



**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey**

Campus Puebla

*Evidencia Examen Argumentativo PLC*

**Automatización industrial**

MR2006B.502

**Docentes:**

Israel Zamora Hernandez

**Integrantes:**

Luis Enrique Camaños Rebollo	A01732055
Oscar Paúl Méndez Ramos	A01734458
Alejandro Siliceo Hernández	A01734566
Alejandro Bolaños Baez	A01732264

H. Puebla de Zaragoza a 19 de noviembre de 2022

---

## Resumen

En este proyecto se realizó la automatización para procesos complejos de un centro de maquinados, el cual contiene bandas de producción, simula 2 procesos de manufactura, contiene sensores ópticos, motores y una torreta de semáforo con 2 leds. La automatización se realiza mediante un control lógico programable, mejor conocido como PLC, el cual ejecuta un código en el lenguaje escalera, que se realiza en el software TIA Portal, el cual realiza un proceso que activa motores según los sensores y especificaciones por tiempos que se necesitan para cumplir con el objetivo principal de mover una caja de un extremo a otro del centro de maquinados, analizando un error al detectar el atoro del producto en el primer cambio de banda.

Se realizó un análisis visual del centro de maquinados de manera presencial para observar cada uno de los mecanismos, sensores y actuadores que contiene, acto seguido se realizó una tabla con las entradas y salidas que contiene, así como se inspeccionó un excel con la información de las variables que corresponden a cada uno, obteniendo 9 entradas y 10 salidas, así como tiempos definidos para cada parte del proceso. Con esa información se revisaron las especificaciones del sistema y se empezó a realizar un esquema en una carta ASM para hacer funcionar de manera adecuada el centro de maquinados; acto seguido se formaron ecuaciones en base a una tabla que se obtiene a partir de la carta ASM y dichas ecuaciones se programaron en el lenguaje escalera utilizando el software TIA Portal, obteniendo un código el cual se carga en un PLC S7 - 1200 de la marca Siemens, y va conectado a el centro de maquinados para realizar el proceso deseado que inicia con el botón verde, esperará detectar un producto y acto seguido comenzará a moverse la banda 2 hasta llegar al cambio de banda y correrá un tiempo límite de llegada del producto al maquinado 1 para saber si nuestro error a analizar ocurre, en caso contrario el maquinado 1 se ejecuta durante el tiempo deseado, se mueve la banda 3 por 5mm y vuelve a realizar dicho maquinado, después se moverá la banda 3 y banda 4 hasta llegar al maquinado 2 que se activará por el tiempo deseado para luego seguir con su camino moviendo la banda 4 hasta llegar a el cambio de banda, y en cuanto llegue al sensor de la banda 5 quitaremos el producto para volver a empezar el proceso y poder colocar otro producto de nuevo en la banda 2, siempre 1 a 1; en caso de tener el error antes mencionado se parará el sistema y encenderá un led rojo indicando el error, después se restablecerá el sistema con el botón rojo. El proceso fué un éxito y se puede observar su funcionamiento en el siguiente [video](#).

## Antecedentes

La automatización es un concepto utilizado en el ámbito industrial, en donde un sistema permite que una máquina realice tareas específicas sin la intervención del ser humano, sin embargo, este concepto no es reciente, es el resultado de muchos años de desarrollo, en donde se ha ido perfeccionando hasta lo que conocemos hoy en día.

Los orígenes de la automatización se encuentran en la Prehistoria, con el desarrollo de las máquinas simples que minimizan la fuerza que debían hacer las personas. La energía animal

o humana, con el tiempo, comenzó a reemplazarse por energías renovables (como la energía eólica o la energía hidráulica).

Desde principios del siglo XX se comenzó a implementar la automatización para procesos complejos utilizando elementos mecánicos y electromecánicos (motores, relés, temporizadores, contadores, etc.), desde entonces se ha generado una carrera por la mejora de la automatización en todo el mundo. [1]

En 1920 la industria automotriz cambió el concepto de la automatización en un sistema de producción integrado. El objetivo de este sistema de línea de montaje era reducir los precios. A pesar de los avances más recientes, éste es el sistema de producción con el que la mayoría de la gente asocia el término automatización. [1]

Las organizaciones han encontrado diferentes formas de automatizar sus tareas logrando que sus trabajadores se dediquen a actividades de mayor importancia. Toyota es un gran ejemplo de esto, las líneas de producción automatizadas permiten ayudar a los ensambladores a hacer mejor su trabajo, estimulando la innovación de los empleados y permitiéndoles realizar otras actividades que en ocasiones llegan a facilitar las ganancias de costos.[2]

Actualmente la automatización es un pilar fundamental en todo el desarrollo de la industria, gracias al desarrollo e innovación de nuevas tecnologías, la automatización ha dado lugar a un gran avance que le han permitido a las compañías implementar procesos de producción más eficientes, seguros y competitivos.

Hoy en día, podemos encontrar avances en la automatización como lo son el uso de Redes autómatas, producción integrada y controlada por ordenador con múltiples autómatas, Redes de sensores/actuadores conectadas a los autómatas (AS-interface), etc ....[1]

Se espera que todo esto, se mantenga con un crecimiento, para que en los próximos años se pueda resolver problemas más complejos que faciliten las actividades de producción de una empresa.

## **Introducción**

Hoy en día las industrias hacen uso de diferentes procesos dentro de los cuales destaca la automatización de sus plantas de producción, automatizar el proceso de armado de un producto, la clasificación de los materiales usados o en todo caso clasificar los que son útiles y descartar los que ya no son ideales para su uso, de igual forma estos procesos de automatización son usados en la industria para el control de calidad de muchos productos que tienen y esto con el fin de mejorar la calidad de sus productos así como facilitar el proceso donde existan mayores ganancias, un mayor tiempo de producción y el poner menos en peligro a los usuarios que intervienen en este proceso, en caso de que se trate de un proceso riesgoso.

El uso de las bandas de producción se ha vuelto relevante en la industria por su facilidad de implementación así como la inclusión de otros equipos en estos procesos como brazos robóticos que se encargan de tareas como soldar, hacer operaciones de manufactura como

fresado, corte, etc. El principio por el que la mayoría de este tipo de bandas funciona es mediante el uso de sensores y actuadores en los cuales son definidos parámetros de tiempo, presencia, color del material, temperatura, etc. Para después ser clasificados hasta llegar al punto final.

Descrito lo anterior, se tiene en cuenta un factor relevante para el uso y funcionamiento de estas bandas de producción, la implementación del controlador lógico programable o PLC (Programmable Logic Controller), que es básicamente una computadora utilizada en la industria de la automatización y que se encarga del control de las máquinas dentro de una fábrica, su funcionamiento se basa en ciertos parámetros que son programables como entradas, ya sean digitales o analógicas, y que pueden mandar salidas al actuador en el que se enfoca. En este caso se hace una implementación específica sobre lo que es el PLC Siemens S7-1200 haciendo su programación mediante la plataforma TIA Portal con el diseño esquemático definido tomando en cuenta todo el contexto del problema planteado y de esta manera observar las entradas y salidas, condiciones de cada proceso, los tiempos que existen en cada proceso realizado, etc. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se procederá a seleccionar una estilo de programación que más se adecue al número de variables que tenemos y cómo es que interactúan entre ellas.

## **Desarrollo**

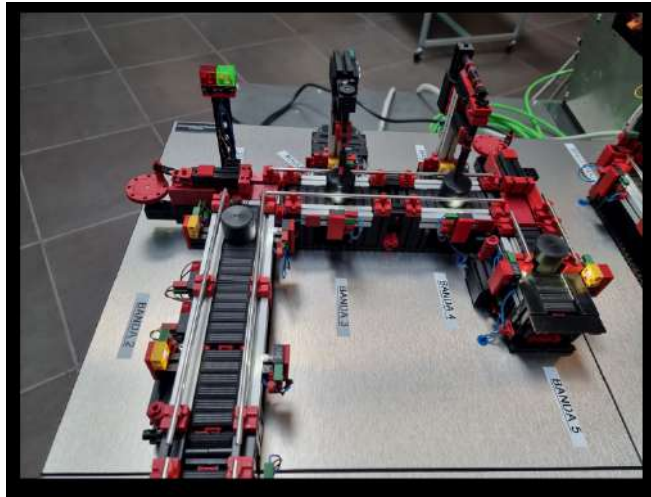
Para empezar con el desarrollo de este problema primariamente se observa el contexto de la situación, es decir, conocer el proceso con el cual se va a trabajar, cuáles son las acciones que se realizarán y con qué fin. Primariamente al tener analizada la situación se procede a identificar el número de variables que intervienen como entradas y salidas para así poder nombrarlas con un nombre clave dentro del proceso.

A continuación se especifican los pasos a seguir para la solución de este problema, justificando cada parte y resaltando los detalles importantes a la hora de la programación en el software elegido.

### **1) *Planteamiento del problema***

El problema que se plantea consiste en la automatización de una celda de manufactura, la cual consta de 4 bandas transportadoras, 2 procesos de manufactura, 5 sensores ópticos, 2 actuadores que permiten hacer los cambios de banda en la celda y una torreta con semáforo verde y rojo.

De igual manera, el pequeño gabinete en el que se encuentra montado el PLC Siemens S7 1200 cuenta con tres botones programables en color verde, amarillo y rojo, respectivamente, un STOP de emergencia mecánico, una pantalla HMI programable, potenciómetro y pantalla LED.



*Figura 1. Celda de manufactura*



*Figura 2. Gabinete con módulo PLC*

A continuación se plantean las especificaciones de la celda de manufactura así como el principal problema a resolver dentro de este proceso.

- a) Los sistemas están apagados hasta recibir un producto
- b) Solo admitirá un producto en la línea
- c) Al detectar el producto al inicio arranca el proceso
- d) Llevar hasta el primer maquinado en donde se activará de la siguiente manera
  - Taladra por 2 seg
  - Desplaza el producto 5 mm
  - Taladra por 4 seg
- e) Llevar hasta el segundo maquinado en donde se activará de la siguiente manera
- f) Fresado por 5 segundos
- g) Llevar al final de la línea
- h) Hasta que se retiré el producto podrá avanzar el siguiente producto
- i) Error:

Detectar que el pistón del primer cambio de banda no se encuentra bien montado y que el producto se atora en ese proceso, cuando esto suceda se debe desplegar la señal del semáforo rojo.

## 2) *Identificación de variables de entradas y salidas*

El siguiente paso para la solución del problema se enfoca en identificar las variables de entrada y salida, asignarles un nombre y una acción que realizan.

Como se mencionó en el planteamiento del problema, se cuenta con sensores ópticos en las bandas y sensores de presencia dentro de los actuadores de cambio de banda, por lo tanto, estos se definen como nuestras variable de entrada en la celda de manufactura y las cuales mandan una señal a las salidas mediante la programación realizada. Un punto relevante que se debe destacar para estas variables es que los sensores ópticos, que se encuentran en las bandas, se encuentran en un estado “1” debido a que está recibiendo una luz como un tipo de señal y a la hora de que el objeto se interponga entre la luz y el sensor, este cambia a un estado “0”, que le permite pasar a la siguiente fase. En el caso de los sensores de los cambios de banda, estos funcionan con el principio normal, estado “1” cuando se detecta un objeto y estado “0” cuando no se detecta nada. También se debe mencionar que existe un retardo en los sensores y por ende se deben programar con TIMERS, lo cual se abordará a fondo en la parte de la programación.

A continuación se muestra una tabla con las variables asignadas y el nombre que se les asigna en la programación, estos nombres de las variables se escogen (como es el caso de los botones del gabinete) y de igual forma tienen su asignación en el módulo PLC, donde se nombran en inicio con una letra **I** seguido del número de la conexión que tiene asignada, empezando por 0.0 y consecutivamente, se debe tener en cuenta que esta asignación numérica abarca desde 0.0 hasta 0.7 prosiguiendo con el siguiente número entero.

*Tabla 1. Variables de entrada con nombre y asignación PLC*

<b>Sensor 1 para banda 2</b>	I 8.0
<b>Sensor 2 para banda 2</b>	I 8.1
<b>Origen cambio de banda 1</b>	I 8.2
<b>Sensor en maquinado 3</b>	I 8.3
<b>Sensor en maquinado 4</b>	I 8.4
<b>Origen cambio de banda 2</b>	I 8.5
<b>Sensor de salida banda 5</b>	I 8.6
<b>Botón verde inicio</b>	I B
<b>Botón rojo reinicio sistema</b>	I B2

De igual forma, se definen los tiempos que están involucrados en el sistema, al igual que las entradas, a partir de los TIMERS es que el proceso tiene la posibilidad de transicionar a otros estados y por ende activar ciertas salidas; en este caso a diferencia de las entradas, los TIMERS además de mandar señales a la carta ASM para que se procesen sus salidas, también recibe retroalimentación de la misma carta debido a que estos elementos se accionan cuando algunos estados están activos, con el propósito de mantenerlos activos por determinado tiempo. De este modo se muestran los TIMERS implementados en el sistema.

*Tabla 2. Definición de los TIMERS del sistema.*

Nombre	Clave	Descripción
Tiempo 1: Cambio de banda	DB12	Tiempo entre la detección del sensor I8.2 y la llegada de la pieza al cambio de banda 1.
Tiempo 2: Movimiento de pistón 1	DB2	Tiempo necesario para que el pistón empuje el producto hacia la banda 3.
Tiempo 3: Movimiento hasta taladrado	DB3	Tiempo entre el ingreso del producto a la banda 3 y la llegada al maquinado 1.
Tiempo 4: Taladrado 1	DB5	Tiempo de 2 segundos de taladrado estipulado en las especificaciones del sistema.
Tiempo 5: Movimiento de 5mm	DB6	Tiempo necesario para mover el producto 5mm.
Tiempo 6: Taladrado 2	DB7	Tiempo de 4 segundos de taladrado estipulado en las especificaciones del sistema.
Tiempo 7: Fresado	DB8	Tiempo de 5 segundos de taladrado estipulado en las especificaciones del sistema.
Tiempo 8: Llegada a banda 5	DB10	Tiempo necesario para mover el producto desde el maquinado 2 hasta el cambio de banda 2.
Tiempo 9: Movimiento de pistón 2	DB9	Tiempo necesario para que el pistón empuje el producto hacia la banda 5.

Ahora, en el caso de las variables de salida, estas son todos los actuadores que reciben la señal de los sensores o TIMERS, como los pistones, motores de las bandas y semáforos. Para los semáforos, el de color verde indicara que la banda se encuentra libre y puede dar inicio al proceso, en el caso del color rojo se indica que hay un error en el proceso y por lo tanto se detiene.

Para estas variables se sigue el mismo principio que las de entrada con la asignación numérica PLC, sin embargo, estas cuentan con una letra Q en el inicio.

*Tabla 3. Variables de entrada con nombre y asignación PLC.*

<b>Avance de banda 2</b>	Q 8.2
<b>Primer cambio de banda</b>	Q 8.3
<b>Avance de banda 3</b>	Q 8.4
<b>Maquinado banda 3</b>	Q 8.5
<b>Avance de banda 4</b>	Q 8.6
<b>Maquinado banda 4</b>	Q 8.7
<b>Segundo cambio de banda</b>	Q 9.0
<b>Avance de banda 5</b>	Q 9.1
<b>Semáforo verde</b>	Q 9.2
<b>Semáforo rojo</b>	Q 9.3

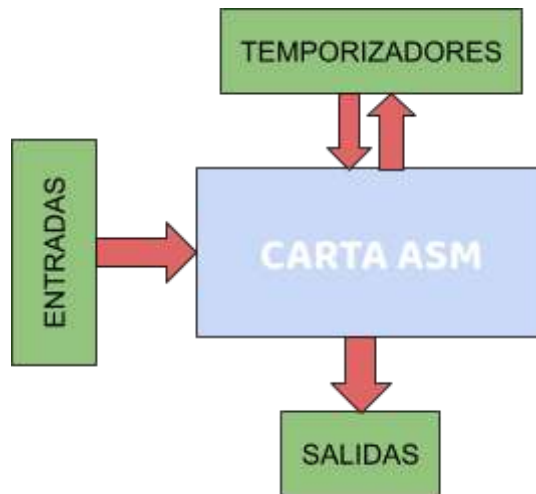
Por último, se debe entender la función que tiene el botón de STOP mecánico, este no es programable dentro del PLC y al ser presionado se permite que el proceso se detenga en cualquier momento sin importar el estado en el que se encuentre.

### ***3) Método de programación elegido***

Al tener definidas todas nuestras variables de entrada, salida y los temporizadores se debe elegir un modelo de programación, en este caso por el gran número de variables que se manejan y los diferentes estados en los que estará nuestro sistema se opta por elegir un medio de programación mediante cartas ASM, el cual nos permitirá hacer una programación en escalera donde se observarán la secuencia de pasos necesarios para pasar de un estado a otro y en donde cada estado en el que se encuentre será guardado en una memoria, es decir, dentro de esta memoria se ubicarán las salidas de nuestro modelo con la condición que imponen las entradas y temporizadores.

Primariamente, antes de elaborar la carta completa, se debe definir qué variables entran y salen a la carta, las entradas que son los sensores y botones entran a la carta, es decir, mandan la señal o condición necesaria para que funcione la carta y la cual manda una señal de salida, que en este caso son los actuadores o semáforos. Igualmente se tiene el caso de los temporizadores, los cuales funcionan de manera que entran a la carta debido a que son una condición para entrar a un siguiente estado, pero de igual forma salen porque al terminar un temporizador de condición empieza otro que permite que una banda o motor funcione.





*Figura.3 Arquitectura de la carta ASM.*

#### **4) Carta ASM**

Pará empezar con el diseño de la carta ASM fue importante tener en cuenta las variables que deben estar incluidas, las cuales son sólo los botones, sensores y temporizadores para cada estado, así como las salidas que son bandas y operaciones como cambio de banda y fresado.

Al iniciar el proceso de la celda, este empieza presionando IB, es decir, si IB es **1** se pasa a la siguiente memoria, al estar en la memoria **M0.1** se pasa a verificar el estado de los cambios de banda, **I 8.2 e I 8.5**, en el caso de que ambos o uno de ellos no se encuentre en su posición inicial de **0**, retraídos, se pasa a las memorias **M0.2** y **M0.3** respectivamente para que estos se activen como salidas y se encuentren en posición **0**. Ahora bien, al tener los cambios de banda en dicha posición, se procede a activar la siguiente memoria, donde se encuentra la salida del semáforo, **Q9.3**.

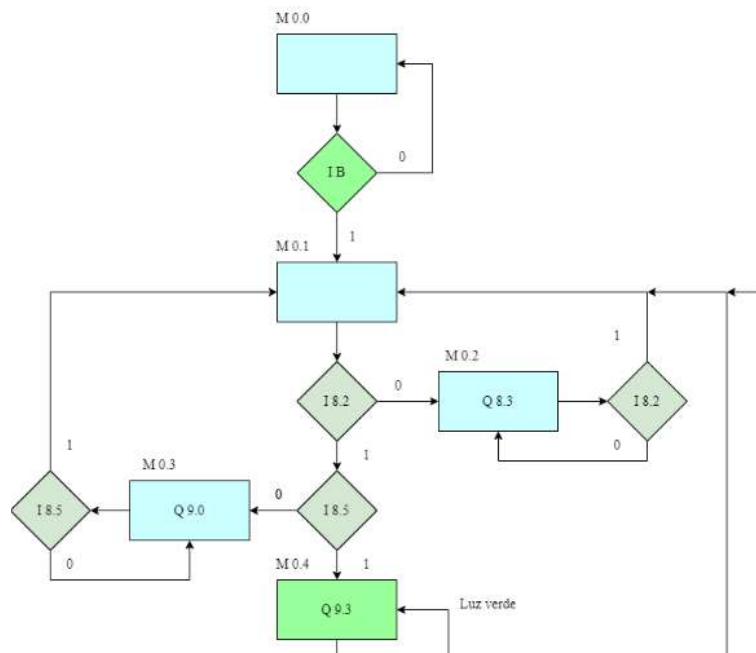


Figura 4. Inicio de la celda de manufactura

El siguiente estado a analizar es después de **M0.4**, para pasar de este estado se empieza con las entradas dadas por los sensores ópticos de las bandas, donde para empezar el movimiento de la banda 2, el sensor de inicio debe estar en un estado **0** y de esta manera en **M0.5** se incluya la salida **Q 8.2** de la banda, esta operación dará fin cuando el último sensor de dicha banda, **I 8.1** sea 0 igualmente y así se entre en un estado donde la banda 2 tenga un pequeño avance hacia el cambio de banda y también la banda 3 se mueva, prosiguiente, se utiliza un temporizador que define el tiempo en que la banda 2 se mueve hasta el pistón del cambio de banda y de igual forma la banda 3 se mueve continuamente. Al acabar ese tiempo se llega a activar el pistón en conjunto con la banda siguiente.

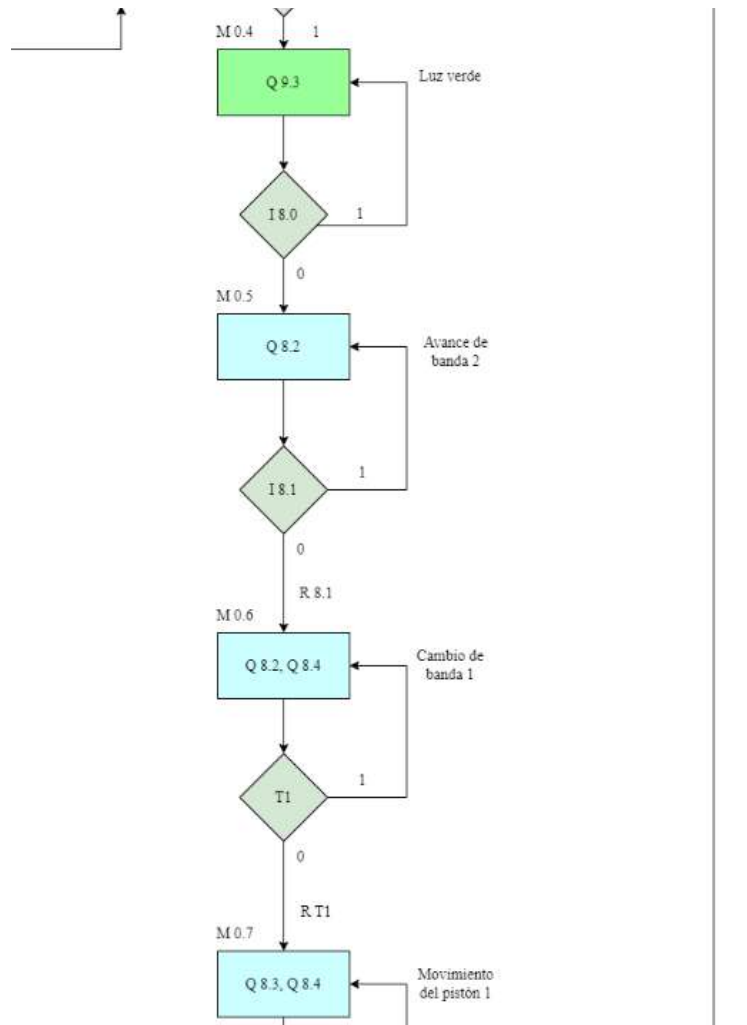


Figura 5. Movimiento de banda hasta el primer cambio de banda.

Después de la memoria **M 0.7** se procede a lo que es el primer cambio de banda y se hacen presentes los maquinados de la banda 3. Después de la memoria se procede a usar otro temporizador que hace la función de mover el pistón en un periodo de tiempo definido y cuando este finalice se mueva la banda 3 dentro de la memoria **M 1.0**, donde de nuevo se usa un temporizador, **T3**, que permite mover la banda hasta el sensor óptico del maquinado del taladro, este tiempo se definió mediante prueba y error, observando el tiempo en el que el objeto llega hasta el sensor óptico, al llegar a este sensor se activa el maquinado por un periodo de 2 segundos presente en la memoria **M 1.2**. Anteriormente a la memoria antes mencionada se tiene una salida brindada por el sensor del cambio de banda, donde se debe detectar el error definido en el planteamiento.

Este error se verá solucionado mediante el uso de otra memoria, **M 1.1**, donde se encuentra el semáforo rojo y esto es, cuando el tiempo del movimiento de la banda termine y el sensor **I 8.3** no detecte ningún objeto se entra a la memoria que activa el semáforo indicando que hay un error y de esta forma se detenga todo el sistema hasta que el botón rojo, **I B2**, sea presionado, iniciando así de nuevo todo el proceso, llegando a la memoria **M 0.1**.

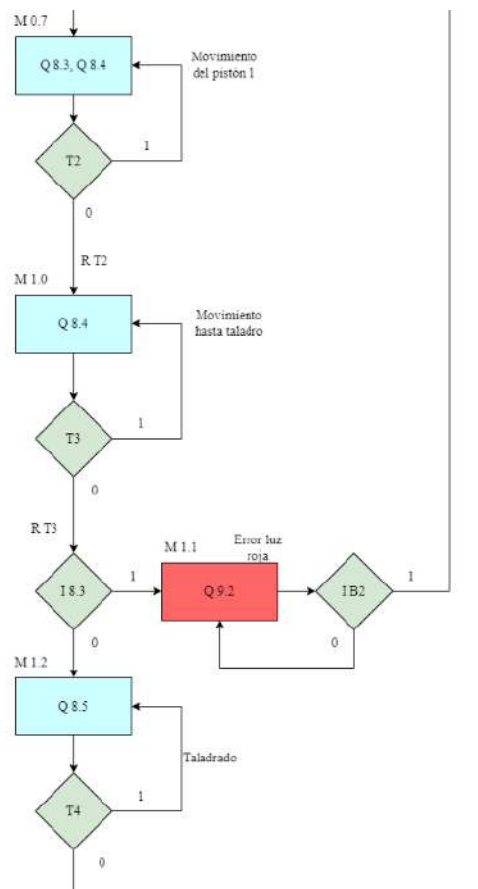


Figura 6. Movimiento del pistón y error detectado.

Al concluir con el tiempo **T4**, se pasa a la memoria **M1.3** la cual activa la banda 3, después de la memoria se procede a utilizar otro temporizador **T5** en el cual buscamos que se tenga un movimiento de 5 mm en la banda, cuando se concluya este tiempo se pasará a la memoria **M.14** la cual activará por segunda vez el maquinado en la banda 3 (Taladrado), esto por un determinado tiempo **T6** el cual es de 4 segundos, al concluir con este tiempo se pasará al estado de la memoria **M1.5** la cual se encargará de activar la banda 3 y la banda 4, esto hasta que el sensor de la entrada **I8.4** detecte alguna obstrucción.

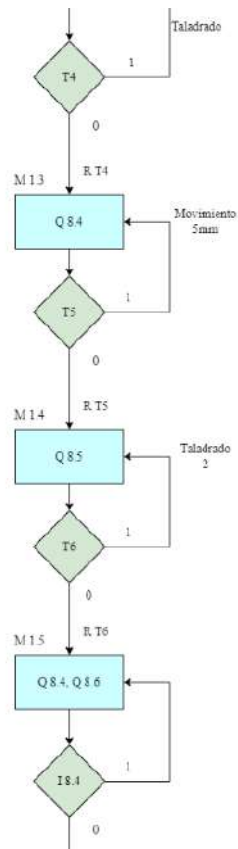


Figura 7. Proceso de maquinado

Cuando la entrada **I8.4** tenga un valor en 0, se pasará al siguiente estado de memoria **M1.6**, la cual estará encargada de activar el maquinado en la banda 4 (fresado), esta memoria se activará por un determinado tiempo **T7** de 5 segundos, cuando el tiempo concluya se pasará al estado **M1.7** lo cual activará la banda 4 por un tiempo **T8** que cuando se llegue a cumplir se pasará a la memoria **M2.0** la cual activará tanto la banda 5 como el cambio de banda 2 (pistón), este se realizará por un tiempo **T9** el cual al concluir pasará al siguiente estado **M2.1**.

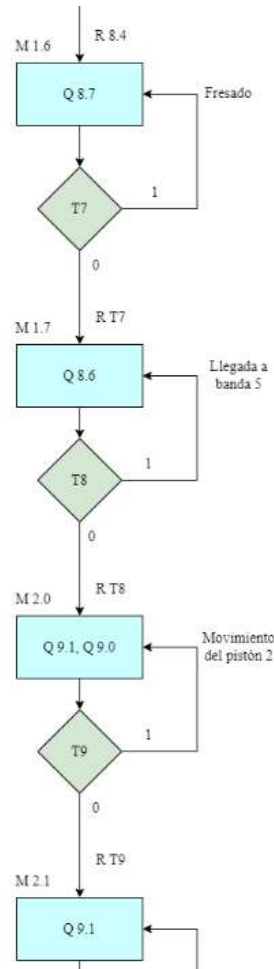


Figura 8. Llegado del objeto hasta el segundo cambio de banda.

Por último se entra en el estado **M 2.1**, que aborda el último proceso para finalizar la celda de maquinada, en esta parte se encuentra que la banda 5 se moverá siempre y cuando el sensor óptico **I 8.6** sea 1 y hasta que se de lo contrario se detiene el movimiento de esta banda, donde se entra a la última memoria, **M 2.2** y que indica que no se tiene alguna salida, solo se pasa a verificar que el sensor óptico se encuentre en 0 y cuando sea lo contrario, es decir, cuando el objeto sea retirado, se iniciara todo el proceso de nuevo, entrando hasta la memoria **M 0.1**.

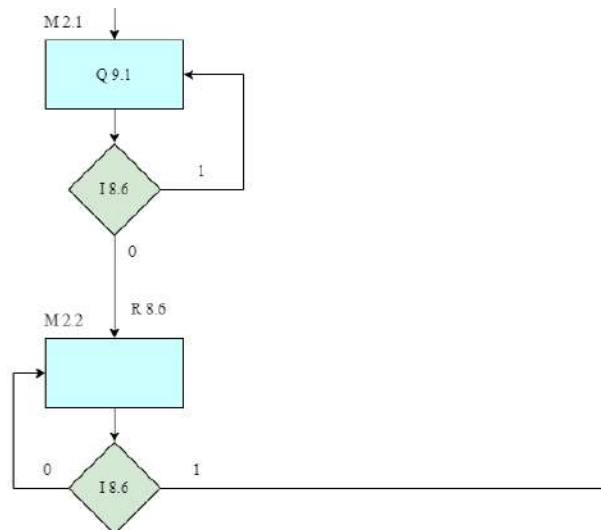


Figura 9. Finalización del proceso en la banda 5.

Link de la carta ASM:

[https://drive.google.com/file/d/1Ro2N\\_kJ3tVG-BVHbzEi5uQFr8CB2O7K/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1Ro2N_kJ3tVG-BVHbzEi5uQFr8CB2O7K/view?usp=sharing)

### 5) Obtención de ecuaciones

Al haber realizado la carta ASM se diseñaron las funciones de transición y salida necesarias para cada uno de los estados presentes.

A continuación se presenta la tabla en donde se describe el estado siguiente, el estado presente y la condición para cada uno de las ecuaciones a utilizar, por último se presenta la función obtenida para cada estado.

Tabla 4 . Ecuaciones de los estados del sistema.

Estado siguiente	Estado presente	Condición	Función
M0.0	M0.0	$\overline{IB}$	$M0.0 = M0.0 \overline{IB}$
M0.1	M0.0 M2.2 M0.3 M0.2 M1.1	IB I8.6 I8.5 I8.2 IB2	$M0.1 = M0.0 IB + M2.2 I8.6 + M0.3 I8.5 + M0.2 I8.2 + M1.1 IB2$
M0.2	M0.1 M0.2	$\overline{I8.2}$ $I8.2$	$M0.2 = M0.1 \overline{I8.2} + M0.2 I8.2$
M0.3	M0.1 M0.3	$I8.2 \overline{I8.5}$ $I8.5$	$M0.3 = M0.1 I8.2 \overline{I8.5} + M0.3 I8.5$

$M0.4$	$M0.1$ $M0.4$	$I8.2$ $I8.5$ $I8.0$	$M0.4 = M0.1 \ I8.2 \ I8.5 + M0.4 \ I8.0$
$M0.5$	$M0.4$ $M0.5$	$\overline{I8.0}$ $I8.1$	$M0.5 = M0.4 \ \overline{I8.0} + M0.5 \ I8.1$
$M0.6$	$M0.5$ $M0.6$	$\overline{I8.1}$ $T1$	$M0.6 = M0.5 \ \overline{I8.1} + M0.6 \ T1$
$M0.7$	$M0.6$ $M0.7$	$\overline{T1}$ $T2$	$M0.7 = M0.6 \ \overline{T1} + M0.7 \ T2$
$M1.0$	$M0.7$ $M1.0$	$\overline{T2}$ $T3$	$M1.0 = M0.7 \ \overline{T2} + M1.0 \ T3$
$M1.1$	$M1.0$ $M1.1$	$\overline{T3} \ I8.3$ $\overline{I8.2}$	$M1.1 = M1.0 \ \overline{T3} \ I8.3 + M1.1 \ \overline{I8.2}$
$M1.2$	$M1.0$ $M1.2$	$\overline{T3} \ \overline{I8.3}$ $T4$	$M1.2 = M1.0 \ \overline{T3} \ \overline{I8.3} + M1.2 \ T4$
$M1.3$	$M1.2$ $M1.3$	$\overline{T4}$ $T5$	$M1.3 = M1.2 \ \overline{T4} + M1.3 \ T5$
$M1.4$	$M1.3$ $M1.4$	$\overline{T5}$ $T6$	$M1.4 = M1.3 \ \overline{T5} + M1.4 \ T6$
$M1.5$	$M1.4$ $M1.5$	$\overline{T6}$ $I8.4$	$M1.5 = M1.4 \ \overline{T6} + M1.5 \ I8.4$
$M1.6$	$M1.5$ $M1.6$	$\overline{I8.4}$ $T7$	$M1.6 = M1.5 \ \overline{I8.4} + M1.6 \ T7$
$M1.7$	$M1.6$ $M1.7$	$\overline{T7}$ $T8$	$M1.7 = M1.6 \ \overline{T7} + M1.7 \ T8$
$M2.0$	$M1.7$ $M2.0$	$\overline{T8}$ $T9$	$M2.0 = M1.7 \ \overline{T8} + M2.0 \ T9$
$M2.1$	$M2.0$ $M2.1$	$\overline{T9}$ $I8.6$	$M2.1 = M2.0 \ \overline{T9} + M2.1 \ I8.6$
$M2.2$	$M2.1$ $M2.2$	$\overline{I8.6}$ $\overline{I8.6}$	$M2.2 = M2.1 \ \overline{I8.6} + M2.2 \ \overline{I8.6}$

Finalmente las salidas correspondientes a los diferentes actuadores, se definieron de la siguiente forma.



Tabla 5 . Ecuaciones de las salidas del sistema.

Salida	Estados que la habilita	Ecuación
Q8.2	M0.5 y M.06	$Q8.2 = M0.5 + M.06$
Q8.3	M0.2 y M0.7	$Q8.3 = M0.2 + M0.7$
Q8.4	M1.0, M1.3, M1.5, M.06 y M.07	$Q8.4 = M1.0 + M1.3 + M1.5 + M.06 + M.07$
Q8.5	M1.2 y M1.4	$Q8.5 = M1.2 + M1.4$
Q8.6	M1.5 y M1.7	$Q8.6 = M1.5 + M1.7$
Q8.7	M1.6	$Q8.7 = M1.6$
Q9.0	M0.3 y M2.0	$Q9.0 = M0.3 + M2.0$
Q9.1	M2.0, M1.7 y M2.1	$Q9.1 = M2.0 + M1.7 + M2.1$
Q9.2	M1.2	$Q9.2 = M1.2$
Q9.3	M0.4	$Q9.3 = M0.4$

### Programación en TIA PORTAL

Se realizó la programación de las ecuaciones ya previamente obtenidas, en el software TIA Portal, las cuales fueron segmentadas en el software con el objetivo de tener ordenado el código y poder visualizar por partes el mismo. Se cuenta con 31 segmentos de código, que en general se resumen en la secuencia de inicio, encendido y apagado del sistema en el estado M0.1, los tiempos para cada actuador, las 19 memorias y las salidas definidas a cada actuador.

▶ Network 1: Secuencia de inicio	▶ Network 11: Tiempo 9: Movimiento pistón 2	▶ Network 21: M1.1
▶ Network 2: Encendido y Apagado Botón 1	▶ Network 12: M0.0	▶ Network 22: M1.2
▶ Network 3: Tiempo 1: Cambio banda 1	▶ Network 13: M0.1	▶ Network 23: M1.3
▶ Network 4: Tiempo 2: Movimiento del pistón	▶ Network 14: M0.2	▶ Network 24: M1.4
▶ Network 5: Tiempo 3: Movimiento hasta el taladrado	▶ Network 15: M0.3	▶ Network 25: M1.5
▶ Network 6: Tiempo 4: Taladrado	▶ Network 16: M0.4	▶ Network 26: M1.6
▶ Network 7: Tiempo 5: Movimiento 5mm	▶ Network 17: M0.5	▶ Network 27: M1.7
▶ Network 8: Tiempo 6: Taladrado 2	▶ Network 18: M.06	▶ Network 28: M2.0
▶ Network 9: Tiempo 7: Fresado	▶ Network 19: M0.7	▶ Network 29: M2.1
▶ Network 10: Tiempo 8: Llegada banda 5	▶ Network 20: M1.0	▶ Network 30: M2.2
		▶ Network 31: Salidas definidas

Figura 10. Segmentos del código en el software TIA Portal

En primera instancia se definió la secuencia de inicio del código, la cual tendrá como resultado que el primer estado M0.0 sea verdadero. Esto se logra mediante una ecuación

donde las memorias están negadas las cuales en esta ecuación mandan un pulso de 1 milisegundo y a su vez, esta salida es enviada a la primera memoria del sistema.

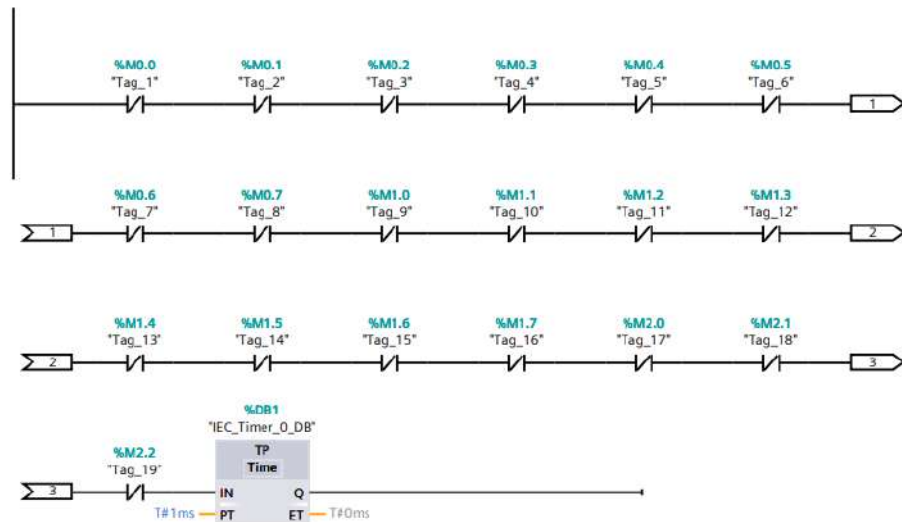


Figura 11. Secuencia de inicio del sistema por el método One Hot

Los tiempos se definieron con el bloque de temporizador con impulso, el cual se activa con el estado de memoria del cual depende. A continuación se muestra la estructura general de los TIMERS seguido de una tabla con sus estados correspondientes.

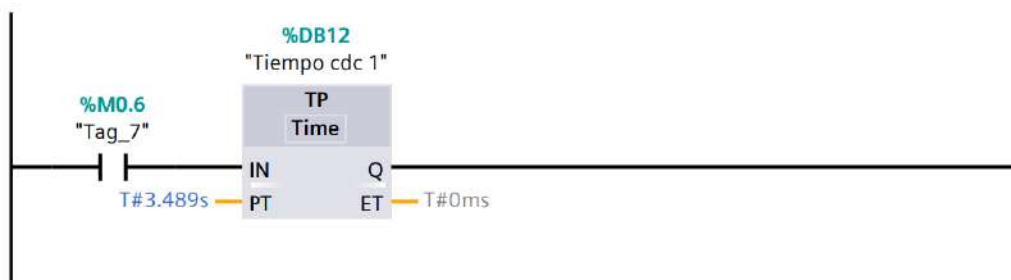


Figura 12. Estructura general de TIMERS

Tabla 6. Estados correspondientes a TIMERS

Nombre	Estado de activación
Tiempo 1: Cambio de banda	M0.6
Tiempo 2: Movimiento de pistón 1	M0.7
Tiempo 3: Movimiento hasta taladrado	M1.0
Tiempo 4: Taladrado 1	M1.2
Tiempo 5: Movimiento de 5mm	M1.3

Tiempo 6: Taladrado 2	M1.4
Tiempo 7: Fresado	M1.6
Tiempo 8: Llegada a banda 5	M1.7
Tiempo 9: Movimiento de pistón 2	M2.0

Otra estructura importante a considerar en el sistema es el botón que inicia la ejecución de la secuencia. En este caso, para simplificar esta entrada, se tomó la señal de un relé autoenclavador, el cual está constituido por la entrada SET y la entrada RESET. La entrada SET correspondiente a **1**, fue asignado al botón verde del PLC, es decir I9.4, mientras que la entrada RESET corresponde a **0**, fue asignado al botón amarillo, es decir I9.5.

De esta manera, la salida de este relevador quedó asignada como IBotón 1.

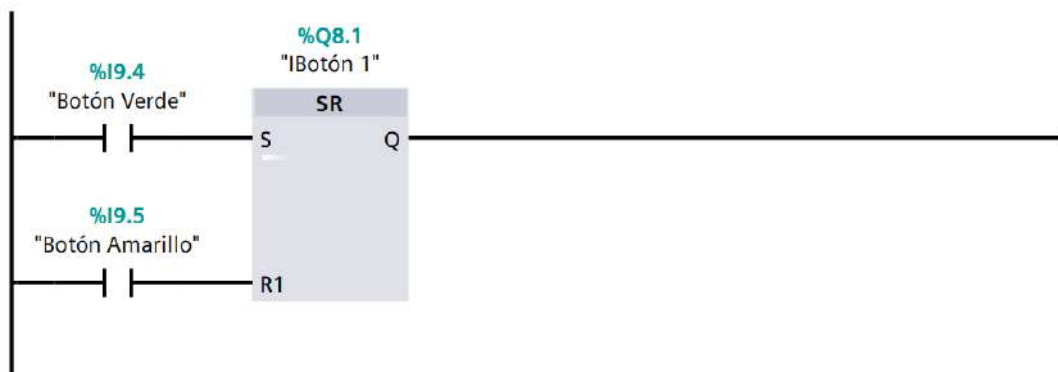


Figura 13. Estructura del botón de inicio.

Una vez definidos estos parámetros, se procedió a programar las memorias de acuerdo a las ecuaciones planteadas en la sección *Obtención de ecuaciones*, las cuales se muestran a continuación.

Tabla 7. Código de las memorias

Memoria	Código
M0.0: Primer estado del sistema, se activa cuando se inicializa o cuando el botón amarillo es presionado.	

<p>M0.1: Estado segundo de espera. A partir de esta posición, el sistema verifica la colocación de los pistones, asegurándose de que permitan el paso del producto a los cambios de banda. También se regresa a este estado en el caso de que ocurra el error y se presione el botón rojo o un producto sea retirado del final de la línea de producción.</p>	
<p>M0.2: A través de este estado se activa el motor del pistón 1 para posicionarlo de tal forma que permita el paso del producto en el cambio de banda 1. En este caso se permanecerá en dicho estado hasta que el sensor de posición indique 1.</p>	
<p>M0.3: A través de este estado se activa el motor del pistón 2 para posicionarlo de tal forma que permita el paso del producto en el cambio de banda 2. En este caso se permanecerá en dicho estado hasta que el sensor de posición indique 1.</p>	
<p>M0.4: Tercer estado de espera en el cual se activa la luz verde indicando que el sistema aguarda a que un producto se posicione al inicio de la segunda banda de la planta.</p>	
<p>M0.5: Estado de activación de la banda 2 al detectar un objeto en el sensor de inicio de la banda 2. El estado permanecerá activo hasta que se detecte un producto en el sensor de salida de banda 2.</p>	

<p>M0.6: Segundo estado que activa la banda 2 y 3 por el tiempo necesario para que el producto llegue al cambio de banda 1.</p>	
<p>M0.7: Estado en el cual se activa el motor del pistón 2 y banda 3 por el tiempo necesario para que el producto pase a la banda 3.</p>	
<p>M1.0: Estado en el cual se activa la banda 3 por el tiempo necesario para que el producto llegue al sensor del maquinado 1.</p>	
<p>M1.1: Estado de error del sistema. En este caso se pasa a este estado si el sensor del maquinado 1 no detecta ningún objeto y permanecerá en el mismo hasta que se presione el botón rojo.</p>	
<p>M1.2: Estado en el que se detectó un objeto en el sensor de maquinado 1 y se procede a encender el motor del taladro por el tiempo de 2 segundos.</p>	

<p>M1.3: Estado en el cual se activa la banda 3 por el tiempo necesario para mover el producto 5mm.</p>	
<p>M1.4: Estado en el que se activa el taladro por 4 segundos.</p>	
<p>M1.5: Estado en el cual se activan las bandas 3 y 4 hasta que un producto sea detectado en el sensor de maquinado 2.</p>	
<p>M1.6: Estado en el que se activa el fresado por 5 segundos.</p>	
<p>M1.7: Estado en el cual se activa la banda 4 por el tiempo necesario para que el producto llegue al cambio de banda 2.</p>	

M2.0: Estado en el que el motor del pistón 2 y la banda 5 son activados por el tiempo necesario para que el producto pase a la banda 5.	
M2.1: Estado en el cual una vez pasado el tiempo del pistón 2, activa la banda 5 hasta que un producto sea detectado en el sensor de salida de la banda 5.	
M2.2: Estado de espera en el cual se encuentra un producto al final de la línea de producción y permanecerá activo hasta que el producto sea retirado.	

Finalmente se presenta el código de cada salida.

Tabla 8. Código de las salidas

Nombre	Clave	Código
Avance de banda 2	Q 8.2	
Primer cambio de banda	Q 8.3	

Avance de banda 3	Q 8.4	
Maquinado banda 3	Q 8.5	
Avance de banda 4	Q 8.6	
Maquinado banda 4	Q 8.7	
Segundo cambio de banda	Q 9.0	
Avance de banda 5	Q 9.1	
Semáforo verde	Q 9.2	
Semáforo rojo	Q 9.3	

## Resultados

Después de programar lo correspondiente de acuerdo a la carta ASM, se procedió a cargar el código en el PLC de SIEMENS S7 1200, sin embargo se presentaron algunos obstáculos que no permitían un correcto funcionamiento del sistema, los cuales fueron superados tras experimentación y algunas estructuras que se implementaron en el código. A continuación se describen dichos obstáculos.

### a) Implementación de retardos



Los retardos fueron una solución que se añadió al código del sistema. Al probar por primera vez el código en la banda de producción se observó que en el estado M0.5 al detectar un producto en el sensor de salida de la banda 2 el sistema se detenía y pasaba al estado M0.4 en lugar de continuar con su funcionamiento hasta M0.6. Esto se debe a que hay un retraso en el envío de la señal de dicho sensor al PLC, lo que ocasionaba que la memoria se desactivara antes de que la señal llegara y por ende el siguiente estado M0.6 no se podía encender bajo la ecuación  $M0.6 = M0.5 * I8.1$ . Con el retardo implementado, se activaría un TIMER de 1 milisegundo que se activaría cuando se detectara un objeto en dicho sensor, lo que mantendría encendido el estado para que el siguiente pudiera activar su respectivo TIMER y mantenerse activo por ese tiempo.

Sin embargo esta corrección no fue suficiente para que el sistema funcionara adecuadamente, puesto que las memorias restantes funcionaban bajo el mismo principio, es decir, se desactivaban antes de que la señal del timer fuera negativa o que se detectara algo en un sensor, por lo cual en dichas memorias también se implementaron.

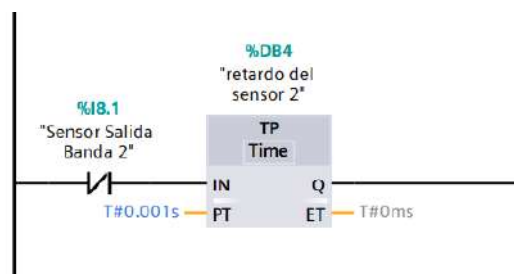


Figura 14. Estructura de retardo debido a un sensor.

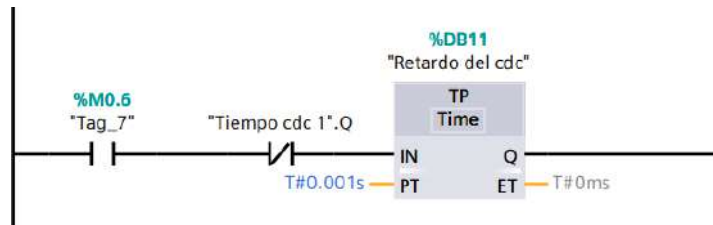


Figura 15. Estructura de retardo debido a un temporizador.

Tabla 9. Retardos del sistema

Nombre	Clave	Memoria de ejecución
Retardo del sensor 2	DB4	M0.5
Retardo del cdc	DB11	M0.6
Retraso al pistón	DB13	M0.7
Retraso llegada maquinado 1	DB14	M1.0
Retraso al taladrado	DB15	M1.2

Retraso a los 5 mm	DB16	M1.3
Retraso taladrado 2	DB17	M1.4
Retraso maquinado 4	DB18	M1.5
Retraso fresado	DB19	M1.6
Retraso llegada banda 5	DB20	M1.7
Retraso pistón 2	DB21	M2.0
Retraso último	DB22	M2.1

*b) Ajuste de tiempos*

De igual manera, los tiempos en los que el producto tenía que llegar a determinados lugares fue ajustado para que coincidiera con dichas posiciones, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

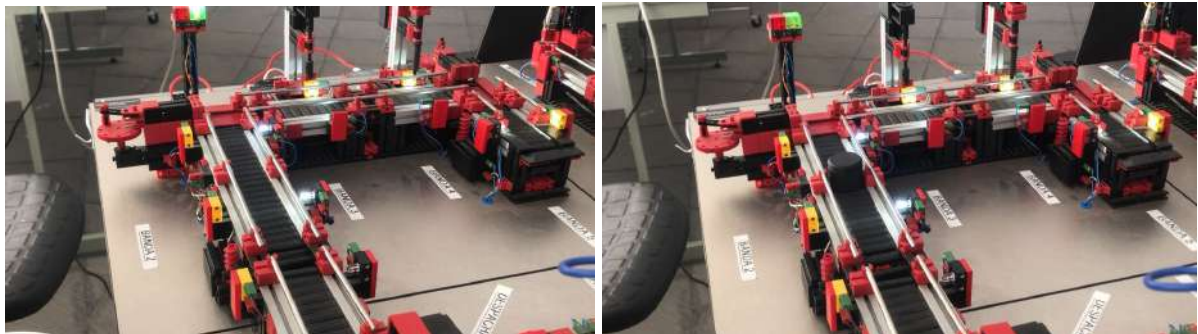
*Tabla 10. Ajuste de tiempos*

<b>Nombre</b>	<b>Clave</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>
Tiempo 1: Cambio de banda	DB12	3.489s
Tiempo 2: Movimiento de pistón 1	DB2	1s
Tiempo 3: Movimiento hasta taladrado	DB3	0.675s
Tiempo 4: Taladrado 1	DB5	2s
Tiempo 5: Movimiento de 5mm	DB6	0.040s
Tiempo 6: Taladrado 2	DB7	4s
Tiempo 7: Fresado	DB8	5s
Tiempo 8: Llegada a banda	DB10	2.5s

5		
Tiempo 9: Movimiento de pistón 2	DB9	1.45s

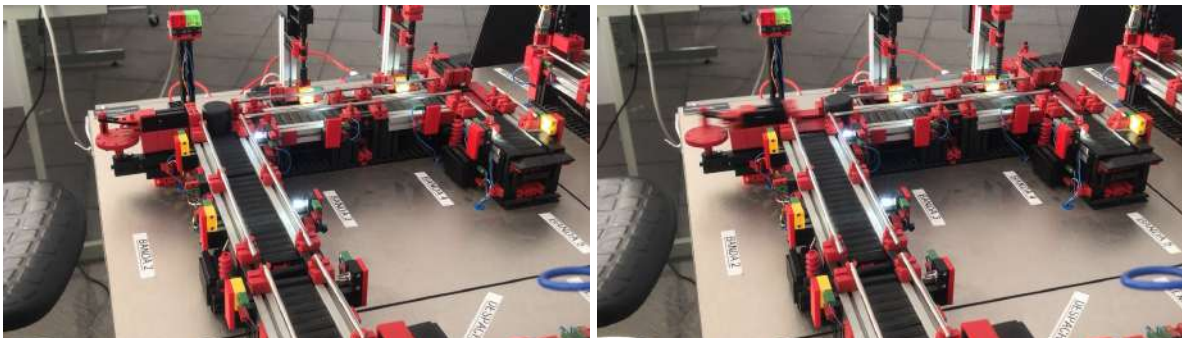
De esta manera se logró que el producto pasara por todas las fases del sistema, incluido el error asignado.

*a) Detección de producto al inicio de la banda 2*



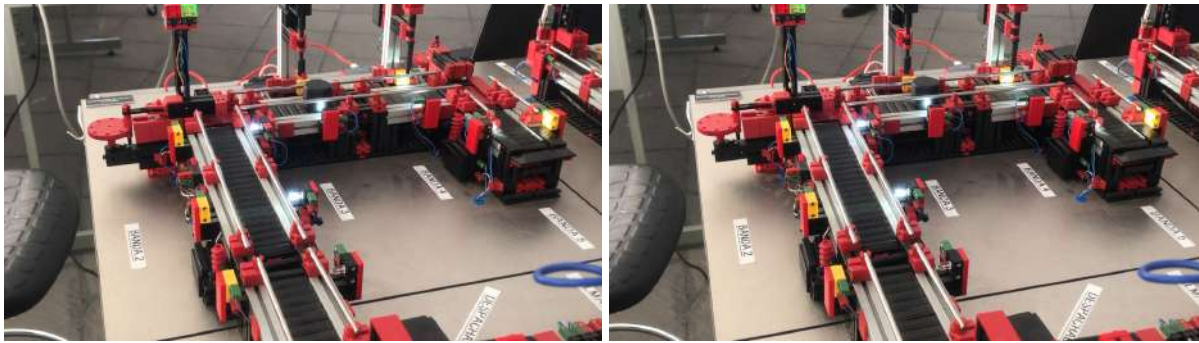
*Figura 16. Detección de producto al inicio de la banda 2*

*b) Cambio de banda 1*



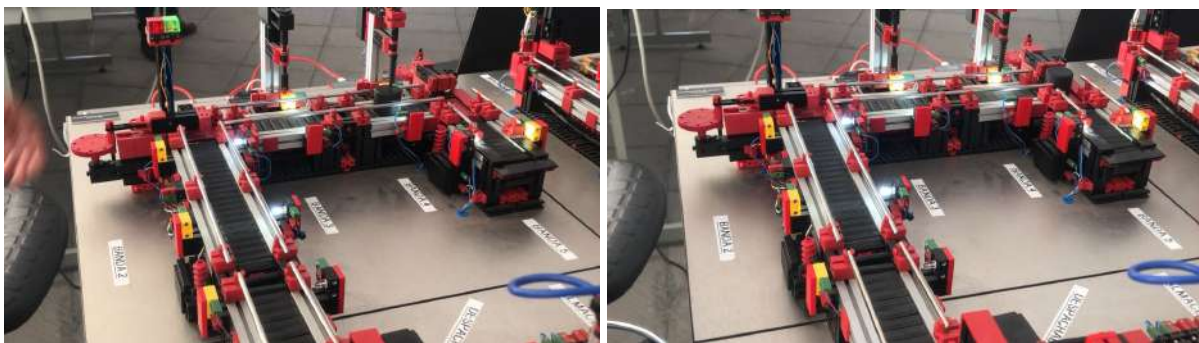
*Figura 17. Cambio de banda 1*

*c) Taladrado 1 y 2*



*Figura 18. Taladrados*

d) Fresado y cambio de banda 2



*Figura 19. Fresado y cambio de banda 2*

e) Final del proceso y error detectado



*Figura 20. Fase final y error*



*Link del código en PDF:*

[https://drive.google.com/file/d/1HkaDJASOv7FuHCr7AcGV0ZSUDM9aQyv3/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1HkaDJASOv7FuHCr7AcGV0ZSUDM9aQyv3/view?usp=share_link)

*Link de video de funcionamiento:*

[https://drive.google.com/file/d/1ND\\_nj-9leR2xwrhY\\_cbnbXY1GoJXyFQ/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1ND_nj-9leR2xwrhY_cbnbXY1GoJXyFQ/view?usp=sharing)

[https://drive.google.com/file/d/1oYm9OZeflp2Sqp9etprq753PbzHenEZk/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1oYm9OZeflp2Sqp9etprq753PbzHenEZk/view?usp=share_link)

## **Propuesta**

Con ayuda del conocimiento adquirido alrededor del bloque, descubrimos varias maneras de programar los PLC's, y usamos 2 softwares para ello, esto nos abre muchas posibilidades ya que el lenguaje escalera que aprendimos se puede programar en casi todos los plc's siendo un lenguaje de programación muy universal, esto nos permite de igual manera trabajar con casi cualquier marca de plc, adecuandonos al software que se usa, y esto se vuelve sencillo ya que al pasar de un programa a otro para hacer la misma programación nos damos cuenta de lo parecido que es todo, y las nuevas funciones que tenemos a nuestro alcance, simplemente hay que adaptarnos como ahora y se pueden realizar proyectos más grandes gracias a este corto periodo de tiempo que manejamos distintas manera de programar como lo son las cartas ASM para tener definido el problema y volverlo ecuaciones con el objetivo de controlar alguna máquina o sistema. Con el tiempo esta experiencia nos ayudará a eficientar los pasos de programación y la manera de realizarlos, ya que podemos disminuir los tiempos de algunos procesos para realizar cambios de banda por ejemplo, con mayor precisión y rapidez.

El conocimiento adquirido nos permitirá crear una automatización industrial completa según los requerimientos del sistema en cualquier industria, gracias a que aprendimos el proceso desde un inicio para realizar esta automatización junto con los requerimientos deseados en un corto periodo de tiempo y personalizado.

## **Conclusión**

Al realizar la automatización del centro de maquinados mediante el PLC S7 1200, utilizando el lenguaje de programación escalera utilizando el software TIA Portal, podemos concluir que el proceso se logró bajo los tiempos y especificaciones solicitadas, el centro de maquinados funciona de la manera correcta, así mismo tuvimos inconvenientes en el proceso, hubo momentos en los que la carta ASM parecía correcta pero debido a que cambiamos de software para realizar esta automatización, debido a este cambio el equipo se puso a revisar cómo funcionaba el programa y logramos entenderlo en poco tiempo; la carta la tuvimos que cambiar pensando en lo que íbamos revisando en la práctica al realizar pruebas con el código. Finalmente logramos realizar el proceso con los tiempos adecuados, así como implementamos retardos en los sensores debido a que tardaba en llegar la señal emitida por el sensor al plc, y tuvimos que tomarlo en cuenta para cambiar de estados correctamente.

Algunos puntos clave que tomamos en consideración tras realizar este diseño e implementación de la automatización son:

- Revisar problemas mecánicos que pueden surgir durante la operación del centro de maquinados.
- Revisar cada uno de los sensores, leds, y actuadores que funcionen correctamente.
- Si hay un cambio de software, familiarizarse con él, así como tener en cuenta la programación y en este caso los tiempos, debido a que puede haber maneras diferentes de utilizar ciertas funciones.
- Realizar siempre el análisis visual de lo que se pretende programar, para tener en cuenta que tipo de sensores o actuadores se utilizan, o si ya tiene entradas y salidas predefinidas para ahorrar tiempos a la hora de hacer la carta ASM.
- Tener al menos dos personas que trabajen el software es ideal ya que se puede trabajar aunque no esté algún integrante del equipo.
- Tomarse el tiempo para analizar los errores en la programación y comparar el proceso presencial con el proceso en el software.
- Hacer una lluvia de ideas puede ayudar a solucionar problemas de una manera más rápida.

## Referencias

- [1] Agudelo N, Tano G, Vargas C. . (2020). *HISTORIA DE LA AUTOMATIZACIÓN*. Universidad ECCI.. Universidad ECCI. Recuperado de <http://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf>
- [2] Socially Responsible Automation: A Framework for Shaping the Future. (2022). NAE Website. <https://www.nae.edu/200473/Socially-Responsible-Automation-A-Framework-for-Shaping-the-Future>
- [3] ¿Para qué sirve un PLC?. (2018, abril). AUTYCOM. Recuperado 18 de noviembre de <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/>