

***Informe de gestión de una planta de fabricación de vidrio templado para  
ventanas***

Juan Sebastián Vargas Borda, Laura Valentina Rincón Galeano

*Ingeniero: Milton Higinio Jiménez Moreno*

Universidad Militar Nueva Granada

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Mecatrónica

Automatización Industrial

Cajicá, Cundinamarca

2024

## Resumen

El proyecto de automatización aborda la gestión de una planta de fabricación de vidrio templado para ventanas, utilizando diferentes tecnologías de Siemens.

Primero, se empleará el software TIA Portal, que es un entorno de ingeniería integrado para configurar, programar y poner en marcha diversos dispositivos de control de Siemens. En este caso, se utilizará para programar el PLC S7-1500, que será el cerebro del sistema de control.

Además, se implementará un sistema HMI (Interfaz Humano-Máquina) utilizando WinCC, otro software de Siemens. Esto permitirá una visualización gráfica del proceso de fabricación, facilitando el monitoreo y control por parte de los operadores.

Para el control preciso de la velocidad de los motores involucrados en el proceso de fabricación, se integrará un variador de frecuencia Siemens. Este dispositivo permitirá ajustar la velocidad de giro de los motores de manera eficiente y precisa, optimizando el proceso productivo.

La integración de estos componentes permitirá automatizar y controlar de manera eficiente la planta de fabricación de vidrio templado. Los operadores podrán monitorear y controlar el proceso a través de la interfaz HMI, mientras que el PLC y el variador de frecuencia se encargarán de ejecutar las acciones de control necesarias.

Esta solución de automatización brindará beneficios como mayor eficiencia productiva, reducción de tiempos de parada, mejora en la calidad del producto final y una gestión más precisa de los recursos. Además, al utilizar tecnologías de Siemens, se garantiza una integración sólida y confiable entre los diferentes componentes del sistema.

## Tabla de Contenidos

Resumen.....	2
Tabla de Contenidos .....	3
Lista de figuras.....	6
Capítulo 1. Introducción .....	7
Capítulo 2. Planteamiento del proyecto.....	17
Historia de la automatización industrial .....	23
Tecnología de la automatización .....	24
Beneficios de la automatización .....	26
Desafíos de la automatización.....	27
Impacto socioeconómico de la automatización .....	28
Posibles tendencias futuras.....	30
Aspectos ambientales que considerar .....	31
Entornos programables que considerar.....	32
Control lógico programable.....	34
Lenguajes de programación .....	35
KOP .....	35
FUP.....	36
AWL .....	36

SCL .....	37
GRAFCET .....	38
Constitución política de Colombia.....	42
Ley 23 de 1982 .....	42
Artículo 1 .....	42
Artículo 2 .....	42
Artículo 3 .....	43
Decreto 1412 de 2017 .....	43
Artículo 1 .....	43
Titulo 16: reglamentación de los numerales 23 y 25 del artículo 476 del estatuto tributario.....	43
Artículo .....	43
Artículo .....	43
Diagrama de Gantt .....	69
Diagrama de flujo.....	70
Capítulo 3. Desarrollo.....	71
Elementos 3D .....	71
Especificaciones de elementos .....	73
Grafcets .....	77

Diagrama PI&D.....	79
Caracterización del sistema y diseño del controlador.....	80
Capítulo 4. Resultados obtenidos .....	84
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones .....	95
Anexos .....	98
Lista de referencias.....	116

## Lista de figuras

Ilustración 1 Controlador Lógico Programable (PLC) .....	18
Ilustración 2 Interfaz Humano-Máquina (HMI).....	18
Ilustración 3 Variadores de Frecuencia .....	19
Ilustración 4 Normativas NTC para fabricación de vidrio.....	42
Ilustración 5 Casa de la calidad .....	50
Ilustración 6 Lideres del Mercado de vidrio templado .....	52
Ilustración 7 Mercado del vidrio templado a nivel mundial .....	54
Ilustración 8 Diagrama de Gantt. Distribución y asignación de tareas. Autoría propia realizado en Excel ® .....	69
Ilustración 9 Diagrama P&ID .....	79

## Capítulo 1. Introducción

El proyecto de automatización de la planta de fabricación de vidrio templado para ventanas representa un desafío emocionante en el que se integrarán diversas tecnologías de vanguardia de Siemens. El objetivo principal es optimizar y controlar de manera eficiente todas las etapas del proceso productivo, desde la recepción de materias primas hasta el empaquetado final.

El núcleo del sistema será el PLC S7-1500, que actuará como el cerebro del control y automatización. Este potente controlador lógico programable se encargará de ejecutar la lógica de control y tomar decisiones en tiempo real basadas en las señales recibidas de los diversos sensores y dispositivos de entrada/salida (E/S) distribuidos en toda la planta.

Para facilitar la interacción humano-máquina, se implementará un sistema HMI utilizando el software WinCC de Siemens. Esta interfaz gráfica permitirá a los operadores monitorear y controlar de manera intuitiva cada etapa del proceso, visualizando en tiempo real los estados, alarmas y parámetros clave.

Además, para garantizar un control preciso de la velocidad de las bandas transportadoras y otros motores involucrados, se integrará un variador de frecuencia Siemens. Este dispositivo permitirá ajustar la velocidad de manera eficiente y precisa, optimizando el flujo de materiales y adaptándose a las diferentes etapas del proceso.

El proceso de fabricación del vidrio templado se dividirá en seis etapas principales:

1. Recepción de materiales y alimentación de la banda transportadora.
2. Fundición y control de temperatura de la mezcla.

3. Moldeo del vidrio fundido.
4. Templado y enfriamiento controlado.
5. Corte según las recetas establecidas.
6. Empaquetado final del producto.

En cada etapa, se utilizarán sensores estratégicamente ubicados para monitorear variables críticas como presencia de material, temperatura, estado de moldeo, entre otros. Estos sensores enviarán señales al PLC, el cual ejecutará las acciones de control correspondientes, como activar alarmas, ajustar velocidades, iniciar temporizadores y secuencias de operación.

La integración sinérgica de todas estas tecnologías de Siemens permitirá una gestión eficiente y precisa de la planta de fabricación de vidrio templado, asegurando una alta calidad del producto final, minimizando los tiempos de parada y optimizando el uso de recursos.

### **Objetivos.**

Lograr una automatización completa del proceso de fabricación de vidrio templado a nivel de simulación, desde la recepción de materias primas hasta el empaquetado final, mediante la implementación de un sistema de control integrado utilizando el PLC S7-1500 de Siemens.



## Objetivos específicos

- **Gestionar Señales Digitales y Analógicas:** Identificar y gestionar de manera adecuada las señales digitales y analógicas de entrada y salida (E/S) en cada etapa del proceso de fabricación. Esto incluye la integración y configuración de sensores de presencia, sensores de temperatura, y sensores específicos para las fases de moldeo y templado. Un manejo preciso de estas señales es fundamental para asegurar el correcto monitoreo y control de cada fase del proceso.
- **Integrar Equipos y Controladores:** Implementar un variador de frecuencia Siemens para controlar de manera eficiente la velocidad de las bandas transportadoras y otros motores involucrados en el proceso de fabricación. Además, utilizar un servo para controlar con precisión el movimiento de mecanismos críticos, como el sistema de corte o la aplicación de tratamientos especiales al vidrio. Esta integración garantizará la sincronización y eficiencia operativa en todas las etapas del proceso.
- **Desarrollar un Sistema de Alarmas:** Crear e implementar un sistema de alarmas robusto que permita detectar y notificar oportunamente al operador sobre cualquier condición anormal o fuera de rango en el proceso de fabricación. Este sistema incluirá al menos ocho alarmas diferentes para monitorear situaciones como temperatura excesiva, tiempos de proceso excedidos y fallos en el transporte, asegurando una respuesta rápida y efectiva ante cualquier eventualidad.

- **Configurar Recetas del Proceso:** Desarrollar y gestionar dos recetas distintas para el proceso de corte y empaquetado final del vidrio templado, permitiendo al operador seleccionar entre dos tamaños o presentaciones del producto. La configuración de estas recetas proporcionará flexibilidad en la producción y optimizará los recursos, garantizando la consistencia y calidad del producto final.
- **Asegurar una Integración Robusta:** Garantizar una integración sólida y confiable entre todos los componentes del sistema, incluyendo el PLC, el HMI, el variador de frecuencia, los servos y los diversos sensores y dispositivos de E/S. Esta integración asegurará un funcionamiento óptimo y eficiente en la producción, minimizando el riesgo de fallos y asegurando una operación continua y fiable del sistema automatizado.

### **Justificación.**

La automatización de la planta de fabricación de vidrio templado para ventanas se fundamenta en la imperiosa necesidad de optimizar y mejorar la eficiencia del proceso productivo. Esta optimización no solo tiene como objetivo mantener altos estándares de calidad, sino también reducir los costos operativos de manera significativa. En el contexto actual de competitividad industrial, la implementación de un sistema de control automatizado se presenta como una solución integral para enfrentar los desafíos de

producción y calidad. A continuación, se detallan los beneficios clave de esta automatización:

### **1. Incremento de la Productividad**

Uno de los principales beneficios de automatizar la planta es el incremento significativo de la productividad. La automatización minimiza los tiempos de parada del sistema, asegurando un flujo continuo y eficiente del proceso productivo. En una planta automatizada, las máquinas y los sistemas están diseñados para trabajar en sincronía, lo que reduce las interrupciones y optimiza el tiempo de operación. Este aumento en la eficiencia operativa se traduce en una mayor producción de vidrio templado en menor tiempo, lo que satisface la creciente demanda del mercado y mejora la capacidad competitiva de la planta.

### **2. Mejora de la Calidad y Consistencia del Producto Final**

La automatización permite un control preciso y constante de variables críticas como la temperatura, los tiempos de proceso y los parámetros de corte. En la fabricación de vidrio templado, estos factores son esenciales para asegurar que el producto final cumpla con los estándares de calidad requeridos. Un sistema automatizado monitorea y ajusta continuamente estos parámetros, eliminando la variabilidad asociada con el control manual. Esto resulta en un producto final de mayor calidad y consistencia, reduciendo el riesgo de defectos y mejorando la satisfacción del cliente.

### **3. Reducción del Riesgo de Errores Humanos y Aumento de la Seguridad**

La automatización de tareas repetitivas y peligrosas reduce significativamente el riesgo de errores humanos, que pueden resultar en productos defectuosos o incluso en

accidentes laborales. Las máquinas automatizadas están diseñadas para realizar tareas específicas de manera precisa y repetitiva, lo que no solo mejora la calidad del producto, sino que también protege a los trabajadores de situaciones peligrosas. Además, la implementación de sistemas de seguridad avanzados en los equipos automatizados asegura que cualquier anomalía sea detectada y corregida de manera oportuna, minimizando los riesgos asociados con el proceso productivo.

#### **4. Optimización del Uso de Recursos**

El control eficiente del consumo energético y la minimización del desperdicio de materiales son otros beneficios importantes de la automatización. Un sistema automatizado puede ajustar el consumo de energía en función de la demanda real, evitando el desperdicio y reduciendo los costos operativos. Además, el control preciso de los materiales utilizados en el proceso de fabricación asegura que se use la cantidad exacta necesaria, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia del uso de recursos. Esto no solo tiene un impacto positivo en los costos, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental de la planta.

#### **5. Facilitación del Monitoreo y Control del Proceso**

La implementación de una interfaz HMI (Human-Machine Interface) intuitiva y centralizada facilita el monitoreo y control del proceso productivo. Los operadores pueden supervisar en tiempo real todas las etapas de la producción desde una ubicación central, lo que permite una respuesta rápida a cualquier problema o ajuste necesario. La HMI proporciona datos detallados sobre el rendimiento del sistema, permitiendo la toma de decisiones informadas para optimizar el proceso y mejorar la

eficiencia. Esta capacidad de monitoreo centralizado también reduce la necesidad de intervención manual, liberando a los operadores para que se concentren en tareas más estratégicas.

## **6. Aumento de la Flexibilidad**

La automatización también ofrece una mayor flexibilidad en la producción, permitiendo cambios rápidos entre diferentes recetas y presentaciones de producto. En una planta automatizada, los ajustes en los parámetros de producción pueden realizarse de manera rápida y eficiente a través de la HMI, sin necesidad de realizar cambios físicos en los equipos. Esta flexibilidad es crucial en un mercado donde las demandas pueden cambiar rápidamente y la capacidad de adaptarse a estas demandas puede significar una ventaja competitiva significativa. La capacidad de cambiar entre diferentes tipos de vidrio o ajustar el proceso para nuevas especificaciones permite a la planta responder de manera ágil a las necesidades del mercado.

### **Alcance.**

El alcance del proyecto simulado es amplio y abarca diversas áreas críticas del proceso de fabricación de vidrio templado. A continuación, se detallan las principales actividades que se llevarán a cabo en esta fase:

1. **Programación del PLC S7-1500:** La programación del PLC S7-1500 de Siemens es fundamental para controlar todas las etapas del proceso de fabricación de vidrio templado. Este controlador lógico programable (PLC) se

encargará de gestionar las operaciones automatizadas, asegurando una coordinación precisa y eficiente entre las diferentes máquinas y sistemas involucrados. La programación incluirá el desarrollo de secuencias de operación, control de tiempos y sincronización de tareas, garantizando un flujo continuo y ordenado del proceso productivo.

2. **Configuración del Variador de Frecuencia y del Servo:** La configuración del variador de frecuencia y del servo es esencial para el control de velocidad y movimientos precisos de los equipos. El variador de frecuencia permitirá ajustar la velocidad de los motores eléctricos según las necesidades del proceso, optimizando el consumo energético y mejorando la eficiencia operativa. Por su parte, el servo controlará movimientos específicos y precisos, fundamentales en etapas críticas como el corte del vidrio. Esta configuración garantizará que los movimientos sean suaves y exactos, reduciendo el riesgo de errores y defectos en el producto final.
3. **Desarrollo del Sistema de Alarmas:** El desarrollo de un sistema de alarmas eficiente es crucial para detectar y notificar condiciones anormales en el proceso de fabricación. Este sistema incluirá sensores y dispositivos de monitoreo que alertarán sobre posibles fallos o situaciones de riesgo, permitiendo una respuesta rápida y efectiva por parte de los operadores. Las alarmas estarán integradas en el PLC y la HMI, asegurando una comunicación clara y oportuna de cualquier problema que pueda surgir durante la producción.

4. **Diseño e Implementación de la Interfaz HMI utilizando WinCC:** La interfaz HMI (Human-Machine Interface) es una herramienta esencial para el monitoreo y control del proceso de fabricación. Utilizando WinCC, se diseñará una HMI intuitiva y centralizada que permitirá a los operadores supervisar en tiempo real todas las etapas del proceso, ajustar parámetros y responder a las alarmas. La HMI facilitará la interacción con el sistema de control, proporcionando una visión clara y detallada del rendimiento y el estado de la planta.
5. **Simulación del Funcionamiento del Sistema Completo:** La simulación del funcionamiento del sistema completo incluirá la gestión de señales de entrada/salida, control de temperatura, secuencias de operación y cambios entre recetas. Este paso es crucial para validar que todos los componentes y sistemas funcionen correctamente y de manera integrada. La simulación permitirá identificar y corregir posibles fallos o ineficiencias antes de la implementación real, asegurando un desempeño óptimo del sistema de control.

### **Escalabilidad y Adaptabilidad para Implementación Real**

Aunque se trata de una simulación, el diseño se realizará de manera que pueda ser fácilmente escalable y adaptable para su futura implementación en una planta de fabricación real. Para lograr esto, se considerarán varios aspectos clave:

### **1. Utilización de Componentes y Tecnologías Compatibles:**

Se utilizarán componentes y tecnologías de Siemens compatibles con entornos industriales reales. Esto garantizará que el sistema de control simulado pueda ser replicado con facilidad en una planta de producción, utilizando equipos y dispositivos estándar que cumplan con los requisitos de durabilidad y fiabilidad necesarios para la operación industrial.

### **2. Consideración de Requisitos y Limitaciones Físicas:**

En el diseño del sistema de control, se tendrán en cuenta los requisitos y limitaciones físicas de los dispositivos y sensores en un entorno de producción real. Esto incluye factores como el espacio disponible, las condiciones ambientales y las especificaciones técnicas de los equipos. Al considerar estos aspectos, se asegurará que el sistema diseñado en la simulación sea práctico y viable en la implementación real.

### **3. Diseño de una Arquitectura de Control Modular y Escalable:**

Se diseñará una arquitectura de control modular y escalable, que permita su expansión o modificación en el futuro. Este enfoque modular facilitará la integración de nuevas tecnologías o la adaptación del sistema a cambios en el proceso de producción, asegurando que la planta pueda evolucionar y mejorar con el tiempo sin necesidad de una reestructuración completa del sistema de control.



#### **4. Documentación Adecuada del Diseño y la Lógica de Control:**

La documentación detallada del diseño y la lógica de control será una parte integral del proyecto. Esta documentación incluirá diagramas de flujo, esquemas eléctricos, códigos de programación y manuales de operación. Una documentación completa y precisa facilitará la futura implementación, el mantenimiento y la resolución de problemas, asegurando que el conocimiento adquirido durante la fase de simulación se transfiera de manera efectiva a la planta de producción real.

## **Capítulo 2. Planteamiento del proyecto.**

### **Marco teórico**

#### Introducción a la Automatización Industrial

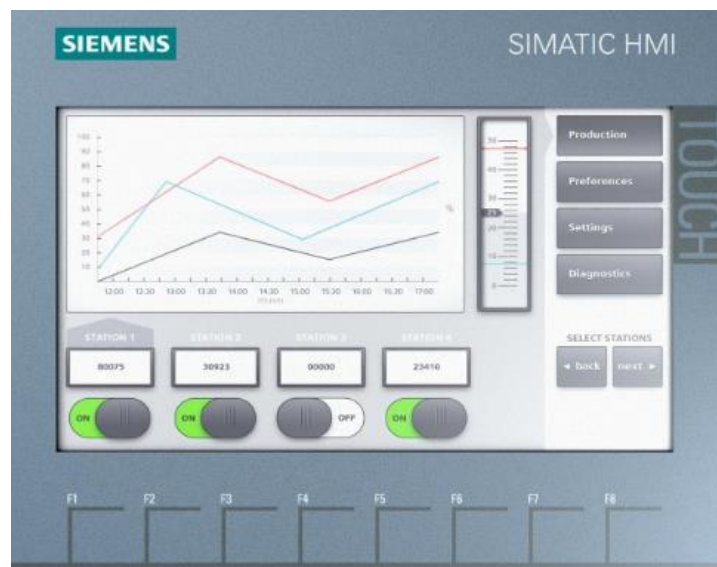
La automatización industrial consiste en la implementación de sistemas y tecnologías que permiten controlar y monitorear procesos de producción de manera automática, minimizando la intervención humana. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, calidad y seguridad en las operaciones industriales, optimizando así los recursos y reduciendo los errores humanos.

#### Componentes de un Sistema de Automatización



*Ilustración 1 Controlador Lógico Programable (PLC)*

Un PLC es un dispositivo digital utilizado para automatizar procesos industriales. En este proyecto, se utilizará el PLC S7-1500 de Siemens, que actuará como el cerebro del sistema de control.



*Ilustración 2 Interfaz Humano-Máquina (HMI)*

Una HMI es una interfaz gráfica que permite la interacción entre los operadores y los sistemas de control. En este caso, se empleará el software WinCC de Siemens para diseñar una HMI intuitiva y eficiente.

### Sensores y Dispositivos de Entrada/Salida (E/S)

Los sensores y dispositivos de E/S son componentes esenciales para la adquisición de datos y la ejecución de acciones de control. En este proyecto, se utilizarán sensores de presencia, temperatura, estado de moldeo, entre otros.



*Ilustración 3 Variadores de Frecuencia*

Los variadores de frecuencia permiten el control preciso de la velocidad de motores eléctricos. En este proyecto, se integrará un variador de frecuencia Siemens para controlar la velocidad de las bandas transportadoras y otros motores.

## Servomotores

Los servomotores son motores de alta precisión utilizados para controlar movimientos específicos. En este proyecto, se implementará un servo para movimientos críticos, como el corte del vidrio templado.

## Etapas del Proceso de Fabricación de Vidrio Templado

1. Recepción de materiales y alimentación de la banda transportadora.
2. Fundición y control de temperatura de la mezcla.
3. Moldeo del vidrio fundido.
4. Templado y enfriamiento controlado.
5. Corte según recetas establecidas.
6. Empaquetado final del producto.

## Gestión de Alarmas y Recetas

El sistema de control deberá incluir un módulo de gestión de alarmas para detectar y notificar condiciones anormales en el proceso, así como un módulo de gestión de recetas para cambiar entre diferentes presentaciones del producto final.

## Simulación y Pruebas

Antes de la implementación real, el proyecto se realizará de manera simulada utilizando el software TIA Portal de Siemens. Esto permitirá probar y validar el diseño del sistema de control de manera segura y eficiente.

## Escalabilidad y Documentación

El diseño del sistema de automatización deberá ser escalable y adaptable para facilitar su futura implementación en una planta de fabricación real. Además, se documentará adecuadamente para garantizar la trazabilidad y mantenibilidad del sistema.

## Estado del arte

El vidrio templado ha sido uno de los materiales industriales que ha venido ascendiendo en su venta y uso, debido a sus características que adquiere después de los procesos térmicos al que es sometido, considerándolo como vidrio de seguridad.

(Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2017). Sin embargo, su fabricación debe estar condicionada a una planta que implique tecnologías avanzadas, uso de materiales de alta calidad, automatización de procesos y métodos sostenibles.

Dentro de sus propiedades se destaca su alta resistencia a los impactos, cambios drásticos de temperatura y resistente a la flexión y a la compresión, por lo que es ideal para usos estructurales. Esta situación lo explica Peralta, (2015) quien afirma “La resistencia a la flexión del vidrio recocido al templarlo aumenta desde 400 kp/cm<sup>2</sup> hasta 1.200–2.000 kp/cm<sup>2</sup>, lo que equivale de 4 a 5 veces la resistencia de un vidrio normal.

La resistencia al choque térmico pasa de 60 °C a 240 °C”.

El proceso de fabricación se divide en dos etapas, una de preparación y el otro es el tratamiento térmico. Durante la primera se lleva a cabo un proceso de modificación del vidrio crudo, el cual incluye la etapa de corte que son realizados a través de una rueda de diamante; Continúa con el acabado o pulido proceso mediante el cual se le quita el filo al borde de las piezas anteriormente cortadas y el biselado para dar un acabado mas brillante. (Acuta, 2017).

La etapa de tratamiento térmico consiste básicamente en calentar despacio a temperaturas próximas a 900 grados centígrados en un horno y enfriar bruscamente, generalmente mediante una corriente de aire a presión (Sandin, 2015). Por tanto, el control sobre la temperatura será un factor altamente determinante para evitar la cristalización o desvitrificación del vidrio.

Hay empresas como “COLVIT LTDA” que usan hornos eléctricos, funcionan con resistencias, ubicadas de manera paralelas a ambos lados del horno, así como hornos horizontales con rodillos de silicio que les permite tener el control de variables como la velocidad y grosor. En este caso, la uniformidad se hace relevante en el proceso de enfriado ya que, se corre el riesgo de que una de las caras se enfríe más rápido que las otras y genere entonces, una curvatura. (Sandin, O. 2015).

Por último, las superficies del vidrio ya solidificadas son forzadas a contraerse en consecuencia de esfuerzos superficiales de compresión, en tanto que el interior desarrolla esfuerzos de tensión. (Sandin, O. 2015).

## Historia de la automatización industrial

La automatización tuvo sus raíces durante la Revolución Industrial en el siglo XVIII. En ese momento, la mecanización comenzó a reemplazar el trabajo manual en las fábricas. Inventos como el telar mecánico de Edmund Cartwright y la máquina de vapor de James Watt sentaron las bases para la automatización de la producción en masa.

Además, la historia de la automatización industrial se remonta aún más atrás. En el año 1801, Joseph Marie Jacquard inventó un telar automático controlado por tarjetas perforadas. Estas tarjetas creaban patrones que permitían al hilo pasar automáticamente por los ligamentos de la tela, logrando tejer dibujos complejos. Este telar redujo el trabajo de diez hombres a solo uno.

Con el tiempo, la incorporación de las computadoras en la década de 1960 permitió manejar y simplificar diversas tareas. Las computadoras tomaron el control de labores simples, repetitivas y especializadas, marcando un hito importante en la automatización industrial. Hoy en día, la automatización consta de dos partes indispensables: un sistema de control para monitorear los procesos y máquinas que realizan tareas repetitivas en las industrias. [3]

En las décadas posteriores, la tecnología de control se volvió más sofisticada. Los controladores lógicos programables (PLC) se convirtieron en una parte fundamental de la automatización industrial. Estos dispositivos permitían a los ingenieros programar secuencias de operaciones y controlar máquinas y procesos de manera más eficiente.

En la década de 1970, surgieron los robots industriales. Estos brazos mecánicos programables podían realizar tareas repetitivas y peligrosas en las líneas de producción. Los robots se utilizaron en la fabricación de automóviles, electrónica y otros sectores. A medida que avanzaba la tecnología, los robots se volvieron más versátiles y colaborativos, trabajando junto a los humanos en entornos de producción.

La automatización de oficinas también se hizo prominente. Las computadoras personales y los sistemas de gestión de bases de datos permitieron automatizar tareas administrativas, como el procesamiento de datos, la contabilidad y la gestión de inventario. La automatización de procesos empresariales se convirtió en una prioridad para mejorar la eficiencia y reducir errores.

En la actualidad, la automatización inteligente está en auge. La combinación de inteligencia artificial, aprendizaje automático y robótica avanzada ha llevado a la creación de sistemas autónomos capaces de tomar decisiones y adaptarse a situaciones cambiantes. Ejemplos incluyen vehículos autónomos, asistentes virtuales y fábricas inteligentes. [3]

### **Tecnología de la automatización**

La tecnología de la automatización es un campo diverso y en constante evolución que abarca una amplia gama de herramientas y sistemas diseñados para mejorar la eficiencia y la productividad en diversos sectores industriales. Desde los sensores que detectan cambios en el entorno hasta los sistemas de control que regulan el funcionamiento de maquinaria compleja, la automatización se ha convertido en un pilar fundamental en la optimización de procesos.



En el corazón de la tecnología de la automatización se encuentran los controladores lógicos programables, dispositivos capaces de ejecutar instrucciones predefinidas por un usuario para controlar y supervisar el funcionamiento de equipos y maquinaria. Estos controladores permiten la automatización de tareas repetitivas y rutinarias sin necesidad de un monitoreo constante, liberando a los trabajadores humanos para que se centren en actividades de mayor valor añadido. [4]

Además de los controladores programables, la tecnología de la automatización incluye una amplia variedad de dispositivos y sistemas especializados. Los sensores, por ejemplo, son fundamentales para recopilar datos sobre el entorno y el estado de los equipos, mientras que los actuadores son responsables de ejecutar acciones físicas en respuesta a las señales de los controladores.

La robótica es otro componente importante de la tecnología de la automatización, con robots industriales capaces de realizar una amplia gama de tareas, desde el ensamblaje de productos hasta la manipulación de materiales pesados. Estos robots son especialmente útiles en entornos peligrosos o en condiciones donde se requiere una precisión milimétrica.

Además de estos componentes físicos, la tecnología de la automatización también incluye una variedad de software y sistemas de control que permiten la programación y supervisión de los procesos automatizados. Estos sistemas pueden variar desde simples programas de control hasta complejas soluciones de software basadas en la nube que permiten la monitorización remota y la optimización en tiempo real de los procesos industriales. [4]

## **Beneficios de la automatización**

La automatización ofrece una serie de beneficios significativos que impactan positivamente en la eficiencia, la calidad, la seguridad laboral y la competitividad de las empresas.

En primer lugar, al optimizar los procesos y eliminar tareas repetitivas las cuales eran elaboradas por humanos, aumenta la eficiencia operativa y reduce los tiempos de producción, lo que resulta en una mayor productividad y rentabilidad para las empresas, reduciendo así costos. Además, la automatización garantiza un alto nivel de precisión y consistencia en las operaciones, lo que conduce a una mejora en la calidad de los productos y servicios. Al eliminar los errores humanos, se reducen los desperdicios y los costos asociados con la corrección de defectos, lo que mejora la rentabilidad y la satisfacción del cliente.

La automatización también contribuye a la seguridad laboral al reducir la exposición de los trabajadores a entornos peligrosos o tareas repetitivas. Al transferir tareas peligrosas o monótonas a máquinas y robots, se minimizan los riesgos de accidentes y lesiones en el lugar de trabajo, lo que crea un entorno laboral más seguro y saludable para todos los empleados. Además de estos beneficios directos, la automatización también aumenta la competitividad de las empresas al mejorar su capacidad de respuesta al mercado y su capacidad para adaptarse a los cambios en la demanda y las condiciones del mercado. Al optimizar los procesos y reducir los costos operativos, las empresas pueden ofrecer productos y servicios de mayor calidad a

precios más competitivos, lo que les permite ganar una ventaja significativa en un mercado cada vez más globalizado y competitivo. [5]

### **Desafíos de la automatización**

La automatización, si bien ofrece una serie de beneficios notables, también presenta desafíos que deben ser abordados de manera cuidadosa y estratégica. Uno de los principales desafíos es la inversión inicial requerida para implementar sistemas automatizados. Esta inversión puede ser significativa y puede incluir la compra de equipos especializados, la actualización de infraestructuras y la capacitación del personal. Para muchas empresas, especialmente las pequeñas y medianas, el costo inicial puede ser prohibitivo y requerir una cuidadosa planificación financiera.

Otro desafío importante es la resistencia al cambio por parte de los trabajadores. La automatización puede alterar significativamente los roles y responsabilidades de los empleados, lo que puede generar preocupaciones sobre la seguridad laboral y la estabilidad del empleo. Es fundamental abordar estas preocupaciones de manera proactiva, involucrando a los trabajadores en el proceso de implementación y proporcionando capacitación y apoyo adecuados para garantizar una transición suave y exitosa hacia nuevos sistemas automatizados.

Además, la complejidad de algunos procesos industriales puede dificultar la implementación de sistemas de automatización efectivos. Los procesos altamente especializados o variables pueden requerir soluciones personalizadas y adaptadas, lo que puede aumentar la complejidad y el costo del proyecto. Es importante realizar un

análisis detallado de los procesos y requisitos específicos antes de implementar cualquier sistema de automatización para garantizar su efectividad y rentabilidad a largo plazo. [5]

Por último, pero no menos importante, está el desafío de la evolución tecnológica constante. La tecnología de la automatización está en constante cambio y evolución, con nuevas innovaciones y avances que surgen regularmente. Mantenerse al día con estas tendencias y asegurar que los sistemas automatizados sean lo suficientemente flexibles y adaptables para incorporar futuras mejoras tecnológicas es esencial para garantizar la viabilidad a largo plazo de cualquier estrategia de automatización.

### **Impacto socioeconómico de la automatización**

La automatización tiene un impacto significativo en diversos aspectos socioeconómicos, tanto a nivel local como global. Uno de los impactos más evidentes es en el empleo. Si bien la automatización puede aumentar la eficiencia y la productividad, también puede resultar en la pérdida de puestos de trabajo en ciertas industrias y ocupaciones. Esto puede generar preocupaciones sobre el desempleo y la estabilidad laboral, especialmente para aquellos cuyos trabajos son reemplazados por tecnología automatizada. Sin embargo, también puede crear nuevas oportunidades de empleo en sectores relacionados con la tecnología, como el desarrollo y mantenimiento de sistemas automatizados. [6]

Otro aspecto importante del impacto socioeconómico de la automatización es su efecto en los salarios y las condiciones laborales. Si bien la automatización puede aumentar la eficiencia y reducir los costos para las empresas, también puede ejercer presión sobre los salarios de los trabajadores al aumentar la competencia por los puestos de trabajo restantes. Además, la automatización puede cambiar la naturaleza del trabajo, con un énfasis en habilidades técnicas y cognitivas en lugar de habilidades manuales, lo que puede afectar la distribución de ingresos y la desigualdad económica.

En términos de productividad y crecimiento económico, la automatización puede tener un impacto positivo al mejorar la eficiencia y la competitividad de las empresas. Al optimizar los procesos y reducir los costos de producción, las empresas pueden aumentar su rentabilidad y reinvertir en innovación y expansión. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el impacto socioeconómico de la automatización puede variar según el contexto y la implementación específica. Factores como la regulación gubernamental, la inversión en educación y capacitación, y las políticas de redistribución de ingresos pueden influir en cómo se perciben y se manejan los efectos de la automatización en la sociedad. Por lo tanto, es fundamental abordar estos aspectos de manera integral y colaborativa para mitigar los posibles impactos negativos y maximizar los beneficios de la automatización en el desarrollo socioeconómico a largo plazo. [6]

## **Posibles tendencias futuras**

Al considerar las posibles tendencias futuras de la automatización, es importante tener en cuenta varios factores que pueden influir en la evolución de esta tecnología.

Una de las tendencias más destacadas es el avance continuo en inteligencia artificial y aprendizaje automático que están adquiriendo cada día más. Estas tecnologías están permitiendo el desarrollo de sistemas automatizados más sofisticados y adaptables, capaces de tomar decisiones en tiempo real y aprender de su entorno para mejorar su rendimiento con el tiempo. Esto podría llevar a una mayor autonomía y flexibilidad en los sistemas automatizados, abriendo nuevas posibilidades en una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales. [7]

Otra tendencia importante es la integración de la automatización en la fabricación aditiva y la impresión 3D una tecnología que se ha ido acoplando al mundo que conocemos y que cada día es más frecuente encontrarla en la industria, gracias a su precisión y flexibilidad a la hora de crear los componentes. A medida que esta tecnología continúa avanzando, es probable que veamos un aumento en la automatización de los procesos de fabricación, desde la creación de prototipos hasta la producción en masa de piezas y productos personalizados. Esto podría tener un impacto significativo en la forma en que se diseña y produce una amplia variedad de productos, así como en la cadena de suministro y la logística asociada. [8]

Con la ayuda de las nuevas tecnologías, como el internet de las cosas (IoT) y la robótica colaborativa, está creando nuevas oportunidades para la automatización en entornos altamente interconectados y colaborativos. Esto podría llevar a una mayor

eficiencia y coordinación en los procesos de fabricación y logística, así como a una mayor personalización y adaptabilidad en la producción.

También es importante tener en cuenta el impacto socioeconómico de estas tendencias futuras. Si bien la automatización tiene el potencial de aumentar la eficiencia y reducir los costos de producción, también puede tener implicaciones significativas para el empleo y la distribución de ingresos. Es fundamental abordar estos desafíos de manera proactiva y considerar políticas y medidas para mitigar cualquier impacto negativo en los trabajadores y la sociedad en general.

### **Aspectos ambientales que considerar**

Al hablar de la automatización desde una perspectiva ambiental, es crucial evaluar una serie de aspectos para comprender su impacto en el medio ambiente y cómo puede ser gestionado de manera sostenible. Uno de los aspectos más importantes es la eficiencia energética de los sistemas automatizados. Si bien la automatización puede conducir a una mayor eficiencia en la producción y reducir los residuos, también puede requerir grandes cantidades de energía para operar. Es fundamental utilizar tecnologías y equipos energéticamente eficientes, así como buscar formas de optimizar el consumo de energía durante todo el ciclo de vida de los sistemas automatizados. [8]

Otro aspecto relevante es el uso de materiales y recursos naturales. La fabricación y operación de sistemas automatizados pueden requerir una variedad de materiales, algunos de los cuales pueden ser escasos o tener un impacto ambiental significativo. Es importante utilizar materiales sostenibles siempre que sea posible y

buscar formas de minimizar el consumo de recursos naturales a lo largo de la cadena de suministro y producción. Además, es importante considerar el impacto de los residuos y subproductos generados por los sistemas automatizados y buscar formas de reducir, reutilizar y reciclar estos materiales de manera efectiva.

La gestión de residuos y emisiones es otro aspecto clave a tener en cuenta en la automatización. Los sistemas automatizados pueden generar una variedad de residuos y emisiones durante su operación, desde desechos de producción hasta emisiones de gases de efecto invernadero. Es esencial implementar prácticas de gestión de residuos y control de emisiones efectivas para minimizar el impacto ambiental de estos sistemas y cumplir con las regulaciones ambientales aplicables. Además, es importante evaluar el ciclo de vida completo de los sistemas automatizados esto puede ayudar a identificar áreas donde se pueden realizar mejoras para reducir el impacto ambiental, como la optimización de los procesos de fabricación, la selección de materiales sostenibles.

### **Entornos programables que considerar**

Al considerar los entornos programables en la automatización, es esencial examinar una variedad de aspectos que influyen en el diseño, implementación y funcionamiento de los sistemas automatizados. Uno de los entornos más importantes a considerar es el software de control y programación utilizado para configurar y supervisar los procesos automatizados. Los sistemas de control programable, como los controladores lógicos programables (PLC) y los sistemas de control basados en PC,



proporcionan la capacidad de desarrollar algoritmos y secuencias de operación para controlar el funcionamiento de los equipos y maquinaria.

Además del software de control, también es crucial considerar el hardware y los dispositivos periféricos utilizados en el entorno de automatización. Esto puede incluir una variedad de sensores, actuadores, motores y otros dispositivos que interactúan con el sistema de control para realizar tareas específicas. Es fundamental seleccionar componentes confiables y compatibles que puedan integrarse sin problemas en el sistema automatizado y garantizar un funcionamiento óptimo.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la conectividad y la comunicación entre los diferentes equipos y sistemas dentro del entorno de automatización. Esto puede incluir redes de comunicación cableadas o inalámbricas que permiten la transferencia de datos entre dispositivos, así como protocolos de comunicación estándar que facilitan la interoperabilidad entre diferentes sistemas y fabricantes.

Además, es esencial considerar la seguridad y la protección de datos en el entorno de automatización. Esto implica implementar medidas de seguridad física y lógica para proteger los equipos y sistemas contra intrusiones no autorizadas, así como salvaguardar la integridad y confidencialidad de los datos generados y procesados por el sistema automatizado.

## **Control lógico programable**

El Control Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés) es un tipo de dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial para controlar maquinaria y procesos. Consta de varios componentes principales, incluyendo una CPU (Unidad Central de Procesamiento), una memoria de programa donde se almacena el código de control, una memoria de datos para almacenar variables y valores temporales, entradas y salidas digitales y analógicas para interactuar con el mundo exterior, y una interfaz de usuario para la programación y supervisión del sistema.

La programación de un PLC se realiza mediante un software especializado proporcionado por el fabricante del PLC. Los programadores escriben un programa de control utilizando un lenguaje de programación específico, como Lenguaje de Escalera (Ladder Logic), Lenguaje de Bloques de Función (Function Block Diagram), o Texto Estructurado (Structured Text). Este programa define las operaciones lógicas y secuenciales que el PLC ejecutará para controlar el proceso o la maquinaria. [9]

Una vez que el programa ha sido desarrollado, se carga en la memoria del PLC y se inicia la operación. El PLC monitorea continuamente las entradas del sistema, como sensores y switches, y ejecuta las instrucciones del programa en función de estas entradas. Dependiendo de las condiciones del proceso, el PLC activará o desactivará las salidas correspondientes, como motores, válvulas o luces, para controlar el sistema de acuerdo con la lógica programada.

## Lenguajes de programación

En el ámbito de la automatización industrial, los lenguajes de programación para PLCs (Controladores Lógicos Programables) desempeñan un papel fundamental en el diseño y la implementación de sistemas de control.

### KOP

Uno de los lenguajes de programación más ampliamente utilizados en el campo de la automatización es el Lenguaje de Escalera (Ladder Logic) también conocido como KOP. Inspirado en los diagramas de circuitos eléctricos, el Lenguaje de Escalera utiliza símbolos gráficos para representar contactos, bobinas y relés, lo que facilita la comprensión y la depuración del código para los profesionales con formación en electricidad, tratándose de un lenguaje más lógico. [10]

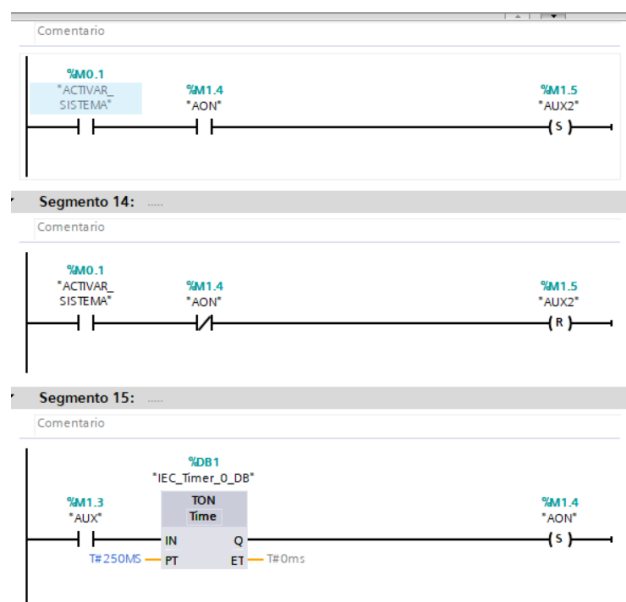
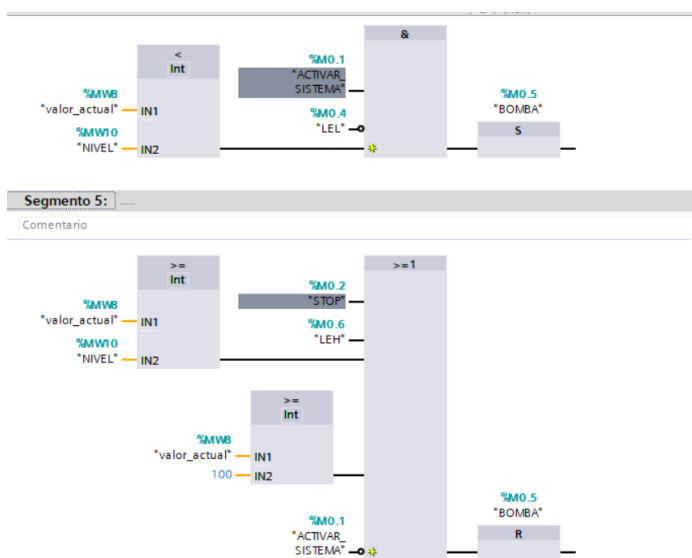


Ilustración 4 Lenguaje KOP autor: propio

## FUP

Otro lenguaje de programación comúnmente empleado es el Lenguaje de Bloques de Función (Function Block Diagram) también conocido como FUP. Este lenguaje permite a los programadores diseñar funciones reutilizables y modularizar el código en bloques que realizan operaciones específicas. Esto facilita la organización y la mantenibilidad del programa, así como la reutilización de código en diferentes partes del sistema. [10]

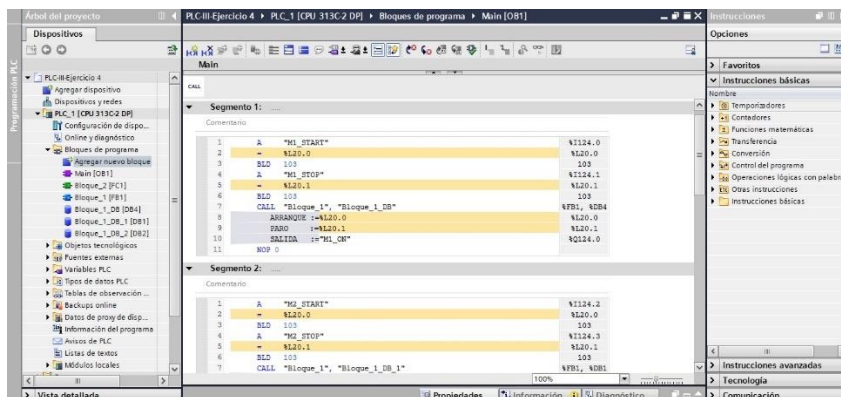


*Ilustración 5 código FUP autor: propio*

## AWL

El Texto Estructurado (Structured Text) o también conocido como AWL proporciona una alternativa basada en texto que permite a los programadores desarrollar algoritmos más complejos utilizando estructuras de control como bucles, condicionales y funciones matemáticas. Este lenguaje es especialmente útil para la

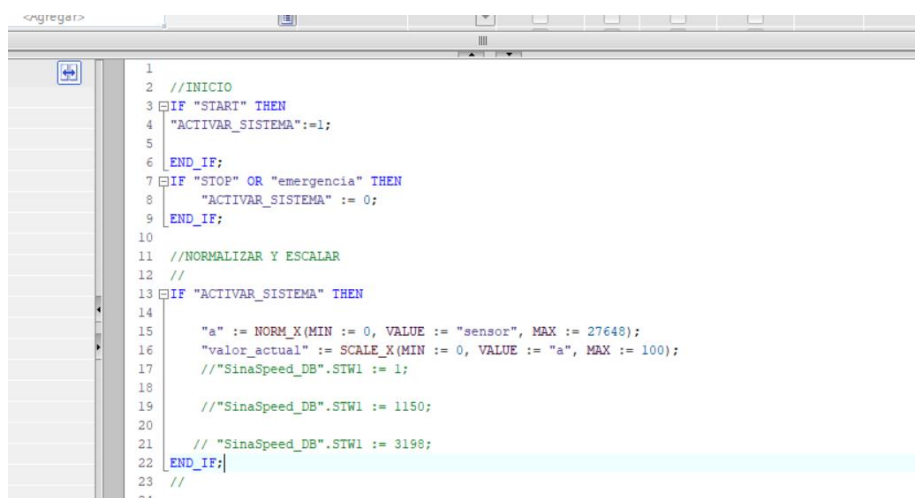
implementación de algoritmos avanzados y cálculos numéricos en aplicaciones de control más sofisticadas.



*Ilustración 6 código AWL*

## SCL

El lenguaje SCL (Structured Control Language) se basa en la programación estructurada, su capacidad para desarrollar algoritmos complejos y funciones detalladas utilizando una variedad de estructuras de control, como bucles, condicionales y funciones matemáticas. Esto permite a los programadores crear programas sofisticados y de alto rendimiento para controlar sistemas automatizados en la industria. Proporciona una amplia gama de funciones predefinidas y bibliotecas estándar que facilitan el desarrollo de programas de control. Estas funciones incluyen operaciones aritméticas, operaciones lógicas, funciones de temporización y contadores, entre otras. Además, SCL permite la definición de funciones personalizadas y la reutilización de código, lo que mejora la eficiencia y la mantenibilidad del software. [5]



```

1
2 //INICIO
3 IF "START" THEN
4   "ACTIVAR_SISTEMA":=1;
5
6 END_IF;
7 IF "STOP" OR "emergencia" THEN
8   "ACTIVAR_SISTEMA" := 0;
9 END_IF;
10
11 //NORMALIZAR Y ESCALAR
12 //
13 IF "ACTIVAR_SISTEMA" THEN
14
15   "a" := NORM_X(MIN := 0, VALUE := "sensor", MAX := 27648);
16   "valor_actual" := SCALE_X(MIN := 0, VALUE := "a", MAX := 100);
17   //"SinaSpeed_DB".STW1 := 1;
18
19   //"SinaSpeed_DB".STW1 := 1150;
20
21   //"SinaSpeed_DB".STW1 := 3198;
22 END_IF;
23 //
24

```

*Ilustración 7 código SCL autor: propio*

## GRAFCET

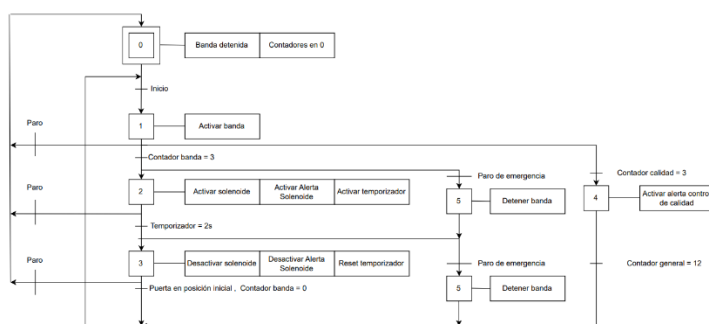
Significa Gráfico de Funciones Secuenciales, es un estándar de modelado y programación utilizado en la automatización industrial para describir el comportamiento secuencial de sistemas de control. Se basa en una representación gráfica que muestra las diferentes etapas de un proceso y las transiciones entre ellas. [11]

En un diagrama GRAFCET, las etapas del proceso se representan mediante estados, y las transiciones entre estos estados se muestran como transiciones condicionales o temporizadas. Cada estado puede estar asociado con acciones específicas que deben realizarse durante ese estado. Además, se pueden definir condiciones que activan o desactivan las transiciones entre estados. [12]

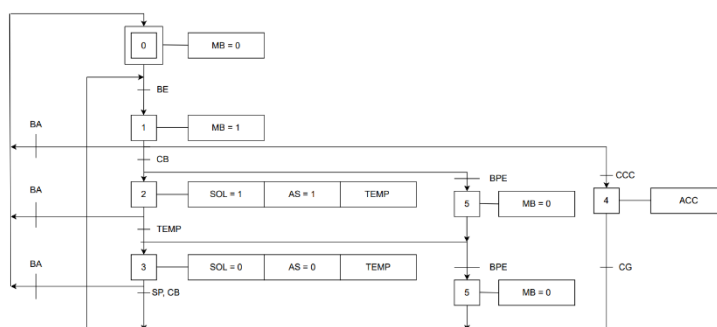
El GRAFCET es una herramienta poderosa para el diseño y la programación de sistemas de control, ya que permite una visualización clara y comprensible del comportamiento del sistema. Facilita la identificación de posibles problemas de diseño

y la depuración del programa, así como la comprensión del funcionamiento del sistema por parte de los operadores y técnicos.

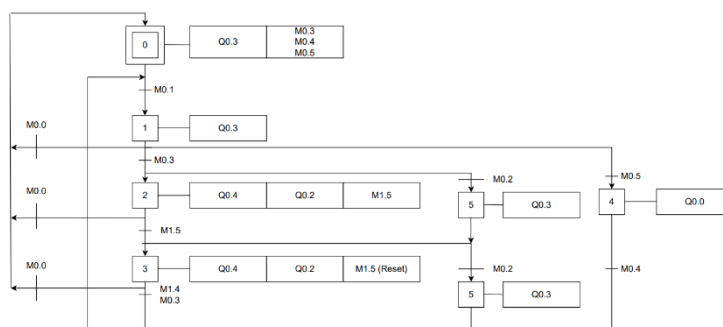
### GRAFCET NIVEL 1



### GRAFCET NIVEL 2



### GRAFCET NIVEL 3



*Ilustración 8 GRAFCET nivel 1,2,3 autor: propio*

## **Marco legal**

El Proyecto de automatización de la planta de fabricación de vidrio templado en Colombia debe cumplir con diversas regulaciones y normativas legales a nivel nacional e internacional. A continuación, se detallan algunas de las principales:

### **Normativas Nacionales**

#### **1. Ley 9 de 1979 - Código Sanitario Nacional**

Esta ley determina las generalidades sobre medidas sanitarias relacionadas con la salud humana, los lugares de trabajo y la protección del medio ambiente.

#### **2. Resolución 2400 de 1979 - Estatuto de Seguridad Industrial**

La resolución esclarece las disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo, incluyendo aspectos relacionados con la implementación de sistemas de control y automatización.

#### **3. Ley 1562 de 2012 - Sistema General de Riesgos Laborales**

Determina el Sistema General de Riesgos Laborales y regula las actividades de promoción, prevención y control de riesgos profesionales.

#### **4. Resolución 1409 de 2012 - Reglamento de Seguridad para Protección contra Caídas en Trabajo en Alturas**

Esta resolución decreta los requisitos y normas técnicas para la protección de trabajadores contra caídas en alturas, aplicable a la instalación y mantenimiento de sistemas de automatización.

#### **5. Normas Técnicas Colombianas (NTC)**



Existen diversas NTC aplicables al proyecto, como:

<b>NORMA</b>	<b>NOMBRE DE LA NORMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
NTC 1578	Vidrios de seguridad utilizados en construcciones. Especificaciones y métodos de ensayo	Esta norma establece las especificaciones y métodos de ensayo para las propiedades de seguridad de los materiales para vidriados de seguridad (materiales vidriados diseñados para promover la seguridad y reducir la posibilidad de heridas cortantes y punzantes cuando se rompen por contacto humano), utilizados para todos los propósitos arquitectónicos y de construcción.
NTC 5724	Vidrio plano. vidrio con recubrimiento pirolítico y con deposición al vacío o magnetrónico	Esta norma cubre los requisitos ópticos y estéticos para recubrimientos aplicados al vidrio utilizado en vidriado arquitectónico. Los recubrimientos cubiertos son aplicados al vidrio utilizando ya sea el método pirolítico o el de deposición al vacío (pulverizado) y son aplicados típicamente para controlar el aumento de calor por energía solar, desempeño energético, niveles de confort y condensación y mejoras estéticas de la edificación

NTC 5951	Vidrio aislante. Requisitos de desempeño y evaluación de unidades	Esta norma es aplicable tanto a unidades de vidrio aislante con doble vidriado como aquellas con triple vidriado; para las unidades de vidrio aislante con triple vidriado cuando ambas láminas exteriores son de vidrio y la interior es de vidrio o de película suspendida. La calificación según esta norma tiene como objeto brindar una base para evaluar la durabilidad de las unidades de vidrio aislante selladas
NTC 5952	Vidrio aislante. método de ensayo del desempeño	Este método de ensayo comprende los procedimientos para el ensayo del desempeño de unidades de vidrio aislante preensambladas, permanentemente selladas o unidades de vidrio aislante preensambladas con tubos capilares previstos para quedar abiertos
NTC 5953	Vidrio aislante. método de ensayo de la resistencia al empañamiento	Este método de ensayo comprende los procedimientos para el ensayo de la resistencia al empañamiento de las unidades de vidrio aislante preensambladas, permanentemente selladas o unidades de vidrio aislante preensambladas con tubos capilares previstos para quedar abiertos
NTC 5954	Vidrio aislante (posición horizontal). método de ensayo para el punto de congelación/ rocío	Este método de ensayo describe un procedimiento de laboratorio para determinar el punto de congelación/rocío dentro de los espacios de aire de unidades de vidrio aislante selladas, y establece los criterios para determinar si ese punto está por debajo o por encima de una temperatura dada o especificada

NTC 5955	Vidrio aislante (posición vertical). Método de ensayo para el punto de congelación/ rocío	Este método de ensayo describe un procedimiento de laboratorio o de campo para determinar el punto de congelación/rocío dentro de los espacios de aire en unidades de vidrio aislante selladas y establece los criterios para determinar si dicho punto está por debajo o por encima de una temperatura dada o especificada.
NTC 5956	Vidrio aislante. Método de ensayo para la determinación de las propiedades bajo tensión del sello de borde para aplicaciones de vidriado estructural	Este método de ensayo cubre un procedimiento de laboratorio para medir cuantitativamente las propiedades de resistencia a la ruptura bajo tensión, rigidez y adhesión de sellos de borde de vidrio aislante que se usan en aplicaciones de vidriado con sellante estructural. Los sellos de borde para estas aplicaciones usan un sellante estructural para unir tanto paneles de vidrio como el espaciador de borde en una unidad de vidrio aislante sellada

*Ilustración 9 Normativas NTC para fabricación de vidrio*

## **Constitución política de Colombia**

**Según el artículo 61 de la Constitución, el Estado tiene la responsabilidad de salvaguardar la propiedad intelectual, determinando su duración y los procedimientos requeridos a través de las normativas que establezca la legislación vigente.**

Ley 23 de 1982

**Artículo 1.** Esta normativa establece que los autores de obras literarias, científicas y artísticas tendrán protección según lo dispuesto por esta ley y, en la medida en que sea compatible, por el derecho común. Además, la ley también ampara a intérpretes, ejecutantes, productores de programas y organismos de radiodifusión en sus derechos conexos con los del autor.

**Artículo 2.** Gracias a la modificación del Artículo 67 de la Ley 44 de 1993, determina que los derechos de autor abarcan las obras científicas, literarias y artísticas,

comprendiendo todas las creaciones del intelecto en estos ámbitos, sin importar la forma de expresión o su destino.

**Artículo 3.** Establece que los titulares de los derechos reconocidos por la ley pueden ser personas naturales o jurídicas que, mediante contrato, asuman la responsabilidad y el riesgo de producir una obra científica, literaria o artística realizada por uno o varios autores bajo las condiciones estipuladas en el artículo 20 de esta misma ley.

#### **Decreto 1412 de 2017**

**Artículo 1.** del Decreto 1078 de 2015 introduce una adición al título 16 en la parte 2 del libro 2. Esta adición implica la creación de un nuevo título en el Decreto Único Reglamentario del sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, el cual contendrá el texto especificado en el artículo.

#### **Título 16: reglamentación de los numerales 23 y 25 del artículo 476 del estatuto tributario**

**Artículo 2.2.16.1. Definiciones.** Para los efectos del presente título se adoptan los siguientes términos:

2. **Software para el desarrollo de contenidos digitales.** Se refiere al conjunto de programas y rutinas diseñados para permitir que una computadora realice diversas tareas asociadas con la creación y producción de contenidos digitales.

**Artículo 2.2.16.2. Clasificación del software para el desarrollo de contenidos digitales.** El software para el desarrollo de contenidos digitales tendrá las

siguientes clasificaciones, determinado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones:

- 1. Entorno de desarrollo integrado:** Incluye editores de código fuente, herramientas de construcción automáticas y funciones de depuración, proporcionando un entorno completo para el desarrollo de software.
- 3. Plugin y/o extensión para la creación de contenidos digitales:** Se trata de software complementario utilizado en la creación de productos de contenidos digitales, como edición de video, edición gráfica, postproducción, efectos visuales, animación digital, videojuegos, realidad aumentada y realidad virtual.
- 9. Software de modelado 2D y 3D:** Este tipo de software se centra en la creación de representaciones matemáticas de objetos en dos o tres dimensiones, siendo utilizado en diseño gráfico, animación, arquitectura y otras áreas relacionadas.

**Software de inteligencia artificial:** Diseñado para llevar a cabo operaciones que simulan la inteligencia humana, como el aprendizaje automático, la resolución de problemas y la autocorrección. Este tipo de software se emplea en una variedad de campos, incluyendo la medicina, la industria, la investigación y el entretenimiento

## Normativas Internacionales

### 1. ISO 9001: Sistemas de Gestión de la Calidad

Esta norma internacional establece los requisitos para un sistema de gestión de la calidad efectivo, aplicable a la implementación de sistemas de automatización y control de procesos.

## 2. ISO 45001: Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Esta norma proporciona un marco para la gestión de riesgos y la mejora de la seguridad y salud laboral, incluyendo aspectos relacionados con la automatización industrial.

## 3. IEC 61131: Norma Internacional para Programadores de Controladores Lógicos

Esta norma define los estándares para la programación y desarrollo de software para Controladores Lógicos Programables (PLC), como el S7-1500 de Siemens utilizado en este proyecto.

## 4. IEC 61508: Norma de Seguridad Funcional

Esta norma establece los requisitos para la seguridad funcional de los sistemas eléctricos, electrónicos y programables relacionados con la seguridad (sistemas E/E/PE), como los sistemas de control y automatización industrial.

Además de cumplir con estas normativas, el proyecto debe considerar cualquier otra regulación o ley aplicable a nivel nacional, departamental o municipal, así como también las especificaciones y recomendaciones del fabricante de los equipos y componentes utilizados.

Se deberá contar con la documentación necesaria, como manuales de operación, planes de mantenimiento y capacitación adecuada para el personal involucrado en la operación.

### **Manual de operación:**

Plan de mantenimiento:

El plan de mantenimiento es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento y la vida útil del sistema de automatización de la planta de fabricación de vidrio templado.

A continuación, se presenta un plan de mantenimiento preventivo para los componentes clave del sistema:

#### **1. PLC S7-1500:**

- Revisión periódica de la fuente de alimentación y ventiladores de enfriamiento.
- Verificación de conexiones eléctricas y cableado.
- Respaldo periódico del programa y configuración.
- Actualización de firmware y software cuando sea necesario.

#### **2. Interfaz HMI (WinCC):**

- Revisión de la pantalla y limpieza del panel táctil.
- Verificación del correcto funcionamiento de los botones y controles.
- Respaldo periódico de la configuración y proyectos.
- Actualización de software cuando sea necesario.

### 3. Sensores y dispositivos de Entrada/Salida (E/S):

- Inspección visual de los sensores y cableado.
- Verificación del correcto funcionamiento de los sensores (presencia, temperatura, estado de moldeo, etc.).
- Calibración periódica de sensores analógicos (temperatura).
- Limpieza y mantenimiento según recomendaciones del fabricante.

### 4. Variador de frecuencia:

- Revisión de conexiones eléctricas y cableado.
- Inspección de ventiladores de enfriamiento y filtros de aire.
- Verificación del correcto control de velocidad en motores.
- Mantenimiento según recomendaciones del fabricante.

### 5. Servomotor:

- Inspección visual y verificación de ruidos o vibraciones anormales.
- Lubricación periódica de rodamientos y mecanismos.
- Verificación del correcto funcionamiento y precisión de movimientos.
- Mantenimiento según recomendaciones del fabricante.

### 6. Bandas transportadoras y motores:

- Inspección visual de las bandas y rodillos.
- Verificación de tensión y alineación de las bandas.

- Lubricación de rodamientos y mecanismos.
- Mantenimiento según recomendaciones del fabricante.

#### 7. Sistema de alarmas y luces indicadoras:

- Verificación del correcto funcionamiento de las alarmas y luces indicadoras.
- Reemplazo de luces o componentes defectuosos.

#### 8. Sistema de control de temperatura (horno):

- Verificación del correcto funcionamiento del sistema de control de temperatura.
- Calibración periódica de sensores de temperatura.
- Inspección del aislamiento térmico y refractarios.

#### 9. Sistema de corte y empaquetado:

- Inspección visual de cuchillas y mecanismos de corte.
- Verificación del correcto funcionamiento de los sistemas de empaquetado y conteo de unidades.
- Ajuste y mantenimiento según recomendaciones del fabricante.

Además del mantenimiento preventivo, es importante contar con un programa de mantenimiento correctivo para atender fallas o averías imprevistas en el sistema. Esto incluye tener un stock de repuestos críticos, capacitación del personal técnico y procedimientos de respuesta rápida ante fallas.

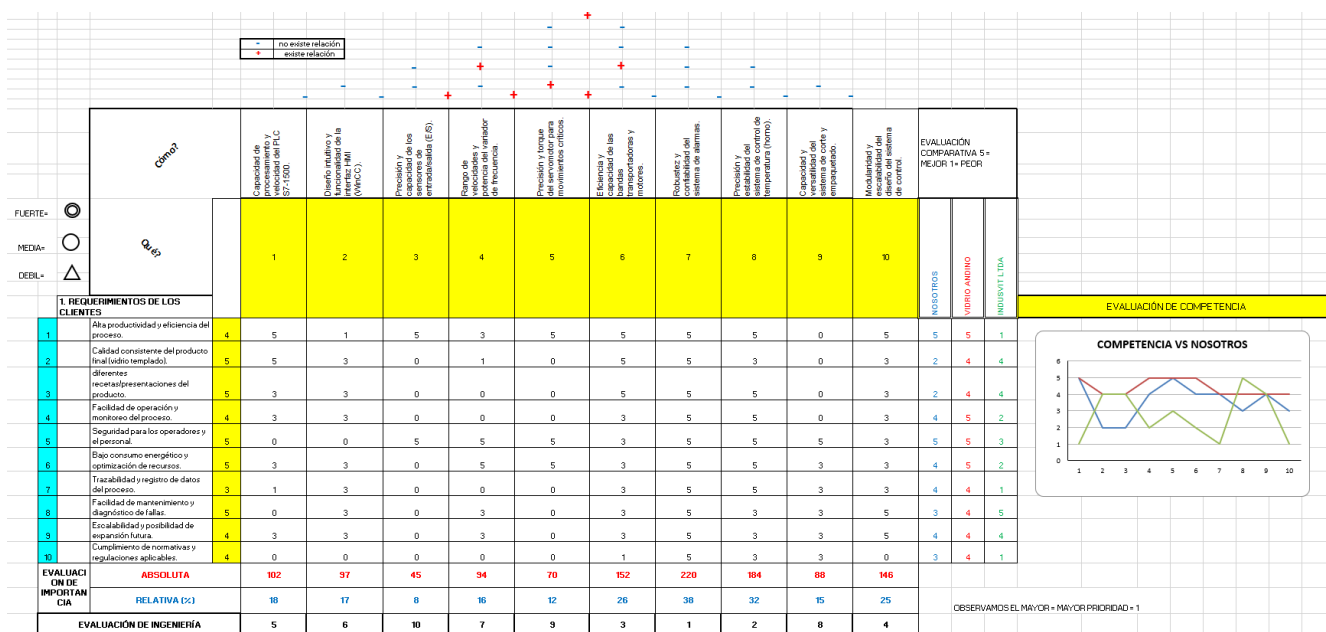


Es recomendable llevar un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo fechas, acciones tomadas y observaciones. Esto permitirá identificar patrones y anticipar posibles fallas futuras.

Es importante destacar que el cumplimiento de estas regulaciones es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores, la calidad del producto y la protección del medio ambiente en el desarrollo del proyecto de automatización de la planta de fabricación de vidrio templado en Colombia.

### **Casa de la calidad y Variables de ingeniería**

Para el desarrollo del proyecto tuvimos en cuenta algunos parámetros asociados a lo que buscaría el cliente y en base a estos parámetros o requerimientos de cliente, definimos las variables de ingeniería que mejor se asocian para dar solución a cada uno de los requerimientos desde el área de ingeniería.



*Ilustración 10 Casa de la calidad*

Posteriormente, en base a los puntajes de importancia para cada uno de los requerimientos del cliente asociado a cada variable de ingeniería, encontramos según la evaluación de importancia absoluta y relativa que en lo primero que tenemos que enfocarnos es en la robustez y confiabilidad del sistema de alarmas, Luego en segundo lugar nos enfocaremos en la precisión y estabilidad del sistema de control de temperatura (horno), en tercer lugar como prioridad está la utilidad y capacidad de las bandas transportadoras y motores, en cuarto lugar tenemos la modularidad y escalabilidad del diseño del sistema de control, en quinto lugar tenemos la capacidad de procesamiento y velocidad del PLC S7-1500 y luego de esos 5 principales aspectos a enfocar según nuestro diseño pasaremos a tratar otros temas importantes como lo son :

6. Diseño intuitivo y funcionalidad de la interfaz HMI (WinCC).
7. Rango de velocidades y potencia del variador de frecuencia.
8. Capacidad y versatilidad del sistema de corte y empaquetado.
9. Precisión y torque del servomotor para movimientos críticos.
10. Precisión y capacidad de los sensores de entrada/salida (E/S).

En base a la casa de la calidad también pudimos determinar cómo se encuentran nuestros competidores con respecto a nosotros en el mercado, mediante una gráfica pudimos observar que nuestro proceso podría llegar a ser de los mejores si se implementara a gran escala mucho mejor que INDUSVIT LTDA pero no tan bueno como el fabricante nacional VIDRIO ANDINO.

## **Estudio de mercado**

### **Análisis del Panorama del Vidrio Templado**

Se pronostica que el mercado del vidrio templado experimentará un crecimiento anual compuesto superior al 6% durante el período proyectado. Este segmento del mercado se vio afectado negativamente por la pandemia de COVID-19 en 2020. Sin embargo, se estima que actualmente ha recuperado los niveles previos a la pandemia y se espera que continúe expandiéndose de manera constante en el futuro.

Se prevé que la expansión del sector de la construcción impulsará la demanda de vidrio templado a nivel global.

Por otro lado, el creciente uso de productos alternativos de peso ligero como el vidrio laminado, entre otros, podría obstaculizar el crecimiento del mercado.

No obstante, la creciente demanda proveniente de la industria electrónica abrirá nuevas oportunidades en el mercado global considerado.

Se espera que la región de Asia y el Pacífico capture la mayor cuota de mercado. Esto se debe al rápido desarrollo que están experimentando países como India, China y Japón.

### **Análisis de mercado**



*Ilustración 11 Líderes del Mercado de vidrio templado*

El mercado del vidrio templado en la región de Asia y el Pacífico se perfila como el líder indiscutible a nivel global. Este liderazgo se sustenta en el crecimiento acelerado de importantes industrias demandantes, como la construcción y la electrónica, en países de gran envergadura económica como China, India, Japón y Corea del Sur.

En el caso de China e India, el aumento exponencial de su población ha impulsado una demanda sin precedentes en el sector de la construcción. Específicamente, en China, el sector de la construcción aportó cerca del 6,9% del Producto Interno Bruto (PIB) del país en 2022, y se tiene como meta mantener una participación del 6% del PIB hasta el año 2025, según lo establecido en el 14° Plan Quinquenal (2021-2025).

Por su parte, Corea del Sur también ha experimentado un auge en su industria de la construcción, con pedidos por valor de 245.900 millones de dólares recibidos por constructores locales y extranjeros en 2021, según datos de Statistics Korea.

Además de la construcción, la industria electrónica en estos países es otro pilar fundamental que impulsa la demanda de vidrio templado. Este material se utiliza ampliamente en pantallas y componentes electrónicos, segmentos en los que China, India, Corea y Japón son líderes mundiales en producción.

Particularmente, la industria electrónica en India se ha posicionado como una de las de más rápido crecimiento a nivel global, gracias a políticas gubernamentales favorables, como la inversión extranjera directa al 100%, la ausencia de requisitos de licencias industriales y la transformación tecnológica de procesos manuales a automáticos.

Estos factores económicos, demográficos y normativos, sumados a otras variables, configuran un escenario propicio para que la región de Asia y el Pacífico consolide una participación de mercado predominante en el segmento del vidrio templado en los próximos años, convirtiéndose en un mercado atractivo y prometedor para los fabricantes y proveedores de este material en Colombia y el resto del mundo.



*Ilustración 12 Mercado del vidrio templado a nivel mundial*

### **Proyección comercial**

1. El vidrio templado es un material muy valorado en la construcción debido a su alta resistencia a la tracción, al choque térmico y a las variaciones de temperatura. Estas propiedades lo convierten en una opción ideal para diversas aplicaciones arquitectónicas y de diseño interior.

2. La creciente demanda de infraestructuras y edificios modernos, tanto residenciales como comerciales, está impulsando el uso del vidrio templado como elemento

decorativo y funcional. Se utiliza en puertas, mamparas, paredes interiores, escaleras, fachadas y otros elementos donde se requiere resistencia y seguridad.

3. El rápido crecimiento del sector de la construcción en muchos países, especialmente en economías emergentes como China e India, está generando una mayor demanda de vidrio templado. Países como China, con una creciente urbanización y una expansión de los sectores residencial y comercial, están fomentando el uso de este material.

4. Los grandes proyectos de construcción en curso y planificados, tanto en China como en India, representan una oportunidad significativa para el mercado del vidrio templado. Por ejemplo, el proyecto “CommerzIII” en Mumbai, con un valor de 900 millones de dólares, requerirá la utilización de cantidades sustanciales de este material.

5. La tendencia hacia edificios e infraestructuras más resistentes, seguras y con un diseño moderno y atractivo está impulsando la demanda de vidrio templado. Su versatilidad y propiedades técnicas lo convierten en un material atractivo para los diseñadores y arquitectos en la industria de la construcción.

6. A medida que el sector de la construcción continúe expandiéndose a nivel global, impulsado por proyectos de urbanización, desarrollo comercial y residencial, se espera que la demanda de vidrio templado siga aumentando en los próximos años,

convirtiéndose en un mercado atractivo para los fabricantes y proveedores de este material.

En resumen, el auge de la industria de la construcción, la necesidad de materiales resistentes y seguros, y la creciente demanda de diseños modernos están impulsando la creciente demanda de vidrio templado a nivel mundial.

### **Rutas críticas**

El proyecto de automatización de la fábrica de vidrio templado para uso en construcción se estructura en cinco etapas clave, cada una con sus respectivas tareas críticas. La primera etapa, Planificación y Organización, es fundamental para el éxito del proyecto. En esta fase se identifican los dispositivos y variables involucrados en el proceso de fabricación del vidrio templado. Esta tarea inicial se estima que tomará cinco días. Posteriormente, se esbozan las etapas del proceso de fabricación, lo cual requiere tres días adicionales. Una vez definidas las etapas, se procede a la asignación de tareas y recursos, tarea que llevará dos días. Finalmente, se elabora el diagrama de Gantt, que detalla las tareas y las fechas de entrega, en un plazo de dos días.

La segunda etapa se centra en el Desarrollo del Entorno 3D en Unity. Durante esta fase, se seleccionan y modelan los componentes 3D necesarios, tarea que se estima en diez días. Luego, estos modelos deben ser texturizados y animados, lo cual tomará ocho días más. Una vez que los elementos están listos, se integran en el entorno 3D,



proceso que requiere cinco días adicionales. Esta etapa es crucial para crear una simulación precisa del proceso de fabricación.

La tercera etapa es la Programación del PLC en TIA Portal. Esta es una de las fases más técnicas y críticas del proyecto. Inicialmente, se traduce el proceso de fabricación del vidrio templado a un graficet de nivel 1, tarea que se estima en cuatro días. Luego, se desarrolla el graficet de nivel 2, que especifica los componentes que se accionarán en cada etapa y las señales de activación entre cada etapa, en un plazo de seis días. A continuación, se asignan las direcciones para las entradas y salidas de los dispositivos, lo cual llevará tres días. Finalmente, se implementa la lógica de control en TIA Portal, tarea que se estima en ocho días. La precisión en esta fase es vital para el funcionamiento correcto del sistema automatizado.

La cuarta etapa, Integración y Pruebas, asegura que todos los componentes funcionen conjuntamente de manera efectiva. Primero, se verifica la comunicación entre el PLC y el entorno 3D, tarea que requiere cinco días. Luego, se realizan pruebas de funcionalidad de los dispositivos externos, como motores, variadores y controladores de temperatura, en un plazo de seis días. Tras estas pruebas, se realizan ajustes y correcciones tanto en el código como en el entorno 3D, proceso que tomará cuatro días. Esta etapa es esencial para garantizar que todos los sistemas se integren y funcionen correctamente antes de la fase final.

La última etapa es la Documentación y Entrega. Una vez que la integración y las pruebas han sido satisfactorias, se desarrolla el informe de gestión del proyecto, incluyendo detalles operativos y técnicos. Esta tarea requiere cinco días. Luego, se incorporan los detalles finales en un plazo de tres días. Finalmente, se realiza una revisión exhaustiva y se entrega el proyecto, lo cual tomará dos días. Esta fase asegura que toda la información relevante esté documentada y que el sistema sea fácil de usar y mantener.

En cuanto a la gestión de recursos, se requieren varios roles especializados. Un Gestor de Proyecto es responsable de la coordinación general del proyecto, seguimiento del progreso y gestión de riesgos. Los Desarrolladores de Unity se encargan de la creación e implementación del entorno 3D, mientras que los Programadores de PLC se enfocan en la programación y configuración del PLC S7-1500. Además, un Especialista en Integración de Sistemas es clave para asegurar la comunicación y sincronización de datos entre el entorno 3D y el PLC. Aunque las actividades propias de estos roles son distribuidas entre los dos integrantes del equipo, cada uno debe adquirir experticia en todas las labores.

El uso de herramientas y técnicas específicas es crucial para el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Unity 3D se utiliza para el desarrollo del entorno virtual de la fábrica, permitiendo la creación de modelos 3D, animaciones y la simulación del proceso de fabricación. Siemens TIA Portal es la plataforma de ingeniería utilizada para

la programación del PLC, gestionando las señales y configurando los sistemas de alarmas. GRAFCET, un lenguaje gráfico de especificación de algoritmos secuenciales, se emplea para diseñar los procesos de automatización. Además, se utilizan variadores de frecuencia para controlar la velocidad de los motores eléctricos, y servos para movimientos precisos en el proceso. Sensores de temperatura PT100 aseguran mediciones precisas de cambios en la temperatura.

La gestión del tiempo se facilita mediante un diagrama de Gantt, que detalla todas las tareas e hitos importantes, asignando tiempos específicos para su realización.

Reuniones semanales son esenciales para evaluar el progreso, resolver problemas y ajustar el plan de trabajo según sea necesario. En cuanto a la gestión del presupuesto, una estimación inicial de costos incluye recursos humanos, herramientas, licencias de software y equipos necesarios. Un seguimiento continuo de los gastos asegura que el proyecto se mantenga dentro del presupuesto estimado, revisando y aprobando gastos adicionales cuando sea necesario.

La gestión de riesgos es otro aspecto crucial. Se identifican posibles riesgos, como el alto consumo de recursos computacionales, y se desarrollan planes de mitigación, como optimizaciones de código y uso eficiente de recursos. El control de calidad se asegura mediante la definición de criterios de calidad, la realización de pruebas continuas y la documentación detallada del sistema, asegurando que funcione correctamente y simule con precisión el proceso de fabricación de vidrio templado.

## Costos

Componente	Costo Estimado (COP)
PLC S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP	\$15,000,000 - \$20,000,000
Software TIA Portal V16	\$18,000,000 - \$24,000,000
Software WinCC (HMI)	\$9,000,000 - \$15,000,000
Pantalla HMI Siemens KTP700 Basic	\$3,500,000 - \$6,000,000
Variador de frecuencia Sinamics G120C	\$6,000,000 - \$12,000,000
Servomotor Siemens 1FK7	\$4,500,000 - \$9,000,000
Sensores de presencia (10 unidades)	\$2,000,000 - \$4,000,000
Sensores de temperatura (5 unidades)	\$2,500,000 - \$5,000,000
Sensores de estado de moldeo (3 unidades)	\$1,500,000 - \$3,000,000
Alarmas y luces indicadoras (15 unidades)	\$1,500,000 - \$3,000,000
Cableado y componentes eléctricos	\$6,000,000 - \$10,000,000
Bandas transportadoras y motores	\$15,000,000 - \$30,000,000
Sistema de control de temperatura (horno)	\$30,000,000 - \$60,000,000

Sistema de corte y empaquetado	\$50,000,000 - \$100,000,000
Ingeniería y programación	\$60,000,000 - \$120,000,000
Capacitación y puesta en marcha	\$12,000,000 - \$24,000,000
Costos de instalación y montaje	\$24,000,000 - \$48,000,000
Infraestructura civil (adecuaciones, obra)	\$50,000,000 - \$100,000,000
Servicios públicos (electricidad, agua, gas)	\$10,000,000 - \$20,000,000
Licencias y permisos	\$5,000,000 - \$10,000,000
Equipos de seguridad industrial	\$2,000,000 - \$4,000,000
Mobiliario y equipos auxiliares	\$5,000,000 - \$10,000,000
Contingencia (10%-15%)	\$30,000,000 - \$60,000,000
Costo Total Estimado	\$355,500,000 - \$692,000,000

*Tabla 1 Costos*

### **Metodología**

Para el desarrollo de la simulación y automatización de la fábrica de vidrio templado para uso en construcción se desarrolló una metodología de tipo iterativa e incremental, asegurando la integración progresiva de componentes del proyecto manteniendo la flexibilidad requerida para hacer correcciones en el proceso.

En la estructuración del proyecto se dividió en 5 etapas relacionadas a continuación:

1. Etapa 1: Planificación y Organización.

Para la ejecución del proyecto se analizaron las etapas en las que se subdivide la elaboración del vidrio templado, identificando en cada una los dispositivos que intervienen en la fabricación, las variables medidas y las señales de entrada y salida, analógicas y digitales. De dicho análisis se obtuvo como resultado el siguiente esboce de etapas:

- **Etapa 1. Material a la banda**

Sensor de presencia en la banda (ED)

Aplicación del servo (SD)

Variador (La banda sin material va más lento)

Alarma de banda en movimiento

- **Etapa 2. Fundición de la mezcla**

Sensor de temperatura (EA)

Control de temperatura

Alarma de temperatura max en horno

Temporizador de horneado

Alarma en transporte

- **Etapa 3. Moldeo**

Sensor de material en fase de moldeo (ED)

Temporizador de tiempo de moldeo

Alarma de finalización de moldeo

Alarma en transporte

- **Etapas 4. Templado**

Sensor de material en fase de templado (ED)

Alarma de enfriamiento (Led que parpadea y al llegar a la temperatura baja se mantiene encendido)

Temporizador de templado

Alarma en transporte

- **Etapas 5. Corte (Aquí se ponen las recetas)**

Sensor de material en la etapa 5 (ED)

Led de corte encendido (SD)

Temporizador de corte (Opción 1 se demora más que opción 2) simulando dos tamaños de corte

Alarma de corte finalizado

- **Etapas 6. Empaque**

1 caja de 4 unidades si es receta 1

1 caja de 2 unidades si es receta 2

Led de caja lista

Temporizador de empaquetado

Sensor de caja lista (ED)

Sabiendo el proceso a trabajar y las etapas que lo componen fue posible definir el objetivo a cumplir relacionado en el capítulo 1. Conociendo el enfoque principal que tendrá el proyecto, se subdividió en objetivos específicos que a su vez fueron relacionados a tareas determinadas que finalmente se asignaron a los integrantes del proyecto. Por último, se realizó el diagrama de Gantt donde se detallan las tareas y las fechas de entrega.

## 2. Etapa 2. Desarrollo del entorno 3D en Unity.

El entorno 3D debe contemplar todos los dispositivos identificados en las etapas, para ello, en esta fase de elaboración del proyecto se seleccionan o elaboran los modelos 3D de los componentes a utilizar, pueden ser tuberías, tanques, bandas transportadoras y cualquier otro elemento necesario.

## 3. Etapa 3. Programación del PLC en TIA Portal.

La programación del PLC constituye el punto central del proyecto, por esta razón se presta especial atención a la ejecución del código. Inicialmente se tenían identificadas las variables a medir, las señales analógicas y digitales que se usarían y los dispositivos a controlar.

El primer paso es traducir la información ya conocida del paso a paso del proceso de fabricación de vidrio a un graficet nivel 1, de esta manera se hace clara la secuencialidad de las acciones. A continuación, se elabora el Graficet de nivel 2, el cual especifica los componentes que van a accionarse en cada etapa



y las señales de activación entre cada etapa. Por último, a estos dispositivos se les asignan direcciones que serán usadas en el Tia Portal para las salidas y entradas.

#### 4. Etapa 4. Integración y pruebas.

En la etapa de integración se garantiza la comunicación del entorno 3D con el PLC. Para ello, es necesario ejecutar pruebas de funcionalidad para verificar la respuesta del entorno ante las señales presentes en el código del PLC y a su vez, la respuesta de los dispositivos externos como el motor, el variador, el controlador de temperatura, entre otros.

#### 5. Etapa 5. Documentación y entrega.

Por último, una vez realizada la integración y comprobada la funcionalidad, se desarrolla el informe de gestión del proyecto incluyendo los detalles operativos y técnicos.

### **Gestión de recursos**

**Recursos Humanos:** En la elaboración de un proyecto de esta magnitud podrían intervenir los siguientes roles, para los cuales, se debe de disponer de personal capacitado para cada tarea.

- **Gestor de Proyecto:** Responsable de la coordinación general del proyecto, seguimiento del progreso, gestión de riesgos. Se asegura de que el proyecto avance según lo planeado y dentro del presupuesto.
- **Desarrolladores de Unity:** Encargados de la creación e implementación del entorno 3D en Unity. Modelan, texturizan y animan los elementos necesarios para simular la fábrica de vidrio templado.
- **Programadores de PLC:** Especialistas en la programación y configuración del PLC S7-1500 utilizando Siemens TIA PORTAL. Implementan la lógica de control, gestionan las señales de entrada y salida, y configuran los sistemas de alarmas y recetas.
- **Especialista en Integración de Sistemas:** Responsable de la integración entre el entorno 3D y el PLC, asegurando la comunicación y sincronización de datos. Trabaja estrechamente con los programadores de PLC y los desarrolladores de Unity para garantizar una integración fluida.

Al tratarse de un ejercicio académico y con el fin de que los integrantes se vean involucrados y adquieran experticia y conocimiento en todas las labores, las actividades propias de estos roles son distribuidas entre los dos integrantes del equipo.

**Herramientas y Técnicas:** Para el cumplimiento de los objetivos propuestos es estrictamente necesario el uso de las siguientes herramientas técnicas.

- **Unity 3D:** Plataforma utilizada para el desarrollo del entorno virtual de la fábrica. Permite la creación de modelos 3D, animaciones y la simulación del proceso de fabricación.
- **Siemens TIA PORTAL:** Entorno de ingeniería utilizado para la programación del PLC S7-1500. Incluye herramientas para la configuración de hardware, programación de lógica de control, gestión de señales y configuración de sistemas de alarmas.
- **GRAFCET:** Lenguaje gráfico de especificación de algoritmos secuenciales, utilizado para representar y diseñar los procesos de automatización en TIA PORTAL.
- **Variador de Frecuencia Siemens:** Dispositivo utilizado para controlar la velocidad de los motores eléctricos, optimizando el flujo de materiales en las bandas transportadoras.
- **Servos:** Actuadores precisos utilizados para controlar movimientos críticos en el proceso, como el corte y la aplicación de tratamientos al vidrio.
- **PT100:** Sensor de temperatura resistivo que utiliza platino para medir con precisión cambios en la temperatura.

### **Gestión del Tiempo:**

- **Diagrama de Gantt:** Herramienta utilizada para planificar y seguir el progreso del proyecto. Detalla todas las tareas e hitos importantes, asignando tiempos específicos para su realización.

- **Reuniones Semanales:** Sesiones de revisión con el equipo para evaluar el progreso, resolver problemas y ajustar el plan de trabajo según sea necesario.

#### **Gestión del Presupuesto:**

- **Estimación de Costos:** Evaluación inicial de los costos asociados con recursos humanos, herramientas, licencias de software, y equipos necesarios.
- **Registro de Gastos:** Seguimiento continuo de los gastos del proyecto para asegurarse de que se mantengan dentro del presupuesto estimado. Incluye la revisión y aprobación de gastos adicionales cuando sea necesario.

#### **Gestión de Riesgos:**

- **Identificación de Riesgos:** Lista de posibles riesgos que podrían afectar el proyecto, como el alto consumo de recursos computacionales.
- **Evaluación de Riesgos:** Análisis de la probabilidad e impacto de cada riesgo, priorizando aquellos que requieren atención inmediata.
- **Planes de Mitigación:** Estrategias para minimizar o eliminar los riesgos identificados. Por ejemplo, optimizaciones de código y uso eficiente de recursos computacionales para mitigar el riesgo de alto consumo de máquina.

#### **Control y Calidad:**

- **Criterios de Calidad:** Establecimiento de estándares de calidad que el proyecto debe cumplir, asegurando que el sistema funcione correctamente y simule con precisión el proceso de fabricación de vidrio templado.
- **Evaluación Continua:** Realización de pruebas a lo largo del desarrollo para garantizar el cumplimiento de los criterios de calidad. Incluye pruebas unitarias, de integración y de sistema.
- **Documentación:** Creación de informe de gestión para asegurar que el sistema sea fácil de usar y mantener.

### Diagrama de Gantt

	SEMANA 1 - 2	SEMANA 3 - 4	SEMANA 5 - 6	SEMANA 7 - 8	SEMANA 9 - 10	SEMANA 11 - 12	SEMANA 13 - 14
	5/02 - 19/02	19/02 - 4/03	4/03 - 18/03	18/03 - 01/04	01/04 - 15/04	15/04 - 29/04	29/04 - 13/05
Hacer CAD's piezas.							
Montar entorno 3D.							
Hacer GRAFCET proceso.							
Programar en TIA PORTAL.							
Conectar Automation y TIA PORTAL.							
Hacer sistema de monitoreo (comienza en la última semana de programación).							
Hacer documento final.							
					Responsable 1		
					Responsable 2		

*Ilustración 13 Diagrama de Gantt. Distribución y asignación de tareas. Autoría propia realizado en Excel ®*

## Diagrama de flujo

El diagrama de flujo del proceso presentado en el anexo 1 describe una secuencia detallada de seis etapas principales en la producción, desde la colocación del material en la banda hasta el empaque final. En la **Etapla 1**, el proceso comienza con el sensor de presencia en la banda (ED), seguido por la aplicación del servo (SD), el ajuste del variador para controlar la velocidad de la banda y la alarma de banda en movimiento. En la **Etapla 2**, el sensor de temperatura (EA) y el control de temperatura garantizan una fundición óptima de la mezcla, complementados por una alarma de temperatura máxima en el horno, un temporizador de horneado y una alarma en el transporte. La **Etapla 3** involucra la fase de moldeo, donde un sensor de material (ED) y un temporizador de tiempo de moldeo gestionan el proceso, junto con una alarma de finalización de moldeo y una alarma en el transporte. La **Etapla 4** se centra en el templado del material, utilizando un sensor de material (ED), una alarma de enfriamiento con un LED, un temporizador de templado y una alarma en el transporte. En la **Etapla 5**, el corte del material se realiza según las recetas especificadas, con un sensor de material (ED), un LED de corte encendido (SD), y un temporizador de corte con dos opciones para diferentes tamaños de corte, finalizando con una alarma de corte. Finalmente, la **Etapla 6** se ocupa del empaque, donde se selecciona entre dos opciones de empaque (una caja de 4 unidades para la receta 1 o una caja de 2 unidades para la receta 2), seguido por un LED de caja lista, un temporizador de empaquetado y un sensor de caja lista (ED).

Este diagrama de flujo proporciona una visualización clara y estructurada de cada paso y subproceso involucrado, asegurando un control y seguimiento eficiente del proceso de producción.

### **Capítulo 3. Desarrollo**

#### **Elementos 3D**

Como fase inicial del desarrollo del proyecto, se llevó a cabo una detallada selección de los elementos 3D que serían integrados en el entorno de Unity. Este proceso se realizó teniendo en cuenta las diferentes etapas de la elaboración del vidrio templado para ventanas, con el objetivo de crear una representación precisa y funcional de todo el proceso.

La primera etapa consiste en el almacenamiento de los materiales necesarios para la elaboración del vidrio. Estos materiales incluyen sílice, óxido de sodio y óxido de calcio, conocido comúnmente como cal. Cada uno de estos componentes se almacena en tanques específicos. En el anexo 2 se puede observar que estos tanques están ubicados sobre una plataforma de hormigón. Esta disposición se debe a que el material debe descender a través de una banda transportadora, siguiendo un flujo de mayor a menor altura, lo que se alinea con la secuencia del proceso de elaboración del vidrio. Esta configuración se ha diseñado para lograr una distribución más eficiente de la

planta y sus elementos, asegurando que cada componente esté estratégicamente colocado para optimizar el flujo de trabajo y la producción.

La segunda etapa del proceso de elaboración del vidrio consiste en la combinación y fusión de estos materiales. La mezcla sólida de sílice, óxido de sodio y óxido de calcio se introduce en un horno que alcanza temperaturas de hasta 1500°C. Este horno funde los materiales, creando un fluido viscoso que es esencial para la formación del vidrio. Para representar el horno de fundición en Unity, se modeló un cuarto de ladrillos que asemeja la estructura y forma de los componentes reales, tal como se muestra en el anexo 3.

Una vez que el fluido viscoso ha salido del horno de fundición, pasa a la siguiente fase en una cámara de flotabilidad con metales líquidos. Este proceso es crucial para moldear el vidrio en una película plana con un grosor homogéneo. Para representar esta etapa en Unity, se elaboró una "piscina" con cuatro paredes que contienen un fluido líquido, simulando los metales utilizados en la realidad. Esta representación se puede ver en el anexo 3.

Cuando la película de vidrio ya está formada, se somete a un proceso de templado. En esta etapa, el vidrio es calentado nuevamente y luego enfriado rápidamente para aumentar su resistencia y durabilidad. La representación de este horno de templado en Unity se evidencia en el anexo 4.

La siguiente etapa del proceso es el corte del vidrio en las medidas determinadas. Este corte se realiza utilizando una punta dura que se pasa por la superficie del vidrio, creando una línea de fractura por donde se realizará el corte. Luego, se aplica presión



para separar la sección de vidrio a lo largo de esta línea. Este método de corte asegura precisión y minimiza el desperdicio de material.

Finalmente, el vidrio ya cortado se dispone en estibas para su empaquetado y distribución. Estas estibas aseguran que las piezas de vidrio sean manejadas y transportadas de manera segura, evitando daños durante el traslado. La representación de las estibas y el empaquetado final del vidrio se muestra en el anexo 5.

Este detallado proceso de elaboración del vidrio templado para ventanas, desde la selección de materiales hasta el empaquetado final, ha sido cuidadosamente modelado en Unity para proporcionar una visión clara y precisa de cada etapa, asegurando que cada elemento se alinee con los procedimientos reales de manufactura.

## **Especificaciones de elementos**

### **1. Tanques de Almacenamiento**

En la fase inicial del proceso de elaboración del vidrio templado para ventanas, se cuenta con tanques especializados destinados al almacenamiento de los materiales básicos necesarios para la mezcla inicial. Estos materiales incluyen sílice, óxido de sodio y óxido de calcio, este último comúnmente conocido como cal. Cada material se almacena en su respectivo tanque, diseñados para mantener la pureza y la integridad de los componentes antes de su utilización. Estos tanques están situados estratégicamente sobre una plataforma de hormigón robusta, la cual ha sido construida

para soportar el peso significativo de los materiales contenidos. La disposición elevada de los tanques facilita el flujo descendente de los materiales hacia la siguiente etapa del proceso, aprovechando la gravedad para un transporte más eficiente. Esta configuración no solo optimiza el flujo de trabajo, sino que también minimiza el riesgo de contaminación cruzada entre los diferentes materiales. En Unity, estos tanques están representados de manera realista, con una atención meticulosa a los detalles, como se muestra en el anexo 2.

## **2. Plataforma de Hormigón**

La plataforma de hormigón sobre la cual se ubican los tanques de almacenamiento es una estructura fundamental en el diseño de la planta. Esta plataforma no solo proporciona una base sólida y estable para los tanques, sino que también está diseñada para resistir el desgaste y las tensiones asociadas con el proceso de manufactura. La elección del hormigón como material de construcción asegura durabilidad y longevidad, cruciales para soportar las operaciones continuas de la planta. La altura de la plataforma se ha calculado meticulosamente para facilitar el flujo descendente de los materiales, permitiendo una transferencia eficiente desde los tanques hasta la banda transportadora. Esta disposición contribuye significativamente a la eficiencia del proceso, asegurando que los materiales fluyan de manera controlada y sin interrupciones hacia el siguiente punto del ciclo de producción.

## **3. Banda Transportadora**

La banda transportadora juega un papel vital en el traslado de los materiales desde los tanques de almacenamiento hasta el horno de fundición. Diseñada para operar en una pendiente que permite el flujo descendente, la banda transportadora asegura que los materiales se muevan de manera continua y eficiente, minimizando el riesgo de acumulaciones o bloqueos. Este sistema de transporte es crucial para mantener el ritmo de producción y garantizar que los materiales lleguen al horno de fundición en el momento adecuado y en las cantidades necesarias. En Unity, la banda transportadora ha sido modelada con precisión, destacando su importancia en la cadena de producción y su integración con otros elementos del sistema.

#### **4. Horno de Fundición**

El horno de fundición es un componente esencial en la producción del vidrio templado, operando a temperaturas extremadamente altas, alcanzando hasta 1500°C. Este horno está construido con ladrillos refractarios capaces de soportar el calor intenso necesario para fundir la mezcla de sílice, óxido de sodio y óxido de calcio. El proceso de fusión transforma estos materiales en un fluido viscoso, que es la base para la formación del vidrio. En Unity, el horno de fundición ha sido representado como un cuarto de ladrillos, que imita fielmente la estructura y el funcionamiento del horno real, proporcionando una visualización clara y detallada del proceso, como se muestra en el anexo 3.

#### **5. Cámara de Flotabilidad**

Después de la fusión, el fluido viscoso es transferido a una cámara de flotabilidad, donde se lleva a cabo el moldeo del vidrio. Esta cámara utiliza metales líquidos para crear una superficie sobre la cual el vidrio puede flotar y expandirse, formando una película plana de grosor homogéneo. La precisión de esta etapa es crucial para asegurar la calidad del vidrio templado. La cámara de flotabilidad está representada en Unity como una piscina con cuatro paredes que contienen el fluido de metal líquido, simulando con exactitud las condiciones reales del proceso. Esta representación, visible en el anexo 3, destaca la importancia de esta etapa en la obtención de un producto final de alta calidad.

## **6. Horno de Templado**

El horno de templado es una etapa crucial en la producción del vidrio templado, donde el vidrio formado se somete a un proceso de calentamiento y enfriamiento rápido. Este tratamiento térmico aumenta significativamente la resistencia y durabilidad del vidrio, haciéndolo adecuado para su uso en ventanas. En Unity, el horno de templado ha sido modelado para reflejar con precisión su función y ubicación en la secuencia de producción. La visualización en el anexo 4 proporciona una comprensión clara de cómo el vidrio es fortalecido mediante este proceso, asegurando su capacidad para resistir impactos y tensiones.

## **7. Herramienta de Corte**

El corte del vidrio es una etapa crítica que requiere precisión y cuidado. Este proceso se lleva a cabo utilizando una herramienta de corte con una punta dura, como diamante o carburo de tungsteno, que se pasa por la superficie del vidrio, creando una línea de fractura. Posteriormente, se aplica presión a lo largo de esta línea para separar el vidrio de manera precisa. Este método asegura que el vidrio sea cortado en las dimensiones exactas requeridas, minimizando el desperdicio y asegurando un producto final de alta calidad.

## **8. Estibas para Empaquetado**

Las estibas utilizadas para el empaquetado y almacenamiento del vidrio cortado están diseñadas para proporcionar soporte y protección durante el transporte. Generalmente construidas de madera o metal, estas estibas están diseñadas para manejar el peso y la fragilidad del vidrio, asegurando que las piezas se mantengan seguras y sin daños. En Unity, las estibas han sido representadas para mostrar cómo las piezas de vidrio son empaquetadas y preparadas para el envío, como se detalla en el anexo 5. Esta representación ayuda a visualizar el proceso final de manejo y almacenamiento del vidrio templado, asegurando que se mantenga la calidad hasta que llegue a su destino final.

## **Graficets**

El diagrama GRAFCET nivel 1 nos muestra paso a paso cómo se desarrolla el proceso de elaboración de vidrio templado. Comienza con la banda transportadora funcionando

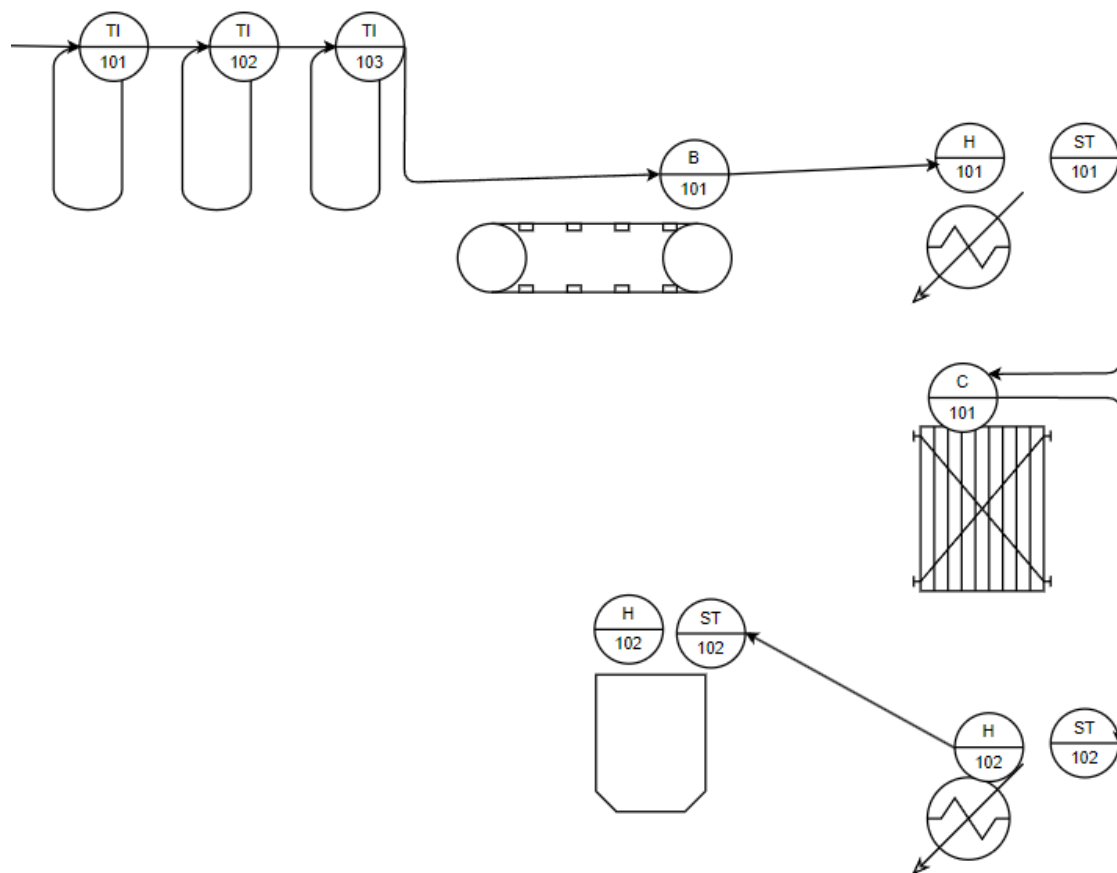
lentamente y los indicadores LED apagados. Cuando el material es detectado en la posición inicial, la banda acelera, llevando los componentes hacia el horno de fundición. Aquí, un LED indica que la etapa de fundición ha comenzado y se mantiene encendido durante un tiempo establecido, tras lo cual la banda se reinicia y el LED se apaga. Luego, el material pasa a la etapa de moldeo donde otro LED se enciende al detectar la presencia del fluido, deteniendo la banda y apagando el LED de movimiento. Después de un baño en metales líquidos, el material pasa a la etapa de templado, activando el proceso de enfriamiento y cortado, indicados por LEDs específicos. Finalmente, el material cortado se empaqueta con la activación de otro LED, concluyendo así el proceso.

En cuanto al GRAFCET nivel 2, este desglosa cada componente y acción del proceso en variables claramente identificadas. Los motores de la banda, los sensores de presencia en cada etapa, y los LEDs indicadores tienen asignadas variables que los representan en el sistema de control. Esto simplifica la programación y monitoreo del proceso, permitiendo un manejo más eficiente y preciso de cada etapa. Los motores controlan el movimiento de la banda, mientras que los sensores detectan el material y activan las acciones correspondientes, como detener la banda o iniciar el proceso de enfriamiento. Los LEDs, por su parte, proporcionan información visual sobre el estado de cada etapa, facilitando la supervisión del proceso en tiempo real.

Ambos niveles de GRAFCET, combinados, ofrecen una representación detallada y estructurada del proceso de elaboración de vidrio templado. Desde el inicio del proceso hasta el empaquetado final, cada acción está claramente definida y controlada,

asegurando una producción eficiente y de alta calidad. La implementación de este sistema en Unity permite una visualización y simulación precisa de todo el proceso, brindando una herramienta invaluable para el diseño, monitoreo y optimización de la producción de vidrio templado. Esto se ve en el anexo 7.

## Diagrama PI&D



*Ilustración 14 Diagrama P&ID*

El diagrama PI&D es como un mapa que nos muestra cómo funciona una fábrica o una planta. Imagina que estás mirando un dibujo donde puedes ver las tuberías por donde

pasan los materiales, como el agua o el aceite, y también los equipos que controlan todo, como las bombas o las válvulas. También hay símbolos que nos indican qué instrumentos se usan para medir cosas como la temperatura o la presión.

Lo que hace especial al PI&D es que nos muestra cómo están conectadas todas estas partes y cómo se controlan. Por ejemplo, si hay una válvula que regula el flujo de agua, el PI&D nos dice dónde está esa válvula, qué sentido tiene que esté abierta o cerrada, y cómo afecta eso al proceso de producción. También nos indica por dónde entran los materiales y por dónde salen los productos finales.

Para los ingenieros y los trabajadores de la planta, el PI&D es muy importante porque les ayuda a entender cómo está organizada la fábrica y cómo pueden mejorarla. Si ven que hay un problema con la presión en una tubería, por ejemplo, pueden mirar el PI&D para saber dónde está el medidor de presión y cómo ajustarlo. Además, es útil para cumplir con las normas de seguridad y calidad, ya que muestra cómo se controlan las condiciones del proceso.

### **Caracterización del sistema y diseño del controlador**

Para realizar la caracterización del sistema de control de temperatura con el PLC S7-1500 y la PT100, se tomaron medidas específicas para garantizar una precisión adecuada en la lectura de temperatura. La PT100 es un sensor de resistencia que varía su valor con la temperatura, y para obtener una lectura precisa, se escaló



adecuadamente. En este caso, se escaló la PT100 para adaptar su rango de valores a los requeridos por el PLC S7-1500, que normalmente trabaja con valores de 4 a 20 mA para las entradas analógicas.

Inicialmente, se calibró la PT100 para que su rango de medición se ajustara al rango de corriente de 4 a 20 mA. Esto se logró mediante un cálculo de escala lineal, donde se asignó el valor de 4 mA a la temperatura mínima que se deseaba medir y el valor de 20 mA a la temperatura máxima. Por ejemplo, si se deseaba medir un rango de temperatura de 0 a 100 grados Celsius, se asignaría 4 mA a 0 grados Celsius y 20 mA a 100 grados Celsius, con una escala lineal entre estos dos puntos para las demás temperaturas dentro de ese rango.

El objetivo de esta escala es asegurar que la PT100 proporcione una señal de corriente que el PLC pueda interpretar de manera precisa y utilizar para calcular la temperatura real del sistema. Al escalar la PT100 de esta manera, se garantiza que la lectura de temperatura sea proporcional a la señal de corriente que recibe el PLC, facilitando así el proceso de control y ajuste de la temperatura a través del controlador PID.

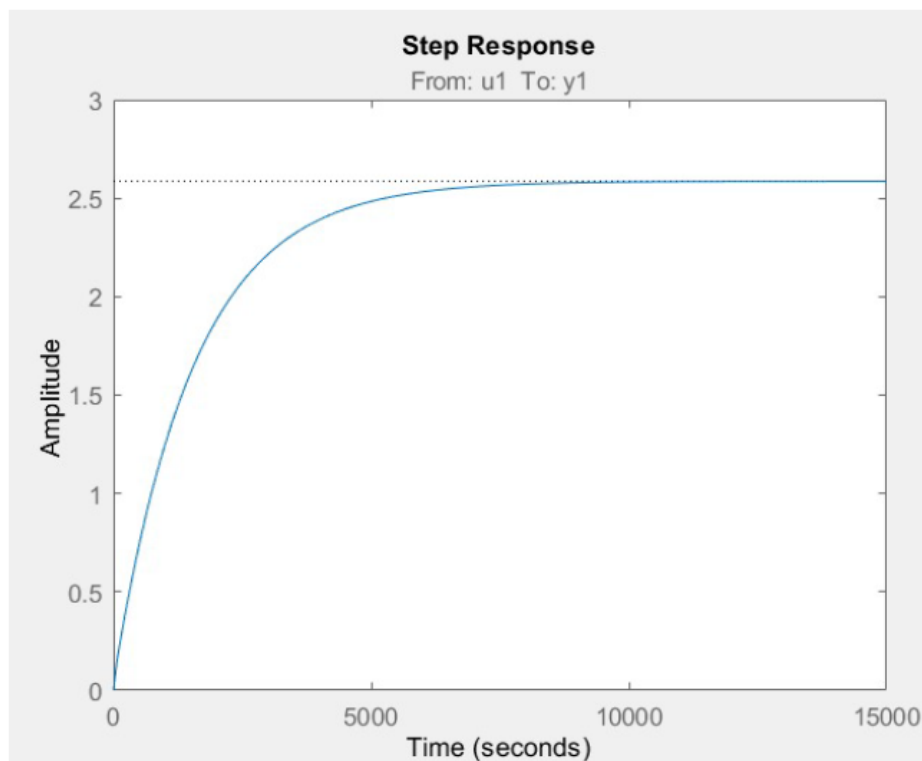
Este enfoque detallado en la escala de la PT100 es crucial para asegurar una medición precisa de la temperatura, lo que a su vez influye directamente en la efectividad del controlador PID al mantener la temperatura del sistema dentro de los límites deseados con una alta precisión y estabilidad.

Una vez obtenidos los valores de la planta con un bombillo de 60W se ingresaron los datos a la herramienta de Matlab System ident la cual nos proporcionó la función de transferencia presentada en la ecuación a continuación.

Esta función de transferencia nos ofrece un punto de partida para el análisis de la planta y su posterior control.

$$f(t) = \frac{0.41s + 0.22}{s^2 + 10.05s + 0.1819}$$

*Ecuación 1 Función de transferencia System Ident Matlab ®*



*Ilustración 15 Respuesta respecto al tiempo en lazo cerrado de la función de transferencia obtenida*

Para el diseño del controlador por asignación de polos, optamos por utilizar un controlador Proporcional-Integral (PI) debido al alto tiempo de estabilización de la planta. Agregar una constante derivativa aumentaría el error, lo que resultaría

en un mayor tiempo de estabilización. Nuestro objetivo con este controlador es lograr que la planta se estabilice en aproximadamente 310 segundos o 5.2 minutos. Para iniciar el diseño del PI por asignación de polos, establecimos nuestras condiciones de diseño deseadas, como un máximo sobreimpulso ( $M_p$ ) del 5% y un tiempo de establecimiento ( $T_s$ ) de 310 segundos.

Después de definir nuestras características deseadas, utilizamos las ecuaciones generales para el controlador por asignación de polos. Calculamos que el coeficiente de amortiguamiento ( $\zeta$ ) es aproximadamente 0.69 y la frecuencia natural ( $\Omega_n$ ) es aproximadamente 0.0187. Esto nos lleva al polinomio deseado para el sistema.

Considerando que el controlador es de tipo PI, su función de transferencia es de la forma:

$$C = \frac{32.11s + 0.79}{40.64s}$$

*Ilustración 16 Función de transferencia del controlador*

$$H = \frac{0.3105s^2 + 0.1779s + 0.004189}{s^3 + 12.33s^2 + 0.3172s + 0.004189}$$

*Ilustración 17 Función de transferencia del lazo cerrado*

## **Capítulo 4. Resultados obtenidos**

### **1. Proceso Virtual en Software 3D y Conexión con PLC:**

Conectar un PLC Siemens S7-1500 con Unity a través de la librería S7.Net es un proceso esencial para la automatización industrial y el control de procesos. Para lograr una comunicación efectiva entre estos dos entornos, es crucial seguir una serie de pasos detallados que garanticen una integración exitosa y un funcionamiento óptimo del sistema.

En primer lugar, la configuración adecuada en el entorno del TIA Portal es fundamental. Esto implica establecer las propiedades correctas en los bloques de datos del PLC y asegurarse de proporcionar acceso completo para la comunicación. Estos ajustes son vitales para que Unity pueda interactuar de manera efectiva con el PLC.

Una vez configurado el TIA Portal, el siguiente paso es incorporar la biblioteca S7.Net en el proyecto de Unity. Esto se logra agregando el archivo DLL correspondiente de la librería S7.Net al proyecto. Esta biblioteca actúa como el puente que permite la comunicación entre Unity y el PLC Siemens S7-1500.

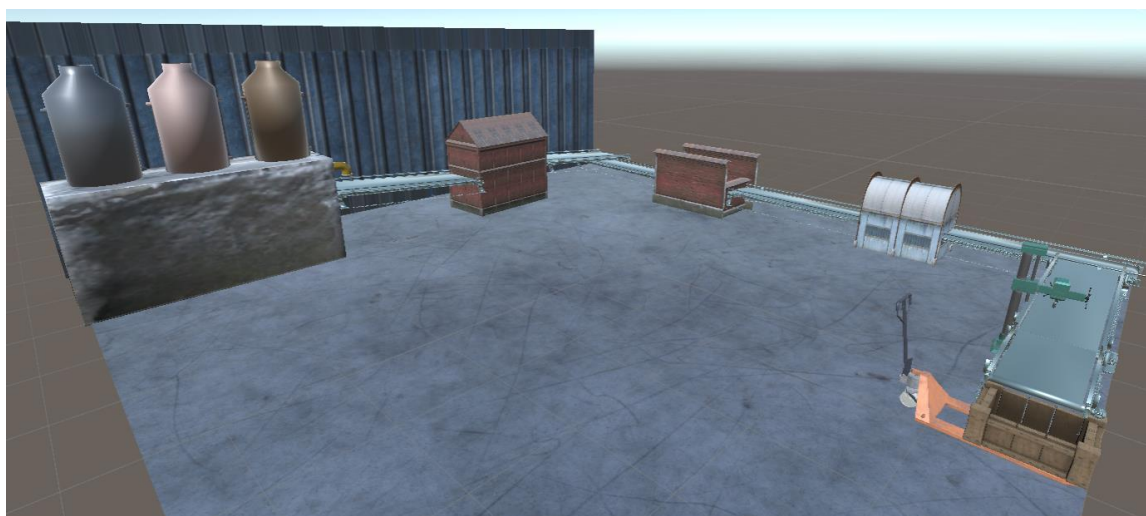
Una vez que la biblioteca S7.Net está integrada en Unity, es necesario definir una variable global que represente al PLC y especificar la dirección IP del PLC en esta variable. La dirección IP es esencial ya que establece la conexión entre Unity y el PLC, permitiendo el intercambio de datos entre ambos sistemas.

Con la dirección IP configurada y la conexión establecida mediante la biblioteca S7.Net, se abren posibilidades para realizar operaciones de lectura y escritura de datos entre Unity y el PLC. Estas operaciones incluyen el envío de señales discretas y datos analógicos, lo que facilita el monitoreo y control de procesos industriales desde Unity.

Durante el proceso de configuración, es fundamental seguir las instrucciones detalladas proporcionadas en la documentación de S7.Net. Esto garantiza que la comunicación esté configurada correctamente tanto en el TIA Portal como en Unity, y que se establezcan las variables y parámetros necesarios para la transmisión y recepción de datos de manera efectiva.

Una vez que la comunicación está establecida y las operaciones básicas de lectura y escritura de datos están configuradas, es posible implementar controles más avanzados dentro de Unity. Estos controles permiten interactuar con el PLC de manera más compleja, lo que facilita el monitoreo y control preciso de procesos industriales desde la plataforma de Unity.

La biblioteca S7.Net es compatible con una amplia gama de PLC Siemens, incluyendo el S7-1500, lo que brinda flexibilidad para trabajar con diferentes modelos de PLC en proyectos de automatización industrial. Además, la capacidad de depuración en C# facilita el desarrollo y la solución de problemas durante la integración y el desarrollo de aplicaciones.



*Ilustración 18 Entorno de Unity empleado autoría propia Unity®*

En el anexo 9 se presenta el código utilizado para realizar la comunicación entre el entorno 3D y la Plc. Hay que prestar especial atención a la tasa de refresco de envío y lectura de datos debido a que esto consume capacidad de máquina y se puede ver afectado el funcionamiento.

Para que pueda funcionar este método de comunicación se debe considerar el gameobject para que los elementos del entorno respondan correctamente a las condiciones enviadas por código. Adicionalmente, al momento de configurar el entorno

es imperativo adicionar las colisiones y las físicas de los objetos como gravedad y límites de contacto para que al simular sea coherente y se acerque a la realidad.

## **2. Aplicación de Entradas y Salidas Digitales:**

En la implementación de este proyecto las entradas y salidas digitales se encuentran principalmente en los sensores de inicio y final de cada una de las etapas, estas señales serán representadas físicamente por botones que determinarán el paso de una parte del proceso a otro, entre las implementadas se encuentran las 5 alarmas de proceso, la alarma de movimiento de banda y la de máximo de temperatura.

Tabla de variables estándar									
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	s	
1	M	Bool	%A0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	LM	Bool	%A0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	LT	Bool	%A0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	LE2	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	LE3	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	LE4	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	LE5	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	LE6	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	SP1	Bool	%A1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	SP2	Bool	%A1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	SP3	Bool	%A1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	SP4	Bool	%A1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	SP5	Bool	%A1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
14	Tag_2	Timer	%T1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
15	T1	Bool	%M2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
16	T2	Bool	%M2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
17	T3	Bool	%M2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
18	T4	Bool	%M2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
19	T5	Bool	%M2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
20	T6	Bool	%M2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
21	T7	Bool	%M2.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
22	R1	Bool	%M2.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
23	HC1	Bool	%A3.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
24	R2	Bool	%A3.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
25	HC2	Bool	%A3.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
26	T8	Bool	%M3.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
27	T9	Bool	%M3.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
28	T10	Bool	%M3.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
29	Tag_1	Timer	%T1 1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

*Ilustración 19 Variables utilizadas Tia Portal ®*

### 3. Manejo de Variable Análoga (Temperatura):

El proceso de normalización y escalado de la señal de una termocupla PT100 para una temperatura máxima de 24°C implica ajustes específicos en el PLC Siemens S71500.

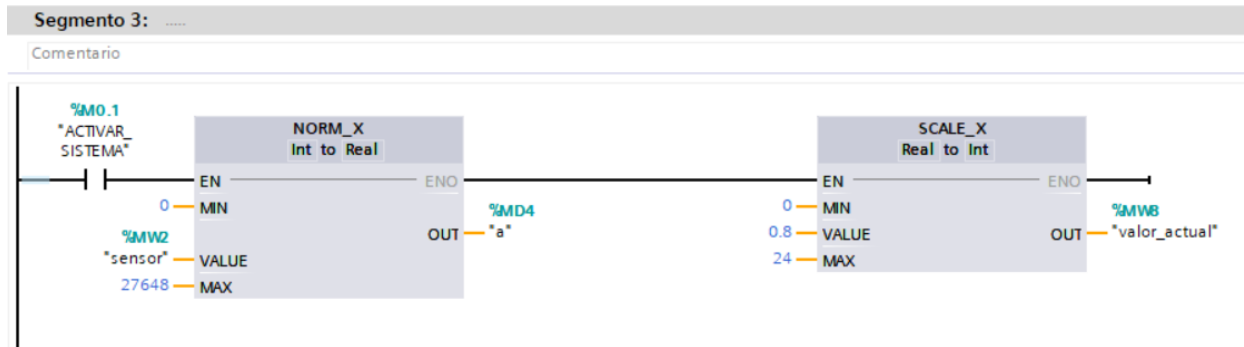
En primer lugar, la normalización se realiza utilizando el bloque "Norm X", donde se establecen los parámetros mínimos y máximos que reflejan el rango de temperaturas



que se desean medir. En este caso, el valor mínimo se fijaría en 0°C y el máximo en 24°C para adecuar la señal de la termocupla a esta escala específica.

Posteriormente, se procede con el escalado de la señal normalizada utilizando el bloque "Scale X". Aquí se configura el rango de valores en el que se desea mapear la señal normalizada, es decir, el rango de temperaturas que se van a representar en la salida del PLC. Para una temperatura máxima de 24°C, se establecerían los valores mínimo y máximo correspondientes en este bloque para obtener lecturas precisas y proporcionales a la temperatura real medida por la termocupla.

En cuanto a mi experiencia aplicando este proceso, fue necesario ajustar los parámetros del bloque "Norm X" para reflejar el rango de temperaturas de 0°C a 24°C, asegurando así una normalización adecuada de la señal de la termocupla. Luego, configuré el bloque "Scale X" para escalar esta señal normalizada dentro del rango deseado, garantizando lecturas precisas y confiables de la temperatura medida por la termocupla en el entorno industrial específico.



*Ilustración 20 KOP Normalizado y escalado de la variable de temperatura para el proceso*

En la ilustración 20 podemos observar la normalización de 0 a 27648 definida en principio para la lectura de nuestro sensor (Termocupla) y posteriormente y en base a la variable de normalización procedemos a escalar el valor entre un rango de 0 y 24 para emular la temperatura que puede llegar a alcanzar nuestra planta física que se encuentra constituida por un bombillo de 60W que calentara la pt100 (Termocupla utilizada para la medición de temperatura en el proyecto).

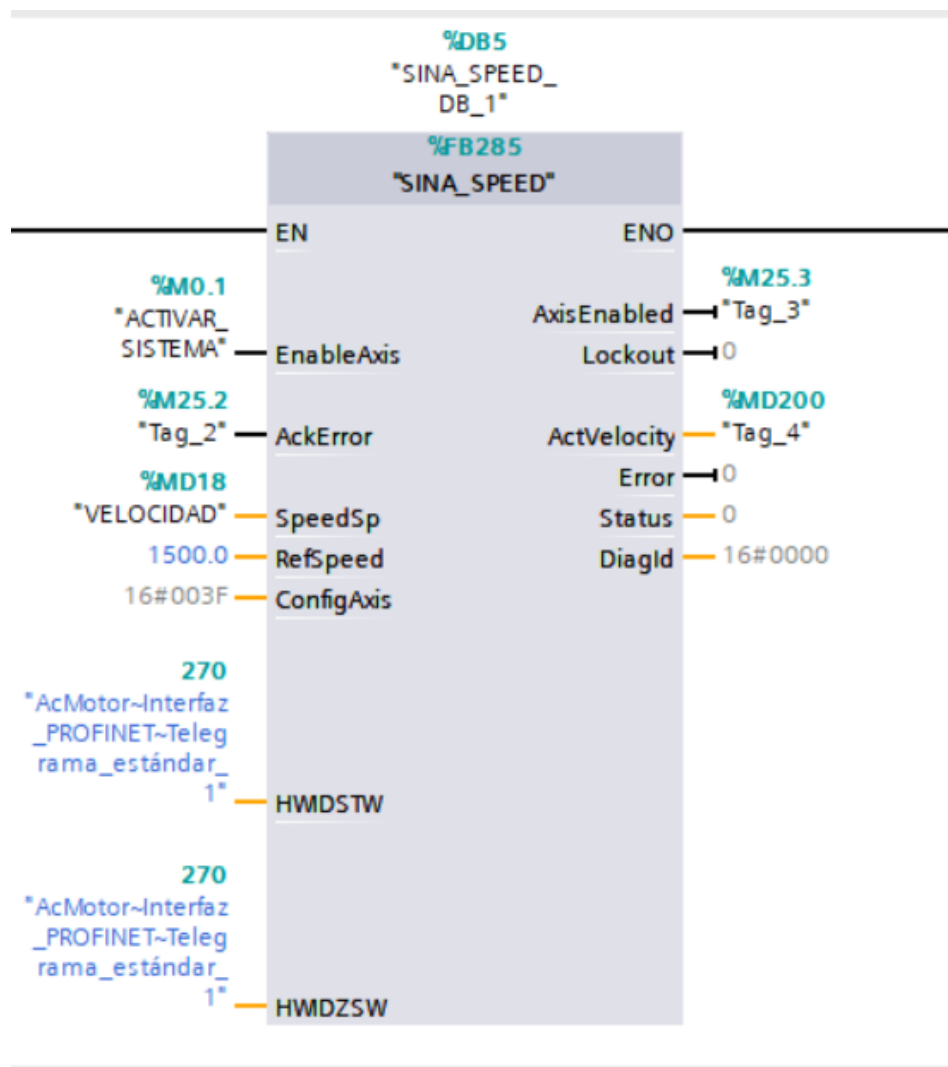
#### 4. Control PID y Estrategia de Control:

El control PID en TIA Portal ha sido fundamental para la regulación de la temperatura en nuestra planta. A través de una cuidadosa configuración de los parámetros del PID Compact, como el set point y las entradas y salidas del PLC, logramos un control preciso y efectivo de la temperatura en nuestro sistema. La capacidad del controlador PID para ajustar dinámicamente la salida en función de la diferencia entre el set point y la entrada análoga fue especialmente destacada, asegurando así un control estable y

óptimo de la temperatura. Además, la flexibilidad del PID en cuanto a la posibilidad de ajustar los parámetros del peine, tanto de forma manual como automática, nos permitió adaptar el control PID a nuestras necesidades específicas, asegurando un funcionamiento eficiente y confiable en nuestro sistema de control de temperatura.

## **5. Aplicación de Variador de Velocidad y Servo en el Proceso.**

Para el control de la velocidad del variador, se emplea el bloque SINA-Speed, cuya configuración se detalla a continuación. En la figura 20 se muestra la configuración específica para el control de velocidad. Este bloque se ajusta conectando la variable de inicio del proceso, denominada "EnableAxis", que indica la activación del sistema. Asimismo, en el campo RefSpeed se establecen las RPM máximas del variador, fijadas en 1500 en este caso particular. Los parámetros HWIDSTQ y HWIDZSW se refieren a la configuración de comunicación para la lectura y escritura de variables respectivamente. Es importante destacar que los espacios restantes del bloque se asignan a áreas de memoria en el programa, aunque no se utilicen activamente en esta configuración específica.

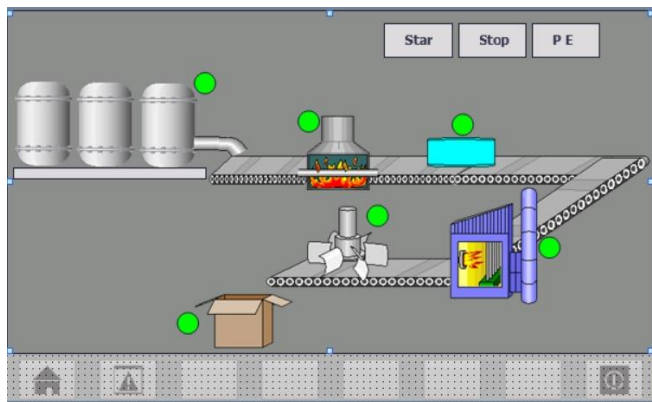


*Ilustración 21 Bloque de configuración del variador.*

## 6. Sistema SCADA:

El sistema de supervisión SCADA desde la HMI cuenta con 5 indicadores lumínicos correspondientes a las alarmas de inicio de fase; también, se puede apreciar de manera muy similar al entorno 3D presentado en los anexos la distribución de los elementos en la pantalla, esto, de manera que pueda ser amigable al usuario identificar

la secuencialidad y la correspondencia de lo visualizado en el SCADA con respecto a lo del entorno 3D. Esta pantalla está diseñada para poder ver las señales de alerta en caso de percances en el desarrollo del programa ó, por el contrario, observar la fluencia de ejecución con las indicadoras.



*Ilustración 22 Sistema de Supervisión en la HMI*

## **7. Integración con Plataformas Externas:**

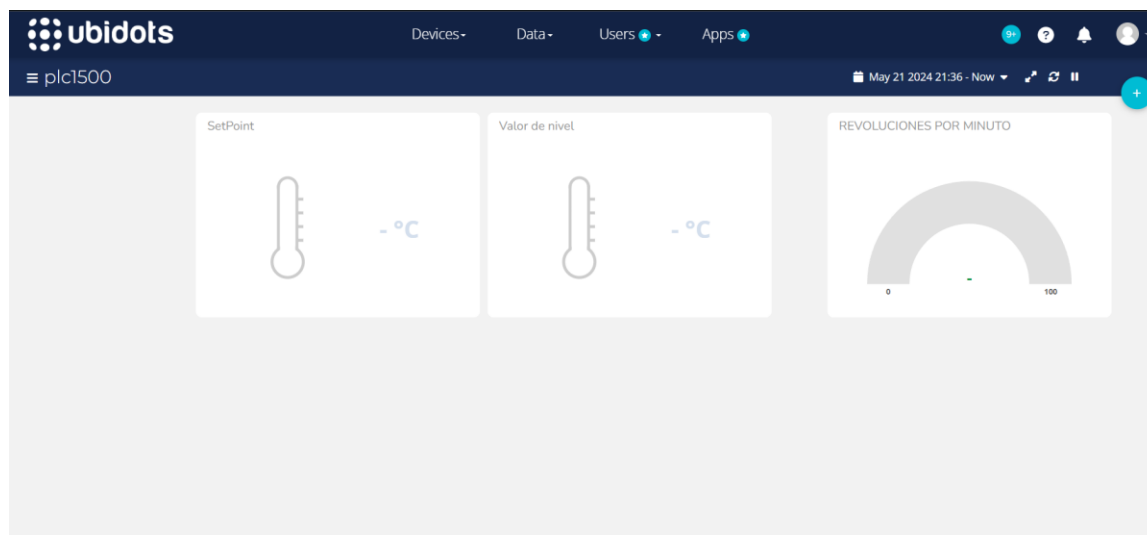
Para implementar IoT, se emplearon dos programas esenciales: Node-Red y Ubidots. Node-Red es una plataforma visual que permite almacenar y transmitir datos, utilizada para recibir variables de una PLC y enviarlas a Ubidots, una plataforma en la nube para visualizar información en tiempo real.

El proceso inicia con la instalación de Node-Red desde su página oficial mediante comandos en PowerShell. Luego, se accede a la interfaz de Node-Red en el localhost específico para nuestra aplicación, donde se instala la librería node-red-contrib-s7 para la comunicación con la PLC.

La configuración de la comunicación con la PLC se realiza a través del bloque "S7 IN" en Node-Red. Al configurar este bloque, se ingresa la dirección IP de la PLC y se agregan las variables desde la pestaña correspondiente.

Se emplea el bloque de función para almacenar localmente la variable de la PLC y luego se utiliza el bloque `ubidotsplc` para enviar los datos a Ubidots.

En Ubidots, se crea el entorno de visualización seleccionando las gráficas deseadas y relacionándolas con las variables correspondientes, lo que permite obtener una visualización en tiempo real de los datos.



*Ilustración 23. Plataforma de Ubidots.*

## **Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones**

El proyecto ha logrado desarrollar una representación virtual detallada y precisa del proceso de elaboración de vidrio templado para ventanas, utilizando el entorno de Unity. Cada etapa, desde el almacenamiento de los materiales hasta el empaquetado final, ha sido modelada meticulosamente. Esto no solo proporciona una visualización clara y funcional del proceso, sino que también facilita la identificación de posibles mejoras en el flujo de trabajo y la optimización de la producción. La integración del PLC Siemens S7-1500 con Unity a través de la biblioteca S7.Net demuestra la viabilidad de utilizar entornos virtuales para el control y monitoreo de procesos industriales. Esta integración ha permitido la simulación precisa de operaciones de lectura y escritura de datos, proporcionando una herramienta poderosa para el diseño, supervisión y optimización de sistemas de manufactura. La conexión efectiva entre el entorno 3D y el PLC ha sido fundamental para asegurar que las simulaciones sean coherentes y realistas. Además, esta simbiosis tecnológica asegura que la virtualización no solo sea una representación visual, sino también una plataforma de interacción dinámica con el proceso real. La aplicación del controlador PID para la regulación de temperatura en el proceso de elaboración del vidrio templado ha sido crucial para mantener la estabilidad y precisión del sistema. A través de la correcta configuración de los parámetros del PID Compact en TIA Portal, se ha logrado un control eficiente y efectivo, asegurando la calidad y consistencia del producto final. La utilización de herramientas como Matlab para la identificación del sistema y el diseño del controlador ha sido clave en este éxito. Esta integración y control preciso no solo mejoran la calidad del producto, sino que

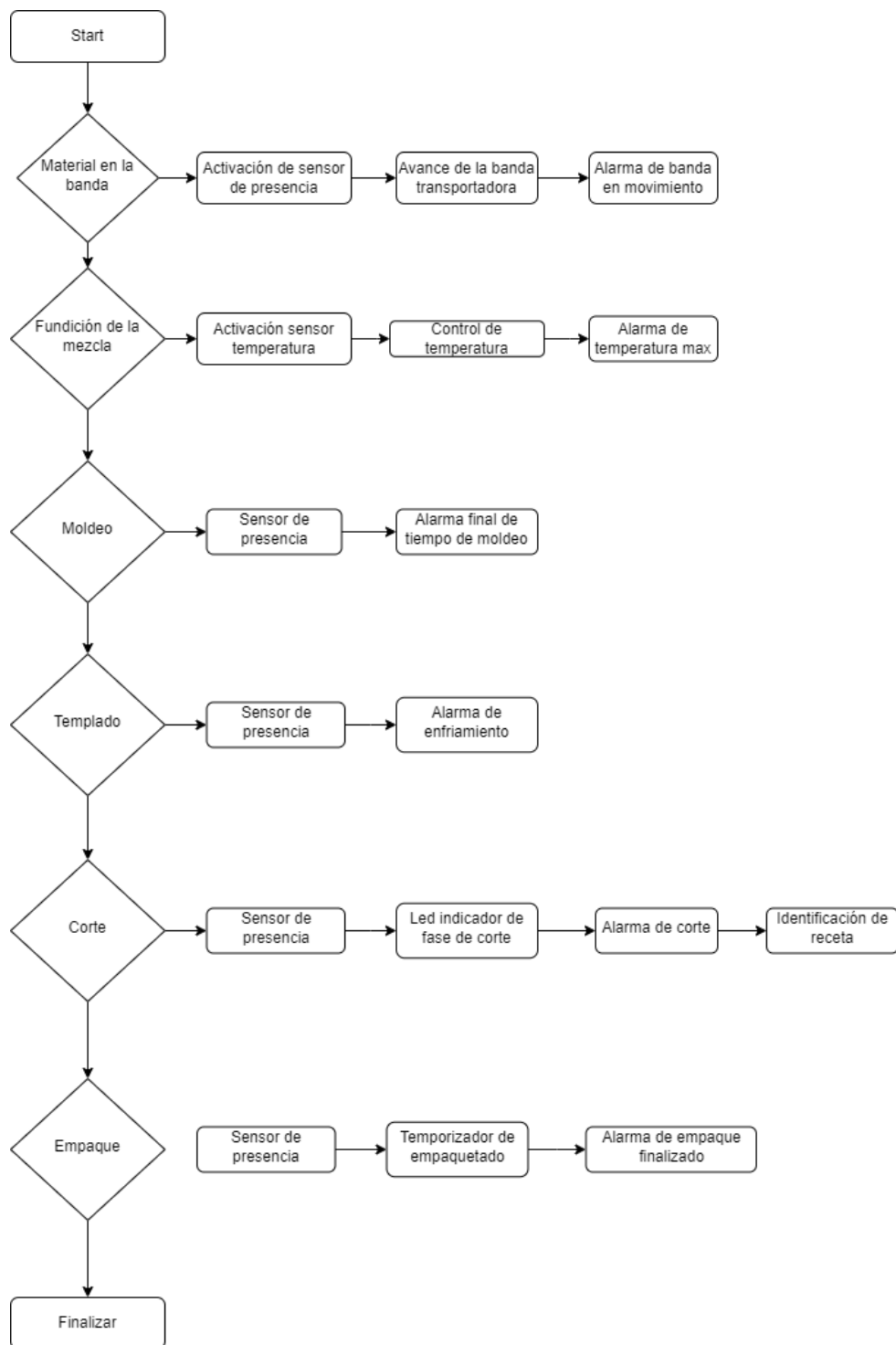
también reducen el desperdicio y optimizan el uso de recursos. Es recomendable continuar con la optimización y el refinamiento de la simulación en Unity, especialmente en lo que respecta a la tasa de refresco de envío y lectura de datos. Esto ayudará a asegurar que el consumo de recursos de la máquina no afecte el funcionamiento del sistema. Además, se debe prestar atención constante a la precisión de los modelos 3D y su coherencia con los procesos reales, ajustando los parámetros según sea necesario para reflejar cualquier cambio en el entorno de producción. La mejora continua de estos aspectos garantizará que el sistema se mantenga eficiente y relevante a lo largo del tiempo. Se sugiere expandir el uso de plataformas IoT como Node-Red y Ubidots para la supervisión y control remoto del sistema. La integración de más variables y sensores podría proporcionar una visión aún más completa del proceso, mejorando la capacidad de respuesta y la toma de decisiones. Esta ampliación permitiría una mayor eficiencia operativa y un control más robusto, asegurando que cualquier anomalía o desviación en el proceso pueda ser detectada y corregida de manera oportuna. Así, se fortalecerá la capacidad del sistema para adaptarse a futuros desafíos y oportunidades tecnológicas, manteniendo su competitividad y eficacia. El uso de HMI para poder visualizar todo el desarrollo del programa se volvió muy intuitivo en la medida en que pudimos hacer uso de parámetros de animación con los que cuenta el entorno lo cual nos permite apreciar el movimiento de objetos en las bandas transportadoras u el titileo de luces de alarma y niveles de material a alta temperatura que se encuentran implícitos en nuestro proceso, además de poder tener una visualización en tiempo real gracias al uso de la



herramienta WinCC que nos permite poder visualizar el proceso desde un área remota, otro aspecto que no fue menos importante fue el uso de variables análoga que afectan al sistema desde el entorno real , para la lectura de estas fue de gran ayuda las funciones NORM\_X Y SCALE\_X las cuales nos permitieron obtener un valor entre 0 y 24°C que podemos utilizar en el programa para evaluar condiciones de funcionamiento.

## Anexos

Anexo 1. Diagrama de flujo proceso.



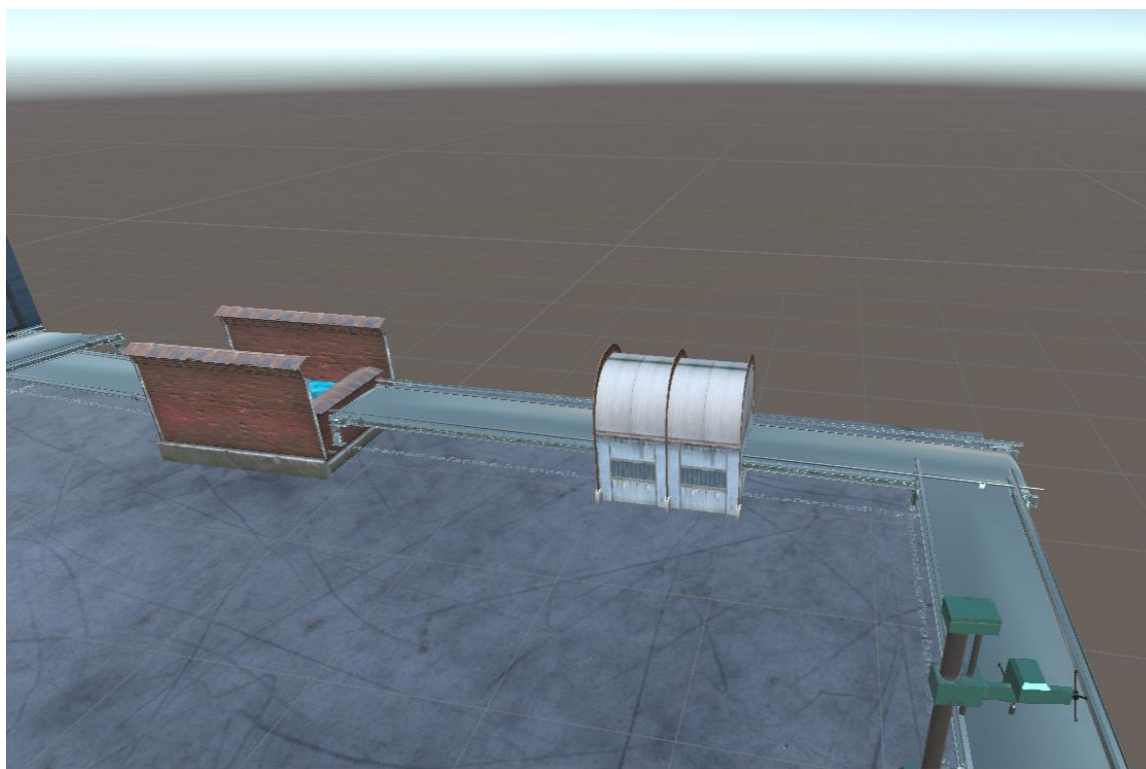
Anexo 2. Etapa 1 y 2.



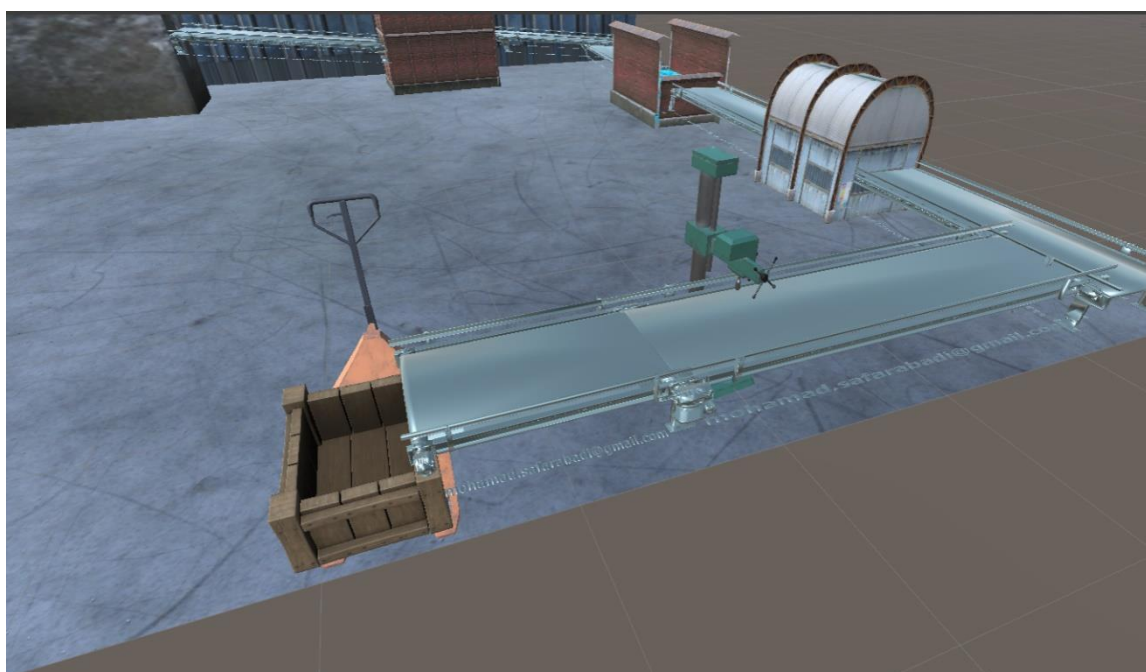
Anexo 3. Etapa 1, 2, 3.



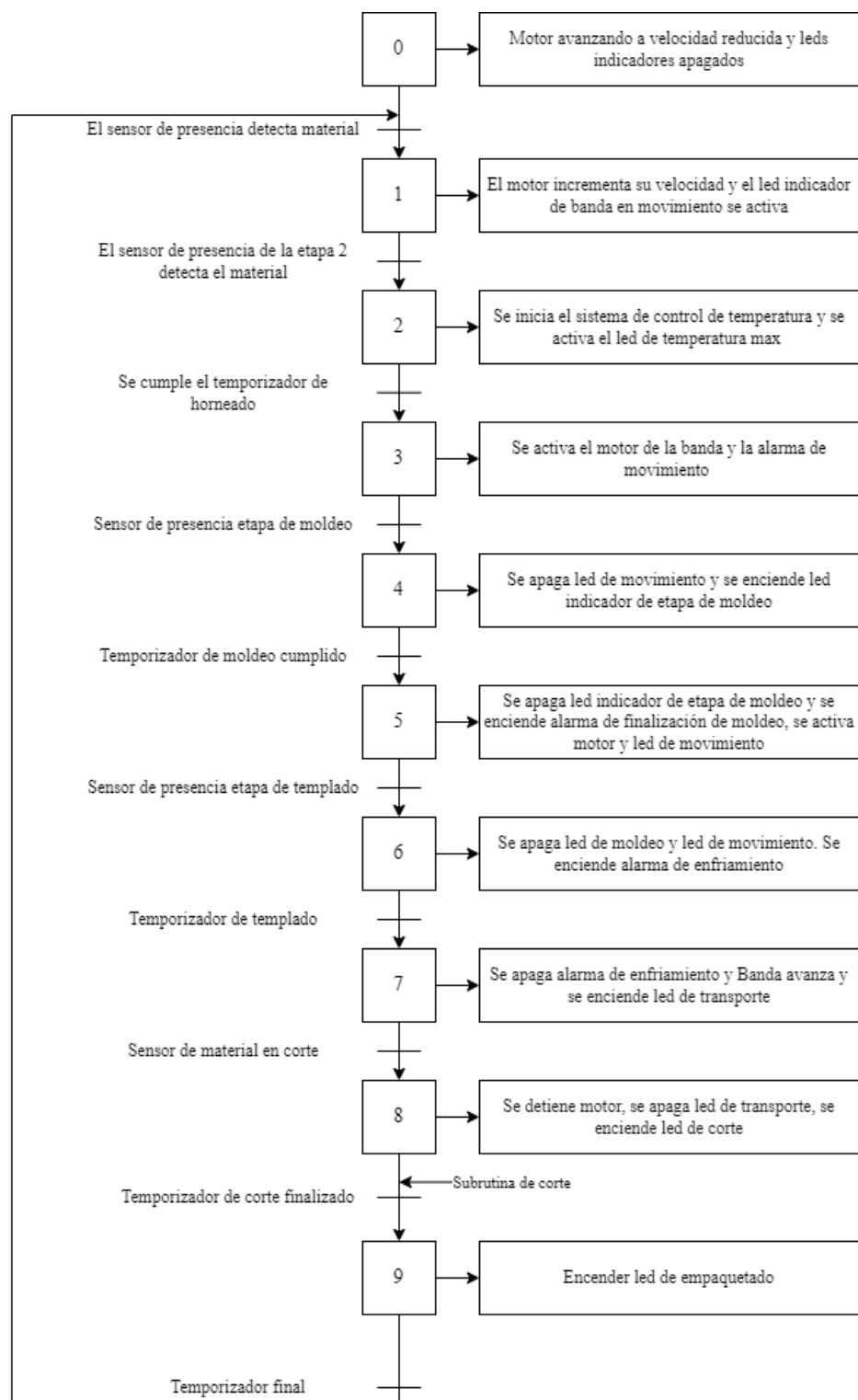
Anexo 4. Etapa 3 y 4.

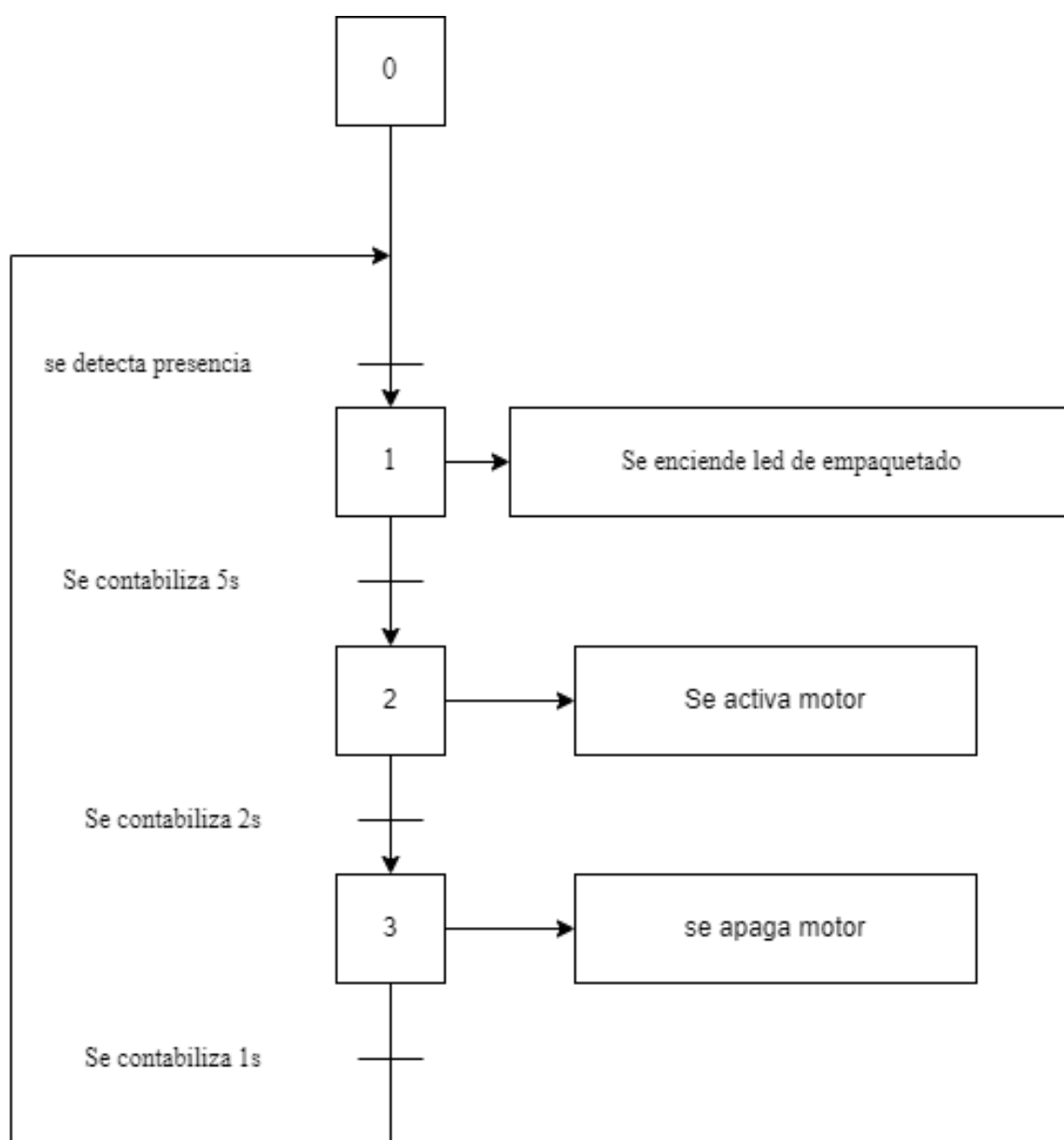


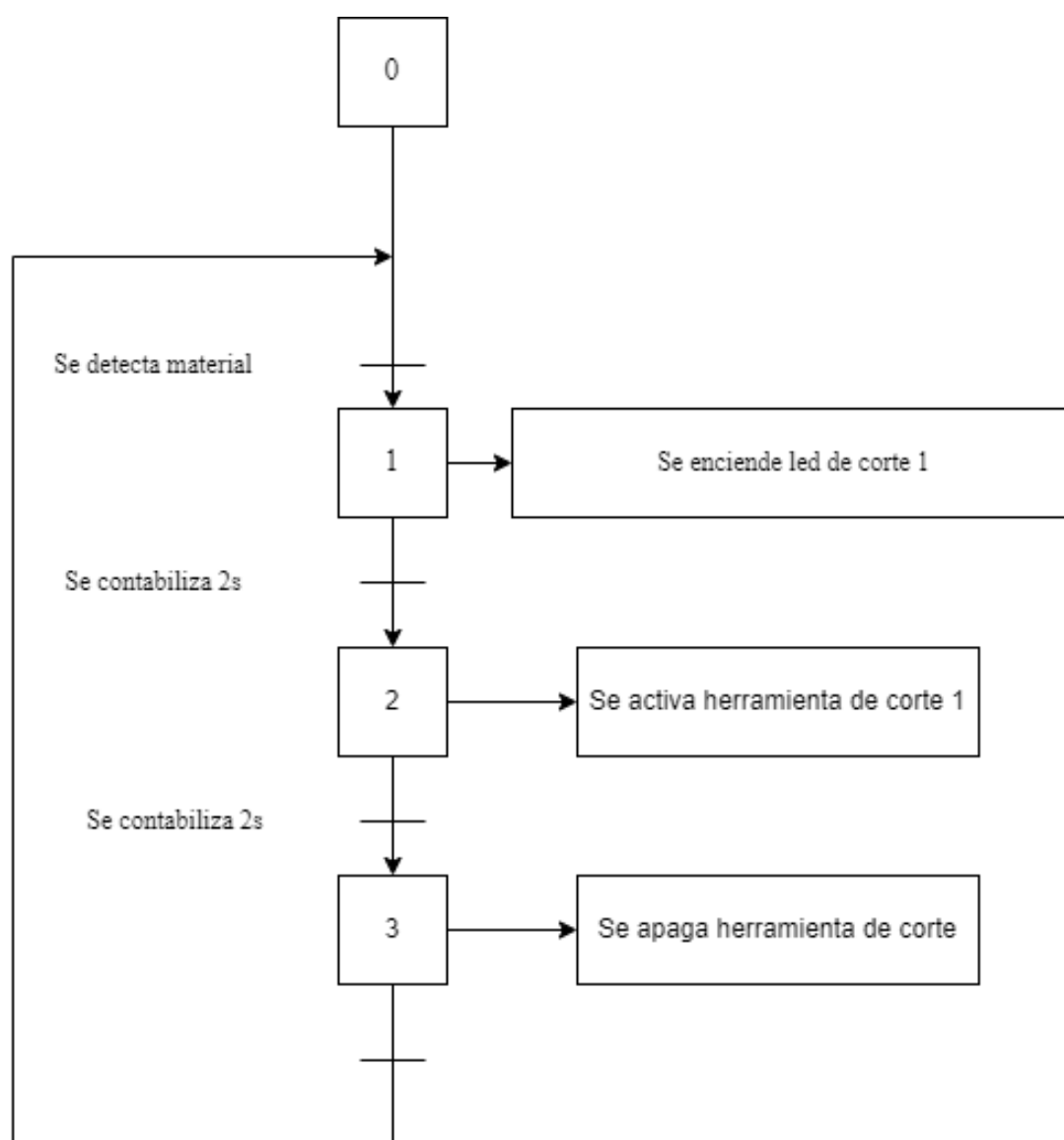
Anexo 5. Etapa 5 y 6.



## Anexo 6. Grafset nivel 1.



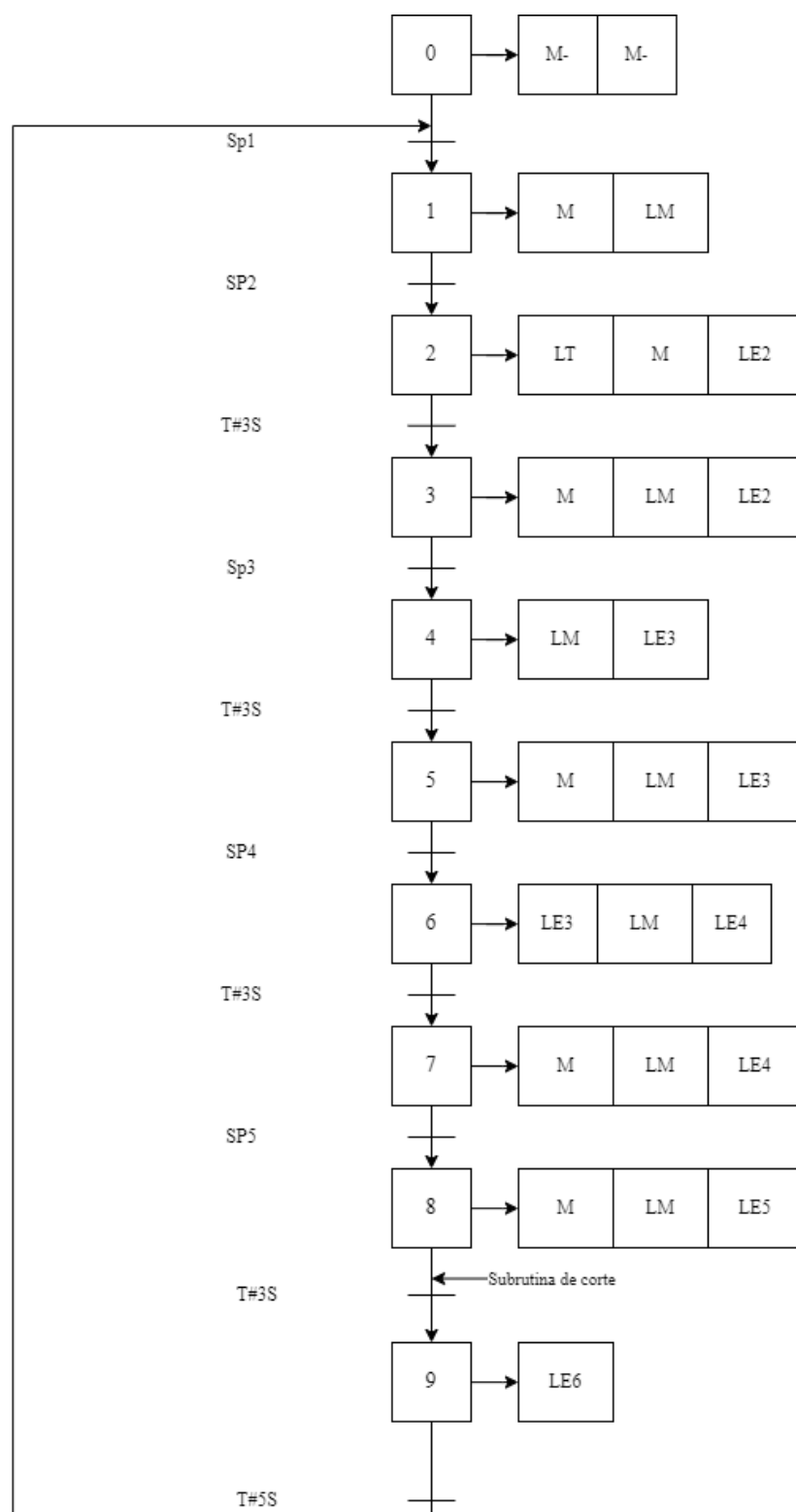


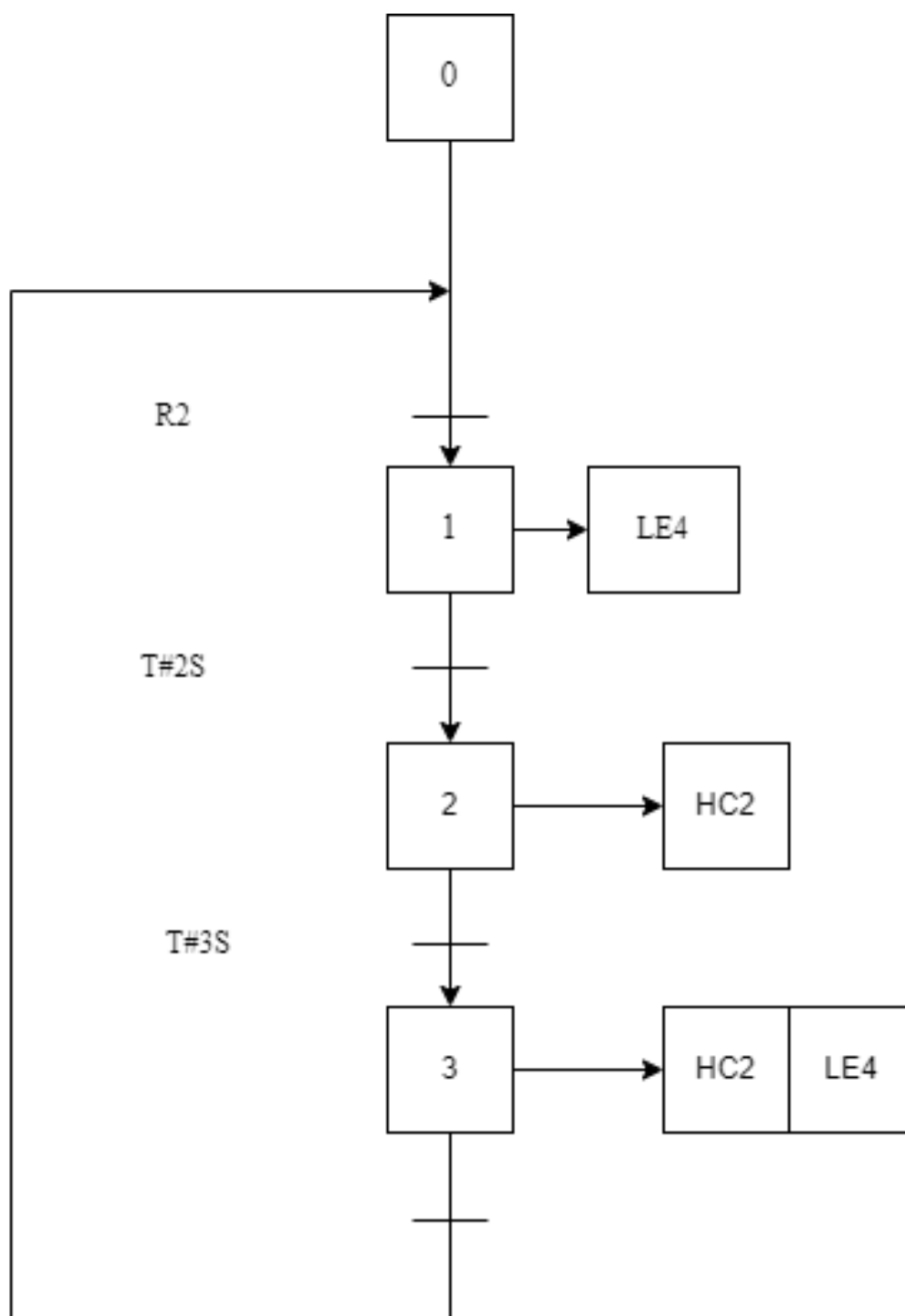


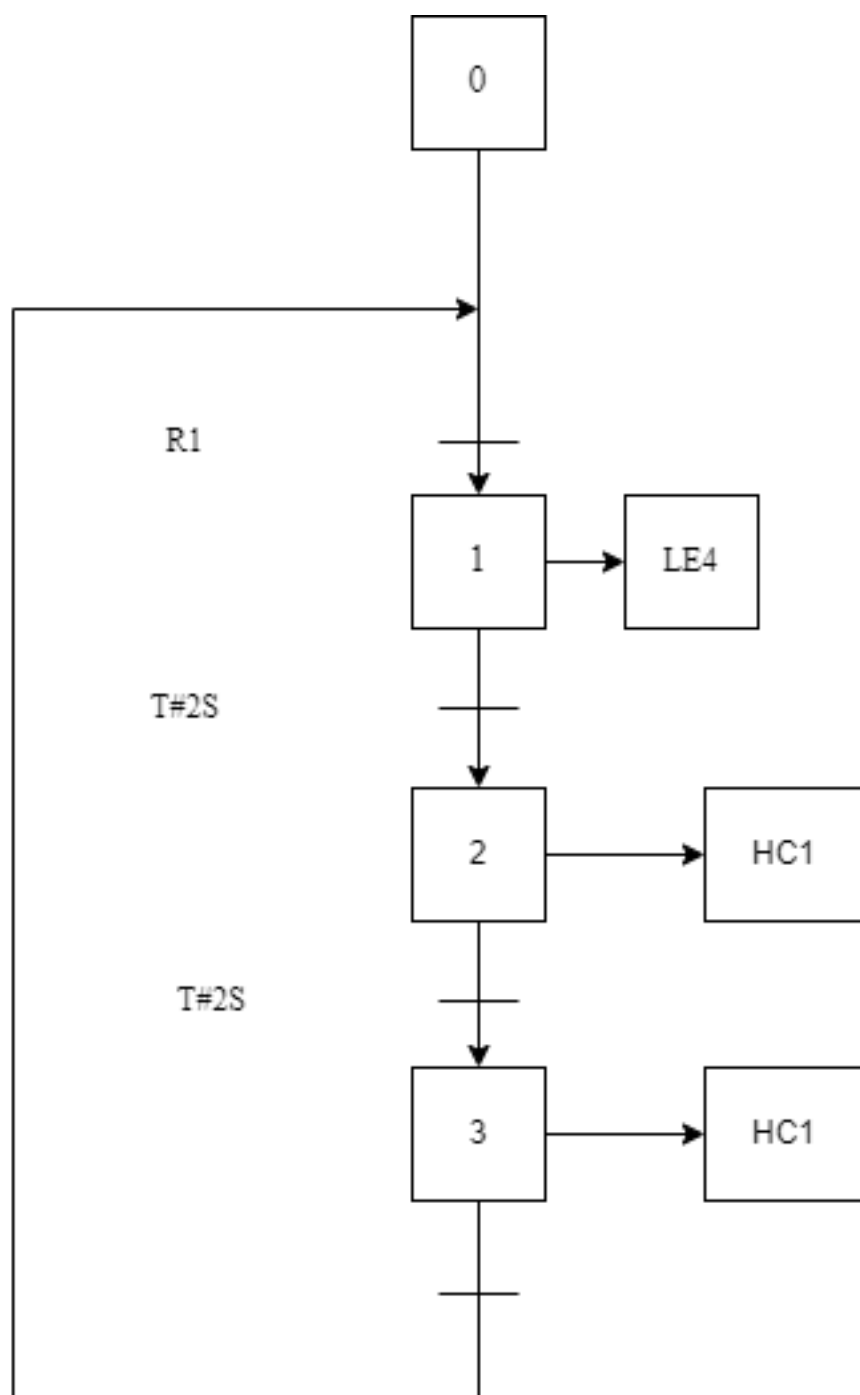
Dispositivo	Señal	Dirección
Motor banda	M	Q0,0
Sensor de presencia etapa 1	Sp1	I0,0
Sensor de presencia etapa 2	Sp2	I0,2
Sensor de presencia etapa 3	Sp3	I0,4
Sensor de presencia etapa 4	Sp4	I0,6
Sensor de presencia etapa 5	Sp5	I0,8
Led movimiento	LM	Q0,2
Led temperatura	LT	Q0,4
Temporizador 1	T1	I1,0
Temporizador 2	T2	I1,2
Led etapa 1	LE1	Q0,6
Led etapa 2	LE2	Q0,8
Led etapa 3	LE3	Q1,0
Led etapa 4	LE4	Q1,2
Led etapa 5	LE5	Q1,4
Herramienta de corte 1	HC1	Q1,5
Herramienta de corte 2	HC2	Q1,6



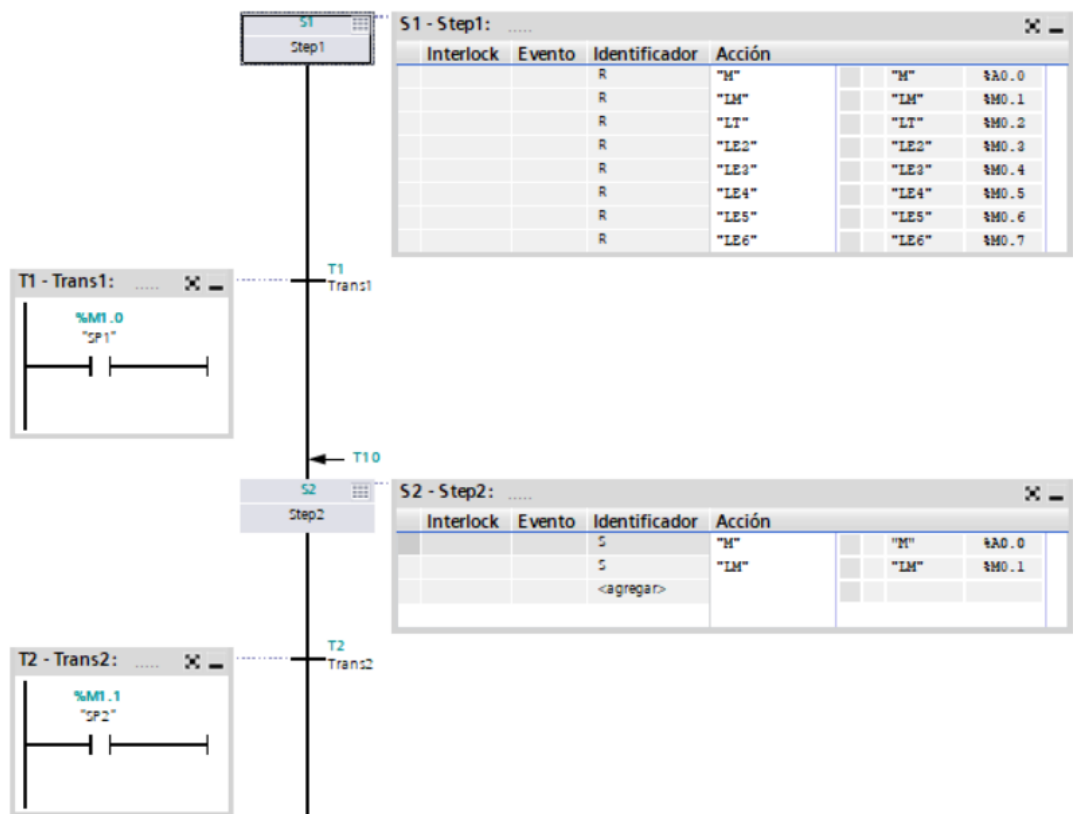
## Anexo 7. Grafcet nivel 2.

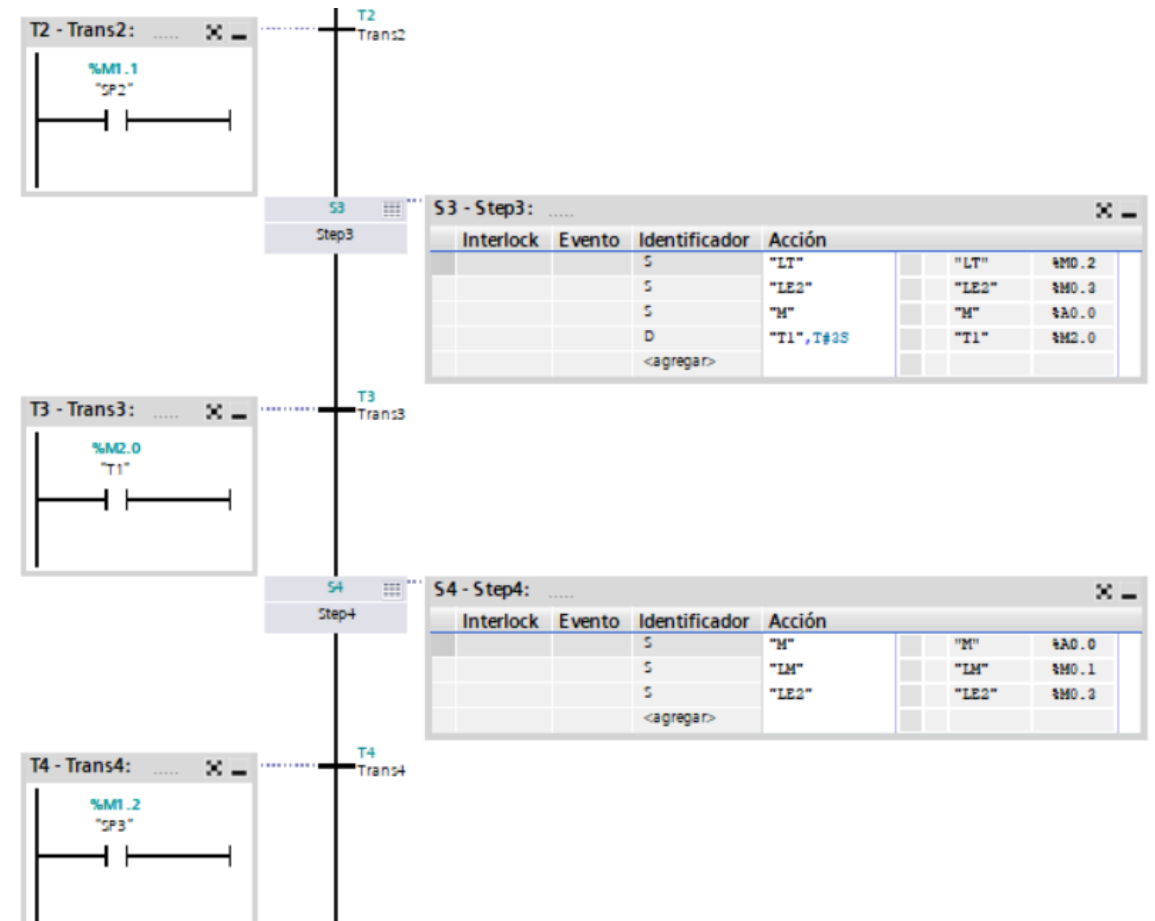


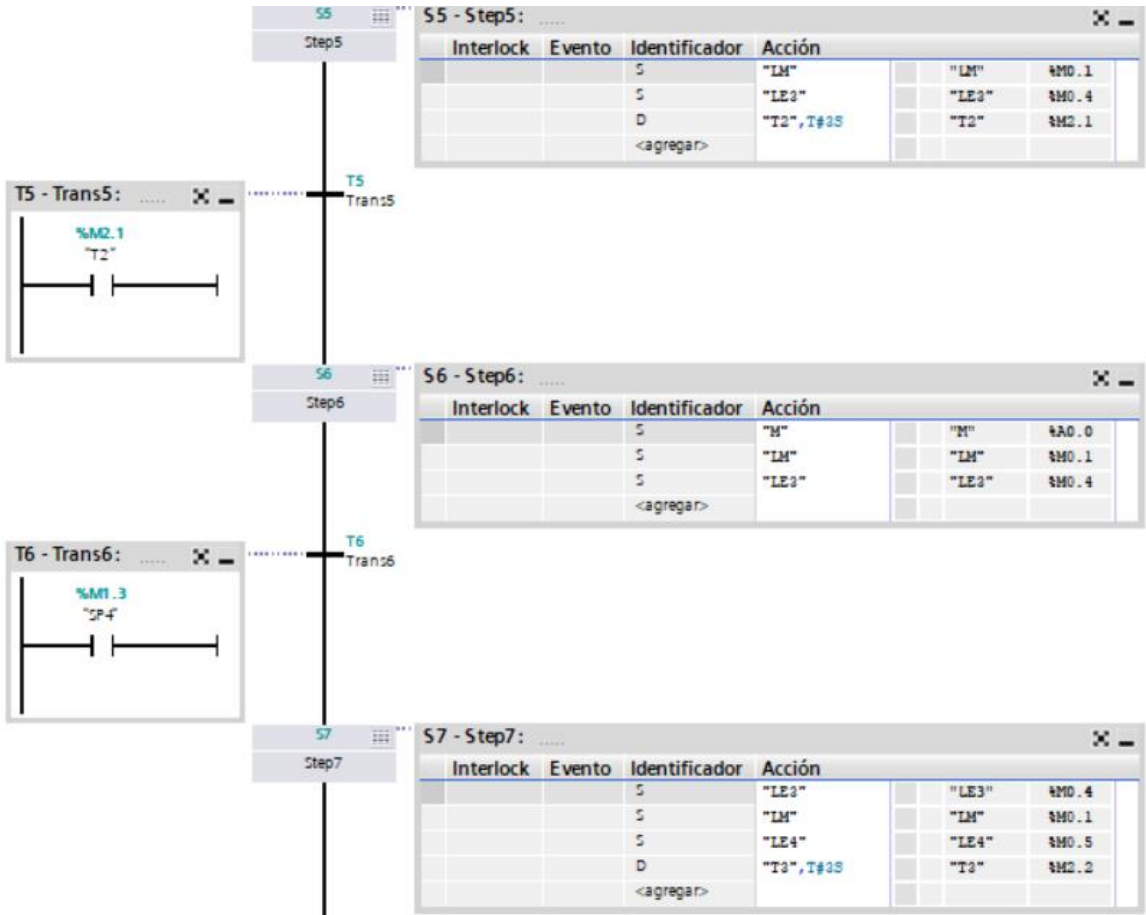


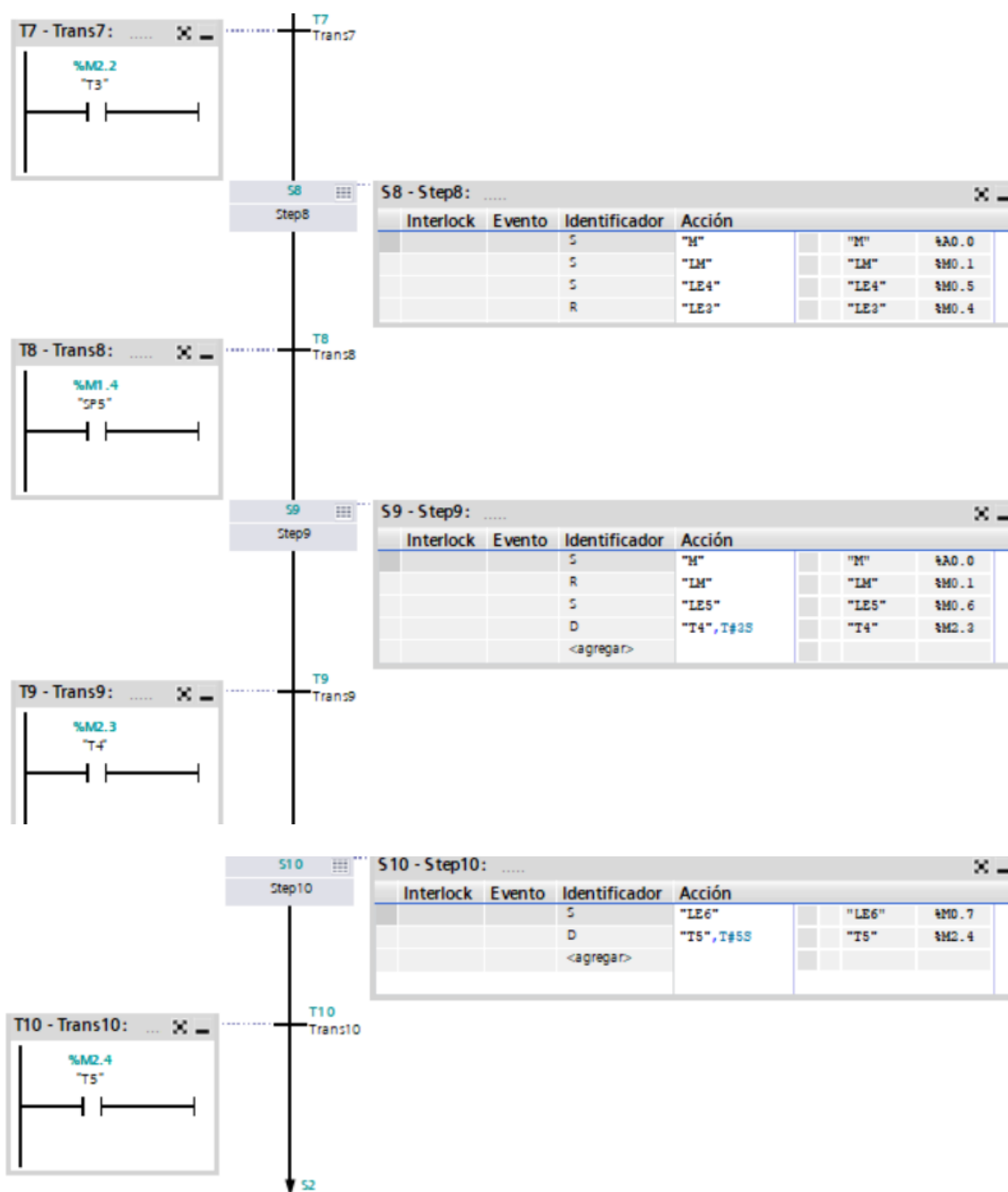


Anexo 8. Grafcet Nivel 3

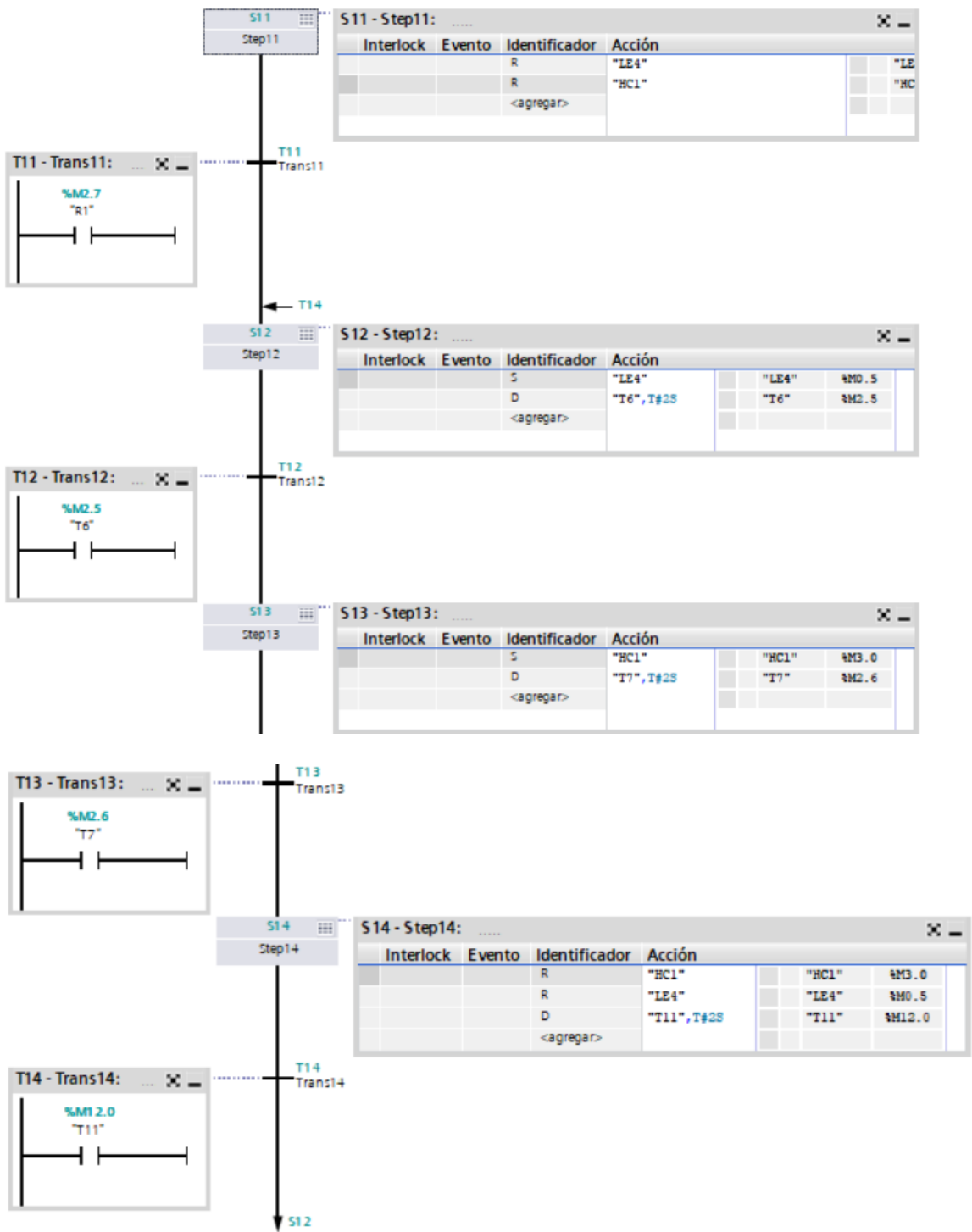






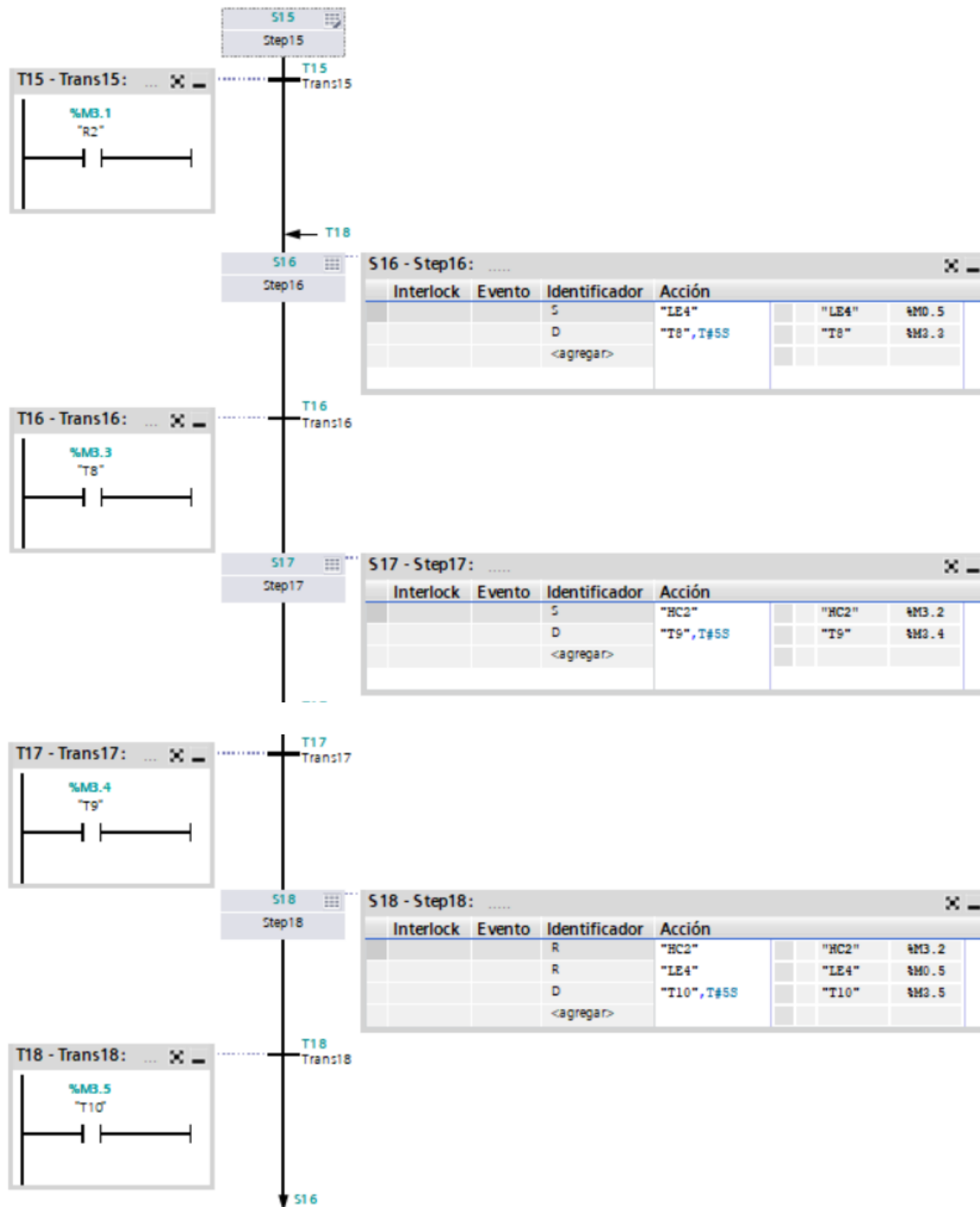


RECETA 1





## RECETA 2



## Anexo 9. Código de conexión de la PLC con Unity

```

using System.Diagnostics;
using System.Threading.Tasks;
using System;

public class PLCConnector : MonoBehaviour
{
    private Plc plc;

    // Configura los detalles de la conexión
    public string ipAddress = "192.168.0.1"; // Cambia esto a la IP de tu PLC
    public CpuType cpuType = CpuType.S7200;
    public short rack = 0;
    public short slot = 1;

    // Variable para almacenar el valor leído del PLC
    private int plcValue;

    async void Start()
    {
        // Inicializa la conexión al PLC
        plc = new Plc(cpuType, ipAddress, rack, slot);

        // Intenta conectarse al PLC
        await ConnectToPLC();

        // Lee datos en intervalos
        InvokeRepeating("ReadFromPLC", 1.0f, 1.0f);
    }

    private async Task ConnectToPLC()
    {
        try
        {
            plc.Open();
            Debug.Log("Conexión al PLC exitosa.");
        }
        catch (Exception ex)
        {
            Debug.LogError($"Error al conectar con el PLC: {ex.Message}");
        }
    }

    private void ReadFromPLC()
    {
        if (plc.IsConnected)
        {
            try
            {
                // Lee un valor de una dirección DB específica (DB1.DBW0 en este ejemplo)
                plcValue = (int)plc.Read("DB1.DBW0");
                Debug.Log($"Valor leído del PLC: {plcValue}");
            }
            catch (Exception ex)
            {
                Debug.LogError($"Error al leer del PLC: {ex.Message}");
            }
        }
    }
}

```

```
private void ReadFromPLC()
{
    if (plc.IsConnected)
    {
        try
        {
            // Lee un valor de una dirección DB específica (DB1.DBW0 en este ejemplo)
            plcValue = (int)plc.Read("DB1.DBW0");
            Debug.Log($"Valor leído del PLC: {plcValue}");
        }
        catch (Exception ex)
        {
            Debug.LogError($"Error al leer del PLC: {ex.Message}");
        }
    }
}

private void OnApplicationQuit()
{
    // Cierra la conexión al PLC al salir de la aplicación
    if (plc.IsConnected)
    {
        plc.Close();
    }
}
```

### Lista de referencias

- [1] Acuta, (2017). Diseño de investigación: metodología del proceso de producción de vidrio templado basado en el enfoque de la manufactura esbelta, para mejorar el cumplimiento de entrega de pedidos a clientes. Universidad San Carlos de Guatemala. Tesis Doctoral [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0856\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0856_M.pdf).
- [2] Peralta, R. (2015). ¿Como se fabrica el vidrio templado?: Blog académico: <http://starglas.blogspot.com/2015/12/como-se-fabrica-el-vidriotemplado-para.html>
- [3] Manufactura LATAM, «Manufactura LATAM,» Manufactura LATAM, 22 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/evolucion-de-la-automatizacion-industrial>. [Último acceso: 05 Mayo 2024].
- [4] A. Oppenheimer, ¡ Sálvese quien pueda!: El futuro del trabajo en la era de la automatización, Madrid: Penguin Random House, 2018.
- [5] M. J. Abud, «Automatización laboral: Diagnosticos y desafios,» Estudios Publicos , Chile , 2023.
- [6] E. M. Martinez, «Impacto de la automatización en la economía. Análisis de la repercusión de la Inteligencia Artificial y la robótica en el mercado laboral,» E.T.S.I. de Sistemas Informáticos (UPM), Madrid, 2019.

- [7] P. Oconnor, «La tendencia de automatización del trabajo en Argentina : recomendaciones a partir de un análisis sectorial,» Globethics.net, Argentina, 2020.
- [8] V. Eubanks, La automatizacion de la desigualdad, Barcelona: Capital Swing, 2018.
- [9] S. K. Kabberalli, «Programmable Logic Controller (PLC) in Automation,» Crossref, Miami, 2017.
- [10] I. S. o. A. (ISA), «Automation and Control Basics,» International Society of Automation (ISA), España, 2021.
- [11] Ingeniería y Automatización Magazine, «Aplicación de GRAFCET en la automatización industrial,» *Ingeniería y Automatización Magazine*, vol. 3, nº 5, p. 124, 2020.
- [12] J. Duque, «IMPLEMENTACIÓN DE GRAFCET SOBRE ARDUINO APLICANDO LÓGICA BINODAL,» Institucion Universitaria ITSA, Barranquilla, 2021.
- [13] J. M. C. E. L. J. Prado-Valdecantos, «GRAFCET: A Tool for the Structured Design of Sequential Control Systems,» *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 2, nº 5, p. 325, 2017.
- [14] H. T. Ospina, «Automatizacion de procesos industriales,» Pascual Bravo, Medellin, 2021.

- [15] Instituto de Automatización Industrial, Universidad Politécnica de Cataluña, «Manual de programación en GRAFCET: Fundamentos y aplicaciones,» Instituto de Automatización Industrial, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña , 2019.
- [16] Sandin, O. (2015). Fractología industrial del vidrio templado, caracterización y diagnóstico del estado tensional producido durante un tratamiento térmico de templado industrial en vidrio sodocalcico. (Tesis Doctoral). España: Universidad de la Rioja.
- [17] Diccionario de Arquitectura y Construcción, (2017). Definiciones Arquitectonicas y de construccion. Recuperado el 10 de febrero de 2017, de <http://www.parro.com.ar/index.php>