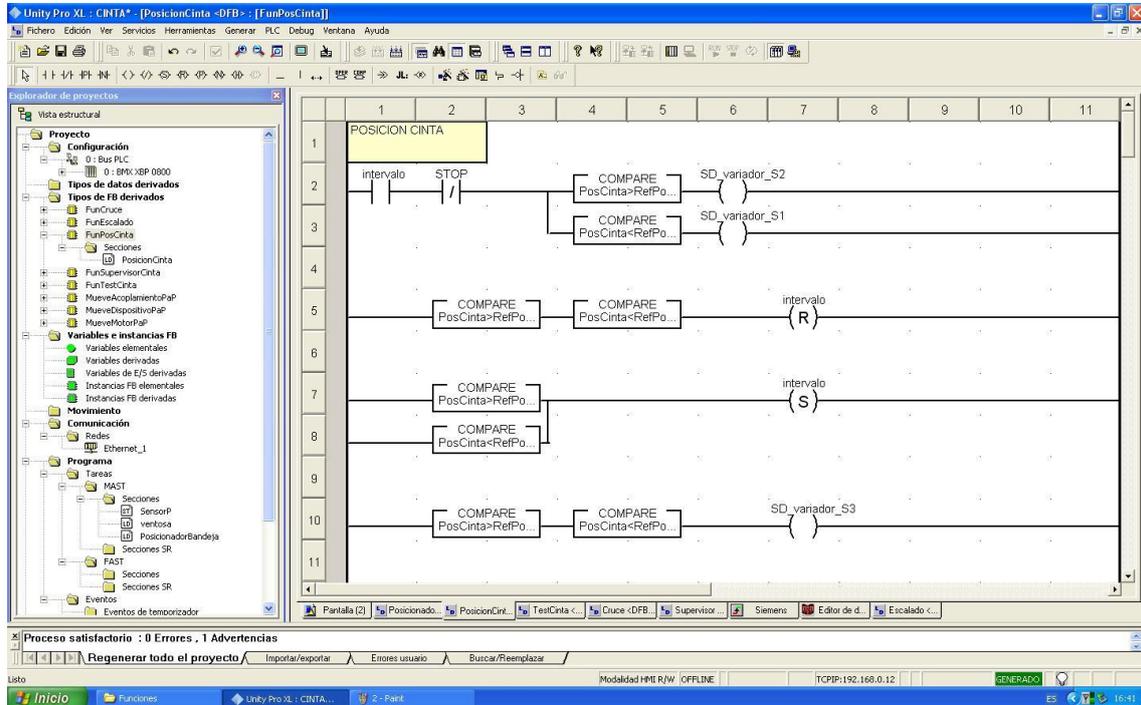


Figura 5.3.1

En la figura 5.3.1 vemos el diseño de la función. Si la posición (PosCinta) es distinta a la referencia (RefPosCinta), y no nos encontramos dentro del intervalo, vemos si la cinta debe moverse hacia un lado u otro, activando la señal correspondiente del variador (S1 (SD_variador_S1) o S2 (SD_variador_S2)) para mover la cinta al lugar adecuado.

Una vez tenemos la cinta dentro del intervalo correspondiente, impedimos el movimiento de la misma, hasta que la referencia sea distinta a la posición, ejecutando de nuevo la misma operación.

Además, si la posición está más cerca de 1000 puntos de la referencia, se activa la señal S3 (SD_variador_S3) del variador. Esta señal activa la “velocidad de referencia 1” (5Hz), haciendo que la cinta frene suavemente hasta llegar al punto establecido. Esta frenada se introduce para evitar frenadas secas, ya que, aunque es son válidas en términos de programación, pueden provocar la caída de los elementos que se encuentran sobre las bandejas.

La señal de STOP corta inmediatamente toda acción de movimiento sobre la cinta.

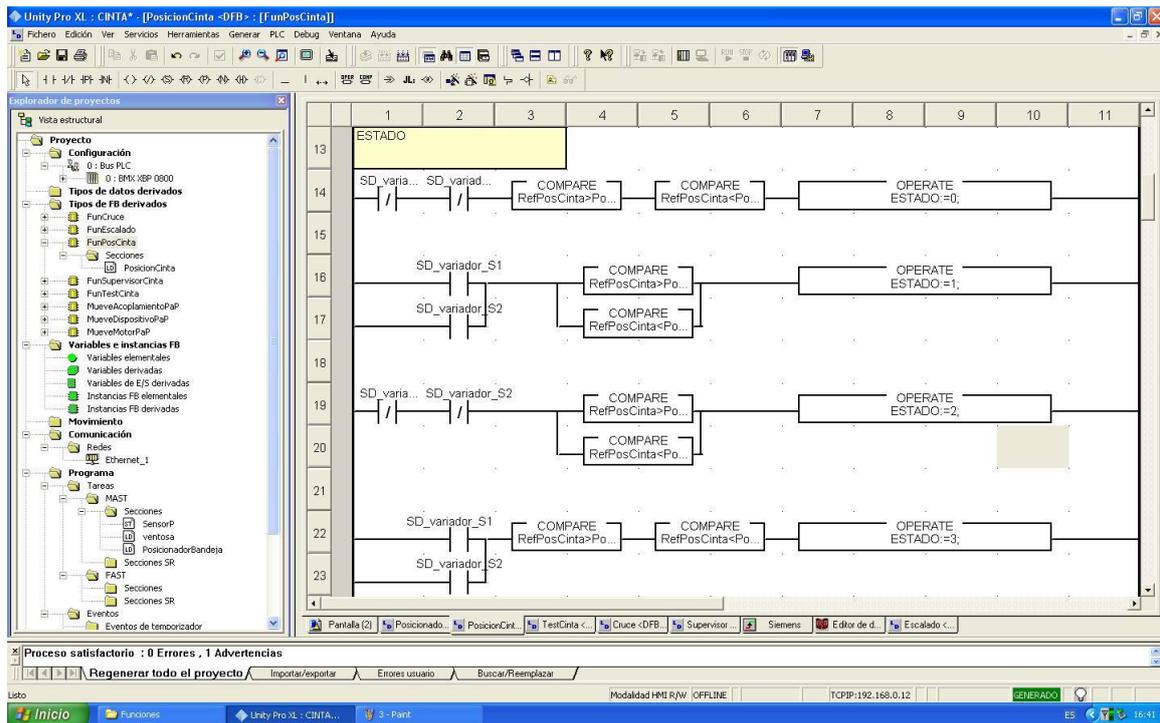


Figura 5.3.2

En la figura 5.3.2, vemos otro apartado del diseño de la función. Esta implementación recibe el nombre de “ESTADO”. Contamos con una variable estado, que nos muestra en qué estado se encuentra el sistema:

ESTADO	Significado
0	La cinta no se mueve y no debe moverse
1	La cinta se mueve y debe moverse
2	La cinta no se mueve y debe moverse
3	La cinta se mueve y no debe moverse

Figura 5.3.3

Vemos entonces que los valores normales de operación son 0 y 1, siendo los valores 2 y 3 indicativos de error.

Este apartado analiza el valor de las señales de movimiento del variador y compara los valores de la posición y la referencia para obtener cada estado.

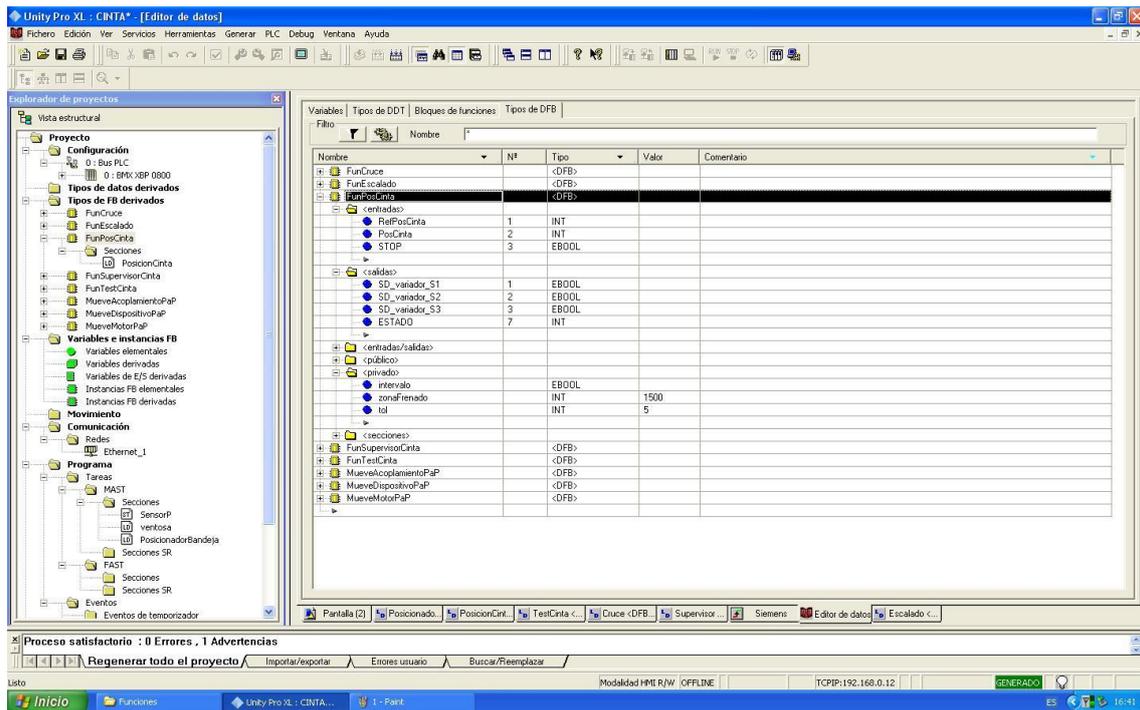


Figura 5.3.4

Entradas de la función:

- RefPosCinta
- PosCinta
- STOP

Salidas de la función:

- SD_variador_S1
- SD_variador_S2
- SD_variador_S3
- ESTADO

Variables internas (privadas):

- intervalo
- zonaFrenado
- tol



De esta manera, nuestra función queda tal y como vemos en la figura 5.3.5.

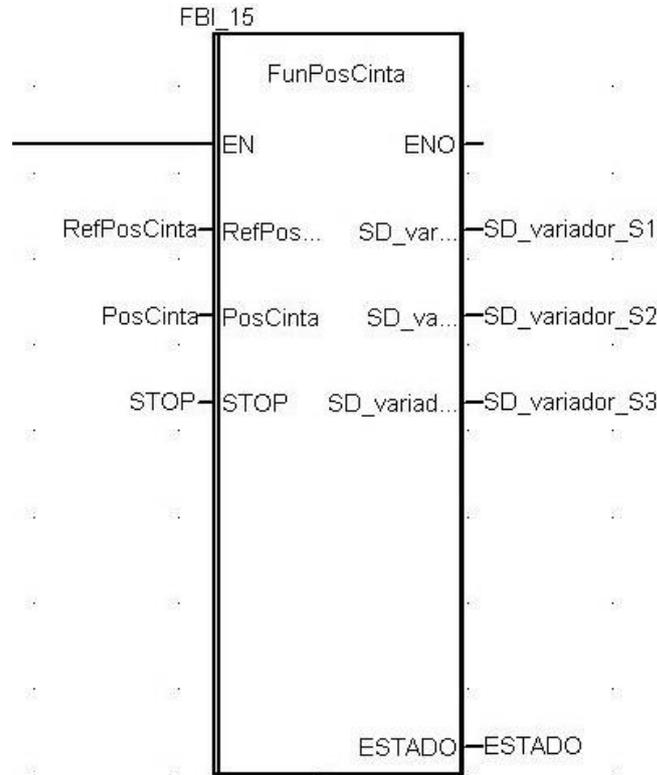


Figura 5.3.5

5.4 Función test (FunTest)

La función de test (FunTest), es una función diseñada para ser ejecutada nada más encendemos la cinta. La idea de esta función es contar cuántas bandejas hay en la cinta, y colocarlas en una posición conocida para así poder dar la información necesaria para la operación de la cinta.

Con los sensores que dispone la cinta, la única manera viable de saber exactamente cuántas bandejas hay es juntándolas todas en fila, y moverlas entre dos puntos conocidos. Viendo la diferencia de distancia recorrida entre estos dos puntos, y sabiendo la longitud de las bandejas, podemos calcular cuántas bandejas hay. Además, si para esta operación las juntamos y las dejamos en un extremo, también resolvemos el problema de saber en qué posición está cada una.

Se podría decir que la función test se encarga de dar los valores iniciales de las posiciones de las cinta, y una vez ejecutada no vuelve a entrar en funcionamiento, salvo reinicio de la planta o, si ocurre algún fallo, volver a inicializar la cinta.

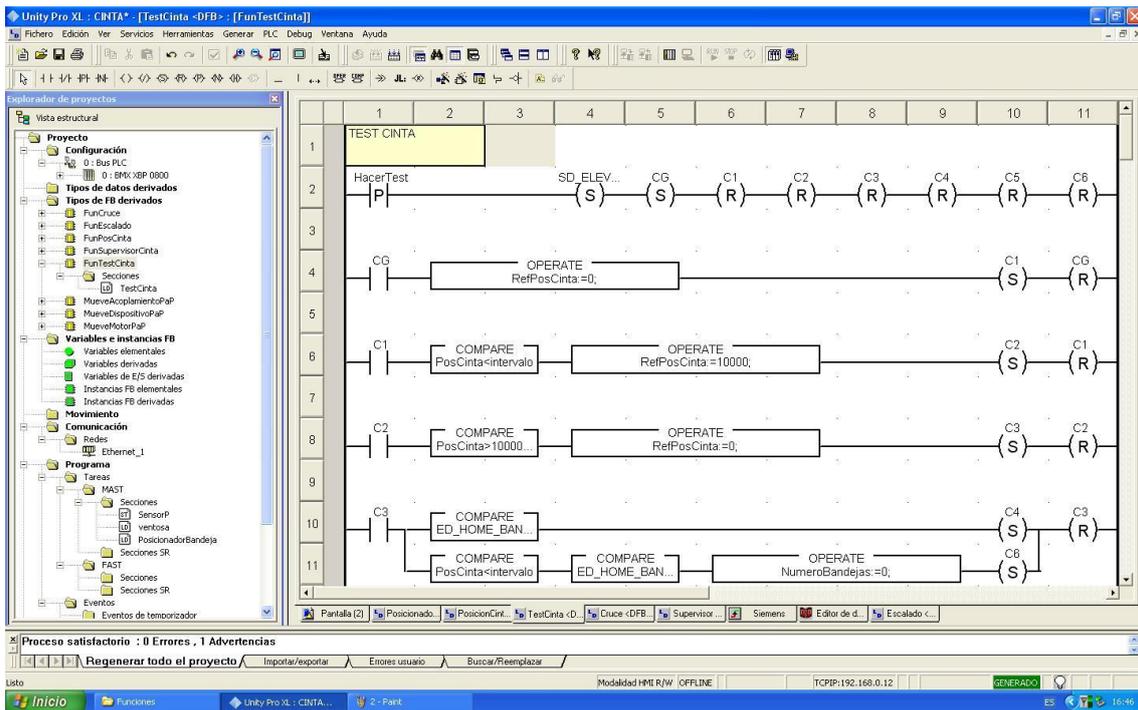


Figura 5.4.1

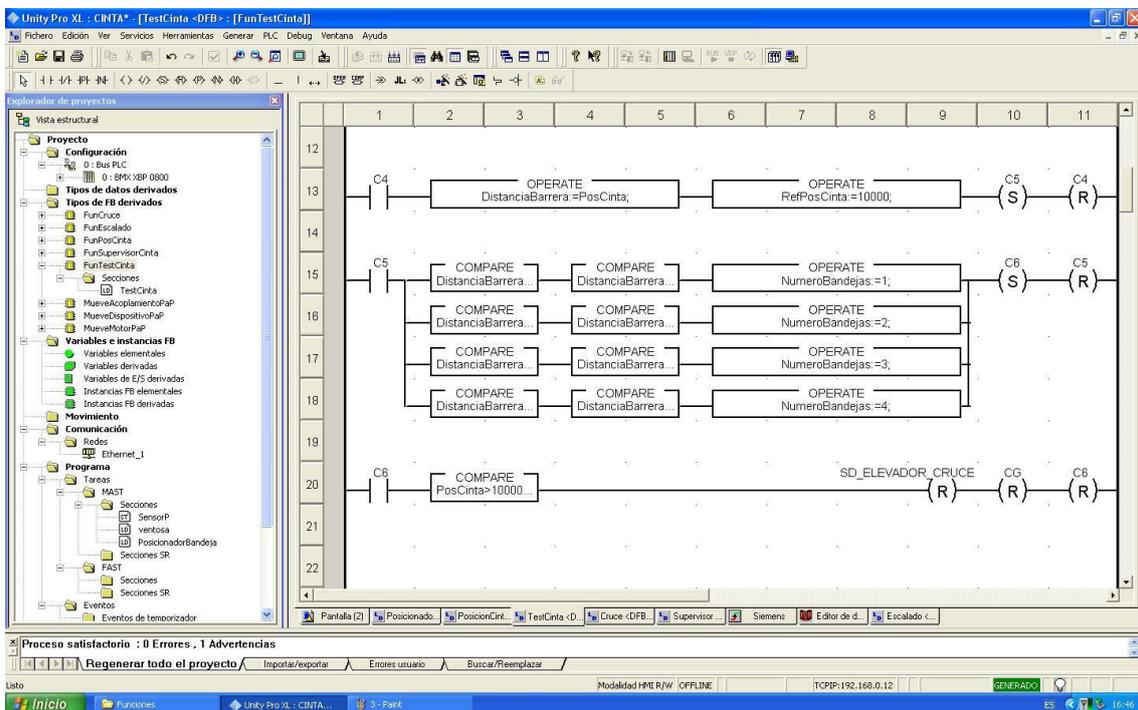


Figura 5.4.2

Cuando damos la orden de realizar el test (HacerTest), la función se pone en marcha, y se siguen estos pasos:



- 1- Llevamos la cinta a ambos extremos, primero a la posición 0 y luego a la posición 10000. Con esto conseguimos juntar todas las bandejas, ya que, si estaban separadas, al llegar a los límites no podrán avanzar y la cinta deslizará por debajo de las bandejas.
- 2- Una vez la cinta esté colocada en 10000, la hacemos avanzar hacia el sensor de barrera (ED_HOME_BARRERA). Previamente, hemos estudiado la distancia que debe recorrer la cinta para los casos en los que haya 1, 2, 3 o 4 bandejas. Comentar que físicamente no caben más de 4 bandejas en la cinta, ya que obstruiría el cruce con la cinta principal.
- 3- Cuando las bandejas corten el sensor de barrera, sabremos que distancia ha recorrido la cinta hasta ese punto, y obtendremos el número de bandejas.

Para realizar el test, es necesario usar el cruce con la cinta principal, por lo cual durante el proceso se debe activar el elevador del cruce (SD_ELEVADOR_CRUCE), y cortar la circulación de bandejas por la cinta principal. Esto se consigue elevando el retenedor (SD_RETENEDOR_CRUCE).

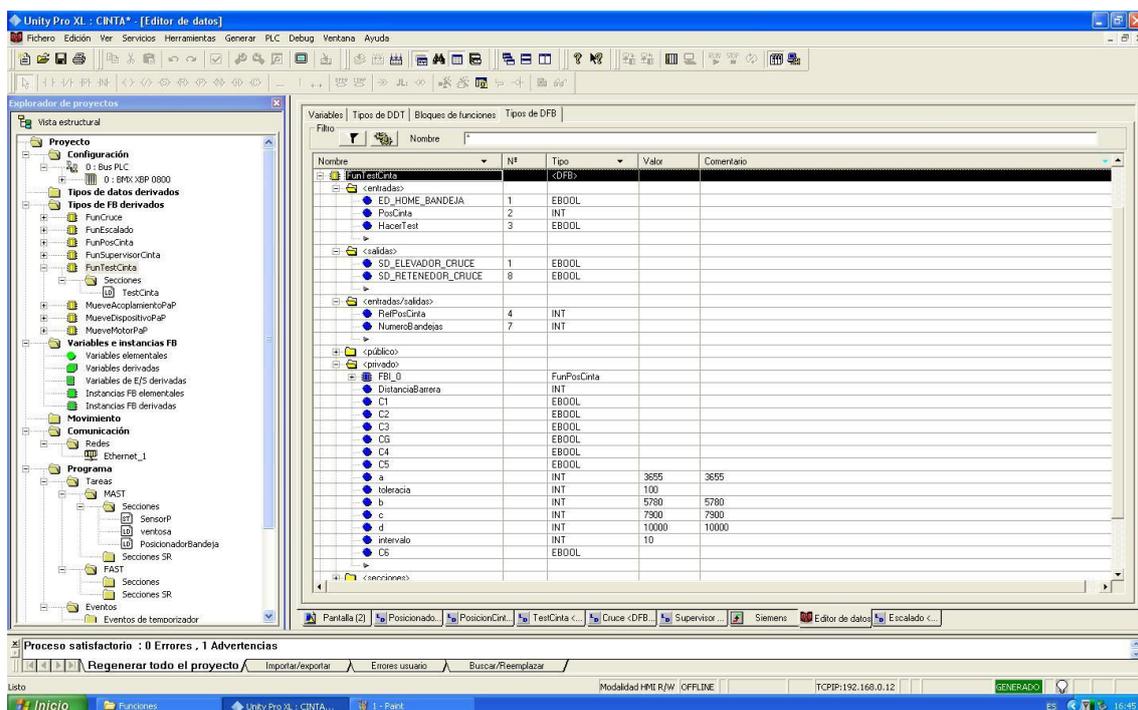


Figura 5.4.3



Entradas de la función:

- ED_HOME_BANDEJA
- PosCinta
- HacerTest

Salidas de la función:

- SD_ELEVADOR_CRUCE
- SD_RETENEDOR_CRUCE

Entradas/salidas de la función:

- RefPosCinta: Se usa como entrada/salida para actualizar el valor de la referencia cuando la función no está en uso, y no crear conflictos
- NumeroBandejas: Informa del número de bandejas al terminar el test.

Variables internas (privadas) de la función:

- C1 a C5: Condicionantes para el orden de procesos de la función.
- a, b, c y d: Valores experimentales para calcular la distancia de las bandejas a la cinta.
- tolerancia: variable la cual se usa en el momento que las bandejas cortan el sensor de barrera, para dejar cierto margen de error tolerable por la longitud de las bandejas.
- -intervalo

Una vez terminado el test, sabemos cuántas bandejas hay, y, al dejarlas en la posición 10000, entrará en juego otra nueva función que nos indicará la posición real de cada bandeja en la cinta.

Finalmente, la función queda tal y como se aprecia en la figura 5.4.5.

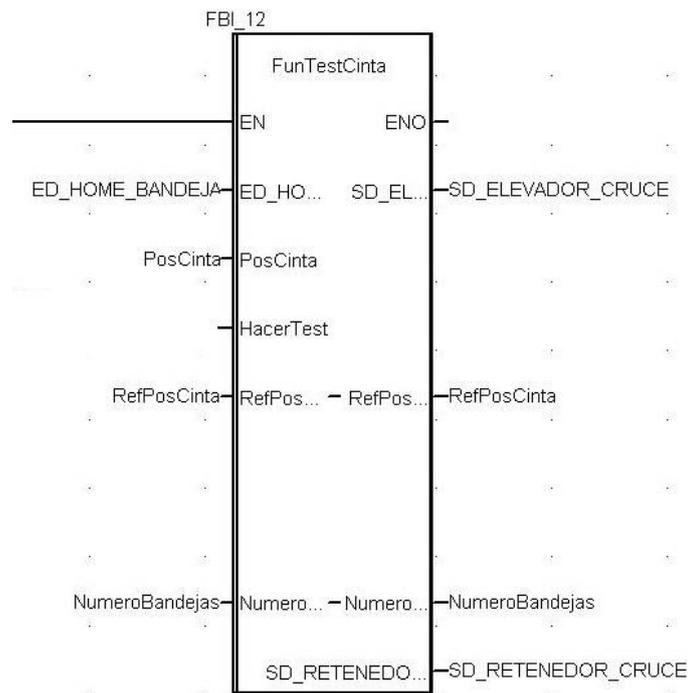


Figura 5.4.5

5.5 Función de supervisión de bandejas (FunSupervisorCinta)

La función de supervisión de bandejas (FunSupervisorCinta) se encarga de indicar en tiempo real la localización de las bandejas que haya encima de la cinta.

Para explicar dicha función, primero es necesario explicar el siguiente concepto:

Imaginemos el espacio que recorre la cinta como un eje de coordenadas unidimensional, cuyos valores van desde 0 hasta 10000. Cuando le indicamos a la cinta que se mueva hasta una cierta posición, disponemos de un cursor imaginario, que nos indica la posición de la cinta en este eje, y para moverla, lo que hacemos en realidad es mover este cursor por el eje. Siguiendo este concepto, las bandejas también tienen una localización dentro de este eje. En el caso de que haya una sola bandeja, tras realizar el test inicial, la posición de la bandeja coincide con la del cursor imaginario de la cinta. Pero cuando hay 2 o más bandejas, sólo una puede tener la misma localización que el cursor de la cinta, o incluso ninguna.

Este último problema carece de importancia, ya que, tras realizar el test, la bandeja más alejada del cruce (Bandeja 1), queda en la posición 10000, al igual que el cursor de la cinta, y el resto de bandejas quedan pegadas en fila a esta, y sabiendo la longitud de las bandejas sabemos su posición dentro del eje.

El verdadero problema viene cuando, en algún momento tras realizar el test, y siempre que haya 2 o más bandejas, las desplazamos hasta 0, provocando que las bandejas lleguen al límite antes que la cinta, por lo cual ésta deslizará por debajo de las



bandejas, haciendo que el cursor de la cinta no coincida con la posición de la bandeja 1, y coincida con la posición de la bandeja más próxima al cruce. También se puede producir un término intermedio, es decir, que al finalizar el movimiento el cursor no coincida con la posición de ninguna de las bandejas.

En cualquier caso, puede existir una desviación entre las bandejas y la posición de la cinta al realizar un movimiento. Esta desviación es crítica a la hora de calcular la posición de cada una de las bandejas dentro del eje. Hay que tener en cuenta que la desviación sólo aumenta en el momento en el cual las bandejas contactan con los límites del eje, y la cinta desliza debajo de éstas, ya que no ha finalizado su recorrido.

Denominaremos bandeja 1 a la bandeja más alejada del cruce, es decir, la única que se puede colocar en la posición 10000 del eje. A raíz de esta bandeja, denominaremos al resto según su posición en el eje.

Para realizar esta función, lo más sencillo ha sido dividirla en los 6 posibles casos de bandejas en la cinta: Ninguna bandeja, 1 bandeja, 2 bandejas, 3 bandejas, 4 bandejas, y más de 4 bandejas o menos de 0 bandejas (caso de error). Siempre comprobamos el número de bandejas para ejecutar el caso correspondiente. Recordamos que el número de bandejas viene dado por la función test:

■ Caso 1. No hay bandejas (Figura 5.5.1):

Como no hay bandejas, no debe de dar la localización de ninguna. Usamos el valor -9999 para indicar que no se da el valor de la posición de las bandejas.

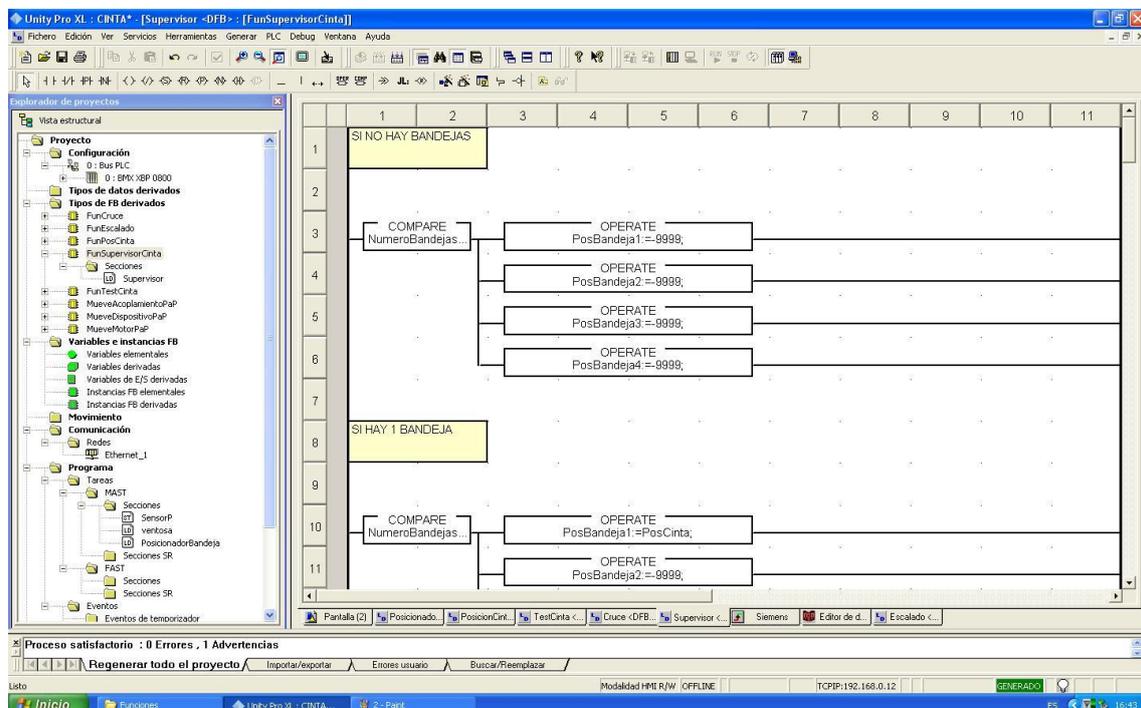


Figura 5.5.1



■ Caso 2. Hay una bandeja (Figura 5.5.2):

Al haber solo una bandeja, y no hay posibilidad de desplazamiento entre la cinta y la bandeja (puesto que estos desplazamientos solo existen cuando hay 2 o más bandejas), la posición de la bandeja viene dada por la posición del cursor de la cinta, es decir, PosCinta.

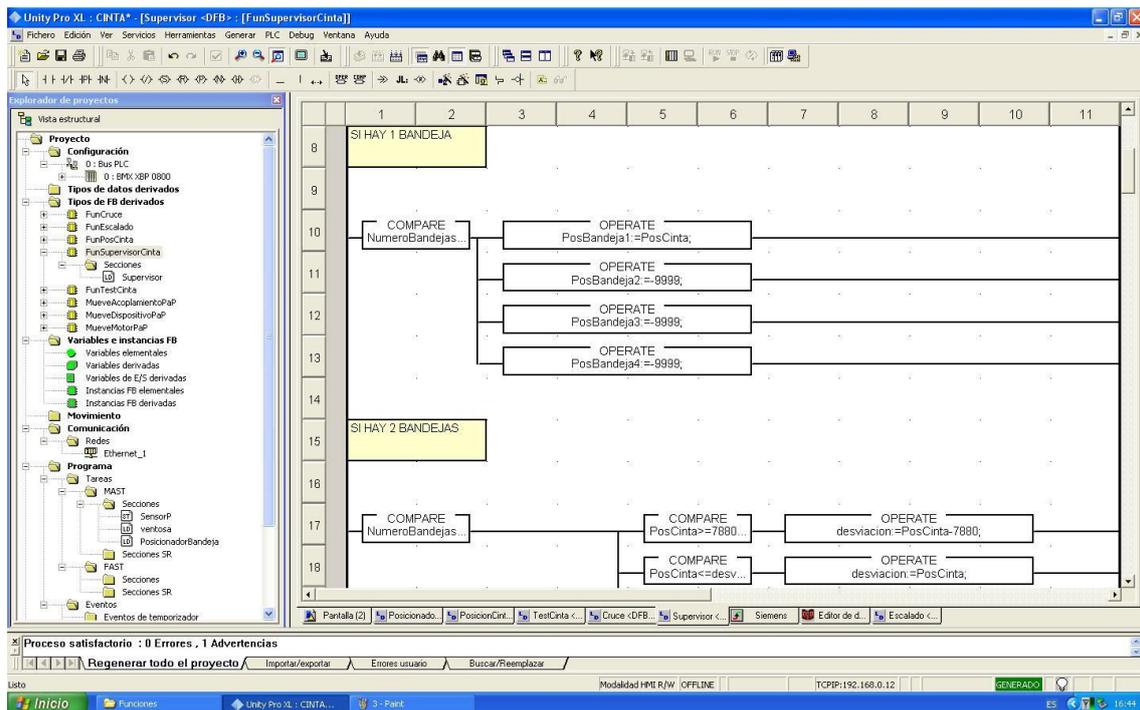


Figura 5.5.2



■ Caso 3. Hay 2 bandejas (Figura 5.5.3):

Este caso es en el cual introducimos la desviación por deslizamiento de las bandejas respecto a la cinta en los extremos del eje. Para este caso, la desviación máxima es de la longitud de una bandeja (2120 puntos).

Partimos de la base de que no hay desviación después del test. La función detecta cuando la distancia entre la cinta y cualquiera de los extremos es menor de 2120, y una vez lo detecta, actualiza la desviación.

La posición de cada una de las bandejas depende de la posición de la cinta (PosCinta), y del valor de la desviación. La desviación aumenta la misma cantidad de unidades que la posición de la cinta, por lo cual compensa el valor de la posición de cada bandeja. La desviación depende únicamente del número de bandejas y de la posición de la cinta.

Una vez se obtiene la desviación, la posición de cada caja viene determinada por la siguiente ecuación:

$$PosBandejaX = PosCinta + a - desviacion \quad (Ec.1)$$

Siendo “a” la distancia entre la bandeja en cuestión y la bandeja más cercana al cruce.

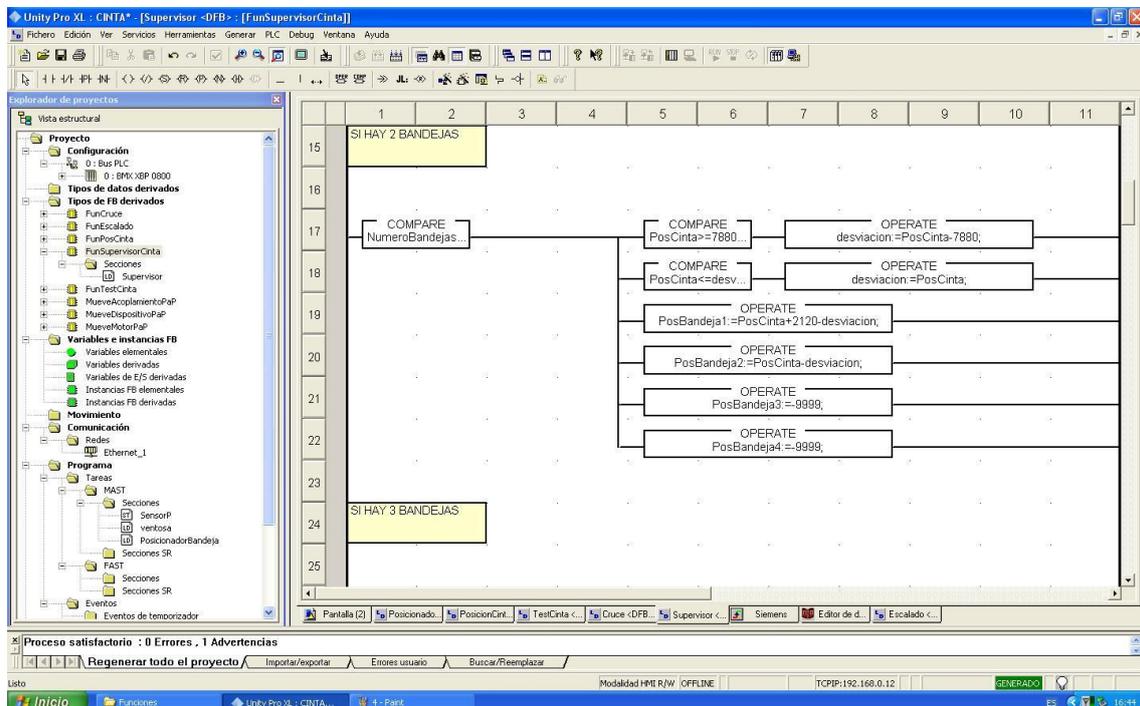


Figura 5.5.3



■ Caso 4. Hay 3 bandejas (Figura 5.5.4):

Este caso es similar al caso 3, sólo tenemos que adaptar la fórmula y el intervalo de desviación, teniendo en cuenta que la desviación máxima es de 4240 puntos (longitud de 2 bandejas).

La ecuación para calcular la posición de cada bandeja en el eje es (Ec. 1).

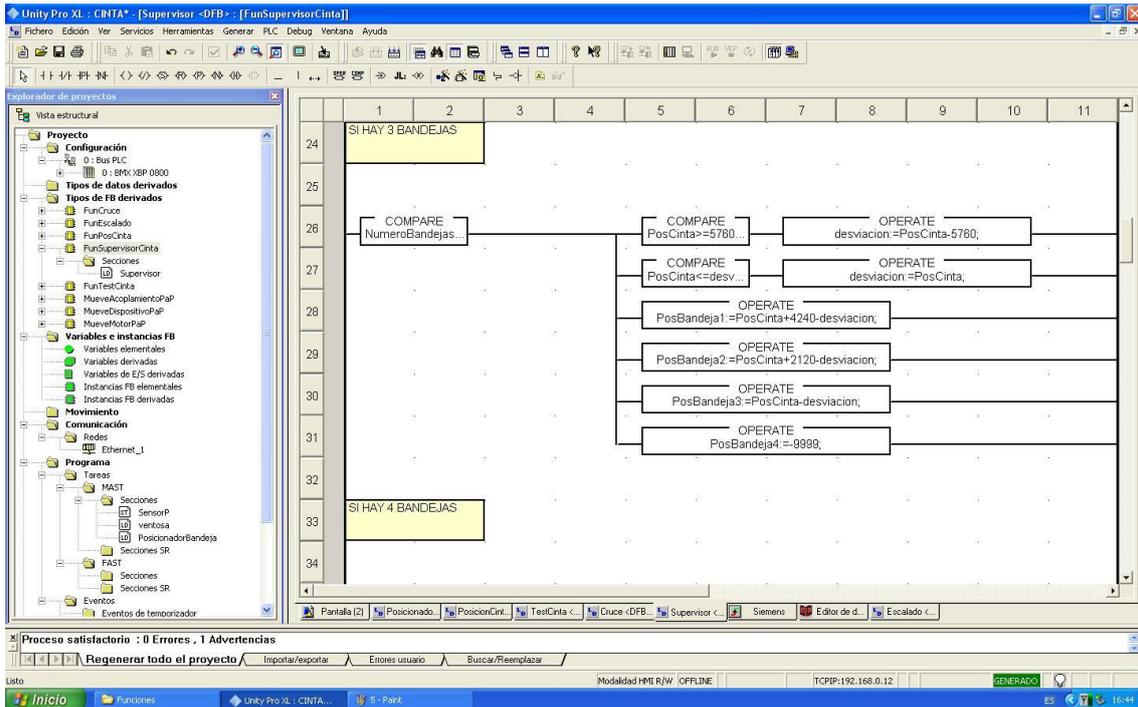


Figura 5.5.4



■ Caso 5: Hay 4 bandejas (Figura 5.5.5):

Caso similar al caso 3 y al caso 4. Recalculamos la desviación máxima, que esta vez será de 6360 puntos, y la posición de cada bandeja en el eje la calculamos de nuevo con (Ec. 1).

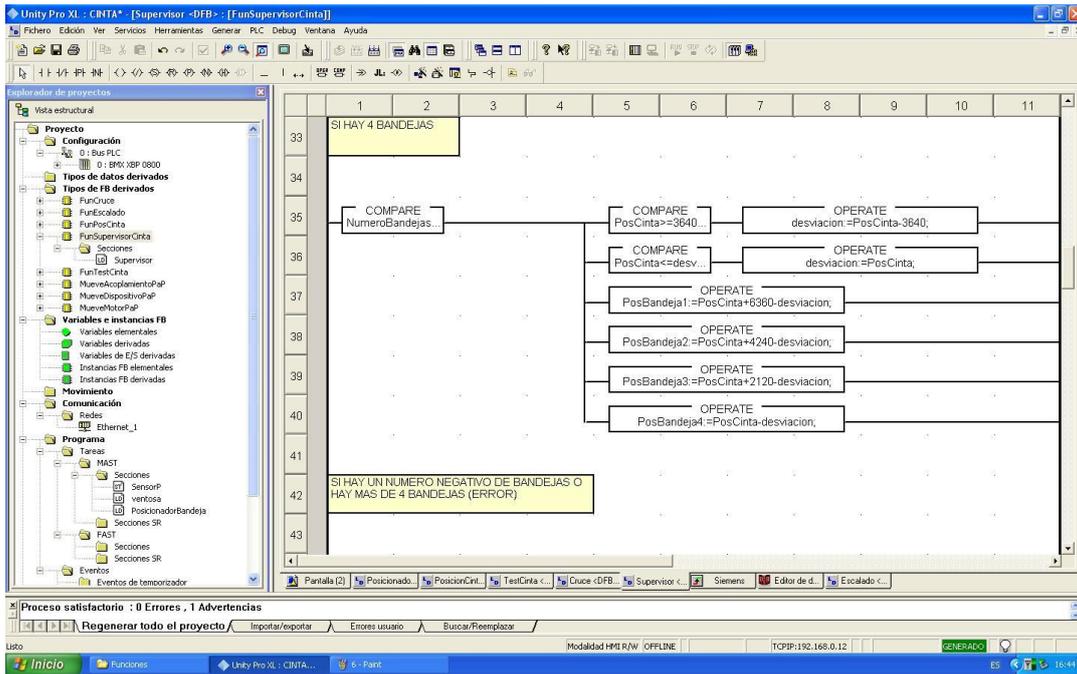


Figura 5.5.5



- Caso 6: Hay más de 4 bandejas o el número de bandejas es negativo (Figura 5.5.6):

Este es un caso de fallo, ya que puede darse por error que el sistema indique que hay más de 4 bandejas, o que el número de bandejas sea negativo. En este caso, lo único que tenemos que hacer es informar del error para que se tomen las medidas oportunas.

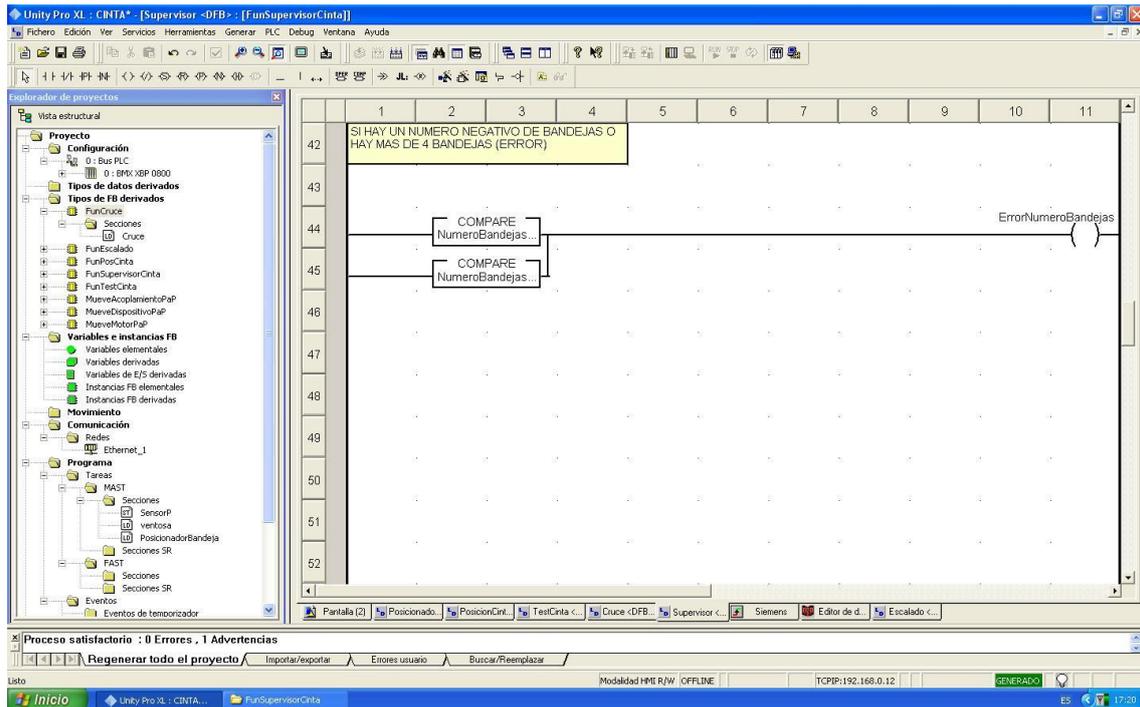


Figura 5.5.6

Entradas de la función:

- NumeroBandejas
- PosCinta

Salidas de la función:

- PosBandeja1
- PosBandeja2
- PosBandeja3
- PosBandeja4
- desviacion
- ErrorNumeroBandejas

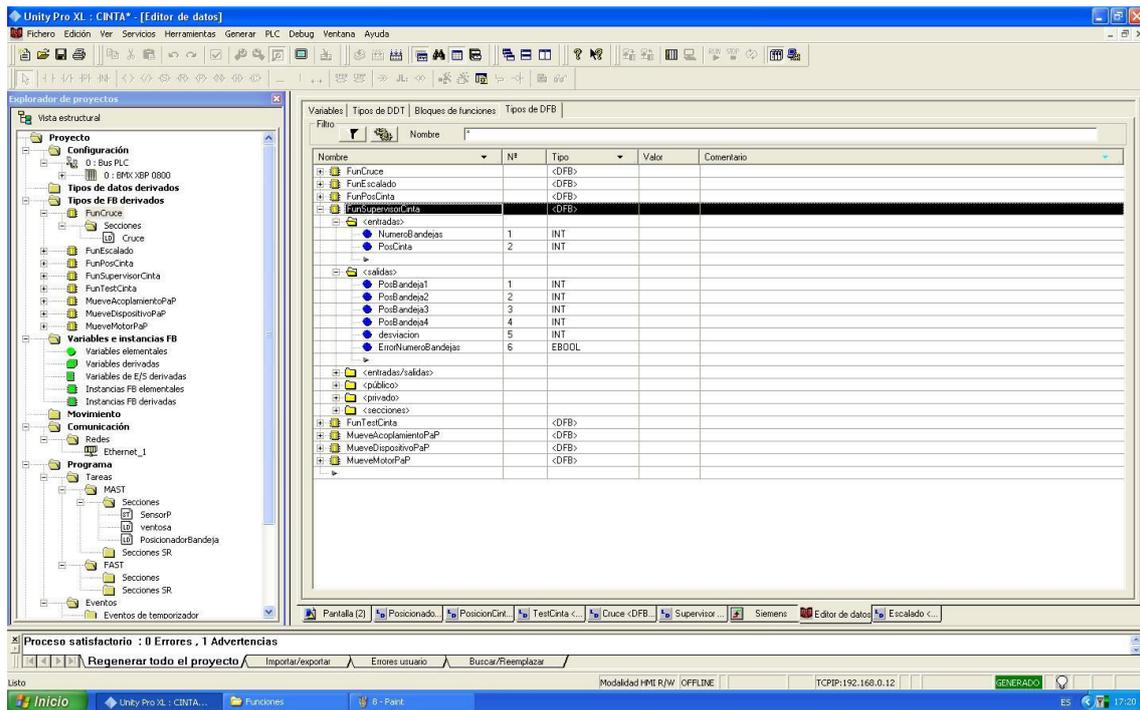


Figura 5.5.7

Finalmente, la función resultante es la de la figura 5.5.8

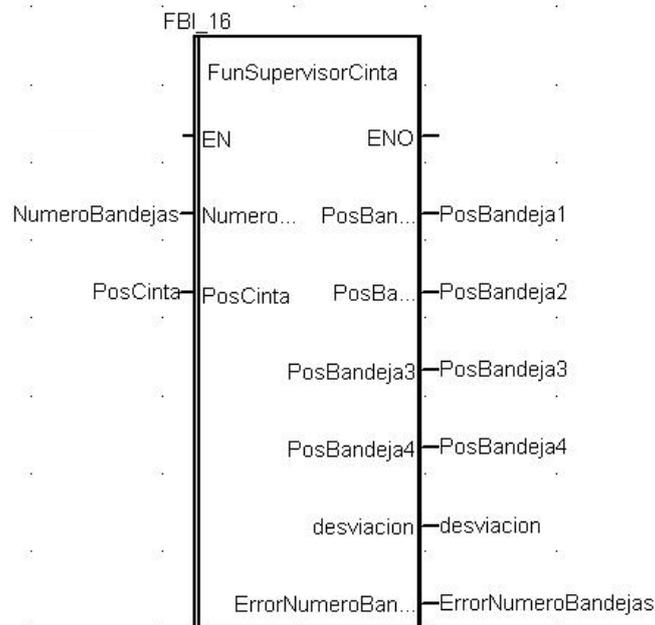


Figura 5.5.8



5.6 Función de entrada y salida de bandejas (FunCruce)

Esta función es la encargada de gestionar el cruce de la cinta con la cinta principal, con el único objetivo de meter o sacar bandejas de la cinta.

La función deberá tener en cuenta el número de bandejas que hay en cada momento en la cinta, para no meter más de 4 o no intentar sacar bandejas cuando no hay. Al terminar de ejecutarse, incrementará o decrementará el número de bandejas según la operación que haya realizado.

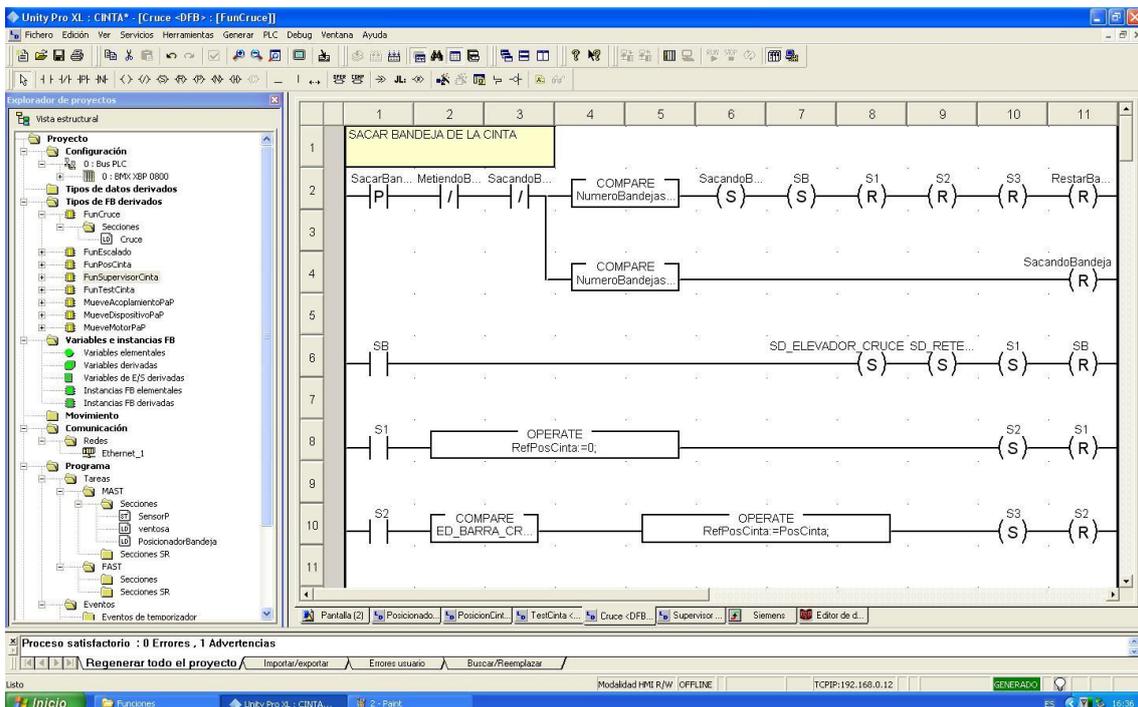


Figura 5.6.1

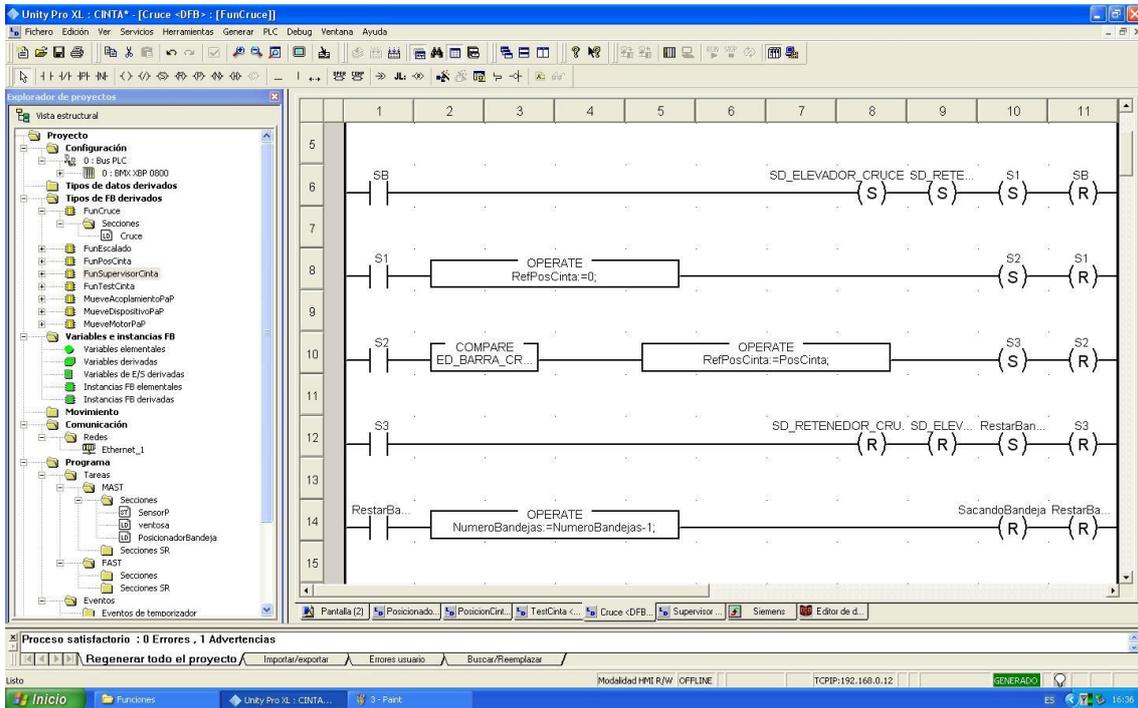


Figura 5.6.2

En las figuras 5.6.1 y 5.6.2 vemos el proceso “Sacar bandeja de la cinta”. Los pasos del proceso son los siguientes:

- 1- se recibe la señal de sacar bandeja, y si no se está sacando o metiendo ninguna bandeja se procede a ello. Si el número de bandejas es 0, el proceso acaba sin hacer nada. En el caso de que el número de bandejas esté entre 1 y 4, se sigue con el proceso.
- 2- Se eleva el elevador del cruce (SD_ELEVADOR_CRUCE), la cinta se mueve hasta la posición 0, y cuando una bandeja acciona el sensor de barra del cruce (ED_BARRA_CRUCE), la cinta se detiene en esa posición.
- 3- Seguidamente el elevador baja, dejando la bandeja en la cinta principal, y se reduce en una unidad el número de bandejas.

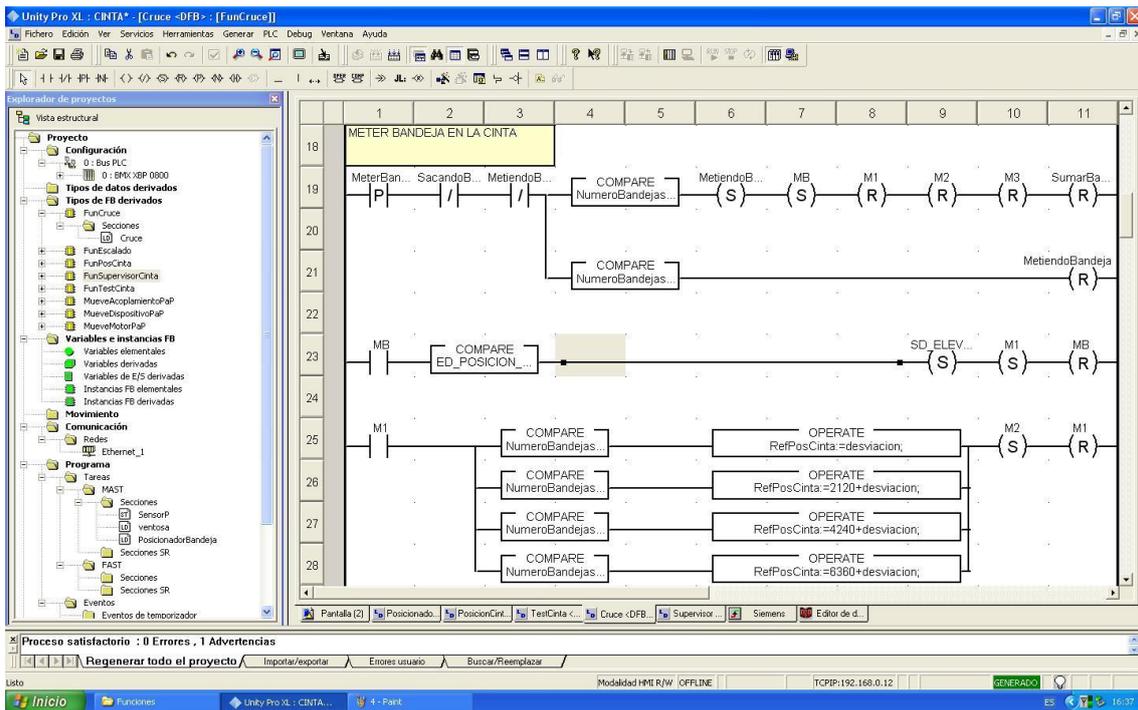


Figura 5.6.3

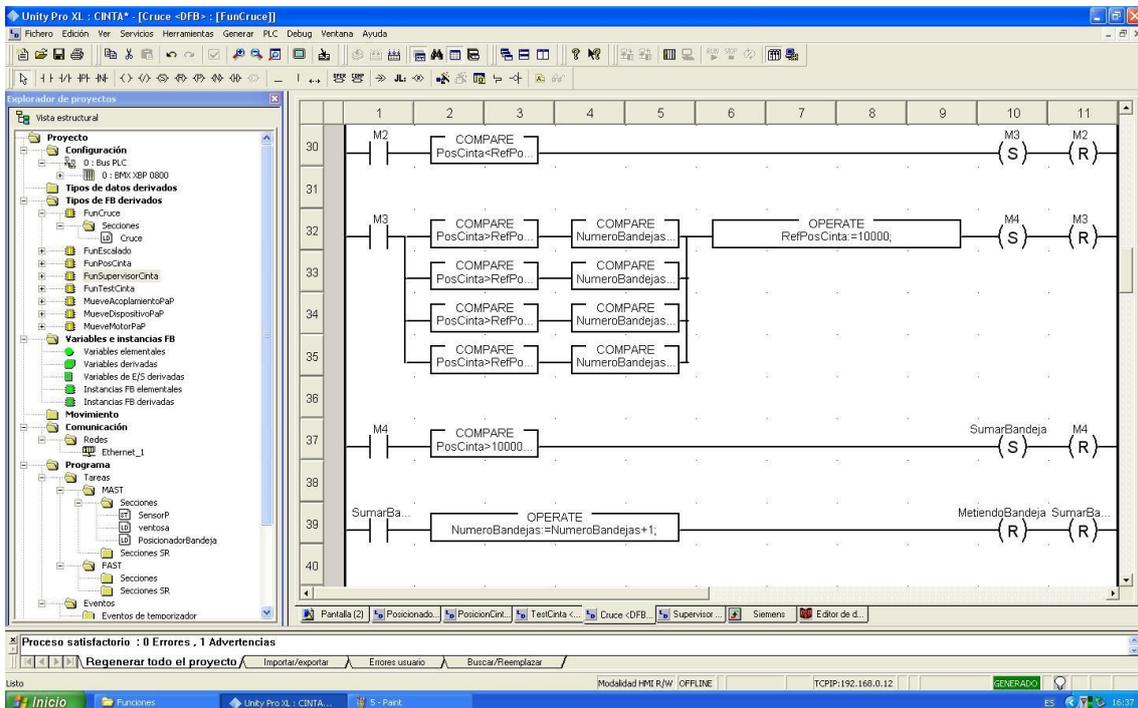


Figura 5.6.4



En las figuras 5.6.3 y 5.6.4 se aprecia el proceso “Meter bandeja en la cinta”. El proceso es el siguiente:

- 1- Al igual que al sacar una bandeja de la cinta, cuando queremos meter una bandeja no se debe estar metiendo ni sacando una bandeja. Comprobamos que el número de bandejas está entre 0 y 3 para poder meter una bandeja. Si hubiese 4 bandejas, el proceso se pararía.
- 2- Cuando se active el sensor magnético del cruce (ED_POSICION_CRUCE) se activará el elevador (SD_ELEVADOR_CRUCE).
- 3- Una vez tenemos la bandeja lista para meterse en la cinta, posicionamos la cinta de tal manera que las bandejas que ya estaban dentro queden pegadas a la nueva bandeja. Para este proceso se necesita el valor “desviación”, proporcionado por la función FunSupervisorCinta.
- 4- Cuando se ha alcanzado esta posición, la cinta se moverá hacia la posición 10000.
- 5- Cuando llegue a la posición 10000 se incrementará el número de bandejas, y la función FunSupervisorCinta actualizará la posición y desviación de las bandejas.

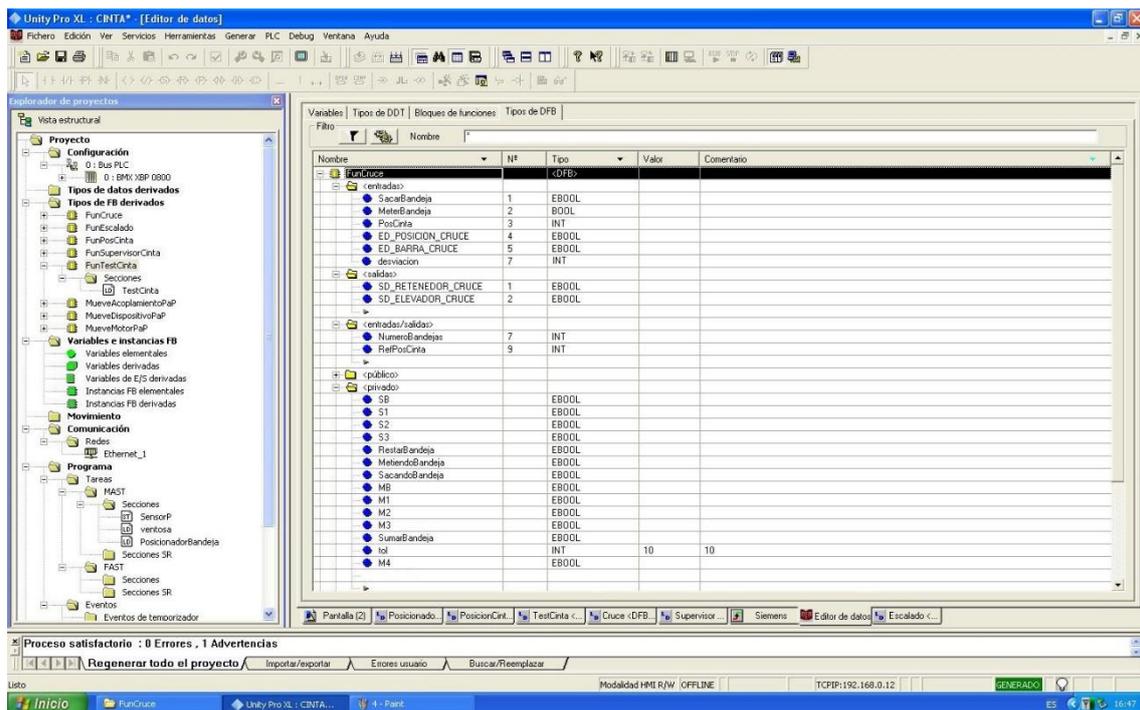


Figura 5.6.5



Las entradas de la función son:

- MeterBandeja: Solicita meter una bandeja nueva.
- SacarBandeja: Solicita sacar una bandeja de la cinta.
- PosCinta
- ED_POSICION_CRUCE
- ED_BARRA_CRUCE
- Desviacion.

Las salidas de la función son:

- SD_RETENEDOR_CRUCE
- SD_ELEVADOR_CRUCE

Las entradas/salidas son:

- NumeroBandejas
- RefPosCinta

Las variables internas (privadas) son:

- SB, S1 a S3: Variables condicionales del proceso “Sacar bandeja”.
- MB, M1 a M4: Variables condicionales del proceso “Meter bandeja”.
- RestarBandeja: Variable interna para restar bandeja.
- SumarBandeja: Variable interna para sumar bandeja.
- SacandoBandeja: Variable interna del proceso “Sacar bandeja”.
- MetiendoBandeja: Variable interna del proceso “Meter bandeja”.
- tol: Tolerancia en los movimientos de la cinta.

La función resultante la podemos ver en la figura 5.6.6

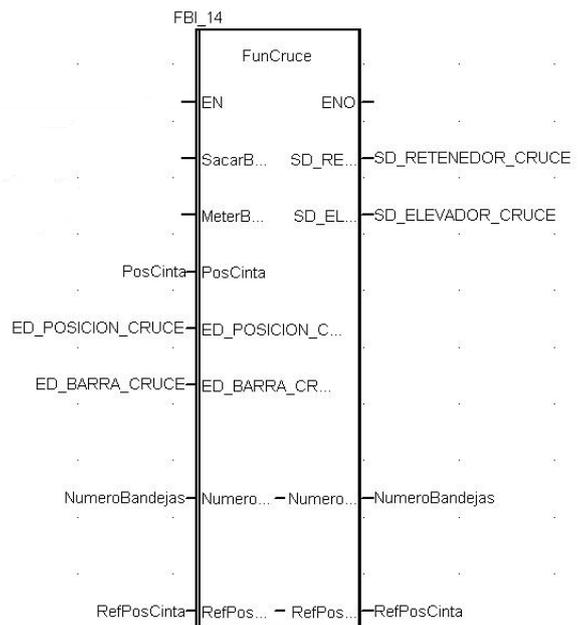


Figura 5.6.6



6 Proyectos y funciones futuras de desarrollo

El objetivo de este proyecto ha sido estudiar la implementación de un sistema de posicionamiento basado en un motor asíncrono controlado con un variador de velocidad. Todas las funciones que se han desarrollado tenían un mismo objetivo: controlar y posicionar una cinta en un lugar determinado.

Una vez conseguidos estos objetivos, nos planteamos que otras funciones se podrían desarrollar para seguir potenciando este sistema.

6.1 Función almacén

En un principio, la cinta está diseñada como un elemento de tránsito más de la planta, es decir, las bandejas entran y quedan a la disposición de los elementos actuadores de la cinta (en este caso un pórtico y una ventosa. Ambos diseñados para operar con piezas que están sobre las bandejas).

La planta dispone de un almacén de bandejas y de piezas, pero de manera independiente, es decir, no hay ningún lugar en la planta en la que se pueda almacenar una bandeja cargada con piezas.

Es por esto que podría ser interesante de cara al futuro implementar una función que almacenase bandejas en esta cinta.

6.2 Función posicionadora de bandejas

Hemos diseñado diferentes funciones, que tenían como objetivo posicionar la cinta (FunPosCinta), o controlar la posición real de las bandejas en la cinta (FunSupervisorCinta). Haciendo uso de estas funciones, se podría implementar una función a la cual se le solicite el posicionado de una bandeja concreta en un lugar concreto del eje, evalúe si es o no viable, y proceda en caso favorable.

6.3 Implementación de las funciones en la planta

Para que la planta pueda operar a pleno rendimiento será necesario introducir e implementar estas funciones en el programa principal de la planta. Sería interesante que la planta pudiese decidir cuando quiere sacar o meter bandejas de la cinta, y para ello otro proyecto podría ser la adaptación total de las funciones creadas en este proyecto en la planta.



6.4 Función calibradora

Los potenciómetros son elementos electrónicos que tienen a deteriorarse con su uso y el paso del tiempo, variando los valores de salida. Es por esto que sería interesante introducir una función que recalibrase el valor de salida del potenciómetro



7 Conclusiones y viabilidad del proyecto

Tras los resultados obtenidos en los ensayos, y tras la creación de las distintas funciones explicadas en el proyecto, el resultado es más que satisfactorio. Conseguir posicionar una cinta con una precisión de décimas de milímetro es un resultado mucho mejor del que cabría esperar a priori.

Queda claro que es viable montar este sistema en una cinta que opere a baja velocidad, pero para otro tipo de aplicaciones que requieran una mayor velocidad o respuesta, tendríamos que estudiar otro proyecto totalmente distinto, así como realizar ensayos con otros tipos de posicionadores (servomotores por ejemplo), para ver la diferencia de comportamiento entre ambos sistemas.