



Universidad Politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño
Industrial

Automatización Industrial

Trabajo Final: Programación de Sistemas

*Celda de Corte de una Planta de Fabricación de
Material Deportivo*

Alejandro Casanova Martín - 53872
Sergio Vera Muñoz - 53448
Pedro Meléndez del Pozo – 53404

Índice

Introducción	2
Comentarios y Aclaraciones	2
Sistema a Controlar	2
Layout	2
Grafcet Principal del Sistema	3
Estructuración del Programa	4
Grafcet de Marcha y Parada Controlada [FC12]	4
Flancos y Conectores [FC8]	4
Tratamiento de la Señal Analógica [FC8]	5
Grafcet de Modos de Marcha [FC5]	5
Grafcet de Emergencia [FC4]	7
Bloque Maniobra [FB3]	8
Bloques Máquina	9
Pistón de Alimentación [FB4]	9
CNC de Corte o Serigrafía [FB2]	11
CNC de Laminado [FB5]	12
Cinta de Volcado [FB7][FB8]	13
Brazos de Carga y Descarga [FB6]	15
Sistemas de Volcado y Alimentación [FB1][FB9]	15
MAIN [OB1]	15
Tests Unitarios	17
Tablas de Observación	17
Tablas de Simulación	18
Bibliografía	18

Introducción

El sistema completo diseñado se ocupa de la fabricación de un catálogo variado de material deportivo (palas de tenis de mesa, bates de béisbol, tablas de skate...). De entre las diversas celdas de la planta de fabricación se ha escogido la de corte para el trabajo de programación debido a sus características. Dispone de numerosos sensores de presencia de lógica todo/nada, pistones de efecto doble, un sensor analógico de temperatura y varias máquinas de control numérico, así como dos brazos de carga y descarga.

Comentarios y Aclaraciones

Los tiempos fijados en el Bloque DB1 "DATOS_PRODUCCIÓN" no son realistas, se han ajustado para una cómoda simulación y visualización del funcionamiento del programa.

Para no sobrecargar la memoria, se incluirán sólo capturas de los segmentos de código más representativos, ya que se dispone del programa y éste está además extensivamente comentado.

Sistema a Controlar

Layout

La celda de corte está compuesta por tres CNCs de corte, laminado y serigrafiado, alimentadas por una cinta de transporte en bucle. Las CNC de corte y serigrafiado láser manejan 2 ejes mientras que la de laminado simplemente uno, para ajustar la distancia entre rodillos. Asimismo, la cinta es alimentada por dos brazos antropomórficos, que según el sentido las cintas se alternarán las labores de carga y descarga. (Ver Figura 1)

A la entrada de cada CNC hay un identificador de piezas, que indicará cuándo una pieza deberá ser alimentada a la correspondiente máquina, un sensor de presencia que indicará cuándo una pieza está frente a la incorporación, y un pistón que se encargará de alimentar la máquina cuando la pieza sea la apropiada. A continuación, hay un sensor de presencia a la entrada de cada CNC y uno a la salida. El de salida se encuentra al final de la cinta de volcado de piezas de cada máquina, en la incorporación a la cinta de evacuación. Junto con los sensores de la cinta de evacuación, su finalidad será evitar la colisión de las piezas volcadas con piezas ya presentes en la cinta. Dado que la cinta de evacuación podrá circular en ambos sentidos, se ha incluido un sensor a cada lado de la incorporación. Finalmente, en los extremos de las cintas 1 y 2 hay un sensor de presencia que indicará a cada brazo cuándo una pieza ha llegado y debe ser extraída. Según el sentido de las cintas se deberá extraer piezas por un extremo distinto.

Para permitir el tratamiento de laminado en caliente, la laminadora incluye una lámpara IR y un pirómetro para mantener las piezas tratadas a la temperatura adecuada.

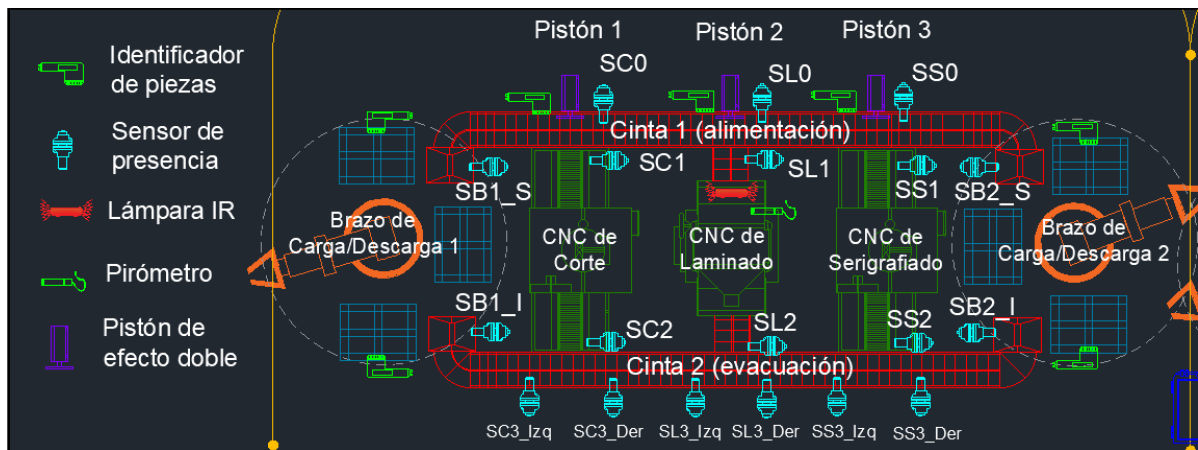


Figura 1. Modelo del sistema programado. Celda de corte, laminado y serigrafiado.

Nota: se trata de una representación, tanto el identificador de piezas, el sensor de presencia y el pistón a la entrada de cada máquina deberían estar a la misma altura, pero se han separado para evitar el solapamiento de los iconos.

Nota: para identificar los sensores de presencia se ha empleado un letra que indica la CNC que acompañan (C de corte, L de laminado...) y un número que indica la altura (de arriba a abajo 0, 1, 2, 3). Para los sensores de la cinta de evacuación se ha añadido además el posicionamiento respecto a la incorporación. En el caso de los brazos: SB2_S hace referencia al sensor superior del brazo 2.

Grafcet Principal del Sistema

Se ha estructurado de la siguiente manera (ver Figura 2). Cada máquina se ha representado como una macroetapa en paralelo. El sistema tiene, por lo tanto, tres estados principales: reposo ("X0"), trabajo (todas las macroetapas activas, en el programa se ha implementado un estado "X_Trabajo" que las engloba todas) y defecto por emergencia global ("XD"). Para acceder a la parada controlada, todas las máquinas deberán estar en standby y deberá haber transcurrido el tiempo mínimo fijado para que todas las máquinas terminen sus procesos y todas las piezas sean evacuadas.

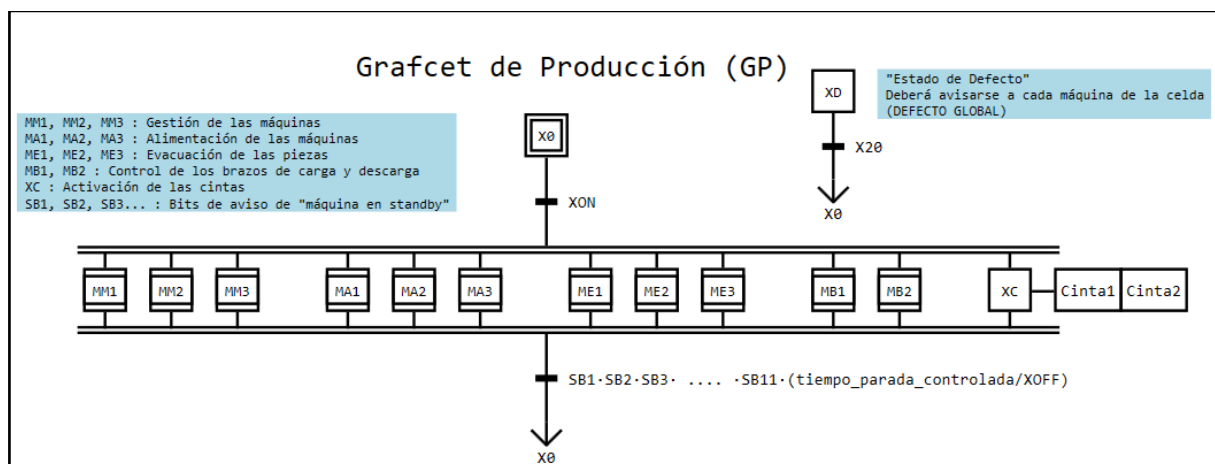


Figura 2. Grafcet de producción (GP).

Estructuración del Programa

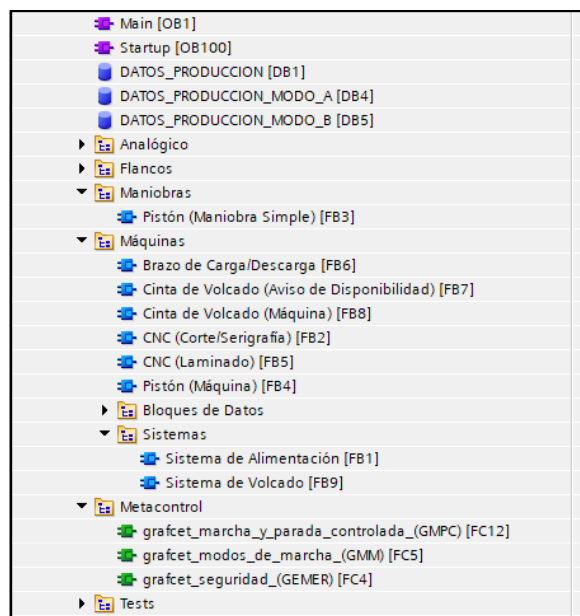


Figura 3. Bloques Principales del Programa

Grafcet de Marcha y Parada Controlada [FC12]

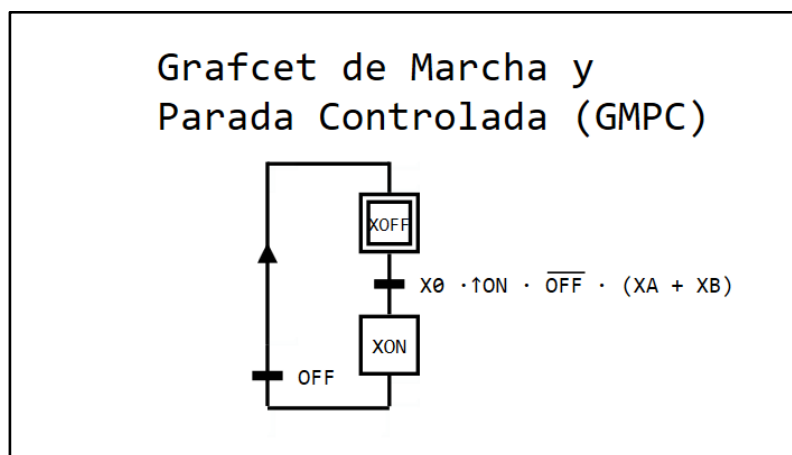


Figura 4. Grafcet de marcha y parada controlada (GMPC).

Para el arranque deberá haber un modo de marcha seleccionado.

Se ha definido un temporizador IEC TON global para la gestión del tiempo mínimo para la parada controlada (ver la vuelta al reposo en el grafcet de la figura 2).

Flancos y Conectores [FC8]

Finalmente se ha usado únicamente para gestionar el flanco de la señal ON, ya que el resto de flancos se han gestionado internamente en los distintos bloques FB.

Tratamiento de la Señal Analógica [FC8]

El pirómetro de la laminadora proporciona una salida analógica unipolar que deberá escalarse al rango de medida del sensor (-20°C a 350°C).

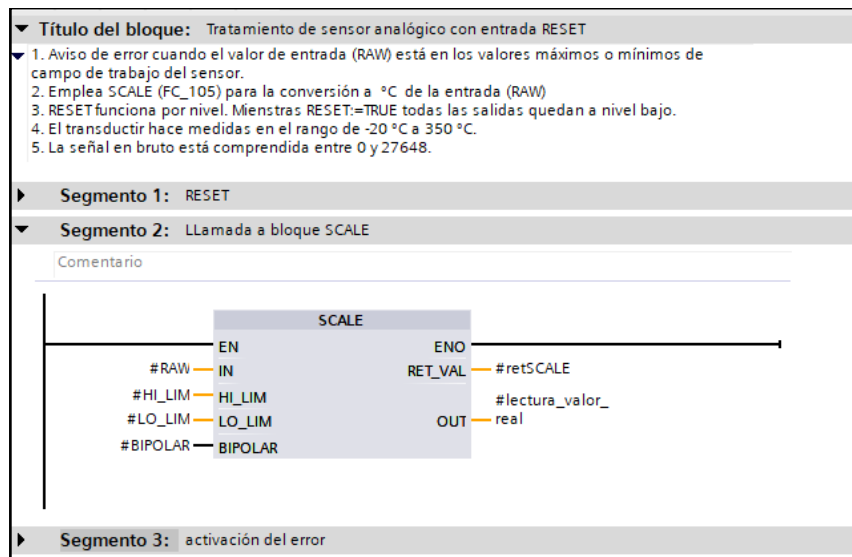


Figura 5. Estructura interna del bloque parametrizado FC8 "tratamiento_señal_pirómetro". Incluye llamada al bloque SCALE

Grafcet de Modos de Marcha [FC5]

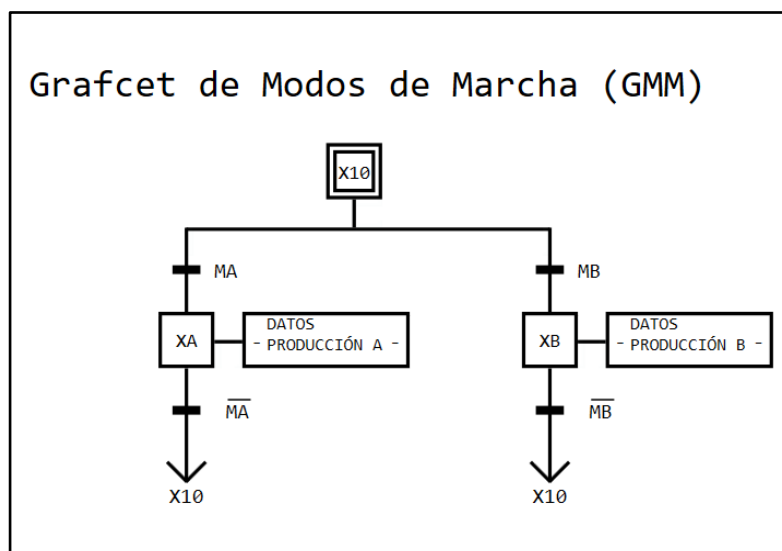


Figura 6. Grafcet de Modos de Marcha (GMM)

Se han implementado dos modos de marcha. A parte de diferentes temperaturas para el laminado en caliente, cada modo de marcha supone un cambio en los sentidos de las cintas de alimentación y evacuación, lo que supone a su vez un cambio en las maniobras que ejecuta cada brazo. Opcionalmente, podrían cambiarse también los tiempos máximos de las distintas maniobras de cada máquina.

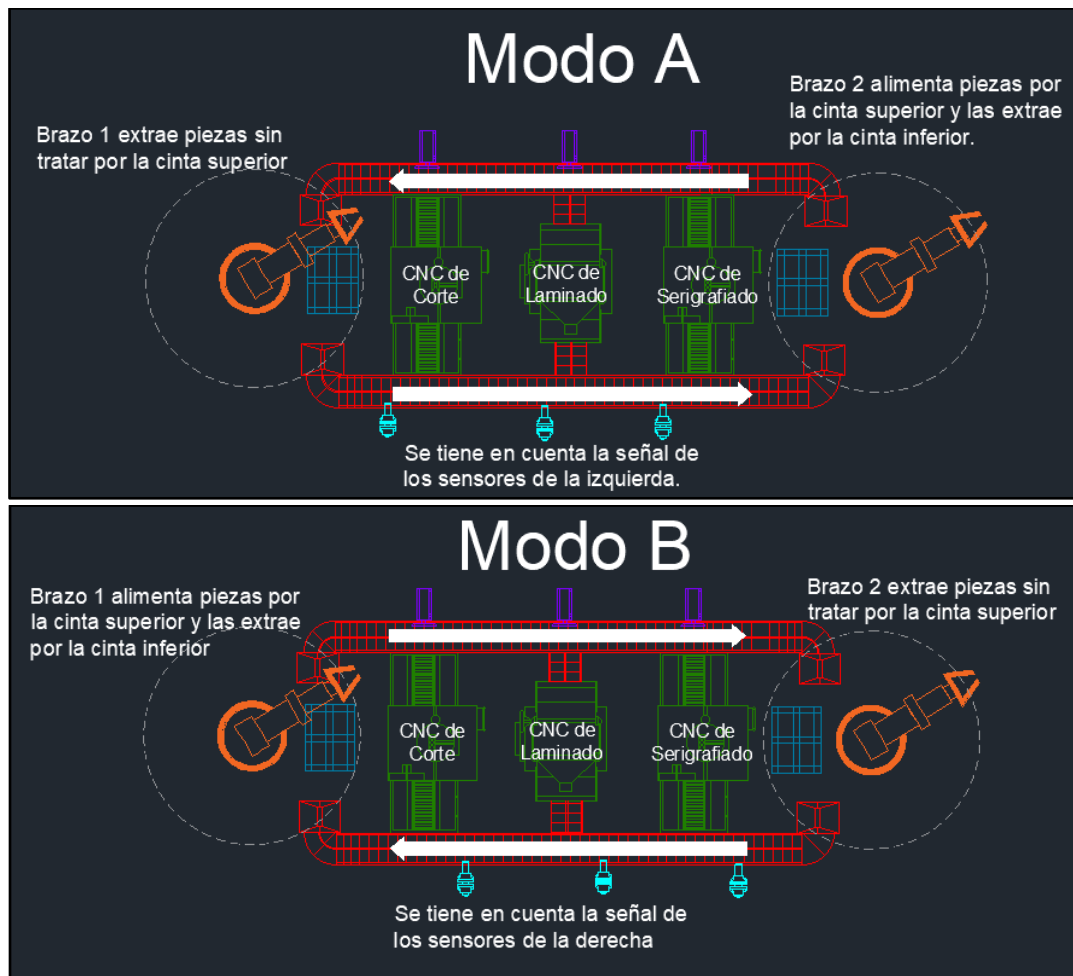


Figura 7. Repercusión del modo de marcha en los sentidos de las cintas y las maniobras ejecutadas por cada brazo.

Sería posible también implementar modos de marcha en los que ambas cintas van en el mismo sentido, de modo que un brazo sólo alimente y el otro extraiga piezas por ambas cintas.

▼	Título del bloque: Grafcet que gestiona 2 modos de marcha: A y B
▼	Según los bloques DB que se incluyen: -Modo A: La cinta superior se mueve hacia la izquierda y la inferior hacia la derecha, de modo que el brazo 2 alimenta piezas por arriba y las retira por debajo, y el brazo 1 las retira por arriba. La temperatura de laminado es de 150°C. -Modo B: La cinta superior se mueve hacia la derecha y la inferior hacia la izquierda, de modo que el brazo 1 alimenta por arriba y descarga por debajo, y el brazo 2 sólo descarga por arriba. La temperatura de laminado es de 250°C.
	NOTA: aunque no se ha restringido la opción, no se recomienda cambiar el modo de marcha mientras el sistema esté en funcionamiento, ya que al afectar al sentido de las cintas podrían provocarse colisiones en la cinta de evacuación.
▶	Segmento 1: Tratamiento Modo de Marcha A
▶	Segmento 2: Tratamiento Modo de Marcha B
▶	Segmento 3: X10->XA
▶	Segmento 4: XA->X10
▶	Segmento 5: X10->XB
▶	Segmento 6: XB->X10

Figura 8. Estructura interna del bloque FC5 "grafcet_modos_de_marcha_(GMM)"

En los segmentos 1 y 2 se carga en el bloque global DB1 “DATOS_PRODUCCIÓN” los parámetros del bloque de datos correspondiente al modo de marcha seleccionado.

DATOS_PRODUCCION_MODAL_A									
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a...	
1	Static								
2	temp_ref_laminado	Real	150.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	flag_sentido_cinta_superior	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	flag_sentido_cinta_inferior	Bool	true		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	flag_brazo1_alimentar	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	flag_brazo1_extracción_superior	Bool	true		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	flag_brazo1_extracción_inferior	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	flag_brazo2_alimentar	Bool	true		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	flag_brazo2_extracción_superior	Bool	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	flag_brazo2_extracción_inferior	Bool	true		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Figura 9. Contenido del bloque de datos DB4 “DATOS_PRODUCCIÓN_MODAL_A”

Cada bloque de datos de modo de marcha incluye una variable con la temperatura a la que se desea mantener la pieza durante el proceso de laminado en caliente. Para gestionar los sentidos de las cintas, se incluyen diferentes “flags” que según valgan 0 o 1 indicarán al programa en qué sentido debe circular cada cinta y qué maniobra podrá ejecutar cada brazo. Este método hace posible configurar rápidamente nuevos modos de marcha creando nuevos bloques de datos y ajustando los valores de los “flags”.

Grafcet de Emergencia [FC4]

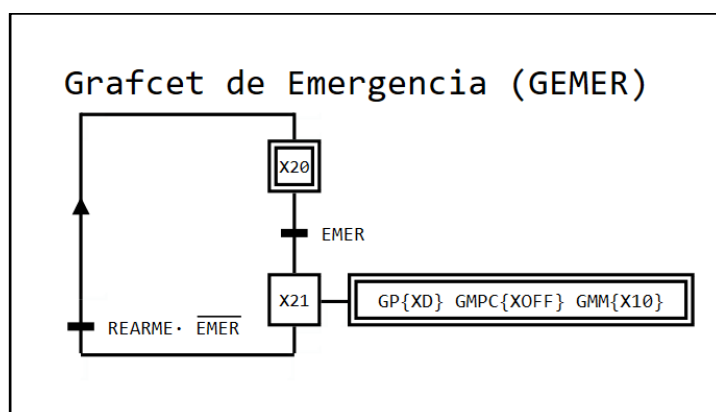


Figura 10. Grafcet de Emergencia (GEMER)

<p>▼ Título del bloque: grafcet para la gestión de parada brusca-paso a defecto seta EMER</p> <p>▼ Se fuerza el GP a un estado de defecto global, y a los grafcets GMPC y GMM a sus correspondientes estados de reposo (apagado). Para implementar el forzado y evitar conflictos con los arranques de los grafcets GMPC y GMM, se ha incluido en las transiciones de arranque de los mismos como condición “X21” negada. Cuando se desenchave “X21”, dichos grafcets podrán arrancar con normalidad.</p> <p>Para gestionar la emergencia y rearme de las máquinas se ha empleado como señal de emergencia y rearme las marcas “X21” y “X20” en la llamada incondicional a cada máquina que se realiza en el segmento 4 del MAIN. Internamente, cada máquina avisa de la emergencia a sus maniobras.</p>
► Segmento 1: X20→X21 (Activación EMER)
► Segmento 2: X21→X20 (Rearme)
► Segmento 3: Tratamiento del defecto - Forzado GP
► Segmento 4: Tratamiento del defecto -Forzado GMM
► Segmento 5: Tratamiento del defecto -Forzado GMPC
► Segmento 6: Tratamiento Rearme.

Figura 11. Estructura del bloque FC4 “grafcet_seguridad_(GEMER)”

Este grafcet se encarga de forzar a los demás a un estado de defecto (en el caso del GP) o a su correspondiente estado de reposo. Para implementar el forzado y evitar el arranque de los grafcets esclavos durante el estado de defecto, se ha impuesto como condición de arranque en cada uno la marca “X21” negada. Para avisar de la emergencia a las máquinas, se les ha pasado como señal de emergencia y rearme las marcas “X21” y “X20” en la llamada incondicional que se hace en el segmento 4 del MAIN.

Bloque Maniobra [FB3]

▼ Título del bloque:	Maniobra simple con gestión de error por tiempo límite
▼ Se asume que la condición de inicio es TRUE. Será responsabilidad del usuario llamar a la maniobra sólo cuando se haya cumplido dicha condición. Tras la DESCONEXIÓN, el bloque queda listo para volver a ser llamado, no es necesario reiniciarlo. (BLOQUE AUTOCONTENIDO)	
▶ Segmento 1:	DESCONEXION RESET (prioridad máxima)
▶ Segmento 2:	DESCONEXIÓN error tiempo límite
▶ Segmento 3:	DESCONEXIÓN fin de maniobra
▶ Segmento 4:	CONEXIÓN: activación de X_MAN (maniobra simple)
▶ Segmento 5:	CONFIGURACIÓN TEMPORIZADOR
▶ Segmento 6:	activación aviso interno error de tiempo
▶ Segmento 7:	activación aviso interno fin de maniobra
▶ Segmento 8:	tratamiento ACT

Figura 12. Estructura del bloque FB3 “Pistón (Maniobra Simple)”

Pistón (Maniobra Simple)									
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a.	
1	▼ Input								
2	■ SFIN	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
3	■ tiempo_limite	Time	T#0ms	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
4	■ RESET	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
5	▼ Output								
6	■ ACT	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
7	■ aviso_error_tiempo_li...	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
8	■ aviso_fin_maniobra	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
9	▼ InOut								
10	■ <Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
11	▼ Static								
12	■ X_MAN	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
13	■ X_error_tiempo_limite	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
14	■ X_fin_maniobra	Bool	false	No remane...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
15	■ bit_de_trabajo	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
16	■ temporizador	TON_TIME		No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Figura 13. Parametrización del bloque maniobra FB3 “Pistón (Maniobra Simple)”.

Para la realización del bloque, se ha seguido el formato de plantilla estudiado en las clases de teoría. Cabe destacar que se han declarado dos estados o avisos internos para registrar el error por tiempo o el fin de maniobra. Además, se ha definido como parámetro static un temporizador IEC de tipo TON para gestionar el error de tiempo, de modo que al bloque solo se le debe pasar como parámetro el tiempo en formato TIME.

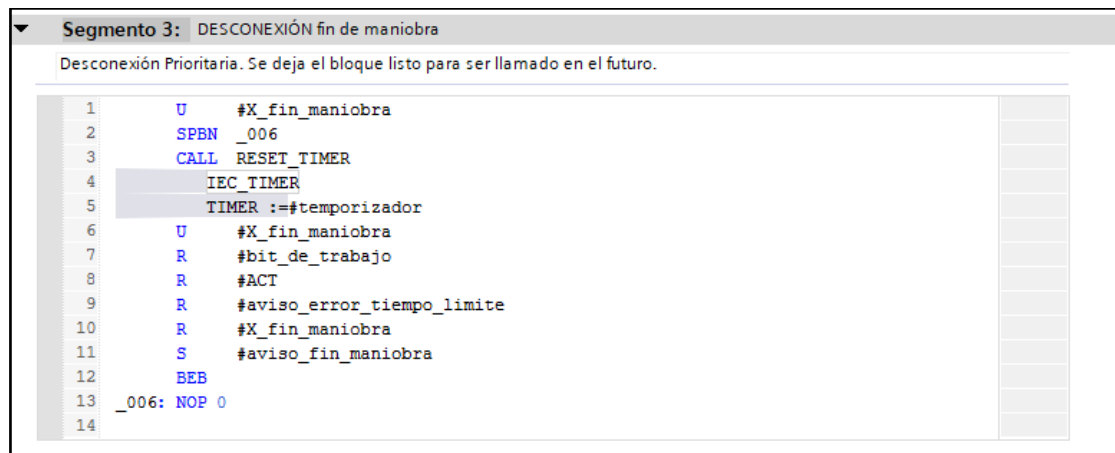


Figura 14. Segmento 3 del bloque maniobra FB3. Desconexión por fin de maniobra. Se reinicia el temporizador mediante la función "RESET_TIMER" propia de los IEC.

Bloques Máquina

Al igual que con el bloque maniobra, para los bloques máquina se ha seguido el formato de la plantilla estudiada en las clases de teoría. Todos los bloques máquina realizados son autocontenidos e incluyen temporizadores IEC declarados como parámetros internos.

Pistón de Alimentación [FB4]

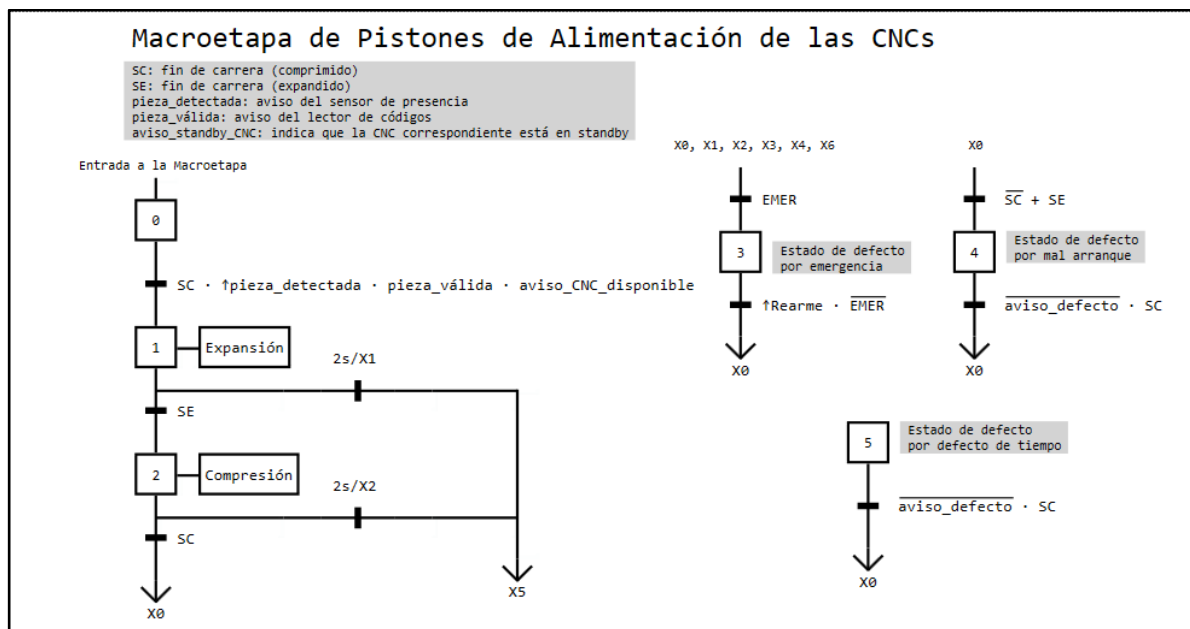


Figura 15. Grafcet de los pistones de alimentación de las CNCs

Para programar el bloque máquina del pistón de alimentación, se ha seguido el grafcet de la Figura 15. Se han considerado estados de defecto por tiempo, configuración inicial, y emergencia. Para las maniobras Expansión y Compresión, se ha llamado dos veces al bloque maniobra FB3 haciendo uso de multi-instancia.

Pistón (Máquina)							
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..
1	Input						
2	Start	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EMER	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	SC	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	SE	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Rearme	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	pieza_detectada	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	pieza_válida	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	tiempo_expansión	Time	T#0ms	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	tiempo_compresión	Time	T#0ms	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	aviso_CNC_disponible	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Output						
13	EXP	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	COMP	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	aviso_standby	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	InOut						
17	aviso_defecto	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Static						
19	bit_de_trabajo	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	X0	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	X1	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	X2	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	X3	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	X4	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	X5	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	M_flanco_rearme	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	Pistón_Expansión	*Pistón (Maniobra S...			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	expansión_no_ok	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	expansión_ok	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	Pistón_Compresión	*Pistón (Maniobra S...			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	compresión_no_ok	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	compresión_ok	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	M_flanco_defecto	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	M_flanco_pieza_detec...	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
35	Temp						
36	M_pulso_rearme	Bool			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37	M_pulso_pieza_detec...	Bool			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 16. Parametrización del bloque máquina FB4 “Pistón (Máquina)”

Entre los parámetros de entrada es importante diferenciar las señales “pieza_detectada” y “pieza_válida”, que se corresponden con el sensor de presencia y el identificador de piezas a la entrada de cada CNC. “aviso_CNC_disponible” será un aviso enviado por la CNC alimentada indicando que se encuentra en standby y, por lo tanto, disponible para recibir una pieza.

Las señal “aviso_standby” valdrá 1 cuando el pistón se encuentre en reposo (será utilizada para la parada controlada), y la señal “aviso_defecto” cuando la máquina se encuentre en un estado de defecto local. Una vez recuperada la posición inicial, poner de nuevo a nivel bajo el aviso de defecto permite el rearme del pistón.

Como parámetros static, se han declarado las dos instancias del bloque maniobra empleado, así como los estados del grafcet seguido. Cuatro memorias se han empleado para almacenar los resultados de ambas maniobras.

► Título del bloque:	Bloque Máquina (pistón con ciclo expansión-compresión)
► Segmento 1:	DESCONEXIÓN (Start:=False)
► Segmento 2:	DEFECTO (emergencia)
► Segmento 3:	DEFECTO (mal arranque)
► Segmento 4:	DEFECTO (tiempo excedido durante la expansión)
► Segmento 5:	DEFECTO (tiempo excedido durante la compresión)
► Segmento 6:	Flanco de la señal Rearme
► Segmento 7:	REARME (emergencia)
► Segmento 8:	REARME (Defecto de mal arranque o tiempo)
► Segmento 9:	Arranque
► Segmento 10:	Flanco de la señal pieza_detectada
► Segmento 11:	X0 -> X1
► Segmento 12:	X1->X2 (Maniobra de expansión)
► Segmento 13:	X2->X0 (Maniobra de compresión)
► Segmento 14:	Aviso de defecto (para el rearme)
► Segmento 15:	Aviso de Standby (para el usuario)

Figura 17. Estructura Interna del bloque máquina FB4

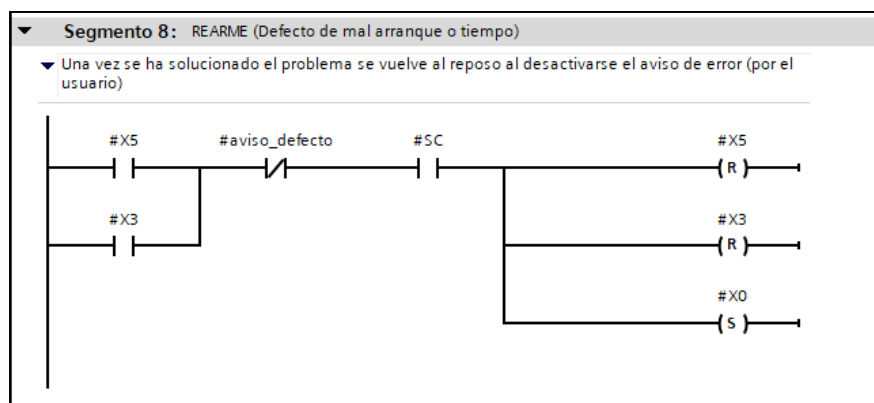


Figura 18. Segmento 8 del bloque máquina FB4. Rearme desde el defecto local

CNC de Corte o Serigrafía [FB2]

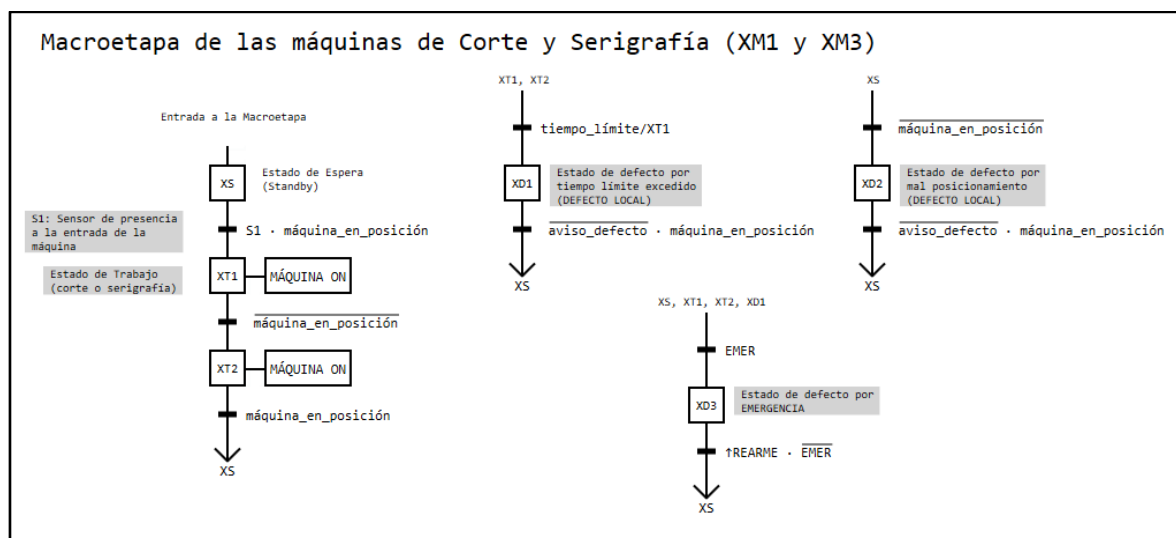


Figura 19. Grafcet de las CNCs de Corte y Serigrafía

Se ha seguido la plantilla máquina al igual que se hizo con el pistón. Esta vez no se ha llamado a ninguna maniobra, ya que sólo se han considerado estados de reposo y trabajo.

CNC de Laminado [FB5]

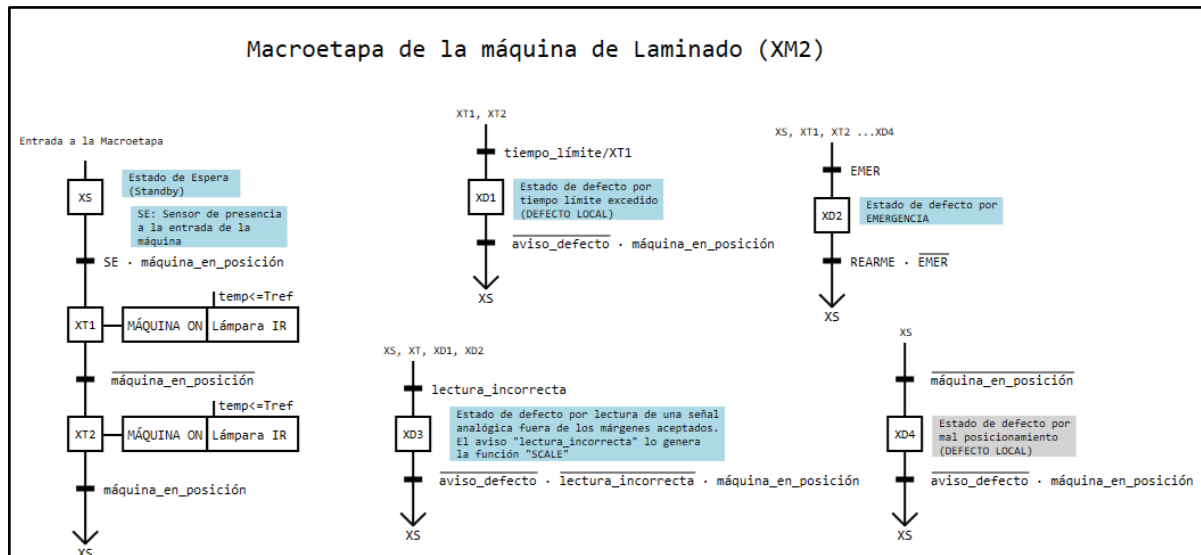


Figura 20. Graficet de la máquina de Laminado

Además de los defectos por emergencia, tiempo y configuración inicial, se ha considerado el defecto por lectura incorrecta, implementado haciendo uso del aviso de error proporcionado por la función SCALE a través del bloque FC8.

Como parámetros de entrada, además de las señales habituales de la plantilla máquina, el bloque recibe la señal de error de lectura de la función SCALE, la lectura real del pirómetro escalada por la función SCALE, y la temperatura de referencia a la que deberá mantenerse la pieza durante el laminado.

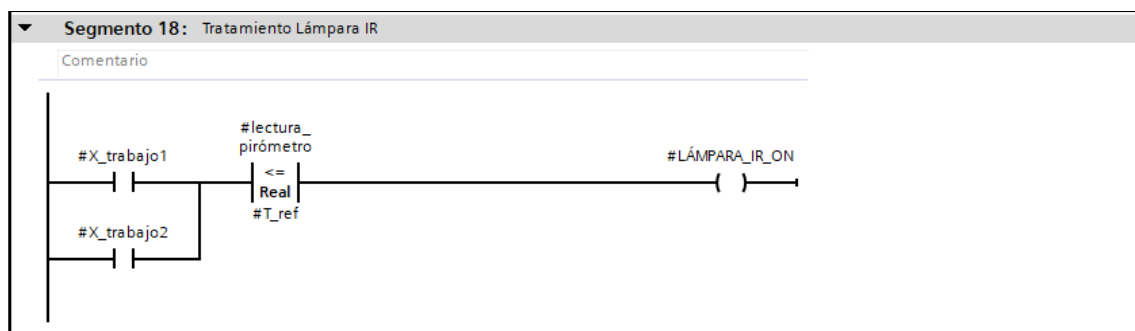


Figura 21. Segmento 18 del bloque FB5. Tratamiento del actuador "LÁMPARA_IR"

Además de este control ON/OFF, se podría implementar un controlador PID mediante un objeto tecnológico que ofrece TIA PORTAL como bloque. El objeto se encuentra en la pestaña Instrucciones->Tecnología->PID Control->PID_Compact. Dicha funcionalidad, ofrece todos los parámetros necesarios para establecer una regulación en la salida, como las constantes del PID, límites de la salida analógica o PWM, límites a la entrada, autotuning... Finalmente, no se ha decidido incluir dicho controlador en nuestro proyecto por no conocer en profundidad su implementación y no conocer los parámetros necesarios del PID para establecer un control regulado aceptable, además de que no hemos podido simular un cambio de temperaturas gradual a la entrada del mismo que simule el comportamiento del mismo.

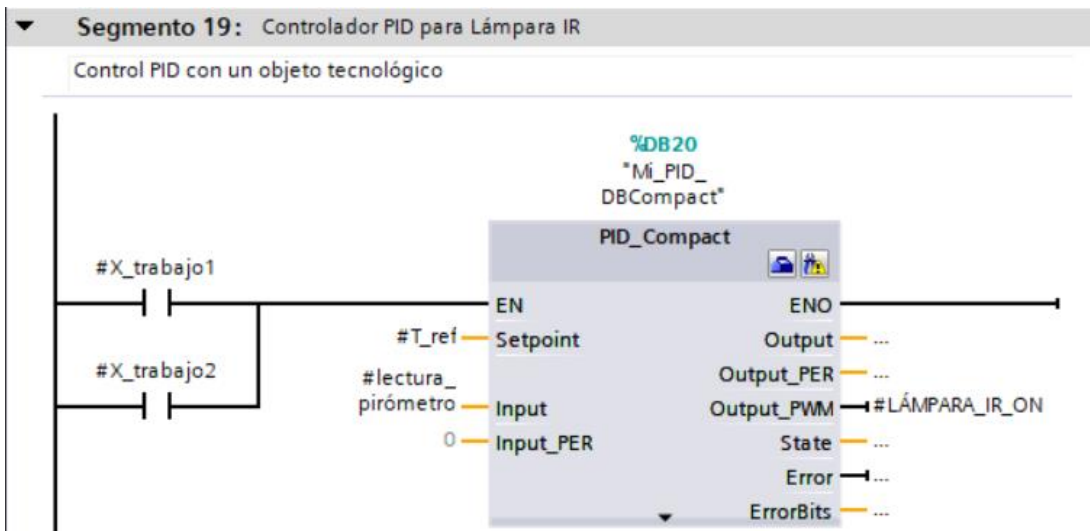


Figura 22. Bloque PID como objeto tecnológico de TIA PORTAL

Cinta de Volcado [FB7][FB8]

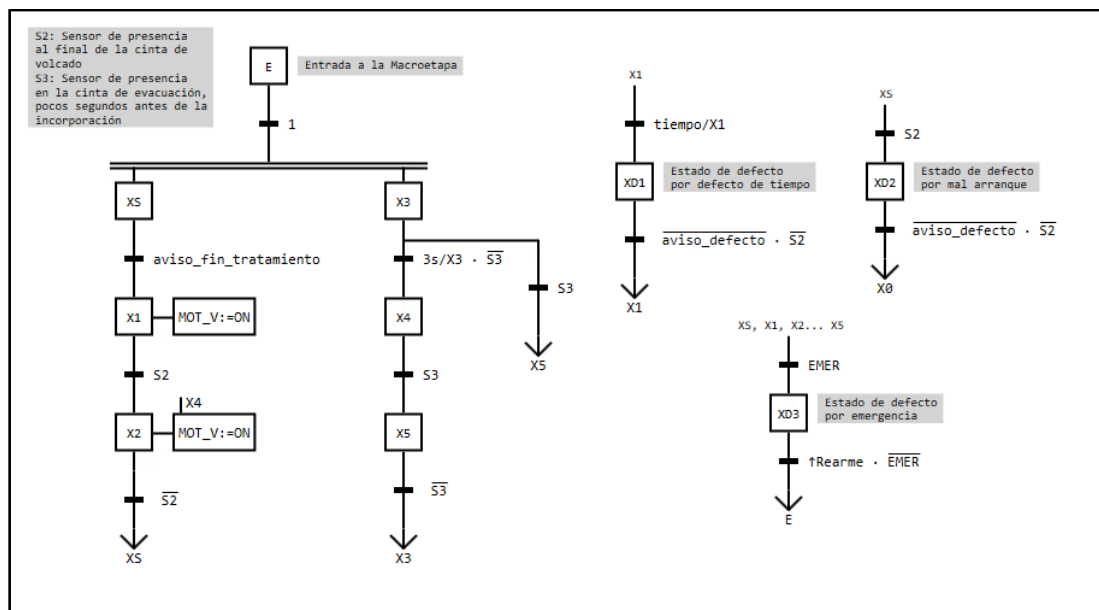


Figura 23. Grafcet de las cintas de volcado de piezas.

Nota: No confundir la cinta de volcado con la cinta de evacuación. Las cintas de volcado conectan cada CNC con la cinta de evacuación, que es común a las tres CNCs.

La rama de la derecha del grafcet se encarga de controlar el flujo de piezas en la cinta de evacuación, mientras que la rama de la izquierda se encarga de controlar el motor de la cinta de volcado. Al activarse el aviso de fin de tratamiento, que indica que la CNC ha expulsado una pieza, se activa la cinta hasta que la pieza alcanza el borde de ésta. Si la incorporación está despejada (X4 activo), la pieza es volcada y el sistema vuelve al reposo.

La rama de la derecha se ha implementado en el bloque FB7. Dicho bloque recibe las señales de ambos sensores de presencia de la cinta de evacuación, así como el "flag" que indica el sentido de dicha cinta.

Cinta de Volcado (Aviso de Disponibilidad)							
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible d...	Escrib...	Visible en ...
1	Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	S_izquierda	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	S_derecha	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	tiempo_limite	Time	T#0ms	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	RESET	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	flag_sentido_cinta_inferior	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	aviso_intersección_libre	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	InOut				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<Agregar>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	X3	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	X4	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	X5	Bool	false	No remane...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	bit_de_trabajo	Bool	false	No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	temporizador	TON_TIME		No remane...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Temp				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	aviso_pieza_detectada	Bool			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 24. Parametrización del bloque FB7 “Cinta de Volcado (Aviso de Disponibilidad)”

La variable temporal “aviso_pieza_detectada” representada en el grafcet como “S3” se activará atendiendo al sentido de la cinta para indicar cuándo una pieza se aproxima a la incorporación.

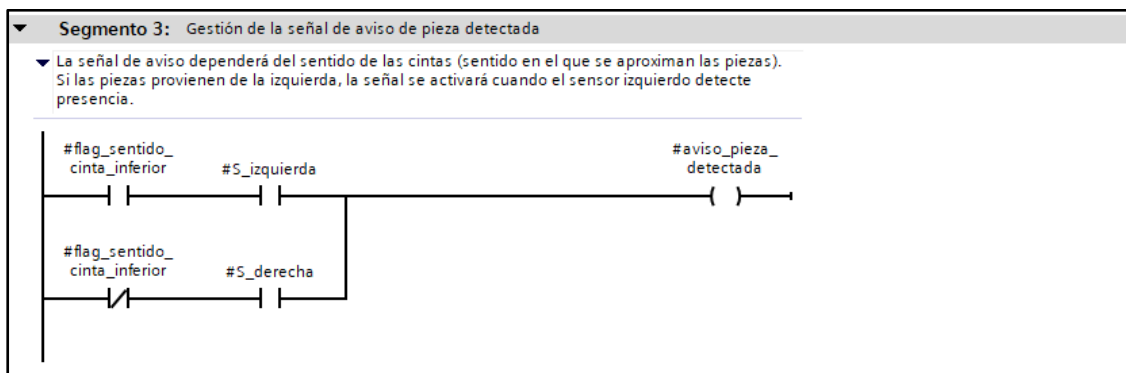


Figura 24. Segmento 3 del bloque FB7. Gestión de la señal “aviso_pieza_detectada”

Nota: Se ha establecido que los flags que indican el sentido de las cintas valdrán 1 cuando la cinta circule de izquierda a derecha (según el punto de vista del layout de la figura 1).

La rama de la izquierda del grafcet de la figura 23 se ha implementado mediante el bloque FB8 “Cinta de Volcado (Máquina)”. Desde dicho bloque se llama al FB7 como si se tratara de una maniobra, definiéndolo como un parámetro interno mediante multi-instancia. El aviso proporcionado por el bloque FB7 se almacena en una variable temporal “aviso_interno_intersección_libre” del FB8 y permite desactivar la cinta de volcado cuando haya riesgo de colisión.

Brazos de Carga y Descarga [FB6]

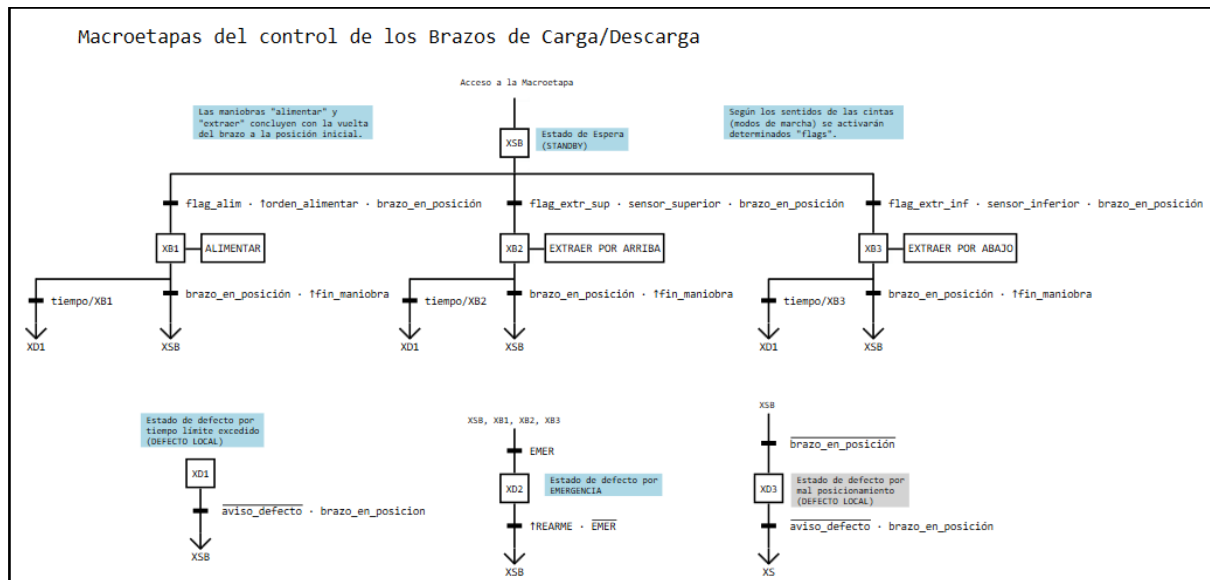


Figura 25. Grafcet de los brazos de carga y descarga.

Se ha seguido la plantilla máquina, considerando el defecto por emergencia, tiempo y mala configuración. Cabe destacar el uso que se hace de los "flags" para habilitar o deshabilitar las diferentes maniobras según el sentido de las cintas. Podría haberse considerado también la maniobra de alimentar piezas por la cinta inferior, aunque teniendo en cuenta que las CNCs se alimentan únicamente por encima, se prefirió no complicar innecesariamente el control de los brazos.

Para evitar la fugacidad de las maniobras, se ha considerado una señal "fin_de_maniobra" que funciona por flanco. Otra opción era considerar una etapa entre la de trabajo y la vuelta al reposo, a la que se accediese con el nivel negativo de la señal "brazo_en_posición".

Sistemas de Volcado y Alimentación [FB1][FB9]

En dichos bloques se ha hecho uso de multi-instancia para englobar los tres pistones de alimentación y las tres cintas de volcado en un solo bloque FB y haciendo uso de un solo bloque DB asociado. Ambos bloques FB no son autocontenidos, ya que se ha aprovechado para parametrizar directamente las tres instancias de cada máquina. Dichos bloques quedan listos para ser llamados en el MAIN sin necesidad de pasarles ningún parámetro adicional.

Static							
Pistón_Corte	"Pistón (Máquina)"				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pistón_Laminado	"Pistón (Máquina)"				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pistón_Serografiado	"Pistón (Máquina)"				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 26. Parametrización del bloque FB1 "Sistema de Alimentación"

MAIN [OB1]

Incluye llamada incondicional a todos los bloques empleados, así como la gestión de las transiciones del grafcet principal (GP).

► Título del bloque: "Main Program Sweep (Cycle)"
► Segmento 1: Tests Unitarios
► Segmento 2: Llamada a Bloques de Metacontrol
► Segmento 3: Llamada a Bloques de Manejo de Señales
► Segmento 4: Llamada a las Máquinas
► Segmento 5: Simplificación "X_Trabajo"
► Segmento 6: Simplificación Avisos de Standby
► Segmento 7: XO->Trabajo (Arranque)
► Segmento 8: X_Trabajo->XO (Parada Controlada)
► Segmento 9: Gestión Cintas de Transporte Principales

Figura 26. Estructura interna del MAIN

Se ha añadido una marca de estado "X_Trabajo" que engloba las marcas de las macroetapas de todas las máquinas, y un aviso de standby general que se pone a 1 cuando todos los avisos de standby están activados. La finalidad de ambos es simplemente simplificar el código de las transiciones del grafet principal (GP).

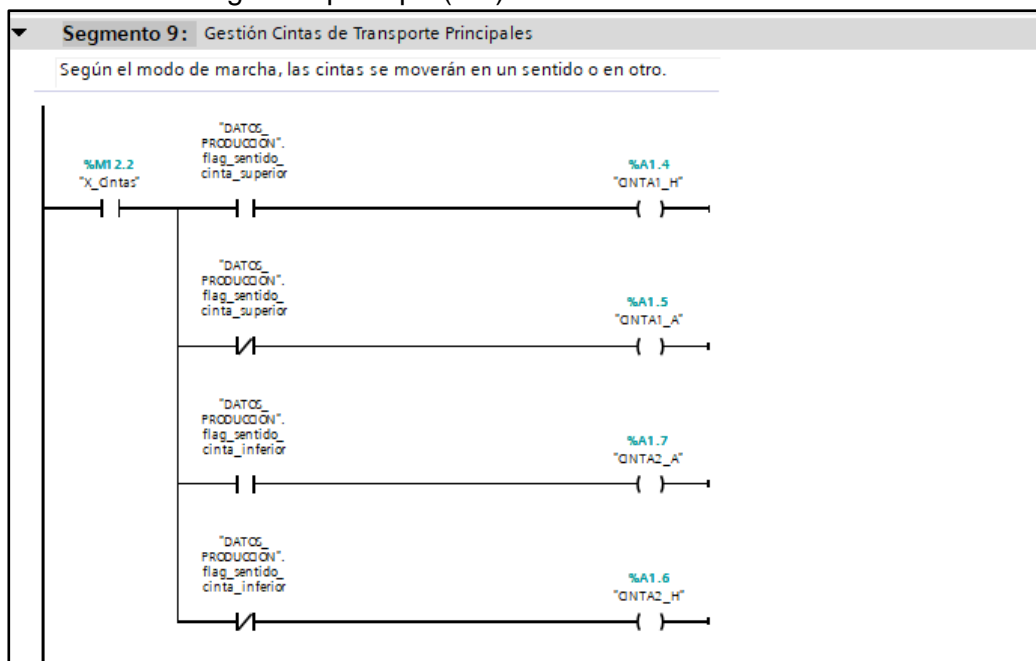


Figura 27. Segmento 9 del MAIN. Gestión de las cintas de transporte. Según el valor de los "flags", las cintas se moverán en un sentido o en otro.

Tests Unitarios



Figura 27. Tests unitarios empleados para asegurar el correcto funcionamiento de todos los bloques máquina y maniobra

Tablas de Observación

Se han configurado y comentado varias tablas de observación.

Nombre	Dirección	Formato visualiza...	Valor de observac...	Valor de forzado
// Sensores de Presencia (De arriba a abajo)				
1 "SC0"	%E3.6	BOOL		FALSE
2 "SC1"	%E1.3	BOOL		FALSE
3 "SC2"	%E1.4	BOOL		FALSE
4 "SC3_Derecha"	%E3.0	BOOL		FALSE
5 "SC3_Izquierda"	%E1.5	BOOL		FALSE
// Pistón de alimentación				
6 "pieza_válida_corte"	%E4.0	BOOL		TRUE
7 "FC1_C"	%E0.2	BOOL		TRUE
8 "FC1_E"	%E0.3	BOOL		FALSE
9 "aviso_Defecto_pistón1"	%M10.4	BOOL		
10 "aviso_Standby_pistón1"	%M10.1	BOOL		
11 "EXP1"	%A0.6	BOOL		
12 "COMP1"	%A0.7	BOOL		
// Máquina (CNC)				
13 "aviso_Defecto_máquina_corte"	%M12.6	BOOL		FALSE
14 "aviso_Standby_máquina_corte"	%M13.7	BOOL		
15 "aviso_máquina_corte_en_posición"	%E5.5	BOOL		TRUE
16 "MÁQUINA_CORTE_ON"	%A2.6	BOOL		
// Cinta de Volcado				
17 "aviso_fn_tratamiento_corte"	%E5.2	BOOL		TRUE
18 "aviso_Defecto_cinta1"	%M13.4	BOOL		FALSE
19 "aviso_Standby_cinta1"	%M13.1	BOOL		
20 "CINTA_VOLCADO_Corte"	%A2.2	BOOL		
21 "Sistema de Volcado_DB".Cinta_Volcado_...		BOOL		

Figura 28. Tabla de observación "CNC de Corte"

Las tablas "CNC de Corte", "CNC de Laminado" y "CNC de Serigrafiado" permiten seguir el recorrido de una pieza desde que es detectada frente al pistón de alimentación correspondiente hasta que es volcada a la cinta de evacuación.

La tabla "Botonera y Estados Principales" permite manipular las principales señales de control (ON, EMER, Modos de marcha...) y observar los principales estados del GP y de los gráficos de meta-control, así como el sentido de las cintas de alimentación y evacuación.

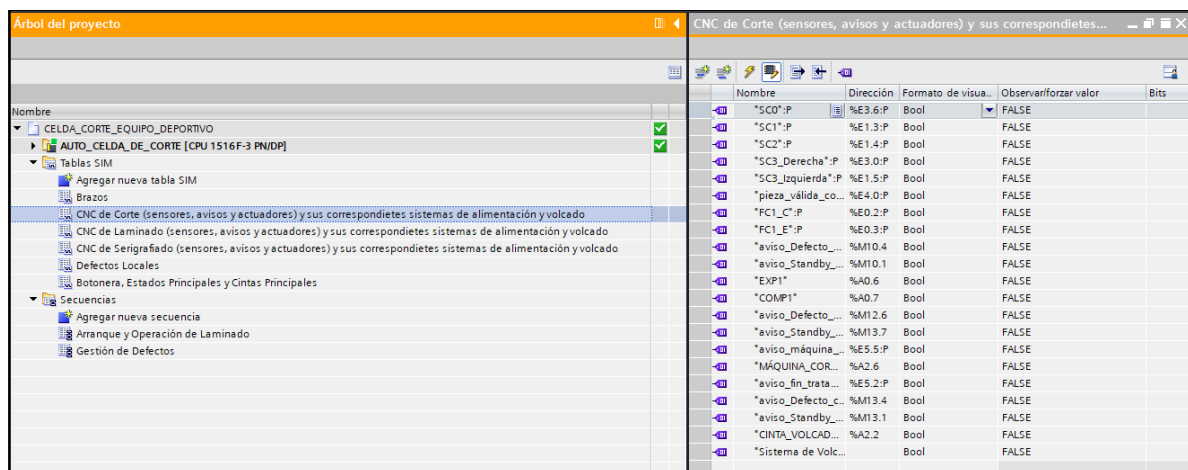
La tabla "Defectos Locales" permite observar los estados de standby de todas las máquinas y manipular los avisos de posicionamiento inicial y de defecto local para lograr el rearme. Será de utilidad al arrancar el programa y simular por primera vez, ya que probablemente todos los

avisos de posicionamiento inicial estarán a 0 y todas las máquinas caerán en el estado de defecto local por mala configuración inicial. Esto es un problema propio de la simulación, y con el sistema real no ocurriría.

Tablas de Simulación

Se han configurado de manera casi idéntica a las de observación (ver apartado anterior), aunque PLCSIM no permite incluir comentarios entre variables, por lo que tal vez sea más cómodo el empleo de las tablas de observación comentadas.

En el proyecto de simulación se han incluido dos secuencias grabadas para mostrar el funcionamiento de la celda. La primera muestra el arranque del sistema, la alimentación de una pieza por parte de uno de los brazos, el tratamiento de dicha pieza por la laminadora, y la extracción de la pieza tratada por el mismo brazo. La segunda secuencia muestra el arranque del sistema, rearme local de todas las máquinas, parada controlada, parada por emergencia y rearme tras la emergencia. Ambas secuencias incluyen comentarios que indican qué tablas deben observarse en cada momento.



The image shows the TIA Portal interface. On the left is the 'Árbol del proyecto' (Project Tree) with the following structure:

- CELDA_CORTE_EQUIPO_DEPORTIVO
 - AUTO_CELDA_DE_CORTE [CPU 1516F-3 PN/DP]
 - Tablas SIM
 - Agregar nueva tabla SIM
 - Brazos
 - CNC de Corte (sensores, avisos y actuadores) y sus correspondientes sistemas de alimentación y volcado (Selected)
 - CNC de Laminado (sensores, avisos y actuadores) y sus correspondientes sistemas de alimentación y volcado
 - CNC de Serigrafado (sensores, avisos y actuadores) y sus correspondientes sistemas de alimentación y volcado
 - Defectos Locales
 - Botonera, Estados Principales y Cintas Principales
 - Secuencias
 - Agregar nueva secuencia
 - Arranque y Operación de Laminado
 - Gestión de Defectos

On the right is the 'CNC de Corte (sensores, avisos y actuadores) y sus correspondientes...' table:

Nombre	Dirección	Formato de visua...	Observar/forzar valor	Bits
SC0.P	%E3.6:P	Bool	FALSE	
SC1.P	%E1.3:P	Bool	FALSE	
SC2.P	%E1.4:P	Bool	FALSE	
SC3_Derecha.P	%E3.0:P	Bool	FALSE	
SC3_Izquierda.P	%E1.5:P	Bool	FALSE	
*pieza_válida_co...	%E4.0:P	Bool	FALSE	
FC1_C.P	%E0.2:P	Bool	FALSE	
FC1_E.P	%E0.3:P	Bool	FALSE	
*aviso_Defecto_...	%M10.4	Bool	FALSE	
*aviso_Standby_...	%M10.1	Bool	FALSE	
EXP1	%A0.6	Bool	FALSE	
COMP1	%A0.7	Bool	FALSE	
*aviso_Defecto_...	%M12.6	Bool	FALSE	
*aviso_Standby_...	%M13.7	Bool	FALSE	
*aviso_máquina_...	%E5.5:P	Bool	FALSE	
*MÁQUINA_COR...	%A2.6	Bool	FALSE	
*aviso_fin_trata...	%E5.2:P	Bool	FALSE	
*aviso_Defecto_c...	%M13.4	Bool	FALSE	
*aviso_Standby_...	%M13.1	Bool	FALSE	
*CINTA_VOLCAD...	%A2.2	Bool	FALSE	
*Sistema de Volc...		Bool	FALSE	

Figura 29. Árbol del proyecto de simulación y Tabla de Simulación “CNC de Corte”

Bibliografía

Apuntes de la Asignatura: *Programación Estructurada del Control de Sistemas de Eventos Discretos: Aplicación a las Familias SIEMENS S7, 1200 y 1500 de Controladores Lógicos Programables*. Pablo San Segundo (2020) [Online]. Disponible en: moodle.upm.es (Acceso: 24/05/2020).

Programación de autómatas con STEP 7. Un enfoque práctico., Pablo San Segundo. Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid, 2011.

TIA Portal: How to use Timers (TON, TOF, TP, TONR), Hegamurl (Nov, 12, 2019) Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9OmE2rRYgw>

Presentación: *Uso de Temporizadores IEC en TIA PORTAL*, Alejandro Casanova Martín y Alejandro López Guerrero (2020).

TIA PORTAL Information Center