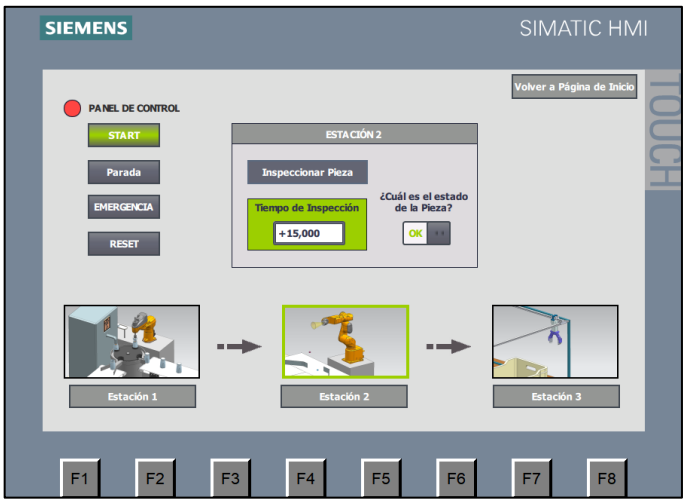
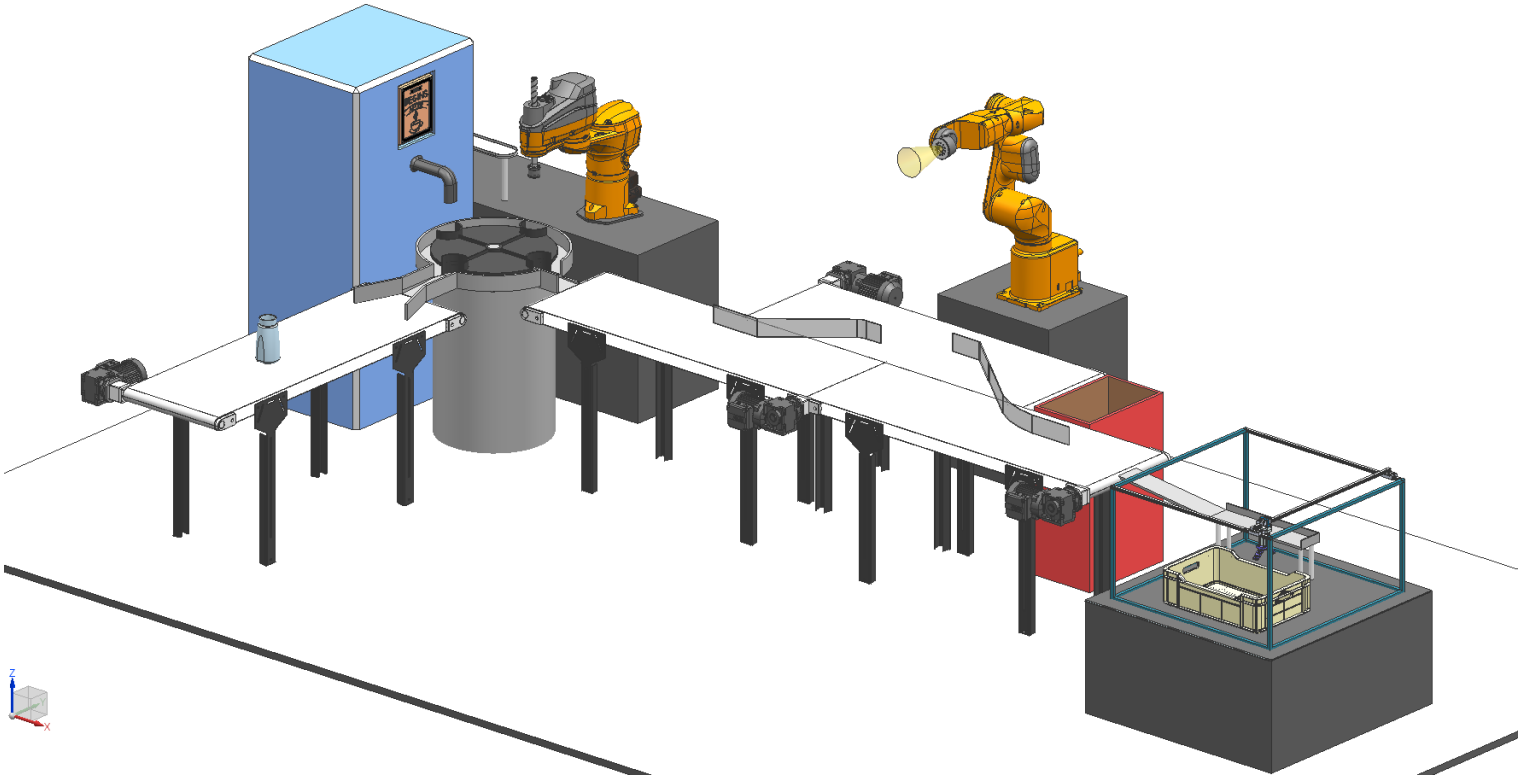
# VÍDEO 8:

## LÍNEA DE PRODUCCIÓN: REPASO DE TODO LO APRENDIDO



**RESUMEN:**

Finalmente, en este último vídeo dedicado a las simulaciones de puesta en marcha virtual (no es el último vídeo de la guía), se diseña una línea de montaje a partir de los ejemplos vistos anteriormente. De esta forma, se combina todo el material desarrollado a lo largo de la guía para comprobar y verificar de primera mano el enorme potencial de las herramientas estudiadas.

Asimismo, en este vídeo se pone especial atención al diseño de la interfaz hombre-máquina (HMI) y a la programación de la lógica Ladder del PLC, aprovechando para desarrollar conceptos muy interesantes de TIA Portal.

Escanea o haz clic sobre
el código QR para ver el vídeo

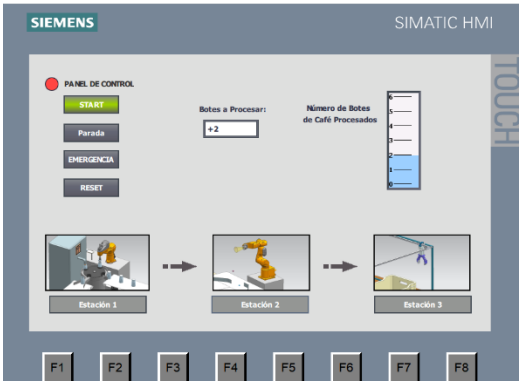
Vídeo 8: Línea de producción: Repaso de todo lo aprendido
by Gonzalo Carrasco Velilla is licensed under a

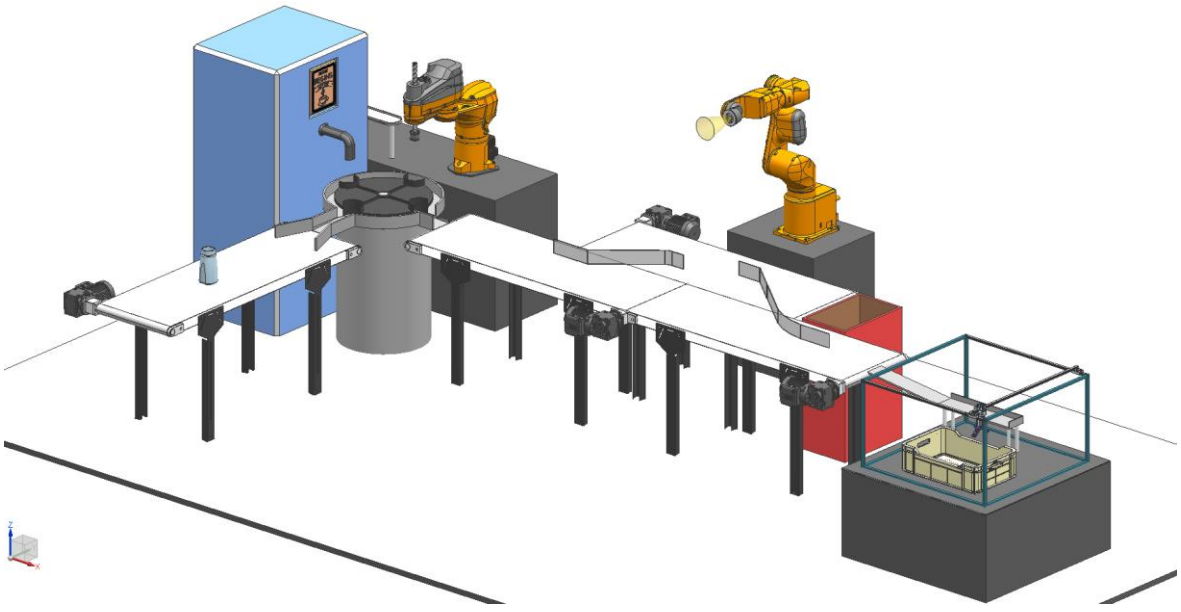
Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional License.

# DESARROLLO DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se ha diseñado una línea de producción basada en el funcionamiento de una fábrica procesadora de café soluble. Así, la línea se encuentra compuesta por tres estaciones de trabajo bien diferenciadas, donde se tiene una primera etapa de llenado, una etapa de inspección y una última etapa de embalaje.

El diseño de esta fábrica ha sido muy complicado, pues se ha intentado recrear un modelo realista que incorpore al mismo tiempo todo lo presentado en la guía. Por ello, más que ser considerada como una representación minuciosa de una fábrica real, se ha de considerar como un modelo razonablemente realista enfocado a resumir los contenidos cursados, repasando de esta forma las herramientas de los programas utilizados.



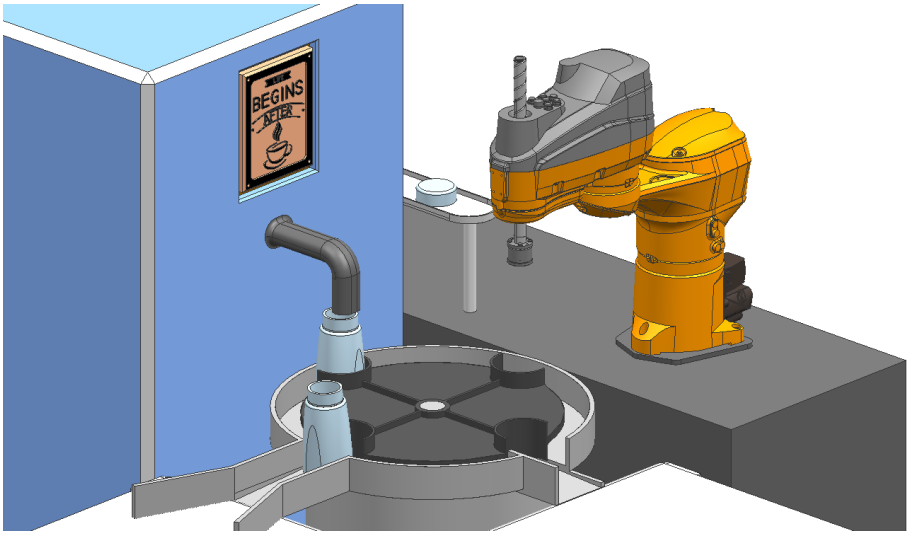



*Instalación procesadora de café soluble.*

Por tanto, tras introducir la línea de producción, se procede a exponer el funcionamiento y los contenidos incorporados[1] en cada una de las estaciones de trabajo.

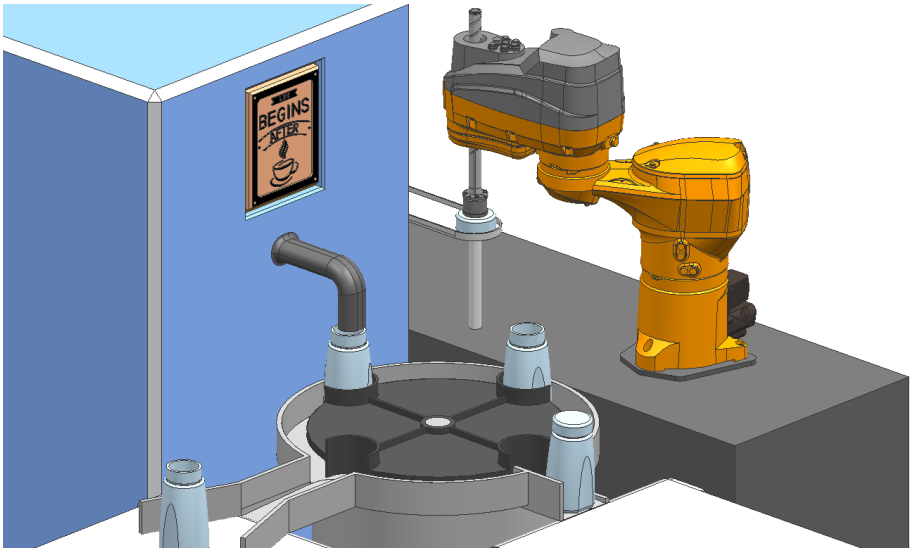
[1] Estos contenidos aparecen escritos en *cursiva* para facilitar su identificación.

En primer lugar, está la **estación** enfocada al **llenado** de los botes de café. Aquí, llegan los botes vacíos, y a través del movimiento de una mesa giratoria, estos van rotando a través de las distintas posiciones del proceso de llenado. La primera de estas posiciones se corresponde con el llenado, donde una *fuente de objetos* deja caer un pequeño cuerpo cilíndrico que simula el café en polvo.



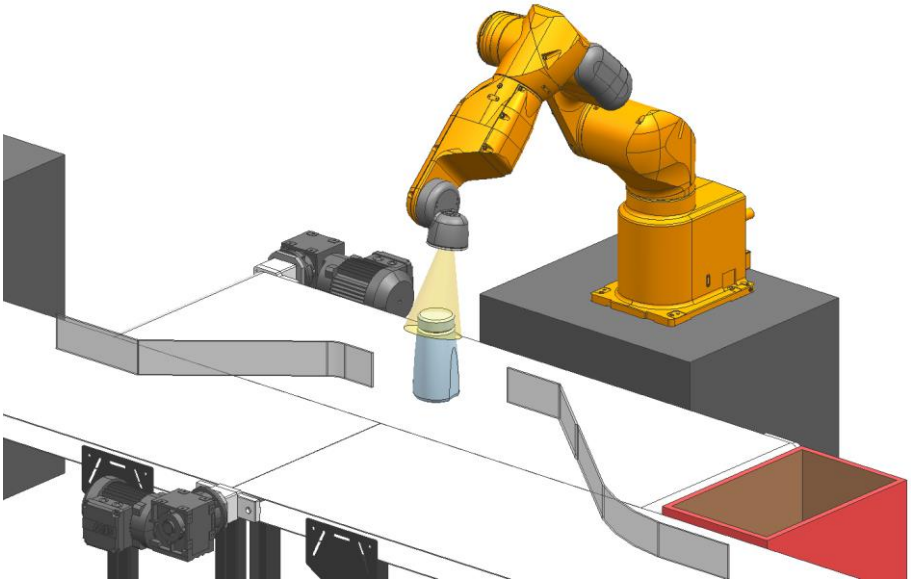

*Entrada y llenado de los botes en la estación.*

Posteriormente, el bote viaja hasta la posición del robot SCARA, que recoge las tapas de los botes por medio del parámetro *Sticky* y las deposita en la parte superior de los botes de café. Después, mediante una *secuencia de operaciones*, se combina la acción de un *sumidero* y de un *transformador* para dar la impresión de que la tapa queda acoplada al bote.



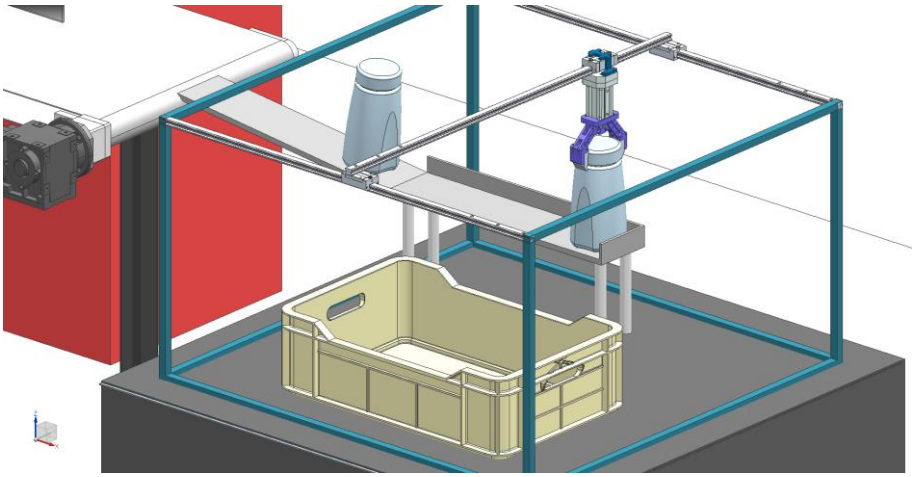

*Sellado de los botes y salida hacia la etapa de inspección.*

Tras esto, los cuerpos salen de la mesa y se dirigen a la segunda subestación por medio de la *cinta transportadora*. Esta es la **etapa de inspección**, donde el usuario puede elegir que un bote sea analizado por un brazo robot programado con *cinemática inversa*. Posteriormente, los botes que no superan el control de calidad son desechados (en el contenedor rojo), mientras que el resto son conducidos hasta la estación de embalaje.



*Estación de Inspección.*

En esta **última estación**, una garra montada sobre unas guías de aluminio se encarga de depositar los botes en una caja. Los “grips” de esta garra se han definido a partir de un *nuevo material* abrasivo para mejorar sus propiedades de agarre. Además, desde el HMI, el usuario puede elegir la posición donde quiere que la garra coloque los botes de café, dando por terminado el proceso.



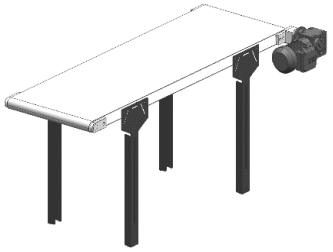
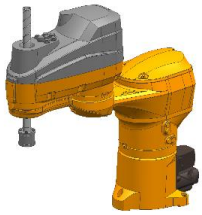
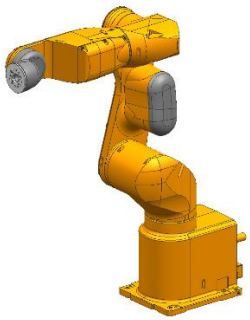
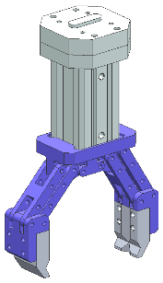
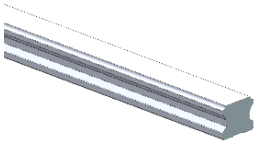
*Estación de embalaje.*

En los apartados posteriores se realiza un breve repaso del desarrollo seguido para crear los distintos componentes de este modelo digital.

# DISEÑO 3D DE LOS COMPONENTES

Durante el proceso de diseño de la fábrica, se ha procurado agregar el mayor número de componentes comerciales, con el fin de recrear un entorno realista. Sin embargo, otros componentes se han tenido que diseñar manualmente como consecuencia de la falta de modelos proporcionados por los fabricantes. Asimismo, dentro de los componentes no comerciales, se encuentran elementos personalizados y adaptados específicamente para su uso en esta fábrica.

## ELEMENTOS COMERCIALES

| Componente | Cantidad | Descripción | Imagen |
|---|---|---|---|
| Cinta Transportadora | 4 | Cinta Transportadora del fabricante **BÖMA**, empleada para trasladar los componentes por las distintas estaciones de la fábrica. |  |
| Robot SCARA | 1 | Robot utilizado en la etapa de llenado para posicionar las tapas en los botes de café. Fabricante **STÄUBLI**. |  |
| Robot de 6gdl | 1 | Robot de la marca **EPSON** empleado en la segunda estación de trabajo para realizar la operación de inspección. |  |
| Garra | 1 | Garra neumática, importada desde GrabCAD.com, para posicionar los botes de café en las cajas de embalaje. |  |
| Perfil de Aluminio | 3 | Perfiles de aluminio para simular los raíles por los que circula la garra en la tercera estación. |  |

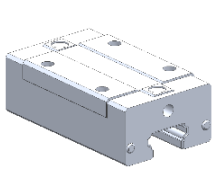
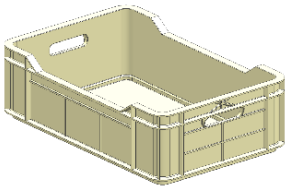
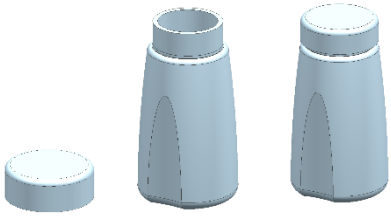
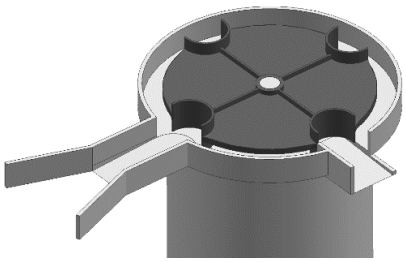
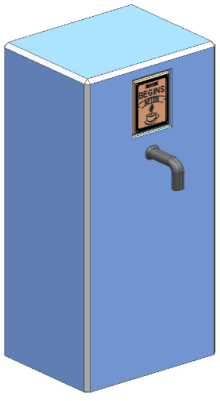
| | | | |
|---|---|---|---|
| Correderas | 3 | Elemento que permite el movimiento transversal y longitudinal de la garra por los raíles. |  |
| Caja de Embalaje | 1 | Caja importada desde GrabCAD.com para embalar los botes de café procesados. |  |

*Tabla: Elementos comerciales de la instalación.*

### 1.1.1.1 ELEMENTOS NO COMERCIALES

| Componente | Cantidad | Descripción | Imagen |
|---|---|---|---|
| Botes de Café | 1 | Para replicar los botes a lo largo de las distintas etapas del proceso, se han diseñado por separado las tapas y las bases. Además, se ha añadido un tercer modelo que representa el bote de café terminado. |  |
| Mesa Giratoria | 1 | Mesa giratoria utilizada para mover los botes de café a lo largo de las distintas posiciones de la estación de llenado. Esta mesa se encuentra compuesta por dos elementos, el disco giratorio y la base de la mesa. |  |
| Máquina de Llenado | 1 | Máquina utilizada para llenar los botes con café. Incorpora una fuente de objetos que deja caer un pequeño cuerpo cilíndrico, imitando el café en polvo. |  |

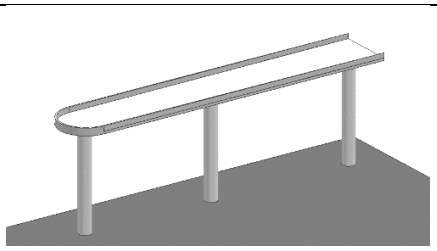
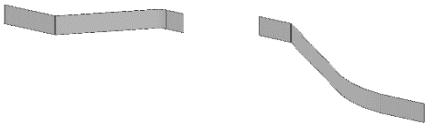
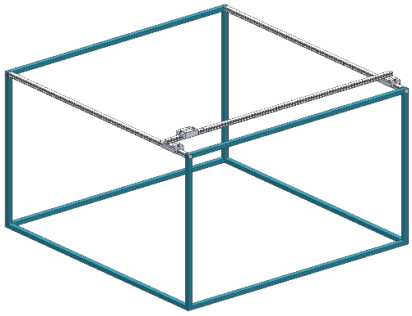
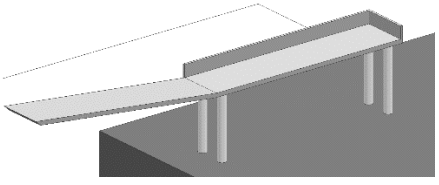
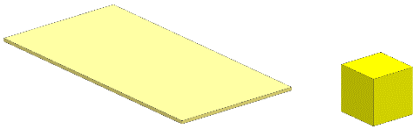
| | | | |
|---|---|---|---|
| Cinta Transportadora de las tapas. | 1 | Pequeña cinta transportadora por la que se desplazan las tapas hasta la posición donde se encuentra el robot SCARA. |  |
| Guías y Agujas | 2 | Elemento situado en la segunda estación de trabajo que se emplea para desplazar los botes hasta la zona de inspección. Del mismo modo, se utiliza para descartar los botes que no superan el control de calidad y devolver a la línea de producción los que estén en buenas condiciones. |  |
| Estructura de la estación de embalaje. | 1 | Se trata de una estructura muy sencilla construida a partir de tubos rectangulares. Esta estructura soporta los carriles y las correderas que transportan la garra. |  |
| Adaptador | 1 | Adaptador utilizado para acoplar la base de la garra a la corredera. | |
| Cinta Transportadora de la estación de embalaje. | 1 | Cinta transportadora utilizada para mover los botes procesados hasta la posición de recogida de la garra. |  |
| Sensores | 23 | A lo largo del proceso de producción se han incorporado dos tipos de sensores, con los que monitorizar y controlar las acciones del sistema. |  |

*Tabla: Elementos no comerciales de la instalación.*

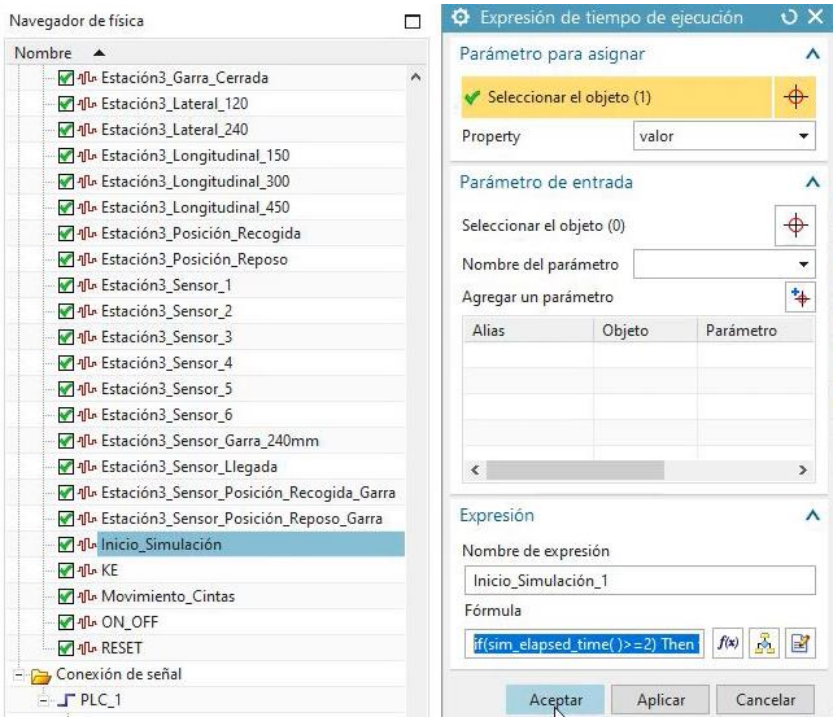
## EXPRESIÓN DE TIEMPO DE EJECUCIÓN *2' 45''*

La ventana "Expresión de Tiempo de Ejecución" es de gran utilidad para que los usuarios definan expresiones en función del tiempo de simulación. Estas expresiones se pueden asociar a señales con las que transmitir información directamente al PLC, por lo que en esta guía se va a aprovechar este instrumento para crear una expresión que indique al PLC virtual que la simulación en NX ha comenzado. Esta señal es muy interesante de cara a la programación, pues permite reiniciar todas las variables del PLC cada vez que dé comienzo una nueva simulación.

De esta forma, se agrega una nueva expresión en la ventana "Expresión de Tiempo de Ejecución" y se escribe la siguiente instrucción:

*if(sim_elapsed_time()>=2) Then true Else false*

Ahora se asocia esta expresión a una señal de Salida, la cual se ha denominado "Inicio_Simulación". De esta forma, si la simulación está detenida o el tiempo de simulación está por debajo de los dos segundos, entonces la señal asociada presentará un valor *false*. Esta información se aprovecha para comunicar al PLC que debe reiniciar los contadores, temporizadores y el resto de las variables.




*Expresión de tiempo de ejecución.*

## DEFINICIÓN DE NUEVOS MATERIALES *4’ 10’’*

A continuación, se analiza cómo definir nuevos materiales, lo cual resulta de interés si se quieren modificar las propiedades superficiales de los cuerpos de colisión. De esta forma, se pueden modificar los coeficientes de fricción estática y dinámica, el coeficiente de resistencia a la rodadura y el coeficiente de restitución de los cuerpos.

*Definición de un nuevo material.*

Todos los materiales definidos se pueden encontrar en la carpeta de “materiales” situada en el “Navegador de Física”.

# PROGRAMACIÓN DEL PLC

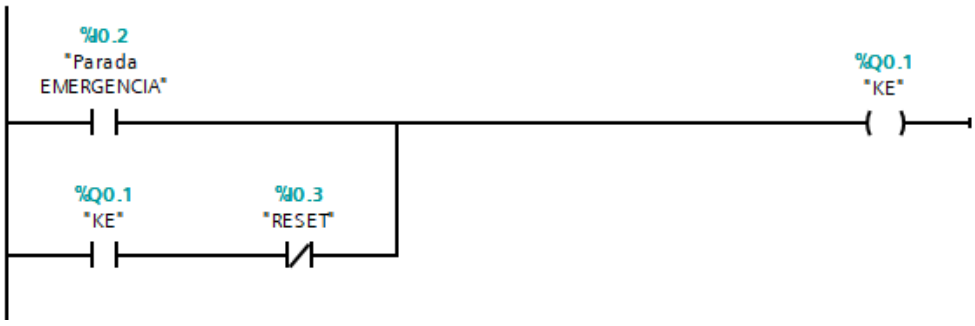
En cuanto a la programación de la lógica Ladder, se ha puesto especial atención al uso de los bloques *función*, permitiendo separar los códigos de cada estación en sus bloques correspondientes. Además, se han añadido *contadores*, *temporizadores*, *operaciones lógicas* y *variables analógicas* para que el código incluya los recursos estudiados a lo largo de la guía.

Asimismo, los robots de la fábrica se han programado siguiendo distintos métodos. Por ejemplo, el robot SCARA se ha programado mediante una secuencia de operaciones en NX, por lo que su código Ladder se ha podido resumir en una sola línea, mientras que el código que controla los movimientos de la garra se ha definido enteramente desde TIA Portal. Esto requiere de un mayor número de líneas de código, pero evita tener que crear una secuencia de operaciones en NX. El objetivo de incluir estos dos tipos de programación es que los usuarios conozcan y aprendan distintas estrategias a la hora de programar robots.

Finalmente, se ha añadido un panel de control con el que supervisar el funcionamiento del sistema, por medio de la incorporación de los botones: "*start*", "parada", "parada de emergencia" y "*reset*". El botón "*start*" se utiliza para comenzar la actividad del sistema productivo, mientras que el de "parada" detiene el sistema permitiendo finalizar las operaciones que se encuentran en desarrollo. Por el contrario, la "parada de emergencia" detiene al instante el funcionamiento de todas las máquinas. Se trata de un botón de seguridad que, además de interrumpir todo tipo de actividad, evita que el sistema vuelva a ponerse en marcha hasta que no quede solventada la situación de emergencia. Es por medio del botón "*reset*", que se reinicia el sistema y se aprueba el restablecimiento de la actividad, permitiendo reanudar las operaciones.

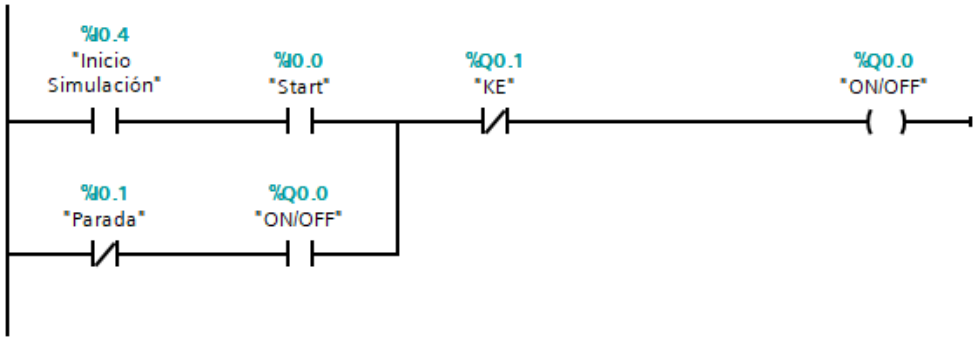
A continuación, se describen brevemente los segmentos de la lógica diseñados para controlar los relés que informan sobre el estado del sistema. Es decir, indican si el proceso se encuentra en marcha, en parada de emergencia o en proceso de rearme.

- **Segmento KE:** El primer segmento de código es el correspondiente a la parada de emergencia, que tiene asociado un relé denominado "KE". Para activar esta salida "KE", se debe pulsar el botón de "parada de emergencia", por lo que se añade en la primera rama un contacto normalmente abierto ligado a esta variable. Sin embargo, cuando el botón deja de pulsarse, este contacto vuelve a abrirse. Por lo tanto, para mantener la salida "KE" activada, es necesario añadir una rama paralela que incluya un contacto normalmente abierto asociado a la propia variable "KE". Esto mantiene la salida activa de forma ilimitada, por lo que se añade un contacto normalmente cerrado, asociado al botón "*reset*", para desactivarla.



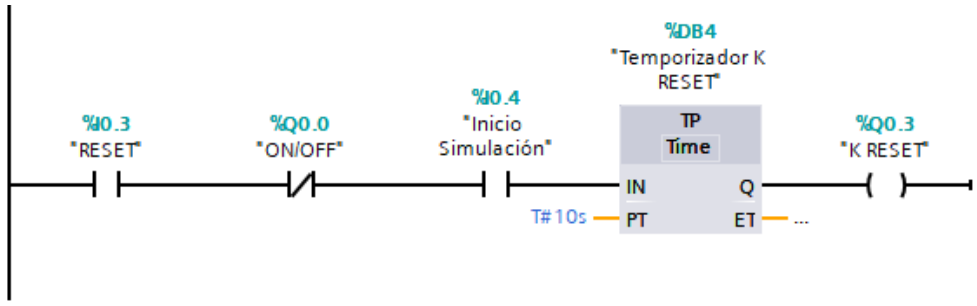

*Segmento para controlar la Parada de Emergencia del Sistema.*

• **Segmento ON/OFF:** Con el relé de parada de emergencia definido, se procede a diseñar el segmento correspondiente al relé “ON/OFF”, que indica si el sistema se encuentra en marcha o detenido. Se puede observar, que la lógica de este segmento es idéntica al anterior[2], modificando los botones involucrados e incorporando un interruptor normalmente cerrado asociado a “KE”. Este contacto se añade para detener el funcionamiento del sistema, y evitar que comiencen las operaciones, si se encuentra activa la parada de emergencia.




*Segmento del relé ON/OFF.*

• **Segmento K RESET:** Finalmente, se programa el segmento correspondiente al relé “K RESET”, que indica que si ha comenzado el proceso de rearme. En este caso, la salida se ha de activar con el botón “reset”, pero solo debe hacerlo si anteriormente se ha activado la parada de emergencia, por lo que el relé “ON/OFF” debe estar desactivado. Por este motivo, se añade un contacto normalmente abierto asociado al botón “reset” y un contacto normalmente cerrado asociado a “ON/OFF”. Adicionalmente, se introduce un temporizador TP que mantiene la salida activada durante un tiempo determinado. Esto permite que, si el sistema tarda unos segundos en reiniciarse, el relé “K RESET” se mantenga activo durante este intervalo de tiempo.




*Segmento K RESET con el que reiniciar el Sistema.*

Dado que la fábrica se encuentra dividida en tres estaciones de trabajo, sería interesante, para proyectos futuros, investigar cómo permitir que continúe la producción deteniendo únicamente la estación donde se haya detectado el problema.

[2] También se añade un contacto normalmente abierto asociado a la variable “Inicio Simulación”.

**Variables definidas** para desarrollar la lógica del PLC:

**Tabla de variables estándar**

| | Nombre | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... | Supervisión | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Start | Bool | %I0.0 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 2 | Parada | Bool | %I0.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 3 | Parada EMERGENCIA | Bool | %I0.2 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 4 | RESET | Bool | %I0.3 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 5 | ON/OFF | Bool | %Q0.0 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 6 | KE | Bool | %Q0.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 7 | Movimiento Cintas | Bool | %Q0.2 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 8 | Inicio Simulación | Bool | %I0.4 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 9 | K RESET | Bool | %Q0.3 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 10 | <Agregar> | | | | ☑ | ☑ | ☑ | | |

*Variables (estándar) del PLC.*

**Variable Estación 1**

| | Nombre | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... | Supervisión | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Sensor Llegada de Botes | Bool | %I1.0 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 2 | Sensor Llenado de Botes | Bool | %I1.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 3 | Sensor Tapa de Botes | Bool | %I1.2 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 4 | Movimiento Disco de 90° | Bool | %Q1.0 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 5 | Fuente Cafe | Bool | %Q1.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 6 | Movimiento Robot a Posición d... | Bool | %Q1.2 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 7 | Fuente Tapas | Bool | %Q1.3 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 8 | Fuente Botes de Cafe | Bool | %Q1.4 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 9 | Salida Temporizador Fuentes | Bool | %M1.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 10 | Salida Temporizador Discos | Bool | %M1.2 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 11 | Numero Botes | Bool | %I1.3 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 12 | INT | Int | %IW100 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 13 | Parar Disco | Bool | %M1.3 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 14 | Botón Mover Disco | Bool | %I1.4 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 15 | <Agregar> | | | | ☑ | ☑ | ☑ | | |

*Variables del PLC (estación 1: Llenado).*

**Variables Estación 2**

| | Nombre | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... | Supervisión | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Movimiento Robot 6gdl Posició... | Bool | %Q2.0 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 2 | Movimiento Robot 6gdl Posició... | Bool | %Q2.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 3 | Aguja Entrada Abierta | Bool | %Q2.2 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 4 | Aguja Entrada Cerrada | Bool | %Q2.3 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 5 | Aguja Salida Abierta | Bool | %Q2.4 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 6 | Aguja Salida Cerrada | Bool | %Q2.5 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 7 | Sensor Llegada Estación 2 | Bool | %I2.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 8 | Estado de la Pieza | Bool | %I2.0 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 9 | Cinta Secundaria ON | Bool | %Q2.6 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 10 | Tiempo Inspección | Time | %QD102 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 11 | Botón Inspeccionar Pieza | Bool | %I2.2 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 12 | Interruptor Inspección | Bool | %I2.3 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 13 | Sensor Robot 6gdl Posición Final | Bool | %I2.4 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 14 | Sensor Aguja | Bool | %I2.5 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 15 | FIN INSPECCION | Bool | %M2.0 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 16 | FIN Tiempo Espera | Bool | %M2.1 | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 17 | <Agregar> | | | | ☑ | ☑ | ☑ | | |

*Variables del PLC (estación 2: Inspección).*

**Variables Estación 3**

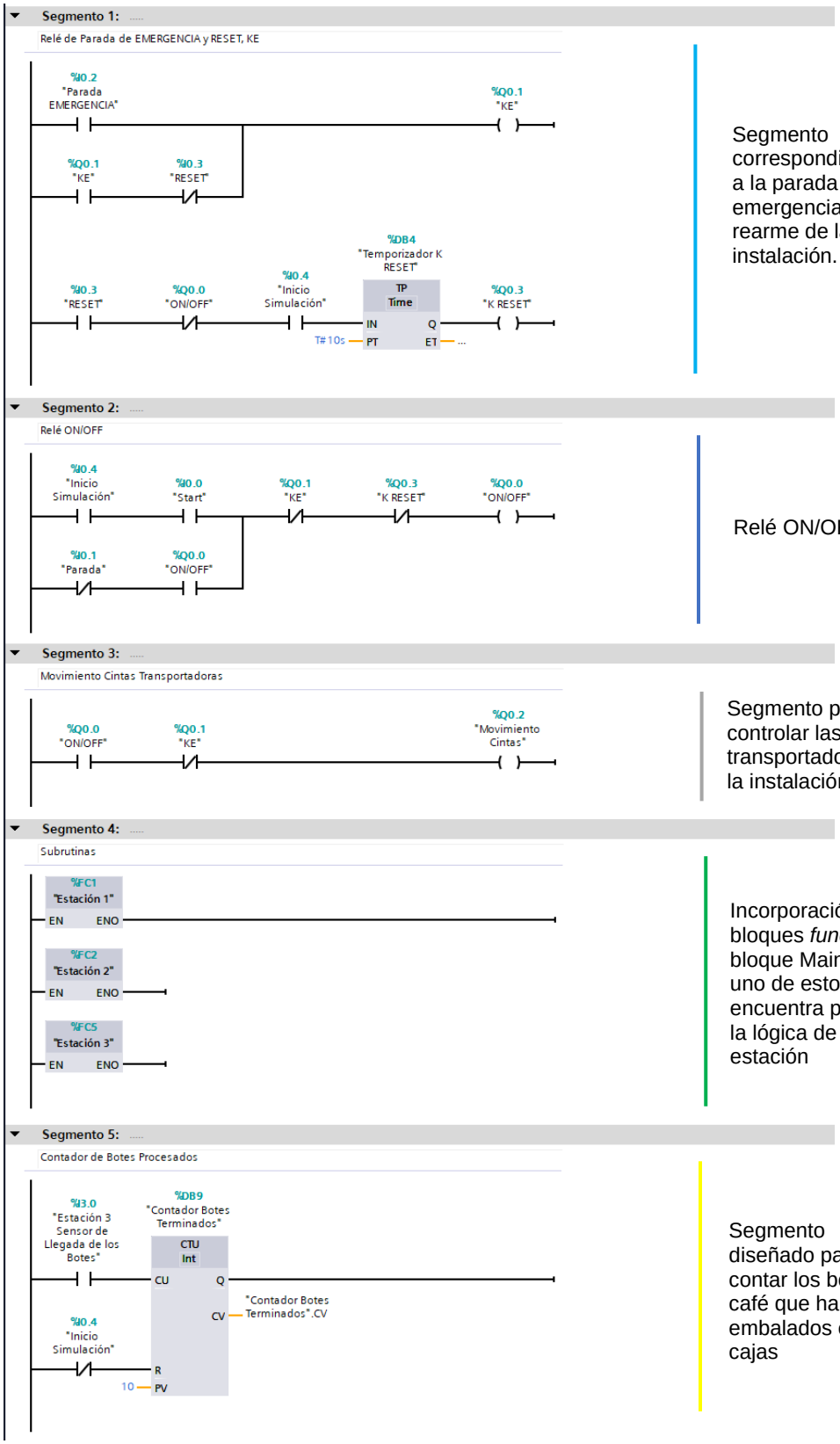
| | Nombre | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Acces... | Escrib... | Visibl... | Supervisión | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Movimiento Garra a Posición d... | Bool | %Q3.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 2 | Transversal (-120mm) | Bool | %Q3.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 3 | Transversal (-240mm) | Bool | %Q3.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 4 | Longitudinal (-150mm) | Bool | %Q3.4 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 5 | Longitudinal (-300mm) | Bool | %Q3.5 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 6 | Longitudinal (-450mm) | Bool | %Q3.6 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 7 | Estación 3 Sensor de Llegada d. | Bool | %I3.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 8 | Interruptor 1 | Bool | %I3.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 9 | Interruptor 2 | Bool | %I3.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 10 | Interruptor 3 | Bool | %I3.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 11 | Interruptor 4 | Bool | %I3.4 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 12 | Interruptor 5 | Bool | %I3.5 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 13 | Interruptor 6 | Bool | %I3.6 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 14 | Sensor Garra en Posición de Re.. | Bool | %I3.7 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 15 | Garra Cerrada | Bool | %Q3.7 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 16 | Movimiento Garra a Posición d... | Bool | %Q3.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 17 | Esperar 2 segundos | Bool | %M3.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 18 | Sensor Garra -240mm | Bool | %I4.0 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 19 | Sensor Garra en Posición de Re.. | Bool | %I4.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 20 | Sensor 1 | Bool | %I4.2 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 21 | Sensor 2 | Bool | %I4.3 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 22 | Sensor 3 | Bool | %I4.4 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 23 | Sensor 4 | Bool | %I4.5 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 24 | Sensor 5 | Bool | %I4.6 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 25 | Sensor 6 | Bool | %I4.7 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 26 | Fin Secuencia de Movimientos | Bool | %M3.1 | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| 27 | <Agregar> | | | ☐ | ☑ | ☑ | ☑ | | |

*Variables del PLC (estación 3: Embalaje).*

A continuación, se presenta la lógica Ladder diseñada para programar el modelo. Se puede apreciar que la programación de las estaciones se ha realizado por medio de bloques *función*, que ha permitido independizar la lógica de cada estación de trabajo.

De esta forma, la programación de futuros proyectos, que incorporen estas estaciones, será tan sencilla como copiar y pegar los bloques *función* correspondientes a la lógica del PLC.

**Bloque Main:**




Segmento correspondiente a la parada de emergencia y al rearme de la instalación.

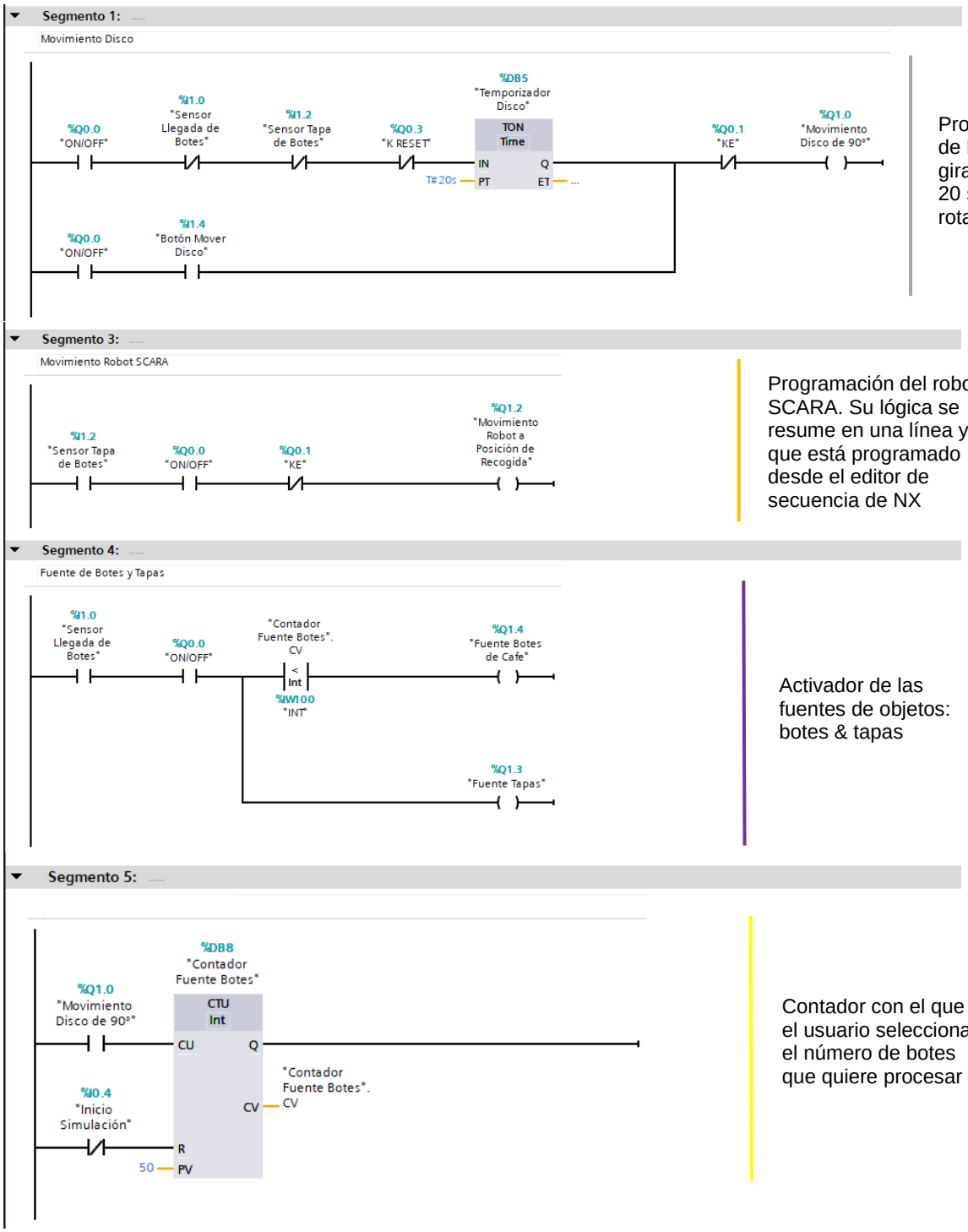
Relé ON/OFF

Segmento para controlar las cintas transportadoras de la instalación

Incorporación de los bloques *función* al bloque Main. En cada uno de estos bloques se encuentra programada la lógica de cada estación

Segmento diseñado para contar los botes de café que han sido embalados en las cajas

## Estación 1 (Bloque *función*):



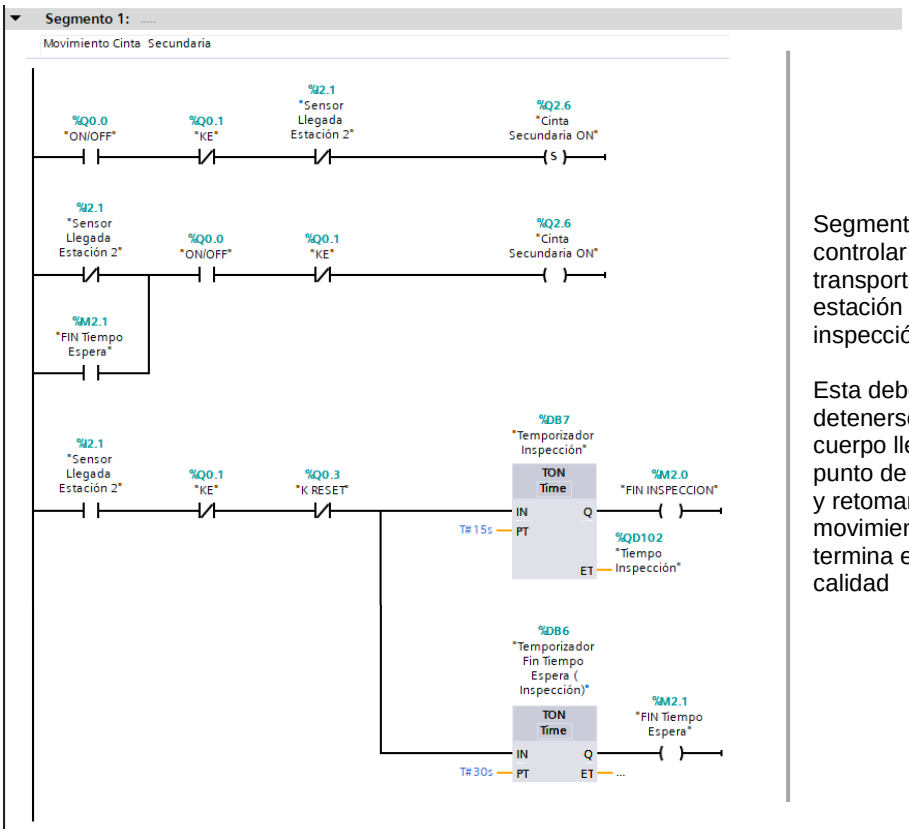

Programación de la mesa giratoria. Cada 20 segundos rota 90º

Programación del robot SCARA. Su lógica se resume en una línea ya que está programado desde el editor de secuencia de NX

Activador de las fuentes de objetos: botes & tapas

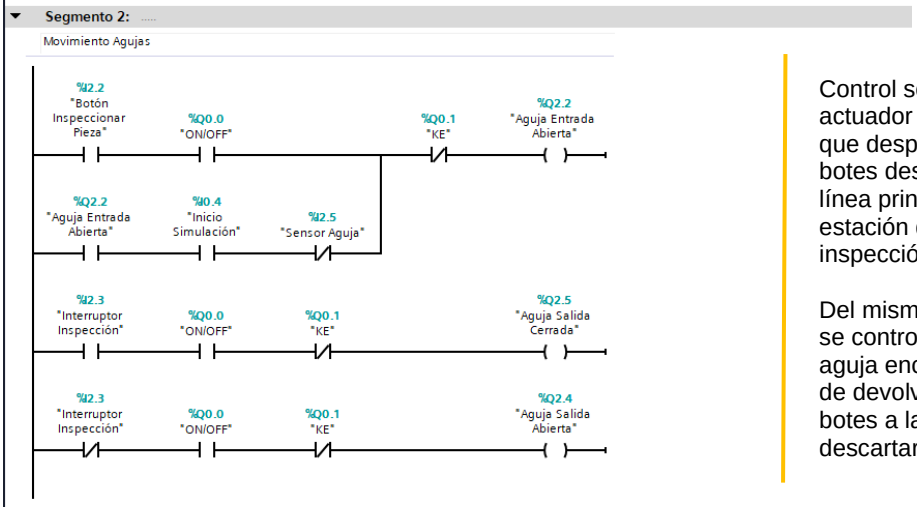
Contador con el que el usuario selecciona el número de botes que quiere procesar

**Estación 2 (Bloque *función*):**



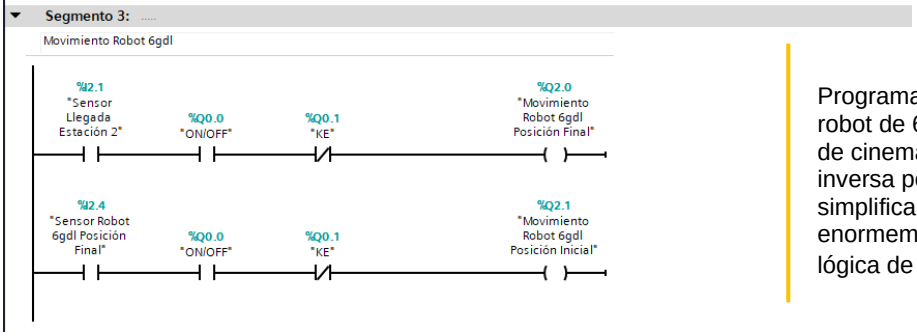

Segmento para controlar la cinta transportadora de la estación de inspección

Esta debe detenerse cuando el cuerpo llega al punto de inspección y retomar el movimiento una vez termina el control de calidad




Control sobre el actuador (aguja) que desplaza los botes desde la línea principal a la estación de inspección

Del mismo modo se controla la aguja encargada de devolver los botes a la línea o descartarlos

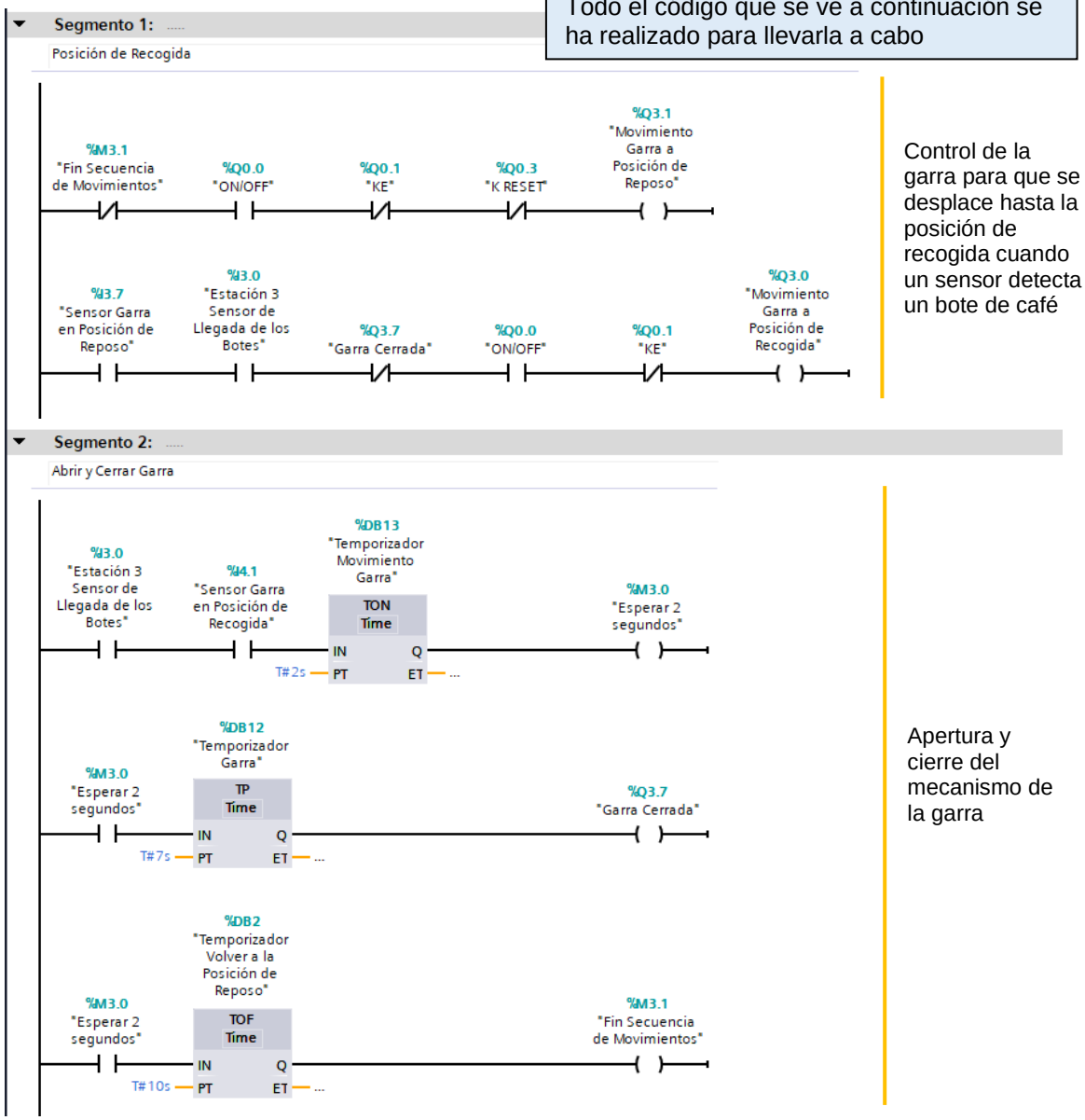



Programación del robot de 6gdl. El uso de cinemática inversa permite simplificar enormemente la lógica de control.

**Estación 3 (Bloque *función*):**

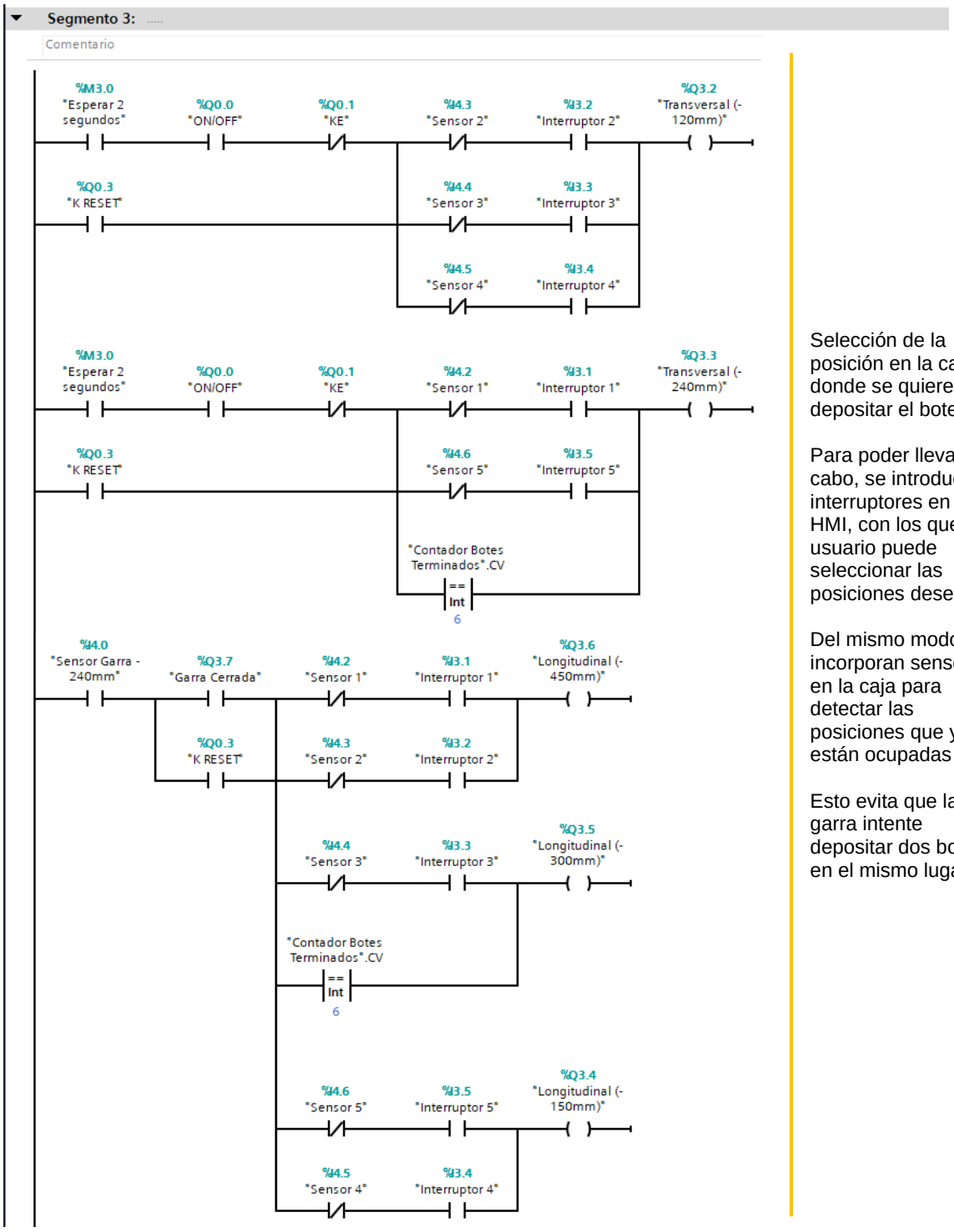
La lógica de la garra se ha programado enteramente desde TIA Portal

Todo el código que se ve a continuación se ha realizado para llevarla a cabo




Control de la garra para que se desplace hasta la posición de recogida cuando un sensor detecta un bote de café

Apertura y cierre del mecanismo de la garra




Selección de la posición en la caja donde se quiere depositar el bote

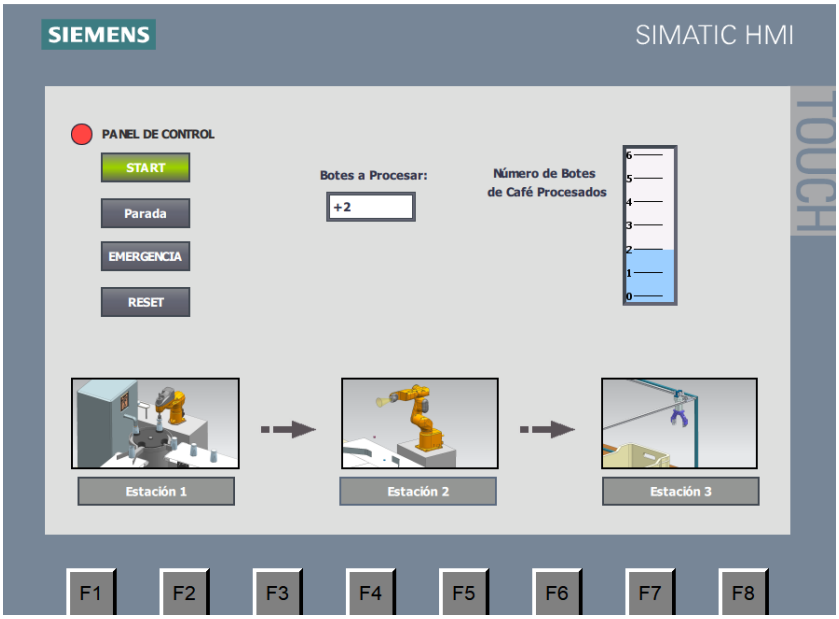
Para poder llevarlo a cabo, se introducen interruptores en el HMI, con los que el usuario puede seleccionar las posiciones deseadas

Del mismo modo, se incorporan sensores en la caja para detectar las posiciones que ya están ocupadas

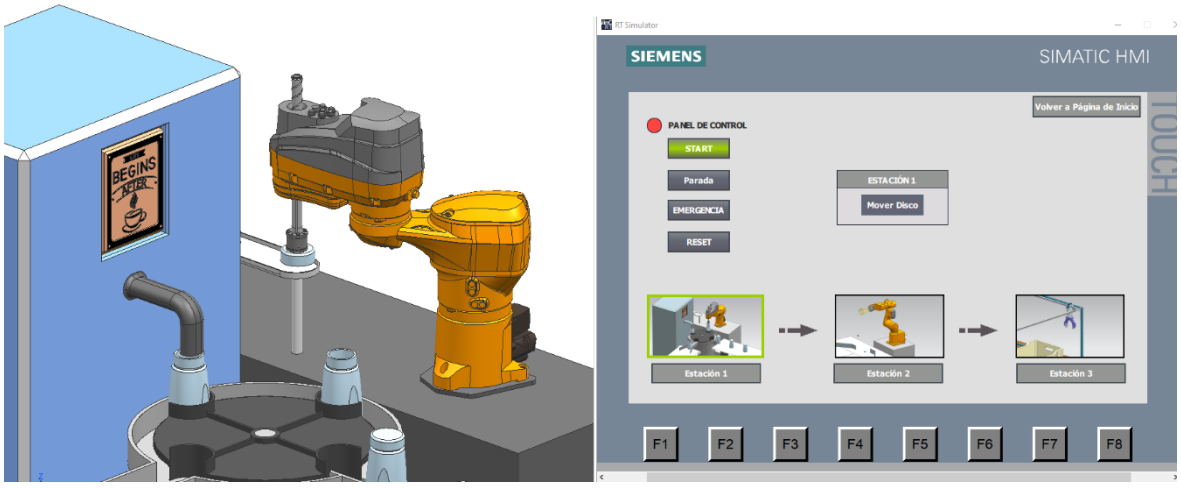
Esto evita que la garra intente depositar dos botes en el mismo lugar

## DISEÑO DEL HMI

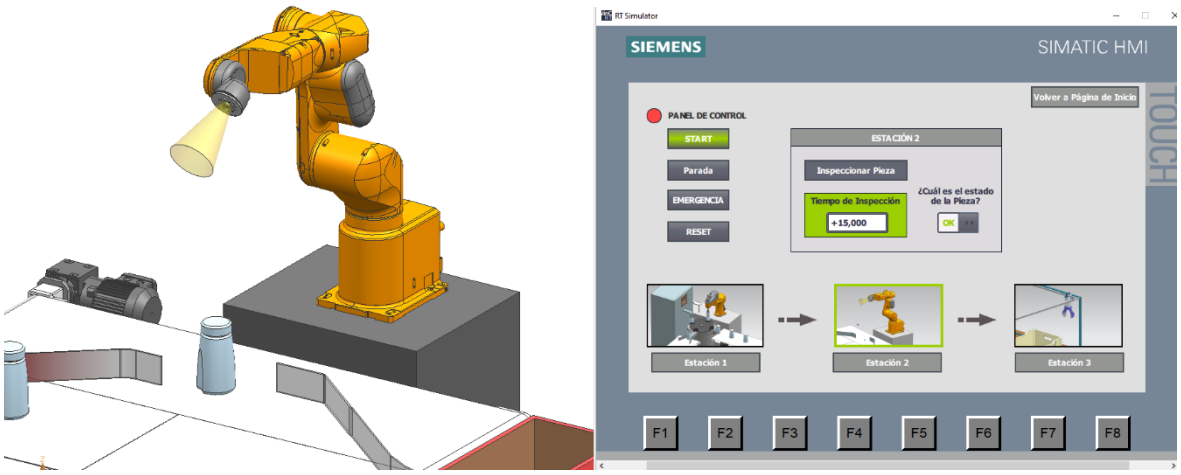
Para la interfaz hombre-máquina, se ha diseñado un HMI realista y con multitud de elementos con los que controlar y supervisar el comportamiento de la línea de montaje. En primer lugar, se ha creado una pantalla para cada estación, lo cual ha permitido diseñar interfaces personalizadas para cada etapa del proceso. Para navegar de una pantalla a otra, se han introducido una serie de botones en la parte inferior. Además, en todas las pantallas se ha añadido el panel de control, de tal forma que el operario sea capaz de controlar el sistema desde cualquier interfaz del HMI. De nuevo, se han incorporado todos los elementos estudiados durante la guía, y se han añadido *animaciones* con cambios de apariencia y cambios de visibilidad.



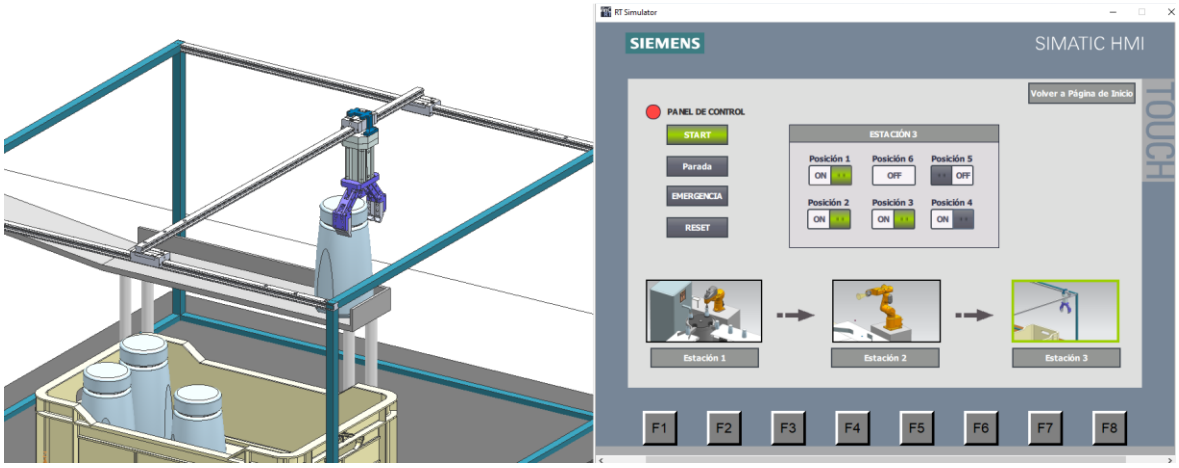

*Página de Inicio del HMI.*




*Interfaz de la estación de llenado.*




*Interfaz de la estación de inspección.*

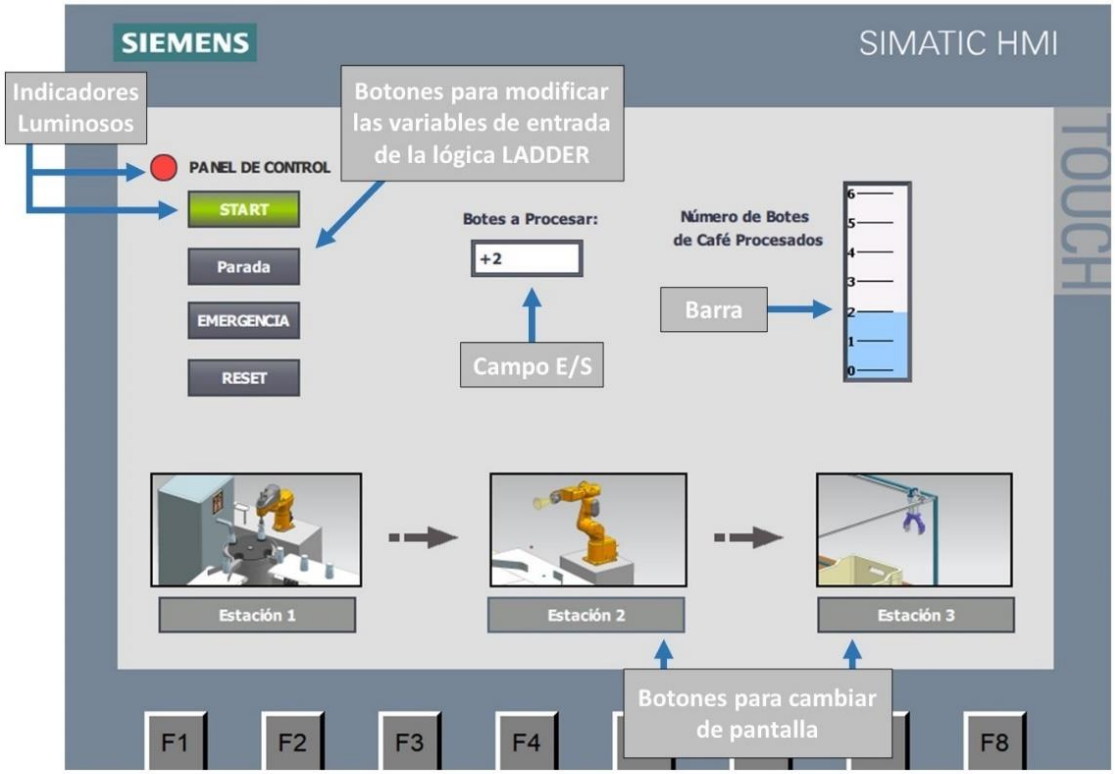



*Interfaz de la estación de embalaje.*

# HMI

La interfaz hombre-máquina es un elemento imprescindible para llevar a cabo un proyecto de puesta en marcha virtual. Su objetivo es permitir que el usuario tenga control sobre la simulación del modelo MCD, obteniendo al mismo tiempo información actualizada con la que supervisar el sistema.

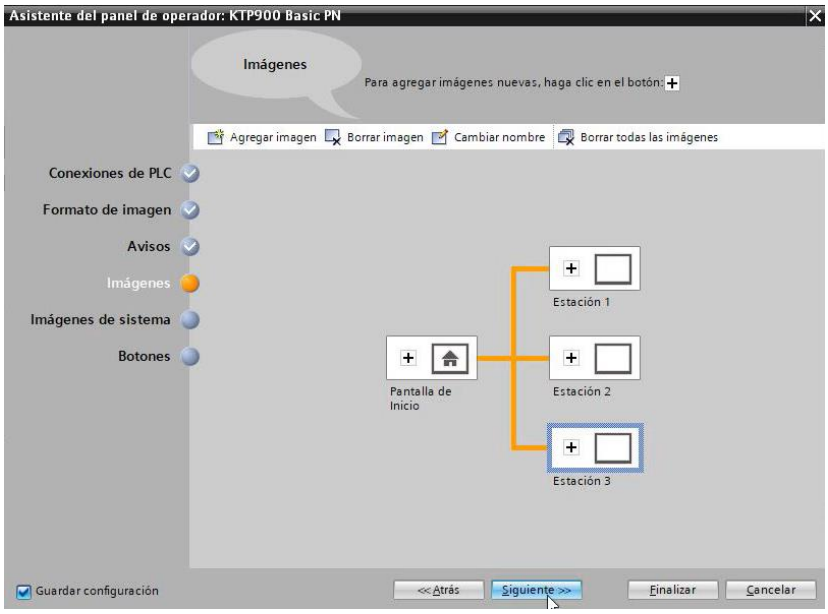
Para que el usuario pueda interactuar con el modelo tridimensional, es necesario asociar los elementos del HMI con las variables de la lógica Ladder. De esta forma, los elementos de control, tales como botones o interruptores, se han de ligar con variables de entrada, permitiendo modificar el comportamiento del sistema. Por otro lado, para recibir información del proceso productivo, se pueden conectar las variables (marcas, entradas o salidas) de la lógica Ladder con indicadores luminosos añadidos al HMI, permitiendo conocer al usuario el estado de la simulación.




*Elementos de un HMI (Interfaz Hombre-Máquina).*

## CONFIGURACIÓN INICIAL DEL HMI

Como ya se ha comentado anteriormente, el HMI seleccionado para este trabajo es el **KTP 900 Basic PN**, que se añade al programa con la herramienta *agregar dispositivos*. Nada más introducir el modelo, aparece la siguiente ventana, que permite realizar la configuración inicial de la interfaz.




*Configuración inicial del HMI.*

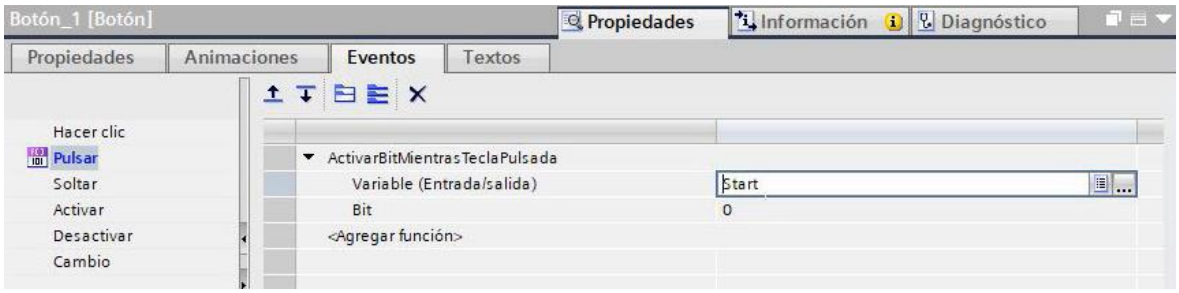
Desde aquí, se pueden modificar algunas propiedades básicas, como el color de fondo de la pantalla, la hora, la introducción de avisos y mensajes de error o la disposición de una serie de botones predeterminados. Sin embargo, la principal característica de esta ventana es la posibilidad de añadir y seleccionar el nivel de las pantallas que se van a incorporar al HMI, determinando la estructura que de la interfaz hombre-máquina.

## CONFIGURACIÓN DE LOS BOTONES

Los botones son uno de elementos principales de la interfaz de control y se utilizan para editar el estado de las variables de entrada del PLC. Por ello, el primer paso para configurar los botones es dirigirse a la ventana de *Eventos*, donde se puede establecer su modo de funcionamiento.

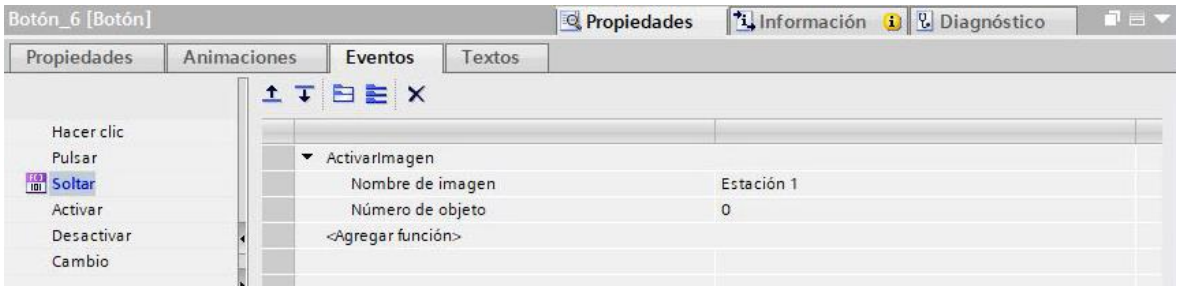
De esta forma, en el lado izquierdo de la pantalla, se pueden encontrar los distintos modos de funcionamiento del botón, que son: Hacer clic, Pulsar, Soltar, Activar, Desactivar y Cambio.

Generalmente, para configurar los botones asociados a las variables de entrada, se selecciona la opción de *pulsar*, y dentro de esta se escoge *ActivarBitMientrasTeclaPulsada*. De esta forma, mientras el botón se encuentre pulsado, la variable de entrada asociada permanecerá activada. Con el modo de empleo definido, se selecciona la variable asociada al botón, dando por terminada su configuración.




*Configuración de un botón asociado a una variable de entrada del PLC.*

Sin embargo, los botones también se pueden emplear para ejecutar otro tipo de acciones. Por ejemplo, se pueden configurar para navegar de una pantalla del HMI a otra. En este caso, se puede seleccionar el modo *Soltar*, dentro del cual se encuentra la opción de *ActivarImagen*, que permite asociar el botón a una de las pantallas del HMI.




*Botón utilizado para navegar de una pantalla del HMI a otra.*

## INTERRUPTORES

Los interruptores, al igual que los botones, son elementos que se conectan con las variables de entrada de la lógica, modificando el estado de estas por medio de la posición del interruptor. En este caso, la conexión no se realiza desde la ventana de *Eventos*, sino que tiene lugar directamente desde la ventana *Propiedades.*

*Configuración de un interruptor.*

## CAMPOS DE ENTRADAS Y SALIDAS

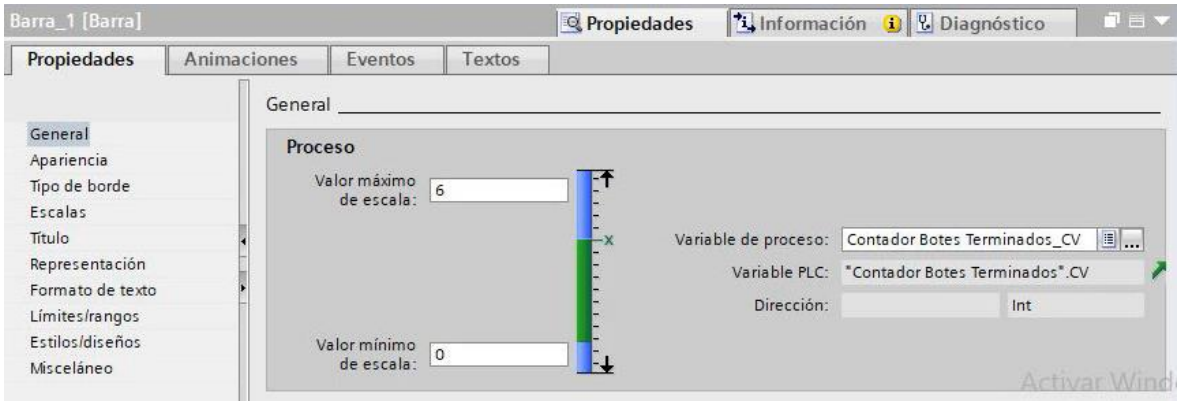
El campo de entradas y salidas es un elemento del HMI que permite trabajar con variables analógicas, y que resulta de gran interés en operaciones con temporizadores, contadores, comparadores u operaciones matemáticas. Como su propio nombre indica, este elemento se puede asociar con variables de entrada y salida, pudiendo emplearse como un elemento de control o como un indicador.

Su configuración se realiza desde la ventana de *Propiedades*, donde se selecciona la variable asociada, se escoge formato de visualización y se define el número de decimales que debe incorporar.

*Configuración de un campo E/S.*

## DIAGRAMAS DE BARRAS

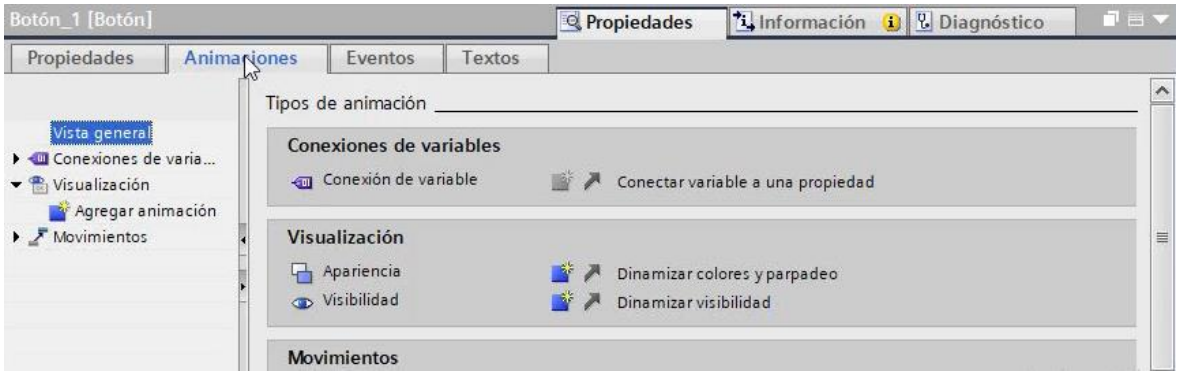
Los diagramas de barras son instrumentos utilizados para visualizar el valor de marcas y salida analógicas, lo que permite interpretar información de forma más rápida e intuitiva. Para seleccionar la variable asociada al diagrama, se abre la ventana de *Propiedades*, donde además se puede modificar su intervalo de representación. En este caso, también resulta interesante analizar las pestañas de *Apariencia* y de *Escalas* para personalizar otros aspectos del elemento.




*Configuración del diagrama de barras.*

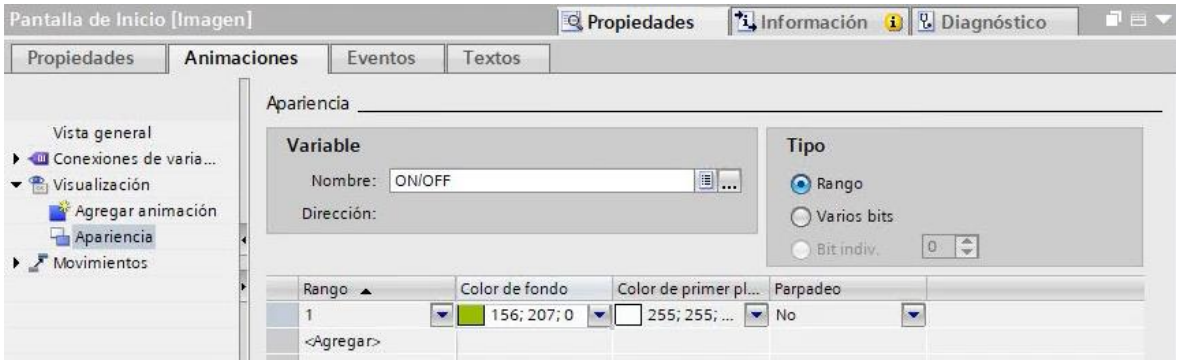
## ANIMACIONES

Finalmente, cabe destacar la introducción de animaciones a los elementos del HMI. Estas animaciones permiten modificar la apariencia y la visibilidad de los objetos, con el fin de convertirlos en indicadores que informen al usuario sobre el estado del sistema productivo. Del mismo modo, se pueden añadir movimientos para representar ciertas operaciones o procesos del sistema.



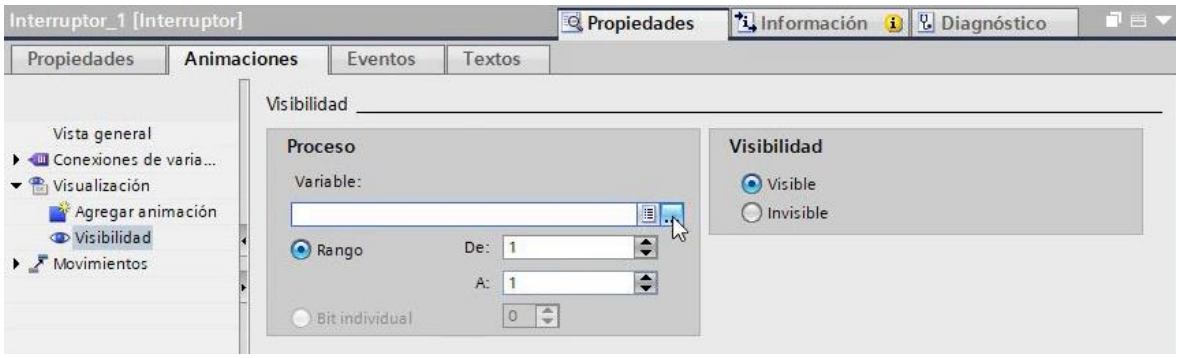

*Animaciones del HMI.*

En primer lugar, se analizan los cambios de apariencia con los que se puede modificar el color de los elementos. Su uso se encuentra extendido a la hora de crear indicadores luminosos a partir de formas geométricas, como cuadrados o círculos, o de modificar el aspecto de los botones para indicar si estos se encuentran pulsados. Para agregar una nueva apariencia, simplemente se ha de seleccionar la variable asociada, el valor de la variable con el cual se debe modificar el aspecto del elemento y el nuevo color de este.




*Cambio de apariencia de un elemento.*

Por otra parte, los cambios de visibilidad permiten ocultar y visualizar ciertos elementos. Su configuración se realiza de forma muy similar a la de los cambios de apariencia, es decir, se elige la variable de interés, se selecciona el rango de valores, y finalmente se escoge si hacer visible o invisible el elemento en dicho rango.




*Cambio de visibilidad de un elemento del HMI.*

# PLCSIM ADVANCED

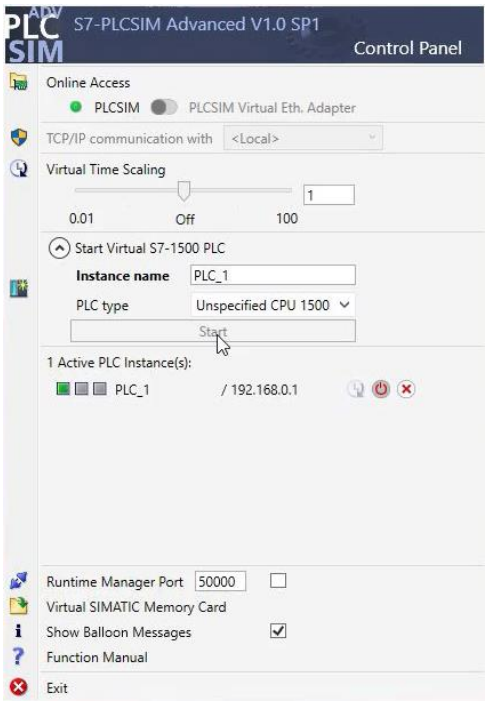
En esta sección se presenta la metodología seguida para generar los PLCs virtuales, que constituyen el último elemento necesario para llevar a cabo la puesta en marcha virtual. Asimismo, se expone el proceso para conectarlo a los programas de TIA Portal y NX, con el objetivo de cargar la lógica Ladder al PLC, establecer la conexión con el HMI y enlazarlo con el modelo tridimensional.

## CREACIÓN DEL PLC

Para generar el PLC virtual se utiliza el software de PLCSIM Advanced, creado para desarrollar aplicaciones relacionadas con el *Virtual Commissioning*. Para acceder a este programa, el usuario ha de dirigirse a la barra inferior de la pantalla, donde se encuentra su acceso directo correspondiente.

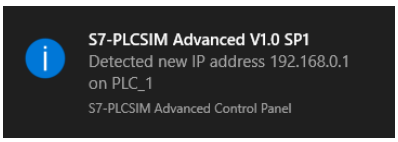
*Acceso al programa PLCSIM Advanced.*

De esta forma, se accede a la interfaz desde la que se crean y visualizan los PLCs virtuales. Para crear un nuevo dispositivo se tiene la herramienta de *iniciar un nuevo PLC*, desde la que se selecciona el tipo de controlador, en este caso uno de la serie 1500, y se asigna el nombre de la instancia. Es muy recomendable nombrar siempre el PLC de la misma forma, que en este caso será “PLC_1”.




*Interfaz de PLCSIM Advanced.*

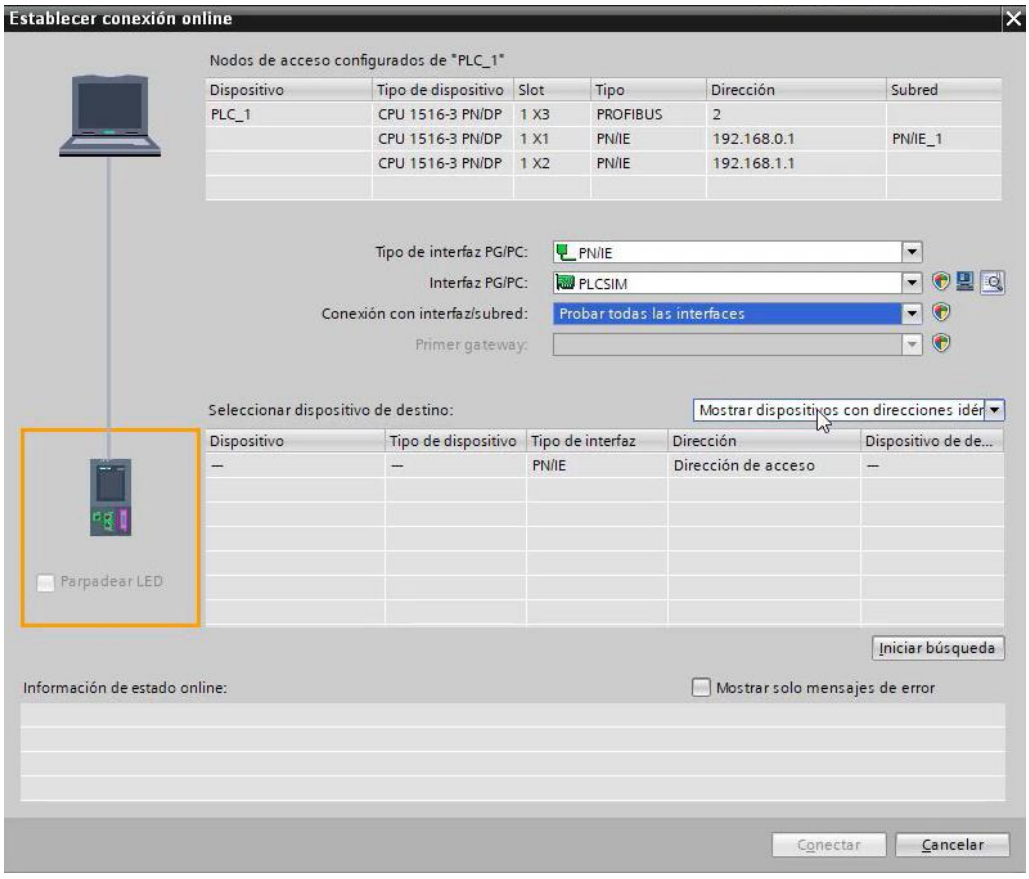
Tras pulsar el botón de *Start*, aparece el siguiente mensaje que confirma la creación del PLC virtual, que ahora ya está listo para conectarse con TIA Portal y NX.




*Mensaje de confirmación: PLC virtual generado.*

## CONEXIÓN CON TIA PORTAL

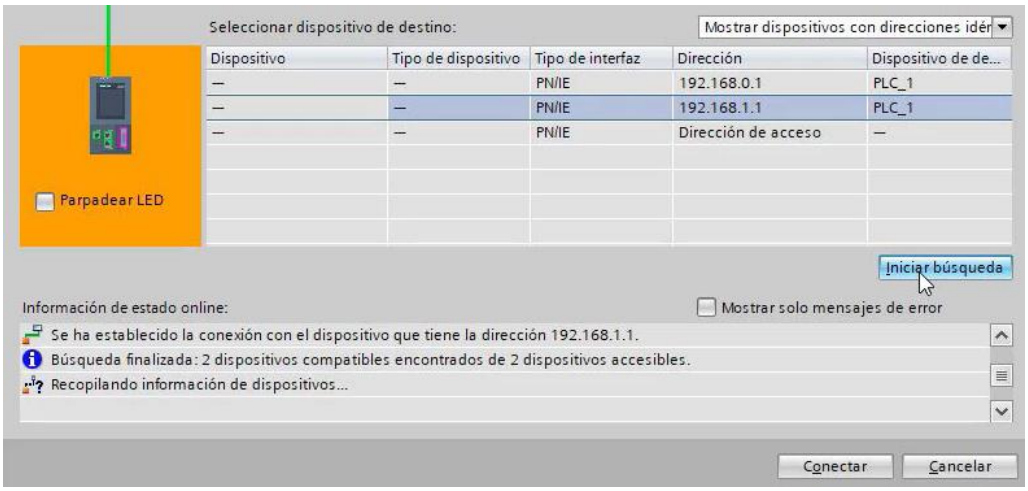
Para establecer la conexión entre el PLC virtual y TIA Portal, se utiliza la herramienta *establecer conexión online*, que abre la siguiente ventana.




*Ventana para establecer la conexión online entre TIA Portal y el PLC virtual.*

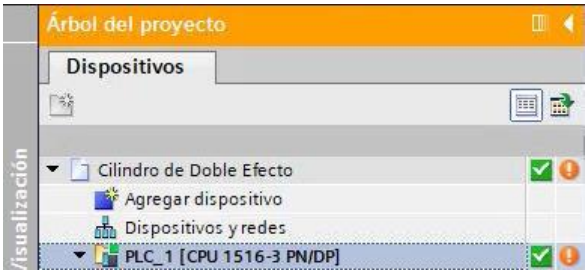
En este punto, se selecciona el tipo de interfaz para realizar la conexión, que en este caso será a través de un puerto PN/IE, aunque también se podría efectuar por medio de un puerto Profibus. Posteriormente, se elige la interfaz denominada PLCSIM, y se *prueba con todas las interfaces*, iniciando así la búsqueda del PLC virtual.

Una vez el programa localiza el PLC, aparece lo que aparentan ser dos dispositivos. En realidad, se trata del mismo PLC, pero dado que este se puede conectar por medio de sus dos puertos PN/IE, el usuario tiene la opción de seleccionar aquel por el que quiere realizar la conexión. Sin embargo, dado que uno de los puertos ya se utilizó para conectar el PLC con el HMI, únicamente se podrá establecer la conexión por medio del puerto restante. Por ello, simplemente se le da al botón de *conectar* manteniendo la selección que realiza el programa de forma automática.



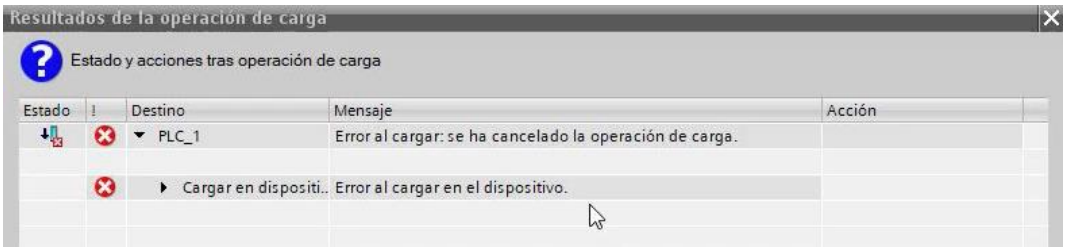

*Detección del PLC virtual.*

Al establecer la conexión entre el PLC virtual y TIA Portal, en la sección *Árbol del proyecto* se observan unos tics verdes que indican que la conexión online es correcta. Sin embargo, también aparecen unos *warnings*, comunicando al usuario que la lógica de TIA Portal no se corresponde con la que se encuentra actualmente cargada en el PLC virtual.



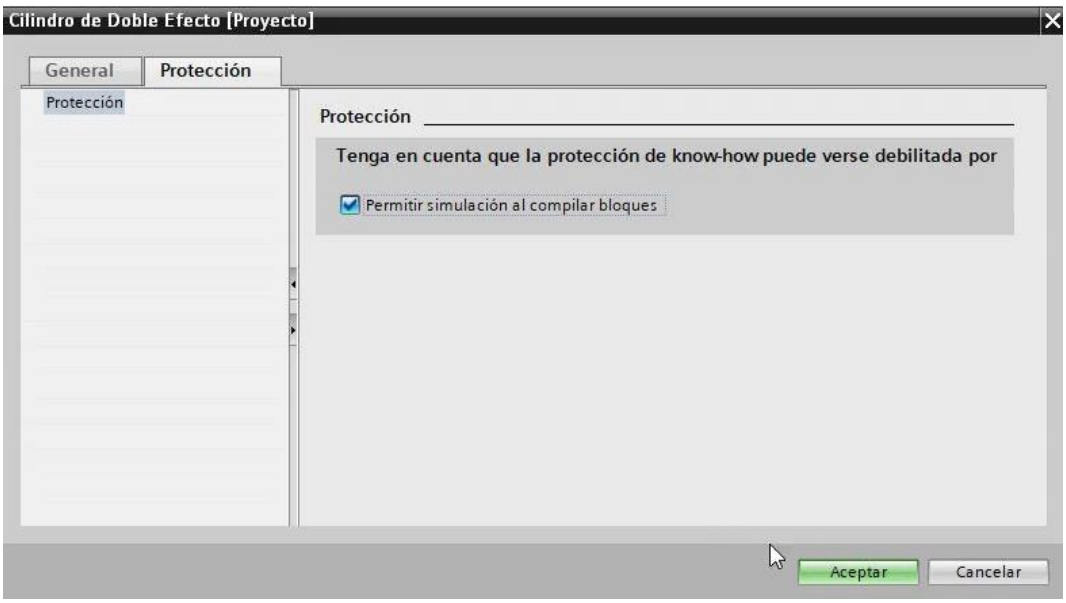

*Árbol del proyecto con la conexión establecida.*

Para cargar la lógica Ladder al PLC, se abre el bloque *Main* y se pincha sobre el botón *cargar en dispositivo*. El programa compila el código comprobando si existe algún error de programación. Es habitual que en los nuevos proyectos aparezca el siguiente mensaje de error al realizar el procedimiento de carga.




*Mensaje de error al cargar la lógica Ladder al PLC virtual.*

Para solucionarlo, se modifican las propiedades del proyecto desde la ventana de "Protección", donde se debe seleccionar la opción: permitir simulación al compilar bloques.




*Modificación de las propiedades del proyecto.*

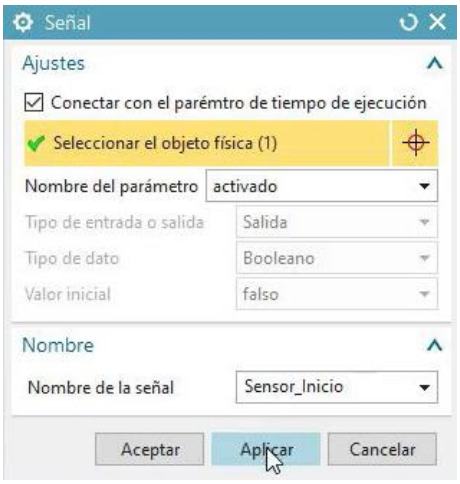
# CONEXIÓN CON NX

Con la lógica Ladder cargada en el PLC, se procede a realizar su conexión con el archivo MCD[3]. Para ello, desde NX se crean previamente una serie de señales que se asocian, o mapean, con las variables del PLC.

## SEÑALES

Para establecer una conexión entre ambos programas, se crean en NX todas las señales definidas en el PLC que estén relacionadas con el modelo tridimensional, tales como las señales asociadas a los sensores o las señales que indican cuando debe comenzar una acción en concreto. Estas señales se definen desde la sección de "Eléctrico", donde se encuentra la herramienta de crear *señal*. (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Lo primero que se observa cuando se define una nueva señal, es la opción de conectarla con alguno de los elementos del archivo MCD, que se utilizará por ejemplo cuando se quiera vincular una señal con el estado de un sensor. Posteriormente, se determina si la señal es de entrada o de salida. Es importante destacar que en este caso, el término entrada y salida se hace con respecto al programa de NX, es decir, una señal de salida del PLC se corresponde con una señal de entrada en NX y viceversa.



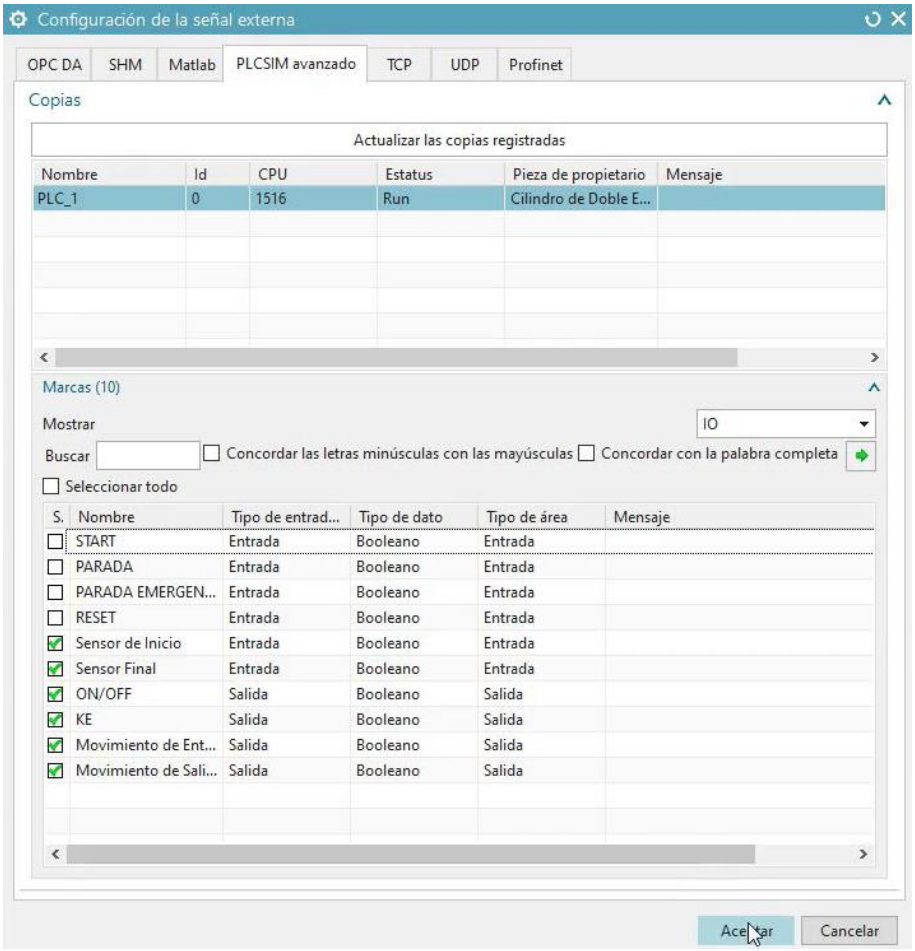

*Definición de una señal.*

[3] Las ilustraciones empleadas en esta sección se han obtenido del cuarto vídeo de la guía (Puesta en marcha virtual: cilindro de doble efecto).

## CONFIGURACIÓN DE LA SEÑAL EXTERNA

Con las señales definidas, ya se puede establecer la conexión con el PLC virtual. Para ello, desde la sección de “Automatización”, se abre la herramienta *configuración de la señal externa.*

Desde esta ventana se pueden ver los distintos programas con los que se puede conectar NX. Se selecciona el programa PLCSIM Advanced y se *actualizan las copias registradas* para buscar el PLC virtual. Tras seleccionar el dispositivo “PLC_1”, se visualizan en la parte inferior todas sus variables de entrada y salida. A continuación, se realiza un proceso de selección, donde se escogen aquellas variables del PLC que se quieren asociar con las señales definidas en NX.

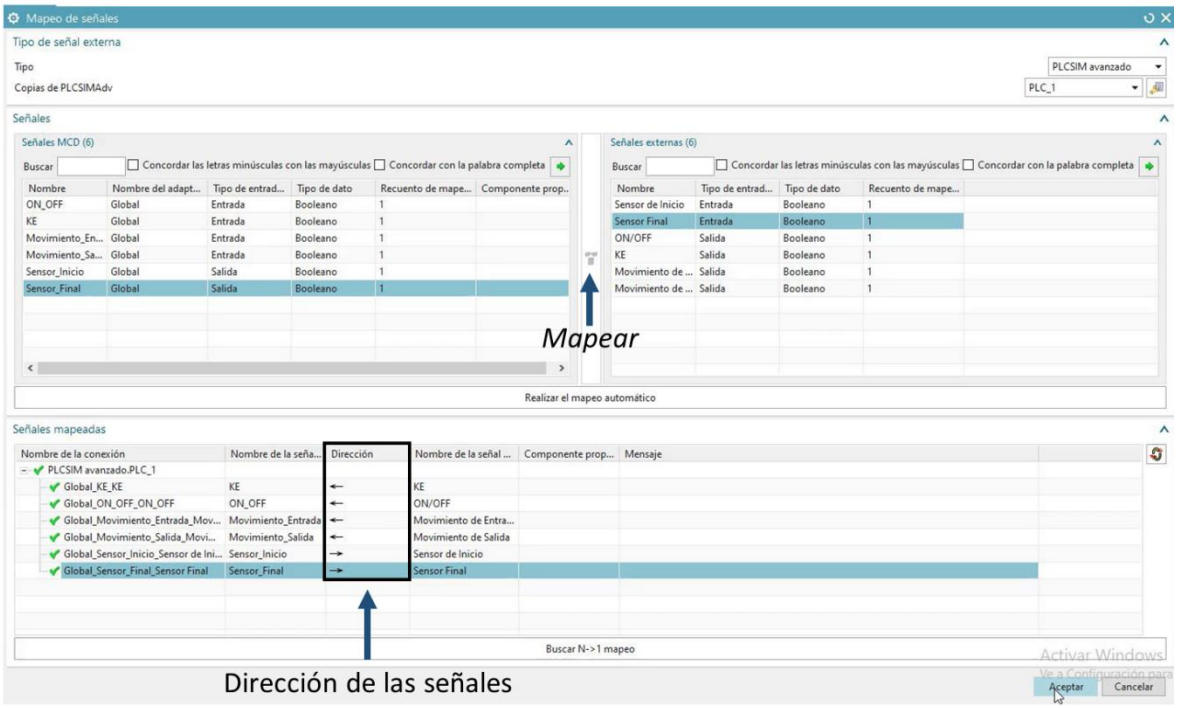



*Configuración de la señal externa.*

## MAPEO DE SEÑALES

A continuación, se conectan las señales definidas en NX con las señales externas seleccionadas en el apartado anterior, es decir, con las variables de la lógica Ladder.

Esta operación se realiza con la herramienta *Mapeo de Señales*, donde se seleccionan las variables que se van a asociar, confirmando esta selección con el botón de *mapear*. Los mapeos de señales realizados se pueden ver desde la ventana inferior[4].

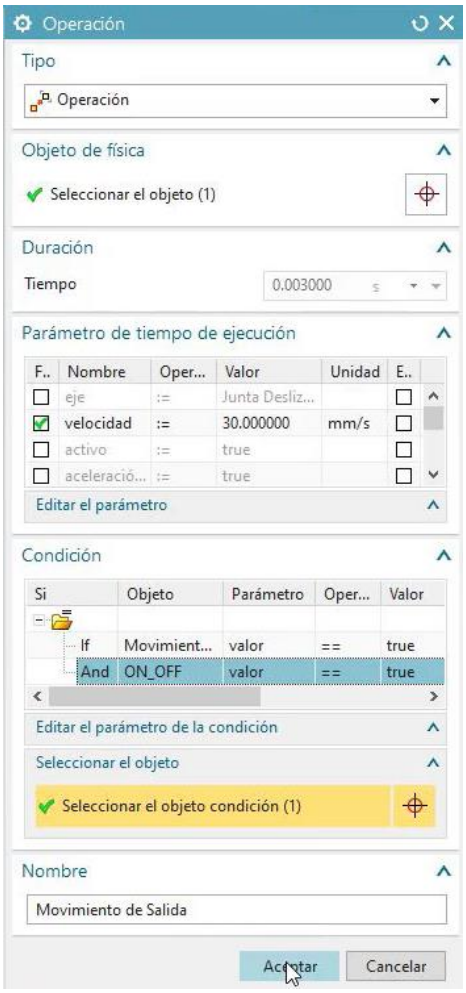



*Mapeo de señales.*

[4] El mapeo siempre debe realizarse con una señal de salida y otra de entrada, nunca pueden ser del mismo tipo.

## CONFIGURACIÓN DE LAS OPERACIONES

Para poder controlar las operaciones de NX desde el PLC virtual, se añaden las señales recién mapeadas como condiciones de partida. Esto se realiza desde la parte inferior de la ventana de operación, donde se pueden añadir una o varias señales como condición. Asimismo, se tiene la opción de escoger la lógica booleana de estas condiciones: IF AND, o IF OR.




*Señales definidas como condiciones de partida de la operación.*

## SINCRONIZACIÓN DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN

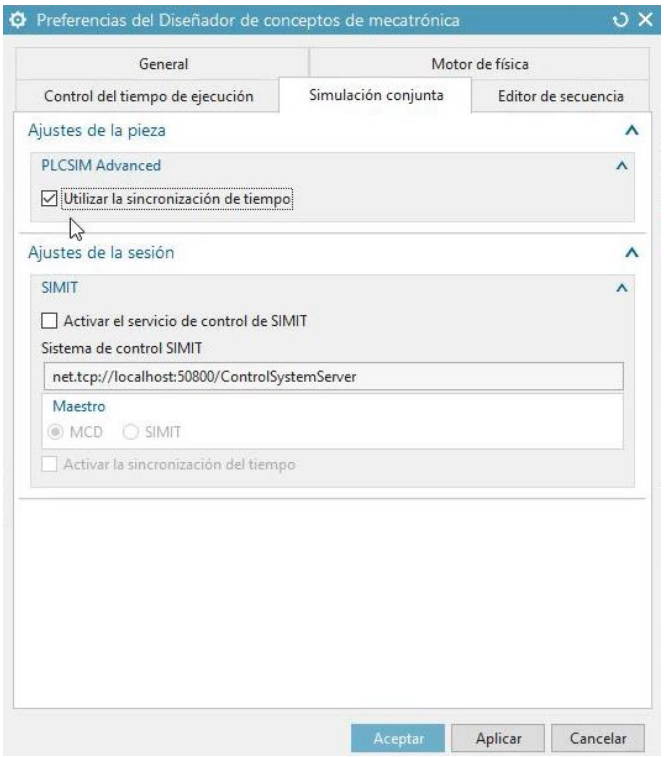
Finalmente, se presenta una propiedad muy importante que se ha de tener en cuenta al conectar el modelo de NX con el PLC virtual.

Cuando un archivo de NX incorpora un gran número de físicas, su elevado coste computacional provoca que las simulaciones pierdan fluidez y se ralenticen. Esto se puede comprobar desde la parte inferior de la pantalla, donde se indica el tiempo de simulación transcurrido, el tiempo de retraso y la velocidad actual de la simulación.

*Tiempo de simulación, tiempo de retraso y escalado del tiempo real.*

Aunque esto en general no supone ningún contratiempo, el problema radica en que el PLC virtual no es capaz de detectar el “delay” de NX. Este retraso puede hacer que secuencias de operaciones complejas, definidas en el PLC, sean propensas a perder sincronía con los elementos del modelo MCD, resultando en errores de simulación.

Esta dificultad se resuelve desde el “menú” de NX, en las “preferencias” del programa, donde se encuentran los ajustes del “Diseñador de Conceptos de Mecatrónica”. Desde la ventana de *simulación conjunta*, se confirma la sincronización de tiempo con PLCSIM Advanced. De esta forma, el PLC virtual consigue percibir los cambios en la velocidad de simulación de NX, asegurando la sincronización entre programas y evitando fallos graves en la simulación.




*Sincronización de tiempo con PLCSIM Advanced.*