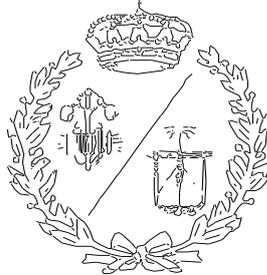


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Proyecto Fin de Grado***

**AUTOMATIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE UN  
PROCESO INDUSTRIAL EMPLEANDO TIA  
PORTAL Y FACTORY I/O**

**Automation and Visualization of an industrial  
process using TIA PORTAL and FACTORY I/O**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

**Autor: Alejandro Bárcena Martínez**

**Septiembre – 2021**

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado la simulación de una planta de producción mediante el programa Factory I/O que será controlado a través del programa TIA PORTAL y se realizará un SCADA con WINCC. El proceso comenzará con la introducción de una pieza aleatoria de cualquiera de los 3 posibles colores (azul, verde o metal) en estado 'Raw' que pasará a una elaboradora de piezas precedida de un robot que producirá materiales del tipo 'Base' o 'Lid', cada uno teniendo su línea de producción. Para los materiales tipo 'Base' se prevé su salida de la fábrica en grupos de 3 piezas, cada una de un color, y apiladas en una caja. Para ello se hará uso de una estación de 3 Pick N' Place que trasladaran las piezas a la caja. La segunda línea de producción tiene como objetivo el almacenaje de las piezas tipo 'Lid' en una estantería asociada a una grúa que transportara las piezas sobre un pallet. También se tendrá en cuenta la posible salida de estas piezas.

## ABSTRACT

In this work, the simulation of a production plant has been carried out using the Factory I/O program that will be controlled through the TIA PORTAL program and a SCADA with WINCC. The process will start with the introduction of a random piece of any of the 3 possible colors (blue, green or metal) in 'Raw' state that will pass to a machine station preceded by a robot that will produce 'Base' or 'Lid' type materials, each one having its own production line. The 'Base' type materials will leave the factory in groups of 3 pieces, each of one color, and stacked in a box. For this purpose, a 3 Pick N' Place station will be used to transfer the pieces to the box. The second production line has the objective of storing the 'Lid' type parts in a rack associated with a crane that will transport the parts on a pallet. The possible output of these parts will also be considered.

## ÍNDICE

<b>0. RESUMEN Y ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>1.MEMORIA</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4. TIA PORTAL</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4.1 CONTROLADOR Y MÓDULOS</b> .....	<b>8</b>
<b>1.4.2 DIAGRAMA DE BLOQUES</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4.3 SCADA</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4.4 SIMULACIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>1.5 FACTORY I/O</b> .....	<b>23</b>
<b>1.5.1 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE</b> .....	<b>23</b>
<b>1.5.1.1 ELEMENTOS DISPONIBLES</b> .....	<b>23</b>
<b>1.5.2 DESCRIPCION DE LA FABRICA</b> .....	<b>25</b>
<b>1.5.2.1 PRODUCCIÓN DE PIEZAS</b> .....	<b>27</b>
<b>1.5.2.2 ELECCIÓN DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN</b> .....	<b>30</b>
<b>1.5.2.3 1º LÍNEA DE PRODUCCIÓN: DIVISIÓN DE COLOR</b> .....	<b>32</b>
<b>1.5.2.4 1º LÍNEA DE PRODUCCIÓN: ZONA PICK N' PLACE</b> .....	<b>33</b>
<b>1.5.2.5 1º LÍNEA DE PRODUCCIÓN: RAÍLES DE SALIDA</b> .....	<b>36</b>
<b>1.5.2.6 2º LÍNEA DE PRODUCCIÓN: PICK N' PLACE DE 2 EJES</b> .....	<b>38</b>
<b>1.5.2.7 2º LÍNEA DE PRODUCCIÓN: RAÍLES Y PLATAFORMA</b> .....	<b>39</b>
<b>1.5.2.8 2º LÍNEA DE PRODUCCIÓN: GRÚA Y ESTANTERÍA</b> .....	<b>40</b>
<b>1.5.3 CONEXIÓN CON TIA PORTAL Y SIMULACIÓN</b> .....	<b>43</b>
<b>1.6. CONCLUSIÓN</b> .....	<b>46</b>
<b>1.7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>48</b>
<b>2. ANEXOS</b> .....	<b>49</b>
<b>2.1 CODIGO DEL SISTEMA</b> .....	<b>49</b>
<b>2.2 TABLA DE VARIABLES</b> .....	<b>65</b>
<b>3.PLIEGO DE CONDICONES</b> .....	<b>69</b>
<b>3.1 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS</b> .....	<b>69</b>
<b>3.1.1 Controlador 1214 Ac/Dc/Rly</b> .....	<b>69</b>
<b>3.1.2 Módulos de entradas y salidas</b> .....	<b>70</b>
<b>3.1.3 Cable de control</b> .....	<b>70</b>
<b>3.2 PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES</b> .....	<b>71</b>
<b>4.PRESUPUESTO</b> .....	<b>72</b>

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Elección de controlador.....	8
Figura 2. Módulos de entradas y salidas.....	8
Figura 3. Direcciones de entradas y salidas físicas.....	9
Figura 4. Marca de arranque.....	10
Figura 5. Producción del tipo de piezas.....	10
Figura 6. Detección de bases y Lids.....	11
Figura 7. Método de operación de un Pick N' Place.....	12
Figura 8. Marca de rotación.....	13
Figura 9. Valores iniciales de las marcas de la grúa.....	13
Figura 10. Valor de carga en la grúa.....	14
Figura 11. Introducción de WinCC Advanced.....	15
Figura 12. Conexión PN/IE.....	15
Figura 13. Configuración Runtime.....	16
Figura 14. Librerías WinCC.....	16
Figura 15. Plantilla WinCC.....	17
Figura 16. Configuración botones del sistema.....	18
Figura 17. Configuración botón automático.....	18
Figura 18. Configuración botón selección del tipo de pieza.....	19
Figura 19. Configuración contador de salida.....	19
Figura 20. Configuración evento selector de extracción.....	20
Figura 21. Configuración apariencia selector de extracción.....	20
Figura 22. Configuración contadores de almacén.....	21
Figura 23. Botonera virtual completa.....	21
Figura 24. Template de conexión.....	22
Figura 25. Carga del bloque en el PLCSIM.....	22
Figura 26. Runtime activo.....	22
Figura 27. Vista general de elementos Factory I/O.....	25
Figura 28. Vista general de la fábrica.....	25
Figura 29. Plataforma de operación general.....	26
Figura 30. Botonera general.....	26
Figura 31. Vista general al procesado de piezas.....	27
Figura 32. Ejemplo introducción de piezas.....	27
Figura 33. Ejemplo Machine Station.....	29
Figura 34. Botonera Machine Station.....	29
Figura 35. Sensores Difuso y de Visión.....	30

<b>Figura 36. Bifurcación de caminos.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 37. Vista general de los 3 caminos a recorrer según el color de la pieza.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 38. Sensor retrorreflectante para el control de los brazos.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 39. Vista general Pick N' Places.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 40. Botonera zona Pick N' Place.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 41. Ejemplo movimiento de pieza.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 42. Señal visual de seguridad.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 43. Vista general raíles de salida.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 44. Ejemplo movimiento negativo de los raíles.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 45. Sensores asociados a los raíles.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 46. Ejemplo cola de salida.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 47. Ejemplo entrada a la 2ª línea de producción.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 48. Ejemplo transporte de la pieza en el Pick N' Place de dos ejes.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 49. Ejemplo plataforma rotativa.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 50. Vista general almacén.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 51. Panel eléctrico estación de almacenaje.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 52. Ejemplo de carga de pieza en la grúa.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 53. Ejemplo almacenado de pieza.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 54. Configuración conexión con Tia Portal.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 55. Asociación de variables de entrada y salida.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 56. Panel de simulación de Factory I/O.....</b>	<b>45</b>

# 1. MEMORIA

## 1.1 JUSTIFICACIÓN

El sector de la automatización industrial se encuentra en constante crecimiento y evolución gracias al avance de las tecnologías digitales y de la robótica. Su uso en procesos de producción está muy extendido en el mercado ya que su accesibilidad y especialización son cada vez más adecuadas al medio.

De igual manera se ha producido una evolución en el apartado de las comunicaciones permitiendo cada vez una mayor interacción y extracción de información de cada proceso, además de mayor velocidad de transmisión y variedad de vías de comunicación.

Con todo esto, el proyecto a desarrollar plantea el desarrollo de una fábrica desde cero en un simulador, pasando por su diseño, programación, control y comunicación para adaptar a la planta a las novedades de la Industria 4.0.

## 1.2 OBJETIVOS

Los objetivos a desarrollar en esta memoria son los siguientes:

1. Poner en práctica los conocimientos de programación en lenguaje de contactos, así como el uso del software Tia Portal y elevar el conocimiento al nivel de uso industrial.
2. Iniciación sencilla en el apartado de SCADA para controlar un PLC y visualización para el operario.
3. Exploración y aprendizaje del uso del software Factory I/O y su implementación para la simulación de procesos reales.
4. Introducción a las comunicaciones industriales vía HMI o internet y su correcta implementación.

5. Acercamiento al ámbito industrial a través del diseño de una fábrica avanzada en el ámbito de la industria 4.0 que incluya la mayor automatización posible.

### 1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria se compone de 4 capítulos sin incluir la justificación y los objetivos.

- Capítulo 1.4, Tia Portal: descripción de la programación de la planta para su automatización, así como de las necesidades del PLC para su implementación y el diseño del sistema visual de interacción y su comunicación.
- Capítulo 1.5, Factory I/O: introducción al software de Factory I/O, diseño de la planta de producción y método de comunicación con el PLC y simulación.
- Capítulo 1.6, Conclusión: se analiza el proyecto elaborado, la consecución de los objetivos y la posible mejora o ampliación del mismo
- Capítulo 1.7, Bibliografía: este apartado incluye todas las referencias utilizadas para la elaboración del proyecto.

## 1.4. TIA PORTAL

### 1.4.1 Controlador y módulos

Tia Portal permite configurar un controlador adecuado a la planta que asegure el correcto funcionamiento automatizado de todos los actuadores. Para este caso se elige el autómatas de la gama 1200 descrito en la imagen posterior, en su versión más avanzada ya que otorga el mayor número de entradas y salidas analógicas y digitales posibles incorporadas de los de su misma gama.

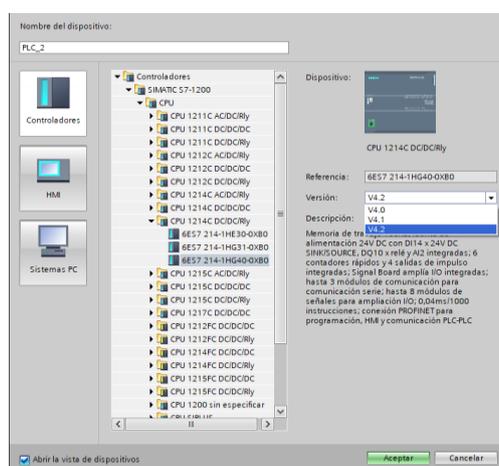


Figura 1. Elección del controlador

Aun así, la demanda de entradas y salidas no se ve satisfecha, por lo que es necesario añadir módulos digitales y analógicos. Otra vez se van a utilizar los de mayor capacidad para obtener el mayor número de puertos en el mínimo espacio. Serán necesarios 4 módulos digitales y otros 4 analógicos, descritos en la imagen siguiente.

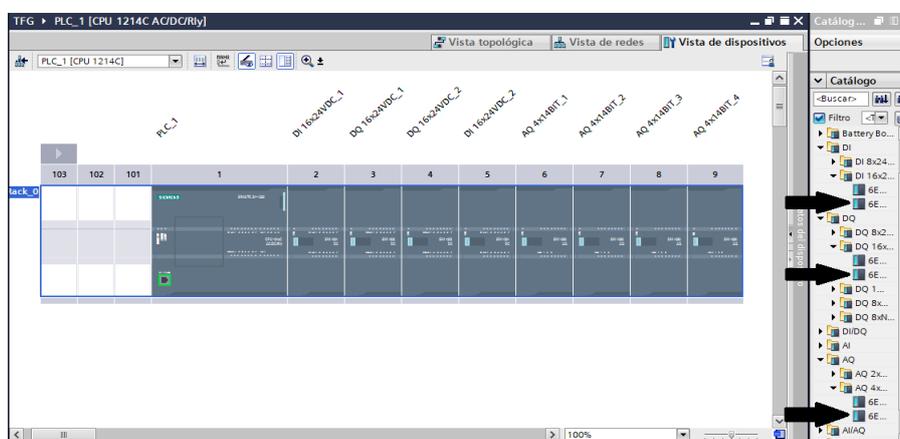


Figura 2. Módulos de entradas y salidas

Se ha de tener en cuenta que el Factory I/O no permite que las direcciones de sus entradas y salidas simuladas coincidan con las físicas añadidas al PLC ya que provocan superposición de valores en la escritura, por lo que se direccionará a cada uno de los módulos a un valor que no afecte a este caso. Se da por defecto las posiciones iniciales de memoria a los módulos y se comenzará por la dirección 10.0 en las variables de programa.

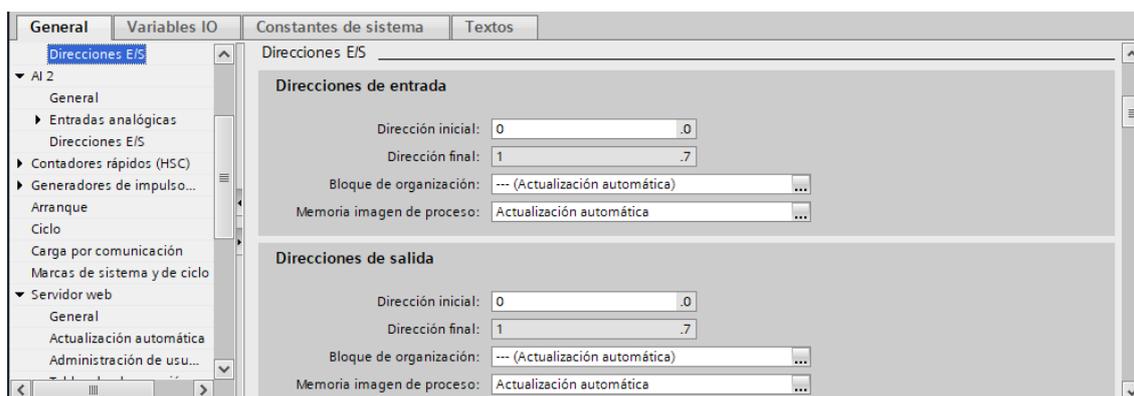


Figura 3. Direcciones entradas y salidas físicas

## 1.4.2 Diagrama de bloques

Se incluirá el código entero y la tabla de variables en el anexo de esta memoria, pero en este apartado se explicarán las decisiones tomadas para cada situación.

Se comienza con la creación de una marca que controle el arranque, funcionamiento y parada de la estación. Los botones, tanto virtuales como de la propia planta, no poseen enclavamiento, lo cual hace necesario un biestable que se mantenga o no activo según se esté procesando o no. Además, se le da una preferencia al control virtual realizado con WinCC introduciendo un modo manual solo controlable por este. El único botón que funciona de diferente manera será el de emergencia, operado por una seta con enclavamiento y que estará disponible en todos los paneles eléctricos de la fábrica. Esta marca controlará el funcionamiento de todas las cintas y railes del sistema (con excepción de las previas a las estaciones) y emitirá el primer pulso de emisión de piezas para los 'Emitter' que simulan en Factory I/O la llegada de piezas desde fuera de la fábrica. Las mencionadas estaciones actuarán a la llegada de piezas a su entrada, pero poseerán un paro de emergencia asociado con la seta de los paneles. Se plantea un sistema de paro diferenciado entre el paro normal, que impedirá la entrada de nuevas piezas, pero permitirá que las estaciones terminen el proceso ya iniciado, y el paro de emergencia que detendrá también las estaciones y continuará en el punto que se había parado.

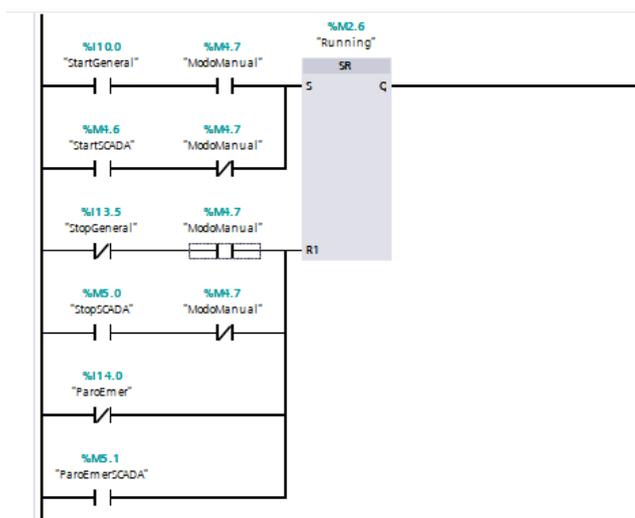


Figura 4. Marca de arranque

La primera estación con la que se trabaja es la de procesamiento de la pieza, en la cual se decidirá el tipo de pieza a producir asociando el actuador con un selector tanto manual como digital. También se controlará de la misma manera el clasificador posterior que permite la bifurcación de líneas de producción.

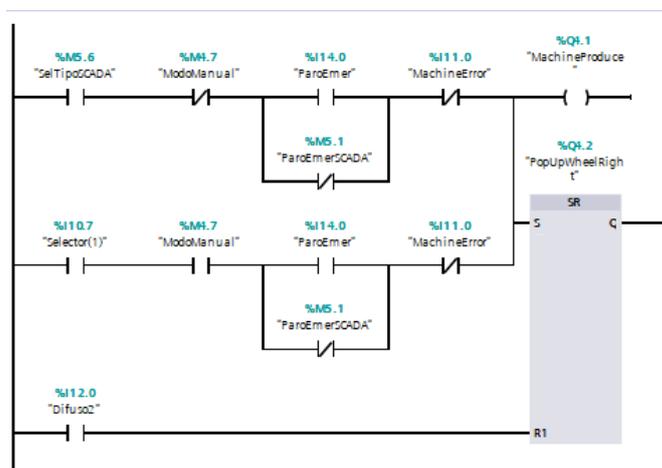


Figura 5. Producción tipo de piezas

El siguiente paso es la detección del tipo de pieza que se ha producido y de su color, por lo que se sitúa un sensor de visión y se programa para que las estaciones posteriores operen en consecuencia. Para la primera línea de producción se necesita activar una marca hasta que se deposita la pieza en la caja y a su vez activar los brazos clasificadores para cada color. Para la segunda línea de producción se elabora un sistema de detección y cola adecuado para que cada pieza sea situada según su color en su fila correspondiente y no pierda ninguna posible entrada durante el proceso de almacenaje.

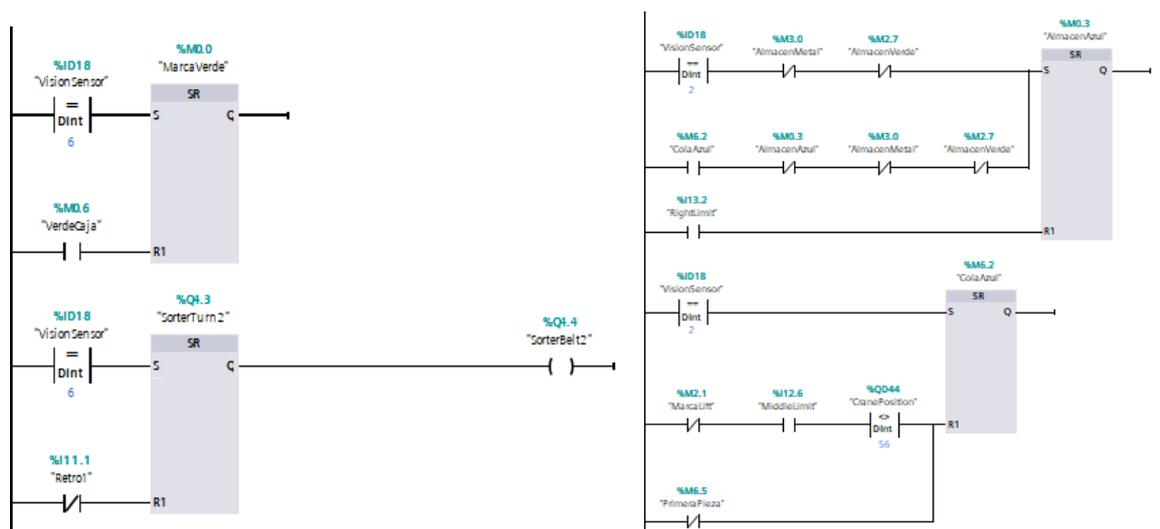


Figura 6. Detección Bases y Lids

También se activarán cada una de las cintas para cada camino según sean detectadas las piezas que las van a recorrer, así como su detención en la posición correcta controlada por un sensor retrorreflectante.

Una vez terminado el camino por las cintas se llega a los Pick N' Place, que depositarán la pieza sobre una caja en el rail para su salida de planta. Estas estaciones trabajarán en dos posiciones (agarre de la pieza y deposición) que se han de introducir a través del PLC como valores de tensión positivos. Dichos valores son traducidos en movimiento por la propia estación. Esto lleva a la necesidad de obtener los valores para cada posición de manera interactiva con el Pick N' Place, y de esta forma conocer los valores de tensión por ensayo. Además, se añade un sensor que nos permita conocer que el brazo ha llegado a la posición final y una marca que nos almacene el valor de la pieza introducida hasta que salga de la línea de producción. Cuando el producto se detenga en la posición deseada, la estación lo recogerá y derivará sobre la caja dando un nuevo valor de tensión sobre el eje X. El actuador que sostiene la pieza se desactivará con el estado positivo del sensor descrito y la caja esperará a la detección de la siguiente pieza para dirigirse a un nuevo puesto de carga.

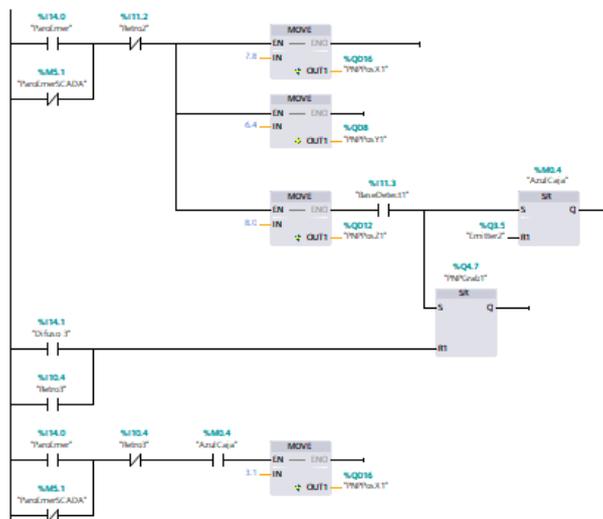


Figura 7. Método de operación de un Pick N' Place

La caja no saldrá hasta poseer 3 piezas de cada color por lo que deberá realizar un movimiento positivo y negativo según las necesidades de cada situación. Las cintas poseen dos actuadores que deberán ser activados o reseteados para que no trabajen al mismo tiempo, o sino los rodillos del rail no girarán. Además, se han introducido dos sensores que determinen la parada de la caja tanto en el sentido positivo como en el negativo, para permitir al Pick N' Place depositar la pieza. Una vez terminado el ciclo la caja saldrá de la fábrica con el elemento 'Remover' que utiliza Factory I/O, y aumentará en 1 un contador que estará asociado al display visual de los paneles eléctricos general y particular de la línea de producción.

El segundo camino posible de las piezas comienza con otro tipo de Pick N' Place restringido únicamente al movimiento a través de los ejes X y Z. Está configurado de manera digital por lo que cada acción de movimiento estará asociada a un biestable controlado por los sensores de la propia estación más dos sensores difusos añadidos que determinarán las posiciones inicial y final. Los movimientos serán absolutos a excepción de la rotación del brazo, que cada pulso ejercerá un giro de 90°, lo cual necesita de un sistema de activación/desactivación asociado a los sensores antes mencionados que determinan las posiciones final e inicial.

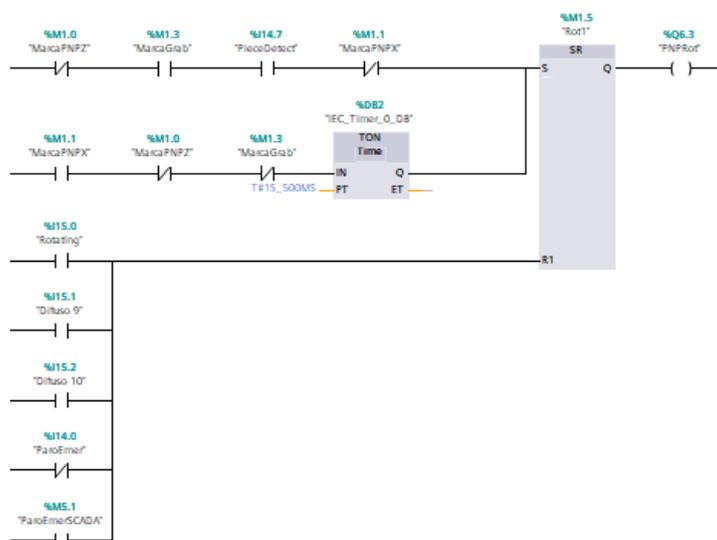


Figura 8. Marca de rotación

La pieza es introducida en una caja sobre un pallet que es transportada en un rail hasta la estación de almacenamiento. Por el camino realiza un cambio de sentido en una plataforma giratoria la cual necesita el control de 3 actuadores, el desplazamiento negativo de entrada de la caja, el giro de 90° y la salida de la plataforma gracias a unos rodillos en sentido positivo.

El almacenaje de las piezas se va a realizar liberando un espacio para cada color de pieza, lo cual necesita que el programa sepa el valor inicial de cada uno de los colores. Esta operación de carga se realizará sobre marcas del sistema y solo al iniciar el programa y no afectará en ningún otro ciclo de programa. Para la posición de la pieza azul es necesario que la variable sea de salida ya que el valor será pasado directamente al display visual en vez de un contador al coincidir los valores.

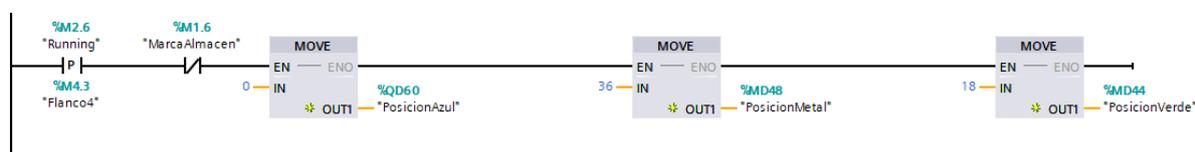


Figura 9. Valores iniciales de las marcas de la grúa

La grúa del almacén trabaja con valores tipo integral, asociados cada uno a un puesto en concreto. Una vez detectada una pieza se determina el valor a introducir en la grúa y se guarda en la variable de salida una vez la pieza este cargada sobre la horquilla.

La horquilla funciona de manera digital y necesitará de dos sensores retrorreflectantes, para determinar cuándo las cajas llegan a su posición de recogida o de extracción.

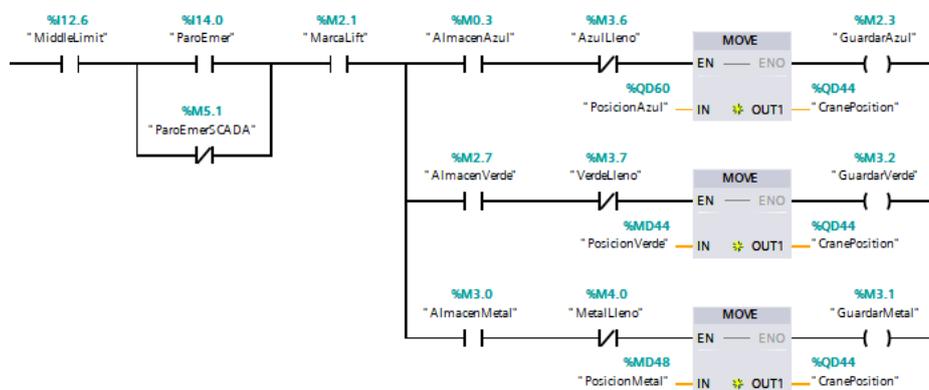


Figura 10. Valor de carga en la grúa

Una vez guardada la pieza se devuelve a la grúa a su posición inicial y se incrementa en uno el valor de la marca de la posición para la siguiente pieza, así como el contador asociado. Para la extracción es necesario el accionamiento de los selectores que están en el panel eléctrico de la estación o los de la botonera virtual, y el sistema de movimiento es similar al de almacenaje. Se añade en este proceso una marca de posición inicial que permite controlar la extracción controlada de elementos a la demandada por el usuario, y no realice una extracción hasta que deje vacío el puesto de un color. De la misma manera que antes los contadores verán reducido el número de piezas por cada pulso de acción en 1. Se tendrá en cuenta que en el caso de llenar alguno de los puestos las piezas entrantes de ese mismo tipo serán llevadas a la salida de la línea de producción directamente, gracias a unas marcas de llenado con los valores límite de cada color.

El código podrá ser visualizado en su totalidad en el apartado de Anexos, subapartado Código del Sistema.

### 1.4.3 SCADA

Cabe destacar que más que una aplicación SCADA, los que se elabora en este apartado es una botonera de control virtual que funciona también como display de los contadores de las piezas de salida. Tendrá prioridad sobre las botoneras físicas tanto generales como particulares de cada línea, a excepción del paro de emergencia que funcionará en ambas en todo momento.

El software de elaboración del programa será el mismo Tia Portal ya que posee WinCC RT Advanced. Para añadir el elemento de WinCC habrá que ir a la pestaña de añadir dispositivos y buscar en los archivos de sistema PC la aplicación HMI. Una vez dentro seleccionamos el WinCC Advanced.

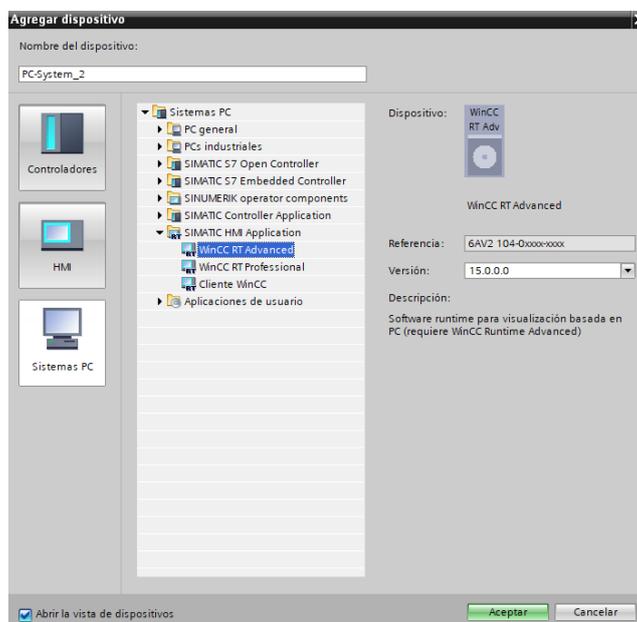


Figura 11. Introducción de WinCC Advanced

La conexión del sistema PC donde se localiza la aplicación y el controlador se realizará a través de internet gracias a la conexión PN/IE de Siemens. Para esta aplicación en particular se dejará en la fábrica tan solo el controlador y la interfaz de SCADA ya configuradas, por lo que la conexión por wifi será más sencilla que por Ethernet. Las direcciones deberán coincidir con las introducidas haciendo del sistema PC el 'host' que permite realizar cambios en el PLC.

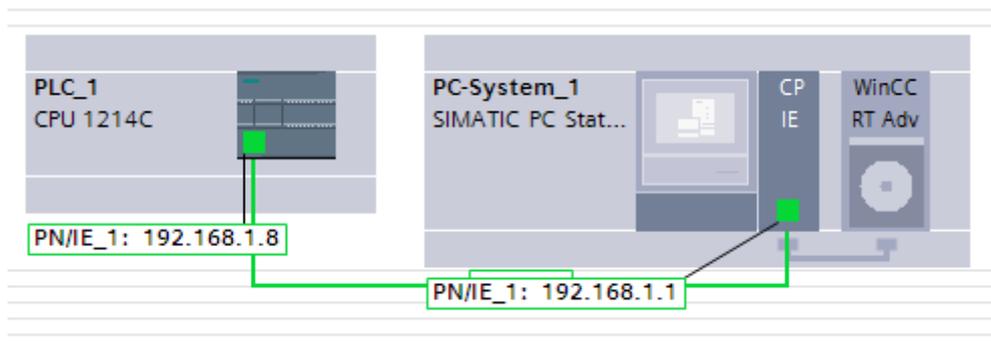


Figura 12. Conexión PN/IE

Una vez establecida la conexión se pasará a configurar el Runtime, sistema que quedará en la fábrica y deberá ser el que se conecte al PLC. Es necesario agregarle una plantilla y una imagen en la cual se elaborará la interfaz visual interactiva. Para ello se crean plantilla e imagen vacías y se asignan a dicho Runtime, en la pestaña del menú desplegable de la izquierda.

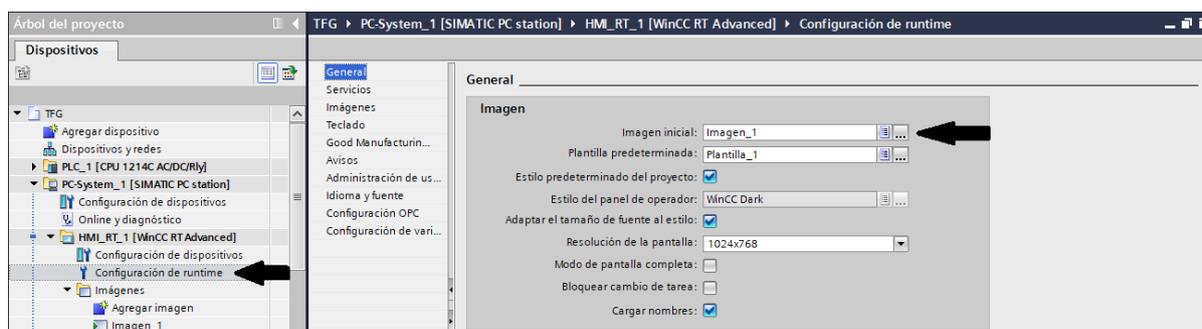


Figura 13. Configuración Runtime

Lo primero que se va a editar será la plantilla. Esta parte no es más que visual y añade fondo al interfaz de la aplicación. Lo único interactuable de la plantilla es el botón de salida del Runtime. Para añadir estos elementos se ha de ir al menú desplegable de la derecha y buscar en librerías los botones. Una vez desplegados habrá que introducir por 'Drag and Drop' el botón de sistema de 'ExitRuntime'.

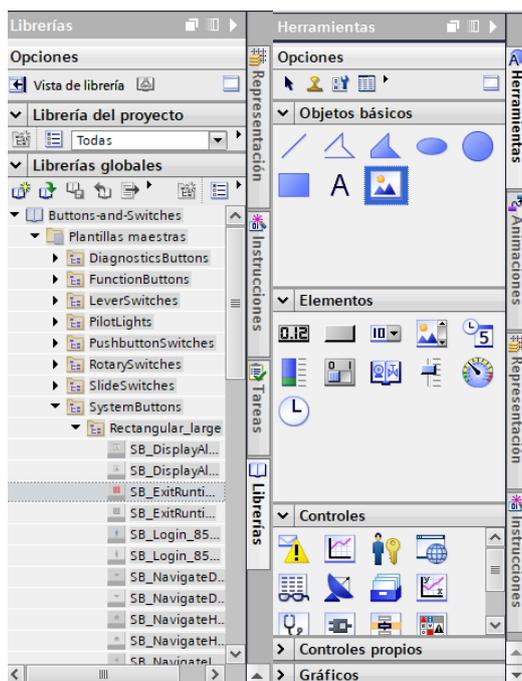


Figura 14. Librerías WinCC

Las imágenes de fondo a elegir serán un brazo de un Pick N' Place cogiendo una pieza y el logo de la universidad. Ambos son gráficos introducidos del menú de objetos gráficos llamados gráficos del sistema. Para el caso del logo de la universidad será necesario exportar la imagen de un archivo del sistema.

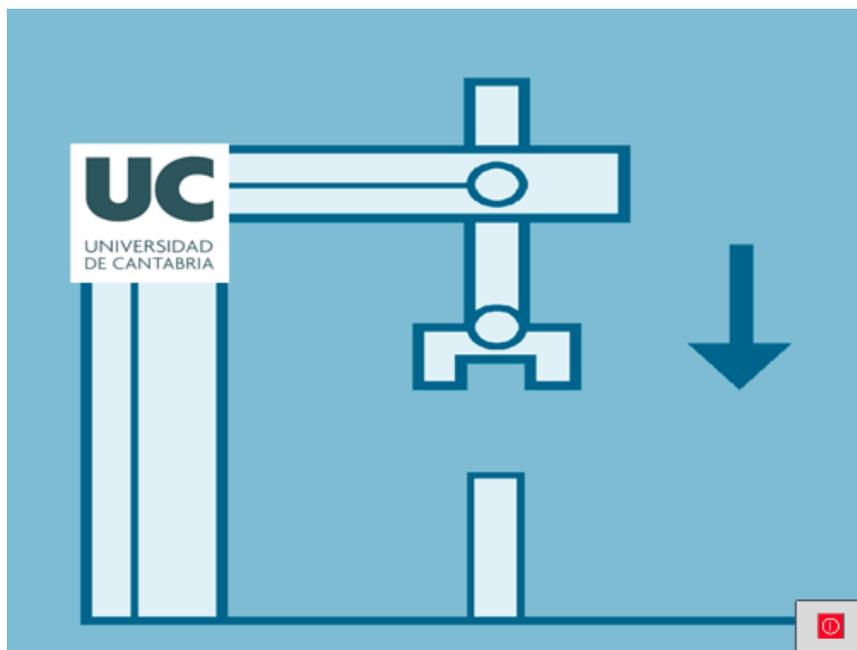


Figura 15. Plantilla WinCC

La imagen del sistema deberá incorporar a la interfaz los botones o seleccionadores con los que realizar el control, así como los display de los contadores y algún texto adjunto que facilite la comprensión. Lo primero a introducir serán los botones de Start, Stop y de paro de emergencia, los dos primeros sin enclavamiento y el último con esta característica. Todos se extraerán de la misma librería que el botón de ExitRuntime teniendo en cuenta el tipo antes descrito. Posteriormente, en sus propiedades habrá que asignarles su marca del sistema asociada, pues no pueden ser asociados a entradas, lo cual se lleva a cabo en el siguiente menú. También se les podrá añadir un texto que diferencie el estado del botón, además de la animación que ya poseen de forma predeterminada. El método es análogo para los tres botones.

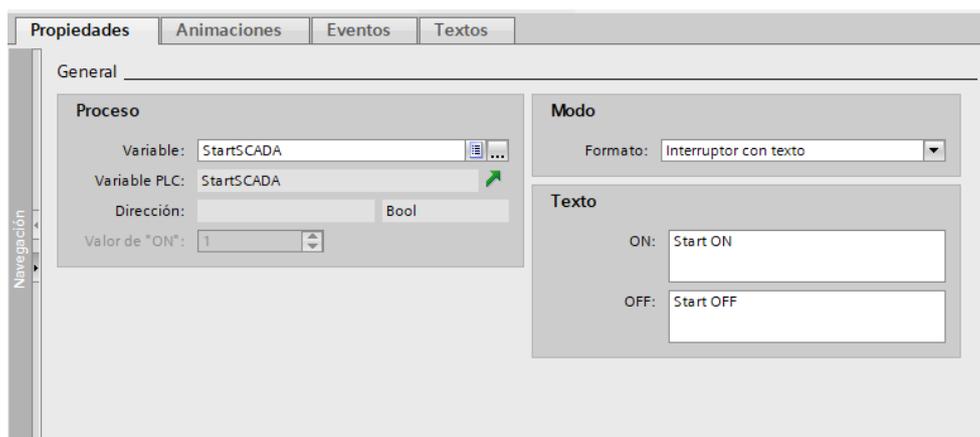


Figura 16. Configuración botones del sistema

De forma similar también se añadirá el botón que determine el modo de operación de los botones de la planta, bien automático controlado por la botonera virtual o manual si se da preferencia a los físicos. Para facilitar la operación se incorpora un texto que describa cuando se está en cada uno de los modos de operación. El texto aparece en el menú antes mostrado de objetos básicos y es modificable en la pestaña de propiedades, submenú general.

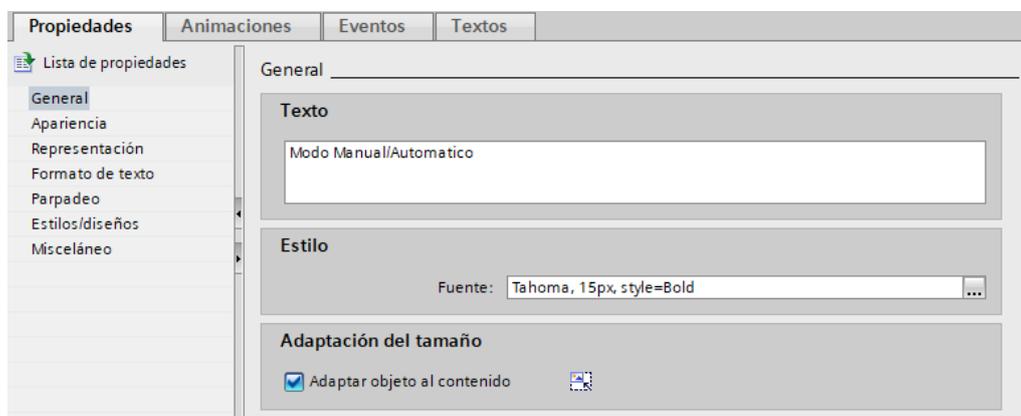


Figura 17. Configuración botón automático

El siguiente elemento a representar es el selector que determina el tipo de pieza a producir. En este caso optare por un 'Switch' de la librería de 'Butons-and-Switches'. Su configuración debera asociarlo con la marca del sistema que controla la misma acción. Además también irá acompañado de dos textos que indiquen que posición del selector responde a la producción de 'Bases' o 'Lids'.

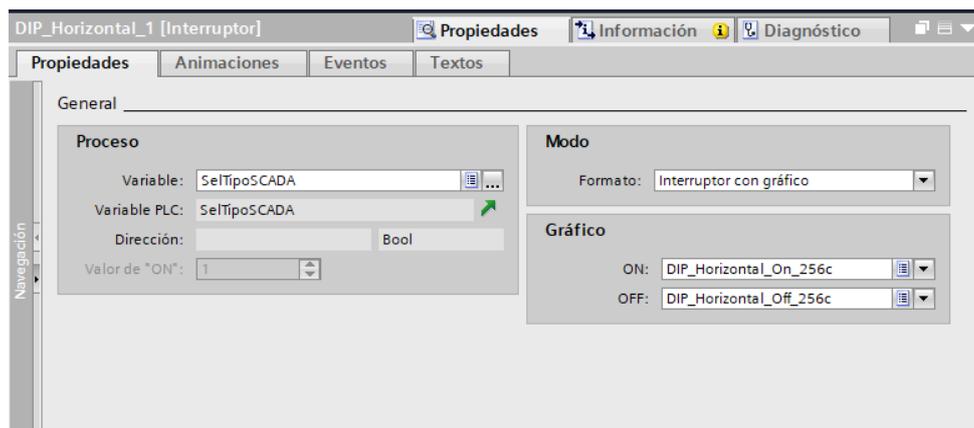


Figura 18. Configuración botón de selección del tipo de piezas

Pasando al primer display de uno de los contadores se comienza por representar el de salida de piezas a tienda. En este caso la variable asociada del sistema no será una marca, sino una salida, más en concreto la salida analógica del contador. En este caso habrá que configurar también que el numero a representar será un integral sin decimales. Este apartado dispondrá de un apoyo de texto, así como de un botón de Reset similar a los botones de Start y Stop del sistema.

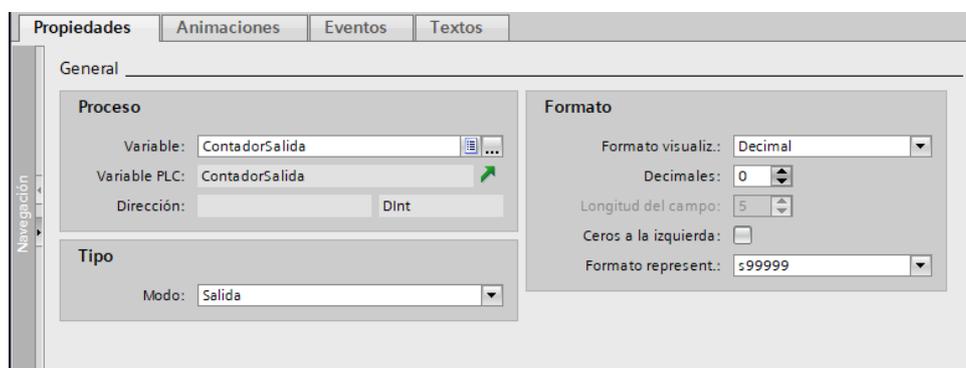


Figura 19. Configuración contador de salida

Para la elección del selector de almacenaje o extracción de piezas del almacén se elige un selector idéntico al antes descrito, también acompañado de un texto aclaratorio. A esto se le suman 3 botones que permitirán elegir qué color de pieza elegir, a diferencia del sistema físico que lo realiza con un selector de 3 estados. Para estos botones se opta por otra configuración a modo de diferenciarlos de los botones de arranque y paro. Se pretende ajustar tanto las animaciones como los eventos a tener en cuenta de manera manual, y no desde la pestaña de general de las propiedades. Primero se añadirán los eventos que ocurrirán al soltar y pulsar el botón. Para ello se ira a la pestaña de eventos en el submenú de pulsar y se buscara la función de ActivarBit ya que se trabaja en valores digitales.

Después se elige la marca del sistema asociada y se repite el procedimiento para la acción de soltar. Por otro lado, la animación se establecerá desde la pestaña de animaciones- Agregar animación, y se elegirá el cambio que realizará el botón en apariencia cuando sea pulsado. En este caso se pasa de un fondo gris a uno verde para indicar que está activo. Este procedimiento se repetirá 3 veces para cada color y se acompañará de texto aclaratorio.

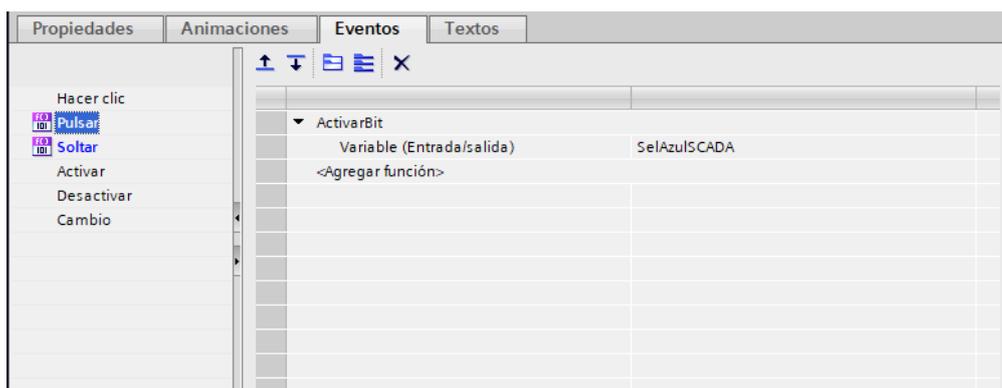


Figura 20. Configuración evento selector de extracción

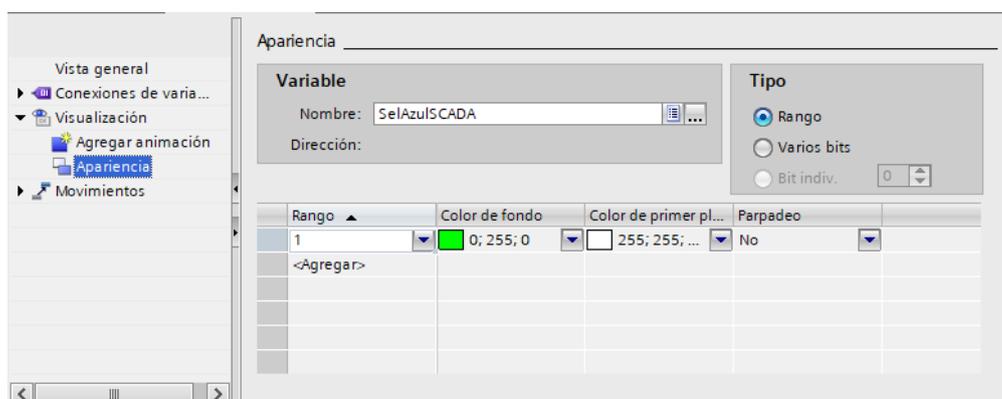


Figura 21. Configuración apariencia selector de extracción

Por último, queda por representar los contadores dinámicos del número de piezas almacenadas de cada color. El sistema seguido es similar al anterior contador, asignando la variable a medir como la salida de los contadores de cada color (excepto en el caso de las azules que será la variable de posición). Para estos contadores se les acompañará de un texto que facilite la operación pues acompañará al color que representa. Este cambio en el texto se introduce en el menú de propiedades en la pestaña de apariencia.

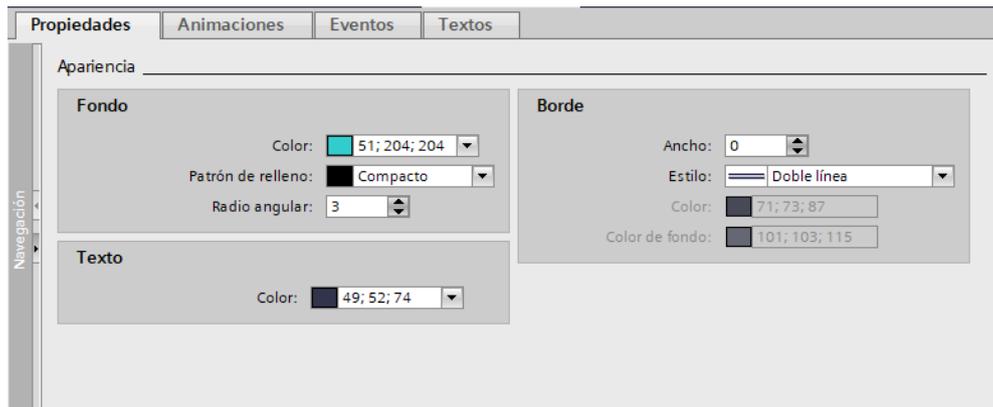


Figura 22. Configuración contadores del almacén

De esta manera obtenemos la siguiente interfaz visual.

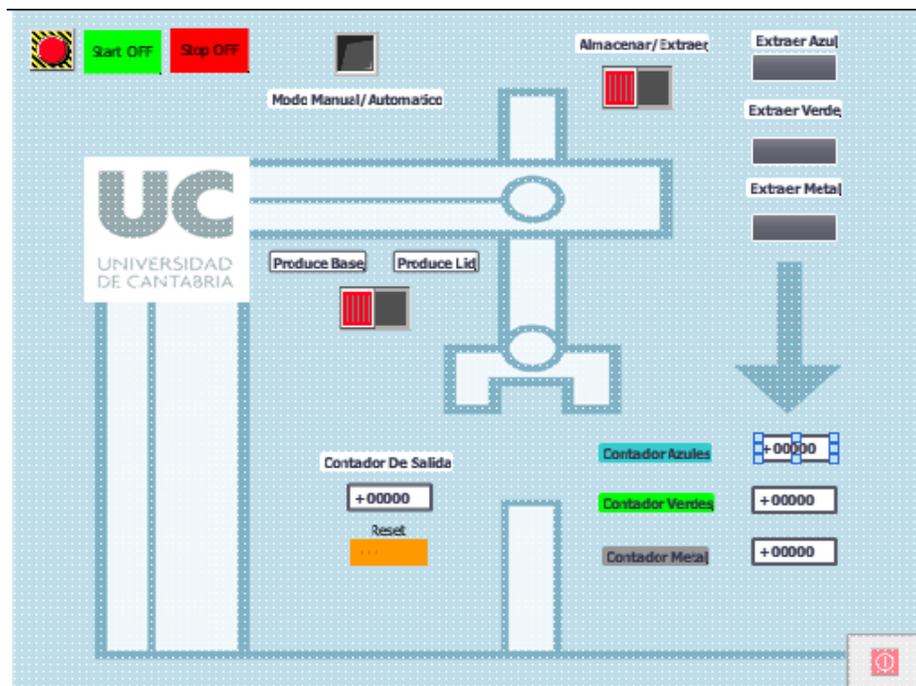


Figura 23. Botonera Virtual completa

#### 1.4.4 SIMULACIÓN

La simulación necesitará de la conexión conjunta del WinCC, el código cargado en el PLCSIM y del Factory I/O. Para realizar la conexión entre el PLCSIM y el Factory la página oficial de RealGames pone a disposición un template que deberá ser añadido al bloque de programa.

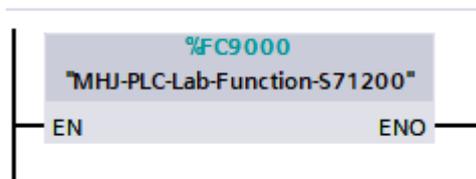


Figura 24. Template de conexión

Lo primero será realizar dicha operación de carga pulsando en el botón superior del menú llamado iniciar simulación. Una vez hecho el programa comenzará la carga y arrancará el PLCSIM. Una vez aparezca la siguiente ventana se debe pulsar cargar.

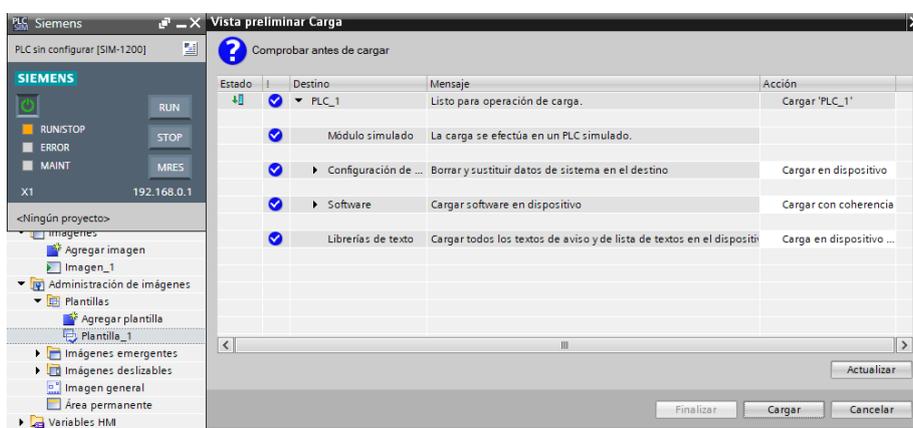


Figura 25. Carga del bloque en el PLCSIM

Posteriormente se permitirá arrancar el PLCSIM y se pulsará en finalizar. El programa se ha cargado con éxito y se procede a arrancar el Runtime. Junto al botón de iniciar simulación antes utilizado se encuentra el inicio del Runtime. Presionándolo arrancará el sistema WinCC y mostrará la pantalla de comandos activa.

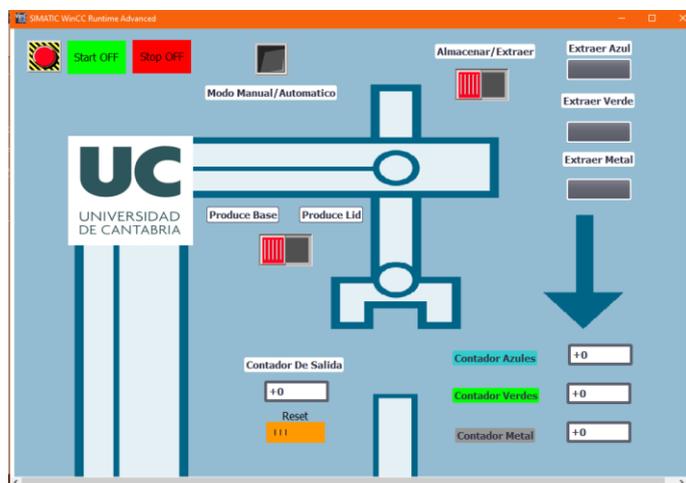


Figura 26. Runtime activo

## 1.5. FACTORY I/O

### 1.5.1 Descripción del software

Factory I/O es un simulador de fábricas 3D muy útil para el aprendizaje de tecnologías para automatización. Su desarrollador, Real Games, aboga por una accesibilidad sencilla y realista, en especial para la gente joven ya que incluye mecánicas de trabajo similares al resto de sus productos tan consumidos por personas de dicho rango de edad. Facilita además un gran catálogo de manuales y descripciones de sus elementos, así como una detallada guía online muy útil para consultar tanto trabajando como aprendiendo.

El programa trae consigo una serie de escenas predefinidas que ayudan a la introducción a todo tipo de elementos, pues vienen ya configuradas para su uso y preparadas para asociar a un bloque de tipo portal. En ellas se puede probar el funcionamiento de todas las estaciones y prácticamente todos los actuadores disponibles para después poder aplicarlos debidamente en el proyecto a realizar.

#### 1.5.1.1 Elementos disponibles

Dispone de una amplia gama de elementos divididos en 9 categorías:

- Ítems: compuesto por todas las cajas y piezas que circularán por el proceso industrial, pudiendo trabajar con cajas de diversos tamaños, piezas de tres colores y tres tipos distintas o pallets de apoyo necesarios para la circulación en ciertas estaciones de trabajo.
- Carga pesada: lo forman todos los elementos de circulación de objetos de mayor peso, por lo que son robustos, anchos y poseen poca altura y velocidad de operación. Están relacionados directamente con los ítems como cajas o pallets.
- Carga ligera: se compone de elementos de circulación dedicados al transporte único de piezas o cajas pequeñas, lo cual permite el uso de maquinaria asociada como clasificadores en forma de brazo, ruedas giratorias o 'pushers' que permiten su desplazamiento a distintas líneas de producción, o maquinaria de alineación que requiera de posiciones concretas de los elementos.
- Sensores: se dispone de una pequeña variedad de sensores, pero dedicados a procesos muy comunes como la detección de materiales, elementos conductores, o

códigos de barras. Además, se permite la clasificación de los objetos según su altura, peso o color y tipo en el caso de las piezas.

- Operadores: engloba todos los elementos de actuación sobre la planta ya sean botones, potenciómetros o selectores, y de control, como contadores o indicadores.
- Estaciones: poseen mayor complejidad que el resto de elementos ya que están dedicadas a la operación directa sobre los ítems. Se forman por un conjunto de elementos cerrado que dispone de su propio sistema de entrada, salida, botonera y sensórica.
- Elementos de alarma: una de las grandes ventajas de este programa es la posible introducción de errores o fallos en cada uno de los elementos, los cuales se comunican en planta mediante alarmas visuales o auditivas.
- Pasarelas: Factory I/O añade estructuras de protección o de accesibilidad a ciertas zonas de la fábrica como medida de realismo y acercamiento a lo que sería una planta de producción real. Estos elementos no disponen de ningún tipo de control desde el PLC.
- Introducción y extracción de ítems: para introducir o extraer elementos se ha de hacer uso de estos sistemas, que simulan la entrada y salida de fábrica de los materiales.

El control de todos estos elementos se dividirá entre los dedicados a la detección (sensores introducidos manualmente o pertenecientes a las estaciones) o los actuadores (todos aquellos que producen algún efecto directo en la planta), y se podrán configurar de manera digital, analógica o híbrida entre ambos casos anteriores. De esta forma se realiza una simple asociación entre entradas y salidas del controlador, pero limita la lectura de las posibles marcas del sistema que quedarán como variables de operación, y no de lectura por parte de la simulación del Factory I/O. Cabe añadir que las librerías de elementos son cerradas y no permite la introducción ni modificación de ninguno de los elementos, lo cual puede suponer una limitación en el proceso de diseño. También se dispone de una limitación en la cantidad de direcciones que puede soportar el Factory I/O, llegando en el caso de las salidas a dicho valor, en la dirección 60.0 debido a la amplia necesidad de salidas analógicas para el proceso llevado a cabo.



Figura 27. Vista general elementos de Factory I/O

### 1.5.2 Descripción de la fábrica



Figura 28. Vista general de la fábrica

Como ya se ha explicado previamente, el objetivo de la fábrica es la salida a mercado de los productos tipo 'Base' y el almacenamiento o salida de los productos tipo 'lid'. Para ello se realiza una bifurcación posterior a su producción para cada una de las líneas de producción. Además, se han añadido elementos de seguridad como alarmas o vallas y una plataforma de operación donde se encuentra una botonera general acoplada a una caja eléctrica y los contadores de piezas almacenadas y enviadas a tienda.



Figura 29. Plataforma de operación general

La botonera dispone de un botón de Start, uno de Stop, un paro de emergencia y un Reset dedicado a recargar el valor inicial del contador de elementos de salida si es preciso. Tanto los botones como los contadores van cableados desde esta plataforma hasta el armario donde se guarda el PLC.

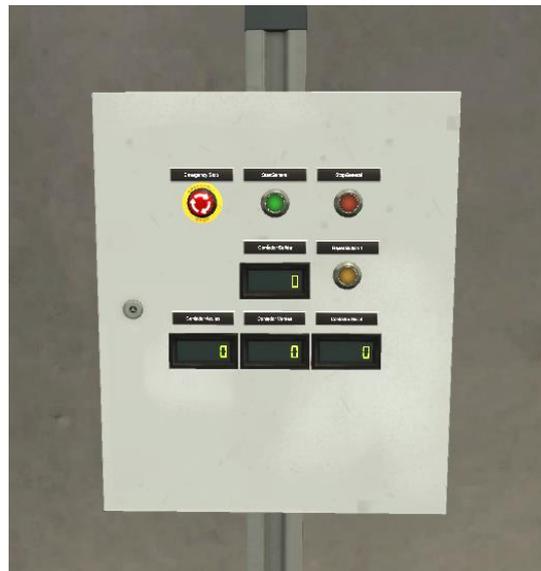


Figura 30. Botonera general

### 1.5.2.1 Producción de piezas

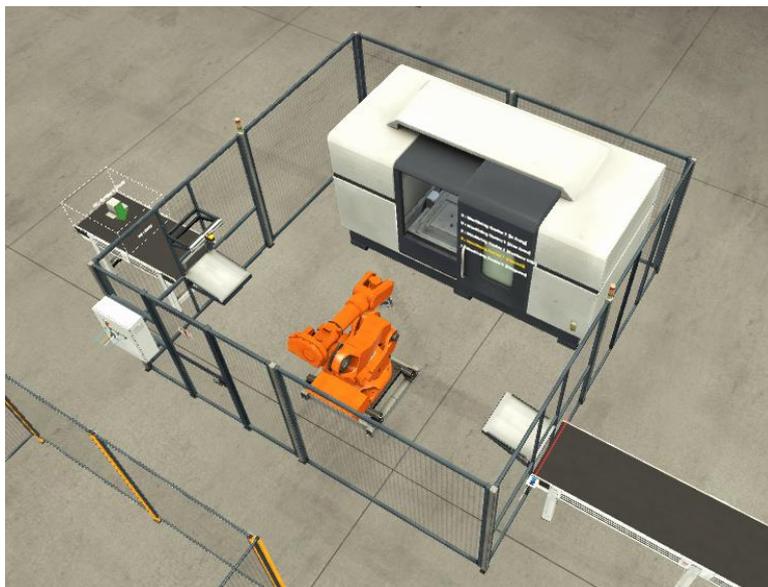


Figura 31. Vista general introducción y procesado de piezas

El proceso productivo comienza con la introducción de las piezas a través del 'Emitter 1'. Este está configurado para que las piezas que aparecen sean de cualquiera de los 3 posibles colores (azul, verde o metal) y en estado de 'Raw', el cual permite su posterior producción. El actuador asociado se activará como se ha visto previamente en el controlador dando un pulso.



Figura 32. Ejemplo introducción de piezas

Una vez introducida, una cinta la transportará hasta la estación de producción denominada 'Machine Station'. Esta estación dispone de los siguientes elementos de control.

Sensores:

- 'Machining Center Is Busy' (digital), indica que la estación de mecanizado está en funcionamiento.
- 'Machining Center Has Error' (digital), detecta o fuerza un posible error tanto en el transporte de la pieza como en su procesado.
- 'Machining Center Opened' (digital), describe si la puerta de la máquina de producción está abierta o no.
- 'Machining Center Progress' (float), timer de 0 a 100 que muestra el progreso de la pieza dentro de la máquina.

Actuadores:

- 'Machining Center Produce Lids' (digital), permite modificar el tipo de material a producir, activo para 'Lid', a cero para 'Base'

A la entrada dispone de un sensor que detecta la pieza y activa el brazo robótico, el cual la desplaza hasta la estación de mecanizado donde se procesará. La elección del tipo de pieza a producir ('Base' o 'Lid') será de forma manual a través del panel de control que dispone la propia estación o de la botonera virtual realizada con WinCC. El tiempo de procesado de la pieza varía dependiendo del color y del tipo, fluctuando desde los 3 a los 6 segundos, y podrá ser medido gracias a la variable antes descrita. Una vez procesada, el brazo cogerá la pieza y la situará en la salida de la estación.

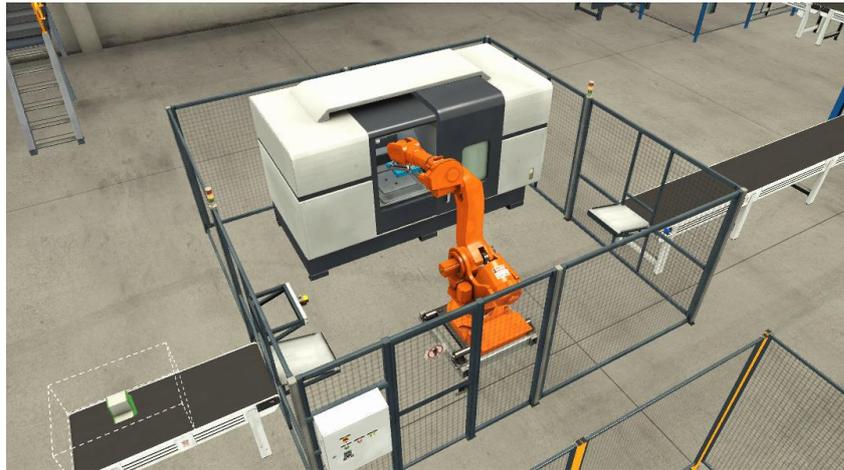


Figura 33. Ejemplo Machine Station

La mencionada botonera perteneciente a la estación posee 4 botones de actuación, siendo estos un 'Start' de arranque, un 'Stop' de parada sin reinicio, un 'Emergency Stop' de para con reinicio y un 'Reset' que devuelve a la maquina a su estado inicial. Además, para la elección de la pieza a producir se ha añadido un selector de dos posiciones que permite elegir la pieza a producir.



Figura 34. Botonera Machine Station

### 1.5.2.2 Elección de línea de producción

A la salida de 'Machine Station' hay un sensor difuso que detecta el paso de cualquier objeto a través de él y es usado para emitir un pulso que activará la introducción de una y solo una nueva pieza. Esto genera un ciclo de producción continuo y controlado sin generar colas en el inicio.

La pieza ahora se desplaza a través de una nueva cinta hasta llegar a la estructura dedicada al sensor de visión, el cual detectará el tipo de pieza que es. Este sensor estará configurado como analógico y devolverá un integral para cada tipo de pieza que detecte. Los valores se leerán son los siguientes:

- 2 para material tipo 'Lid' azul
- 3 para material tipo 'Base' azul
- 5 para material tipo 'Lid' verde
- 6 para material tipo 'Base' verde
- 8 para material tipo 'Lid' metal
- 9 para material tipo 'Base' metal

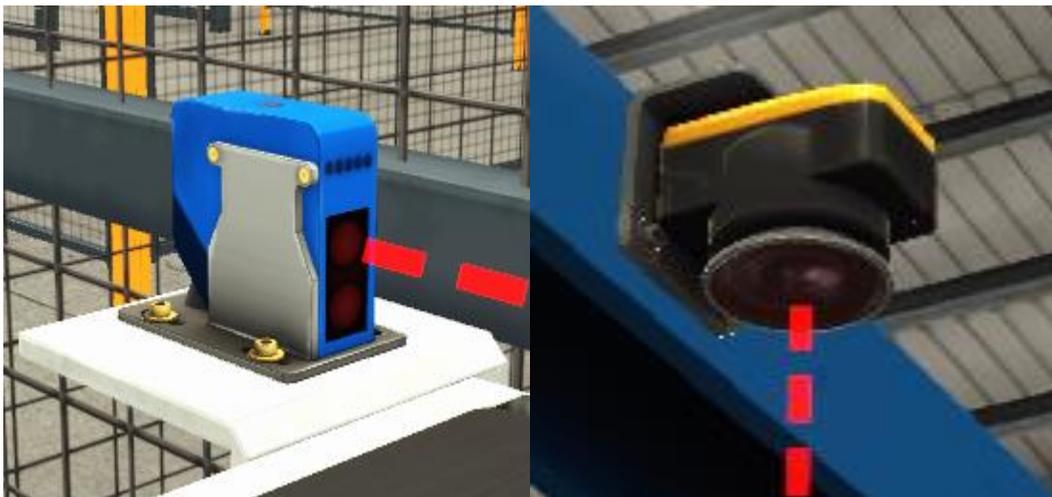


Figura 35. Sensores Difuso y de Visión

Una vez clasificada se coloca un seleccionador de línea de producción del tipo rueda que permite bifurcar caminos. Las 'Bases' seguirán el camino descrito por la flecha roja y los 'Lids' el de la flecha azul.

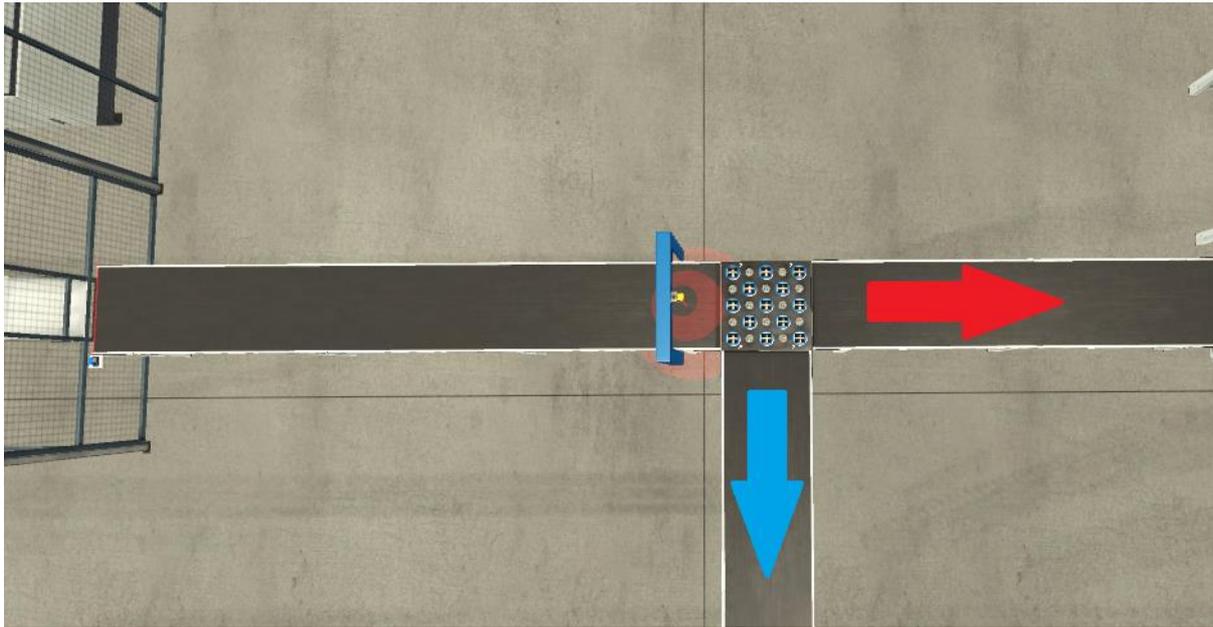


Figura 36. Bifurcación de caminos

### 1.5.2.3 1ª Línea de producción: División de color

El propósito de esta línea es la salida a tienda de paquetes de 3 piezas de cada color en una misma caja apilable. Es por ello que ahora se necesita hacer una división de las piezas entrantes según su color. El valor integral del sensor ya nos permite hacer dicha clasificación por lo que se diseñan tres caminos de entrada a la zona de los 'Pick N' Place', cada uno para un color. El camino de las piezas azules será el más lejano y no dispondrá de ningún clasificador, mientras que el camino de las verdes y metálicas posee un brazo con cinta que las desplazará al camino correspondiente como se ve en la imagen. A la entrada de estos dos últimos caminos sitúo un sensor retroreflectante con una pantalla que verá cortado su haz de luz con el paso de una pieza y, con ello, restablecerá el brazo que realiza el desvío a su posición inicial.

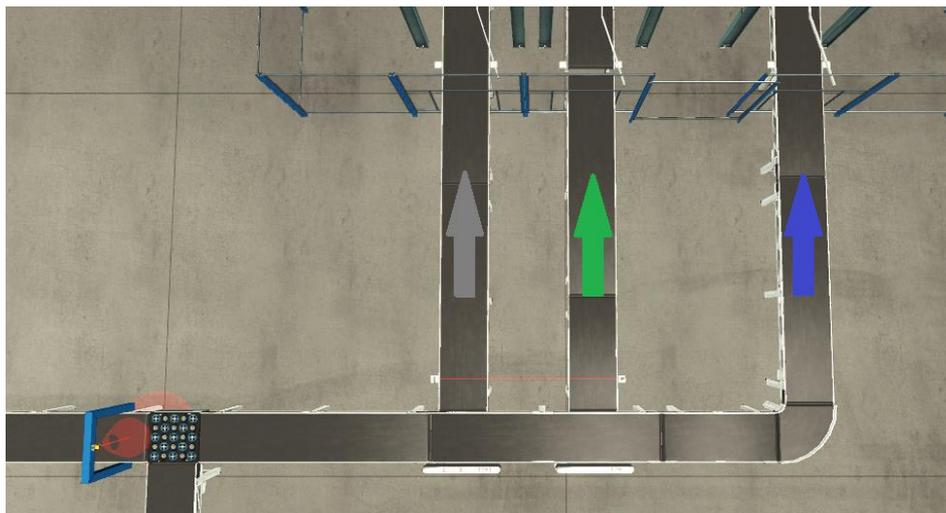


Figura 37. Vista general de los 3 caminos a recorrer según el color de la pieza

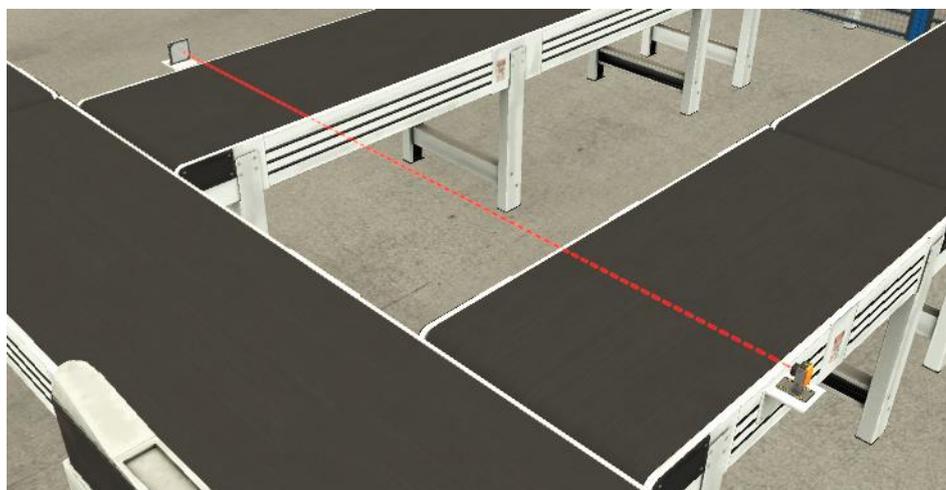


Figura 38. Sensor retroreflectante para el control de los brazos

#### 1.5.2.4 1ª Línea de producción: Zona Pick N' Place

Aquí se realiza la carga de las piezas en la caja en paquetes de 3. Para ello se hace un cambio de cinta a railes a través de 3 Pick N' Place. El funcionamiento de cada uno de ellos es análogo, tanto la estación como los sensores añadidos por lo que se desarrolla el funcionamiento de uno de ellos y podrá ser aplicado a cualquiera de los 3.

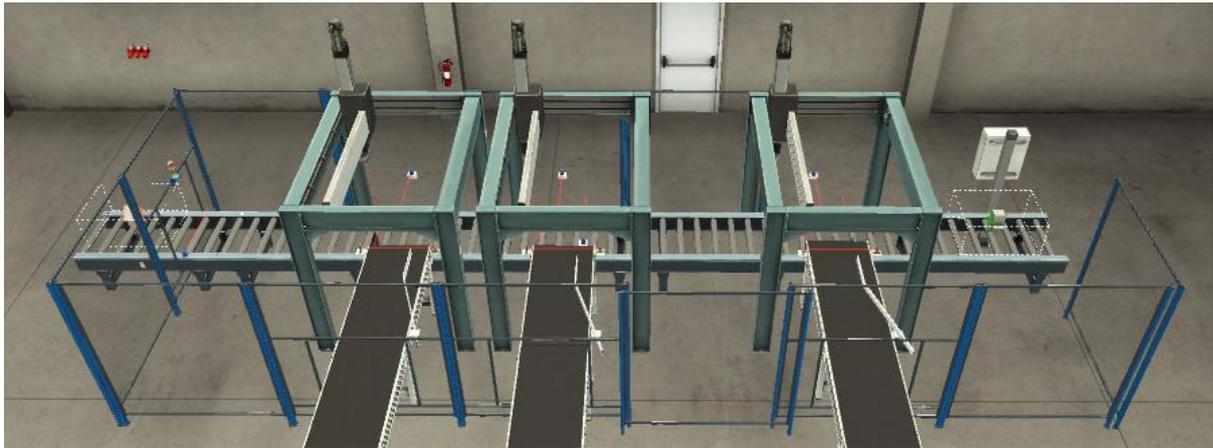


Figura 39. Vista general Pick N' Places

Las cajas serán introducidas por otro 'Emitter' situado en el inicio del primer rail, junto con otro panel eléctrico que dispondrá de botón de emergencia, contador de salida y Reset.



Figura 40. Botonera zona Pick N' Place

Para controlar la posición y el parado de la cinta necesarios para que actúe debidamente la estación se requiere la introducción de dos barras alineadoras de la pieza, así como de un sensor retrorreflectante que indiquen cuando es momento de comenzar la operación de traslación de la pieza. Este método también será aplicado a las 3 líneas por igual.

La estación de Pick N' Place depositará la pieza en la caja y está configurada de forma analógica. Los valores de entrada que necesita serán valores de tensión de 0-10V

que ella misma traduce en movimiento de la grúa. Dispone de los siguientes elementos de control.

#### Sensores:

- 'Pick N' Place Base Detected' (digital), indica si el sensor de la grúa ve una pieza
- 'Pick N' Place C Limit' (digital), activo cuando la grúa se encuentra en la posición inicial
- 'Pick N' Place Position X' (analógico), valor en voltios actual de la grúa en el eje X
- 'Pick N' Place Position Y' (analógico), valor en voltios actual de la grúa en el eje Y
- 'Pick N' Place Position Z' (analógico), valor en voltios actual de la grúa en el eje Z

#### Actuadores:

- 'Pick N' Place Grab' (digital), bit que permite el agarre de la pieza por aspiración.
- 'Pick N' Place Set Position X' (analógico), valor real en voltios que se traslada a la grúa para realizar el movimiento en el eje X
- 'Pick N' Place Set Position Y' (analógico), valor real en voltios que se traslada a la grúa para realizar el movimiento en el eje Y
- 'Pick N' Place Set Position Z' (analógico), valor real en voltios que se traslada a la grúa para realizar el movimiento en el eje Z

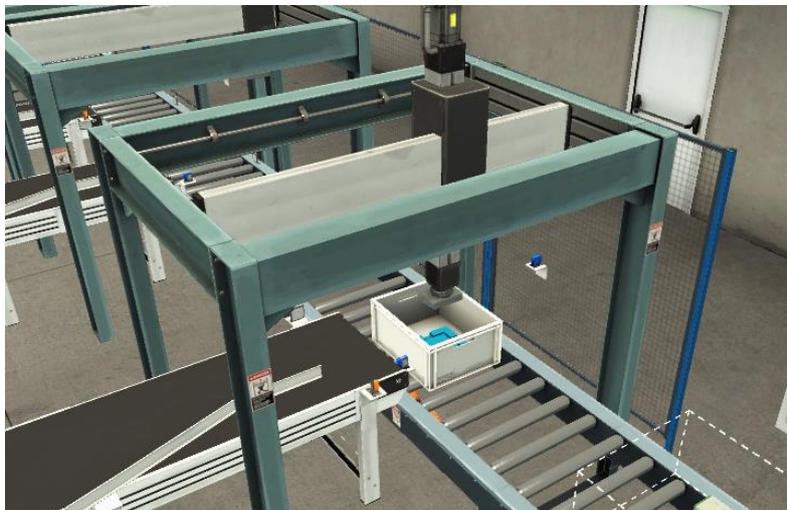


Figura 41. Ejemplo movimiento de pieza

Además, por motivos de seguridad, se le añaden a la estación vallas que eviten la entrada, como se puede observar en las imágenes, puertas de seguridad para el paso de las cintas y una señal visual que nos indica el estado de la estación.



Figura 42. Señal visual de seguridad

#### 1.5.2.5 1ª Línea de producción: Raíles de salida



Figura 43. Vista general raíles de salida

Parte final de la línea de producción que lleva el producto completado a su salida a tienda. Se encargará de que cada caja posea una pieza de cada color, por lo que necesitará desplazar la caja tanto hacia delante como hacia detrás en función de la necesidad de cada situación. En su inicio posee el mencionado 'Emitter' que introduce una caja cada vez que sale otra con el producto completo. Está compuesto por dos raíles con la capacidad de moverse en ambos sentidos y un último rail que conduce al elemento 'Remover', que el programa utiliza para simular su salida de la fábrica. En la imagen de ejemplo se puede observar cómo, después de haber introducido la pieza metálica en la caja, se vuelve hacia detrás para recoger la pieza azul.

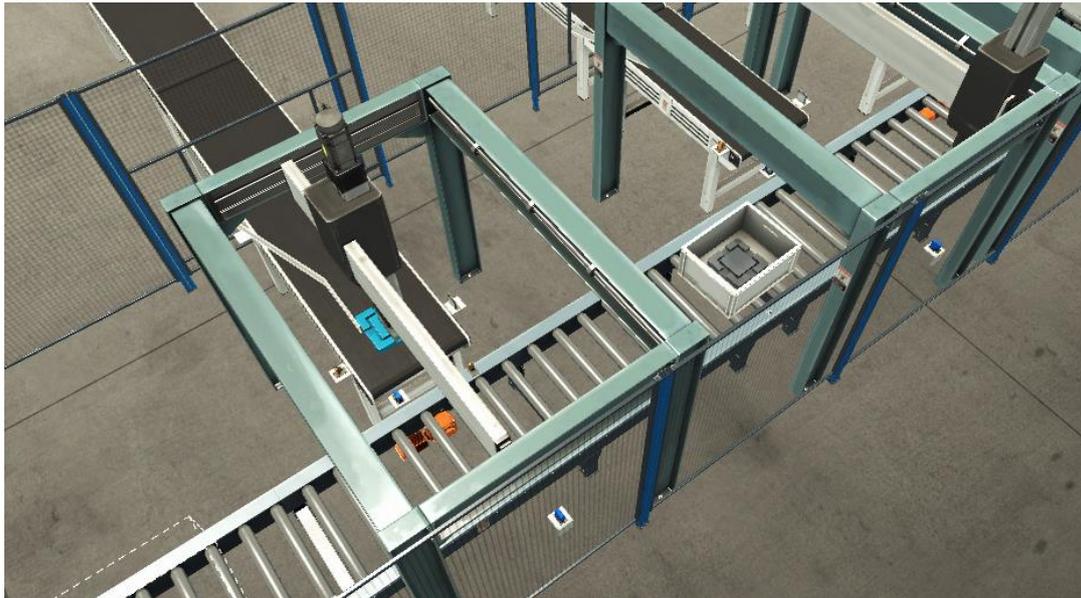


Figura 44. Ejemplo movimiento negativo de los railes

Para el control del raíl y de la posición correcta a la hora de depositar la pieza se hace uso de 3 sensores, dos difusos y uno retrorreflectante. Este último se encargará de parar la caja en el sentido positivo del movimiento una vez detecte el tipo de pieza que viene. Por otro lado, los sensores difusos se encargarán de detener la caja en el sentido negativo del movimiento cuando se posea una pieza posterior y se detecte la entrada de una anterior que reste para hacer el grupo de 3, y de indicar a la grúa del Pick N' Place cuando detener el movimiento en el eje Y para que suelte la pieza sobre la caja. Este sistema es igual para las otras dos estaciones posteriores salvo por la ultima, que no necesitará del sensor difuso que regule el movimiento negativo.



Figura 45. Sensores asociados a los railes

Debido al sistema aleatorio de entrada de piezas se prevé la posibilidad de dejar piezas en cola esperando a su ciclo de introducción a la caja adecuado. Una vez termine el

proceso de un grupo de piezas se comenzará por introducir las almacenadas en la cola respecto a las que entren por el sensor de visión y respetando siempre el límite de 3 de cada color. La espera de las piezas se realiza en la última cinta previa a la de introducción al Pick N' Place.



Figura 46. Ejemplo cola de salida

### 1.5.2.6 2ª Línea de producción: Pick N' Place de 2 ejes

Comenzando con la segunda línea de producción se parte desde el clasificador de rueda y se llega a una estación de Pick N' Place de dos ejes. Una cinta lleva la pieza hasta la estación y se detiene justo debajo del brazo gracias a un sensor difuso. Con motivo de probar otro tipo de configuración, se trabajará con este Pick N' Place en modo digital, lo cual restringe el movimiento a posiciones absolutas o de reposo del brazo mediante pulsos de activación. Para su adaptación a la línea de montaje es necesario añadir otros dos sensores difusos para determinar las posiciones de inicio y fin de rotación. La estación consta de.

#### Sensores:

- 'Two-Axis Pick & Place Detected' (digital), activo cuando el brazo se encuentra sobre una pieza
- 'Two-Axis Pick & Place Moving X' (digital), activo mientras el brazo se esté moviendo en el eje X
- 'Two-Axis Pick & Place Moving Z' (digital), activo mientras el brazo se esté moviendo en el eje Z

- 'Two-Axis Pick & Place Rotating' (digital), activo mientras el brazo este rotando 90°
- 'Two-Axis Pick & Place Grip Rotating' (digital), activo mientras el grip del brazo este rotando 90°

#### Actuadores:

- 'Two-Axis Pick & Place Grab' (digital), permite al brazo coger la pieza
- 'Two-Axis Pick & Place Gripper CW' (digital), gira el gripper 90° en el sentido de las agujas del reloj
- 'Two-Axis Pick & Place Gripper CCW' (digital), gira el gripper 90° en el sentido contrario a las agujas del reloj
- 'Two-Axis Pick & Place Rotate CW' (digital), realiza un giro de 90° del brazo en el sentido de las agujas del reloj
- 'Two-Axis Pick & Place Rotate CCW' (digital), realiza un giro de 90° del brazo en el sentido contrario a las agujas del reloj
- 'Two-Axis Pick & Place X' (digital), desplaza el brazo hasta el máximo rango de acción en el eje X
- Two-Axis Pick & Place Z' (digital), desplaza el brazo hasta el máximo rango de acción en el eje Z

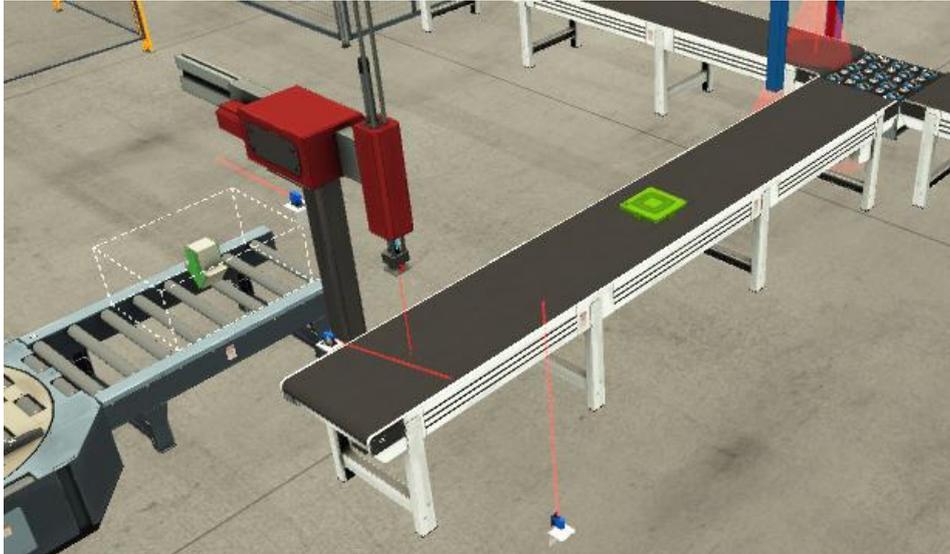


Figura 47. Ejemplo entrada a la 2ª línea de producción

La estación deposita la pieza en una caja apilada en un pallet, que a través de unos railes la transportará hasta el almacén.



Figura 48. Ejemplo transporte de la pieza en el Pick N' Place de dos ejes

### 1.5.2.7 2ª Línea de producción: Railes y Plataforma giratoria

Este proceso llevará la pieza desde la estación del Pick N' Place de dos ejes hasta el almacén. El uso del pallet en esta línea además de la caja es debido al método de almacenaje, pues la grúa necesita de este para el desplazamiento. El giro se realiza mediante una plataforma giratoria que recibe la pieza, gira 90° en el sentido contrario a las

agujas del reloj, y la desplaza al rail de nuevo. El giro es controlado por los actuadores de movimiento tanto positivo como negativo dentro de la plataforma y por el que permite el giro (restringido a los mencionados 90°). Posee también dos sensores que indican cuando la pieza ha llegado a los límites de la mesa, necesarios para iniciar o detener el movimiento, así como de un indicador de la posición actual, ya sea la original o girada. Posterior al giro otros raíles conducen el material a la estación de almacenaje. Previo a su llegada es necesario incluir un raíl sin rodillos completos para liberar espacio a las horquillas, así como un sensor retrorreflectante que detenga el raíl.



Figura 49. Ejemplo plataforma rotativa

### 1.5.2.8 2ª Línea de producción: Grúa y Estantería

Segundo final de línea de producción que permite almacenar piezas ordenadas según su color o extraerlas de la fábrica.



Figura 50. Vista general almacén

La estación esta configurada de manera hibrida entre señales digitales y analogicas, que es la tercera y última forma de configuracion a probar, y consta de los siguientes elementos.

#### Sensores:

- 'Stacker Crane Middle Limit' (digital), indica si la pieza está en la grúa en su posición central
- 'Stacker Crane Right Limit' (digital), activo cuando la horquilla llega al punto máximo de extensión en el sentido derecho
- 'Stacker Crane Left Limit' (digital), activo cuando la horquilla llega al punto máximo de extensión en el sentido izquierdo
- 'Stacker Crane Moving-X' (digital), activo mientras la grúa se esté desplazando en horizontal hacia cualquiera de los puestos de almacenaje
- 'Stacker Crane Moving-Z' (digital), activo mientras la grúa se esté desplazando en vertical hacia cualquiera de los puestos de almacenaje

#### Actuadores:

- 'Stacker Crane Lift' (digital), levanta la horquilla para que no esté en contacto con los railes
- 'Stacker Crane Left' (digital), desplaza la horquilla a la izquierda hasta su máxima extensión
- 'Stacker Crane Right' (digital), desplaza la horquilla a la derecha hasta su máxima extensión
- 'Stacker Crane Target Position' (integral), valor numérico correspondiente al número de celda requerida en cada situación

Esta estación también posee su propio panel eléctrico que nos permite seleccionar que operación realizar, almacenaje o extracción, y en el segundo caso el tipo de pieza a extraer mediante un selector de tres estados. Además, también se incluye un paro de emergencia como medida de seguridad, así como vallar todo el recinto para evitar la entrada de personas.



Figura 51. Panel eléctrico estación de almacenaje

La pieza llega a través de los railes antes descritos y se detiene al ser detectada por el sensor retrorreflectante. En ese momento la horquilla se desplaza hacia la izquierda introduciéndose en el pallet, que eleva la pieza y la situa en la grúa.



Figura 52. Ejemplo de carga de pieza en la grúa

La distribución de los puestos dedicados a cada color esta ordenada dejando las dos primeras filas para las piezas azules, las dos siguientes para las piezas verdes y las dos últimas para las de metal. El sensor de visión antes mencionado permite dar el valor apropiado a la grua en cada caso. La forma de almacenaje será secuencial, es decir, se irán llenando los puestos en orden hasta llegar a su máxima capacidad, donde el programa impedirá la entrada de mas piezas de ese tipo y las envia directamente a tienda.

De esta forma la grúa se encuentra en posición de desplazarse a cualquiera de los puestos. Para conocer la posición de origen de la grúa se ha de añadir un sensor difuso que se anule una vez se abandona dicha posición. Una vez llegado a la posición debida la

horquilla deposita la pieza en su puesto y vuelve a la posición original con la horquilla preparada para coger otra pieza.

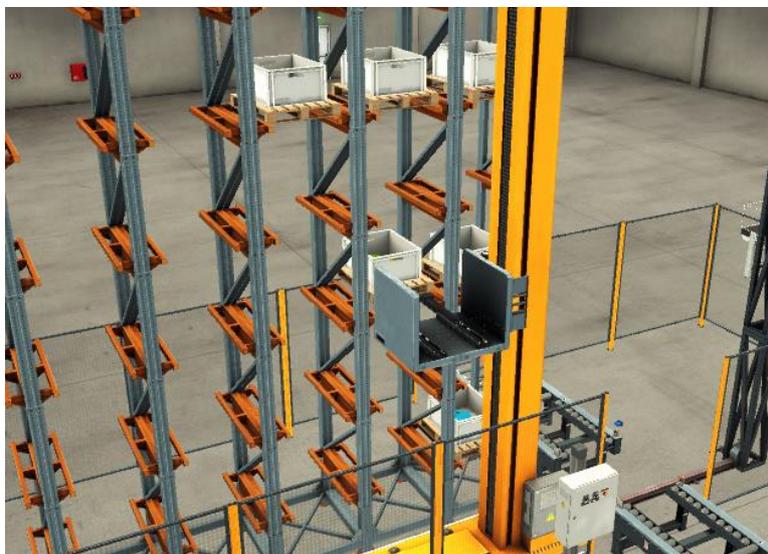


Figura 53. Ejemplo almacenado de pieza

El método de extracción es similar al de almacenaje. Se debe accionar los selectores de la fábrica de forma manual o a través de la botonera virtual y además dirigir la producción a la otra línea para evitar colapsos en la grúa. El sistema general se define como FILO, con lo cual se extraerá de manera automática la última pieza introducida del color deseado. Una vez recogida se vuelve a la posición inicial con la pieza elevada y se desplaza hacia la derecha para situarla en los raíles de salida. Se ha de colocar un sensor retrorreflectante en el rail de descarga para indicar que la pieza se ha extraído correctamente. Por último, la pieza es transportada por los raíles hasta el 'Remover' que simula la salida a tienda.

### 1.5.3 Conexión con Tia Portal y simulación

El Factory I/O prevé la necesidad de conexión de su sistema de simulación con autómatas programables, por lo que añade los 'templates' necesarios para cada uno en su página web. En este caso se va a necesitar el relacionado a Siemens con la versión V15 con la que se trabaja, que puede conectar a través del PLCSIM o por red de internet. El primero de los métodos es más sencillo y da menos errores de conexión, por lo que es el que se ha elegido. Para realizar la conexión se ha de ir a la pestaña Archivo y seleccionar Driver. Se ha de elegir el tipo de conexión (Siemens PLCSIM) y entrar en la pestaña de

configuración. Esto es necesario para especificar el tipo de controlador de la gama Siemens que se va a utilizar (este caso un 1200) y las entradas y salidas del sistema que han de conectarse con las establecidas en el Tia Portal. Cabe destacar como elementos de mejora que solo permite entradas de palabra o doble palabra sin poder establecer ambas a la vez en un mismo programa y que no permite la lectura ni escritura de marcas del sistema, lo cual obliga a la introducción de todos los módulos antes descritos. Esto va relacionado también con el límite de capacidad de entradas y salidas permitido, llegando hasta la 60.0 en ambos casos, lo cual puede suponer un problema en procesos con un elevado número de variables analógicas.

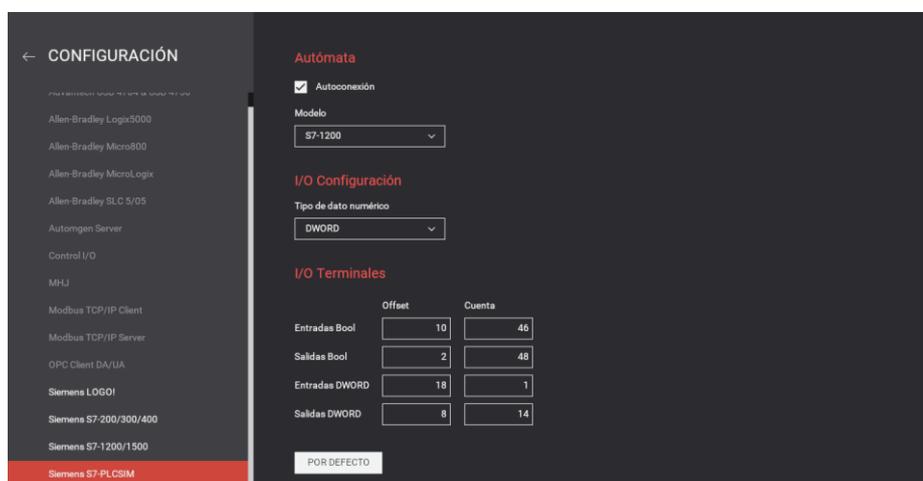


Figura 54. Configuración conexión con Tia Portal

Una vez adaptado al programa se han de asignar las entradas y salidas del PLC a las recién añadidas en el Factory. Se irá una por una arrastrando de los menús desplegables de izquierda y derecha los sensores y actuadores con sus respectivas entradas y salidas del controlador. Otro aspecto a tener en cuenta es que las direcciones virtuales ahora asignadas no deben de coincidir con las señales físicas reales, por lo que habrá que asignar valores distintos a los módulos añadidos o se sobrepondrán a la hora de simular.

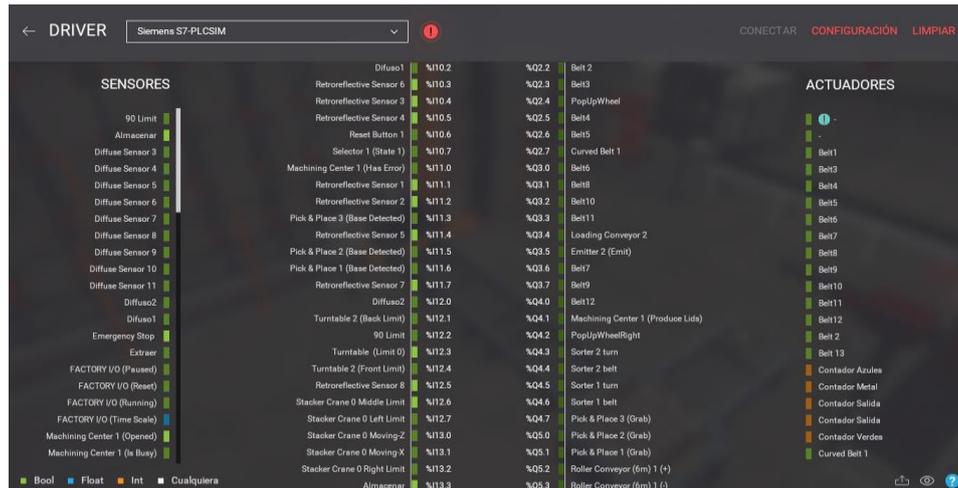


Figura 55. Asociación de variables de entrada y salida

Teniendo todo conectado se puede pasar a la simulación del programa. En la pantalla principal se dispone de los botones de inicio, parada y pausa de la simulación, así como de un control del tiempo al que corre en sistema, lo cual no es recomendable en ciertas ocasiones ya que existe un desfase entre el Factory I/O y el Tia Portal en la introducción de temporizadores. También se puede operar con 3 tipos de cámara distintos, manual, de seguimiento de objetos o la cámara peatón, que simula a un operario en su puesto de trabajo. Para este caso lo utilizado será la cámara manual que nos permite la mayor libertad de movimientos.



Figura 56. Panel de simulación de Factory I/O

## 1.6. CONCLUSIÓN

Los objetivos propuestos al inicio del proyecto se han cumplido, la fábrica se controla de forma automática a través del controlador y la interfaz visual funciona como método de interacción y visualización. Además, Factory I/O posee un nivel de realismo tal que las piezas no siguen un camino ni una posición exactamente igual, lo cual permite analizar casos diversos que también son solventados con el programa realizado.

No obstante, hay puntos del proyecto que podrían ser resueltos de otra forma o planteados de manera distinta para facilitar o mejorar la eficiencia del mismo:

- La introducción de las piezas está planteada de forma aleatoria, pero hacerlo de manera ordenada supondría facilitar programación y evitar colas o posibles errores en la 1ª línea de producción. Esto se hizo como medida de realismo en una producción, pero no sería descabellado implementar el proceso ordenado de introducción en una planta de verdad
- El sistema de colas implementado en dicha 1ª línea de producción podría ser más eficiente con la introducción de caminos dedicados a la cola o con el punto antes descrito, que no generaría cola alguna.
- El SCADA podría mostrar muchos más elementos del proceso productivo, así como un indicador de la posición exacta de cada línea o un histórico de datos. Esto se debe al desconocimiento total de este programa, pero con un mayor tiempo podría haberse solventado.
- El almacén está limitado por la capacidad de la estación, pero una forma de aumentarlo sería introduciendo otra más en serie con el primero. Para este proyecto se desechó la idea debido a que la programación sería exactamente igual y no aportaría ningún añadido nuevo al proyecto desde el punto de vista de complejidad.

Salvo por estos puntos descritos el proyecto llega a la conclusión de los objetivos. Cabe añadir que el software de Factory I/O es muy útil para la enseñanza y que sería una

buena medida introducirlo en conjunto con el Tia Portal para acercar a la automatización más realista a los alumnos, así como el uso de SCADA, tan extendido en la industria.

## 1.7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Página oficial Factory I/O [Next-Gen PLC Training - Factory I/O](#)
  
- [2] Manuales de Factory I/O <https://docs.factoryio.com/>
  
- [3] Manual de conexión de Factory I/O con Tia Portal  
<https://docs.factoryio.com/manual/drivers/>
  
- [4] Manual de elementos de Factory I/O <https://docs.factoryio.com/manual/parts/>
  
- [5] Manual de navegación de Factory I/O <https://docs.factoryio.com/manual/navigation/>
  
- [6] Manual de edición de fábrica de Factory I/O <https://docs.factoryio.com/manual/edit-and-run/>
  
- [7] Manual de introducción a los Tags de Factory I/O <https://docs.factoryio.com/manual/tags/>
  
- [8] Manual de escenas de Factory I/O <https://docs.factoryio.com/manual/scenes/>
  
- [9] Manual de conexión de Factory I/O con PLCSIM  
<https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/setting-up-s7-plcsim-v13/index.html>
  
- [10] Sistema de ayuda de Tia Portal del propio programa
  
- [11] Pagina de Siemens Tia Portal  
<https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html>
  
- [12] Pagina Siemens WinCC  
<https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/industrie-software/automatisierungs-software/tia-portal/software/simatic-wincc-tia-portal.html#SIMATICWinCCTIAPortalEngineeringSoftware>

## 2. ANEXOS

### 2.1 CODIGO DEL SISTEMA

Totally Integrated Automation Portal					
--------------------------------------	--	--	--	--	--

TFG / PLC\_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

**Main [OB1]**

Main Propiedades							
General							
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración	Automático						
Información							
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

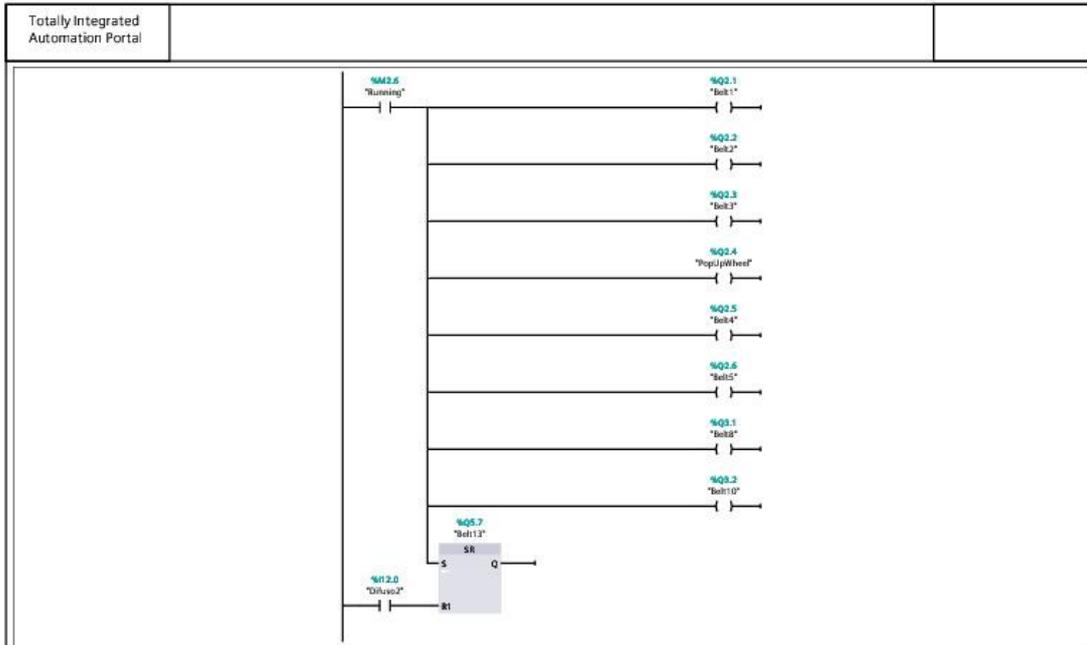
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		=True, if remanent data are available
Temp			
Constant			

**Segmento 1: Inicio**

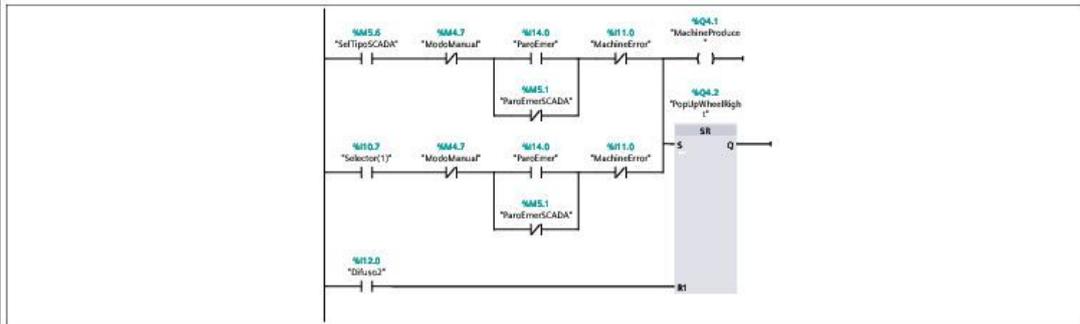
**Segmento 2:**

**Segmento 3: Emitters control**

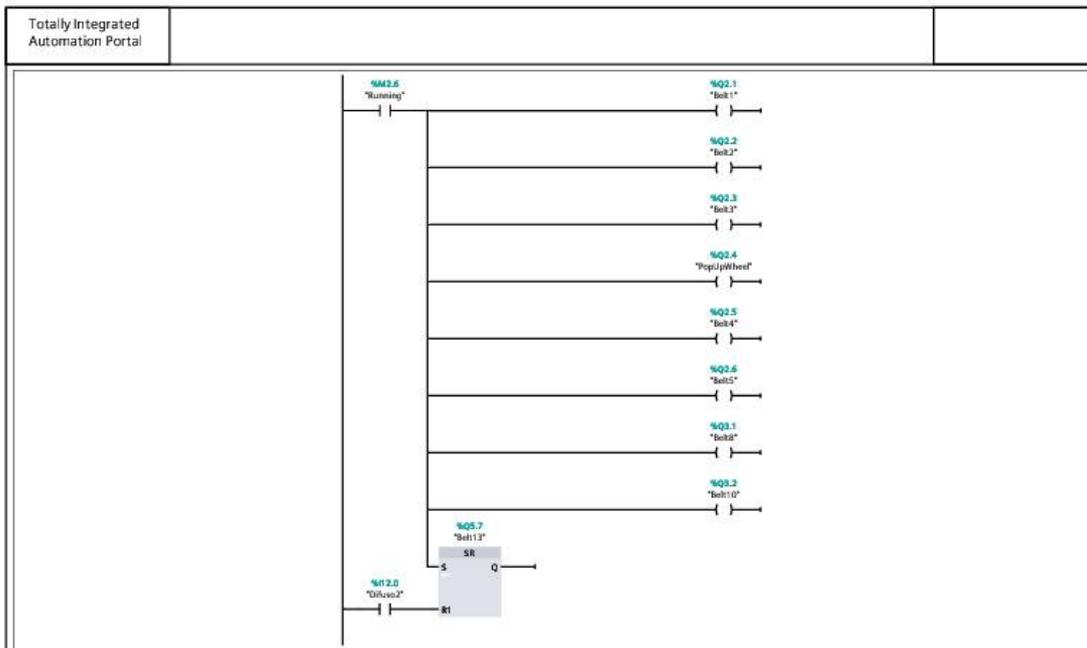
**Segmento 4: Belt Conveyors hasta sensor de vision 1**



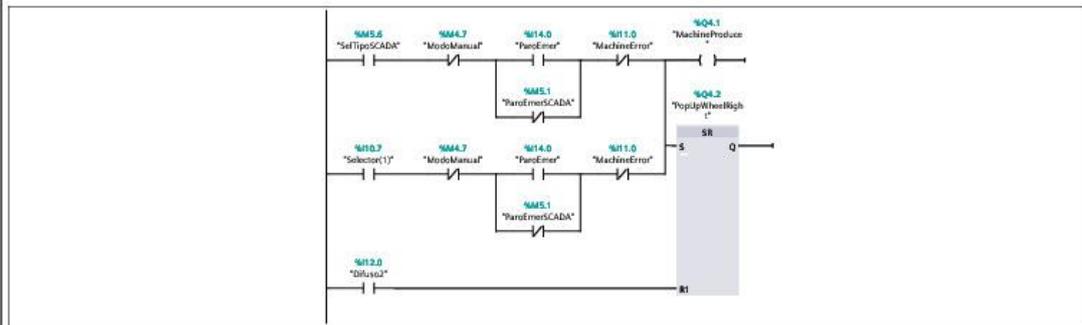
Segmento 5: Machine Station



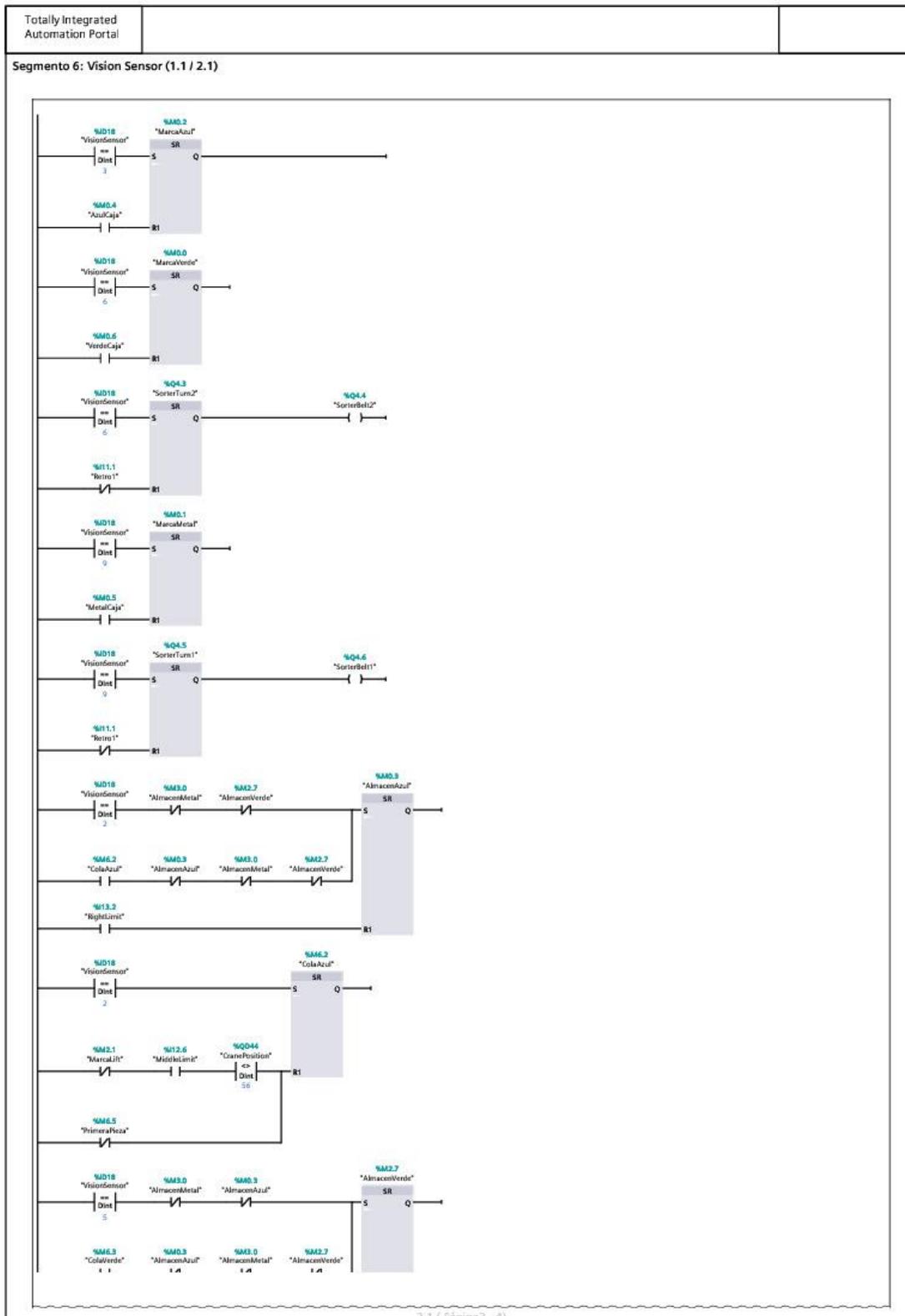
Segmento 6: Vision Sensor

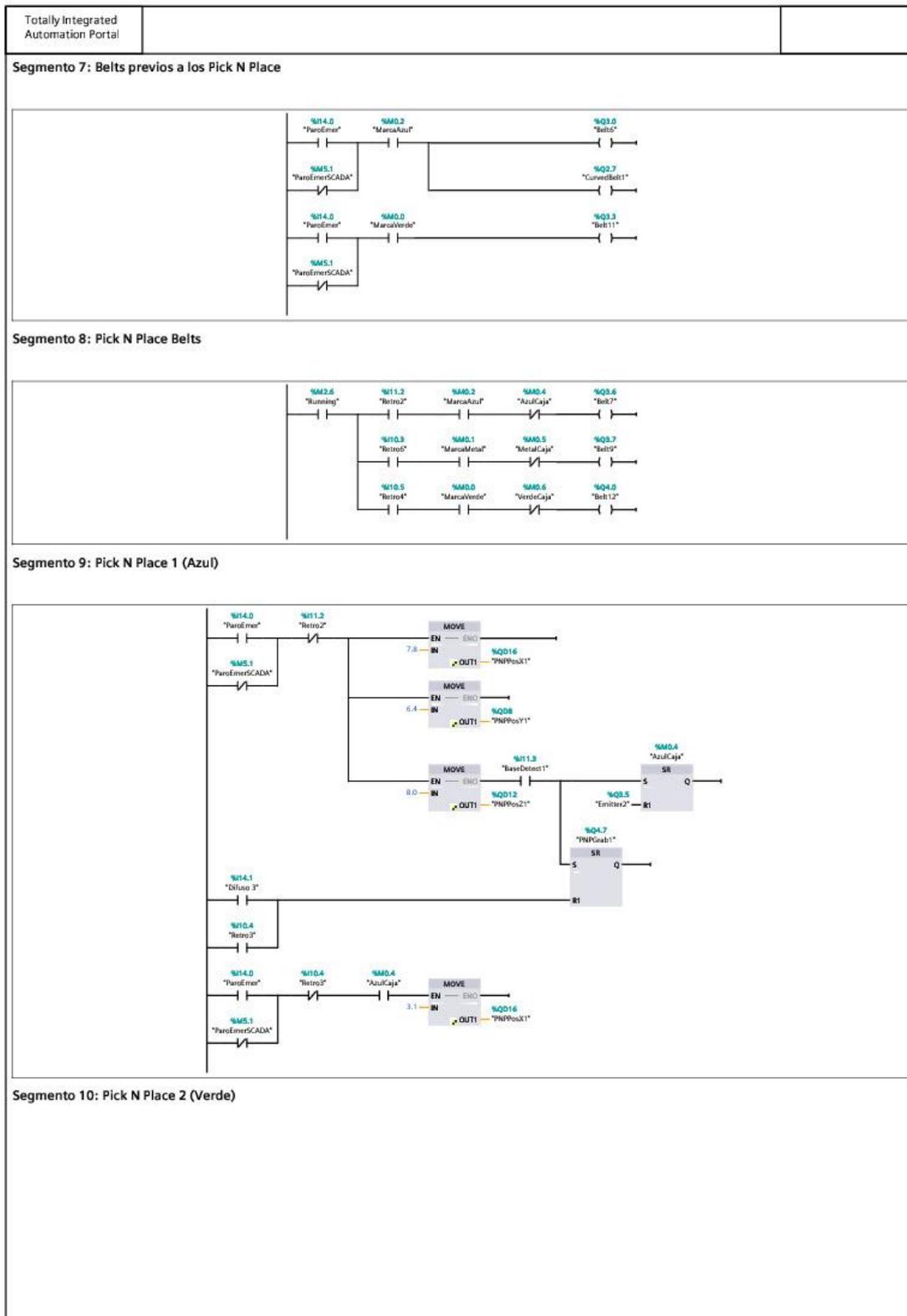


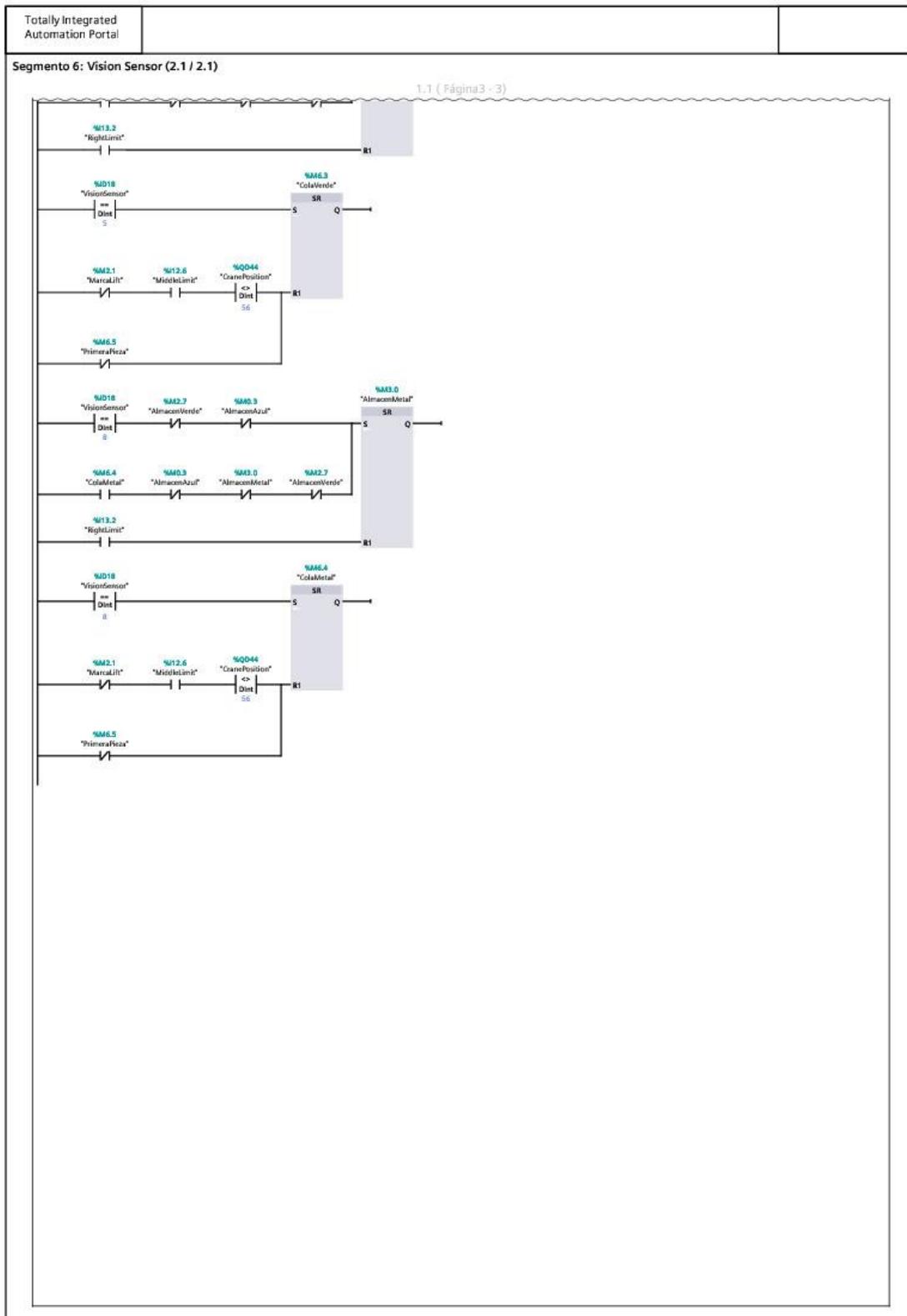
Segmento 5: Machine Station



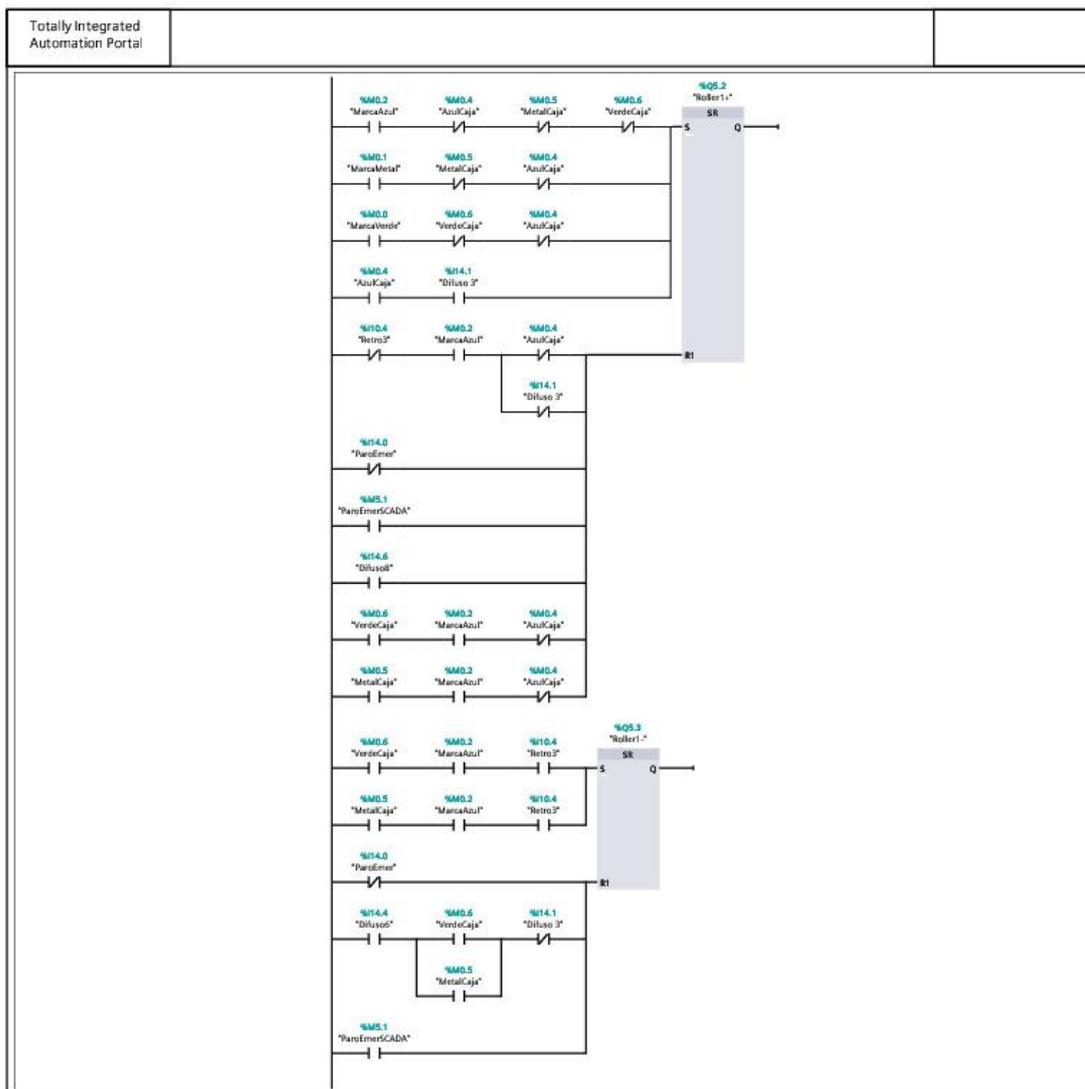
Segmento 6: Vision Sensor

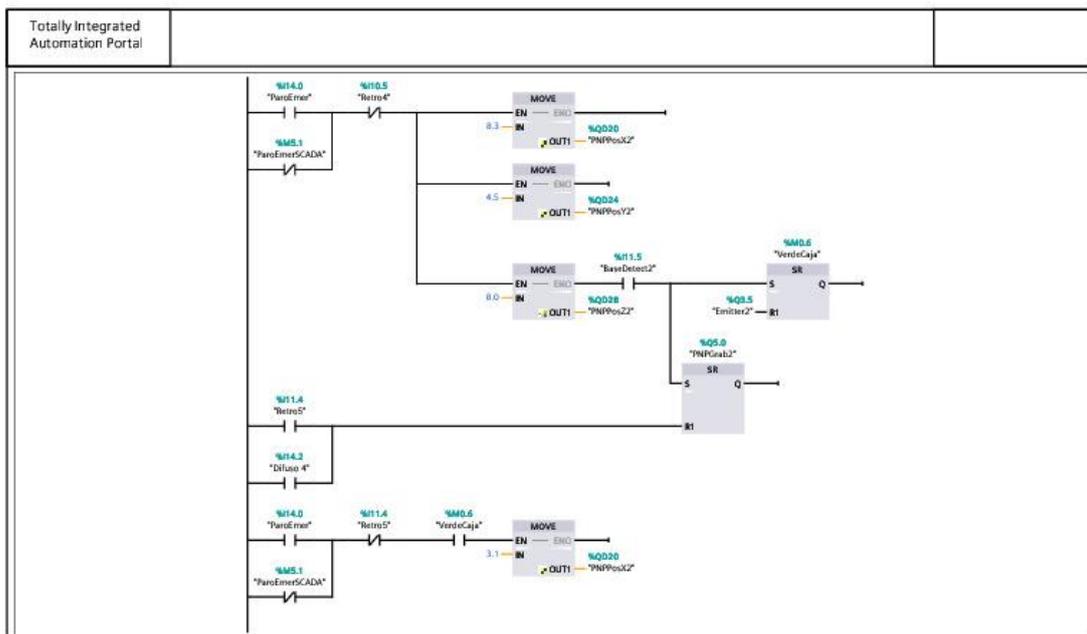




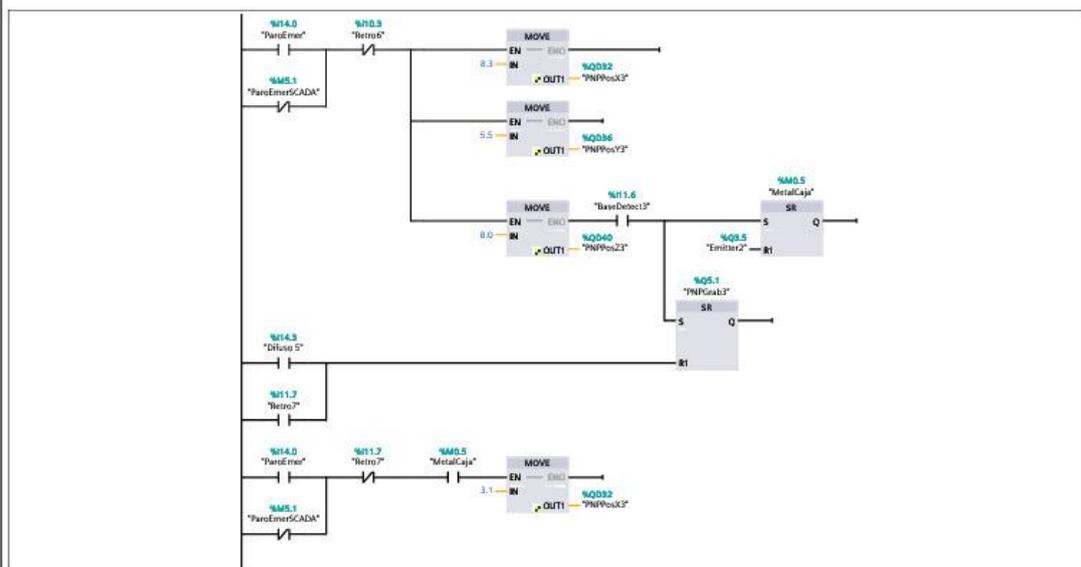




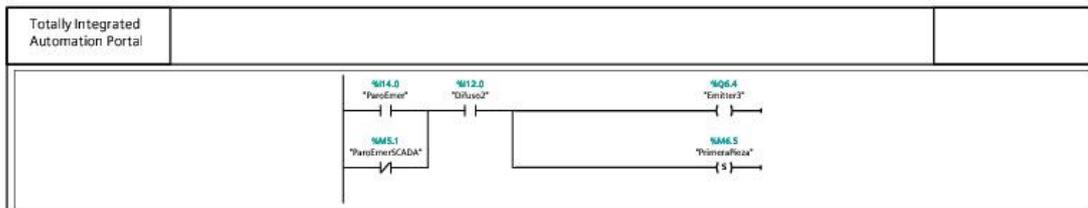




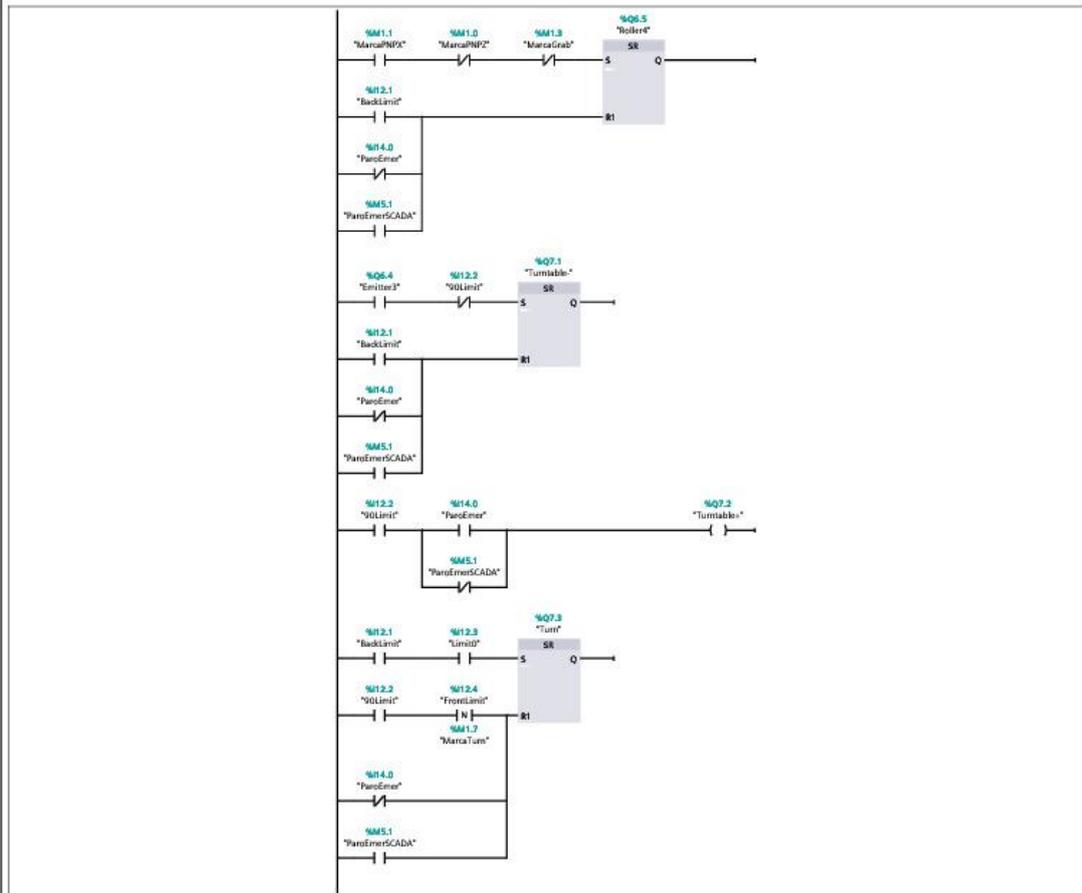
Segmento 11: Pick N Place 3 (Metal)



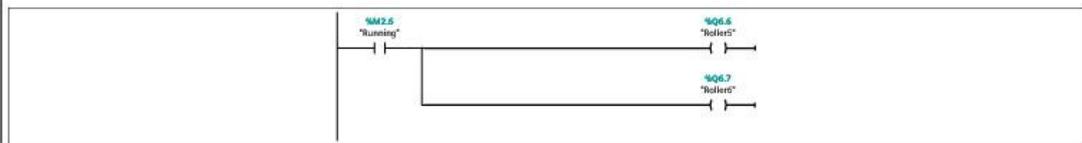
Segmento 12: Roller Conveyor 1



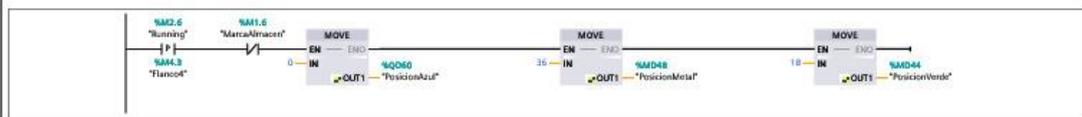
Segmento 17: Roller Conveyor Lids

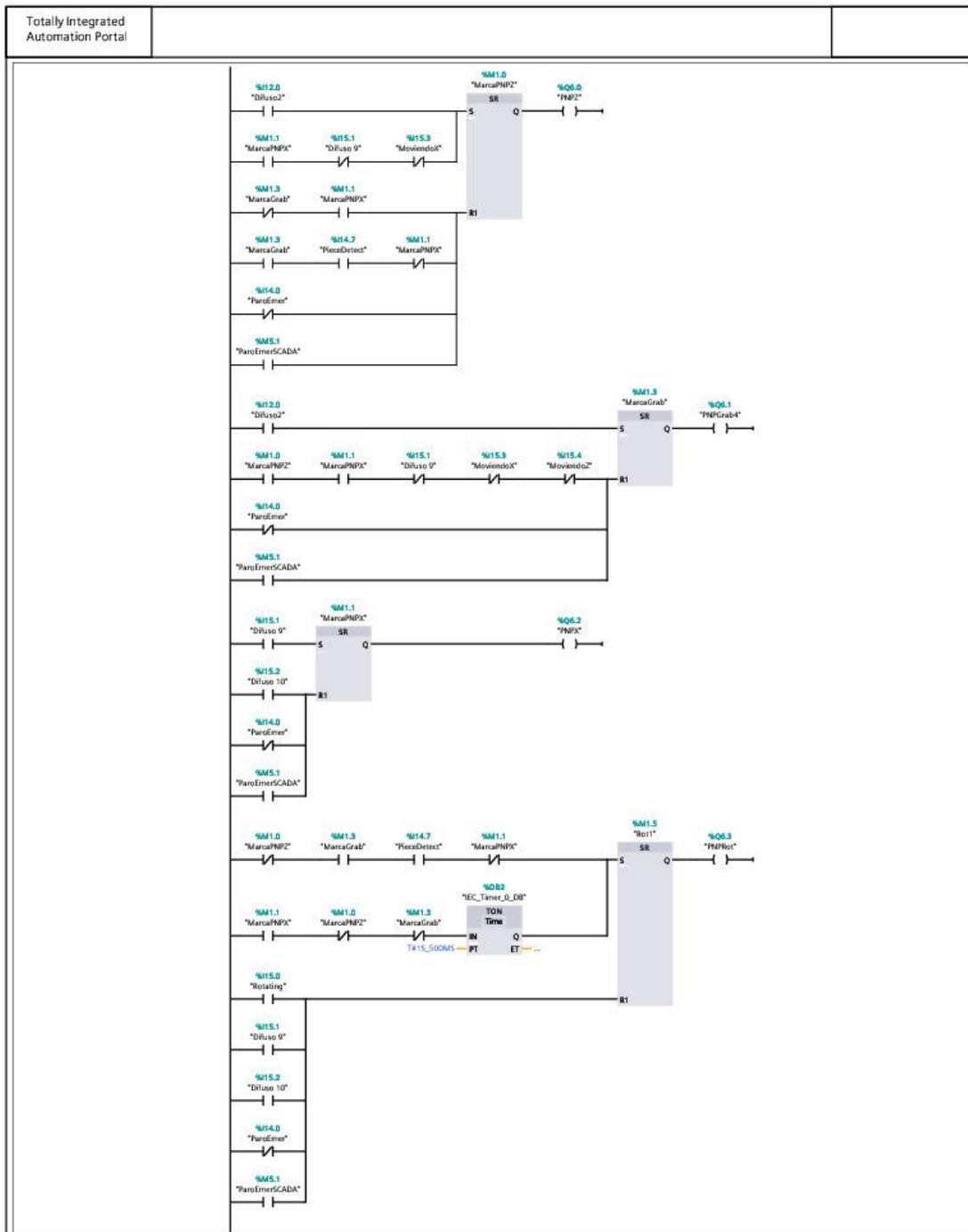


Segmento 18: Roller previos almacen

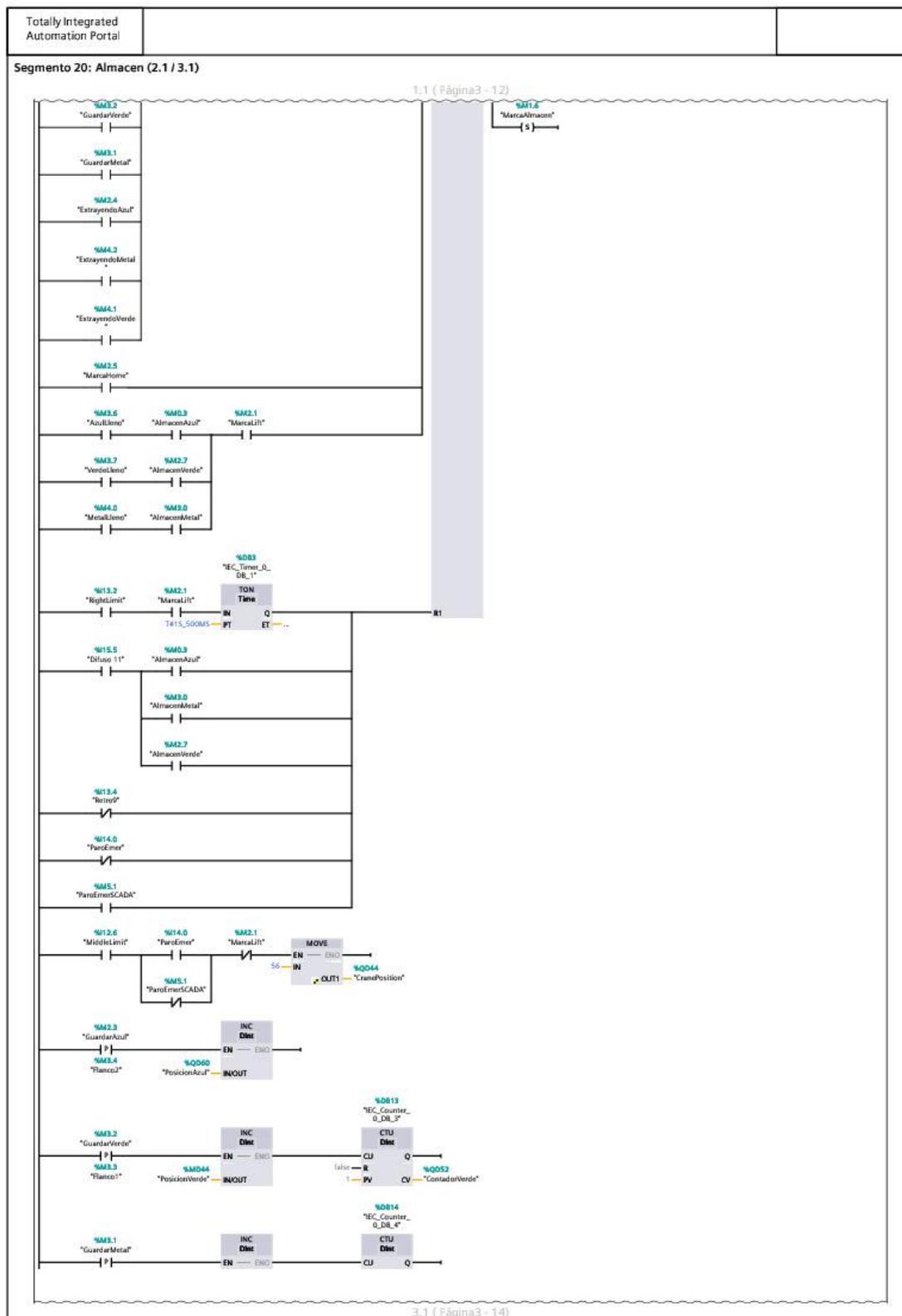


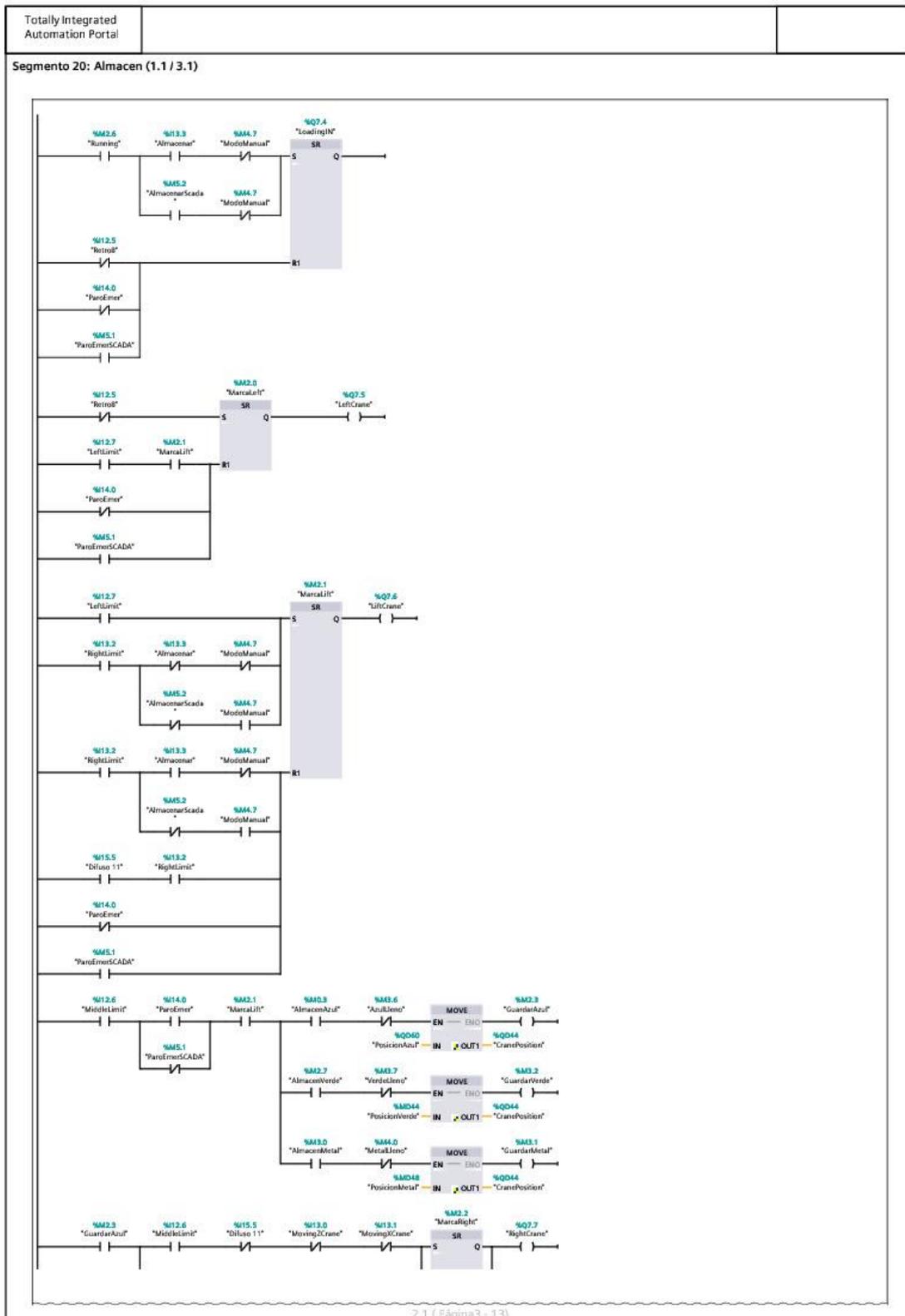
Segmento 19: Valores Grua

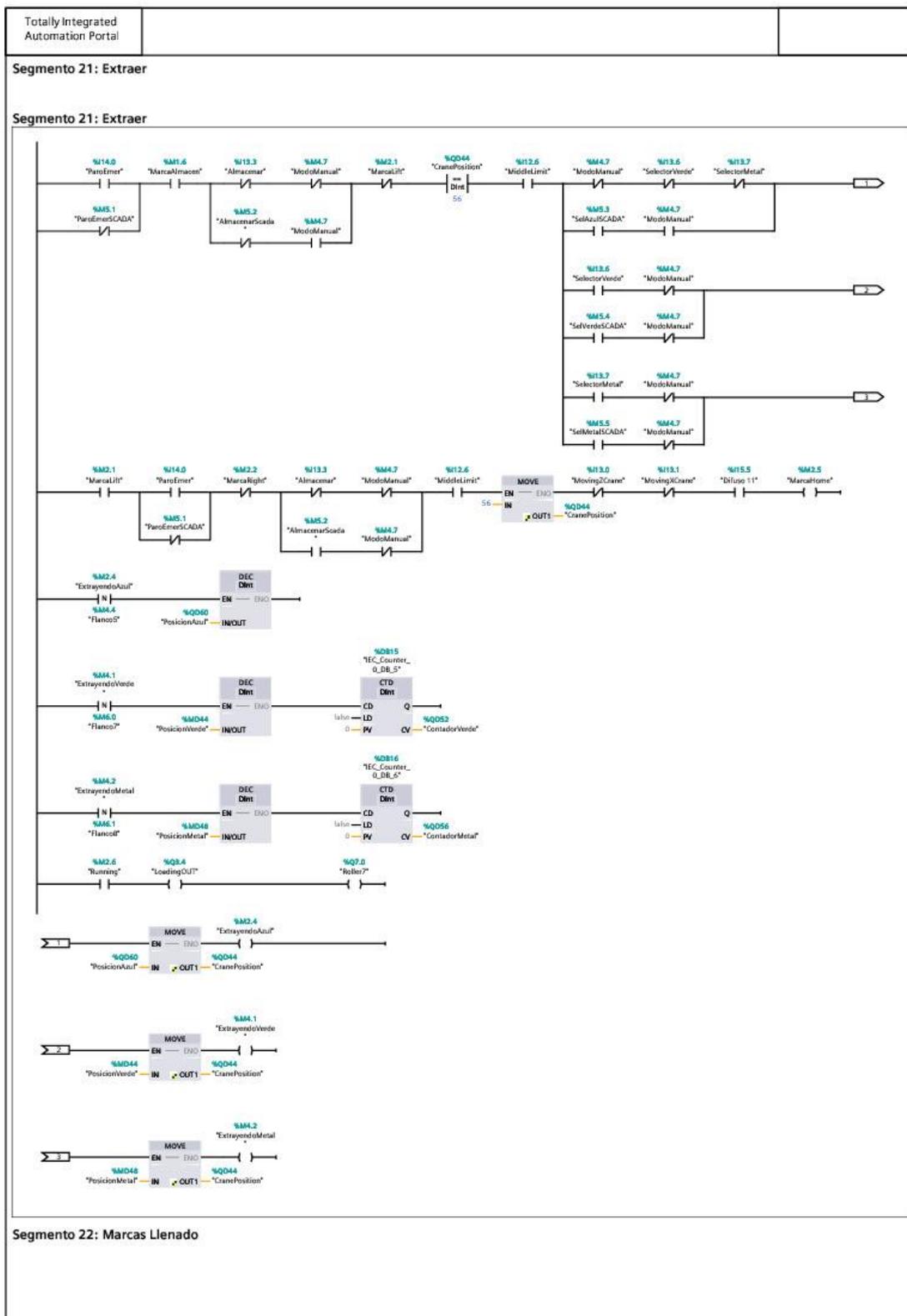




Segmento 16: Emitter 3







Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Segmento 20: Almacen (3.1 / 3.1)

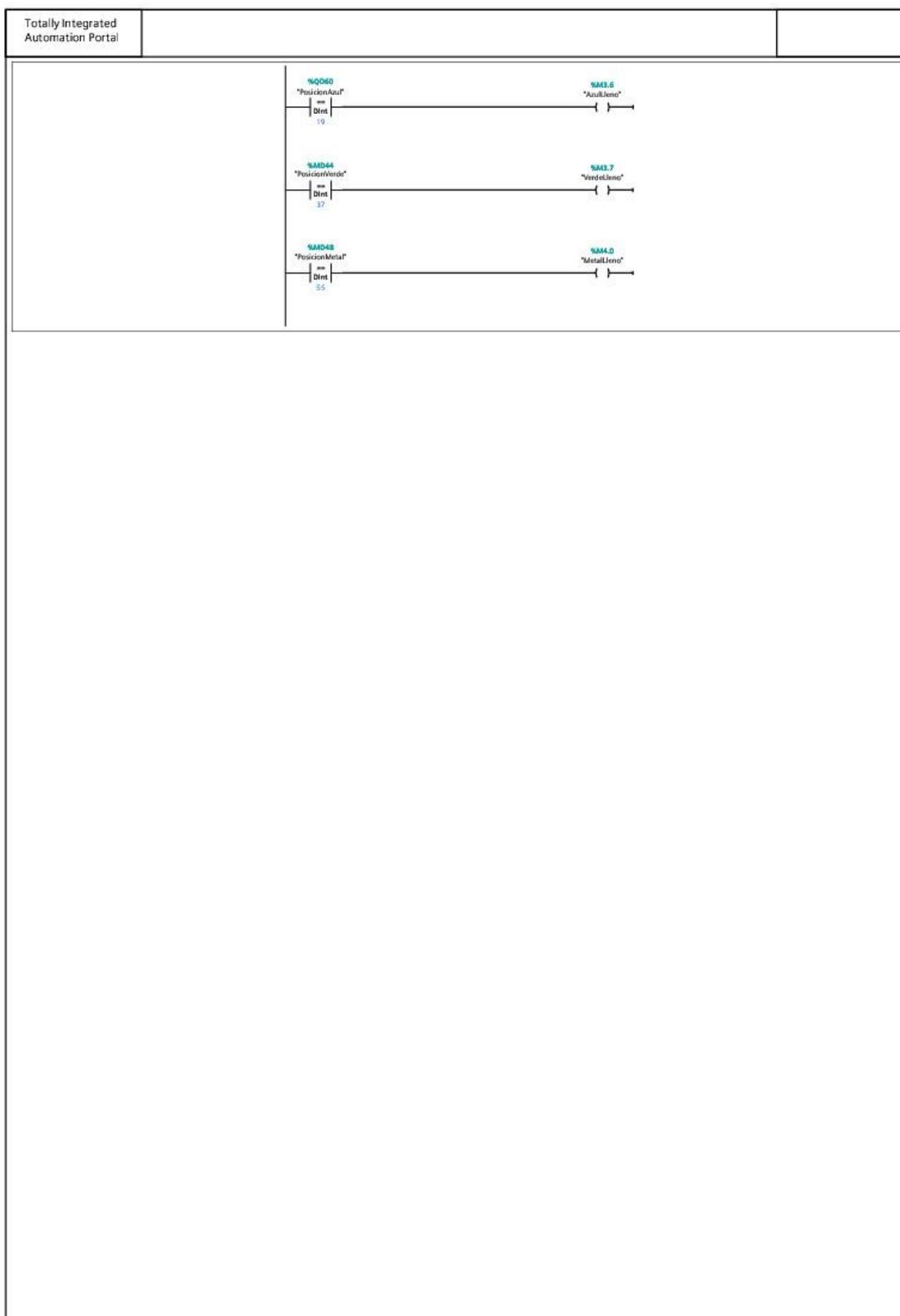
2.1 (Página 3 - 13)

M335 "Flanco3"

M3048 "PosicionMetal" IN/OUT

M3056 "ContadorMetal" CV

1 PV



## 2.2 TABLA DE VARIABLES

Name	Data Type	Logical Address	Hmi Visible	Hmi Accessible	Hmi Writeable
StartGeneral	Bool	%I10.0	True	True	True
Emitter1	Bool	%Q2.0	True	True	True
Belt1	Bool	%Q2.1	True	True	True
ParoEmer	Bool	%I14.0	True	True	True
Difuso1	Bool	%I10.2	True	True	True
Belt2	Bool	%Q2.2	True	True	True
Belt3	Bool	%Q2.3	True	True	True
PopUpWheel	Bool	%Q2.4	True	True	True
Belt4	Bool	%Q2.5	True	True	True
Belt5	Bool	%Q2.6	True	True	True
CurvedBelt1	Bool	%Q2.7	True	True	True
Belt6	Bool	%Q3.0	True	True	True
Belt8	Bool	%Q3.1	True	True	True
Belt10	Bool	%Q3.2	True	True	True
Belt11	Bool	%Q3.3	True	True	True
Retro6	Bool	%I10.3	True	True	True
Belt7	Bool	%Q3.6	True	True	True
Retro3	Bool	%I10.4	True	True	True
Belt9	Bool	%Q3.7	True	True	True
Retro4	Bool	%I10.5	True	True	True
Belt12	Bool	%Q4.0	True	True	True
MachineProduce	Bool	%Q4.1	True	True	True
Selector(1)	Bool	%I10.7	True	True	True
MachineError	Bool	%I11.0	True	True	True
PopUpWheelRight	Bool	%Q4.2	True	True	True
VisionSensor	DInt	%ID18	True	True	True
SorterTurn2	Bool	%Q4.3	True	True	True
SorterBelt2	Bool	%Q4.4	True	True	True
SorterTurn1	Bool	%Q4.5	True	True	True
SorterBelt1	Bool	%Q4.6	True	True	True
MarcaVerde	Bool	%M0.0	True	True	True
Retro1	Bool	%I11.1	True	True	True
MarcaMetal	Bool	%M0.1	True	True	True
MarcaAzul	Bool	%M0.2	True	True	True
AzulCaja	Bool	%M0.4	True	True	True
MetalCaja	Bool	%M0.5	True	True	True
VerdeCaja	Bool	%M0.6	True	True	True
Retro2	Bool	%I11.2	True	True	True
PNPPosX1	Real	%QD16	True	True	True
PNPPosY1	Real	%QD8	True	True	True
PNPPosZ1	Real	%QD12	True	True	True
PNPGrab1	Bool	%Q4.7	True	True	True

BaseDetect1	Bool	%I11.3	True	True	True
Retro5	Bool	%I11.4	True	True	True
PNPPosX2	Real	%QD20	True	True	True
PNPPosY2	Real	%QD24	True	True	True
PNPPosZ2	Real	%QD28	True	True	True
BaseDetect2	Bool	%I11.5	True	True	True
PNPGrab2	Bool	%Q5.0	True	True	True
PNPPosX3	Real	%QD32	True	True	True
PNPPosY3	Real	%QD36	True	True	True
PNPPosZ3	Real	%QD40	True	True	True
BaseDetect3	Bool	%I11.6	True	True	True
PNPGrab3	Bool	%Q5.1	True	True	True
Retro7	Bool	%I11.7	True	True	True
Roller2+	Bool	%Q5.4	True	True	True
Roller3	Bool	%Q5.6	True	True	True
Belt13	Bool	%Q5.7	True	True	True
RUN	Bool	%M0.7	True	True	True
Emitter2	Bool	%Q3.5	True	True	True
Roller1+	Bool	%Q5.2	True	True	True
Roller1-	Bool	%Q5.3	True	True	True
Roller2-	Bool	%Q5.5	True	True	True
Difuso2	Bool	%I12.0	True	True	True
PNPZ	Bool	%Q6.0	True	True	True
PNPGrab4	Bool	%Q6.1	True	True	True
MarcaPNPZ	Bool	%M1.0	True	True	True
PNPX	Bool	%Q6.2	True	True	True
MarcaPNPX	Bool	%M1.1	True	True	True
RotFin	Bool	%M1.2	True	True	True
MarcaGrab	Bool	%M1.3	True	True	True
MarcaVuelta	Bool	%M1.4	True	True	True
PNPRot	Bool	%Q6.3	True	True	True
Rot1	Bool	%M1.5	True	True	True
Emitter3	Bool	%Q6.4	True	True	True
Roller4	Bool	%Q6.5	True	True	True
BackLimit	Bool	%I12.1	True	True	True
Roller5	Bool	%Q6.6	True	True	True
Roller6	Bool	%Q6.7	True	True	True
Roller7	Bool	%Q7.0	True	True	True
Turntable-	Bool	%Q7.1	True	True	True
90Limit	Bool	%I12.2	True	True	True
Turntable+	Bool	%Q7.2	True	True	True
Limit0	Bool	%I12.3	True	True	True
Turn	Bool	%Q7.3	True	True	True
FrontLimit	Bool	%I12.4	True	True	True
MarcaTurn	Bool	%M1.7	True	True	True

LoadingIN	Bool	%Q7.4	True	True	True
Retro8	Bool	%I12.5	True	True	True
LeftCrane	Bool	%Q7.5	True	True	True
MarcaLeft	Bool	%M2.0	True	True	True
LiftCrane	Bool	%Q7.6	True	True	True
MarcaLift	Bool	%M2.1	True	True	True
MarcaRight	Bool	%M2.2	True	True	True
MiddleLimit	Bool	%I12.6	True	True	True
CranePosition	DInt	%QD44	True	True	True
PosicionAzul	DInt	%QD60	True	True	True
GuardarAzul	Bool	%M2.3	True	True	True
LeftLimit	Bool	%I12.7	True	True	True
RightCrane	Bool	%Q7.7	True	True	True
MovingZCrane	Bool	%I13.0	True	True	True
MovingXCrane	Bool	%I13.1	True	True	True
RightLimit	Bool	%I13.2	True	True	True
Almacenar	Bool	%I13.3	True	True	True
ExtrayendoAzul	Bool	%M2.4	True	True	True
MarcaHome	Bool	%M2.5	True	True	True
Retro9	Bool	%I13.4	True	True	True
LoadingOUT	Bool	%Q3.4	True	True	True
Running	Bool	%M2.6	True	True	True
StopGeneral	Bool	%I13.5	True	True	True
AlmacenAzul	Bool	%M0.3	True	True	True
AlmacenVerde	Bool	%M2.7	True	True	True
AlmacenMetal	Bool	%M3.0	True	True	True
PosicionVerde	DInt	%MD44	True	True	True
PosicionMetal	DInt	%MD48	True	True	True
GuardarMetal	Bool	%M3.1	True	True	True
GuardarVerde	Bool	%M3.2	True	True	True
Flanco1	Bool	%M3.3	True	True	True
Flanco2	Bool	%M3.4	True	True	True
Flanco3	Bool	%M3.5	True	True	True
AzulLleno	Bool	%M3.6	True	True	True
VerdeLleno	Bool	%M3.7	True	True	True
MetalLleno	Bool	%M4.0	True	True	True
SelectorVerde	Bool	%I13.6	True	True	True
SelectorMetal	Bool	%I13.7	True	True	True
ExtrayendoVerde	Bool	%M4.1	True	True	True
ExtrayendoMetal	Bool	%M4.2	True	True	True
Flanco4	Bool	%M4.3	True	True	True
Flanco5	Bool	%M4.4	True	True	True
Flanco6	Bool	%M4.5	True	True	True
ContadorSalida	DInt	%QD48	True	True	True
ResetContador	Bool	%I10.6	True	True	True

MarcaAlmacen	Bool	%M1.6	True	True	True
ContadorVerde	DInt	%QD52	True	True	True
ContadorMetal	DInt	%QD56	True	True	True
StartSCADA	Bool	%M4.6	True	True	True
ModoManual	Bool	%M4.7	True	True	True
StopSCADA	Bool	%M5.0	True	True	True
ParoEmerSCADA	Bool	%M5.1	True	True	True
AlmacenarScada	Bool	%M5.2	True	True	True
SelAzulSCADA	Bool	%M5.3	True	True	True
SelVerdeSCADA	Bool	%M5.4	True	True	True
SelMetalSCADA	Bool	%M5.5	True	True	True
Difuso 3	Bool	%I14.1	True	True	True
Difuso 4	Bool	%I14.2	True	True	True
Difuso 5	Bool	%I14.3	True	True	True
Difuso6	Bool	%I14.4	True	True	True
Difuso7	Bool	%I14.5	True	True	True
Difuso8	Bool	%I14.6	True	True	True
PieceDetect	Bool	%I14.7	True	True	True
Rotating	Bool	%I15.0	True	True	True
Difuso 9	Bool	%I15.1	True	True	True
Difuso 10	Bool	%I15.2	True	True	True
SelTipoSCADA	Bool	%M5.6	True	True	True
ResetSCADA	Bool	%M5.7	True	True	True
MoviendoX	Bool	%I15.3	True	True	True
MoviendoZ	Bool	%I15.4	True	True	True
Difuso 11	Bool	%I15.5	True	True	True
Flanco7	Bool	%M6.0	True	True	True
Flanco8	Bool	%M6.1	True	True	True
ColaAzul	Bool	%M6.2	True	True	True
ColaVerde	Bool	%M6.3	True	True	True
ColaMetal	Bool	%M6.4	True	True	True
PrimeraPieza	Bool	%M6.5	True	True	True

### **3. PLIEGO DE CONDICIONES**

El objetivo de este apartado es recoger las condiciones legales y técnicas que han de estar presentes en la ejecución del proyecto. Se tendrá en cuenta en este pliego todo lo referente al control de la planta, pues el software de Factory I/O simulaba la previa existencia de una fábrica la cual pedía un control automatizado de la misma.

#### **3.1 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS**

Se enumerarán los elementos físicos del proyecto y se describirán sus condiciones técnicas. Cabe destacar que el proyecto ha de ejecutarse en base a estas especificaciones de diseño, sobre todo en relación al PLC, ya que se podría caer en errores de funcionamiento.

##### **3.1.1 Controlador 1214 Ac/Dc/Rly**

El controlador elegido es el de más alto rendimiento de la gama 1214 ya que nos incluye una mayor capacidad de entradas y salidas, como ya se ha descrito. Los rangos de alimentación fluctúan entre 85 y 264V operando a una frecuencia de tensión de 47Hz y de 63Hz de alimentación. La máxima intensidad soportada por el sistema es de 20A a la tensión superior permitida.

La memoria del sistema es de 75kbyte, permitiendo la dirección a cualquiera de los 65535 bloques del sistema sin ningún orden predeterminado. El tiempo de instrucción es de 0,085 $\mu$ s para los datos tipo bit utilizados y de 2.5 $\mu$ s para los tipo doble palabra. Además, sus medidas serán 110mm de altura, por 100 de anchura por 75 mm de largo con un peso de 455g. La temperatura que soporta en uso varía entre los -20° y los 60° y una humedad del 95% sin condensación. Sigue la norma de protección IP con un grado de protección de IP20.

Para la conexión con los paneles eléctricos de la fábrica se utilizará cable de control apantallado cuya distancia no sobrepasa la máxima posible de seguridad (500m) y para el funcionamiento conjunto con el SCADA se tiene habilitado la comunicación abierta vía IE. Los módulos añadidos irán conectados directamente al controlador en los espacios que el fabricante reserva para los mismos.

El montaje y puesta en marcha del PLC debe seguir las condiciones descritas por el fabricante para su correcto uso y funcionamiento. Se tendrá en cuenta el deterioro frente al

tiempo y se estima una vida útil de 10 años, frente a la cual se recomienda la sustitución del componente por otro del mismo fabricante y modelo.

### **3.1.2 Módulos de entradas y salidas**

Serán necesarios dos módulos digitales tanto de entradas como de salidas siguiendo las especificaciones de dirección limitadas por el software Factory I/O. Su alimentación será de 24V, pudiendo soportar un rango desde los 20,4V a los 28,8V, y 4mA de corriente. El número de direcciones que provee al controlador es de 16 cada uno de ellos con un retardo de información de 50 $\mu$ s.

La conexión con el PLC será directa en cada uno de los espacios dedicados para estos módulos por un método de conexión roscada que añade el propio fabricante y soportará unas condiciones ambientales similares a las del controlador. Sus dimensiones son de 70x100x75 mm y también posee un grado de protección de IP20.

En el caso de los módulos analógicos serán necesarios 4 dedicados a las salidas de tipo doble palabra del sistema. La tensión también será de 24 V y el consumo típico será de 45mA. El número de salidas que aporta cada módulo será de 4 con un rango de -10V a 10V y 0-20mA. El error medio calculado en el aporte de tensión es del 0.3%.

La conexión con el controlador se realizará de manera análoga a los módulos digitales y sus condiciones de seguridad son las mismas,

La vida útil de estos módulos está calculada en 50 años, por lo que se tendrá en cuenta su readaptación a los nuevos controladores que vayan expirando. Se recomienda, igual que en el anterior caso, su sustitución por el mismo módulo en un futuro.

### **3.1.3 Cable de control**

El cable de conexión se elige tipo apantallado (típico en sistemas de control) y no blindado, con un diámetro de 50x14 mm<sup>2</sup>. Sus condiciones de alimentación serán de 24V con rango hasta los 60V.

El material del cable es de PVC, los que aporta rangos de condiciones ambientales más adversos que los de los módulos y el controlador, pero su vida útil recomendada es de un año, tras el cual se recomienda la sustitución del mismo.

### **3.2 PLIEGO DE CONDICIONES LEGALES**

El proyecto se dedica al control y supervisión de una planta apoyado en materiales homologados y ampliamente comercializados, por lo que no supondría ningún problema su puesta en venta. Es más, el proyecto se ha enfocado en realizarse lo más parecido a un caso real de aplicación a un proceso productivo añadiendo toda la simulación para verificar su correcto funcionamiento. En cualquier caso, su diseño ha sido realizado en base a unas características concretas por lo que cualquier variación en las mismas necesitaría de un reacondicionamiento tanto del código como de la simulación.

## 4. PRESUPUESTO

Para el desarrollo del proyecto se tendrá en cuenta todo el trabajo realizado en el aspecto de control y comunicación en los softwares como mano de obra, así como las licencias durante dicho tiempo de trabajo. El tiempo dedicado al aprendizaje no será computado en este apartado. Además, se incluye el autómata que quedará en la fábrica para el control, el cableado necesario, los módulos de entradas y salidas añadidos y la licencia del Runtime que si deberá ser abonada en su totalidad ya que es indispensable para la ejecución e interacción con la botonera virtual. Se supone que la fábrica ya ha sido construida y el trabajo realizado en Factory I/O simula dicha fábrica. La mano de obra dedicada al trabajo, excluyendo el aprendizaje, fue de 30 días totales a 8 horas diarias, lo que suma 240 horas.

Unidades	Descripción	Precio por unidad	Precio total
1	Licencia Tia Portal: SIMATIC STEP 7 V15 anual industrial	1090,50€ IVA incluido	136,31€
1	Licencia Factory I/O anual SIEMENS EDITION	144€ IVA incluido	18€
1	Licencia SIMATIC WinCC Runtime Advanced	391,5€ IVA incluido	391,5€
1	Controlador S7- 1200, CPU 1214C, AC/DC/RELE, 14DI/10DO/2AI	299,85€ +21% IVA	362,82€
2	Módulo entradas digitales Siemens SM	127,05€ IVA incluido	254,1€

	1223 DC/DC - 6ES7223-1BL32- 0XB0		
2	Módulo salidas digitales SM 1221-6ES7221- 1BF32-0XB0.	182,71€ IVA incluido	365.42€
4	Módulo salidas analógicas SM 1232, 4 AO- 6ES7232-4HD30- 0XB0.	399,91€ IVA incluido	1.599,64€
1	Cableado de control 6ES7923- 5BA50-0CB0	58,81€/m + 21% IVA	129,97€
1	Mano de obra	35€/hora	8400€
Precio Total			11.657,76€

Para los elementos que no quedarán físicamente en la fábrica se añade su amortización. El único elemento que no quedará en la fábrica será el software de Tia Portal, pues todo lo demás se quedará en la fábrica. La licencia utilizada es anual por lo que se calcula el coste de amortización como el tiempo de uso del software entre el año de licencia pagado, todo ello multiplicado por su precio total. Esto nos da un coste de amortización de 119,5€.

El coste total del proyecto será el agregado del coste de la mano de obra, el coste del material y el coste de amortización, lo cual nos crea un valor de 11.777,26€.

Como aplicación al presupuesto total de los gastos generales (13%) y del beneficio industrial (6%), resulta el siguiente presupuesto total.

Gastos Generales	1.531,04€
Beneficio Industrial	706,63€.
Total Presupuesto	14.014,93€.

El coste total del proyecto asciende a **catorce mil catorce euros con noventa y tres céntimos.**