



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior (Jaén)

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS DE LAS POSIBILIDADES DE SIMULACIÓN DE AUTOMATISMOS EMPLEANDO GRAFCET STUDIO EN CONJUNCIÓN CON PLC-LAB

Alumno/a: Casanova González, Inmaculada

Tutor/a: Don Ángel Gaspar González Rodríguez
Dpto.: Ingeniería Electrónica y Automática

Julio, 2020



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática

Don Ángel Gaspar González Rodríguez , tutor del Trabajo de Fin de Máster titulado:
Análisis de las posibilidades de simulación de automatismos empleando Grafcet
Studio en conjunción con PLC-Lab, que presenta Doña Inmaculada Casanova
González, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela
Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Julio de 2020

El alumno:

El tutor:

Inmaculada Casanova González

Ángel Gaspar González Rodríguez

Índice

Resumen.....	5
Abstract.....	6
1. Introducción.....	8
2. Grafcet Studio	11
2.1. Características generales.....	11
2.2. Dibujo del diagrama Grafcet.....	12
2.3. Simulación de Grafcet	13
2.4. Transferencia de Grafcet a otro dispositivo	14
2.5. Diferencias entre Grafcet Studio Starter y Grafcet Studio Pro Edition	15
3. PLC-Lab Runtime.....	17
3.1. Características generales.....	17
3.2. Diferencias entre PLC-Lab y PLC-Lab Runtime	19
4. Ejercicios.....	21
4.1. Tomógrafo.....	21
4.2. Máquina cortadora	27
4.3. Lavadora	31
4.4. Baño de limpieza.....	35
4.5. Máquina taladradora	39
4.6. Mesa giratoria	44
4.7. Mezcladora	48
4.8. Cinta transportadora.....	52
5. Conclusiones.....	56
Bibliografía	59
Anexo I: Entornos de simulación disponibles en PLC-Lab Runtime.....	61
Anexo II: Maqueta de la cinta transportadora	77

Índice de figuras

Figura 1: Interfaz de Grafcet Studio Starter.	11
Figura 2: Ventana de elementos Grafcet.	13
Figura 3: Interfaz PLC-Lab Runtime.	18
Figura 4: Entorno de simulación tomógrafo	22
Figura 5: Grafcet tomógrafo.	26
Figura 6: Entorno de simulación máquina cortadora.....	27
Figura 7: Grafcet máquina cortadora.	30
Figura 8: Entorno de simulación lavadora.....	31
Figura 9: Grafcet lavadora.	34
Figura 10: Entorno de simulación baño de limpieza.	35
Figura 11: Grafcet baño de limpieza.....	38
Figura 12: Entorno de simulación máquina taladradora.....	39
Figura 13: Grafcet máquina taladradora (a).....	42
Figura 14: Grafcet máquina taladradora (b).....	43
Figura 15: Entorno de simulación mesa giratoria.....	44
Figura 16: Grafcet mesa giratoria.	47
Figura 17: Entorno de simulación mezcladora.	48
Figura 18: Grafcet mezcladora.	51
Figura 19: Maqueta cinta transportadora.	52
Figura 20: Grafcet cinta transportadora.	54
Figura 21: Robot de montaje (Assembly robot).	61
Figura 22: Control de tanque de llenado (Controlling filling tank).....	61
Figura 23: Cinta transportadora con contador (Conveyor belt with counter).	62
Figura 24: Prensa (Crimp device).....	62
Figura 25: Máquina cortadora (Cutter machine).	63
Figura 26: Prueba de detergente (Detergent test).	63
Figura 27: Máquina taladradora (Drill machine).....	64
Figura 28: Ventilador (Fan).....	64
Figura 29: Tanque de llenado (Filling tank).....	65
Figura 30: Tanque de llenado con drenaje manual (Filling tank with manual drain).....	65
Figura 31: Barrera (Gate).	66
Figura 32: Barrera con lámpara (Gate with lamp).....	66
Figura 33: Contenedor de carga (Loading container).	67
Figura 34: Contenedor de carga con cinta transportadora (Loading container with conveyor belt).....	67
Figura 35: Modo automático y manual (Manual and automatic mode).....	68
Figura 36: Mezclador de líquidos (Mixing liquids).	68
Figura 37: Máquina hidráulica (Press).	69
Figura 38: Bomba de encendido/apagado (Pump On/Off).	69
Figura 39: Mesa giratoria (Rotary index table).	70
Figura 40: Contenedor de mezcla rotatorio (Rotated mixing container).	70
Figura 41: Selector de niveles (Selecting levels).	71
Figura 42: Botón de iniciar y reiniciar (Start reboot).....	71
Figura 43: Conmutación de modo de funcionamiento (Switching operating mode).....	72
Figura 44: Cambio de dirección de rotación (Switching rotate direction).....	72
Figura 45: Encendido y apagado de un motor (Switch motor).	73

Figura 46: Transiciones controladas por tiempo (Time controlled steps).	73
Figura 47: Tomógrafo (Tomograph)	74
Figura 48: Válvula (Valve pulsed mode).	74
Figura 49: Baño de limpieza (Workpiece cleaner).	75
Figura 50: Lavadora (Workpiece washing machine).	75
Figura 51: Ensamblaje de la cinta transportadora	77
Figura 52: Pieza inicial.	78
Figura 53: Estación de evaluación.	78
Figura 54: Estación de rechazo.	79
Figura 55: Pieza final.	79
Figura 56: Rodillo motriz (izq.) y rodillo auxiliar (der.).	80
Figura 57: Pala.	80
Figura 58: Impresora 3D utilizada para fabricar las piezas.	81
Figura 59: Interruptor.	81
Figura 60: Pulsador.	81
Figura 61: LED.	82
Figura 62: Sensor de ultrasonidos.	82
Figura 63: Motor de pasos.	82
Figura 64: Servomotor.	83
Figura 65: Placa Arduino UNO.	83
Figura 66: Maqueta de la cinta transportadora.	84
Figura 67: Maqueta de la cinta transportadora cableada al PLC.	84

Índice de tablas

Tabla 1: Comparativa entre Grafcet Studio Starter y Grafcet Studio Pro Edition	15
Tabla 2: Entradas y salidas tomógrafo.	25
Tabla 3: Entradas y salidas máquina cortadora.	29
Tabla 4: Entradas y salidas lavadora.	33
Tabla 5: Entradas y salidas baño de limpieza.	37
Tabla 6: Entradas y salidas máquina taladradora.	41
Tabla 7: Entradas y salidas mesa giratoria.	46
Tabla 8: Entradas y salidas mezcladora.	50
Tabla 9: Entradas y salidas cinta transportadora.	53

Resumen

El presente trabajo trata de analizar las posibilidades del uso en conjunto de Grafcet Studio Starter y PLC-Lab Runtime, dos programas destinados al aprendizaje de automatización de procesos.

Quieren probarse las prestaciones de ambas herramientas, desarrollándose una batería de 8 ejercicios para tal fin. Los mismos han sido diseñados intentando abarcar todos los elementos existentes en la metodología Grafcet.

El trabajo se estructura como se describe a continuación. Primero se lleva a cabo una pequeña introducción al diagrama Grafcet, definiéndolo e indicando su origen y su uso en la actualidad. Posteriormente se exponen las herramientas empleadas para la realización de este trabajo, Grafcet Studio Starter y PLC-Lab Runtime, definiendo las características y funciones principales de cada uno, así como las limitaciones encontradas en su utilización y una comparativa entre la versión empleada y las versiones superiores existentes. En tercer lugar, se desarrolla la batería de ejercicios que tiene como objetivo comprobar las prestaciones de ambos programas. Finalmente, habiendo analizado los resultados obtenidos, se establecen las conclusiones a las que se llegan en la realización de este proyecto.

El objetivo de este trabajo, por tanto, no es otro que explotar el potencial del empleo conjunto de ambos programas, probando todas sus aplicaciones posibles, para obtener un juicio certero sobre si son realmente útiles para la docencia sobre automatización de procesos. También se ha querido dar un paso más, utilizando la versión superior de Grafcet Studio en una aplicación con un dispositivo real, en concreto, un PLC.

Abstract

The present project consists in the analysis of the possibilities of using Grafcet Studio Starter and PLC-Lab Runtime altogether, both programs for learning process automation.

It is looked to test the benefits of both tools, by developing a series of 8 exercises for this purpose. They all have been designed trying to cover all the existing elements in the Grafcet methodology.

The work is structured as described below. First, a short introduction to the Grafcet diagram is made, defining it and indicating its origin and its current use. Subsequently, the tools used to accomplish this work, Grafcet Studio Starter and PLC-Lab Runtime, are exposed, defining the characteristics and main functions of each one, as well as the limitations found in their use and a comparison between the version used and the existing superiors versions. Thirdly, the collection of exercises is developed with the goal of reviewing the benefits of both programs. Finally, having analyzed the results obtained, the conclusions reached by completing this project are established.

The object of this work, therefore, is none other than to exploit the potential of the simultaneous use of both programs, testing all their possible applications, to obtain an accurate judgment on whether they are actually useful for teaching on process automation. In order to go one step further, it has been used the superior version of Grafcet Studio in an application with a real device, in particular a PLC.

1. INTRODUCCIÓN

1. Introducción

El Grafcet, del francés “Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition” (Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones), es un modelo de representación gráfica, de los sucesivos comportamientos de un sistema lógico, predefinido por sus entradas y salidas [2]. Es un diagrama funcional que describe los procesos a automatizar, teniendo en cuenta las entradas y las acciones a realizar, así como los procesos intermedios que provocan estas acciones. Está definido por elementos gráficos y reglas de evolución que reflejan la dinámica del comportamiento del sistema.

Los primeros métodos para el desarrollo de automatismos eran puramente intuitivos, llevados a cabo por expertos y desarrollados en base a la experiencia. La creciente complejidad de los automatismos industriales se tradujo en una mayor dificultad para definir de forma clara y sin ambigüedades las especificaciones funcionales a las que debían responder [8]. Surgió entonces la necesidad de disponer de un método de descripción de procesos secuenciales que fuera eficaz, simple e interpretable por técnicos de diferentes campos. No solo eso, también se perseguía un método sencillo para mostrar flujos de trabajo a operarios en diversas áreas, sin tener que especializarlos.

Como respuesta a esta necesidad, nace en Francia el Grafcet, en el año 1977, debido a la colaboración de algunos fabricantes de autómatas, como Telemecanique y Aper, con dos organismos oficiales, AFCET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique) y ADEPA (Association pour le Développement de Production Automatisée). Se homologó en Francia, Alemania y posteriormente por la Comisión Electrónica Internacional (IEC) [6].

Inicialmente se desarrolló como un lenguaje de especificación de secuencias, para que los diferentes profesionales de diferentes disciplinas técnicas dispusieran de un método de descripción de procesos que utilizara grafos que pudieran ser fácilmente interpretados [3].

Actualmente es una herramienta eficaz cuando se trata de automatizar procesos secuenciales de cierta complejidad con autómatas programables. Es una

forma de representación del automatismo de alto nivel, que resulta muy útil para explicar el funcionamiento del proceso y facilitar el diseño. Para la implementación final, sin embargo, es necesario traducir estos diagramas a otras formas de representación de bajo nivel (diagramas de contactos, listas de instrucciones, etc.). Aunque hoy en día, algunos fabricantes de autómatas programables industriales incluyen en su entorno de programación la posibilidad de ser programados utilizando diagramas Grafcet, realizándose de forma automática la traducción al lenguaje de bajo nivel.

Por tanto, el Grafcet es una herramienta de descripción clara, precisa, sin omisiones ni ambigüedades que indica el propósito y funcionamiento del proceso a realizar. Además, tiene la ventaja de que es comprensible para todas las personas que intervienen en el proceso de automatización.

Todo esto hace que se considere muy interesante el aprendizaje de la técnica Grafcet en las asignaturas de automatización de procesos. Debido a esto, se van a estudiar en este trabajo unas herramientas que permiten el desarrollo de ejercicios de automatización mediante el diseño de diagramas Grafcet. En concreto, se analizará el empleo conjunto de dos programas: Grafcet Studio y PLC-Lab.

Para ello se ha definido la siguiente estructura: primero se describen las características del software de diseño de Grafcet, Grafcet Studio; luego se describen las características del entorno de simulación, PLC-Lab; y finalmente se plantean y resuelven 8 ejercicios, eligiendo los escenarios más completos para aprovechar todas las prestaciones que aportan los dos programas.

2. GRAFCET STUDIO

2. Grafcet Studio

En este capítulo se describe el software Grafcet Studio, programa utilizado para elaborar los diagramas Grafcet. El mismo permite dibujar dichos diagramas, simularlos y transferirlos a otro dispositivo. Se detallan también las diferencias entre la versión utilizada en este trabajo, Grafcet Studio Starter, y la versión completa del programa, Grafcet Studio Pro Edition; así como las limitaciones encontradas en la versión empleada.

2.1. Características generales

El software Grafcet Studio es un programa que permite dibujar, simular y transferir a otros dispositivos diagramas Grafcet. Por tanto, es una herramienta orientada tanto a profesionales como a estudiantes cuyo trabajo o ámbito de estudio esté relacionado con la automatización de procesos [4].

La interfaz de Grafcet Studio destaca por ser simple e intuitiva. Sus elementos se muestran en la Figura 1.

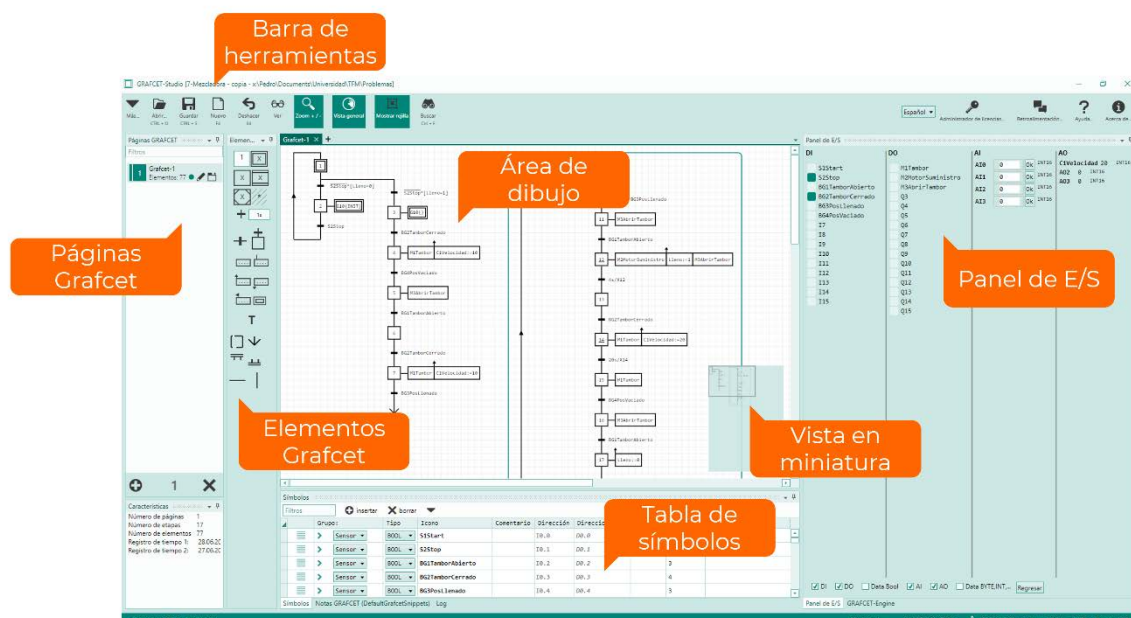


Figura 1: Interfaz de Grafcet Studio Starter.

- Barra de herramientas: situada en la zona superior, en ella se muestran las órdenes más importantes para un acceso rápido. Se puede acceder

a todos los elementos del menú a través del icono localizado en la parte superior izquierda.

- Área de dibujo: zona donde diseñar el Grafcet.
- Vista general: vista en miniatura del Grafcet, situada en la parte inferior derecha del área de dibujo.
- Zoom: Barra deslizante que permite ampliar y disminuir el área de dibujo. Se encuentra en la parte inferior izquierda del área de dibujo.
- Elementos Grafcet: a la izquierda del área de dibujo se sitúan los elementos que se pueden emplear para dibujar el diagrama (etapas, transiciones, acciones, etc.).
- Páginas Grafcet: Ventana situada a la izquierda de la anterior donde se muestran las páginas de Grafcet abiertas.
- Panel E/S: Panel que muestra las entradas y salidas, tanto analógicas como digitales, situado a la derecha del área de dibujo. Las entradas digitales se pueden manipular con el ratón, mientras que para entradas analógicas se puede especificar un valor decimal sobre un campo de entrada. Las salidas muestran el valor actual, consecuencia del desarrollo del programa.
- Tabla de símbolos: Tabla ubicada en la zona inferior donde se le da nombre a las entradas y salidas.

Comenzar un nuevo proyecto es sencillo: se busca en la barra de herramientas el icono “Nuevo” y al pulsar, se creará un archivo en blanco en el que poder dibujar el diagrama Grafcet. El primer paso será rellenar la tabla de símbolos con las entradas y salidas del proceso que se desea automatizar y, hecho esto, se diseñará el Grafcet en el área de dibujo. Para dibujar el diagrama basta con seleccionar o arrastrar el elemento que se requiera hasta el área de dibujo y escribir las acciones en cada etapa y las condiciones de transición.

2.2. Dibujo del diagrama Grafcet

El programa permite dibujar diagramas Grafcet de acuerdo a la norma DIN EN 60848. Para ello, basta con arrastrar el elemento que se desee hasta el área de trabajo e ir construyendo el diagrama.

Los elementos disponibles se encuentran a la izquierda del área de dibujo, en la ventana de elementos Grafcet (Figura 2), y son los siguientes: etapas (inicial, normal, macro e incluyente), transiciones (vertical y horizontal), acciones (continua, continua con atribución, activación de acción con memorización, acción al producirse un evento, comando obligado), conexiones (vertical y horizontal), comentarios, marco para Grafcet parcial, derivación paralela, sincronización y flecha para saltar a una etapa.



Figura 2: Ventana de elementos Grafcet.

Se puede comprobar el funcionamiento del Grafcet diseñado pulsando el botón “Ver” en la barra de herramientas. Una exclamación roja indicará que existe un error en el diagrama, mientras que una exclamación verde representará una advertencia. En cualquier caso, colocando el puntero sobre la exclamación aparecerá un comentario con la advertencia o error ocurridos.

2.3. Simulación de Grafcet

El programa permite simular el Grafcet dibujado para comprobar que funciona correctamente. Para ello ofrece dos opciones: realizar la simulación utilizando el panel de entradas y salidas, o empleando una máquina virtual.

La primera es la más sencilla: el software incluye un panel de E/S y permite configurar las entradas y monitorizar las salidas, tanto analógicas como digitales.

Sin embargo, cuando el número de entradas y salidas es elevado, resulta más conveniente simular el Grafcet utilizando una máquina virtual, entendida como una aplicación que simula el comportamiento del sistema a automatizar. En base a esto, los sensores de la máquina virtual se utilizan como señales de entrada, y las salidas de la tabla de símbolos son escritas en los actuadores de la misma. De esta forma el Grafcet controla la máquina virtual, evitando al usuario tener que manipular manualmente las entradas.

Grafcet Studio es compatible con los siguientes programas de máquinas virtuales: PLC-Lab, Factory I/O V2 y SPS-VISU V4 [5]. Para este trabajo se ha utilizado el software PLC-Lab Runtime, que se describe de forma más detallada en el apartado 3.

2.4. Transferencia de Grafcet a otro dispositivo

Una de las funciones más interesantes de Grafcet Studio, que solo está disponible en la versión Grafcet Studio Pro Edition, es la de transferir los diagramas Grafcet a otros dispositivos como podría ser un PLC o una tarjeta Arduino o Raspberry Pi.

Esto supone una gran ventaja ya que permite convertir automáticamente el diagrama en un programa de control. Normalmente el Grafcet se considera un lenguaje descriptivo, de especificación de secuencias, que requiere ser convertido a un programa que controle el dispositivo. Esta función permite al usuario saltar este paso, controlando el dispositivo directamente con el Grafcet diseñado. Por tanto, simplifica el proceso de automatización y elimina posibles errores de interpretación del diagrama.

Para que Grafcet Studio puede transferir un diagrama al dispositivo, se debe instalar en el aparato el archivo “Grafcet Engine” que viene disponible con Grafcet-Studio.

Hecho esto, bastará con configurar el dispositivo en Grafcet Studio en la ventana “Grafcet Engine”, seleccionando el dispositivo y especificando los parámetros de conexión, y enlazarlo. Una vez conectado se podrá transferir el Grafcet al aparato y comprobar que funciona correctamente.

2.5. Diferencias entre Grafcet Studio Starter y Grafcet Studio Pro Edition

Como se comentó al principio de este apartado, para la realización de este trabajo se ha utilizado principalmente el software Grafcet Studio Starter, que guarda algunas diferencias con respecto a la versión completa del mismo, Grafcet Studio Pro Edition.

La principal limitación del programa empleado con respecto a la versión completa es la posibilidad de transferir el Grafcet diseñado a otros dispositivos, como un PLC o una tarjeta Arduino o Raspberry Pi. Sin embargo, Grafcet Studio Starter no dispone de esta opción, permitiendo únicamente simular los Grafcet en la misma pantalla, utilizando el panel de E/S; o bien vinculando el programa a PLC-Lab y realizando la simulación en una máquina virtual.

Otras limitaciones se muestran en la Tabla 1 [5].

Característica	Grafcet Studio Starter	Grafcet Studio Pro Edition (50)
Número total de etapas	20	50
Número total de entradas	15	Según dispositivo
Número total de salidas	15	Según dispositivo
Número de páginas disponibles	1	Ilimitadas
Compatible con PLC-Lab	Sí	Sí
Compatible con PLC VISU	Sí	Sí
Compatible con Factory I/O	No	Sí
Dispositivos a los que se puede vincular	-	S7-1200, S7-1500, S7-300, S7-400, Arduino Due, Raspberry Pi

Tabla 1: Comparativa entre Grafcet Studio Starter y Grafcet Studio Pro Edition.

3. PLC-LAB

3. PLC-Lab Runtime

En este capítulo se describe el software PLC-Lab, programa utilizado para la simulación de los diagramas Grafcet. Se detallan las diferencias entre la versión utilizada en este trabajo, PLC-Lab Runtime, y la versión completa del programa, PLC-Lab; así como las limitaciones encontradas en la versión empleada.

3.1. Características generales

El software PLC-Lab es un simulador de procesos en 2D. Con él se pueden crear entornos o sistemas de prueba virtuales que sirvan para probar programas PLC o diagramas Grafcet. La versión utilizada para este trabajo, PLC-Lab Runtime, es una versión limitada del software, que dispone de 30 instalaciones o máquinas virtuales donde probar los Grafcet diseñados en Grafcet Studio Starter. Estas instalaciones y máquinas aparecen recogidas en el Anexo I: Entornos de simulación disponibles en PLC-Lab Runtime.

Cada sistema virtual dispone de sensores y accionadores. El estado de los sensores se escribe en las entradas y los valores de las salidas se transmiten a los accionadores.

La interfaz, al igual que la de Grafcet Studio, es simple e intuitiva, y está compuesta por los elementos mostrados en la Figura 3.

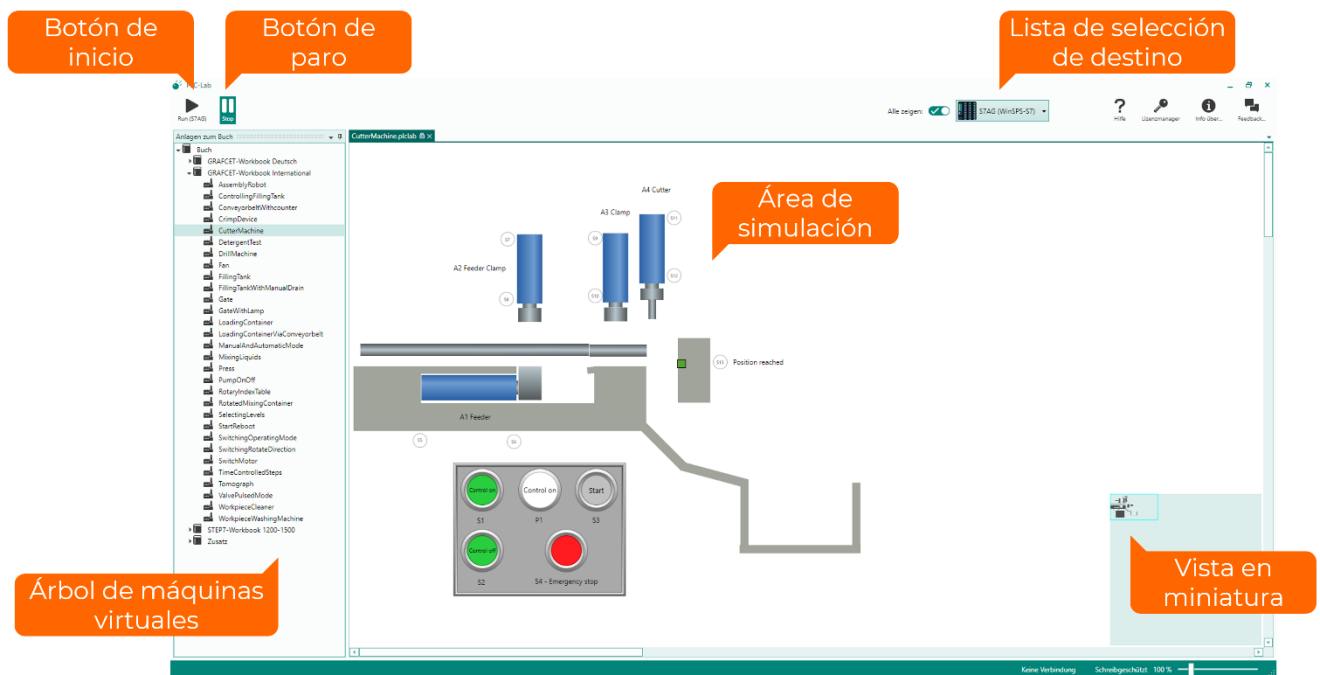


Figura 3: Interfaz PLC-Lab Runtime.

- Árbol de máquinas virtuales: lista situada a la izquierda en la que se encuentran todas las máquinas virtuales disponibles.
- Área de simulación: zona donde aparece la máquina virtual una vez seleccionada.
- Vista general: vista en miniatura de la máquina virtual, en la parte inferior derecha del área de simulación.
- Botón de inicio: localizado en la zona superior izquierda, permite el inicio de la simulación.
- Botón de paro: localizado al lado del botón de inicio, permite finalizar la simulación.
- Lista de selección de destino: lista desplegable situada en la zona superior donde se escoge el programa con el que PLC-Lab Runtime interactuará.

Para simular un Grafset con este software solo hay que iniciar Grafset Studio con el Grafset que se quiere simular y, posteriormente, iniciar PLC-Lab Runtime y escoger "S7AG (WinSPS-S7)" en la lista de selección de destino, que corresponde a la máquina Grafset de Grafset Studio. Hecho esto se elige la máquina virtual que corresponda dentro del árbol del proyecto y se ejecuta la simulación pulsando el

botón de inicio. Por último, en Grafcet Studio, se pulsa el botón “Ver”, situado en la barra de herramientas.

3.2. Diferencias entre PLC-Lab y PLC-Lab Runtime

La principal diferencia entre ambos programas es que la versión completa, PLC-Lab, permite crear el entorno de simulación desde cero, diseñando los distintos objetos, sensores y actuadores a voluntad del usuario [7]; mientras que la versión utilizada, PLC-Lab Runtime, ofrece sistemas virtuales ya creados, sin la posibilidad de elaborar nuevos o modificar los existentes.

Como se ha mencionado anteriormente, para este trabajo se ha utilizado el software PLC-Lab Runtime, siendo esta una versión limitada del programa PLC-Lab. PLC-Lab Runtime ofrece 30 máquinas virtuales, ya diseñadas, para poder probar los Grafcet elaborados en Grafcet Studio Starter. Algunas de estas 30 han sido escogidas para la realización de los ejercicios descritos en el apartado 4.

PLC-Lab Runtime ofrece otros 65 entornos de simulación que se pueden utilizar en versiones superiores de Grafcet Studio (Grafcet Studio Standard o Grafcet Studio Pro Edition). Estas, al no estar pensadas específicamente para su uso con Grafcet Studio Starter, no tienen en cuenta las limitaciones de dicha versión, es decir, no son compatibles al utilizar más sensores o actuadores que los que permite Grafcet Studio Starter.

4. EJERCICIOS

4. Ejercicios

En este capítulo se describe y muestra la solución de cada uno de los 8 ejercicios propuestos. Los siete primeros se han resuelto utilizando Grafcet Studio junto con PLC-Lab: se ha empleado el primer programa para dibujar el Grafcet que automatiza el proceso; y el segundo como entorno de simulación con el que comprobar de forma visual que el Grafcet estaba correctamente realizado.

Para el último ejercicio se ha empleado una maqueta, por lo que no se ha utilizado el programa PLC-Lab, al no ser necesario entorno de simulación alguno. La misma es una maqueta de una cinta transportadora, realizada mediante impresión 3D, cuyos componentes se detallan en el Anexo II: Maqueta de la cinta transportadora. La maqueta se ha conectado a un PLC real (S7-1200 CPU 1212C DC/DC/DC), para lo cual se ha necesitado el programa Grafcet Studio Pro Edition, ya que la versión empleada para el resto de ejercicios, Grafcet Studio Starter, no es compatible con este dispositivo.

Se ha seguido la norma UNE 81346 para la designación de los sensores y actuadores. Para la confección de los Grafcet se ha utilizado la norma DIN EN 60848 [1]; se ha utilizado esta norma en vez de la DIN EN 61131-3, por ser la que utiliza el editor de Grafcet (Grafcet-Studio).

Los distintos Grafcet diseñados para cada ejercicio son solo una solución entre la infinidad de resoluciones posibles, por lo que no se descartan otras propuestas igualmente válidas.

4.1. Tomógrafo

En este ejemplo se llevará a cabo la automatización de un tomógrafo. Básicamente se trata de automatizar el proceso de realización de una tomografía, desde el momento en que el paciente se sitúa en la camilla gasta que termina la prueba y el paciente retorna a la posición inicial. Este proceso supone el desplazamiento de la camilla hasta el punto de radiación, la realización de la prueba y la conducción de la camilla hasta el punto inicial.

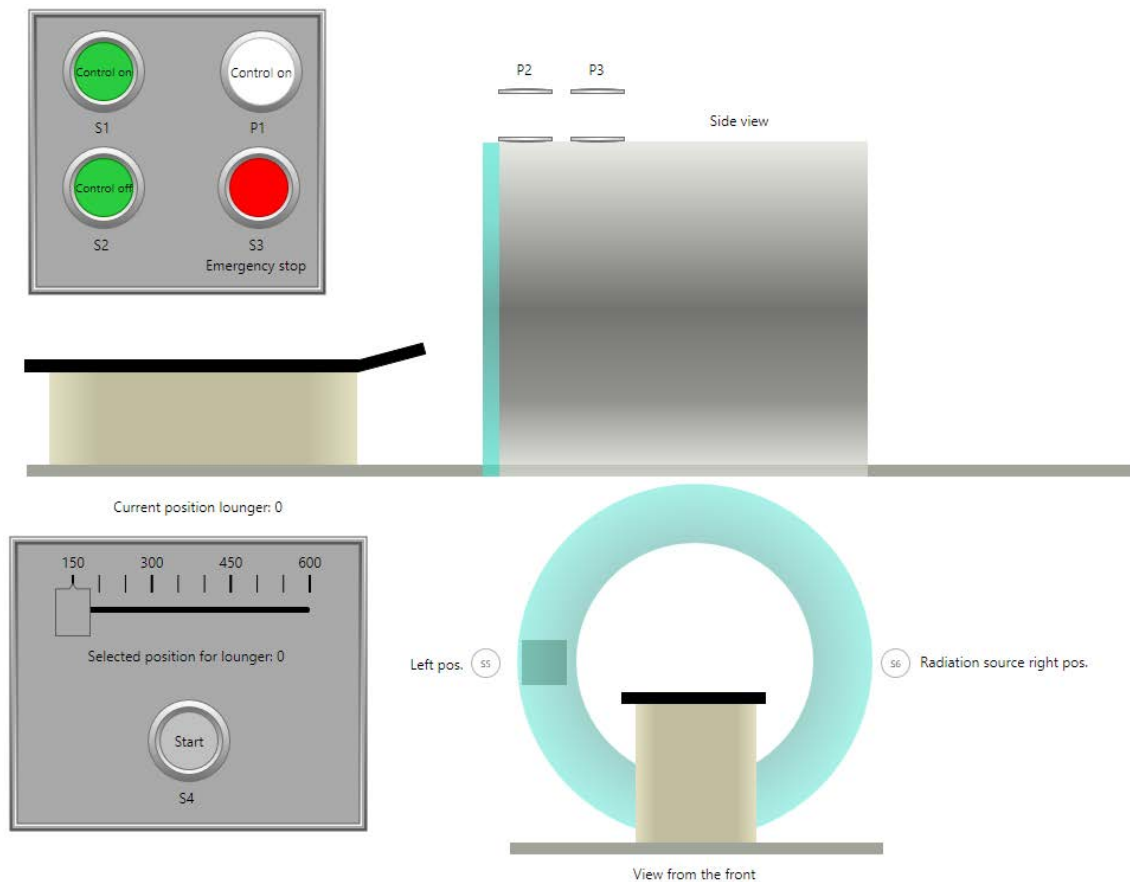


Figura 4: Entorno de simulación tomógrafo

La operación se realizará siguiendo la secuencia descrita a continuación:

- Haciendo uso de un controlador deslizante, se establecerá la posición hasta la que tiene que llegar la camilla para llevar a cabo el examen. Esta posición será un valor entero comprendido entre 1 y 600, denominado "S5ReqPosCamilla". Las posiciones válidas para realizar el examen serán las comprendidas entre 151 y 600, ya que de 1 a 150 la camilla avanza hacia el tomógrafo, pero aún no se encuentra dentro del mismo.
- Tras haber indicado la posición de la camilla, se iniciará el sistema pulsando el botón "S1ControlOn". Entonces, la lámpara "PF1ControlOn" se encenderá.
- Se pulsará el botón "S4Start" para iniciar el examen.
- En ese momento, se activará el actuador que permitirá que la camilla avance hacia dentro del tomógrafo "M1CamillaEntra" y se encenderá una lámpara denominada "PF2CamillaSeMueve".

- La camilla avanzará hasta la posición indicada en “S5ReqPosCamilla”. Para asegurar esto, se dispone de un sensor, “BG3PosCamilla”, que indica la posición de la camilla en todo momento. Debido a que la camilla avanza con relativa velocidad, se establecerá que se ha llegado a la posición deseada cuando el sensor lea una posición mayor o igual que la establecida en el controlador deslizante.
- Alcanzada la posición deseada, la camilla se detendrá y la lámpara que indicaba que se estaba moviendo deberá apagarse.
- En ese momento comenzará el examen, para el cual la fuente de radiación, que se encuentra al inicio en la posición izquierda, rotará. Primero girará hacia la derecha y después volverá a su posición inicial. Para llevar a cabo esta secuencia se dispone de dos sensores, “BG1RadiacionIzq” y “BG2RadiacionDer”, que se activan cuando la fuente se encuentra en la posición extrema derecha e izquierda, respectivamente; y dos actuadores “M2RadGiralzq” y “M2RadGiraDer”, que hacen que la fuente se mueva a derecha e izquierda, respectivamente. Siempre que la fuente de radiación esté en movimiento, se mantendrá encendida una lámpara intermitente “PF3RadSeMueve”.
- Finalizado el examen, la camilla saldrá del tubo y regresará a la posición de inicio. Para ello se hará uso del actuador “M1CamillaSale”. Además, se encenderá la lámpara “PF2CamillaSeMueve” hasta que llegue a la posición de reposo.
- En este punto podrán ocurrir dos situaciones: que el sistema sea apagado, pulsando el botón “S2Apagado”; o que se quiera realizar otro examen con una posición de la camilla diferente. En el primer caso, el sistema se apagará y también lo hará, por tanto, la lámpara de puesta en marcha. En el segundo caso, se repetirá el proceso comentado anteriormente. NOTA: si se pulsa el botón de apagado antes de que el examen haya acabado, el sistema esperará a terminar el ciclo antes de apagarse.

Además, se requiere implementar una parada de emergencia que funcione como se describe a continuación:

- El proceso se detendrá en cualquier momento en el que el botón de parada de emergencia ("S3ParadaEmergencia") sea pulsado.
- Para reactivar el proceso, será necesario llevar manualmente la camilla a la posición inicial y pulsar de nuevo el botón de parada de emergencia.
- La parada de emergencia debe incluir el rearme del sistema, es decir, cuando el sistema se vuelva a poner en funcionamiento, el tomógrafo debe estar preparado para la realización del próximo examen (camilla en posición inicial y fuente de radiación en posición izquierda).

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 2.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	S1ControlOn	Botón de puesta en marcha, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S2ControlOff	Botón de apagado, normalmente cerrado (NC); valor = False si se activa.
	BOOL	S3ParadaEmergencia	Interruptor de parada de emergencia, normalmente cerrado (NC); valor = False si se activa.
	BOOL	S4Start	Botón de comienzo, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	BG1RadiacionIzq	Sensor que indica que la fuente de radiación está en la posición izquierda; valor = True si se activa.
	BOOL	BG2RadiacionDer	Sensor que indica que la fuente de radiación está en la posición derecha; valor = True si se activa.
	INT16	BG3PosCamilla	Sensor que indica la posición de la camilla (valor entero entre 1 y 600).
	INT16	S5ReqPosCamilla	Valor entero (1-600) que indica la posición a la que tiene que ir la camilla, se establece mediante un controlador deslizante.
Accionador	BOOL	PF1ControlOn	Lámpara que indica que se ha puesto en marcha el sistema.
	BOOL	M1CamillaEntra	Accionador, introduce la camilla en el tubo.
	BOOL	M1CamillaSale	Accionador, saca la camilla del tubo.

	BOOL	M2RadGiralzq	Accionador, rota la fuente de radiación hacia la izquierda.
	BOOL	M2RadGiraDer	Accionador, rota la fuente de radiación hacia la derecha.
	BOOL	PF2CamillaSeMueve	Lámpara que indica que la camilla se está moviendo
	BOOL	PF3RadSeMueve	Lámpara que indica que la fuente de radiación está girando.

Tabla 2: Entradas y salidas tomógrafo.

Se muestra a continuación el Grafcet del proceso en la Figura 5.

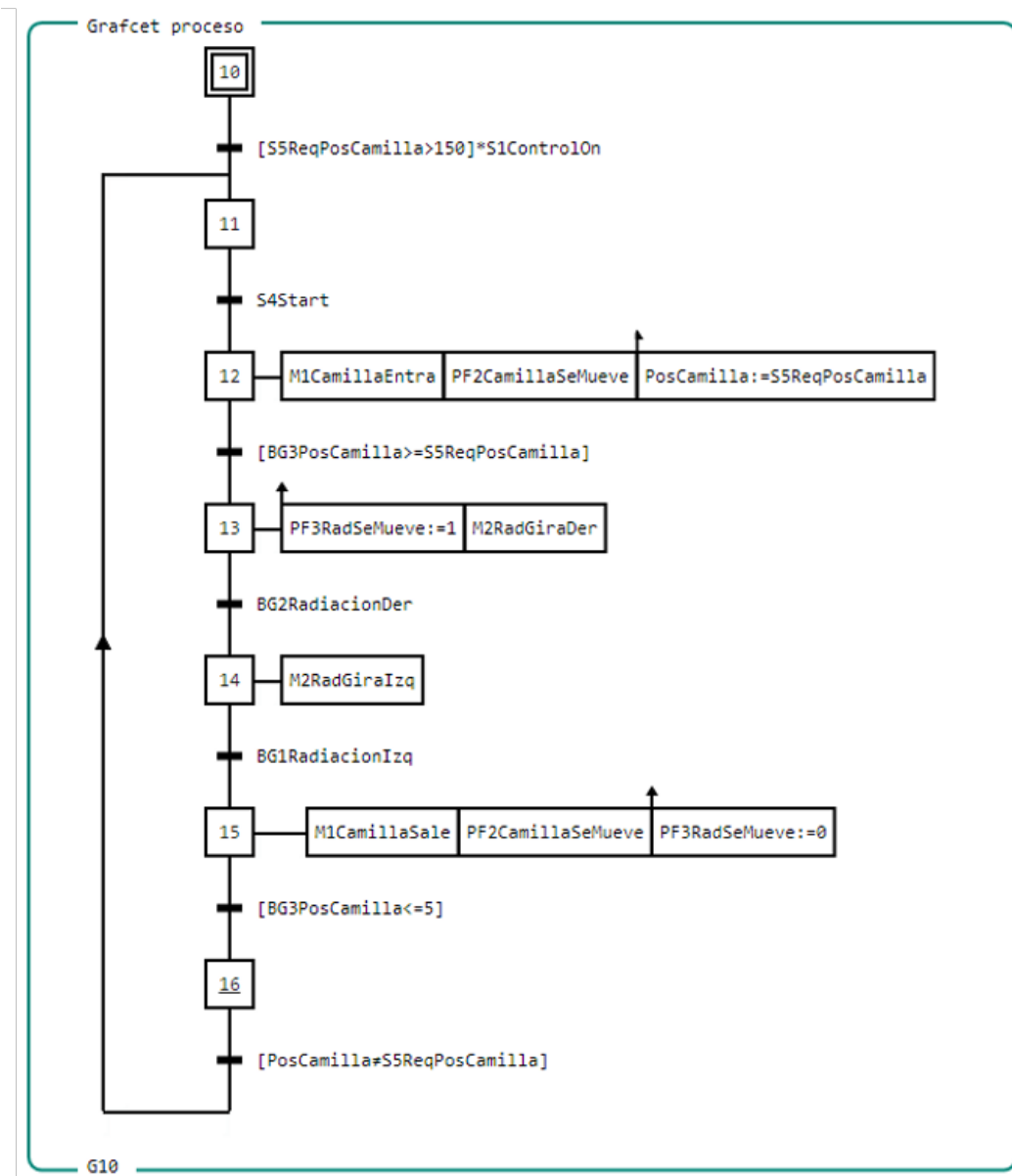


Figura 5: Grafcet tomógrafo.

4.2. Máquina cortadora

En este ejemplo se llevará a cabo la automatización de una máquina cortadora. El proceso consiste en cortar en 6 partes una varilla de metal. La máquina dispone de 4 cilindros neumáticos: uno para la alimentación, otro para actuar de abrazadera, un tercero de sujeción y el último para accionar la guillotina de corte. El primer cilindro mencionado es de doble efecto y el resto, de simple efecto.

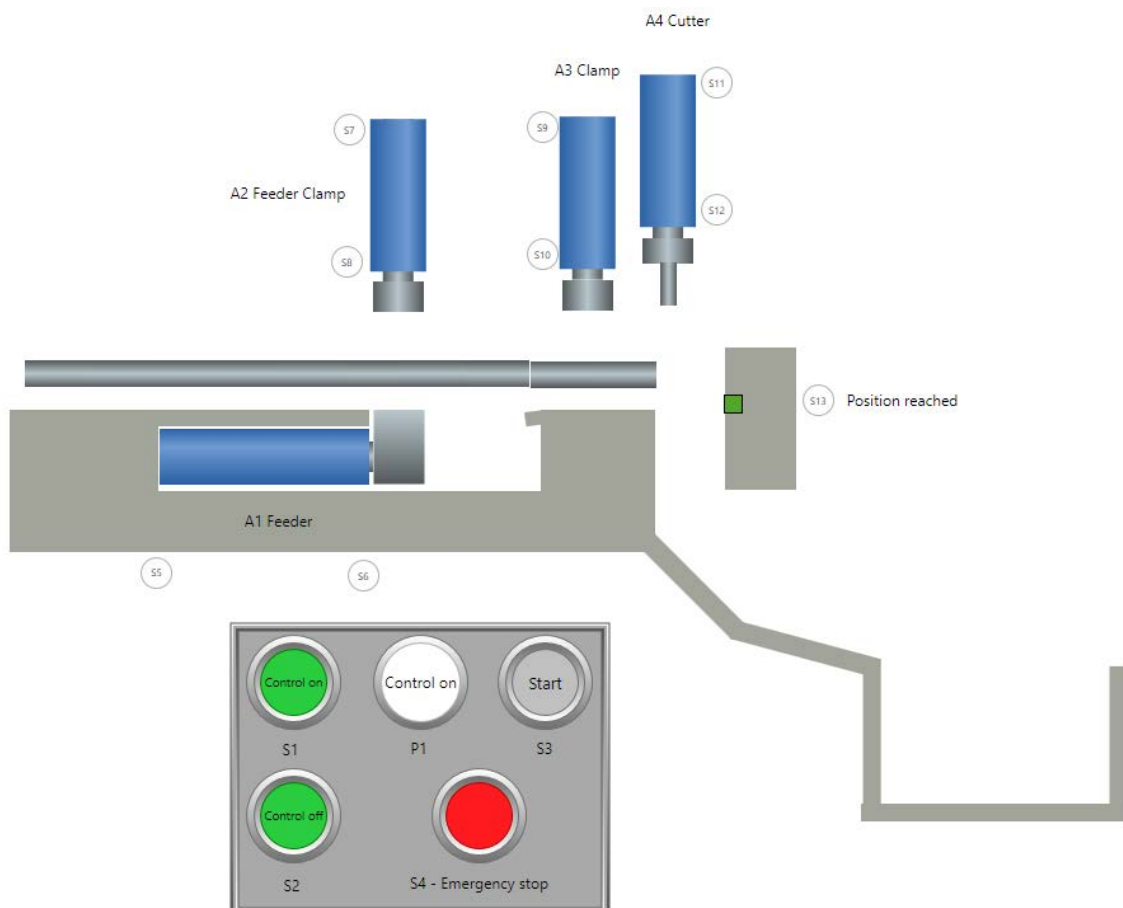


Figura 6: Entorno de simulación máquina cortadora.

Se describe a continuación la secuencia seguida por la máquina:

- Se activa el sistema pulsando el botón de puesta en marcha ("S1ControlOn"), momento en el cual se encenderá la lámpara "PF1ControlOn".
- El proceso comenzará pulsando el botón de inicio ("S3Start").
- En ese momento el cilindro A2, que actúa de abrazadera, desciende (accionador "MM2Avanza") y, cuando el sensor "BG4A2Extendido"

detecta que ha llegado a su posición final, se activa el cilindro A1 (accionador “MM1Avanza”) que lleva la pieza hasta la posición de corte.

- Cuando el cilindro A1 se encuentra totalmente extendido (sensor “BG2A1Extendido”) y el sensor “BG9VarillaEnPosicion” detecta la pieza, avanza el cilindro A3 (“accionador MM3Avanza”), quedando la pieza sujeta.
- Una vez el sensor “BG6A3Extendido” se activa, el cilindro A4 avanza (accionador “MM4Avanza”) y corta la pieza. La pieza se encuentra sujeta por el cilindro A3, A1 y A2 durante esta operación, asegurando un corte limpio.
- Realizado el corte, todos los cilindros volverán a su posición de reposo.
- Se repetirá el mismo proceso hasta haber realizado 6 cortes, momento en el cual se apagará el sistema automáticamente.
- El sistema cuenta con un botón de apagado, “S2ControlOff”, y otro de parada de emergencia, “S4ParadaEmergencia”. Si se pulsa el primero, la máquina cesará su actividad hasta que se vuelva a pulsar el botón de inicio, momento en el cual continuará el proceso por donde lo había dejado. Si se pulsa el segundo, la máquina se apagará por completo, apagándose, por tanto, la lámpara de encendido “PF1ControlOn”.

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 3.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	S1ControlOn	Botón de puesta en marcha, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S2ControlOff	Botón de apagado, normalmente cerrado (NC); valor = False si se activa.
	BOOL	S3Start	Botón de comienzo, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S4ParadaEmergencia	Interruptor de parada de emergencia, normalmente cerrado (NC); valor = False si se activa.
	BOOL	BG1A1Retraido	Sensor que indica que el cilindro A1 está retraído; valor = False si se activa.

	BOOL	BG2A1Extendido	Sensor que indica que el cilindro A1 está extendido; valor = False si se activa.
	BOOL	BG3A2Retraido	Sensor que indica que el cilindro A2 está retraído; valor = False si se activa.
	BOOL	BG4A2Extendido	Sensor que indica que el cilindro A2 está extendido; valor = False si se activa.
	BOOL	BG5A3Retraido	Sensor que indica que el cilindro A3 está retraído; valor = False si se activa.
	BOOL	BG6A3Extendido	Sensor que indica que el cilindro A3 está extendido; valor = False si se activa.
	BOOL	BG7A4Retraido	Sensor que indica que el cilindro A4 está retraído; valor = False si se activa.
	BOOL	BG8A4Extendido	Sensor que indica que el cilindro A4 está extendido; valor = False si se activa.
	BOOL	BG9VarillaEnPosicion	Sensor que indica si la varilla está en posición para ser cortada; valor = True si se activa.
Accionador	BOOL	PF1ControlOn	Lámpara que indica que se ha puesto en marcha el sistema.
	BOOL	MM1Avanza	Accionador, válvula monoestable que hace que el cilindro A1 avance.
	BOOL	MM1Retrocede	Accionador, válvula monoestable que hace que el cilindro A1 retroceda.
	BOOL	MM2Avanza	Accionador, válvula monoestable que hace que el cilindro A2 avance (valor = True) o retroceda (valor = False).
	BOOL	MM3Avanza	Accionador, válvula monoestable que hace que el cilindro A3 avance (valor = True) o retroceda (valor = False).
	BOOL	MM4Avanza	Accionador, válvula monoestable que hace que el cilindro A4 avance (valor = True) o retroceda (valor = False).

Tabla 3: Entradas y salidas máquina cortadora.

Se muestra a continuación el Grafcet del proceso en la Figura 7.

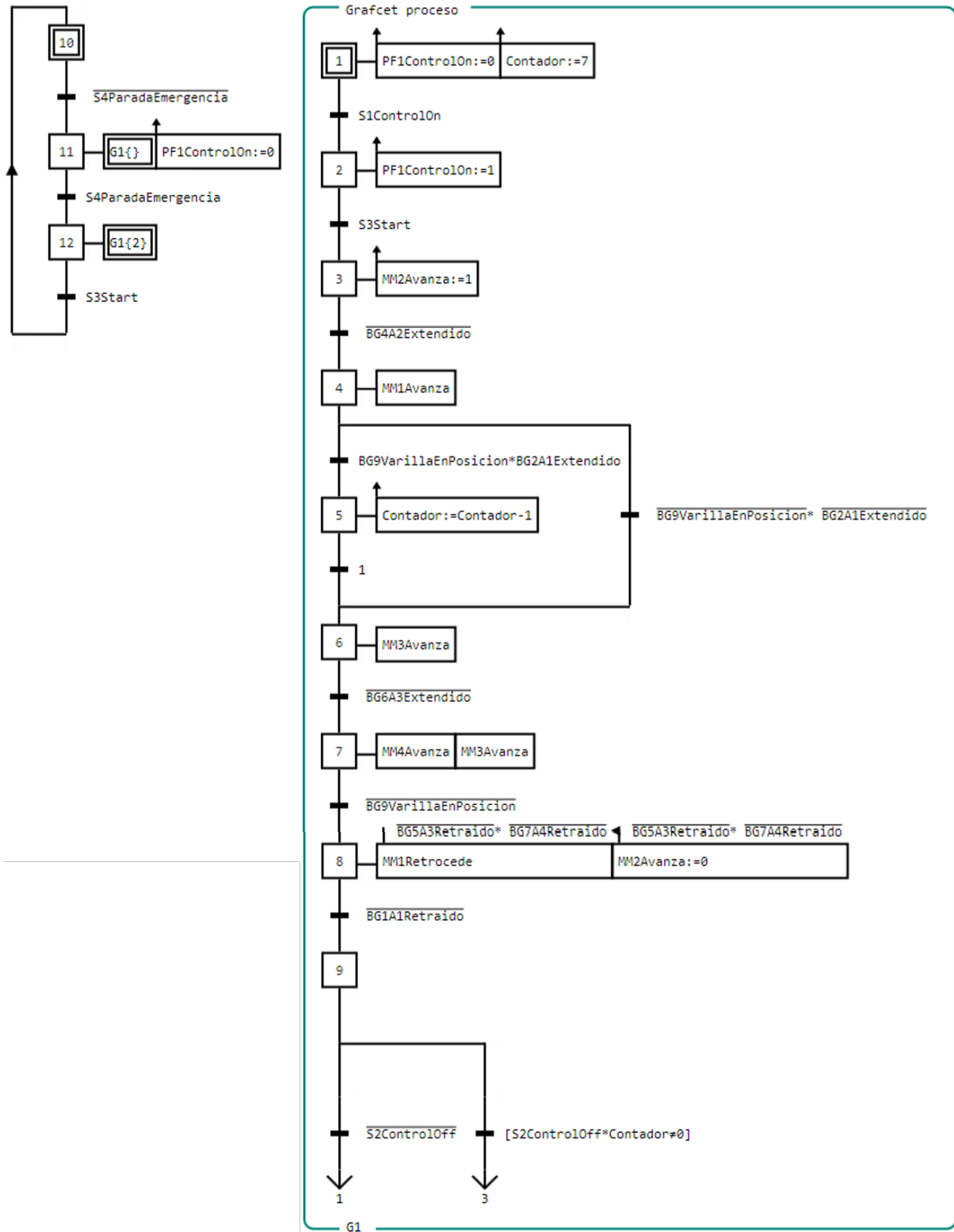


Figura 7: Grafcet máquina cortadora.

4.3. Lavadora

Se quiere automatizar el proceso de una instalación de limpieza de esponjas. El mismo consiste en el lavado de esponjas en una lavadora industrial, donde se llevan a cabo 3 ciclos: lavado con agua caliente, aclarado con agua fría y secado mediante centrifugado.

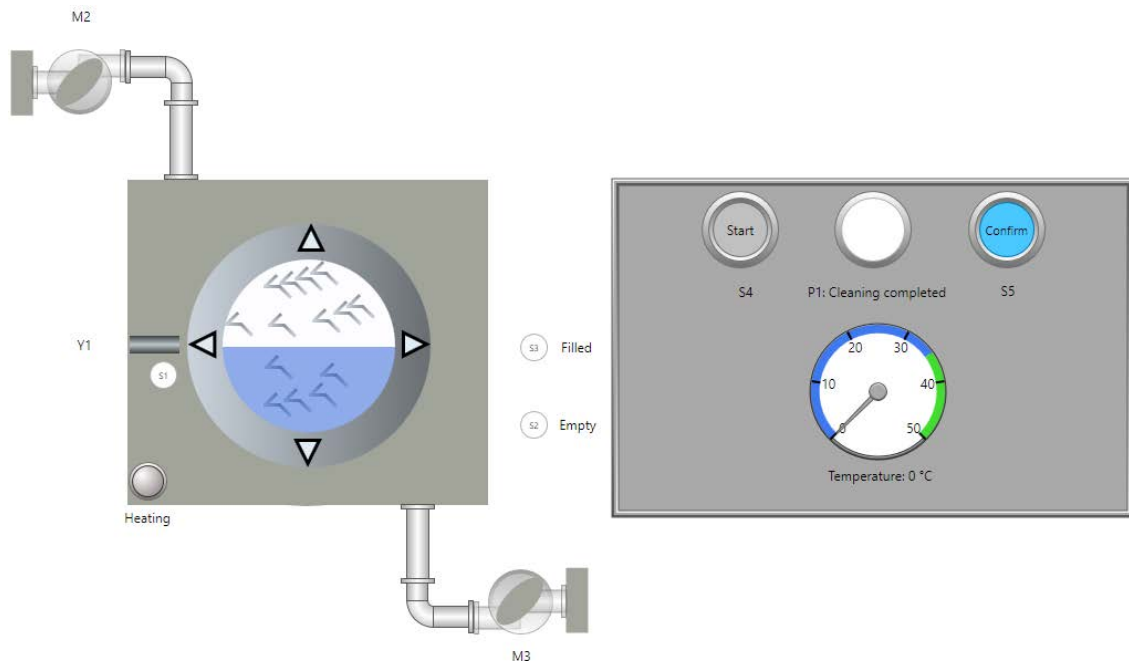


Figura 8: Entorno de simulación lavadora.

El proceso se lleva a cabo siguiendo la secuencia descrita a continuación:

- Se colocarán las esponjas dentro del tambor de forma manual. El tambor se cerrará pulsando el botón de inicio ("S4Start"). Para cerrarlo se dispone del accionador "M4CerrarTambor".
- Con el tambor cerrado, comenzará el ciclo de limpieza. Antes de iniciarse, se comprobará que el tambor está correctamente cerrado mediante el sensor "BG1TamborCerrado".
- Primero se llevará a cabo el lavado: se inundará el tambor de agua utilizando la bomba de llenado "M2BombaLlenado". Una vez lleno, se encenderá el calentador ("E1Calentador") para elevar la temperatura del líquido hasta 35°C, momento en el cual el tambor comenzará a girar durante cinco segundos mediante el accionador "M1Lavadora". Para comprobar la temperatura del agua se dispone del sensor

“BT1TempLiquido”. Pasados los cinco segundos, se desactivará el motor y el calentador y se pondrá en marcha la bomba de vaciado (“M3BombaVaciado”) extrayendo el agua hasta que el tambor quede vacío. Esto se comprobará mediante el sensor “BL1TamborVacio”.

- Tras el lavado comenzará la fase de aclarado. Se llevará a cabo el mismo procedimiento que en el lavado, pero con agua fría: se inundará el tambor de agua hasta que esté lleno; y en ese momento comenzará a girar durante cinco segundos. Pasado este tiempo, será vaciado.
- Por último, se procederá a centrifugar las esponjas. Para ello, se encenderá el motor que hace girar el tambor (“M1Lavadora”), con el tambor sin agua. El proceso durará seis segundos.
- Al acabar el centrifugado se dará por concluida la limpieza, lo que se indicará con la lámpara “PF1LimpCompletada”.
- Pulsando el botón “S5Confirmar” se abrirá el tambor y se podrán recoger las esponjas de forma manual. También se apagará la lámpara “PF1LimpCompletada”.

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 4.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	BG1TamborCerrado	Sensor que indica que el tambor está cerrado; valor = True si se activa.
	BOOL	BL1TamborVacio	Sensor que indica que el tambor está vacío; valor = True si se activa.
	BOOL	BL2TamborLleno	Sensor que indica que el tambor está lleno; valor = True si se activa.
	BOOL	S4Start	Botón de comienzo, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S5Confirmar	Botón para confirmar, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	INT16	BT1TempLiquido	Sensor que indica la temperatura del líquido en grados centígrados (valor entero entre 0 y 50).
Accionador	BOOL	M1Lavadora	Accionador, hace girar el tambor.

	BOOL	M2BombaLlenado	Bomba para llenar el tambor.
	BOOL	PF1LimpCompletada	Lámpara que indica que el proceso de limpieza ha terminado.
	BOOL	E1Calentador	Accionador, enciende el calentador.
	BOOL	M3BombaVaciado	Bomba para vaciar el tambor.
	BOOL	M4CerrarTambor	Accionador, cierra el tambor.

Tabla 4: Entradas y salidas lavadora.

Se muestra a continuación el Grafcet del proceso en la Figura 9.

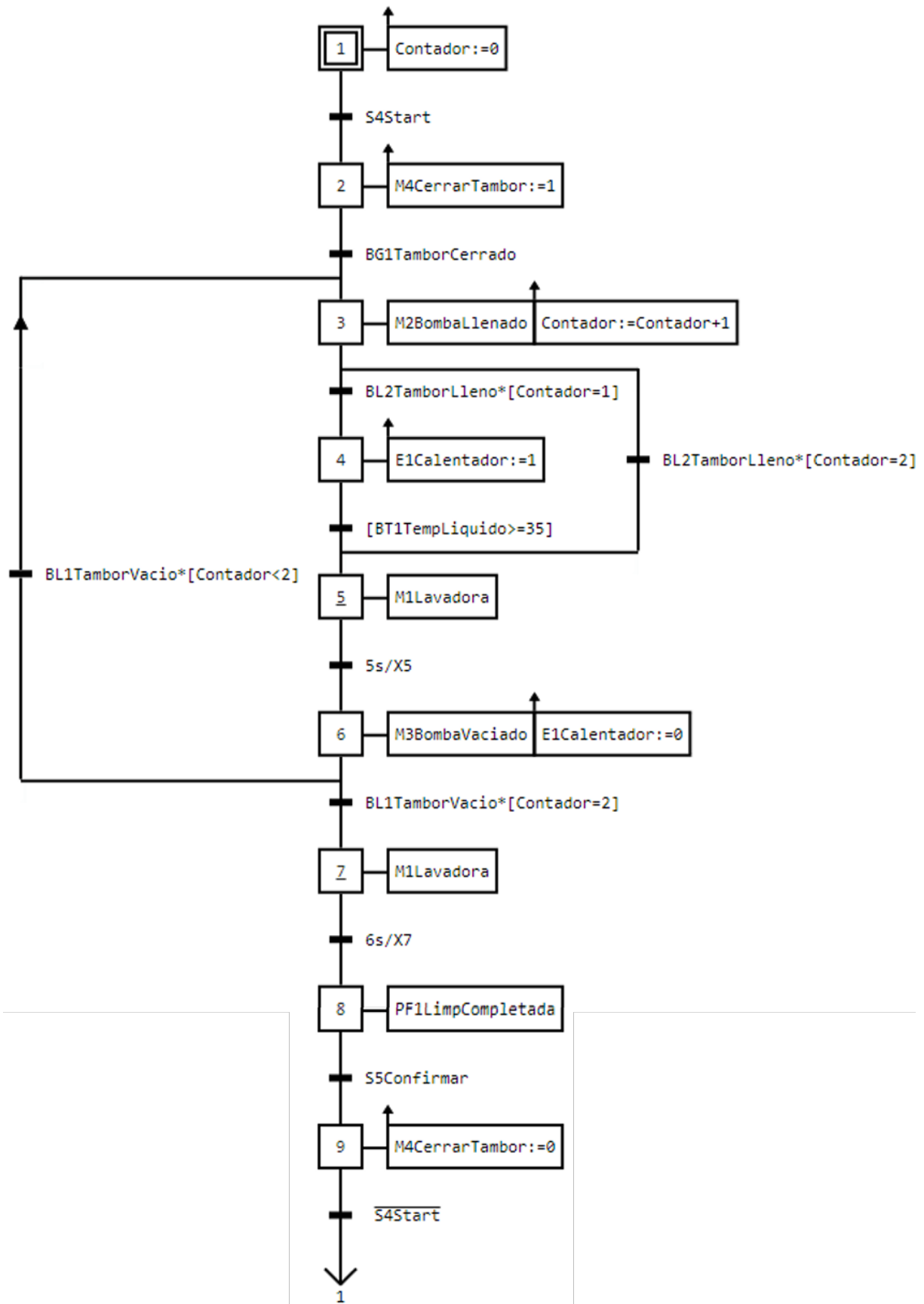


Figura 9: Grafcet lavadora.

4.4. Baño de limpieza

Se quiere automatizar el proceso de una instalación de limpieza de metales. El mismo consiste en dar un baño a la pieza a 70°C durante 5s, para eliminar cualquier residuo que haya quedado adherido a su superficie. La máquina procesa de forma automática lotes de hasta 4 piezas y apila dichas piezas en un contenedor al final del proceso.

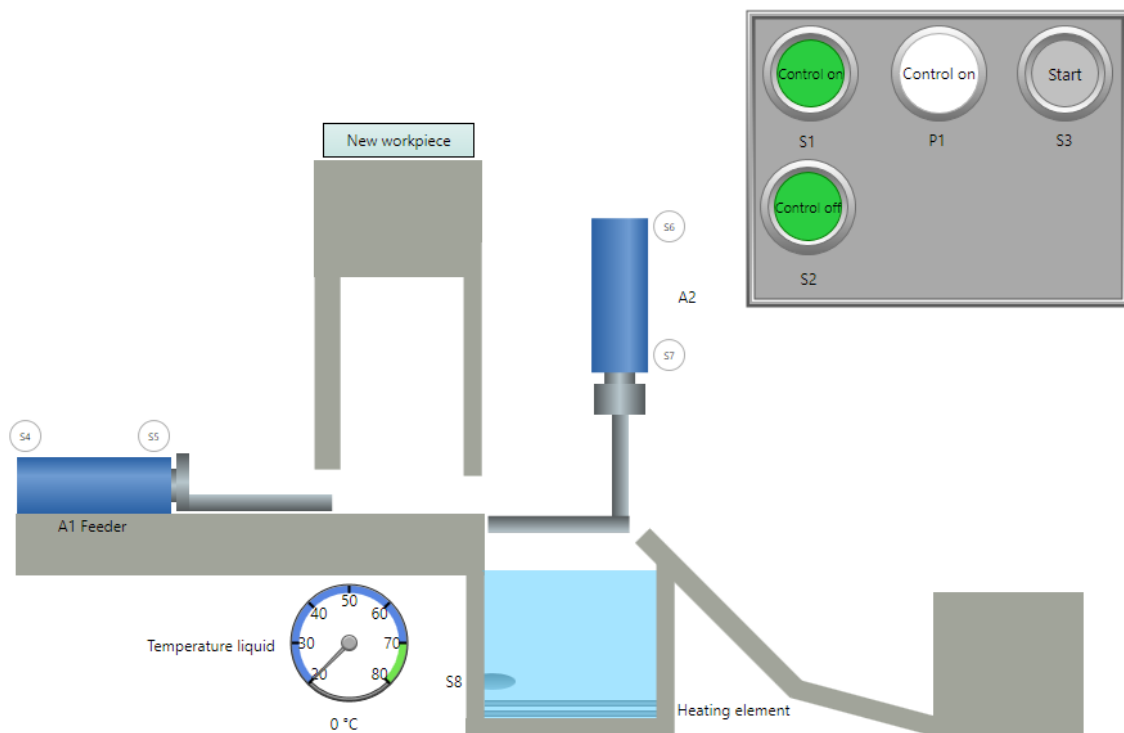


Figura 10: Entorno de simulación baño de limpieza.

El proceso se lleva a cabo siguiendo la secuencia descrita a continuación:

- Se colocan las piezas de forma manual, apilándolas de 4 en 4. Se activa el sistema pulsando el botón de puesta en marcha ("S1ControlOn"), momento en el cual se encenderá la lámpara "PF1ControlOn".
- El proceso comenzará pulsando el botón de inicio ("S3Start").
- En ese momento el cilindro A1 avanzará (accionador "MM1Avanza"), empujando una pieza hasta el soporte.
- Se encenderá el calentador del baño ("E1Calentador"), que elevará la temperatura del líquido hasta 70°C. Esta última se comprobará utilizando el sensor "BT1Temperatura".

- Una vez alcanzados los 70°C, el soporte descenderá, gracias al cilindro A2 (accionador “MM2Baja”), para sumergir la pieza en el líquido durante 5s. Transcurrido ese tiempo, el soporte volverá a su posición inicial.
- Entonces, el cilindro A1 empujará otra de las piezas, colocándose esta en el soporte y expulsando al contenedor la pieza bañada anteriormente.
- Se repetirá el mismo proceso para las 4 piezas apiladas, quedando la última terminada sobre el soporte, a espera del siguiente lote. El calentador permanecerá encendido, manteniendo el baño a 70°C, hasta que las 4 piezas hayan sido bañadas.
- Una vez acabado el lote, el sistema se mantendrá activo, a la espera de que se coloquen de nuevo 4 piezas.
- El sistema se apagará con el botón “S2ControlOff”. No se desactivará inmediatamente, si no que terminará el lote que esté procesando y sólo cuando haya terminado con el mismo, se desactivará el sistema, apagándose también la lámpara “PF1ControlOn”.

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 5.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	S1ControlOn	Botón de puesta en marcha, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S2ControlOff	Botón de apagado, normalmente cerrado (NC); valor = False si se activa.
	BOOL	S3Start	Botón de comienzo, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	BG1A1Retraido	Sensor que indica que el cilindro A1 está retraído; valor = False si se activa.
	BOOL	BG2A1Extendido	Sensor que indica que el cilindro A1 está extendido; valor = False si se activa.
	BOOL	BG3A2Retraido	Sensor que indica que el soporte A2 está retraído; valor = False si se activa.
	BOOL	BG4A2Extendido	Sensor que indica que el soporte A2 está extendido; valor = False si se activa.

	INT16	BT1Temparatura	Sensor que indica la temperatura del líquido en grados centígrados (valor entero entre 20 y 75).
Accionador	BOOL	PF1ControlOn	Lámpara que indica que se ha puesto en marcha el sistema.
	BOOL	MM1Avanza	Accionador, hace que el cilindro A1 avance.
	BOOL	MM2Baja	Accionador, hace que el cilindro A2 baje.
	BOOL	E1Calentador	Accionador, enciende el calentador del baño.

Tabla 5: Entradas y salidas baño de limpieza.

Se muestra a continuación el Grafcet del proceso en la Figura 11.

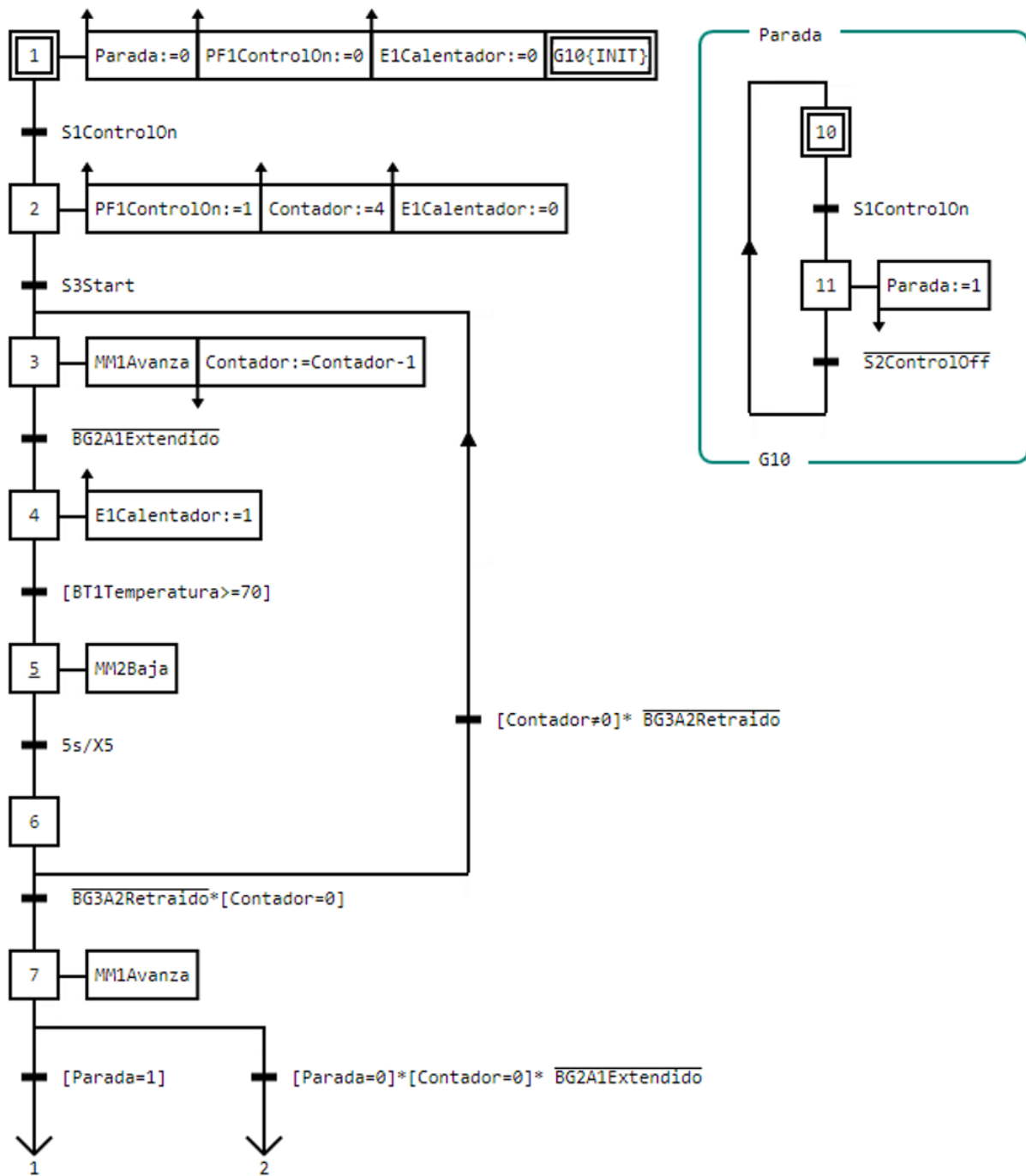


Figura 11: Graficet baño de limpieza.

4.5. Máquina taladradora

Se quiere automatizar una taladradora. La broca realiza el taladro sobre una pieza previamente colocada en la plataforma y, tras esto, un ventilador retira la viruta generada en el proceso. La máquina cuenta con un sistema manual y un sistema automático. Además, el sistema cuenta con una parada de emergencia.

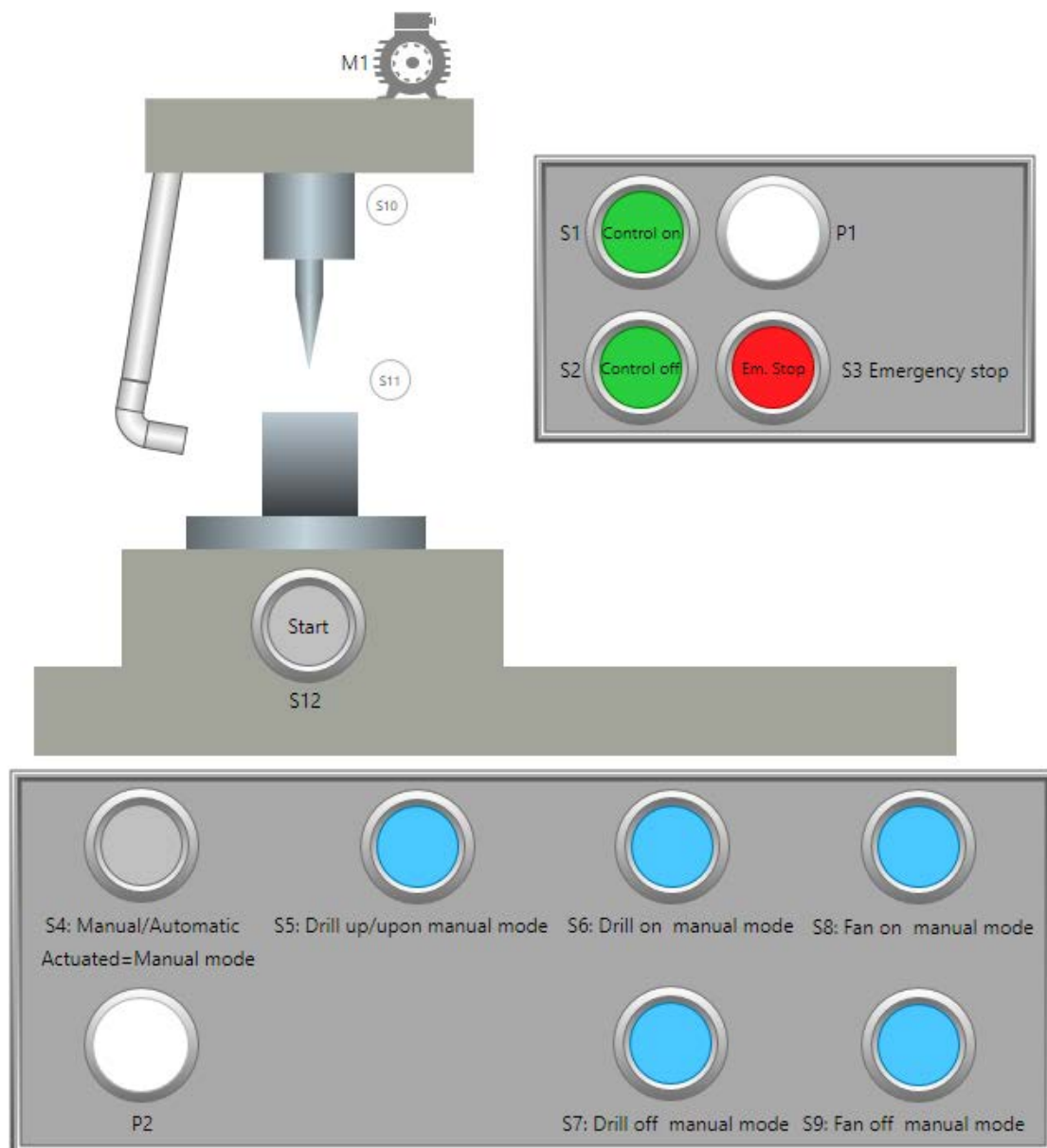


Figura 12: Entorno de simulación máquina taladradora.

La máquina se encenderá al pulsar el botón de puesta en marcha, “S1ControlOn”, momento en el cual se activará la lámpara “PF1ControlOn”. Si se selecciona el modo automático, comenzará la siguiente secuencia al pulsar el botón de inicio (“S12Start”):

- Se encenderá el motor que hace girar la broca, “M1Taladro”.
- Después de dos segundos, el taladro descenderá mediante el accionador “M1TaladroExtRetr” hasta donde se encuentra la pieza (posición indicada por el sensor “BG2TaladroExtendido”) y permanecerá en dicha posición durante 3s.
- Pasado este tiempo, el taladro subirá de nuevo mediante el accionador “M1TaladroExtRetr” a la posición inicial. El motor que hace girar la broca se desconectará y se encenderá el ventilador (accionador “G1Soplador”).
- El ventilador permanecerá encendido durante 4s y luego parará.

En el caso en que se seleccione el modo manual, se encenderá la lámpara “PF2ManualOn” y se activará el sistema manual. En este modo todos los movimientos son independientemente ejecutables, siempre y cuando la máquina esté encendida. Se podrán usar los botones disponibles para las diferentes acciones (encender y apagar el motor que hace girar la broca, bajar o subir el taladro, poner en marcha y parar el ventilador).

Si se pulsa el botón de parada (“S2ControlOff”), se apagará la máquina. En el caso de estar en el modo automático, la taladradora no se apagará hasta que la secuencia haya terminado (parada fin de ciclo).

En cualquier momento que se accione el botón de parada de emergencia (“S3ParadaEmergencia”), ambos modos de trabajo, todos los accionadores serán desactivados y se forzará la vuelta al estado inicial en ese mismo instante. En este caso, para el modo automático, la taladradora se apagará inmediatamente, aunque la secuencia no haya terminado.

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 6.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	S1ControlOn	Botón de puesta en marcha, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S2ControlOff	Botón de apagado, normalmente cerrado (NC); valor = False si se activa.

	BOOL	S3ParadaEmergencia	Interruptor de parada de emergencia, normalmente cerrado (NC); valor = False si se activa.
	BOOL	S4ManualAutomatico	Interruptor para seleccionar el modo manual (valor = True) o el automático (valor = False); valor = True si se activa.
	BOOL	S5TaladroAbajoArriba	Botón para hacer descender (valor = True) o subir (valor = False) el taladro. valor = True si se activa.
	BOOL	S6TaladroManualOn	Botón para hacer girar la broca en modo manual; valor = True si se activa.
	BOOL	S7TaladroManualOff	Botón para apagar el motor que hace girar la broca en modo manual; valor = True si se activa.
	BOOL	S8VentManualOn	Botón para encender el ventilador en modo manual; valor = True si se activa.
	BOOL	S9VentManualOff	Botón para apagar el ventilador en modo manual; valor = True si se activa.
	BOOL	BG1TaladroRetraido	Sensor que indica que el taladro está retraído; valor = True si se activa.
	BOOL	BG2TaladroExtendido	Sensor que indica que el taladro está extendido; valor = True si se activa.
	BOOL	S12StartAuto	Botón de inicio del modo automático; valor = True si se activa.
Accionador	BOOL	PF1ControlOn	Lámpara que indica que se ha puesto en marcha el sistema.
	BOOL	PF2ManualOn	Lámpara que indica que se ha seleccionado el modo manual.
	BOOL	M1Taladro	Motor que hace girar la broca.
	BOOL	M1TaladroExtRetr	Accionador, hace que el taladro avance (valor = True) o retroceda (valor = False).
	BOOL	G1Soplador	Motor que enciende el ventilador.

Tabla 6: Entradas y salidas máquina taladradora.

Se muestra a continuación el Grafset del proceso en la Figura 13 y la Figura 14.

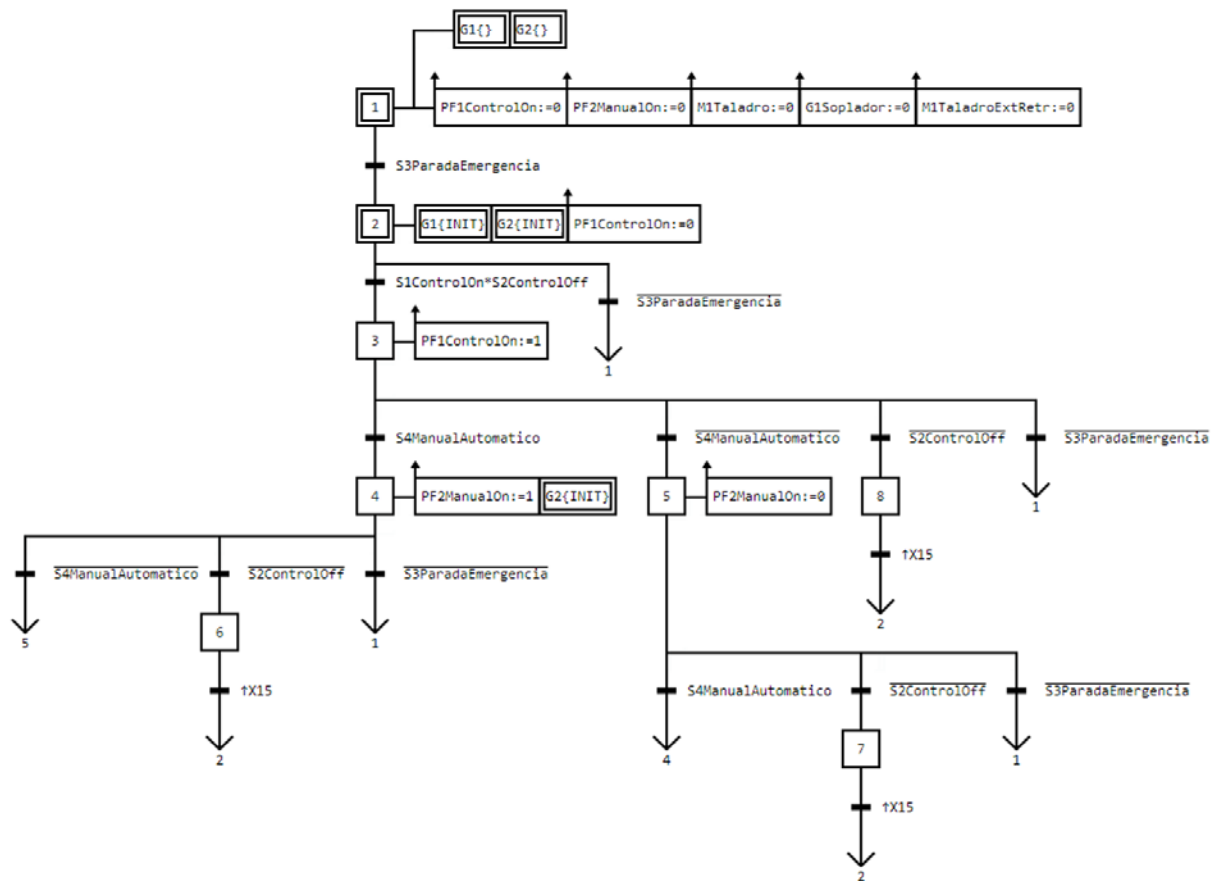


Figura 13: Grafset máquina taladradora (a).

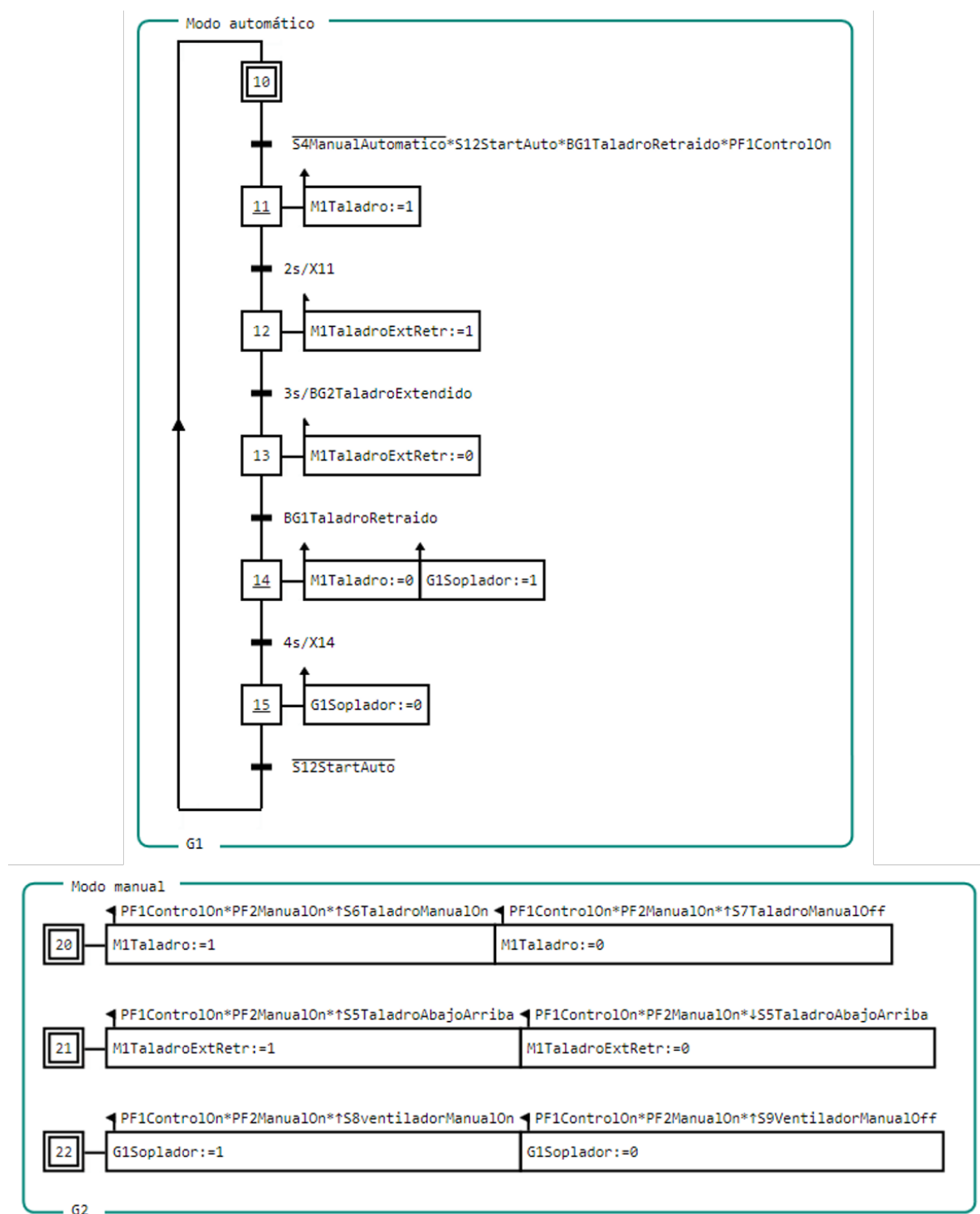


Figura 14: Grafcet máquina taladradora (b).

4.6. Mesa giratoria

Se quiere automatizar el proceso de revisión de los filtros producidos en una empresa. El mismo se lleva a cabo realizando 3 exámenes o pruebas, cada una en una estación. Se dispone de una mesa rotatoria con 5 estaciones: una primera estación donde se cargan los filtros a comprobar, 3 estaciones sucesivas donde se realizan las pruebas necesarias para validarlos y una última estación donde se realiza la descarga manual de los filtros. Además, existe una estación vacía entre la última de revisión y la de descarga, reservada para futuras ampliaciones. El sistema funciona automáticamente, de forma que, una vez pulsado el botón de inicio, se cargan continuamente filtros que van pasando por los sucesivos test, siempre que cuando lleguen a la estación de descarga sean desalojados. Para finalizar el proceso se dispone de un botón de parada.

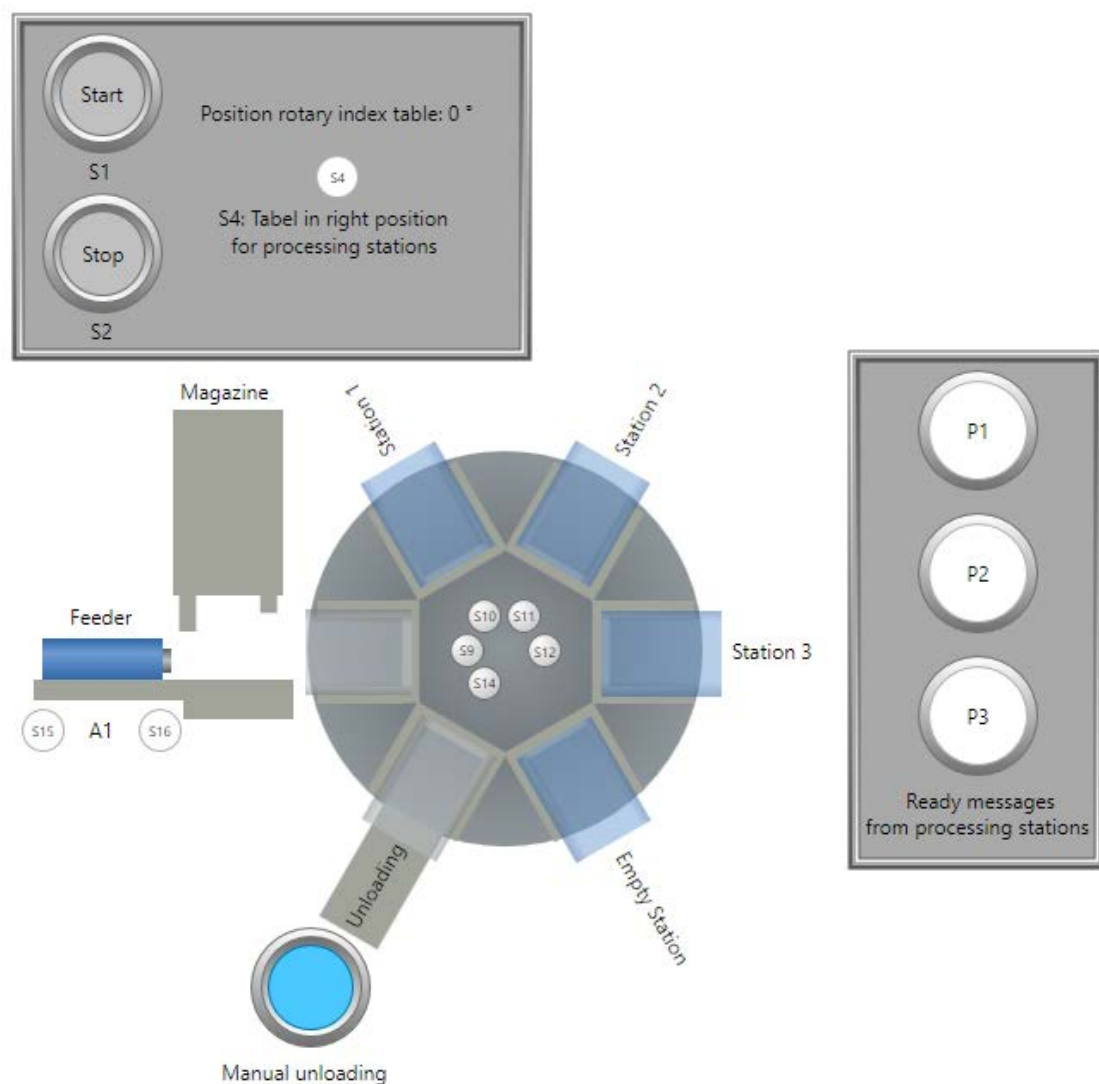


Figura 15: Entorno de simulación mesa giratoria.

El proceso de revisión sigue la secuencia descrita a continuación:

- Presionando el botón de inicio, “S1Start”, y siempre que la mesa giratoria se encuentre en una posición válida (condición que será comprobada con la activación del sensor “BG1MesaEnPosicion”), un cilindro empujará el filtro hasta la estación de recepción.
- Cuando todas las estaciones hayan finalizado el examen, y siempre que la estación de descarga esté libre, la mesa giratoria continuará el ciclo hasta la siguiente estación.
- Las estaciones de revisión avisarán cuando el test haya terminado encendiendo una lámpara. El sistema cuenta con 3 de ellas (“PF1EstTerminada1”, “PF2EstTerminada2” y “PF3EstTerminada3”), una por estación.
- Todas las estaciones cuentan con un sensor que se activa cuando hay un filtro en la estación y, por tanto, la prueba debe realizarse.
- Tras pasar por las estaciones de revisión y la estación vacía, los filtros llegan a la de descarga, que se hace de forma manual.
- El sensor “BG1MesaEnPosicion” se activará cuando la mesa giratoria se encuentre en una posición válida y las pruebas, la carga o la descarga se puedan llevar a cabo.
- Si se pulsa el botón de parada, “S2Stop”, el alimentador dejará de llevar filtros a la mesa giratoria y parará el sistema completamente.

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 7.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	S1Start	Botón de inicio, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S2Stop	Botón de parada, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	BG1MesaEnPosicion	Sensor que indica que la mesa está en la posición correcta; valor = True si se activa.
	BOOL	BG2RecepOcupada	Sensor que indica que la estación de recepción está ocupada; valor = True si se activa.

	BOOL	BG3Est1Ocupada	Sensor que indica que la estación 1 está ocupada; valor = True si se activa.
	BOOL	BG4Est2Ocupada	Sensor que indica que la estación 2 está ocupada; valor = True si se activa.
	BOOL	BG5Est3Ocupada	Sensor que indica que la estación 3 está ocupada; valor = True si se activa.
	BOOL	BG6DescOcupada	Sensor que indica que la estación de descarga está ocupada; valor = True si se activa.
	BOOL	BG7A1Retraido	Sensor que indica que el cilindro está retraído; valor = False si se activa.
	BOOL	BG8A1Extendido	Sensor que indica que el cilindro está extendido; valor = False si se activa.
Accionador	BOOL	MM1ExtRet	Accionador, hace que el cilindro avance (valor = True) o retroceda (valor = False).
	BOOL	M1MesaGiratoria	Motor que hace girar la mesa rotatoria.
	BOOL	PF1Est1Terminada	Lámpara que indica que la estación 1 ha terminado la revisión y está preparada para recibir un nuevo filtro.
	BOOL	PF2Est2Terminada	Lámpara que indica que la estación 2 ha terminado la revisión y está preparada para recibir un nuevo filtro.
	BOOL	PF3Est3Terminada	Lámpara que indica que la estación 3 ha terminado la revisión y está preparada para recibir un nuevo filtro.

Tabla 7: Entradas y salidas mesa giratoria.

Se muestra a continuación el Grafcet del proceso en la Figura 16.

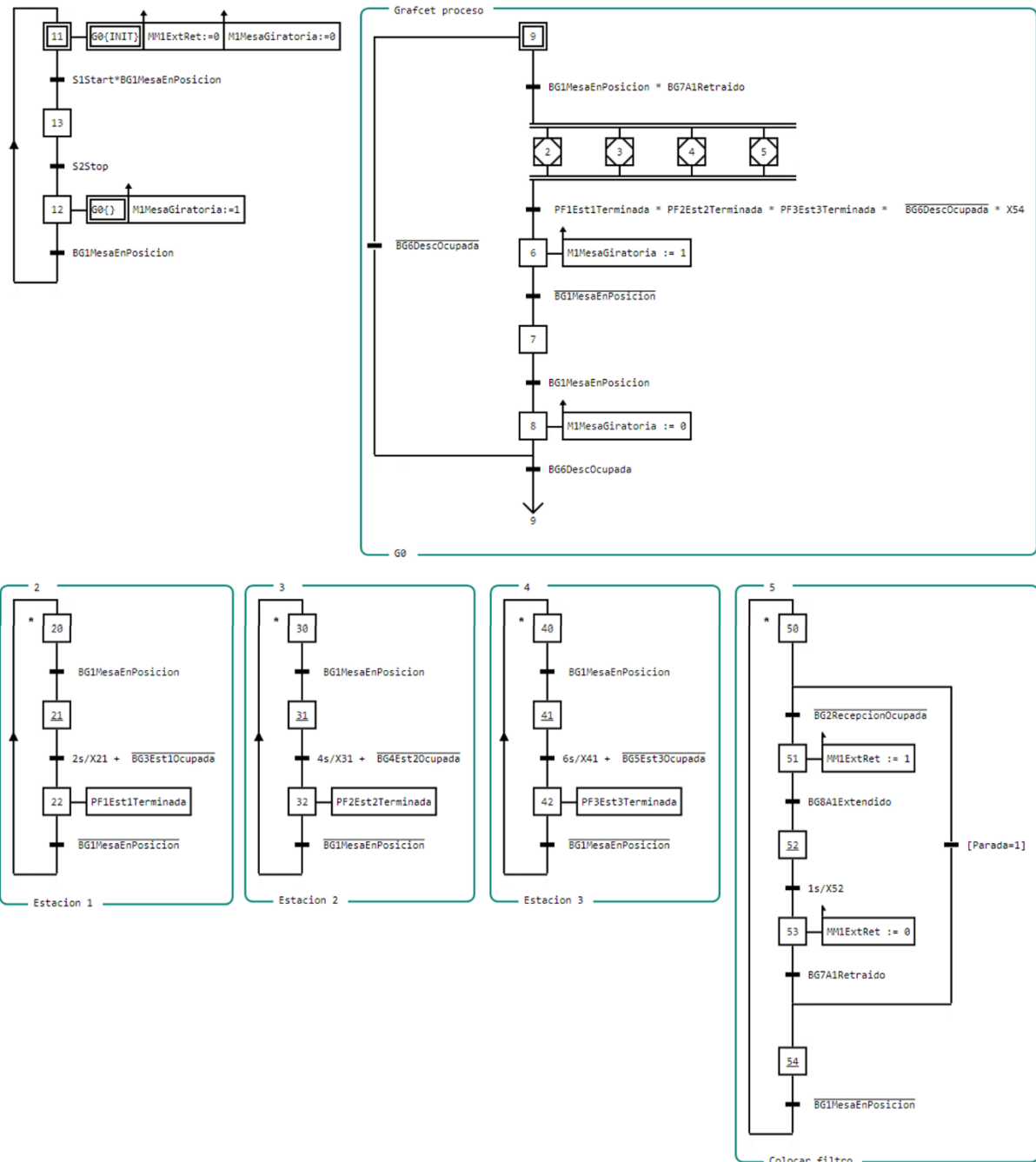


Figura 16: Grafset mesa giratoria.

4.7. Mezcladora

Se quiere automatizar el proceso de mezclado de materias primas de una fábrica. El proceso se lleva a cabo introduciendo en un tambor dos materiales sólidos granulados distintos, que se mezclan al girar el contenedor a 20 rpm durante 20 s. Con ambos componentes mezclados, el tambor cesa en su giro y se abre para depositar la mezcla.

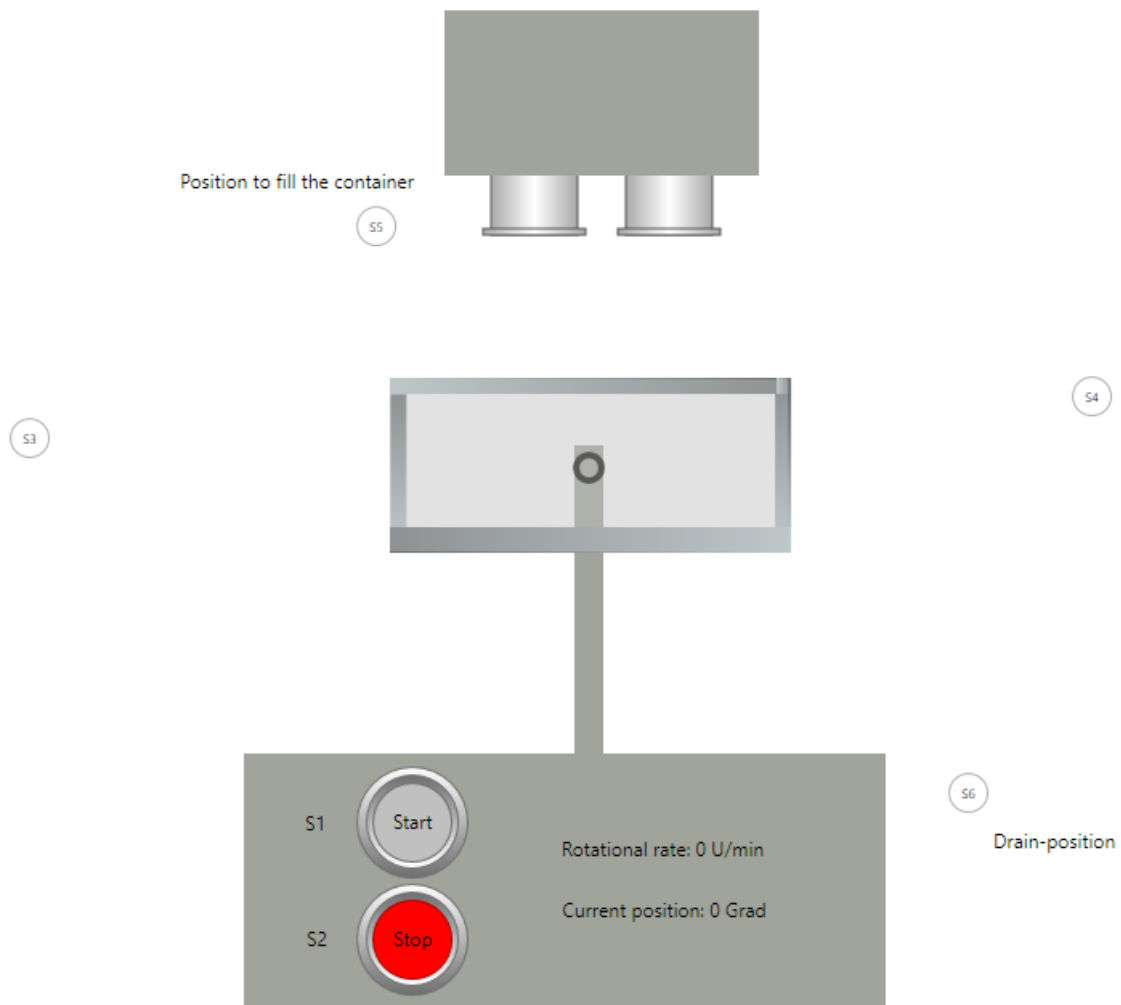


Figura 17: Entorno de simulación mezcladora.

El proceso sigue la secuencia descrita a continuación:

- El sistema se inicia pulsando el botón “S1Start”.
- Estando el tambor en la posición de llenado (indicada mediante el sensor “BG3PosLlenado”), se abre la compuerta superior mediante el accionador “M3AbrirTambor” y se introduce la materia prima mediante el

motor “M2MotorSuministro”. Se deposita materia prima durante 4s y después, se cierra la compuerta de nuevo.

- Para comprobar que la compuerta está abierta o cerrada se disponen de dos sensores, “BG1TamborAbierto” y “BG2TamborCerrado”; y otro para verificar que el tambor se encuentra en la posición de llenado, “BG3PosLlenado”.
- Una vez cerrado el tambor con la materia prima en su interior, girará durante 20s a una velocidad de 20 rpm (accionador “M1Tambor”). Tras esto, parará en la posición de descarga y se abrirá la compuerta (accionador “M3AbrirTambor”), dejando salir la mezcla.
- Una vez vacío, la compuerta se cerrará y el tambor volverá a la posición de llenado a una velocidad de 10 rpm.
- El sistema dispone de un botón, “S2Stop”, que permite para el proceso en cualquier momento en el que sea pulsado. Si al pulsarlo el contenedor se encuentra vacío, regresará a la posición de llenado. Sin embargo, si se encuentra lleno, vaciará su contenido antes de volver a la posición de reposo.

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 8.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	S1Start	Botón de inicio, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	S2Stop	Botón de parada, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	BOOL	BG1TamborAbierto	Sensor que indica que la compuerta del tambor está abierta; valor = True si se activa.
	BOOL	BG2TamborCerrado	Sensor que indica que la compuerta del tambor está cerrada; valor = True si se activa.
	BOOL	BG3PosLlenado	Sensor que indica que el tambor se encuentra en la posición de llenado; valor = True si se activa.
	BOOL	BG4PosVaciado	Sensor que indica que el tambor se encuentra en la posición de vaciado; valor = True si se activa.

Accionador	BOOL	M1Tambor	Accionador, hace que el tambor gire.
	BOOL	M2MotorSuministro	Motor que deposita materia prima en el tambor.
	BOOL	M3AbrirTambor	Accionador, abre la compuerta del tambor (valor = True) o la cierra (valor = False).
	INT16	C1Velocidad	Almacenamiento de la velocidad de giro del motor del tambor.

Tabla 8: Entradas y salidas mezcladora.

Se muestra a continuación el Grafcet del proceso en la Figura 18.

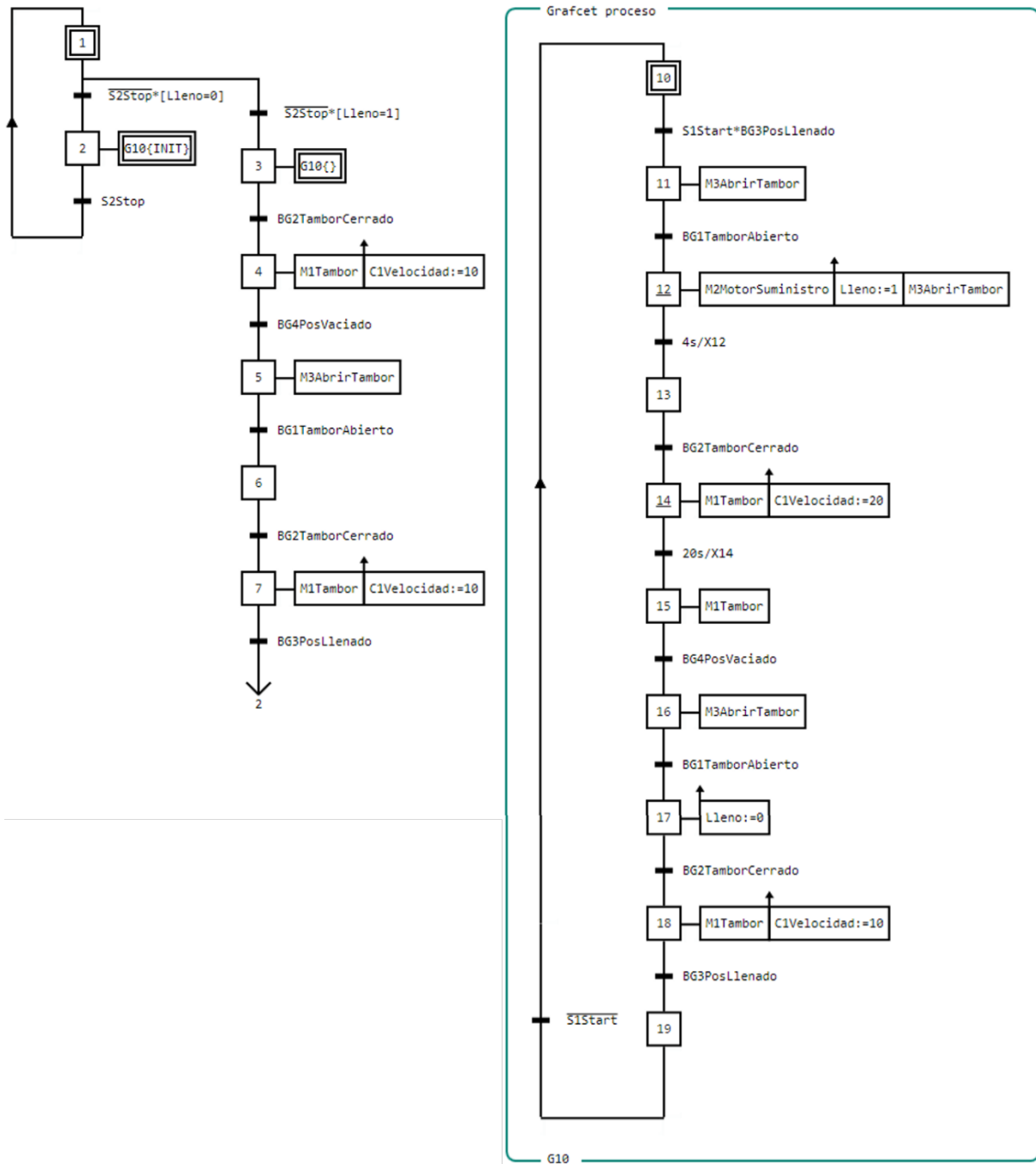


Figura 18: Grafcet mezcladora.

4.8. Cinta transportadora

En este caso se llevará a cabo la automatización de una cinta transportadora que funciona como una estación de verificación de piezas. La cinta cuenta con una zona donde se comprueba la altura de las piezas (estación de evaluación) y otra donde se rechazan (estación de rechazo), en el caso en el que la pieza no resulte válida.

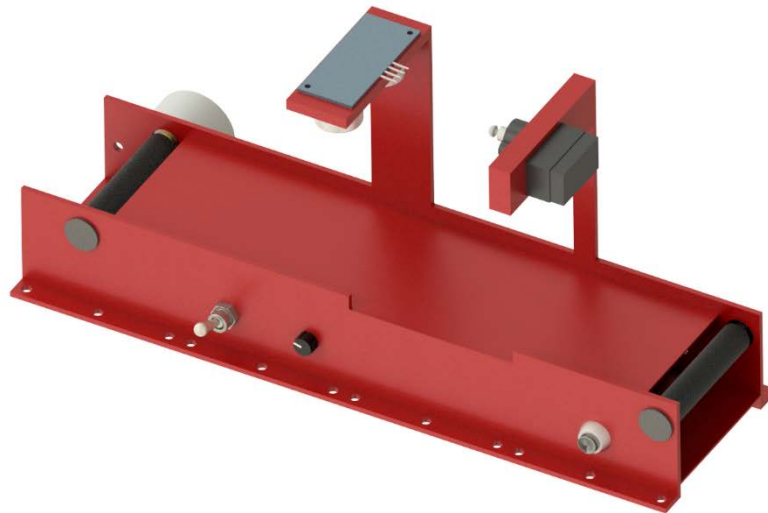


Figura 19: Maqueta cinta transportadora.

El proceso sigue la secuencia descrita a continuación:

- La cinta se activa mediante el interruptor “S1StartStop” y comienza a funcionar, activándose el accionador “M1Cinta”. Las piezas son alimentadas de forma manual.
- Conforme la cinta avanza, la pieza llega a una primera estación de evaluación en la que un sensor de ultrasonidos mide la distancia desde su posición hasta la pieza. Esa distancia se lee en la entrada analógica “B1LDistancia”.
- Si el valor convertido por la entrada analógica del PLC (“B1LDistancia”) es igual o superior a 3000, la pieza será válida. Por el contrario, si resulta inferior a 3000, significará que la pieza se excede en altura y será rechazada.
- Si la pieza resulta válida en la estación de evaluación, avanzará hasta el final de la cinta transportadora.

- Si la pieza se evalúa como no válida, se encenderá la lámpara “PF1Lampara” de forma intermitente y el sistema contará 10s, tiempo que tarda la cinta en llevar la pieza desde la estación de evaluación hasta la de rechazo. Pasado este tiempo, activará una pala que expulsará la pieza de la cinta (accionador “M2Pala”). La lámpara permanecerá activa hasta que la pieza sea expulsada de la cinta.
- Para apagar el sistema habrá que poner en posición de apagado el interruptor “S1StartStop”.
- Además, el prototipo cuenta con un botón de parada de emergencia, “S2ParadaEmergencia”. Al pulsarlo se congela el sistema y se enciende la lámpara “PF1Lampara”, esta vez de forma continua. Para restaurarlo, habrá que llevar el interruptor “S1StartStop” a la posición de apagado. La lámpara permanece encendida hasta que esto sucede.

Los sensores y actuadores disponibles se indican en la Tabla 9.

Grupo	Tipo	Nombre	Descripción
Sensor	BOOL	S1StartStop	Interruptor de marcha paro, normalmente abierto (NO); activa (valor = True) o desactiva la cinta (valor = False).
	BOOL	S3ParadaEmergencia	Botón de parada de emergencia, normalmente abierto (NO); valor = True si se activa.
	INT16	BL1Distancia	Valor analógico proporcional a la distancia medida por el sensor de ultrasonidos.
Accionador	BOOL	M1Cinta	Accionador, hace que la cinta transportadora avance; valor = True mueve la cinta.
	BOOL	M2Pala	Accionador, mueve la pala para expulsar de la cinta las piezas que son rechazadas; valor = True para expulsar la pieza.
	BOOL	PF1Lampara	Lámpara que parpadea si se detecta una pieza no válida y se enciende de forma continua cuando se pulsa el botón de parada de emergencia; valor = True si se activa.

Tabla 9: Entradas y salidas cinta transportadora.

Se muestra a continuación el Grafcet del proceso en la Figura 20.

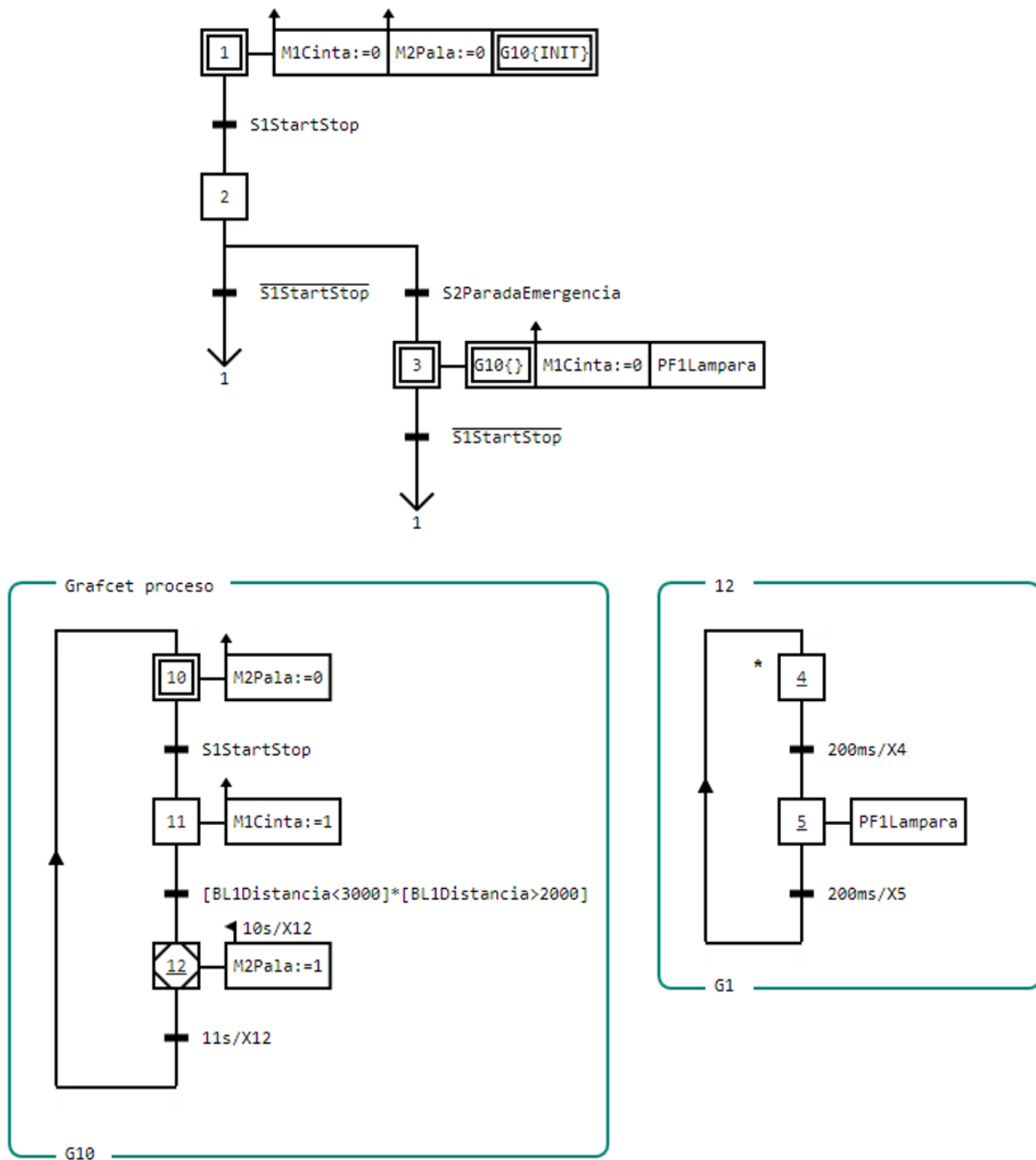


Figura 20: Grafcet cinta transportadora.

5. CONCLUSIONES

5. Conclusiones

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos una vez terminado el presente trabajo.

Con la realización de este trabajo se han comprobado todas las posibilidades del uso conjunto de Grafcet Studio Starter y PLC-Lab Runtime. Se ha llevado a cabo una batería de ejercicios con el objetivo de probar las prestaciones de ambos programas y verificar sus beneficios para la automatización de procesos.

Ambas herramientas han resultado muy útiles, especialmente en el ámbito docente, debido a que permiten elaborar diagramas Grafcet de forma sencilla y probar su funcionamiento en un entorno de simulación. Esto último resulta especialmente interesante, ya que normalmente el estudiante que se enfrenta a ejercicios de automatización de procesos no dispone de dispositivos reales con los que comprobar el diagrama Grafcet diseñado.

Por un lado, Grafcet Studio ha resultado una herramienta de diseño de Grafcet intuitiva y fácil de utilizar. Con ella se ha podido profundizar en la metodología Grafcet, permitiendo al usuario aprender a crear diagramas funcionales que resultan muy útiles para la automatización de procesos secuenciales de cierta complejidad.

Por otro lado, PLC-Lab Runtime ha permitido simular los diagramas elaborados en Grafcet-Studio en máquinas virtuales, de forma que el usuario ha logrado comprobar el correcto funcionamiento del Grafcet de una forma visual y didáctica.

Sin embargo, también se han encontrado varias limitaciones debidas a las versiones disponibles de ambos programas.

El principal condicionante de Grafcet Studio Starter ha sido que no fuera compatible con otros dispositivos, como pudieran ser un PLC, una placa Arduino o una tarjeta Raspberry Pi. Esta aplicación era una de las más interesantes del programa, y se ha tenido que recurrir a la versión Grafcet Studio Pro Edition para poder probarla.

PLC-Lab Runtime, a su vez, se ha visto limitado en cuanto a la creación de entornos virtuales propios. Ponía a disposición del usuario 30 instalaciones, las cuales han bastado para revisar las prestaciones de Grafcet Studio Starter, pero no daba la posibilidad de crear una máquina virtual desde cero.

En conclusión, aunque el trabajo ha estado condicionado a las versiones disponibles de ambos programas, se ha logrado el objetivo propuesto: profundizar en la técnica Grafcet y aprovechar el máximo potencial de ambas aplicaciones trabajando en conjunto. Se consideran ambas herramientas, tanto Grafcet Studio Starter como PLC-Lab Runtime, programas que ayudan en el aprendizaje de la automatización de procesos. Permiten al alumno corregir sus diseños y comprobar de forma visual que el Grafcet funciona correctamente, con el único requerimiento para el usuario de la disposición de un ordenador.

Finalmente, con el desarrollo de una aplicación con un dispositivo real, un PLC, conectado a una maqueta, ha quedado demostrada la potencia, sencillez y claridad del desarrollo de automatismos utilizando diagramas Grafcet diseñados mediante Grafcet Studio Pro Edition.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- [1] AENOR. UNE 81346-2 Sistemas industriales, instalaciones y equipos y productos industriales. Principios de estructuración y designación de referencia. Parte 2: Clasificación de objetos y códigos para las clases. Madrid: AENOR, 2011.
- [2] Aguilera Martínez, P. (2002). Programación de PLCs [Ebook]. Recuperado el 1 de Julio de 2020, de <http://eprints.uanl.mx/919/1/1020148252.PDF>.
- [3] Díaz, J., Peraza, C., Arteaga, F., & Jiménez, C. (2007). Implantación del lenguaje GRAFCET en controladores lógicos programables de gama baja utilizando el lenguaje escalera. Research Gate. Recuperado el 1 de Julio de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/239596111_Implantacion_del_lenguaje_GRAFCET_en_controladores_logicos_programables_de_gama_baja_utilizando_el_lenguaje_escalera.
- [4] Hofer, J., Weiss, T., & Habermann, M. (2017). GRAFCET-Workbook: Dibujar, simular y probar sistemas virtuales con GRAFCET (1st ed.).
- [5] Introducción a Graftet-Studio. MHJ (2017). Recuperado el 1 de Julio de 2020, de <https://www.mhj-wiki.de/en/grafcet-studio/introduction/>
- [6] Introducción al modelado GRAFCET. (2020). [Ebook]. Recuperado el 1 de Julio de 2020, de http://www.ieef.upm.es/moodle/pluginfile.php/1171/mod_resource/content/0/GraftetAmpliacion.pdf.
- [7] Introducción a PLC-Lab. MHJ (2017). Recuperado el 1 de Julio de 2020, de <https://www.mhj-wiki.de/en/plc-lab/Introduction/>
- [8] Leiva, J. (2016). Herramienta para el diseño, simulación y generación de código de sistemas de automatización industrial basados en PLCs [Ebook]. Recuperado el 1 de Julio de 2020, de <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/756/Tesis%20Leiva%20Javier.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

ANEXO I: Entornos de simulación disponibles en PLC-Lab Runtime

Anexo I: Entornos de simulación disponibles en PLC-Lab Runtime

Se muestran a continuación las 30 máquinas virtuales de PLC-Lab Runtime disponibles para la versión Grafcet Studio Starter:

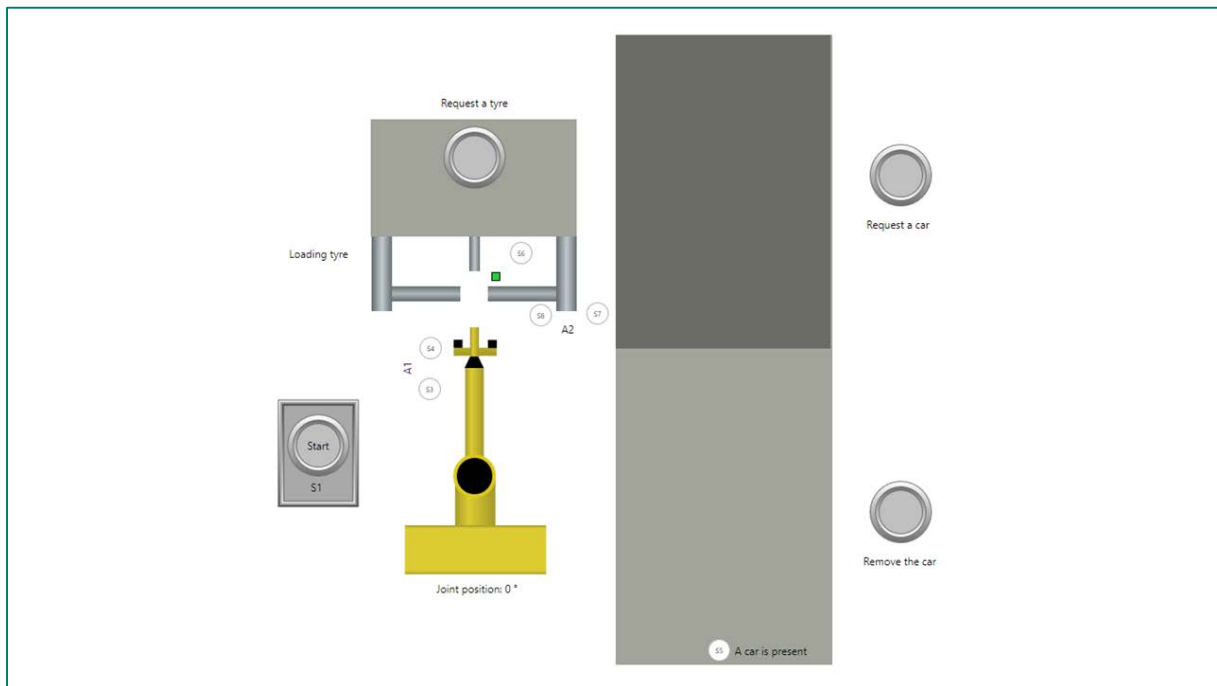


Figura 21: Robot de montaje (Assembly robot).

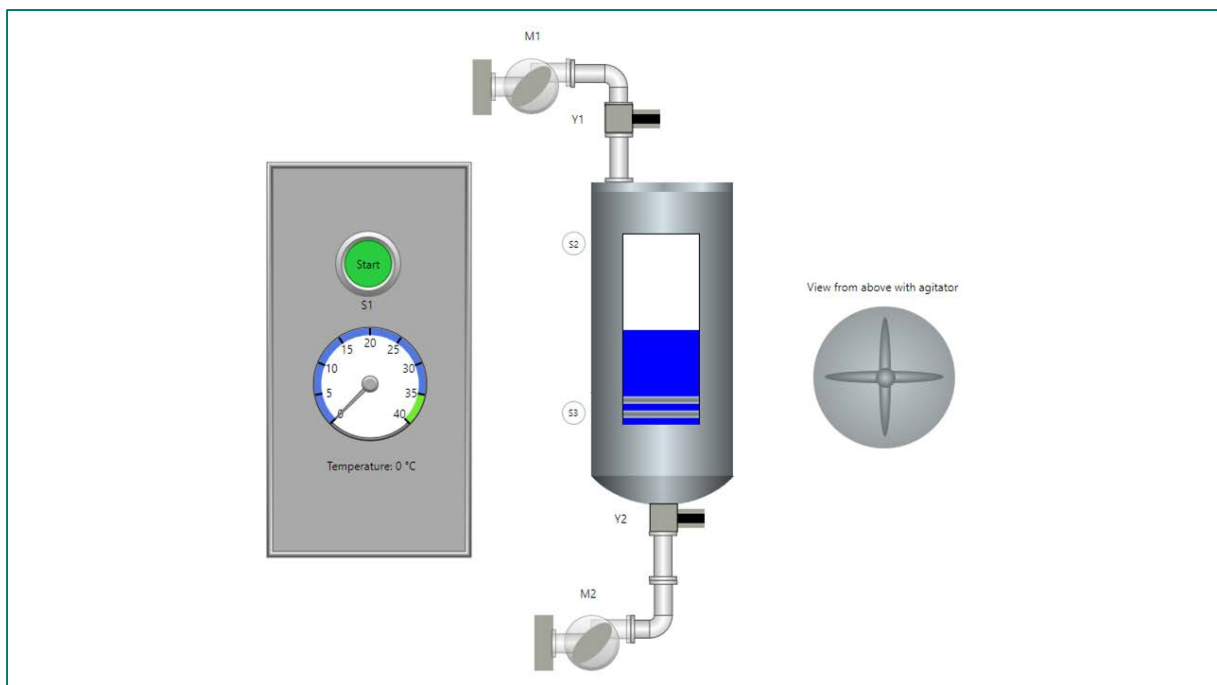


Figura 22: Control de tanque de llenado (Controlling filling tank).

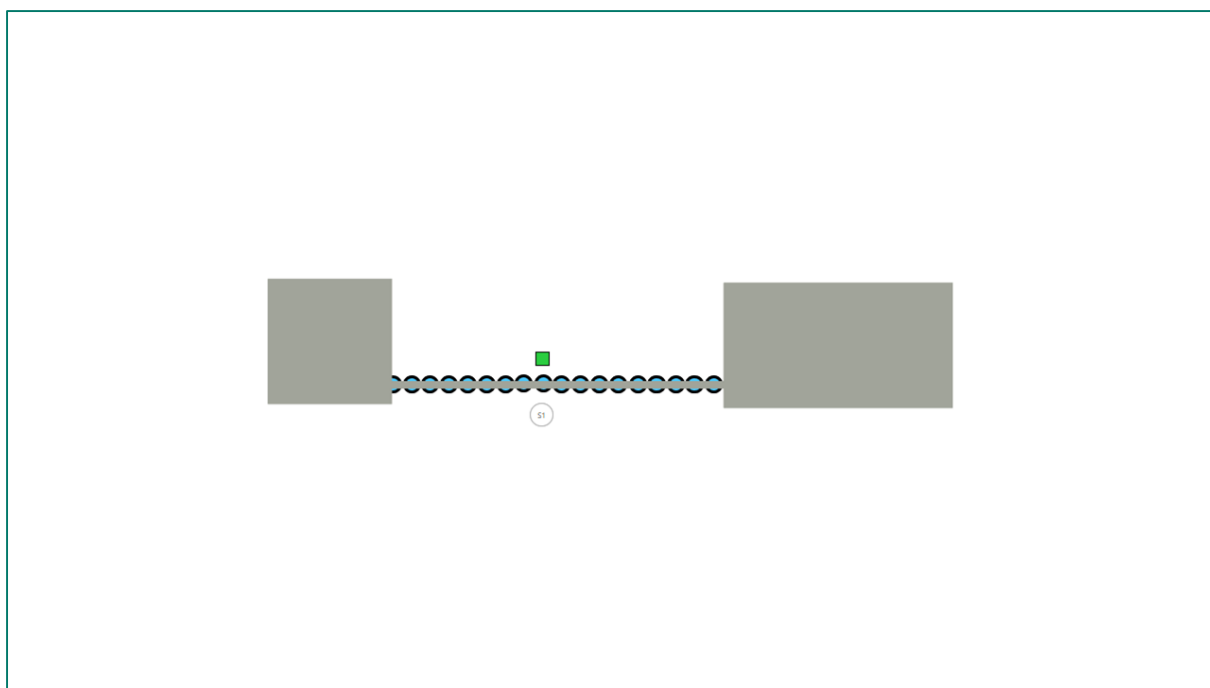


Figura 23: Cinta transportadora con contador (Conveyor belt with counter).

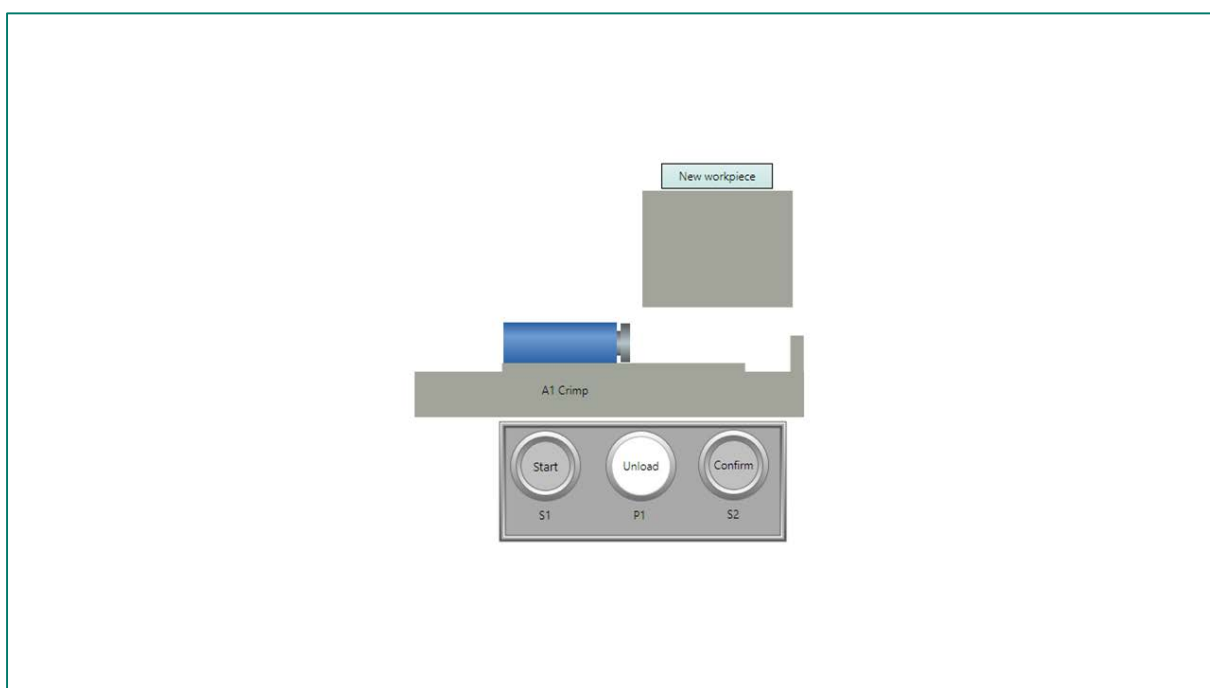


Figura 24: Prensa (Crimp device)

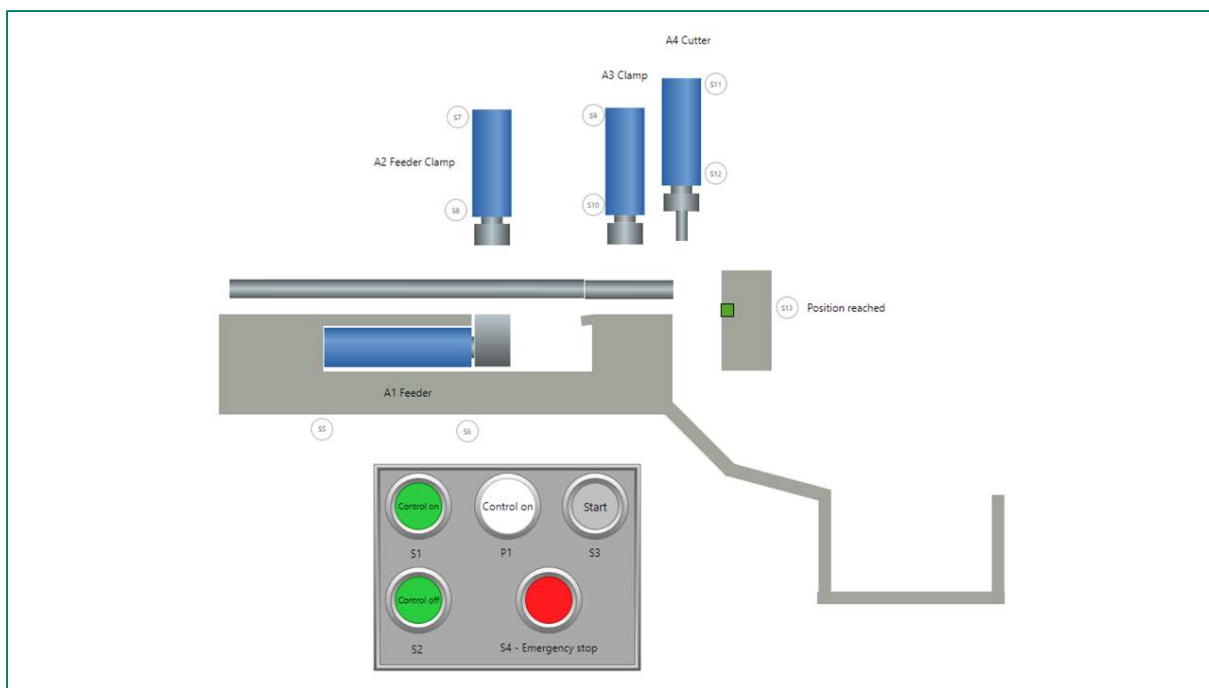


Figura 25: Máquina cortadora (Cutter machine).

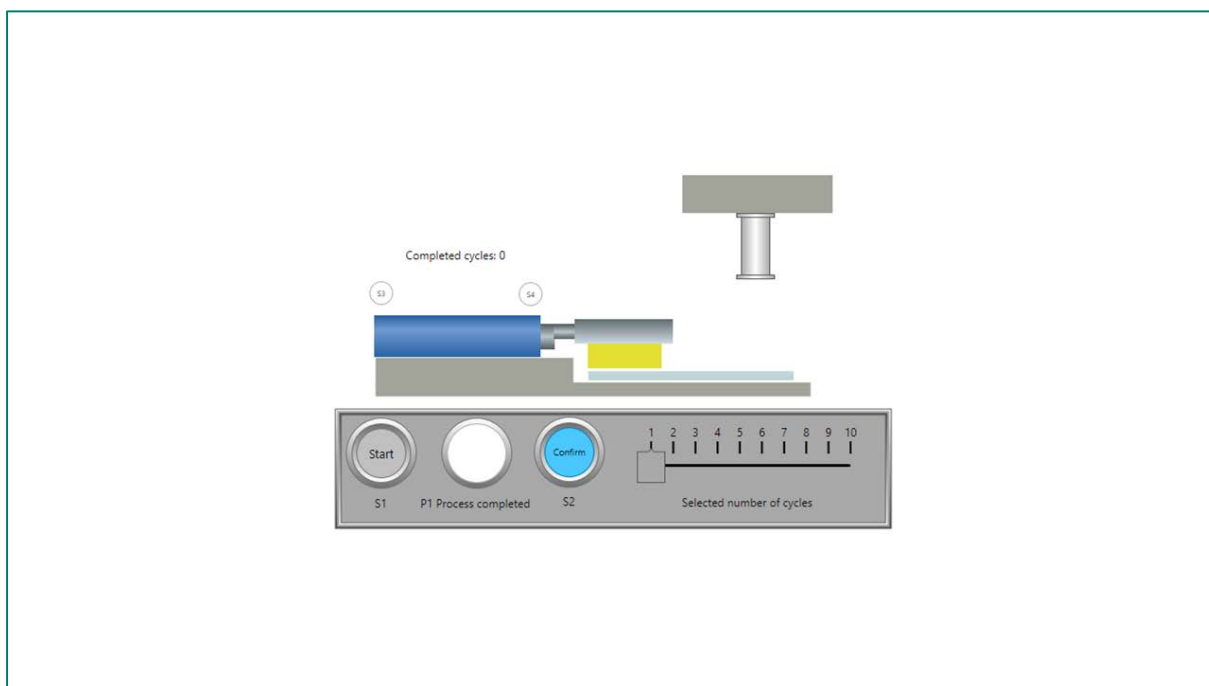


Figura 26: Prueba de detergente (Detergent test).

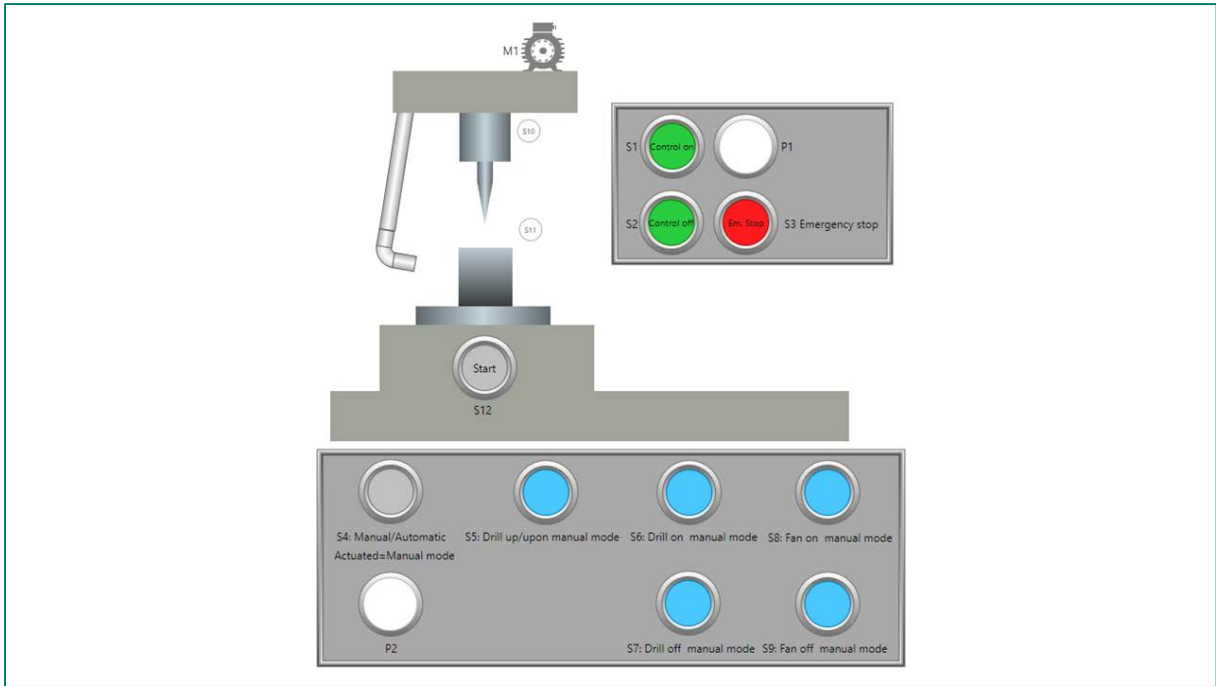


Figura 27: Máquina taladradora (Drill machine).

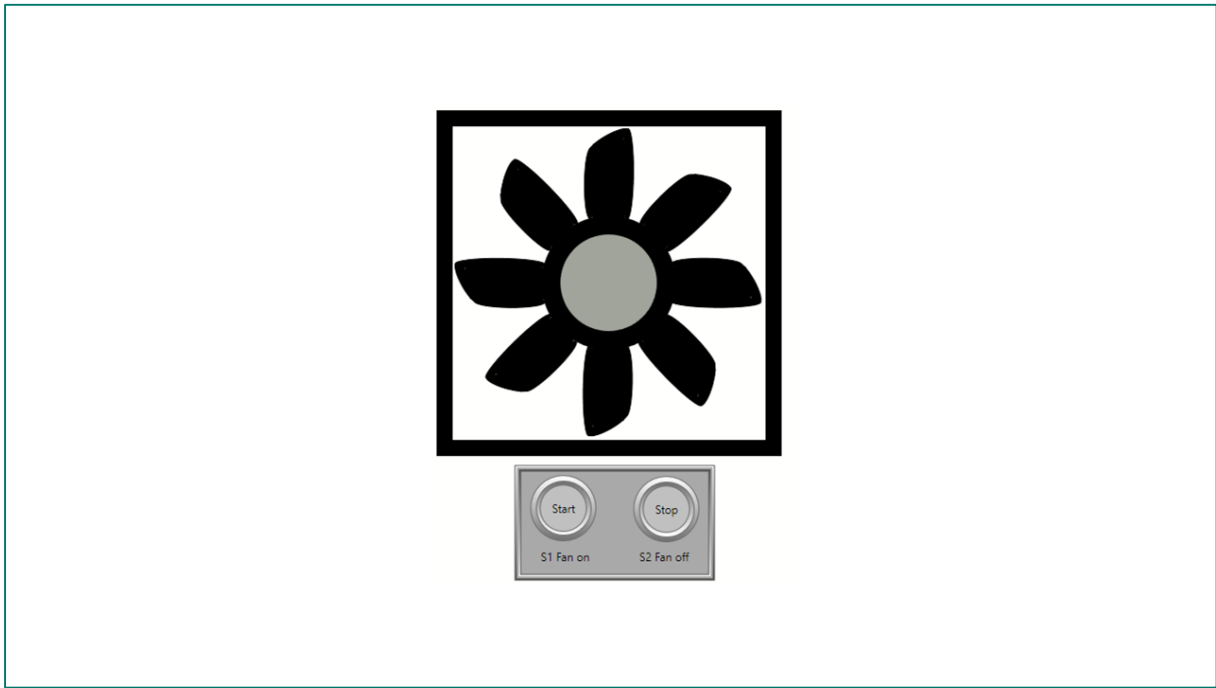


Figura 28: Ventilador (Fan).

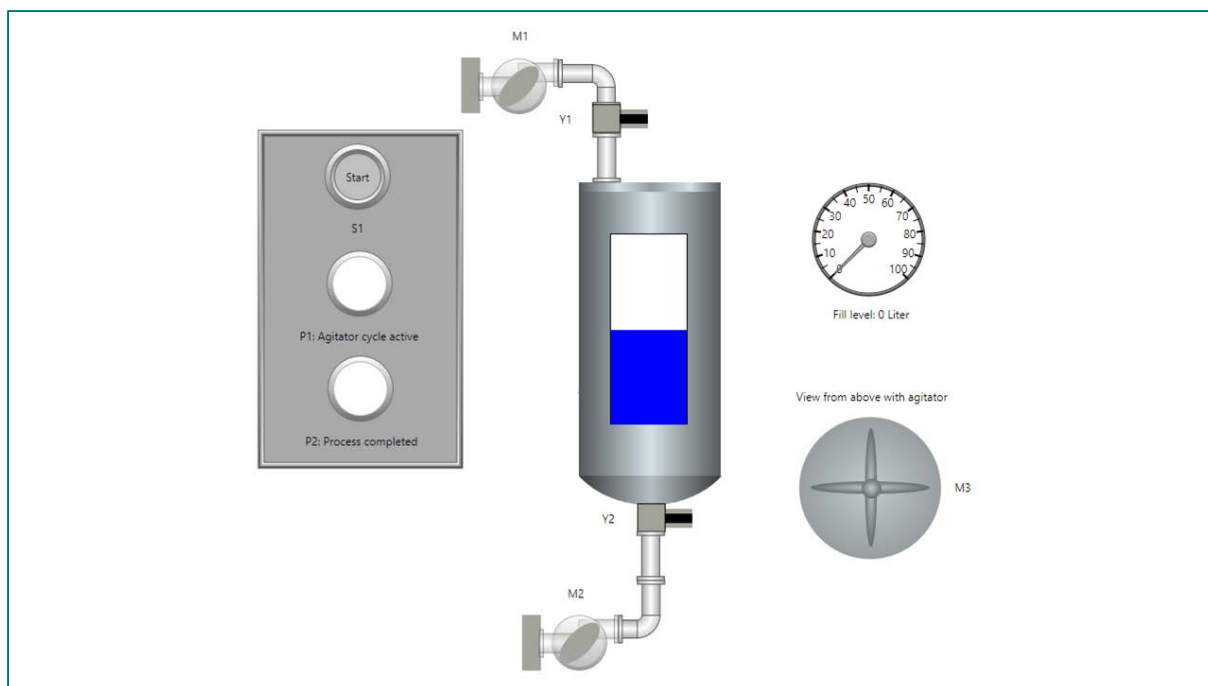


Figura 29: Tanque de llenado (Filling tank).

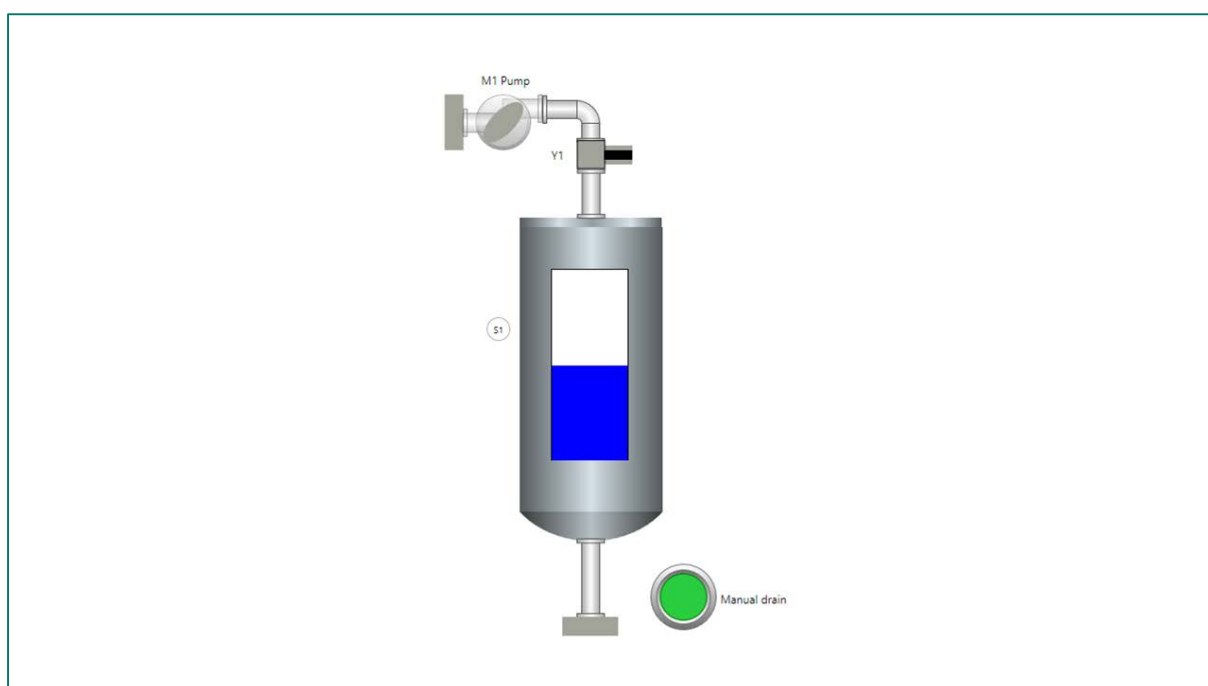


Figura 30: Tanque de llenado con drenaje manual (Filling tank with manual drain).

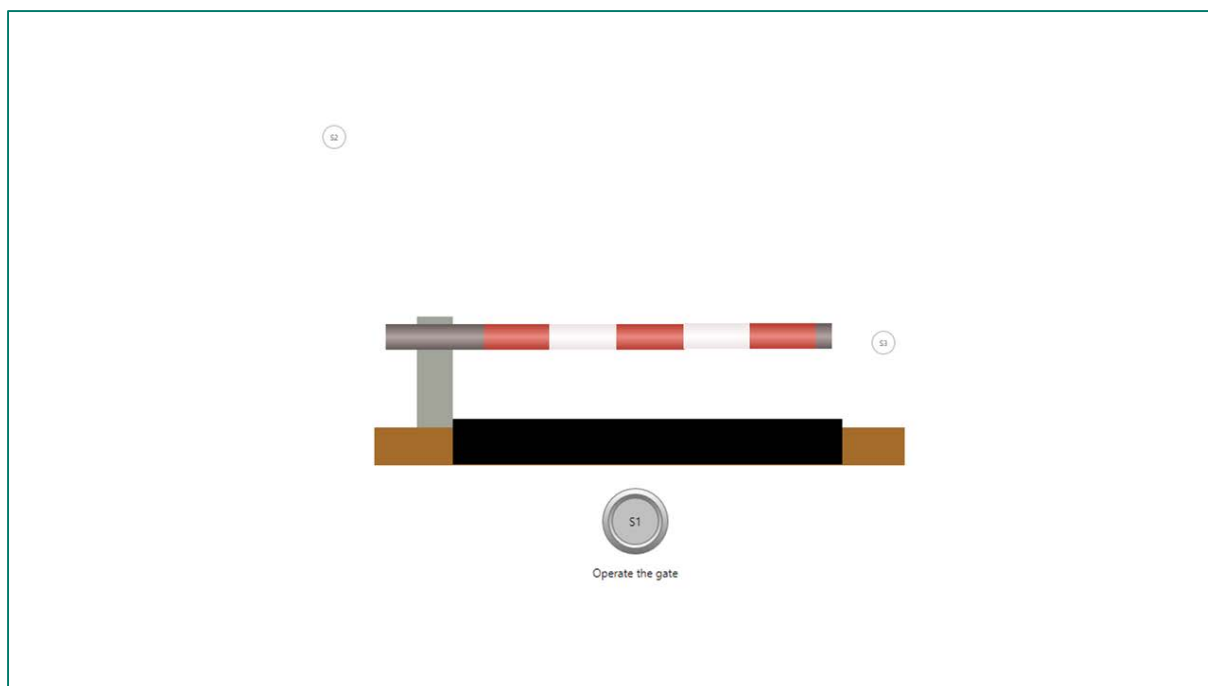


Figura 31: Barrera (Gate).

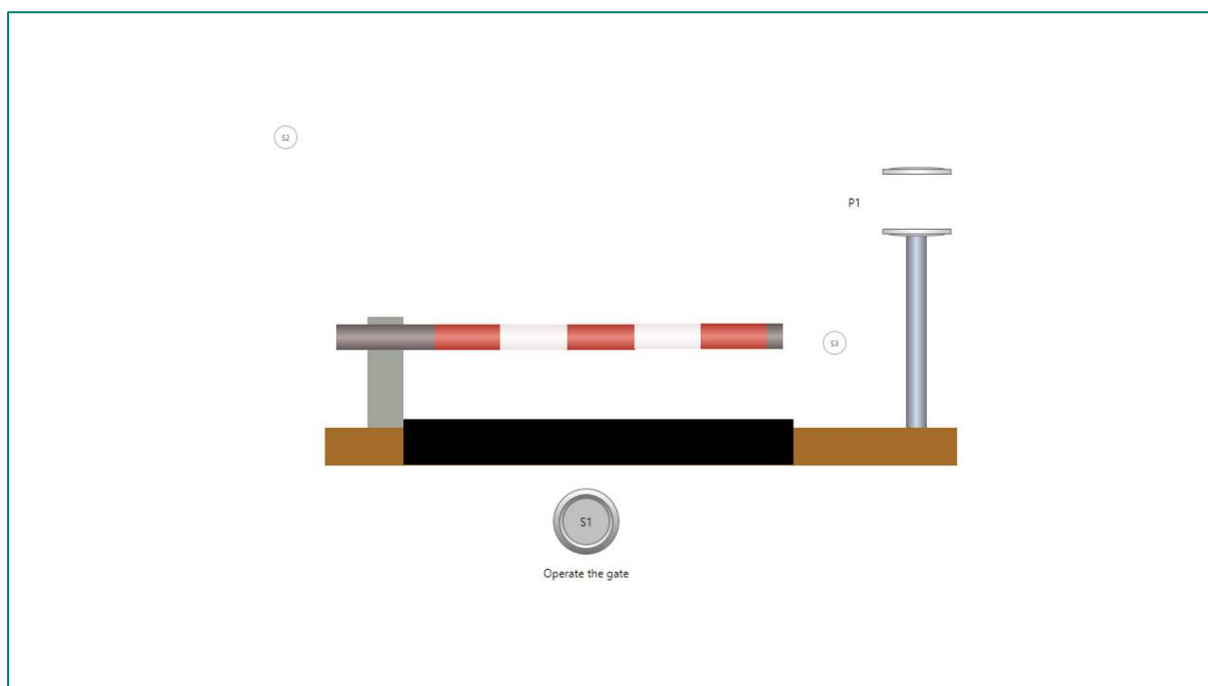


Figura 32: Barrera con lámpara (Gate with lamp).

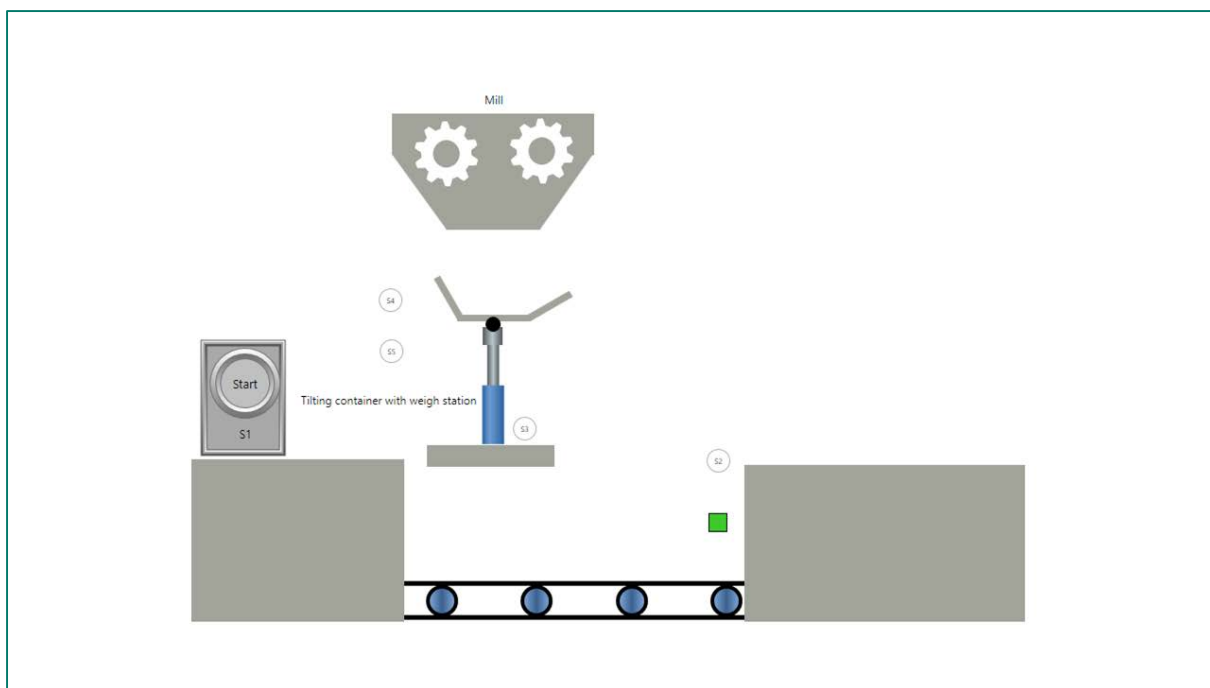


Figura 33: Contenedor de carga (Loading container).

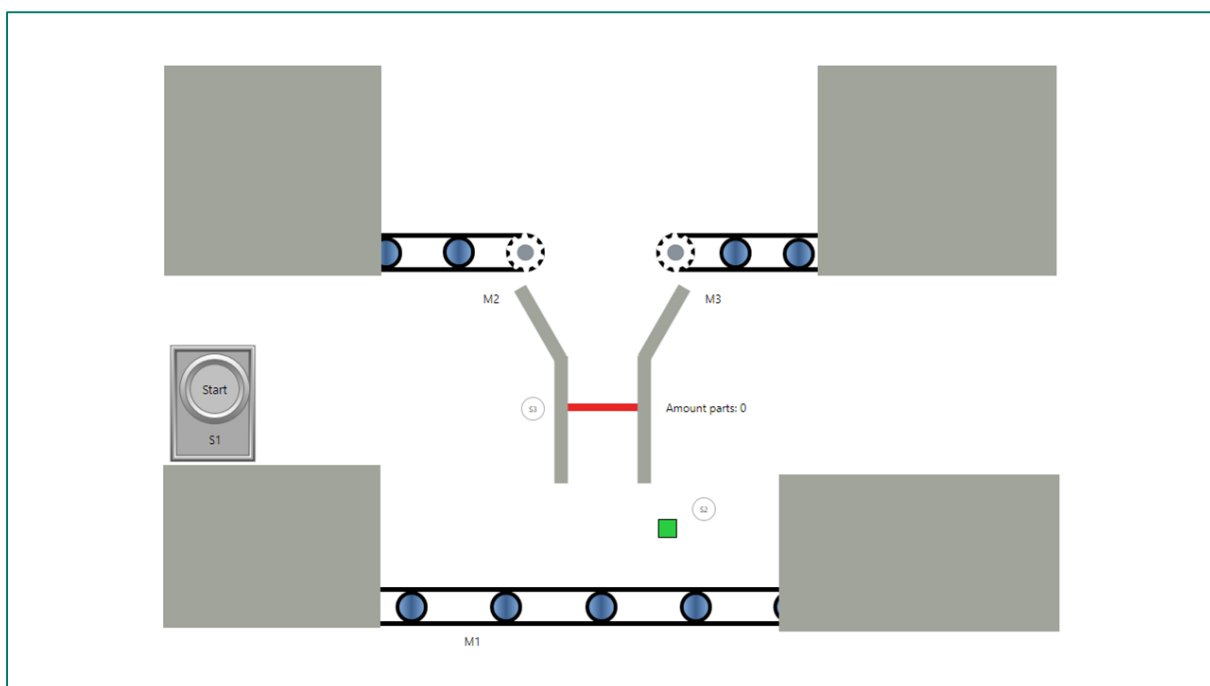


Figura 34: Contenedor de carga con cinta transportadora (Loading container with conveyor belt).

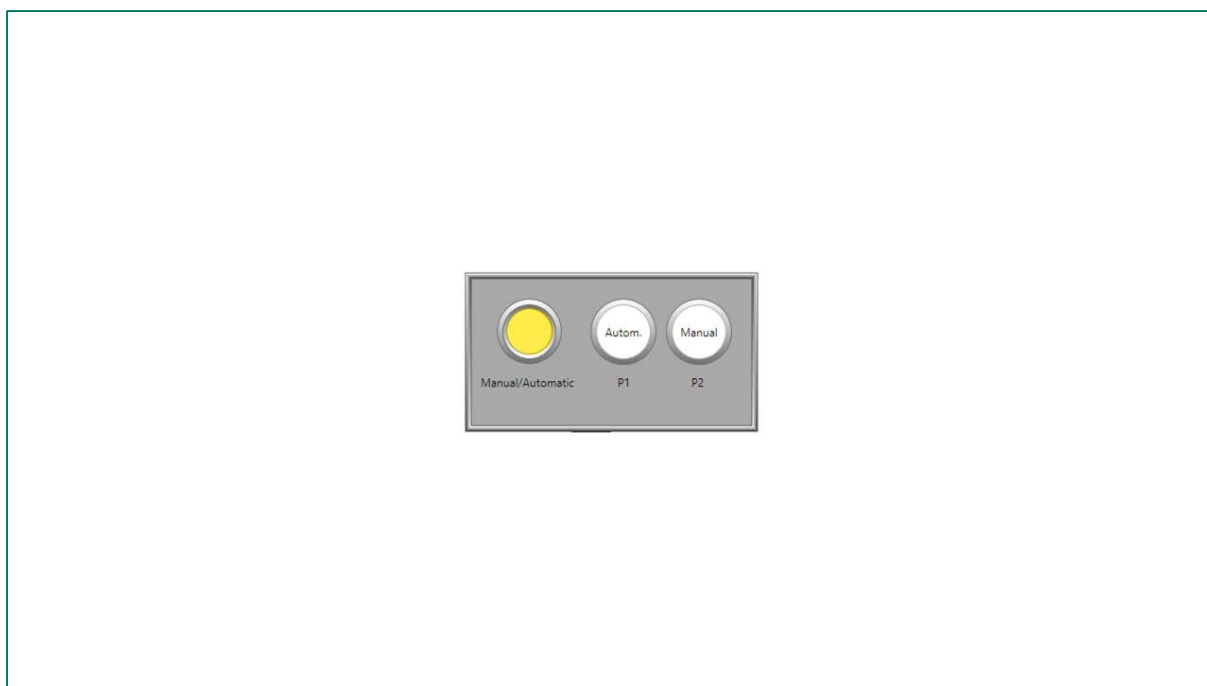


Figura 35: Modo automático y manual (Manual and automatic mode).

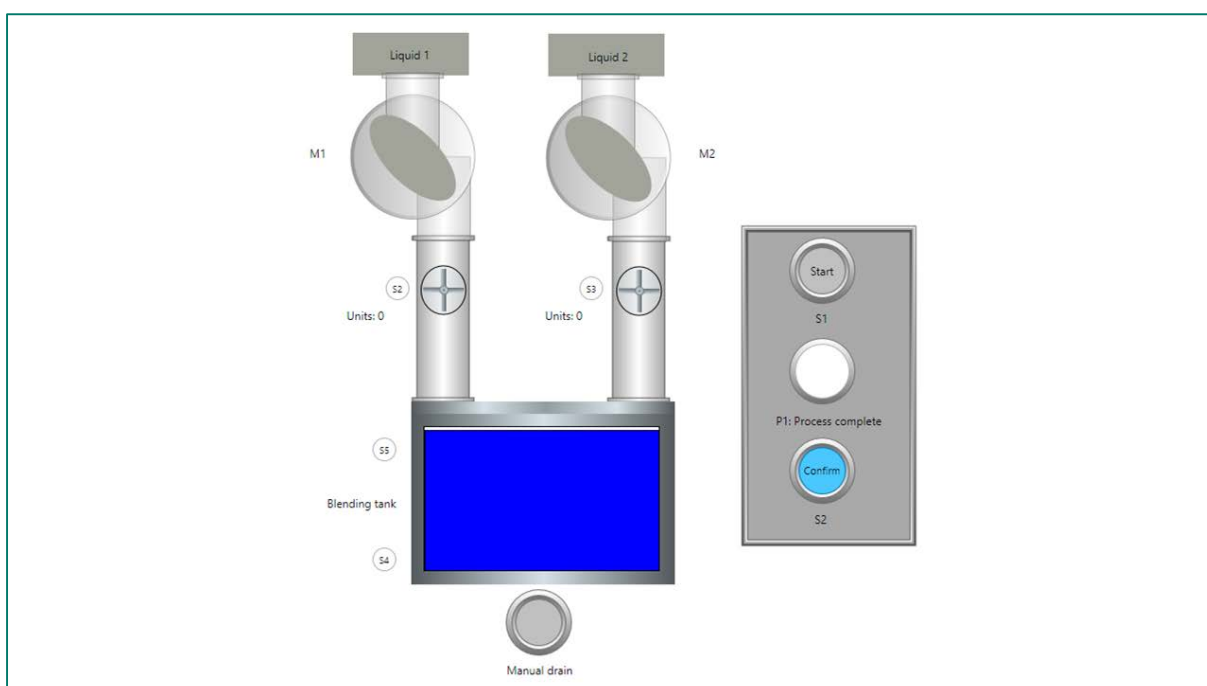


Figura 36: Mezclador de líquidos (Mixing liquids).

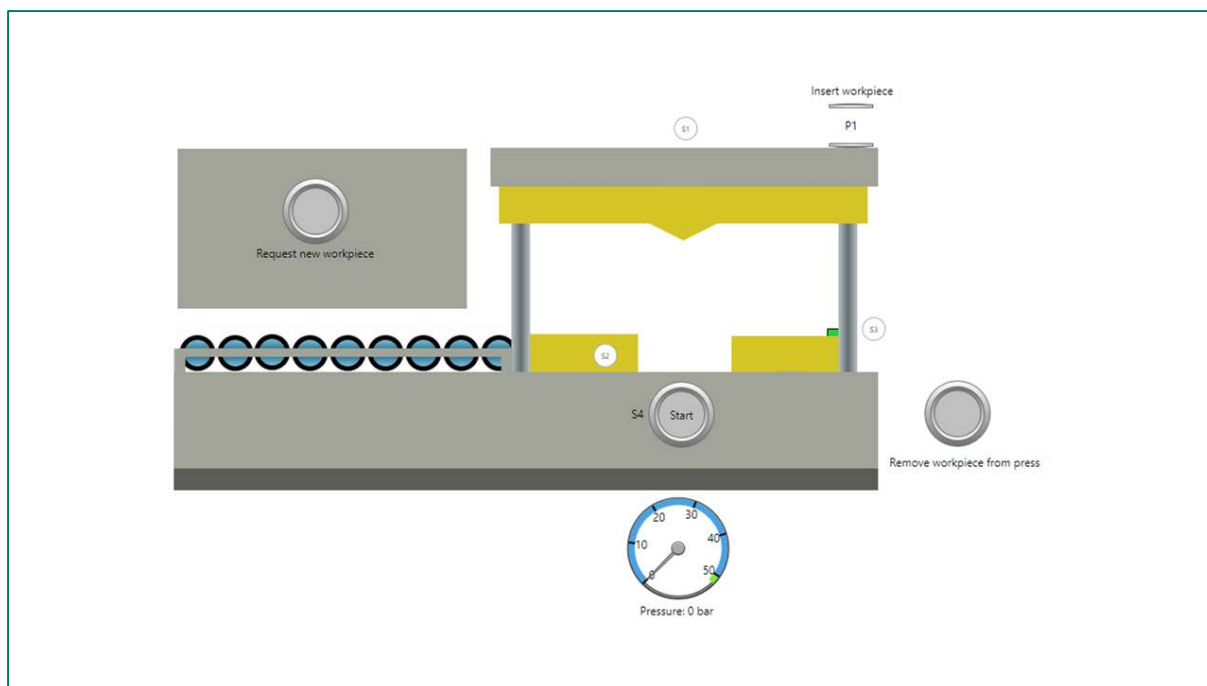


Figura 37: Máquina hidráulica (Press).

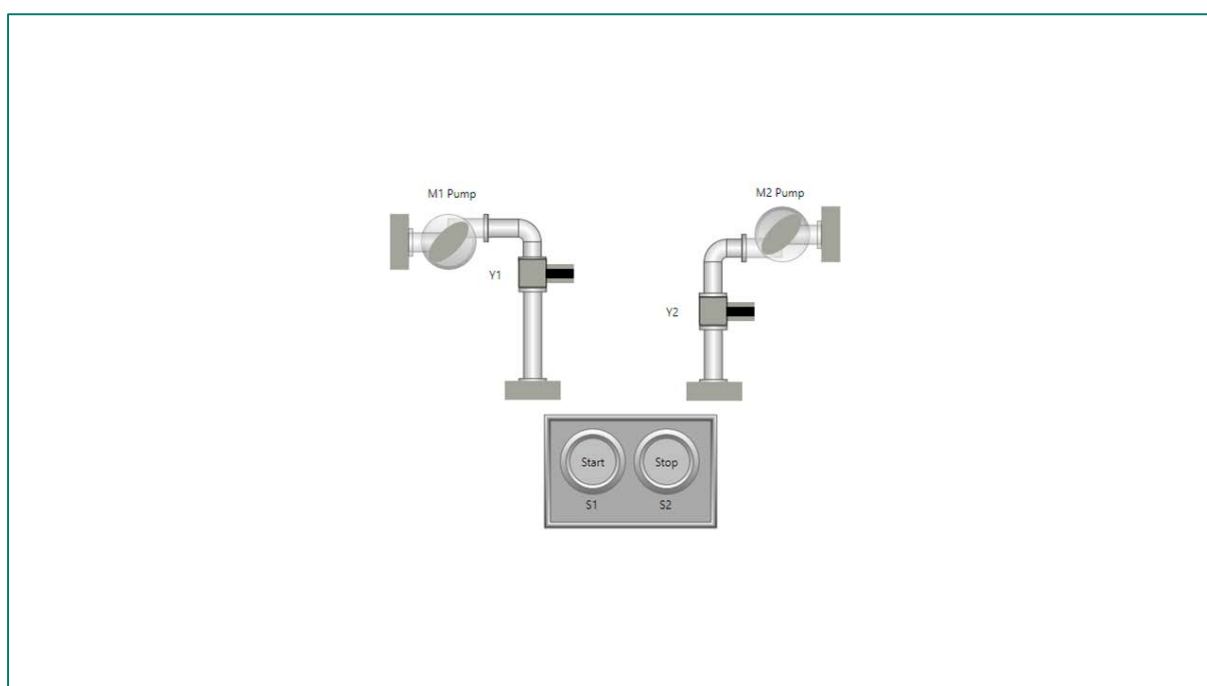


Figura 38: Bomba de encendido/apagado (Pump On/Off).

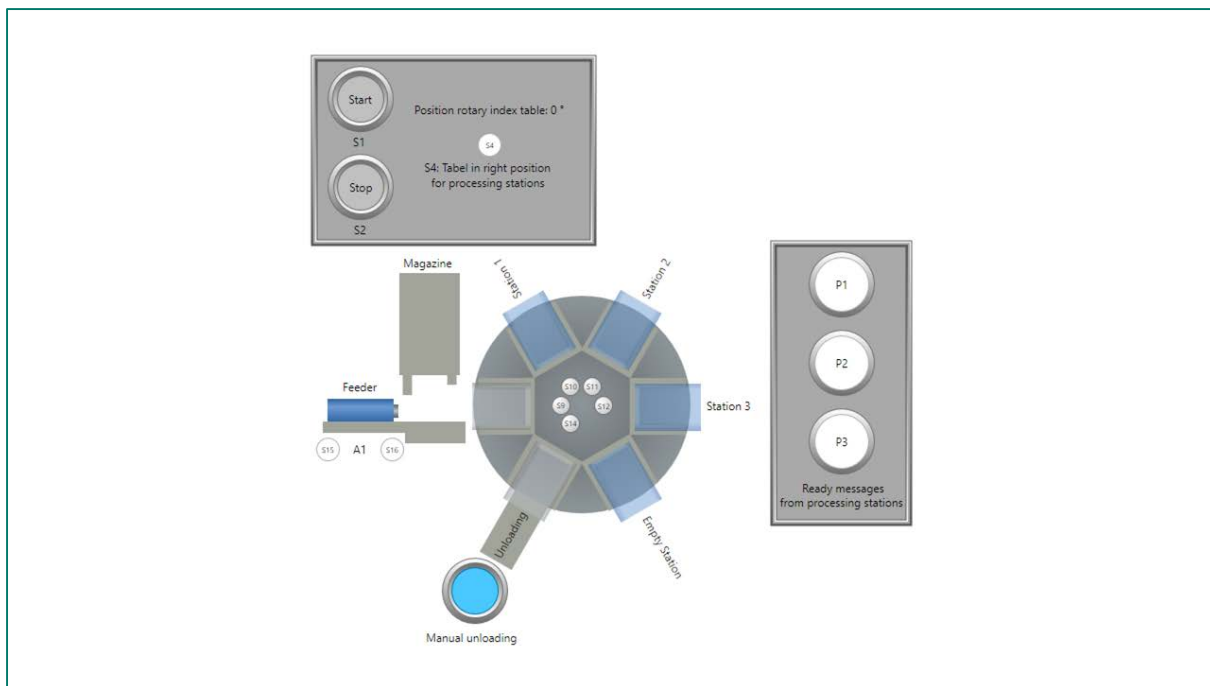


Figura 39: Mesa giratoria (Rotary index table).

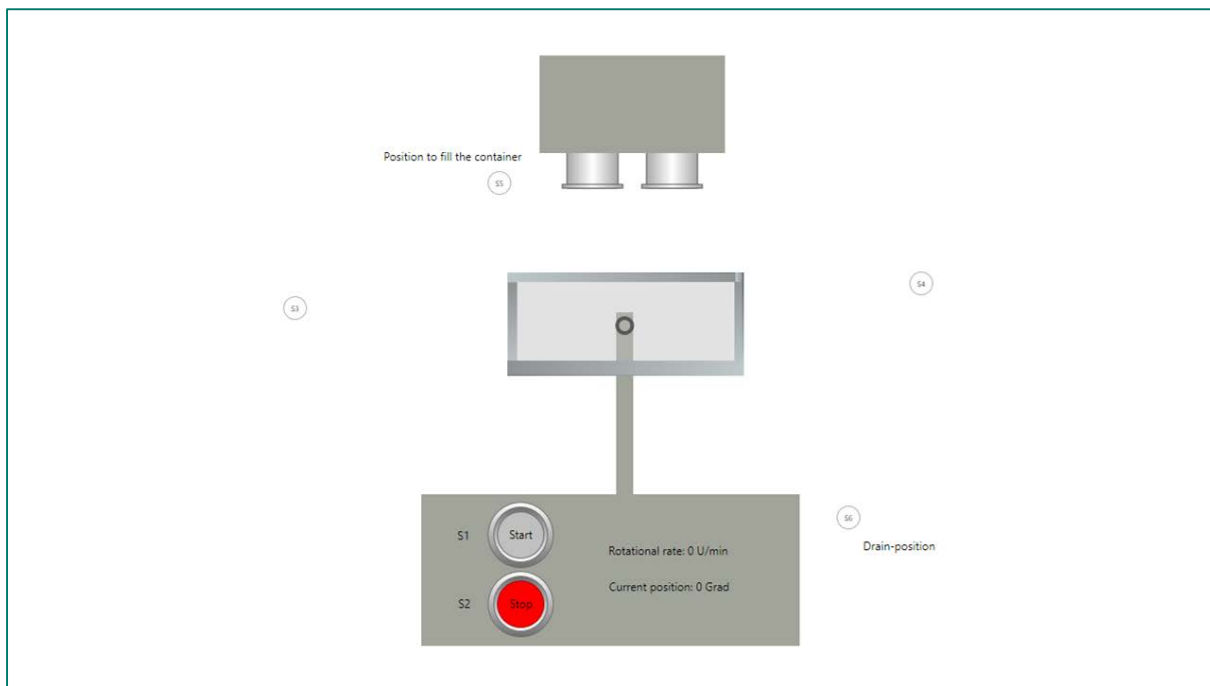


Figura 40: Contenedor de mezcla rotatorio (Rotated mixing container).

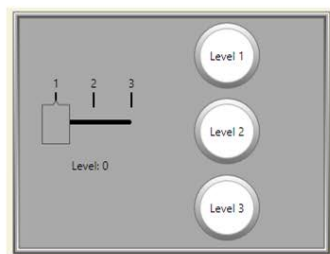


Figura 41: Selector de niveles (Selecting levels).

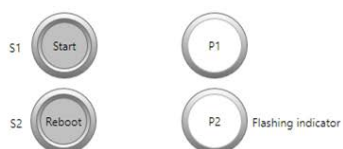


Figura 42: Botón de iniciar y reiniciar (Start reboot).

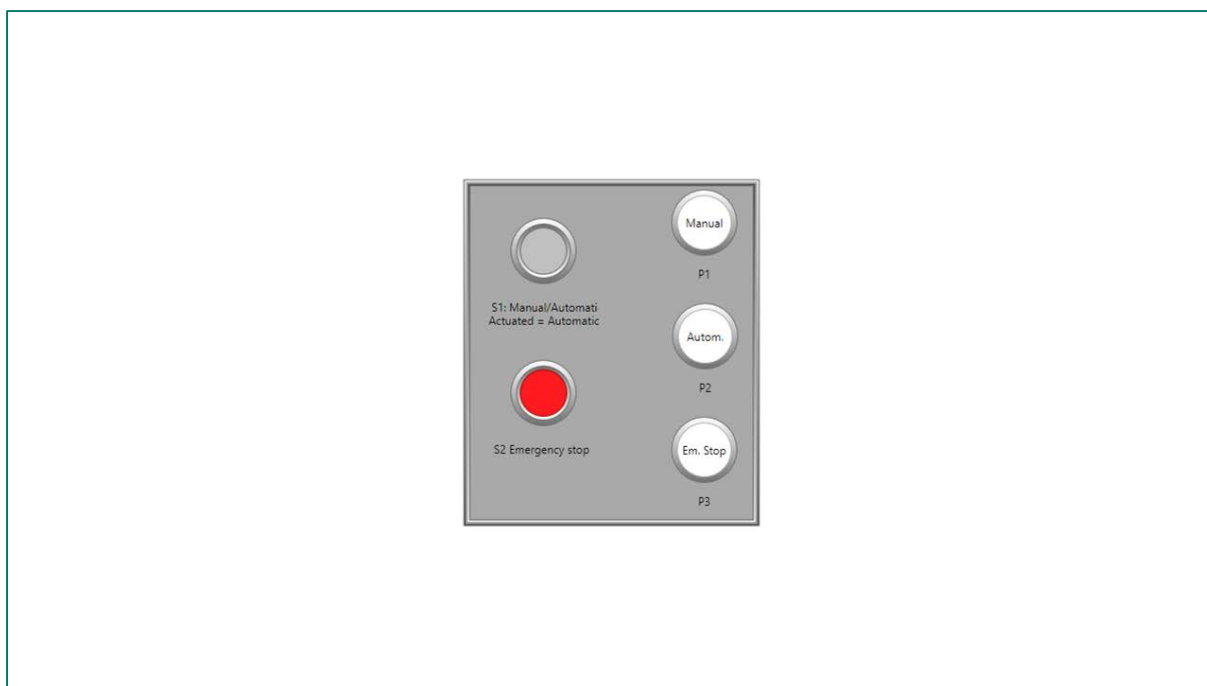


Figura 43: Conmutación de modo de funcionamiento (Switching operating mode).

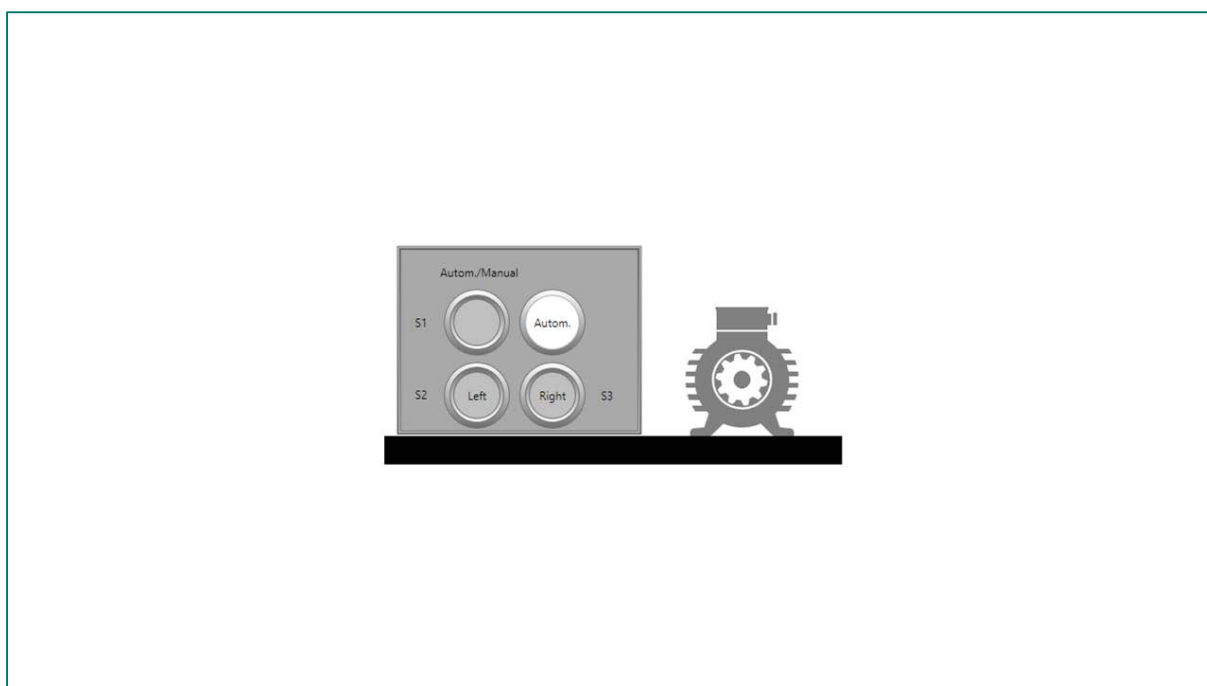


Figura 44: Cambio de dirección de rotación (Switching rotate direction).

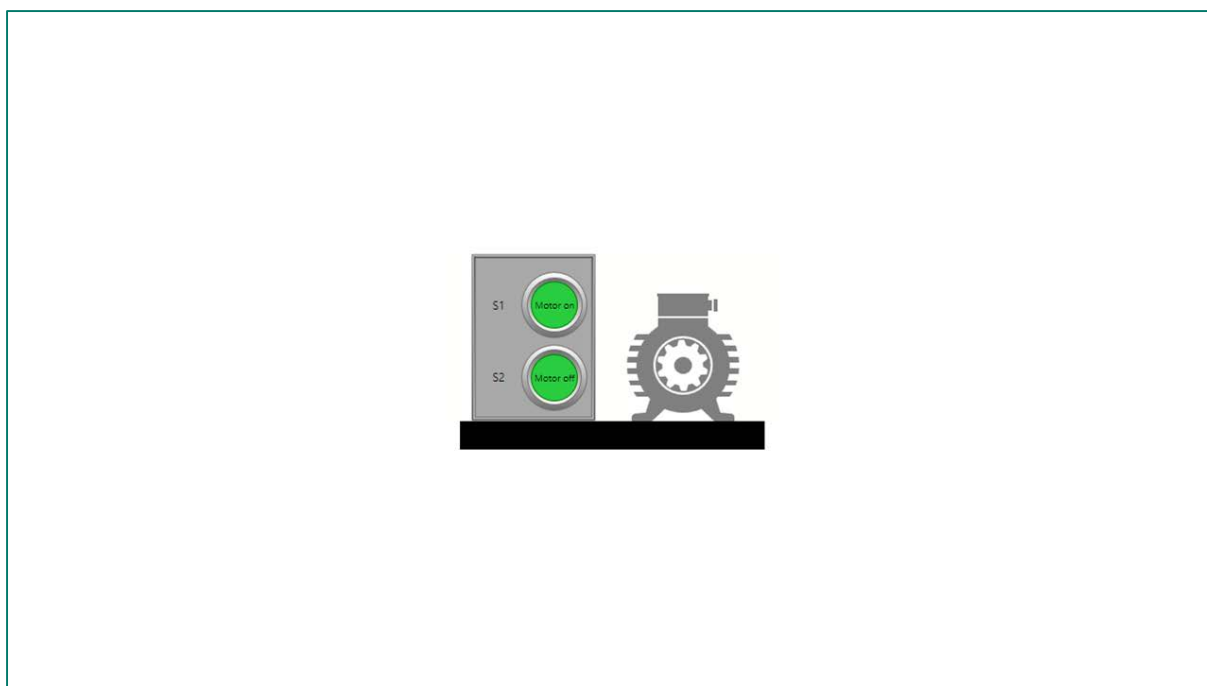


Figura 45: Encendido y apagado de un motor (Switch motor).

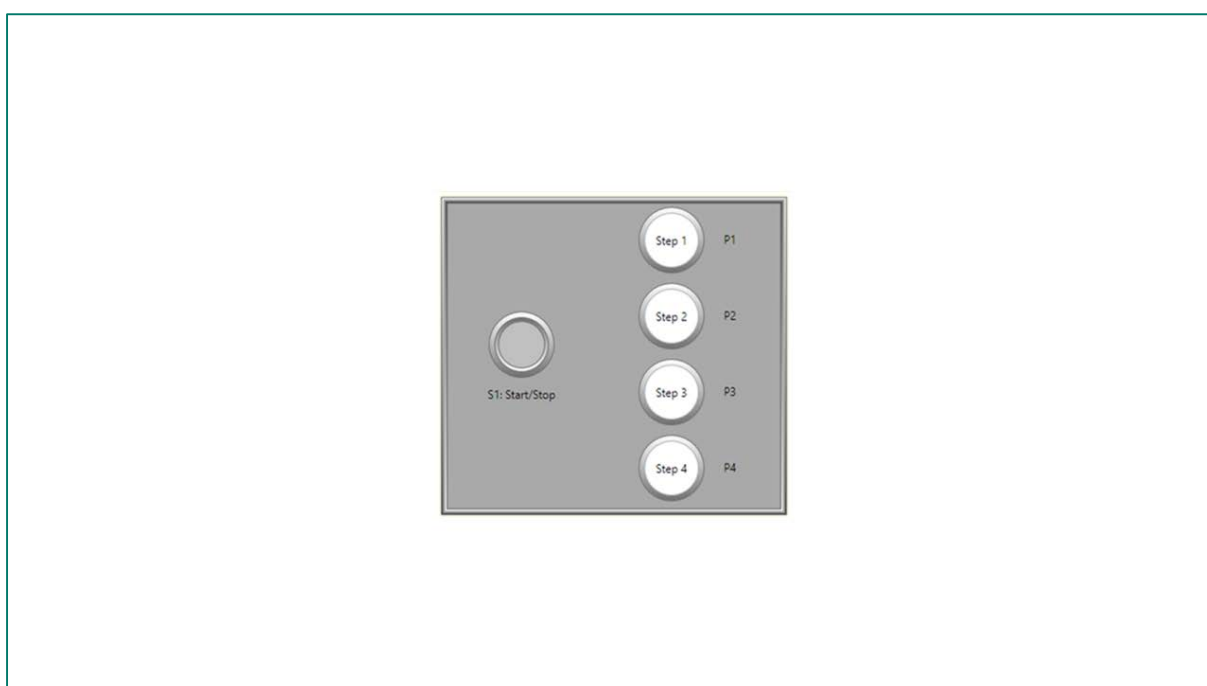


Figura 46: Transiciones controladas por tiempo (Time controlled steps).

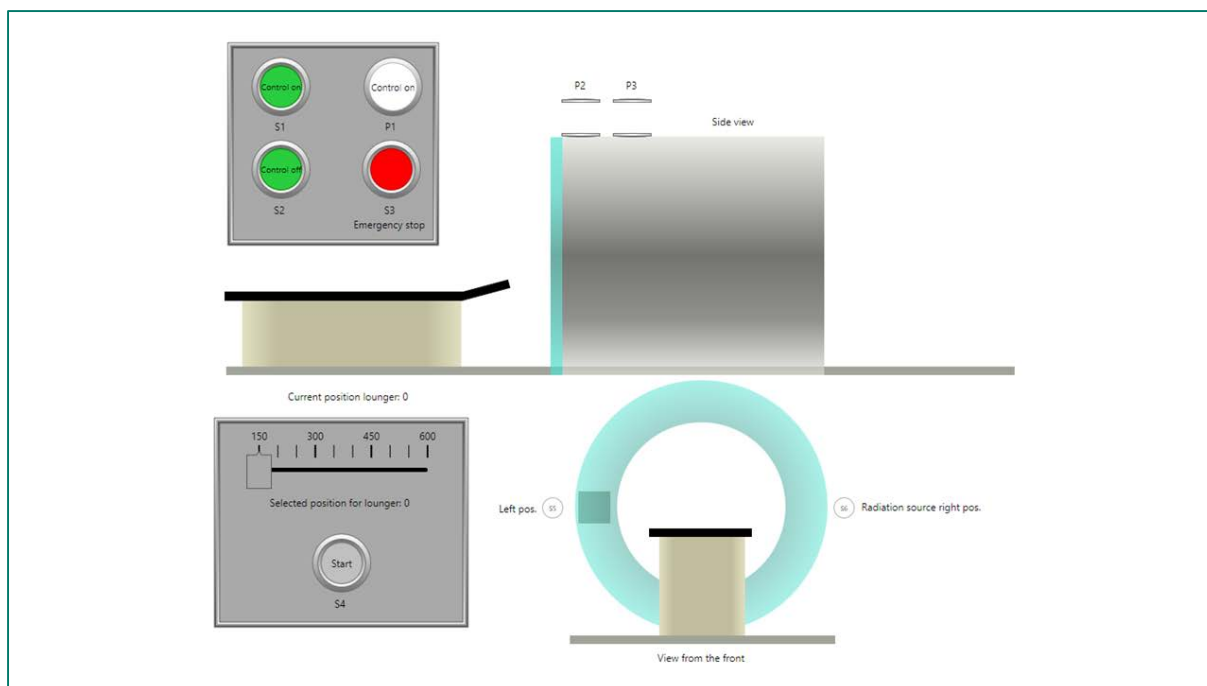


Figura 47: Tomógrafo (Tomograph).

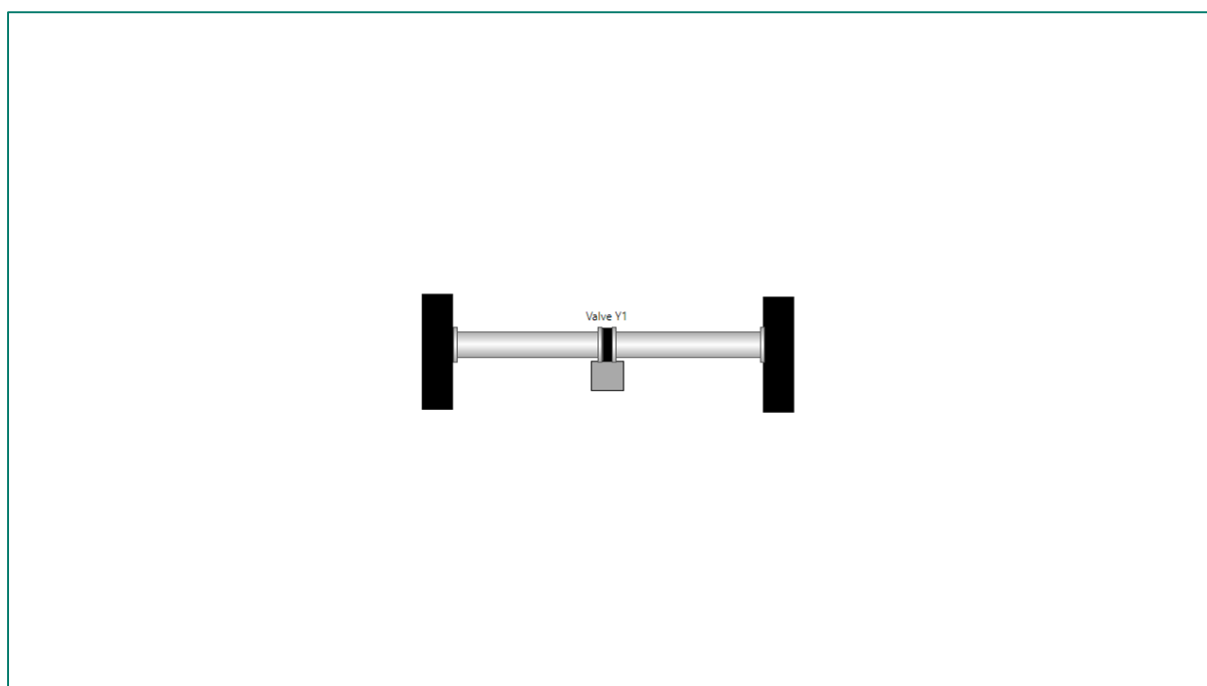


Figura 48: Válvula (Valve pulsed mode).

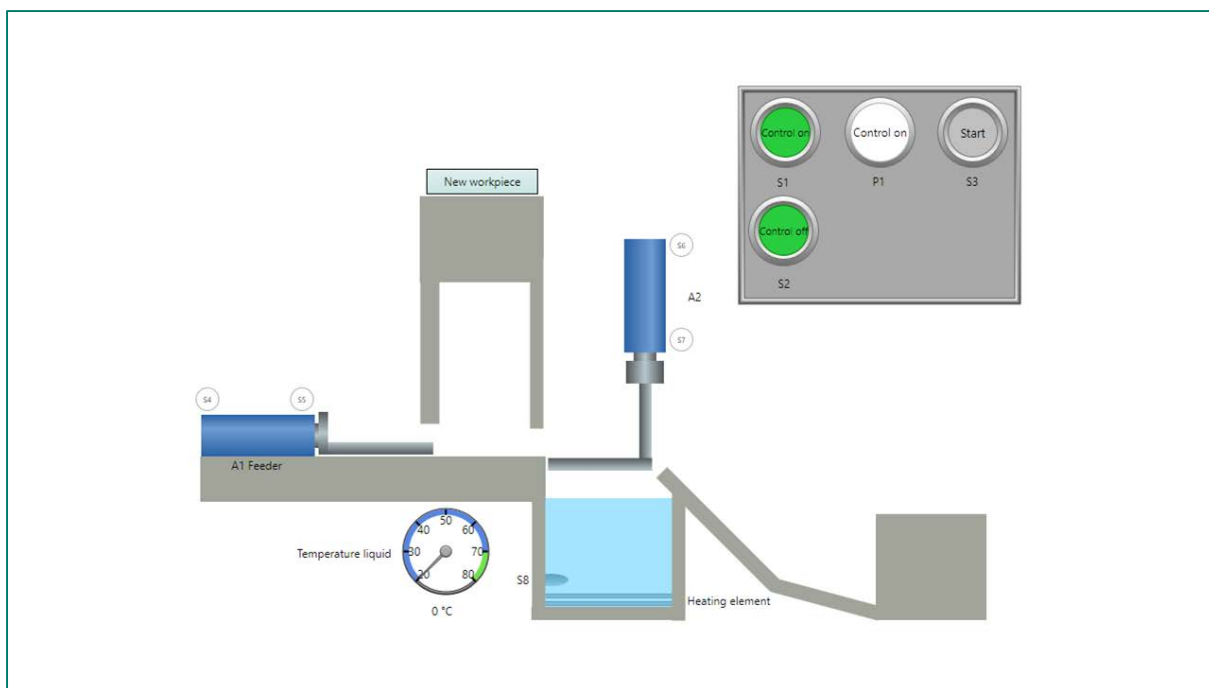


Figura 49: Baño de limpieza (Workpiece cleaner).

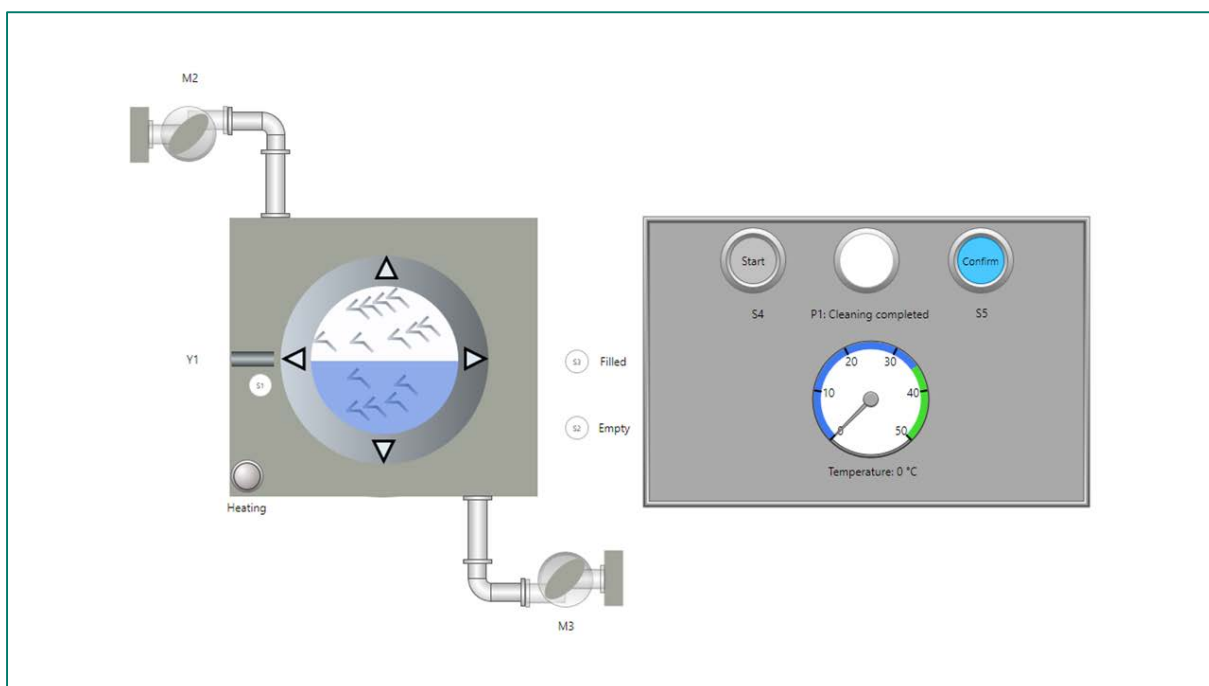


Figura 50: Lavadora (Workpiece washing machine).

ANEXO II: Maqueta de la cinta transportadora

Anexo II: Maqueta de la cinta transportadora

Para llevar a cabo el ejercicio de la cinta transportadora se utilizó una maqueta realizada mediante impresión 3D, cuyo modelo CAD se muestra en la Figura 51.

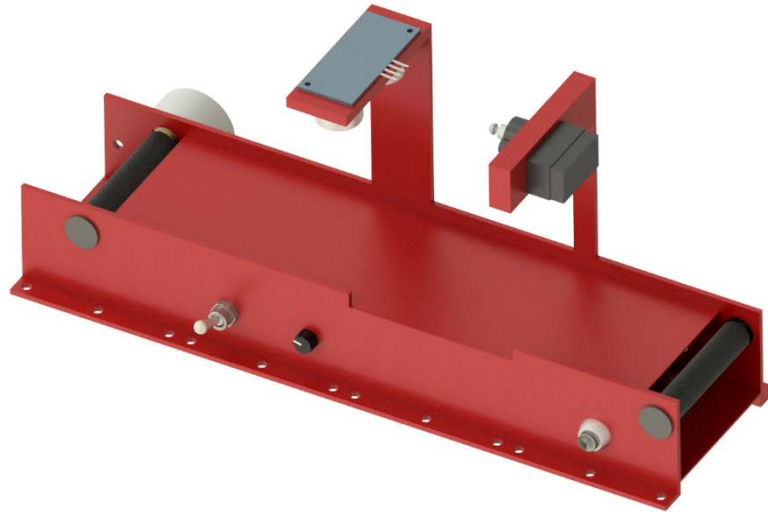


Figura 51: Ensamblaje de la cinta transportadora.

La cinta transportadora contaba con piezas diseñadas mediante un software CAD y fabricadas utilizando una impresora 3D, así como distintos componentes electrónicos necesarios para hacer funcionar el sistema.

Primero se diseñaron las piezas utilizando el programa Autodesk Inventor Professional 2020. Las mismas se describen a continuación:

- Pieza inicial (ver Figura 52): Primera pieza del montaje, su función es servir de soporte tanto al cilindro sobre el que rueda la cinta como al motor paso a paso que produce el movimiento de esta.



Figura 52: Pieza inicial.

- Estación de evaluación (ver Figura 53): segunda pieza del montaje, sujeta el sensor de ultrasonidos que medirá y evaluará la altura de las piezas que avancen por la cinta.

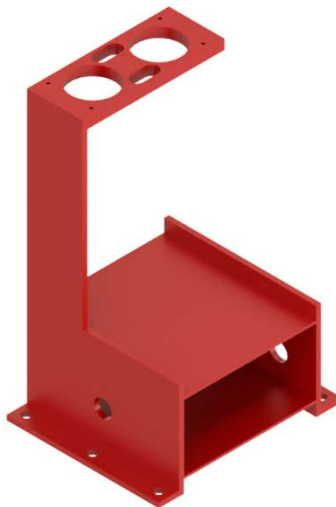


Figura 53: Estación de evaluación.

- Estación de rechazo (ver Figura 54): tercera pieza del montaje, en ella se encuentra una pala acoplada a un servomotor que, en caso de que la pieza haya sido evaluada como no válida, la expulsará de la cinta.

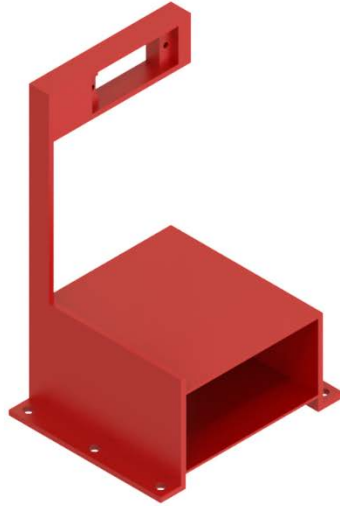


Figura 54: Estación de rechazo.

- Pieza final (ver Figura 55): última pieza del montaje, actúa como fin de línea, de modo que llegan hasta ella las piezas que hayan resultado válidas en la estación de evaluación. Además, sirve de soporte del segundo cilindro sobre el que gira la cinta.



Figura 55: Pieza final.

- Rodillos (ver Figura 56): dos cilindros que transforman el movimiento giratorio del motor en movimiento de traslación de la cinta. El primer rodillo, localizado en la pieza inicial, hace de cilindro motriz (se acopla al motor y proporciona movimiento); el segundo rodillo, situado en la pieza final, hace de cilindro auxiliar (tensa la cinta y permite el movimiento de esta).



Figura 56: Rodillo motriz (izq.) y rodillo auxiliar (der.).

- Pala (ver Figura 57): acoplada al servomotor, está diseñada para expulsar las piezas que sean rechazadas.

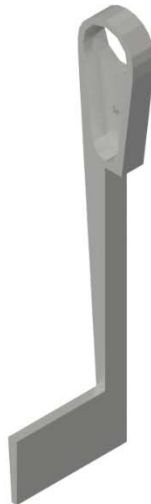


Figura 57: Pala.

Posteriormente se fabricaron las piezas diseñadas utilizando una impresora 3D, modelo P3 Steel, como se muestra en la Figura 58. El material utilizado fue PLA.



Figura 58: Impresora 3D utilizada para fabricar las piezas.

Además de las piezas fabricadas mediante impresión 3D, la maqueta también cuenta con los siguientes componentes electrónicos:

- Interruptor SPDT (ver Figura 59): enciende o apaga el sistema. Se conecta al PLC.



Figura 59: Interruptor.

- Pulsador (ver Figura 60): botón, normalmente abierto, para realizar la parada de emergencia. Se conecta al PLC.



Figura 60: Pulsador.

- LED (ver Figura 61): señal luminosa utilizada para indicar que se ha detectado una pieza no válida. Se conecta al PLC.



Figura 61: LED.

- Sensor de ultrasonidos (ver Figura 62): mide la altura de las piezas cuando estas llegan a la estación de evaluación. Se conecta a la placa Arduino UNO.



Figura 62: Sensor de ultrasonidos.

- Motor de pasos o stepper (ver Figura 63): mueve la cinta transportadora. Se conecta a la placa Arduino UNO.

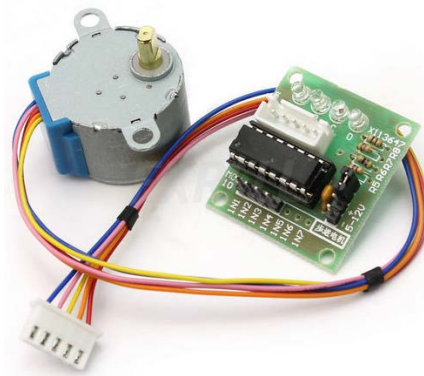


Figura 63: Motor de pasos.

- Servomotor (ver Figura 64): se le acopla una pala y su función es expulsar de la cinta las piezas rechazadas. Se conecta a la placa Arduino UNO.



Figura 64: Servomotor.

- Placa Arduino UNO (ver Figura 65): Se utiliza como interfaz entre las salidas del PLC y los actuadores y sensores de la cinta transportadora. Cuando recibe la señal (true o false) del PLC en dos de sus entradas, se encarga de generar las señales adecuadas para el motor paso a paso y el servomotor. Por otra parte, está continuamente calculando la distancia mediante el sensor de ultrasonidos y envía su valor en forma de tensión analógica para que sea recibido por el PLC.



Figura 65: Placa Arduino UNO.

Impresas las piezas y conectados los componentes electrónicos, el ensamblaje del conjunto da como resultado la maqueta de la Figura 66 y la Figura 67.

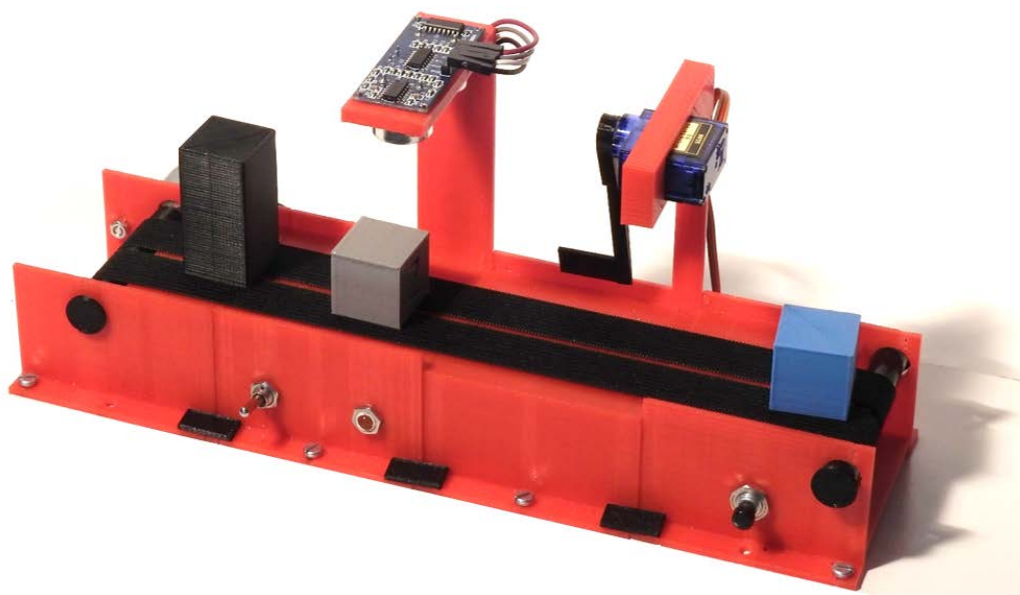


Figura 66: Maqueta de la cinta transportadora.

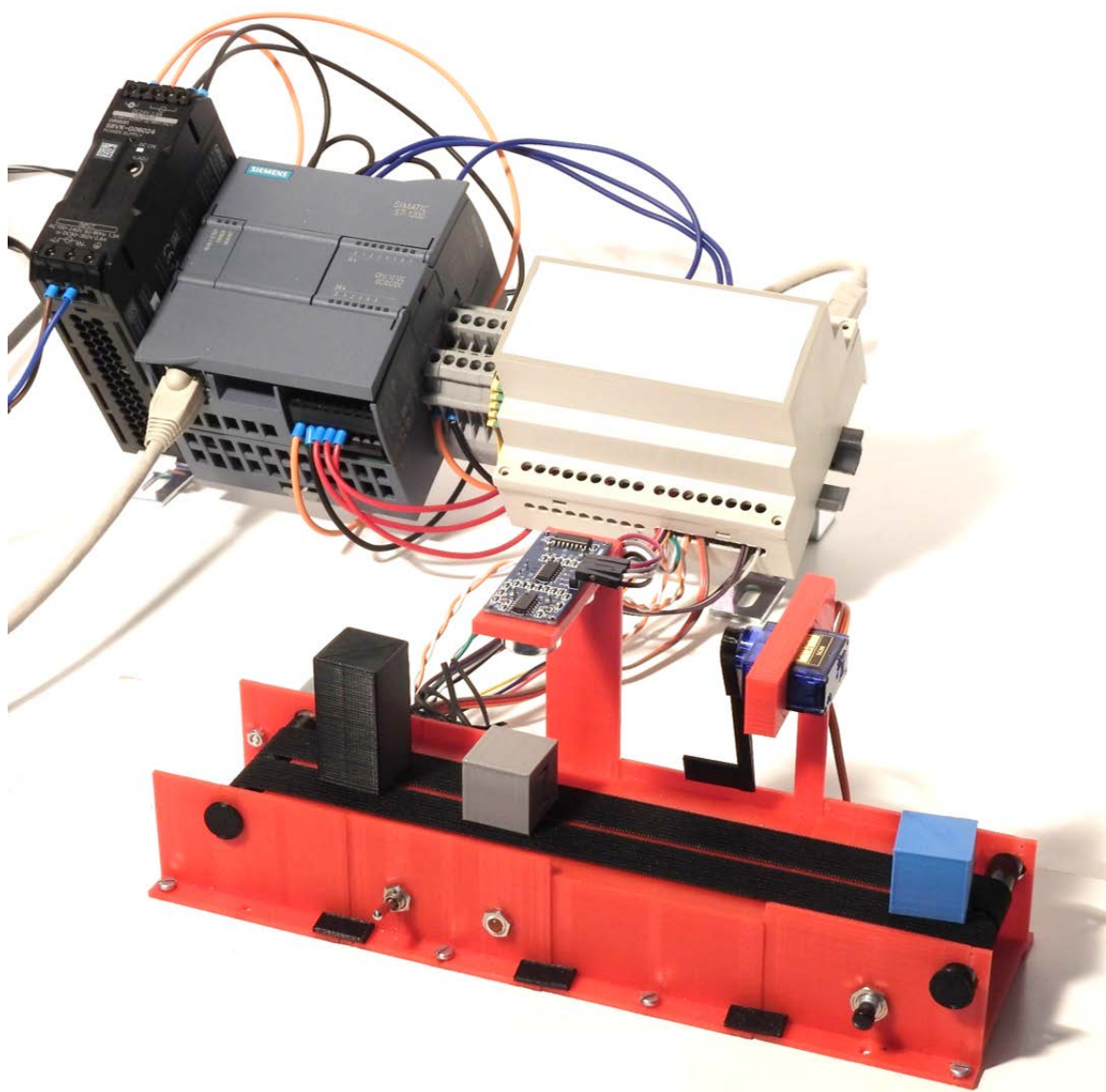


Figura 67: Maqueta de la cinta transportadora cableada al PLC.