

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Título del trabajo:

Automatización del registro de paros en líneas de producción de confitería  
empleando Controladores Lógicos Programables

INGE-2621

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Mecatrónica**

Presentado por:

Aarón Gabriel Guevara Tiluano

Josué Abel Bajaña Salazar

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## Dedicatoria

---

Dedico mi tesis a quienes han sido mi sostén y mi luz en cada paso de este camino.

A mi madre, Ángela Jazmín, y a mi abuela, Mamalinda Ruby de las Mercedes, dos mujeres cuyo amor y fortaleza me han dado el valor para soñar y la fuerza para seguir. A mi hermano menor, José Daniel, cuyo cariño incondicional ha sido una fuente de alegría y esperanza en mi vida. A ustedes les debo todo lo que soy, me dieron alas cuando las mías se sentían cansadas, cada logro es fruto de su dedicación y sacrificio.

A mi fiel compañero, mi perrito Pinky, y a mi querido gatito Chiquito, que con su amor puro y constante me llenaron de consuelo y ternura.

A mis amigos, faros brillantes en mi vida, iluminando el camino con su apoyo y risas.

Esta victoria es tan suya como mía. Este trabajo, más que palabras sobre papel, es el eco de todos ustedes, la esencia de su amor, su apoyo y su fe en mí.

**Josué Bajaña**

## Agradecimientos

---

A ti, Dios, te entrego mi gratitud eterna. Reconozco que, aunque mis pasos tambalearon, tú siempre estuviste a mi lado, susurrándome con suavidad que todo estaría bien. Querida abuela, mamá y hermanito agradezco cada esfuerzo y sacrificio que han hecho por mí, por confiar en mí incluso cuando yo dudaba.

Mis queridos amigos Ángelo Piza, Mario Álava, Sandy Orellana, Kenneth Torres y Andrés Garzón gracias a ustedes nunca me sentí solo. Gabriel Guevara, Jeanpiere Benalcázar y Shirley Torres son el mejor equipo que alguien puede encontrar.

Un gesto no tiene que ser grande para hacer un gran cambio. Sus acciones en mi vida se volvieron infinitas, mis queridos seres amados.

**Josué Bajaña**

## Dedicatoria

---

Este proyecto está dedicado a quienes han sido mi mayor fortaleza, mi familia. A Luis Guevara, mi padre, por creer en mí sin reservas, brindándome siempre las oportunidades que estaban a su alcance para allanarme el camino. A Shirley Tiluano, mi madre, por su apoyo incondicional y profundo interés en cada paso que daba y aún más en mi bienestar. A mis hermanos Gary, Jahaira y Nicole por estar siempre dispuestos a ofrecer su ayuda y acompañarme cuando surgía alguna dificultad. Todos han sido fuente constante de confianza y motivación. Este logro también es suyo, porque sin ustedes no habría sido posible.

**Aarón Guevara.**

## Agradecimientos

---

Mis más sinceros agradecimientos a la fábrica por confiar, permitiendo que estudiantes como nosotros puedan aplicar sus conocimientos en un entorno industrial real. A mis compañeros de carrera, Fernanda, Jeanpiere, Josué y Mario, gracias por su valioso tiempo y sus consejos, que enriquecieron este proceso. Expreso también mi profunda gratitud hacia mi tutor de tesis, el Ph.D. Carlos Salazar López, cuya guía experta y apoyo académico fueron esenciales para la culminación exitosa de este proyecto.

**Aarón Guevara**

## Declaración Expresa

---

Nosotros Josué Abel Bajaña Salazar y Aarón Gabriel Guevara Tiluano acordamos y reconocemos que:

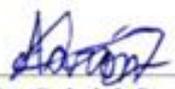
La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 18 de mayo del 2024.

  
\_\_\_\_\_  
Josué Abel Bajaña  
Salazar

  
\_\_\_\_\_  
Aarón Gabriel Guevara  
Tiluano

## **Evaluadores**

---

**Jorge Luis Hurel Ezeta, PhD.**

Profesor de Materia

---

**Carlos Alberto Salazar López, PhD.**

Tutor de proyecto

## Resumen

El proyecto se enfoca en la automatización de la captura de datos en líneas de producción de confites, con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa y reducir los tiempos muertos provocados por la captura manual de parámetros. La justificación radica en la necesidad de mayor competitividad en un mercado con demanda variable y altos estándares de calidad.

Durante el desarrollo, se emplearon equipos como el controlador lógico programable CompactLogix 5069 y sensores fotoeléctricos para la detección de obleas, donde la programación de los controladores lógicos se realizó utilizando los softwares RSLogix 500 y Studio 5000, garantizando la integración de datos con el servidor del sistema de gestión de operaciones de manufactura.

Los resultados mostraron una comunicación eficiente entre los controladores lógicos y el servidor, mejorando la visualización en tiempo real y reduciendo tiempos muertos. La personalización de la lógica de los controladores lógicos programables optimizó el monitoreo de variables clave como velocidad, temperatura y consumo de gas. Finalmente, se concluye que la automatización mejora la precisión en el registro de datos y permite una mejor toma de decisiones por parte de los operadores.

Palabras clave: Automatización, controladores lógicos programables, producción de confites, optimización.

### ***Abstract***

*The project focuses on automating data capture in candy production lines, with the aim of optimizing operational efficiency and reducing downtime caused by manual parameter capture. The justification lies in the need for greater competitiveness in a market with variable demand and high-quality standards.*

*During the development, equipment such as the CompactLogix 5069 programmable logic controller and photoelectric sensors for wafer detection were used. The programming of the logic controllers was carried out using the RSLogix 500 and Studio 5000 software, guaranteeing data integration with the operations management system server of manufacturing.*

*The results showed efficient communication between the logic controllers and the server, improving real-time visualization and reducing downtime. The customization logic of the programmable logic controller optimized the monitoring of key variables such as speed, temperature and gas consumption. Finally, it is concluded that automation improves the accuracy in data recording and allows for better decision making by operators.*

*Keywords: Automation, programmable logic controllers, confectionery production, optimization.*

## Índice general

Resumen.....	I
Abstract .....	II
Índice general .....	III
Abreviaturas .....	VI
Simbología .....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	X
Índice de Apéndice.....	XI
Capítulo 1 .....	1
1.    Introducción .....	2
1.1    Descripción del Problema.....	3
1.2    Justificación del Problema.....	4
1.3    Objetivos.....	5
1.3.1    Objetivo general .....	5
1.3.2    Objetivos específicos.....	5
1.4    Marco Teórico .....	5
1.4.1    Procesador Lógico Programable (PLC) .....	5
1.4.2    Lógica de escalera en la programación de PLC (Ladder) .....	5
1.4.3    Medición de desempeño de recursos de manufactura .....	6
1.4.4    Clasificación de tiempo en la fábrica .....	6
1.4.5    Configuración de las líneas de producción.....	8
1.4.6    Estado del arte .....	9
Capítulo 2.....	12
2.    Metodología .....	13
2.1    Requerimientos de Diseño.....	13

2.2	Selección de alternativas de solución .....	14
2.3	Proceso de diseño .....	18
2.4	Parámetros de diseño electrónico .....	19
2.4.1	Selección de PLCs para la captura de datos .....	19
2.4.2	Selección de HMIs para la visualización de datos .....	21
2.4.3	Selección de sensores para detección de obleas .....	23
2.5	Parámetros de diseño informático .....	23
2.5.1	Creación de máquinas virtuales.....	23
2.5.2	Programación de los controladores lógicos programables .....	24
2.5.3	Revisión de los interfaces humano-máquina.....	24
2.5.4	Metodología de Simulación.....	25
2.5.5	Utilización del compare.....	32
2.5.6	Registro de los valores de importancia.....	32
Capítulo 3	.....	34
3.	Resultados y análisis .....	35
3.1	Parámetros de interés - Hornos.....	35
3.2	Parámetros de interés - Untadora.....	47
3.3	Programa principal – Hornos.....	50
3.4	Programa principal - Untadora .....	50
3.5	Instalación de sensores .....	51
3.6	Simulación en preproductivo .....	51
3.7	Cálculo de Costos .....	57
Capítulo 4	.....	58
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	59
4.1	Conclusiones.....	59
4.2	Recomendaciones .....	60

Referencias .....	61
Apéndice .....	65
Apéndice A.....	66
Apéndice B.....	77
Apéndice C.....	80

## Abreviaturas

AI	Asset Intensity (Intensidad de activos)
CBM	Mantenimiento basado en las condiciones
DMO	Digital Manufacturing Operations (Operaciones de manufactura digital)
GLP	Gas Licuado del Petróleo
HMI	Human-machine interface (Interface humano-máquina)
IDF	Cuadro de distribución individual
KOP	Lenguaje de contactos
NEMA	National Electrical Manufacturers Association (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos)
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Eficacia Global de Equipos Productivos)
PIB	Producto interno bruto
PLC	Programmable Logic Controller (Controladores Lógicos Programables)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (supervisión, control y adquisición de datos)
VGA	Video Graphics Array (Matriz de gráficos de vídeo)

**Simbología**

AC	Corriente alterna
ALM	Alarma
°C	Grados centígrados
DC	Corriente continua
E/S	Entrada/Salida
KB	Kilobyte
Kg	Kilogramos
Lb	Libras
M1	Motor uno
M2	Motor dos
M5	Motor cinco
M6	Motor seis
mA	Miliamperios
MB	Megabyte
mm	Milímetros
ms	Milisegundos
mW	Miliwatts
V	Voltaje
W	Watts

**Índice de figuras**

Figura 1. 1 .....	6
Figura 1. 2 .....	7
Figura 1. 3 .....	8
Figura 1. 4 .....	10
Figura 1. 5 .....	11
Figura 2. 1 .....	18
Figura 2. 2 .....	25
Figura 2. 3 .....	26
Figura 2. 4 .....	26
Figura 2. 5 .....	27
Figura 2. 6 .....	27
Figura 2. 7 .....	28
Figura 2. 8 .....	28
Figura 2. 9 .....	29
Figura 2. 10 .....	29
Figura 2. 11 .....	30
Figura 2. 12 .....	30
Figura 2. 13 .....	31
Figura 2. 14 .....	31
Figura 2. 15 .....	32
Figura 3. 1 .....	35
Figura 3. 2 .....	36
Figura 3. 3 .....	37
Figura 3. 4 .....	38
Figura 3. 5 .....	39
Figura 3. 6 .....	39
Figura 3. 7 .....	40
Figura 3. 8 .....	40
Figura 3. 9 .....	41

Figura 3. 10 .....	41
Figura 3. 11 .....	42
Figura 3. 12 .....	42
Figura 3. 13 .....	43
Figura 3. 14 .....	44
Figura 3. 15 .....	44
Figura 3. 16 .....	45
Figura 3. 17 .....	45
Figura 3. 18 .....	46
Figura 3. 19 .....	46
Figura 3. 20 .....	47
Figura 3. 21 .....	47
Figura 3. 22 .....	48
Figura 3. 23 .....	48
Figura 3. 24 .....	49
Figura 3. 25 .....	49
Figura 3. 26 .....	50
Figura 3. 27 .....	50
Figura 3. 28 .....	51
Figura 3. 29 .....	53
Figura 3. 30 .....	53
Figura 3. 31 .....	54
Figura 3. 32 .....	55
Figura 3. 33 .....	55
Figura 3. 34 .....	55
Figura 3. 35 .....	56

**Índice de tablas**

Tabla 2. 1 .....	13
Tabla 2. 2 .....	16
Tabla 2. 3 .....	17
Tabla 2. 4 .....	19
Tabla 2. 5 .....	20
Tabla 2. 6 .....	21
Tabla 2. 7 .....	22
Tabla 2. 8 .....	23
Tabla 2. 9 .....	24
Tabla 2. 10 .....	25
Tabla 2. 11 .....	33
Tabla 2. 12 .....	33
Tabla 3. 1 .....	52
Tabla 3. 2 .....	52
Tabla 3. 3 .....	57
Tabla 3. 4 .....	57
Tabla 3. 5 .....	57

**Índice de Apéndice**

Figura A. 1 .....	66
Figura A. 2 .....	67
Figura A. 3 .....	68
Figura A. 4 .....	68
Figura A. 5 .....	69
Figura A. 6 .....	69
Figura A. 7 .....	70
Figura A. 8 .....	70
Figura A. 9 .....	71
Figura A. 10 .....	71
Figura A. 11 .....	72
Figura A. 12 .....	72
Figura A. 13 .....	73
Figura A. 14 .....	73
Figura A. 15 .....	74
Figura A. 16 .....	74
Figura A. 17 .....	75
Figura A. 18 .....	75
Figura A. 19 .....	75
Figura A. 20 .....	76
Figura B. 1 .....	77
Figura B. 2 .....	77
Figura B. 3 .....	78
Figura B. 4 .....	78
Figura B. 5 .....	79
Figura B. 6 .....	79
Figura B. 7 .....	79
Figura C. 1 .....	80
Figura C. 2 .....	80

Figura C. 3 .....81  
Figura C. 4 .....81  
Figura C. 5 .....82  
Figura C. 6 .....82  
Figura C. 7 .....83  
Figura C. 8 .....83  
Figura C. 9 .....84  
Figura C. 10 .....84  
Figura C. 11 .....85  
Figura C. 12 .....85

# Capítulo 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia comprende todas las actividades industriales que intervienen en el tratamiento, transformación, preparación, conservación y envasado de alimentos, que pueden ser de origen animal o vegetal [1]. Estas, a su vez, tienen una gran importancia en el sector industrial ecuatoriano, siendo el sector de bebidas y alimentos uno de los más destacados, contribuyendo al desarrollo económico y social por su presencia del 6,6% del producto interno bruto (PIB) [2].

Entre las categorías más representativas del sector de alimentos y bebidas está la elaboración de productos de confitería. En el 2019, este sector presentó en la actividad de elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería una participación del 0.14% sobre el PIB [3] no obstante según las previsiones del Banco Central para el presente año crecerá al menos 2,2% en su valor dentro del PIB [4]. Además, la eficiencia en la producción es un factor crítico que determina la rentabilidad y competitividad de las empresas. Esto influye de manera particular en la industria de confites, donde la demanda de productos puede variar de manera estacionaria y la calidad es un elemento diferenciador clave. Uno de los desafíos más importantes que enfrentan dichas fábricas yace en la gestión del tiempo de producción planificado, donde suelen haber paros en las líneas de producción que afectan negativamente a dicho tiempo. Estos pueden ser planificados, como los necesarios para los cambios de materia prima, mantenimiento preventivo o ajuste en la maquinaria o no planificados, como los que ocurren cuando hay un fallo inesperado.

Existen indicadores claves en la industria como lo es OEE y estrategias de optimización industrial enfocados en mejorar dicho indicador, reduciendo y gestionando los residuos de los procesos. En este contexto, los sistemas de optimización basados en el uso de Digital Manufacturing Operations (DMO) desempeñan un papel crucial, ya que permite a los operadores registrar los paros de manera eficiente, lo que reduce el tiempo de inactividad. Otras estrategias pueden incluir la reingeniería de procesos, la manufactura esbelta, Kanban o inclusive el Len Six-Sigma.

## 1.1 Descripción del Problema

En el ámbito empresarial, es esencial cuantificar la productividad y eficiencia de los procesos de fabricación. Un indicador ampliamente utilizado a nivel internacional para medir la eficiencia de la maquinaria industrial es la Eficacia Global de los Equipos Productivos (OEE) [5]. En la industria latinoamericana, este indicador sigue siendo de gran utilidad, incluso en procesos no cíclicos en las líneas de producción [6], un correcto control de este indicador contribuye a aumentar la competitividad de las empresas y a maximizar el rendimiento de las máquinas. En este contexto, en Guayaquil, Ecuador, una fábrica de confites reconocida en el mercado emplea un indicador análogo al cual denominan "Asset Intensity".

Actualmente, la fábrica de confites enfrenta una gestión ineficiente de los turnos debido a la captura manual de datos y calidad en las líneas de producción de chocolates y oblea. Los operadores deben realizar mediciones de parámetros de importancia de manera manual cada turno laboral de 8 horas, anotarlas y posteriormente ingresarlas al sistema, siendo un proceso repetitivo, tardado y propenso a errores, esto termina afectando al indicador Asset Intensity. Mantener estas pérdidas en el tiempo de producción buena, puede afectar negativamente al Asset Intensity. A largo o corto plazo, esto puede generar problemas para solventar la demanda de producto en el mercado variante de esta industria, además de disminuir la productividad, incrementar los costos de mantenimiento y reducir la calidad final del producto [7].

Para influir positivamente en el indicador de calidad, es necesario que los tiempos de producción buena se incrementen en relación con el tiempo ocupado planificado, para ello los tiempos en que el operador registra manualmente dichos parámetros de importancia deben reducirse o eliminarse totalmente.

## 1.2 Justificación del Problema

En la actualidad, las fábricas de confites enfrentan desafíos constantes debido a la demanda fluctuante del mercado y la competencia intensa, en consecuencia, los fabricantes deben adaptarse a las nuevas exigencias abarcando cada vez más frentes [8]. Para mantenerse competitivas, es fundamental que estas fábricas puedan responder rápidamente a los cambios del mercado aumentando la precisión, coherencia y velocidad de fabricación, automatizando los procesos repetitivos [9].

La falta de automatización y sistemas avanzados de captura de datos en las líneas de producción es un obstáculo significativo para la eficiencia. Estos problemas se agravan por la dependencia en procesos manuales y la limitada capacidad de monitoreo en tiempo real, lo que dificulta la identificación y corrección oportuna de ineficiencias, ya que métodos tradicionales de entrada manual de datos consumen mucho tiempo y son propensos a errores [10].

La adopción de un sistema automatizado para la captura de datos en la producción de confites ofrece manejar grandes volúmenes de datos, fortalecer la competitividad, responder de manera más eficiente a las demandas del mercado, mejorar la calidad del producto y reducir los costos operativos, garantizando así influir positivamente en el Asset Intensity, permitiendo un crecimiento sostenible y una ventaja competitiva en la industria.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 *Objetivo general*

Integrar la captura automática de datos en las líneas de producción de una fábrica de confites mediante la conexión de Controladores Lógicos Programables con el servidor de Gestión de Operaciones de Manufactura para reducir los tiempos de desperdicio.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Realizar las configuraciones de los PLC empleando los softwares RSLogix 500 y Studio5000, para la captura automática de datos.
2. Registrar los datos recolectados por el PLC en el servidor DMO, de modo que los operadores tengan accesibilidad a estos.
3. Identificar las líneas de producción físicas sobre las que se van a trabajar, para la obtención de los parámetros de importancia.

## 1.4 Marco Teórico

### 1.4.1 *Procesador Lógico Programable (PLC)*

Un PLC o Programador Lógico programable según la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA), es un instrumento eléctrico que hace uso de una memoria programable para guardar instrucciones sobre funciones específicas las cuales pueden ser operaciones lógicas, secuenciales, temporales o cálculos sobre diferentes tipos de procesos y maquinas mediante el uso de módulos de E/S (Entrada/Salida) analógicos y digitales [11].

### 1.4.2 *Lógica de escalera en la programación de PLC (Ladder)*

El diagrama escalera (KOP) también llamado diagrama Ladder es un lenguaje de programación gráfico basado en los esquemas electicos de control clásicos estandarizados con el IEC 61131-3. En Ladder, la energía se desplaza de izquierda a derecha donde la lógica de control tiene como antecedente la lógica de contactos y como conclúyete la bobina [12].

### 1.4.3 Medición de desempeño de recursos de manufactura

Existe un indicador clave en la industria, a nivel mundial, que permite medir la eficiencia global de una máquina, línea de producción o una planta, este es el OEE. Como se observa en la **Figura 1.1** este se basa en tres factores clave, disponibilidad, rendimiento y calidad [5].

**Figura 1. 1**

*Componentes del indicador de eficacia global de equipos productivos*



El indicador macro como fábrica en el presente proyecto es el Asset Intensity (AI) que denota la relación entre los tiempos de producción. El AI se calcula como el cociente entre el tiempo de buena producción y el tiempo de buena producción más el tiempo en el que las líneas se detienen o producen productos no satisfactorios (tiempo ocupado).

$$\text{Asset Intensity} = \frac{\text{Tiempo de producción buena}}{\text{Tiempo ocupado}} \quad (1.1)$$

### 1.4.4 Clasificación de tiempo en la fábrica

Entre los conceptos que se encuentran como parte del tiempo total de fabricación, en la **Figura 1.2** se tiene:

- **Tiempo no ocupado:** tiempo en el que el planificador de fabrica asigna en que se va a usar determinada línea de producción.
- **Tiempo ocupado:** Tiempo que depende de la demanda durante el cual la línea de producción está siendo utilizada para producir
- **Paros Planeados:** Son los paros que necesariamente se deben realizar en la línea como lo son mantenimiento, preparación de arranque o cambios de formato o producto.
- **Tiempo de ejecución:** Es el tiempo en el que el planificador prevé que se produzca.
- **Paros no planeados:** Son paros no deseados que pueden darse por averías de máquinas o problemas dentro de los procesos.
- **Pérdida de velocidad:** Situaciones en las que las máquinas están operando por debajo de la velocidad establecida como estándar.
- **Tiempo de producción a velocidad nominal:** Tiempo en el que las máquinas están operando en la velocidad estándar.
- **Retrabajo / Barredura:** El retrabajo sucede cuando el producto que no cumple con los estándares de calidad y debe ser reprocesado mientras que barredura es cuando los productos que caen al suelo y no pueden ser recuperados, siendo descartados como basura.
- **Tiempo de producción buena:** Representa el tiempo en el que la línea de producción está operando a su capacidad esperada y pueden ser entregados a los consumidores.

**Figura 1. 2**

*Clasificación del tiempo dentro de la fábrica*



*Nota.* Información entregada por la fábrica de confites

### 1.4.5 Configuración de las líneas de producción

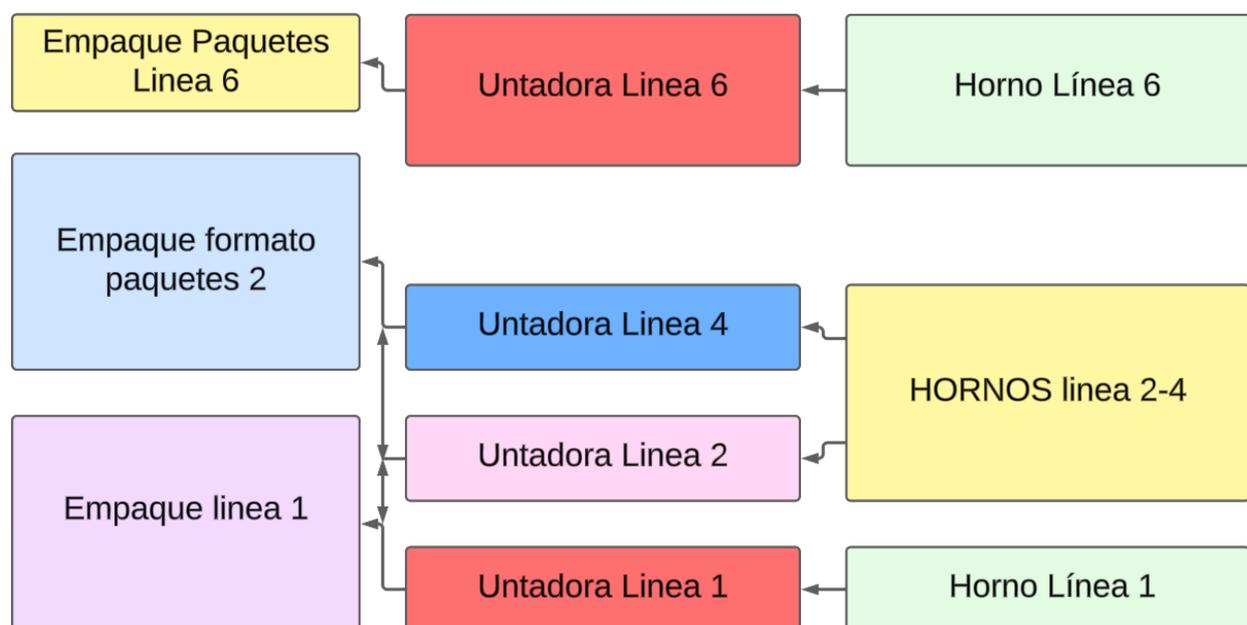
Términos de importancia:

- Una línea está compuesta por diferentes recursos
- Un recurso está compuesto por una agrupación de máquinas

En la línea de producción de oblea, los recursos principales en los que se enfoca el proyecto son Hornos Línea 2 y 4, Horno y Untadora de línea 1. Como se observa en la **Figura 1.3**. El proceso comienza con la colocación de la masa en las wafleras, que luego se hornean en las líneas de horno 1, 2 y 4. Después, se ensamblan los sándwiches de oblea untando la crema en Untadora de línea 1. Finalmente, las obleas se empaquetan para su distribución.

**Figura 1.3**

*Línea de producción de oblea*



*Nota.* Información entregada por la fábrica de confites

#### **1.4.6 Estado del arte**

Actualmente, hay empresas que detectan sus problemas al producir, optimizando sus líneas de producción y ofreciendo soluciones, implementando sistemas de monitoreo y control, que, aunque exclusivos, otorgan una perspectiva para abordar problemáticas similares. Es por ello que en esta sección se hace referencia a otras plantas que aplicaron estrategias que sirven como indicativos para comprender e inclusive aplicar conceptos análogos.

#### **Reducción de la pérdida de productos terminados en una línea de producción de cremas de una empresa de fabricación de productos dermatocósméticos**

Uno de los problemas a los que se enfrentan las empresas es la reducción en la fabricación de productos que no cumplen con la calidad final deseada. En el presente trabajo, se identificaron estos problemas y se abordaron mediante el uso de la metodología 5S, con el objetivo de lograr cambios y optimizar los procesos productivos en una fábrica de dermatocósméticos [13].

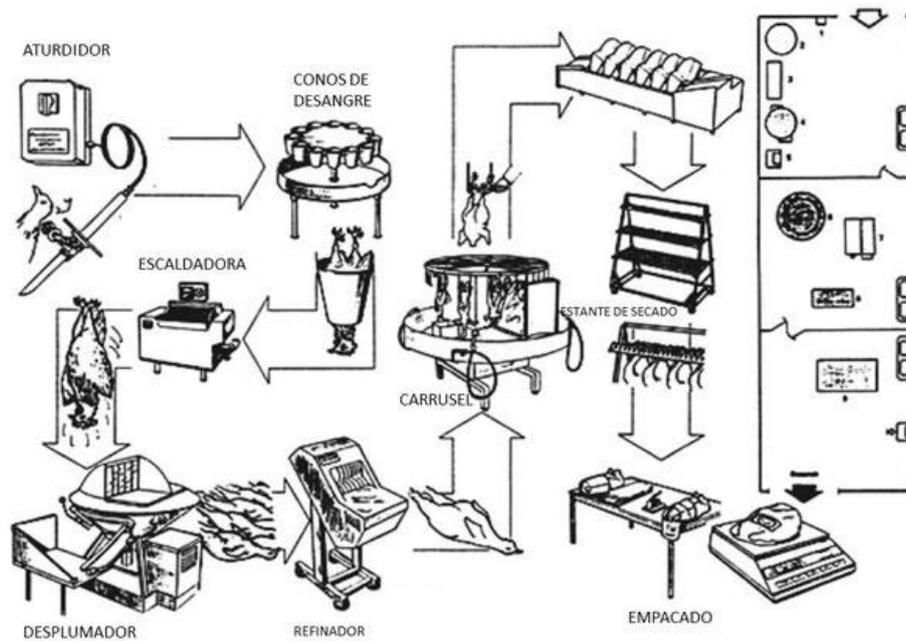
Con dicha metodología se consiguió reducir el porcentaje de productos defectuosos pasando de un 11,43% a un 5,89%, obteniendo una reducción considerable del 5,54% como promedio mensual [13].

#### **Automatización línea de producción en empresa de consumo ABC**

En este trabajo se detectó un incremento futuro en la demanda del producto producido por una planta faenadora de aves, carne de pollo, cuyo proceso se observa en la **Figura 1.4**, por lo que se necesitó un cambio/mejora en la producción. Se decidió la automatización de la línea de producción, buscando la eficiencia operativa basándose en las capacidades de producción de la empresa en aves/hora y peso promedio del ave [14].

**Figura 1. 4**

*Fábrica faenadora de pollos [14]*



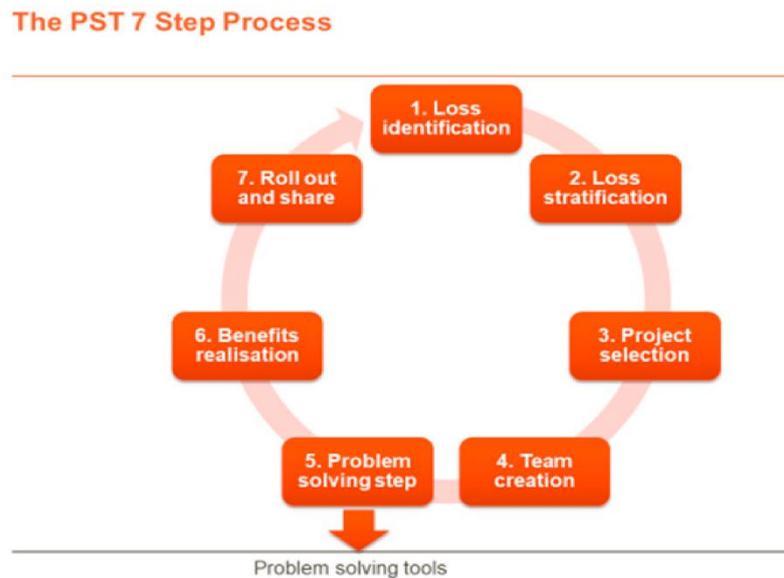
Con la compra de maquinaria nueva, permitiría una producción adicional de 7500 aves/hora, evaluando a 5 años de producción a posterior de la puesta en marcha de la máquina. Obteniendo beneficios rentables para la empresa de consumo ABC [14].

### **Applying Lean Six Sigma Methodology to a Pharmaceutical Manufacturing Facility: A Case Study**

En este estudio se explora la metodología Lean Six Sigma, empleada para la identificación y eliminación de las causas de tiempo de inactividad, en un sitio de fabricación farmacéutica fabricante de tabletas de acetaminofén, para este caso. El sitio se enfrentó a un aumento en la demanda que no podían cubrir debido a la popularidad y a causa de una pandemia de COVID 19, misma que intensificó la necesidad de este medicamento para aliviar el dolor. Siguiendo una metodología de resolución de problemas de 7 pasos, que se observa en la **Figura 1.5**, se consiguió un ahorro de poco menos de la mitad de un millón de dólares [15].

**Figura 1. 5**

*Siete pasos para la resolución de problemas internos de la empresa [15]*



Los resultados demostraron que la metodología personalizada y las herramientas Lean Six Sigma fueron efectivas para la identificación de la raíz del problema. Si bien el estudio fue completado en un caso en específico, los resultados ofrecen aplicaciones importantes, posibles de implementar en otras empresas de fabricación [15].

## **Capítulo 2**

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se explica la metodología para la obtención de una solución capaz de cumplir con los objetivos establecidos especificando los requerimientos establecidos por el cliente. Además de detallar el diseño electrónico, informático y de control.

### 2.1 Requerimientos de Diseño

Los requerimientos de diseño que se presentan en la **Tabla 2.1** fueron brindados por la fábrica de confites y representaron un pilar fundamental para la creación de la solución.

**Tabla 2. 1**

*Requerimientos de diseño*

Requerimientos	Descripción
Mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe contar con la disposición correcta del sensor destinado al conteo de obleas.</li> <li>• Debe asegurar que el sistema no obstaculice el trabajo normal del operador.</li> </ul>
Electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cableado debe ser ordenado y claro.</li> <li>• El sistema debe contar con la debida conexión al centro de telecomunicaciones.</li> <li>• Que pueda realizar funciones de control de procesos.</li> <li>• El control de múltiples entradas y salidas.</li> <li>• Que pueda integrarse al sistema DMO de la fábrica.</li> </ul>
Informáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es necesario un registro de datos captados por los sensores.</li> <li>• Tener una interfaz que permita al operador visualizar los datos registrados.</li> </ul>

---

De control

- Deben monitorearse los parámetros correspondientes a la temperatura del horno, velocidad de la banda, conteo de producción a la salida de la máquina y alertas.
  - El control de los parámetros que influyen en el Asset Intensity.
- 

## 2.2 Selección de alternativas de solución

Tomando en consideración los aspectos de la problemática presentados en capítulo anterior con las consideraciones de diseño mostradas en **Tabla2.1** se presentaron cuatro posibles soluciones.

### Alternativa 1

Integración de un sistema IoT (Internet de las cosas), donde sean añadidos dispositivos IoT para el monitoreo continuo y además en tiempo real de los parámetros de interés, de modo que los datos puedan ser enviados de forma directa al DMO de manera inalámbrica y sin necesidad de un centro de telecomunicaciones que redirija los datos obtenidos, eliminando la necesidad de intervención manual de los operados en planta [16].

### Alternativa 2

Instalación de un sistema de Control de supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), de manera que se centralice y visualice todos los parámetros de interés al momento de producir las obleas. Este permitiría monitorear, controlar y registrar datos automáticamente, así como el análisis de datos históricos, para la identificación de patrones y tendencias, facilitando la gestión de alarmas y eventos en tiempo real [17].

### **Alternativa 3**

Diseño de un sistema de captura automática de datos, donde la unidad central esté conformada por un PLC que recepta los valores de las variables de interés monitoreadas, como temperatura del horno, velocidad de la banda, cantidad de obleas a la salida de la máquina o alarmas del sistema, de modo que sea posible el envío de dicho datos a un centro de telecomunicaciones IDF por vía ethernet, para posteriormente conectarse con la base de datos provista por el gestor digital de operaciones de manufacturas (DMO) y que los mismos sean utilizados para análisis, identificación de posibles errores o simple visualización por el operador.

### **Alternativa 4**

Implementación de un sistema de gestión de mantenimiento basado en condiciones (CBM), utilizando datos de los sensores, estrategias de análisis predictivo e inclusive algoritmos de machine learning, para el análisis de datos históricos y planificación del mantenimiento preventivo de la maquinaria, así como la asignación correspondiente de los códigos de error. De modo que puedan ser prevenidos los paros no planeados con mayor precisión y realizar los ajustes respectivos en los paros planeados, optimizando el mantenimiento y por ende reduciendo los tiempos no operativos de las máquinas y del operador [18].

Se procede a definir los criterios de diseño que permiten la evaluación de las alternativas dependiendo de las ponderaciones establecidas acorde a la importancia dentro del contexto del proyecto.

- **Efectividad en la comunicación:** La facilidad y exactitud que tiene la información para pasar de un dispositivo a otro, toma en cuenta el ruido o pérdida en el intercambio de datos.

- **Metodología de instalación:** Complejidad del cableado / conectividad a realizar para garantizar su funcionamiento.
- **Costo de Adquisición:** Aproximación del capital necesario para la obtención de los dispositivos e instalación de estos.
- **Consumo de energía:** La energía necesaria para alimentar a todo el sistema.
- **Durabilidad:** El tiempo aproximado que se planea el sistema se mantenga operativo bajo las condiciones óptimas.

**Tabla 2. 2**

*Criterios de diseño y ponderaciones respectivos*

<b>Importancia</b>	<b>Criterio</b>	<b>Peso relativo</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
1	<b>Efectividad en la comunicación</b>	4	30,76%
2	<b>Metodología de instalación.</b>	3,5	26,92%
3	<b>Costo de Adquisición</b>	3	23,08%
4	<b>Consumo de energía</b>	1,5	11,54%
5	<b>Durabilidad</b>	1	7,69%
<b>Peso Total</b>		13	100%

En base a los criterios de la **Tabla 2.2**, se compararon las alternativas mostradas con anterioridad para determinar la solución más viable.

**Tabla 2. 3***Matriz de decisión*

<b>Criterio</b>	<b>Efectividad en la comunicación</b>	<b>Metodología de la instalación</b>	<b>Costo</b>	<b>Consumo de energía</b>	<b>Durabilidad</b>	<b>Total</b>
<b>Peso</b>	4	3,5	3	1,5	1	13
<b>Porcentaje</b>	30,76%	26,92%	23,08%	11,54%	7,69%	100%
Alternativa 1	8	11	7	6	8	8,35
Alternativa 2	9	9	8	4	8	8,11
Alternativa 3	11	10	6	6	8	8,77
Alternativa 4	9	8	7	5	8	7,73

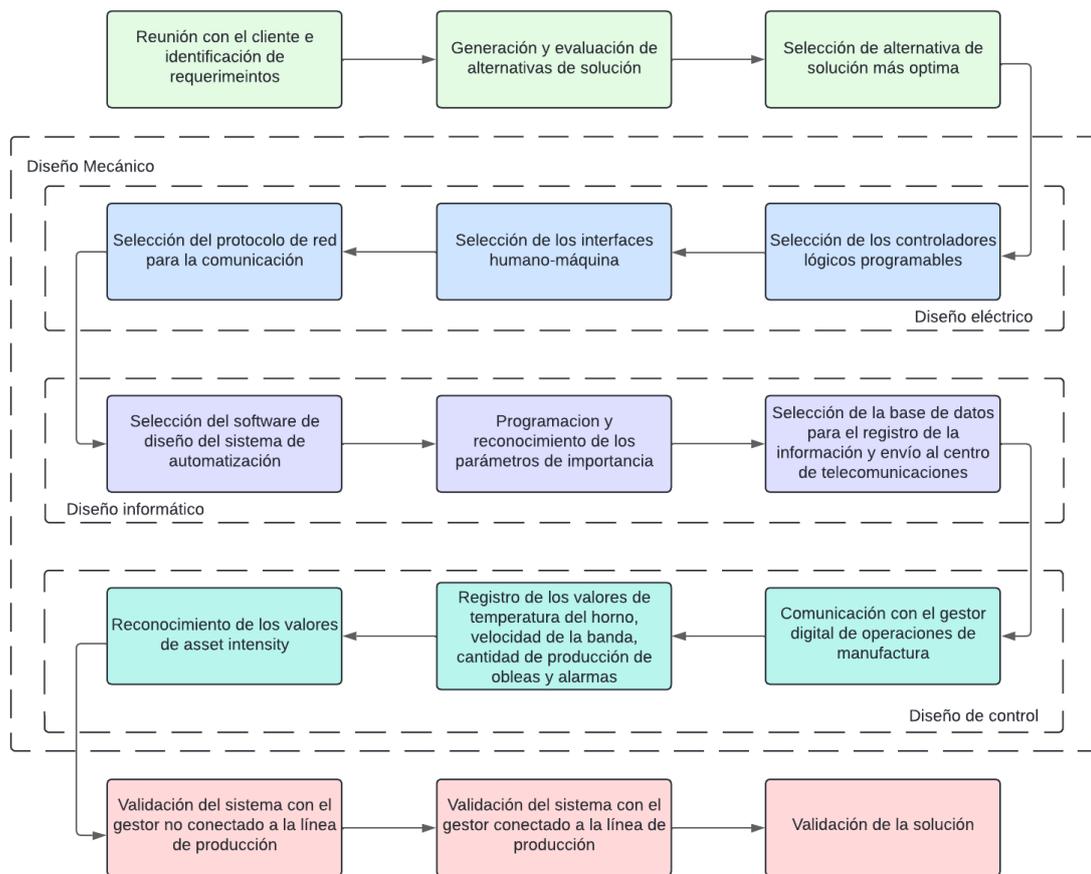
Los resultados que se observan en la **Tabla 2.3**, permitieron concluir que la alternativa 3 es por poco la solución con mejor ponderación, teniendo como segunda opción la alternativa 1, cuyo principal problema esencial es la comunicación inalámbrica que puede estar llena de interferencias en relación con la alternativa 3.

## 2.3 Proceso de diseño

En la **Figura 2.1** se muestran las distintas etapas a realizar para la obtención del resultado final de la solución propuesta.

**Figura 2. 1**

*Proceso de diseño de la solución*



## 2.4 Parámetros de diseño electrónico

### 2.4.1 Selección de PLCs para la captura de datos

**Tabla 2. 4**

*PLC para el recurso de Hornos 1, 2 y 4 [19].*

<b>MicroLogix 1400 1766-L32BXBA</b>		
<b>Visual</b>	<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
	<b>Fuente de alimentación</b>	24 V DC
	<b>Memoria</b>	20 KB de usuario 10 KB de datos
	<b>Entradas</b>	24 entradas (20 digitales / 8 estándar, 12 alta velocidad y 4 analógicas / 0 a 10 VCC)
	<b>Salidas</b>	14 salidas (12 digitales, 2 analógicas / Relé-FET)
	<b>Puertos de comunicación</b>	Ethernet, RS-232, RS-485
	<b>Capacidad de expansión</b>	Hasta 7 módulos de expansión 1762
	<b>Temperatura de operación</b>	0 °C a 55 °C
	<b>Dimensiones</b>	90 x 180 x 87 mm
	<b>Peso</b>	0,9 kg (2.0 lb)
	<b>Potencia</b>	50 W (7.5 W sin sistemas de expansión)

**Tabla 2. 5**

*PLC para el recurso de Untadora 1 [20].*

<b>PLC CompactLogix 5069-L320ER</b>		
<b>Visual</b>	<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
	<b>Fuente de alimentación</b>	18 - 32V DC
	<b>Memoria</b>	2 MB de memoria de usuario
	<b>Entradas y Salidas</b>	Dependiente de los módulos (16 máximo)
	<b>Puertos de comunicación</b>	Ethernet/IP, 40 Nodos, un puerto USB
	<b>Temperatura de operación</b>	0 °C a 60 °C
	<b>Dimensiones</b>	143,97 x 98,10 x 136,81 mm
	<b>Peso</b>	0,768 kg (1,693 lb)
	<b>Potencia</b>	4,4 W

### 2.4.2 Selección de HMIs para la visualización de datos

**Tabla 2. 6**

*HMI para el recurso de Hornos 1, 2 y 4 [21].*

<b>PanelView Plus 700</b>		
<b>Visual</b>	<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
	<b>Fuente de alimentación</b>	18 – 32V DC
	<b>Tamaño de pantalla</b>	6,5 pulgadas (Táctil a color)
	<b>Resolución de pantalla</b>	640 x 480 píxeles (VGA)
	<b>Memoria</b>	256MB de RAM, 512MB de almacenamiento flash
	<b>Puertos de comunicación</b>	Ethernet, RS-232, USB (host y dispositivo)
	<b>Sistema operativo</b>	Windows CE
	<b>Temperatura de operación</b>	0°C a 55°C
	<b>Potencia</b>	70 W máximo (2.9A a 24V)

**Tabla 2. 7***HMI para el recurso de Untadora 1 [22].*

<b>PanelView plus 7 2711P-T10C21D8S-B</b>		
<b>Visual</b>	<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
	<b>Fuente de alimentación</b>	24 DC
	<b>Tamaño de pantalla</b>	10,4 pulgadas (Táctil a color)
	<b>Resolución de pantalla</b>	800 x 600 píxeles (SVGA)
	<b>Memoria</b>	512MB de RAM y flash, 250MB de Usuario
	<b>Puertos de comunicación</b>	Ethernet, RS-232, USB (host y dispositivo)
	<b>Sistema operativo</b>	Windows CE
	<b>Temperatura de operación</b>	0°C a 50°C
	<b>Potencia</b>	Aproximadamente 30W

### 2.4.3 Selección de sensores para detección de obleas

**Tabla 2. 8**

*Sensor digital para conteo de obleas [23]*

WT170-P132		
Visual	Especificación	Valor
	<b>Funcionamiento</b>	Fotocélula de detección sobre objeto
	<b>Fuente de alimentación</b>	10 V DC a 30 V DC
	<b>Consumo de corriente</b>	30 mA
	<b>Tiempo de respuesta</b>	≤ 0,7 ms
	<b>Alcance de detección máx.</b>	10 mm a 550 mm
	<b>Dimensiones</b>	12 x 37 x 28,6 mm
	<b>Temperatura de operación</b>	-25°C a +55°C
	<b>Potencia</b>	Aproximadamente 90mW

## 2.5 Parámetros de diseño informático

### 2.5.1 Creación de máquinas virtuales

Para la programación, conexión y simulación de la programación de los PLC se consideró el uso de hipervisores en dos entornos informáticos diferentes siendo estos “VMware Workstation Pro” y “Oracle VM VirtualBox”.

- En “VMware Workstation Pro”: se implementó el uso de los softwares de programación, comunicación y simulación “RSLogix500”, “RsLink Classic” y “RsLogix Emulate 500” correspondientemente, además de “Factory Talk View Studio” para la revisión de las interfaces.

- En “Oracle VM VirtualBox” Pro: Se hizo uso de los softwares de programación, comunicación y simulación “Studio5000”, “RsLink Classic” y “RsLogix Emulate 5000” correspondientemente, además de “Factory Talk View Studio” para la revisión de las interfaces.

### 2.5.2 Programación de los controladores lógicos programables

La programación de los PLCs, que se especifica en la **Tabla 2.9**, se realizó utilizando el entorno de programación entregado por “Rockwell Automation”. Para los PLC de los hornos fue necesario contar con el software de “RSLogix500” puesto que su programación base se trabajó directamente en esa versión. En cambio, para el PCL de la untadora se contó con el software de programación “Studio 5000”. Se requirió realizar ingeniería inversa de la programación para reconocer lo valores de importancia de cada variable y como estas interactuaban dentro de la programación base.

**Tabla 2.9**

*Detalles de los PLCs empleado para los recursos*

Ítems	Detalle del equipo	Específico	Programa
1	<b>MicroLogix 1400 1766-L32BXB</b>	Horno 1	RSLogix500
2	<b>MicroLogix 1400 1766-L32BXBA</b>	Horno 2	RSLogix500
3	<b>MicroLogix 1400 1766-L32BXBA</b>	Horno 4	RSLogix500
4	<b>PLC CompactLogix 5069-L320ER</b>	Untadora 1	Studio 5000

### 2.5.3 Revisión de los interfaces humano-máquina

La revisión de los HMI de los hornos, como también de la untadora, como se especifica en la **Tabla 2.10**, se realizaron haciendo uso del entorno de programación de “FactoryTalk View” dedicada a la programación de dispositivos de interfaz de operador a nivel de máquina.

**Tabla 2. 10**

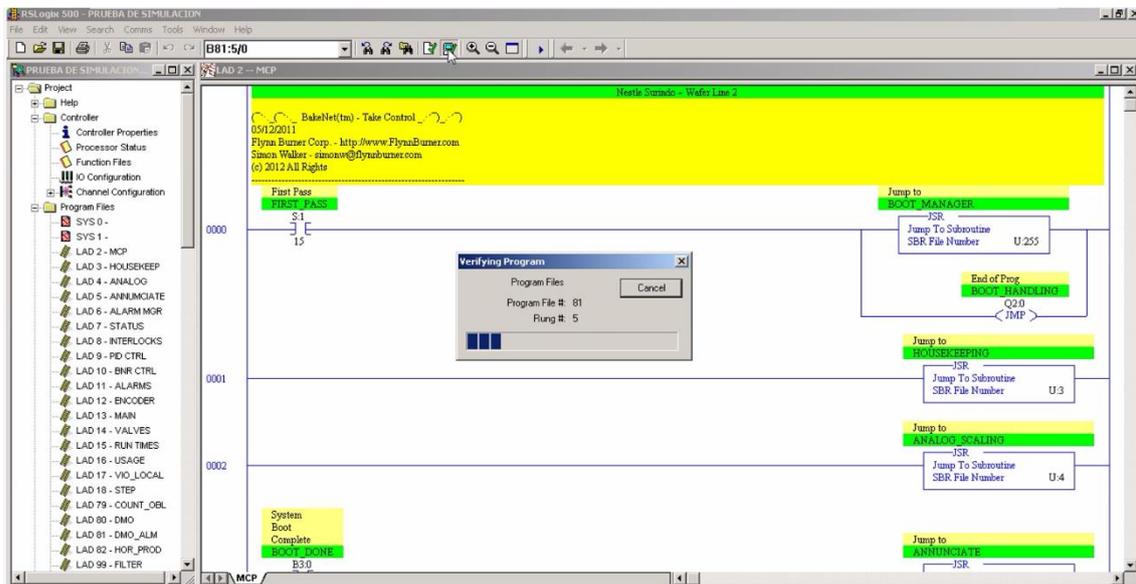
Detalles de los HMI empleado para los recursos

Ítems	Detalle del equipo	Específico	Programa
1	PANELVIEW PLUS 700	Horno 1	FactoryTalk View
2	PANELVIEW PLUS 700	Horno 2	FactoryTalk View
3	PANELVIEW PLUS 700	Horno 4	FactoryTalk View
4	PanelView plus 7 2711P-T10C21D8S-B	Untadora 1	FactoryTalk View

## 2.5.4 Metodología de Simulación

**Figura 2. 2**

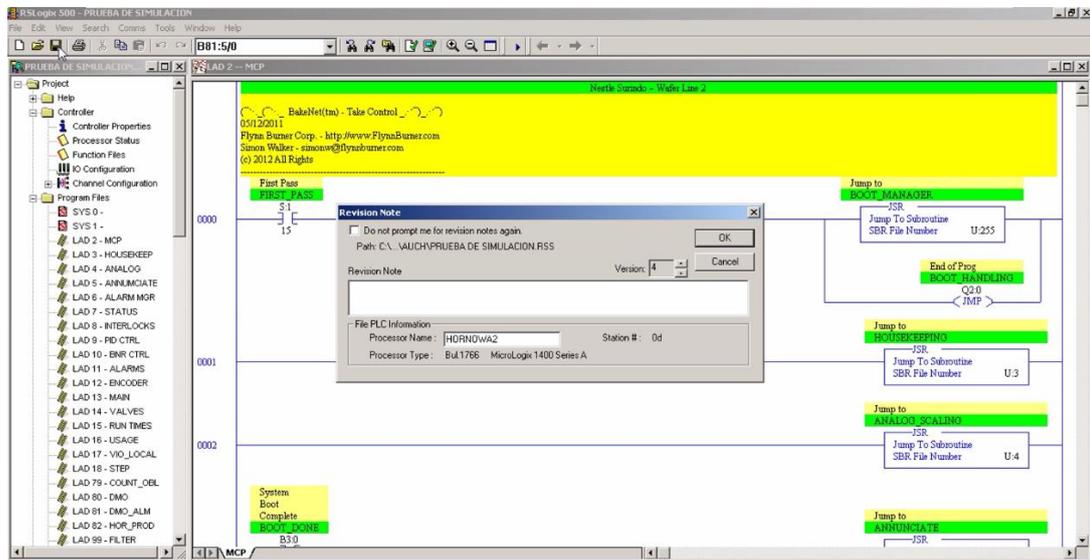
Verificar la programación – RSLogix 500



En la **Figura 2.2** se muestra el primer paso para la simulación de un programa, el cual es la validación de todo el proyecto, que, en caso de realizarse correctamente, no mostrará ningún mensaje de error.

**Figura 2.3**

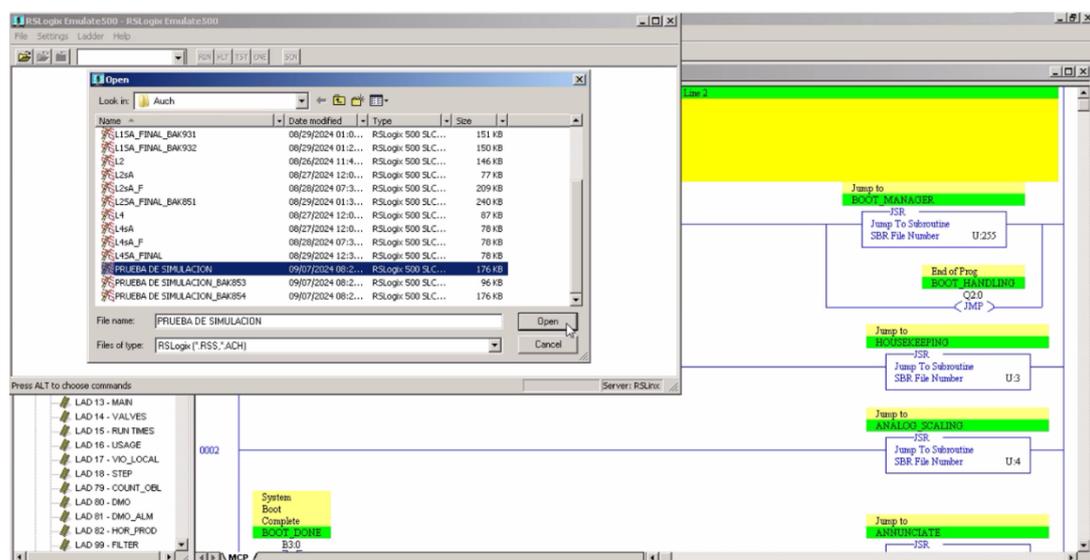
*Guardado del programa verificado – RSLogix 500*



Posterior a su validación como se muestra en la **Figura 2.3** se debe realizar el guardado del archivo después de ser compilado, esto, para su posterior selección dentro del emulador que se usará, este paso puede variar dependiendo de la versión del emulador que se esté usando.

**Figura 2.4**

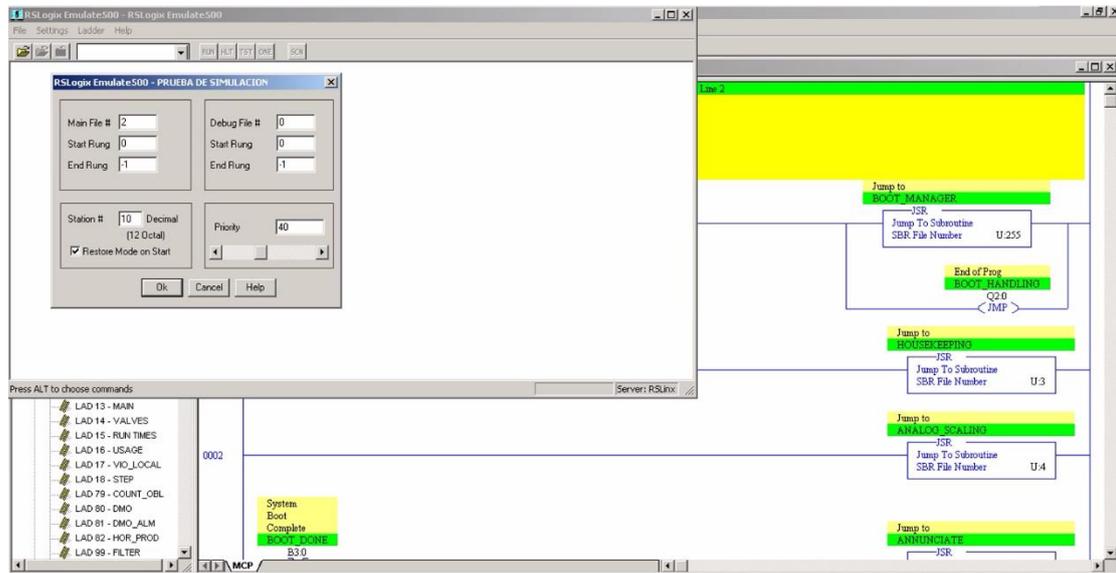
*Apertura del documento guardado - RsLogix Emulate*



Como se muestra en la **Figura 2.4** se debe hacer uso del archivo una vez verificado dentro del software RsLogix Emulate, que creará nuestro módulo de simulación donde es posible subir el programa.

**Figura 2. 5**

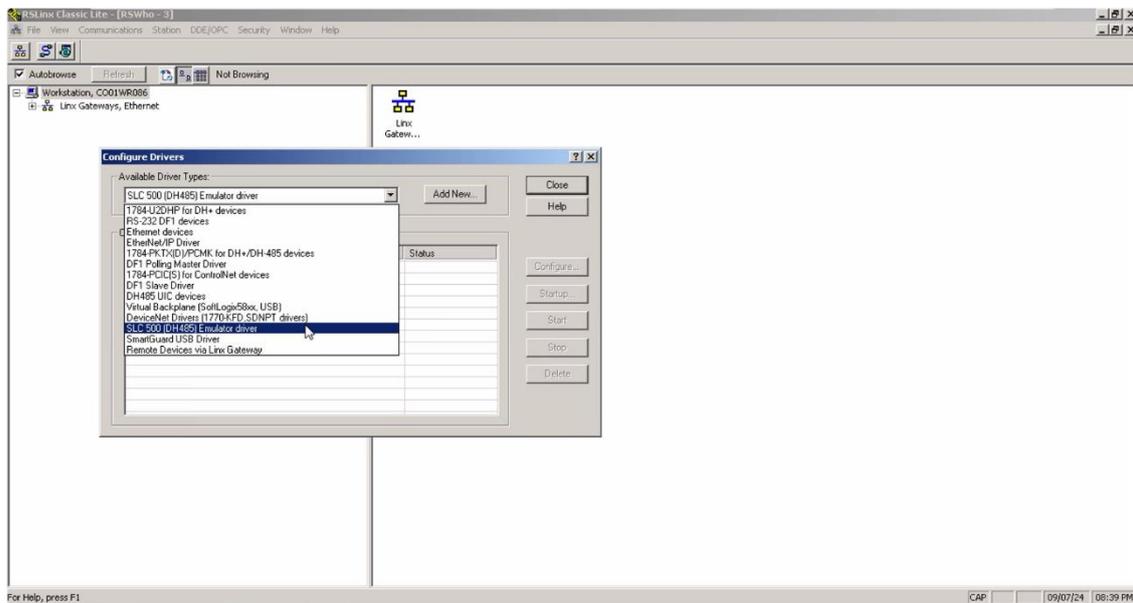
*Numeración del módulo de simulación – RsLogix Emulate*



Se selecciona un valor entre 1 y 12 para establecer una ubicación del módulo que será reconocido dentro del simulador Rslinx. Esto se puede visualizar en la **Figura 2.5**.

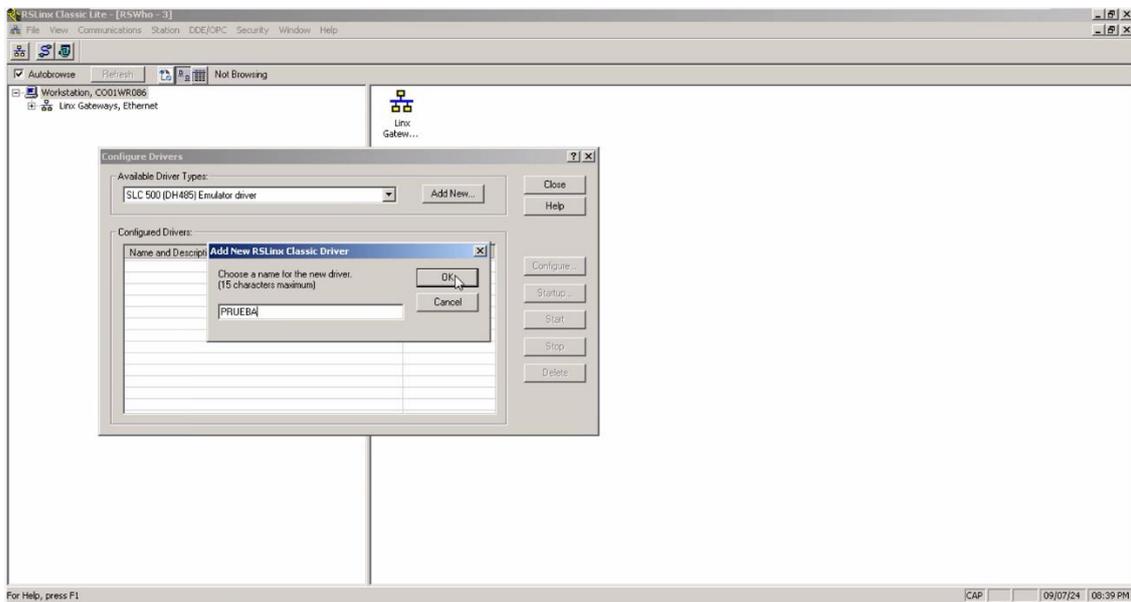
**Figura 2. 6**

*Apertura y selección el tipo de controlador - RsLinX*

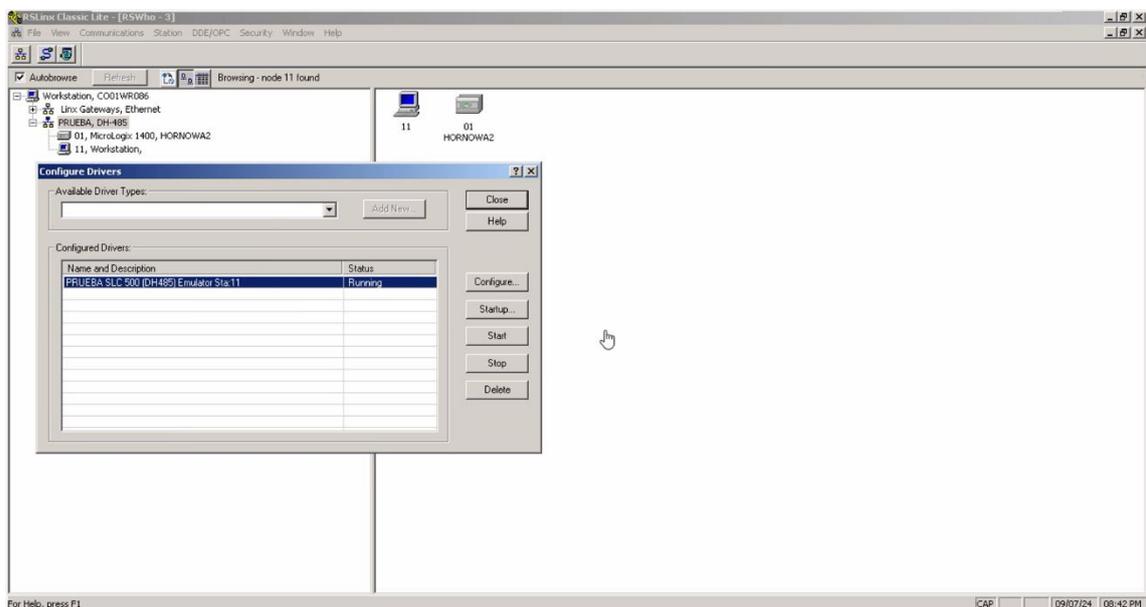


**Figura 2. 7**

*Selección de controlador SLC500 y nombre - RsLinx*

**Figura 2. 8**

*Reconocimiento del módulo – RsLinx*



Como se puede ver en la **Figura 2.6**, **Figura 2.7** y **Figura 2.8** se hace selección del tipo de controlador que se usará para la conexión de los dispositivos una vez se simule, posteriormente se coloca un nombre y ubicación diferente a la establecida en RsLogix Emulate, donde, finalmente se reconocen los dispositivos a usarse.

Figura 2.9

Selección de comms y system comms – RsLogix 500

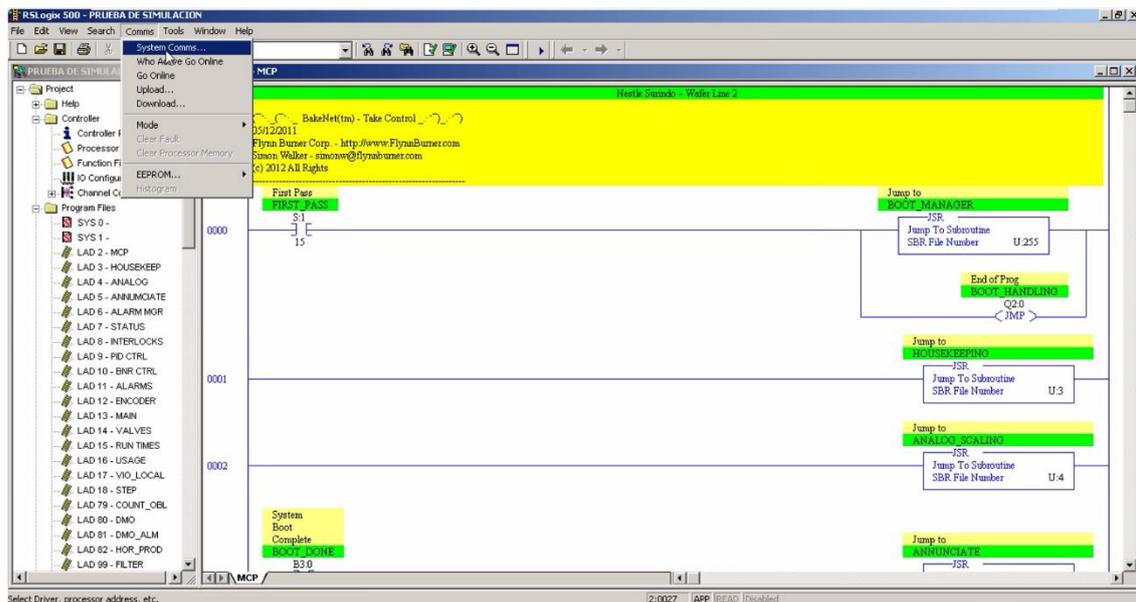
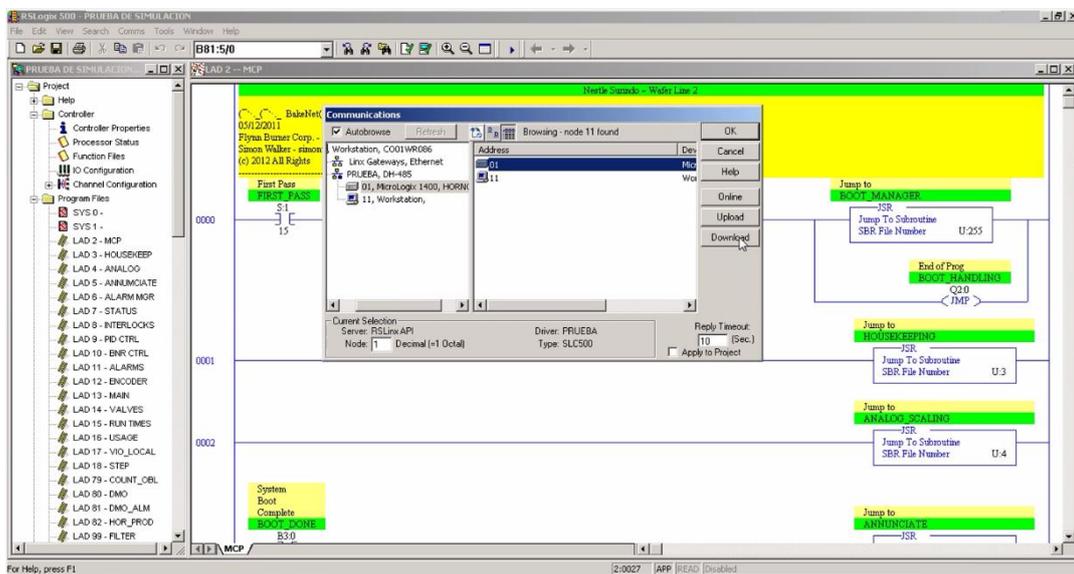


Figura 2.10

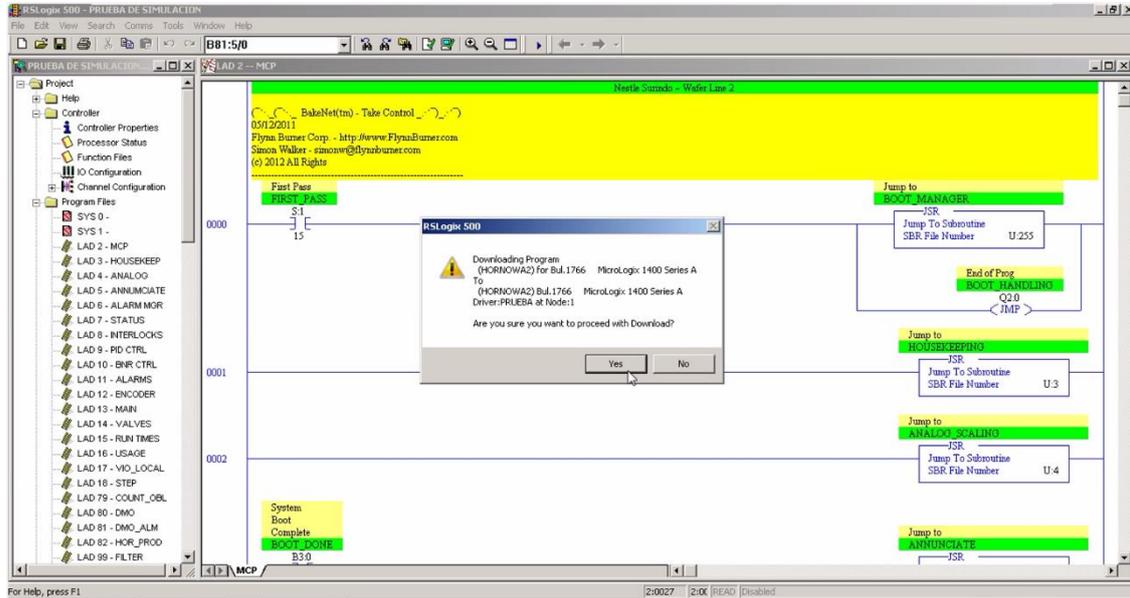
Descarga del programa en el PLC simulado – RsLogix 500



Posterior a esto como se observa en la **Figura 2.9** y **Figura 2.10** se tiene la selección dentro del programa verificado y guardado del módulo que se usará para simular, misma creada anteriormente en RsLinx.

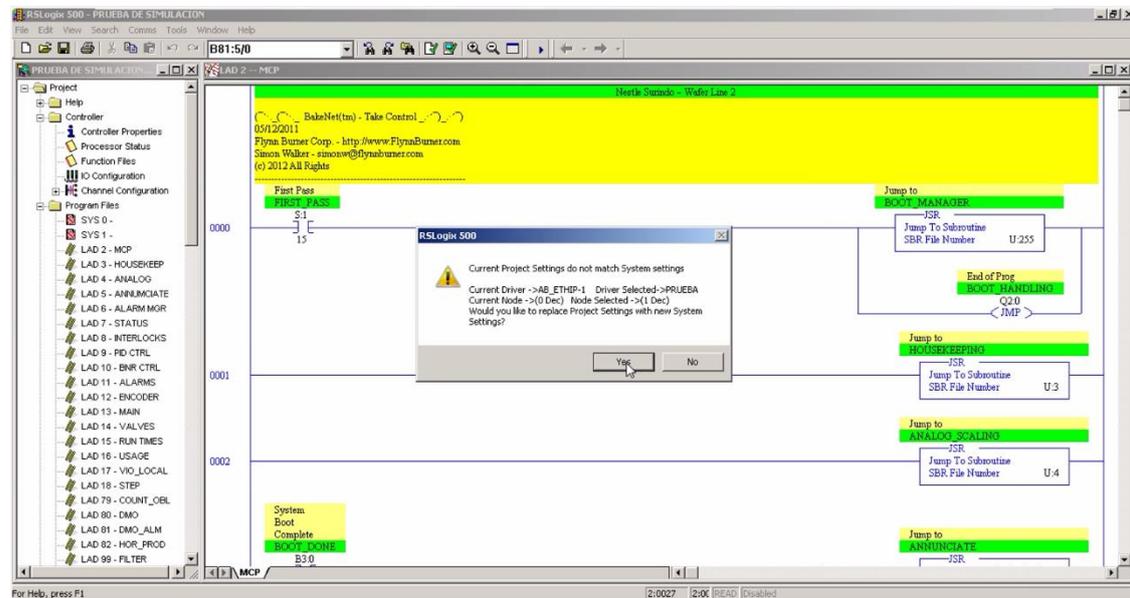
**Figura 2. 11**

*Inicio de la simulación – Cambio de controlador – RsLogix 500*



**Figura 2. 12**

*Cambio de dispositivo de prueba – RsLogix 500*



Un punto de suma importancia se muestra en la **Figura 2.11** y **Figura 2.12** que advierten que al simular se van a cambiar las propiedades del controlador por el dispositivo de prueba creado. Esto significa que para poder simularse cambiará las propiedades del controlador original por lo que se recomienda hacer uso de una copia para su simulación.

Figura 2. 13

Go online – RsLogix 500

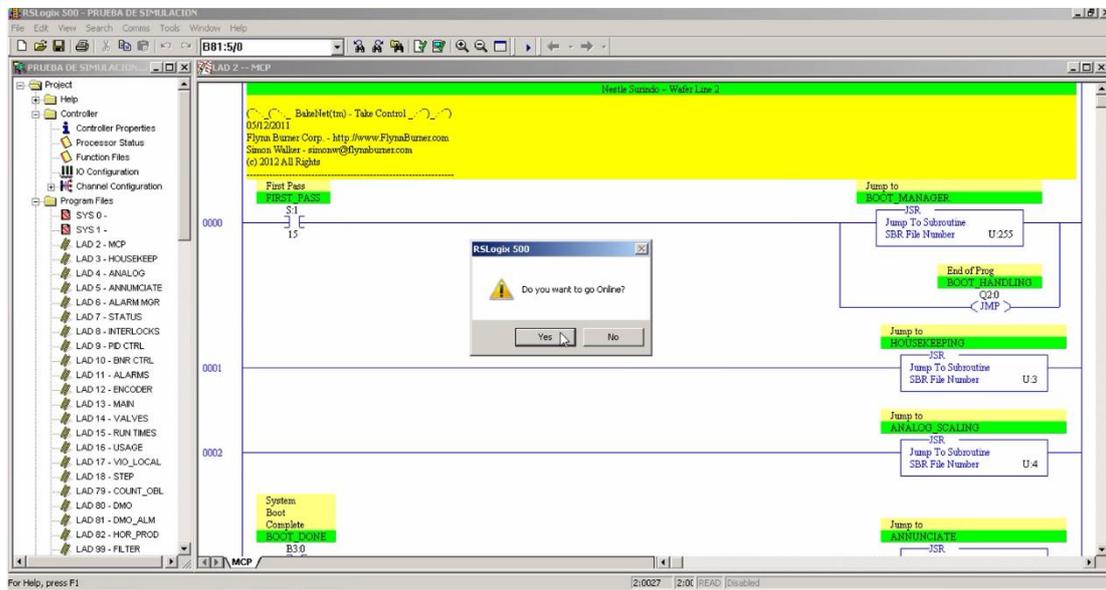
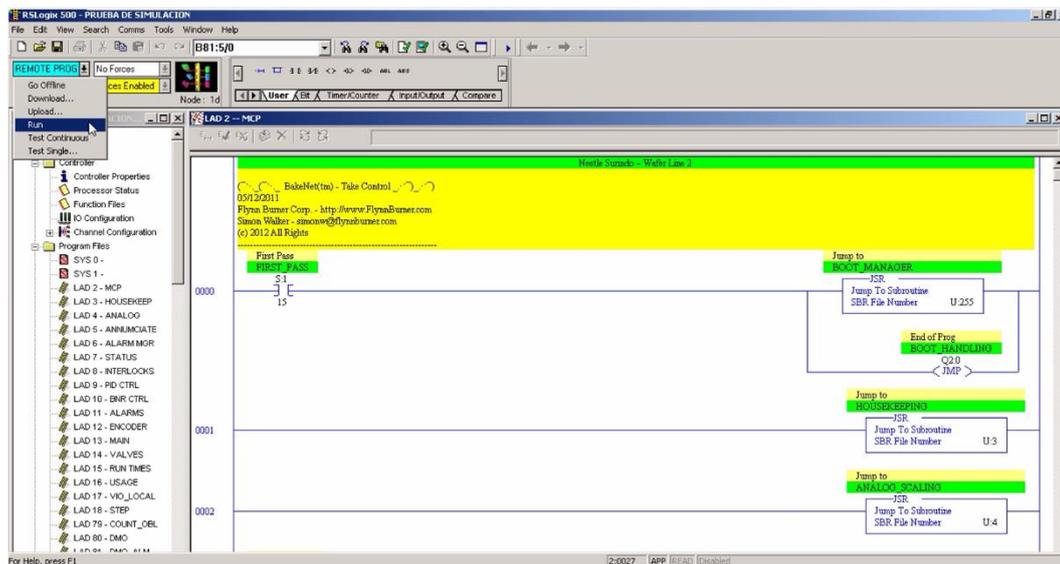


Figura 2. 14

Se cambia el estado a run – RsLogix 500

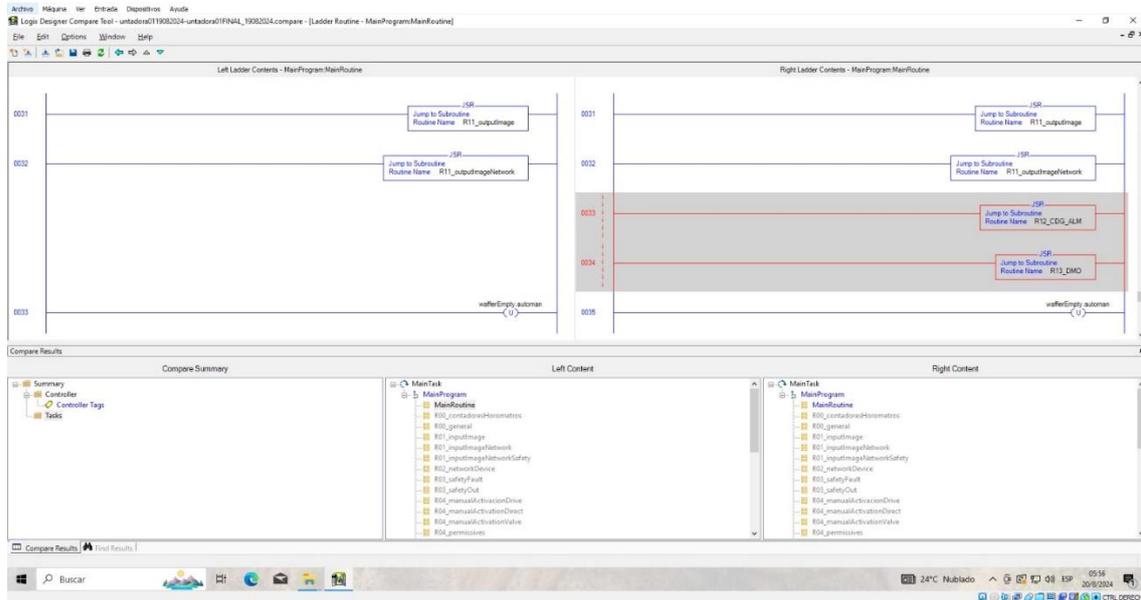


Finalmente, como se puede ver en la **Figura 2.13** y **Figura 2.14** se acepta cambiar al modo online y dentro de este modo se debe cambiar de estado remoto a Run para su simulación.

### 2.5.5 Utilización del compare

**Figura 2. 15**

*Logix Designer Compare Tool – Comparación de programa anterior y actual*



Se emplea la herramienta de comparación, como se observa en la **Figura 2.15**, de modo que se asegure que las modificaciones realizadas afectan exclusivamente a las rutinas nuevas añadidas, es decir que no se realizan cambios en las rutinas existentes, para no comprometer el estado de la línea.

### 2.5.6 Registro de los valores de importancia

Dentro de la programación realizada se establecieron las variables de importancia como velocidad, temperatura, conteo de obleas y alarmas siendo esta última solo necesario en el registro de los hornos 1, 2 y 4. Para las variables dentro del programa de los hornos y untadora se establecieron las tablas, **Tabla 2.11** y **Tabla 2.12**, de direcciones para su posterior comunicación con el DMO.

**Tabla 2. 11***Ruta específica de las variables para el recurso de Hornos 1, 2 y 4*

<b>IP</b>	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ubicación</b>
<b>Horno 1/2/4</b>			
	<b>DMO_OBLEAS</b>	Flotante	F80:0
	<b>DMO_TEMPERATURA</b>	Flotante	F80:1
192.168.0.2	<b>DMO_VELOCIDAD</b>	Flotante	F80:2
/	<b>DMO_ALM_WORD1</b>	Bits	F81:0
192.168.0.1	<b>DMO_ALM_WORD2</b>	Bits	F81:1
/	<b>DMO_ALM_WORD3</b>	Bits	F81:2
192.168.0.2	<b>DMO_ALM_WORD4</b>	Bits	F81:3
	<b>DMO_ALM_WORD5</b>	Bits	F81:4
	<b>DMO_NEW_ALM</b>	Bit	B81:5

**Tabla 2. 12***Ruta específica de las variables para el recurso Untadora 1*

<b>IP</b>	<b>Nombre de la variable</b>	<b>Tipo</b>
<b>Untadora 1</b>		
	<b>DMO_codigo_ALM</b>	DINT
	<b>DMO_TT01_pv</b>	REAL
172.20.119.1	<b>DMO_contadorSanduchesTunel</b>	DINT
	<b>DMO_HorasWrkGeneral</b>	DINT
	<b>DMO_velocidad_prod</b>	REAL

## **Capítulo 3**

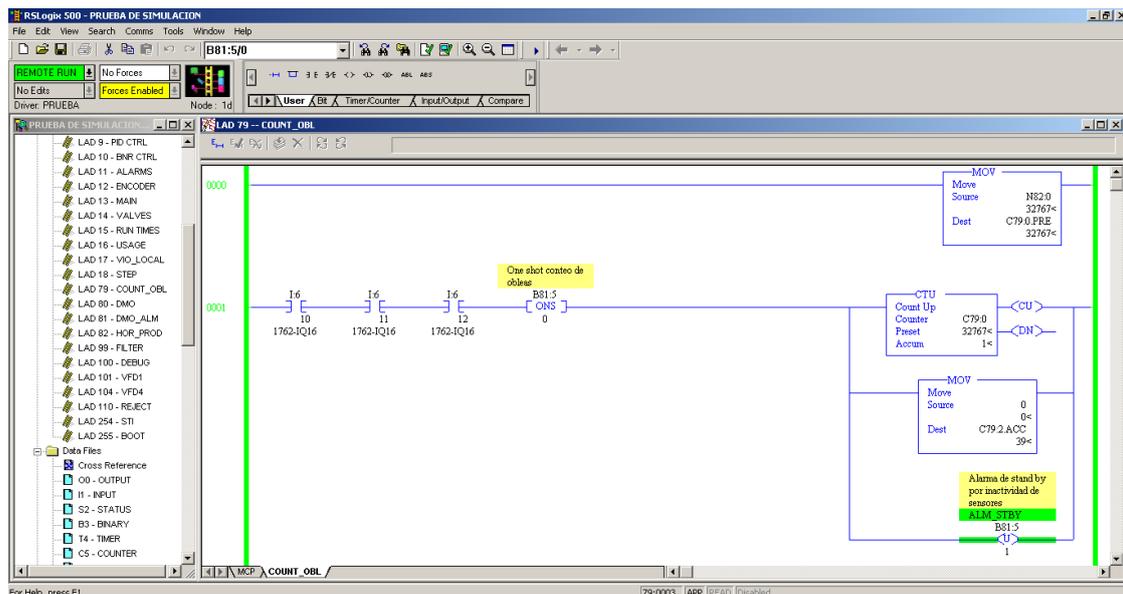
### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 Parámetros de interés - Hornos

Se realizaron las lógicas necesarias para la copia adecuada de cada uno de los parámetros planteados.

**Figura 3. 1**

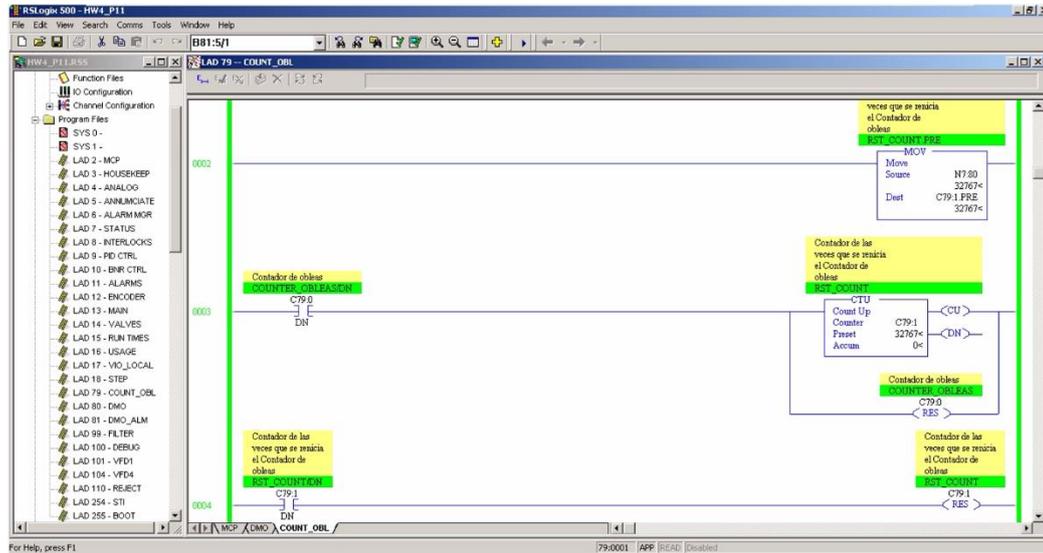
*Variable conteo de obleas - Subrutina COUNT\_OBL - Línea0000-0001*



En la línea inicial, como se observa en la **Figura 3.1** se establece el valor máximo de un contador  $2^{15}$ , de modo que este valor pueda fijarse para saber que es el límite al que tiene que llegar el contador antes de reiniciarse. En la línea siguiente se realiza la activación mediante 3 entradas paralelos que son los pulsos de cada uno de los sensores empleados, esto en serie con un “one shot” que se encarga de mandar un único pulso de activación y no todo un estado en caso de activarse más de un sensor. Cada pulso suma en 1 el contador de esta forma es posible saber la cantidad de obleas que pasan por los 3 sensores, además, se reinicia el contador de inactividad de los sensores y se apaga la alarma de inactividad.

**Figura 3.2**

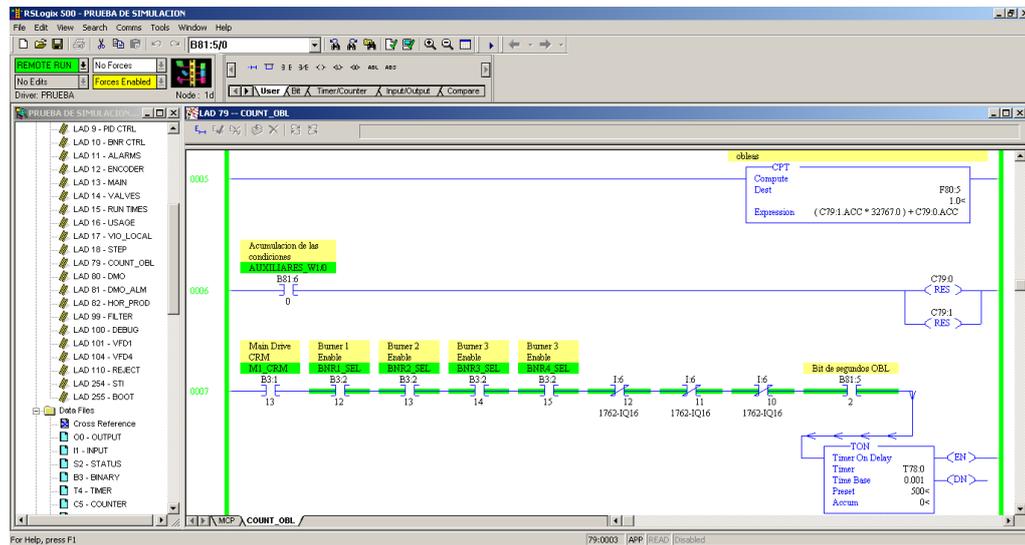
*Variable conteo de obleas - Subrutina COUNT\_OBL - Línea0002-0004*



En la **Figura 3.2** se fija otro contador con un máximo posible igual al anterior, dicho contador sumará en 1 su acumulador cada que detecte que el anterior contador haya llegado a su límite máximo, de esta forma es posible mantener un registro de las veces que el primer contador se ha reiniciado, además de paralelamente reiniciar el primer contador cuando haya terminado de contar. En la línea final se añade un reinicio del segundo contador, cuando este llegue a su límite.

**Figura 3.3**

*Variable conteo de obleas - Subrutina COUNT\_OBL - Línea0005-0007*

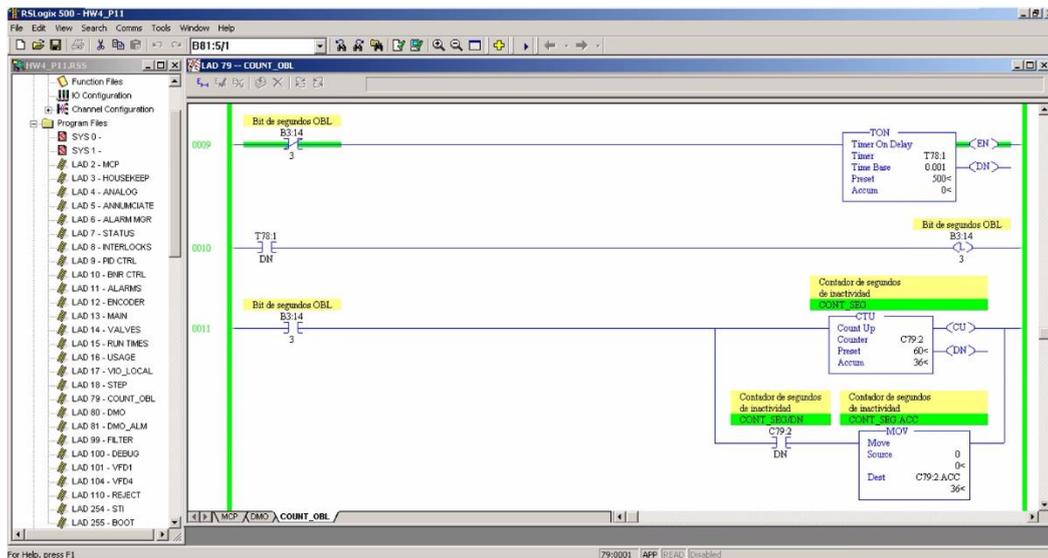


Finalmente, para la lógica del conteo de obleas se añade un bloque operacional para realizar el cálculo de la cantidad total de obleas contadas, multiplicando las veces que se ha reiniciado el primer contador por el máximo posible ( $2^{15}$ ) y sumando lo acumulado en el primer contador.

Adicionalmente, se observa en la **Figura 3.3** que se agrega un reiniciado manual para ambos contadores y en la línea 0007 se comienza la lógica de validación de inactividad de los sensores (1 minuto), para ello se posicionan en serie las entradas, para que en el caso de que las 3 se encuentren inactivas el temporizador fijado en 500 milisegundos comience a incrementar y generar una pulsación para activar la bobina contadora de segundos.

**Figura 3.4**

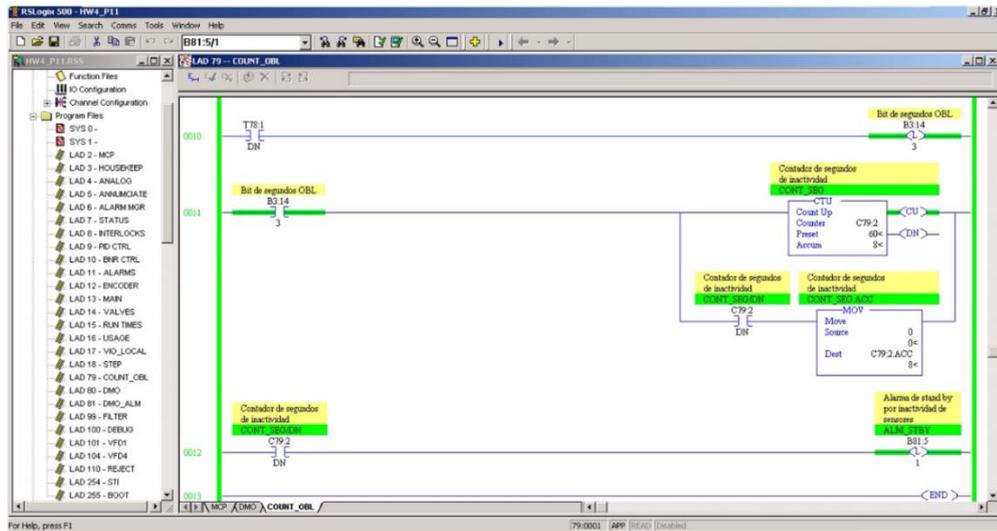
*Inactividad de sensores - Subrutina COUNT\_OBL - Línea0009-0011*



Continuando con la explicación, en la **Figura 3.4** el bit de segundos vuelve a pasar por un temporizador fijado en 500 ms de modo que se completan los 1000 ms, dando una pulsación al contador justamente luego de transcurrido 1 segundo, esto seguirá de dicha forma hasta que el contador de la línea 0011 haya registrado un total de 60 segundos, en ese instante el acumulador es reseteado a 0 para dar paso a la activación del estado “Stand by”.

**Figura 3.5**

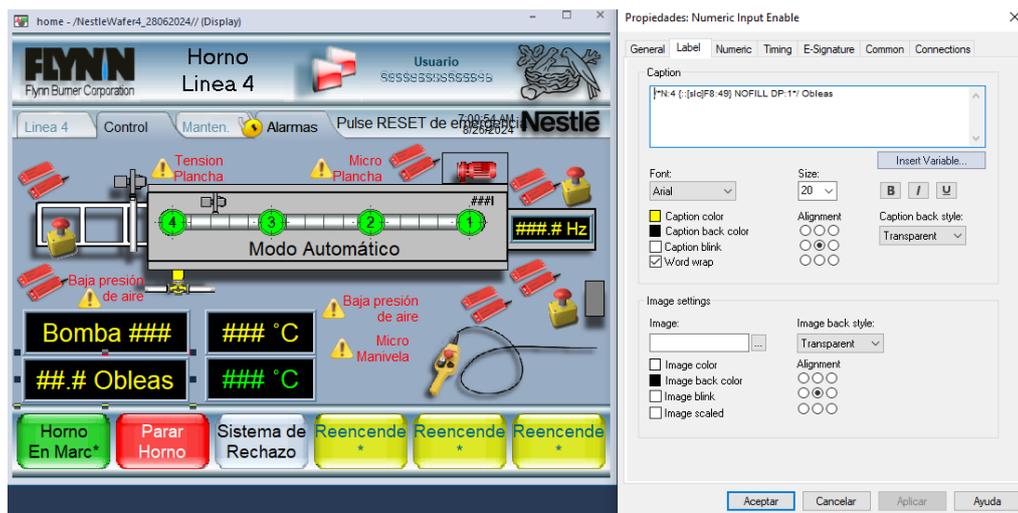
*Inactividad de sensores - Subrutina COUNT\_OBL - Línea0010-0012*



Como fue dicho anteriormente la **Figura 3.5** muestra la línea 0012 donde se está dando la activación del estado “Stand by”. Dicho estado alerta al operador de que los sensores para el conteo de obleas han estado inactivos durante 1 minuto y deberá revisar a que se debe dicha interrupción del conteo normal.

**Figura 3.6**

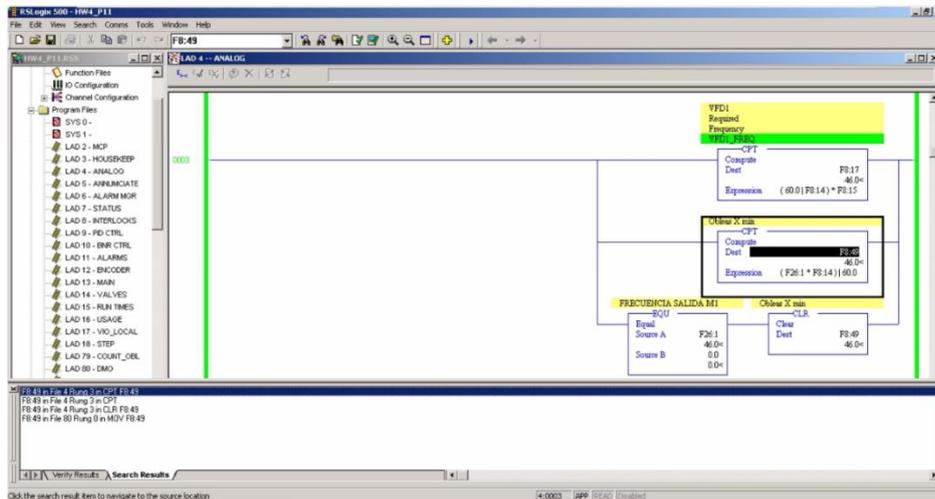
*HMI – Obleas por minuto*



Para la selección del parámetro de interés, se revisan los enlaces creados en la configuración del HMI, mostrando que para la variable de obleas por minuto se tiene el espacio de memoria F8:49, como se muestra en la **Figura 3.6**.

**Figura 3.7**

*Variable de velocidad – Obleas por minuto - Subrutina ANALOG*



Se observa en la **Figura 3.7** un bloque de cálculo, mismo que emplea la velocidad del motor principal que se encarga del transporte de las obleas, así como el tiempo que demora la oblea en ser horneada, relacionando ambas variables se consigue la cantidad de obleas por minuto.

**Figura 3.8**

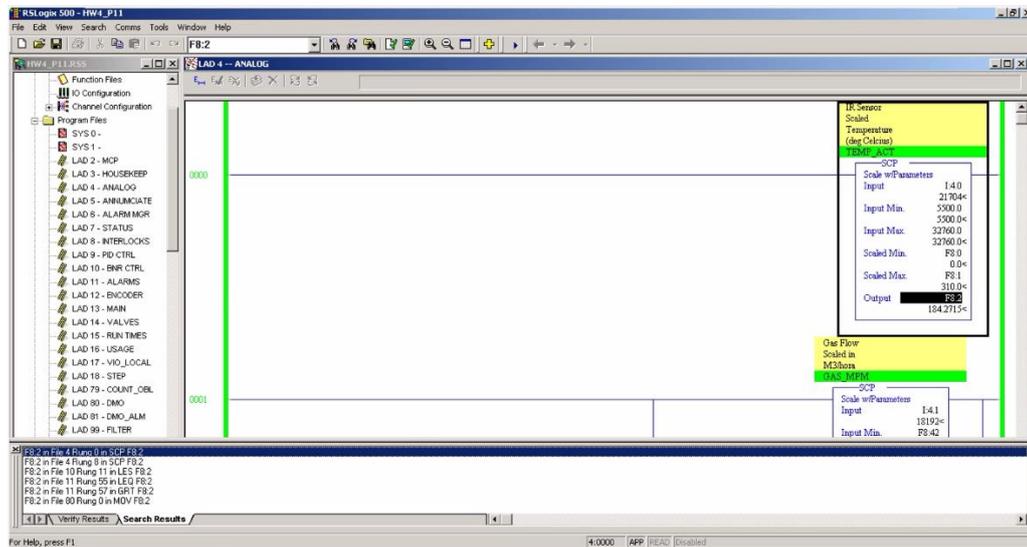
*HMI – Variable temperatura*



La **Figura 3.8** muestra el apartado HMI, donde se encuentra la variable de interés, en este caso, la temperatura real. Se revisan las propiedades del recuadro, más específicamente el “Label”, ya que, este da a conocer la variable de la programación Ladder que se está usando para mostrar al usuario (F8:2).

Figura 3. 9

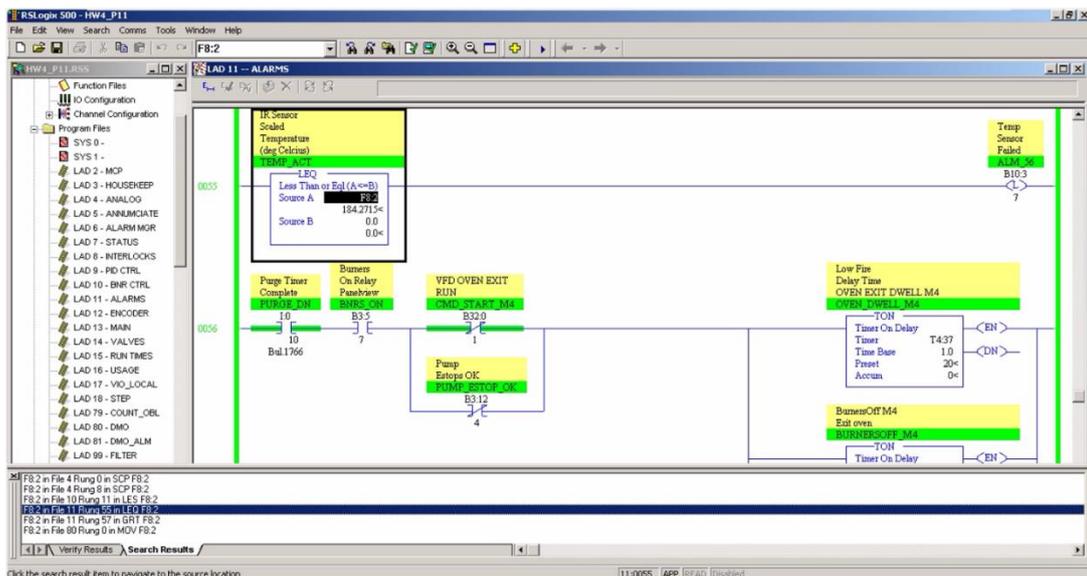
Variable de temperatura - Subrutina ANALOG



En la **Figura 3.9** es observable el bloque SCP, dentro de la programación Ladder, encargado del escalamiento de una entrada pasando del rango de 55000 - 32760 a valores en el rango de los Celsius de 0 a 310, para su copia en F8:2, la variable de temperatura.

Figura 3. 10

Variable de temperatura - Subrutina ALARMS



La **Figura 3.10** muestra como la anterior variable mencionada es sometida a un condicional que activa una alarma en caso de cumplirse para alertar al operador de que el sensor ha fallado. Dicha alarma y otras serán vistas más adelante en este capítulo.

**Figura 3. 11**

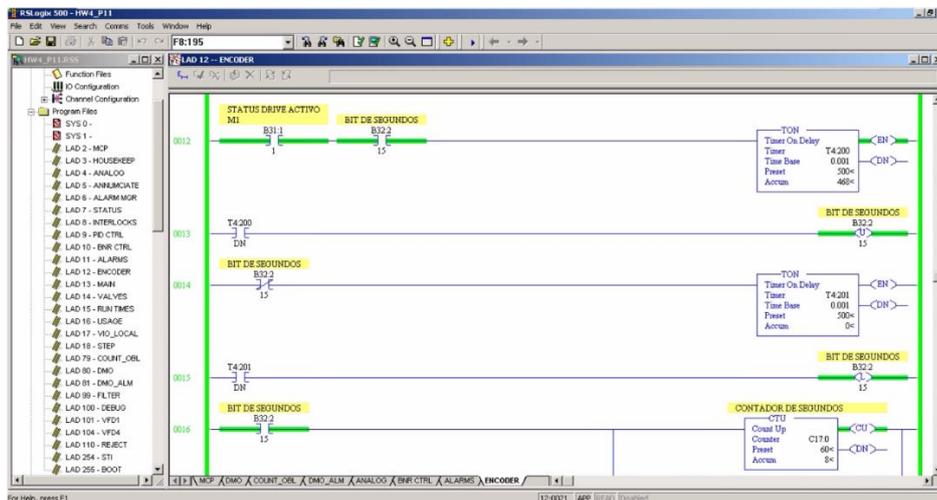
HMI – Variable horas de operación



De forma análoga en la **Figura 3.11**, se toma la variable del HMI F8:195, correspondiente a las horas de operación que ve el operador. De esta forma se revisa su conexión en la programación de este.

**Figura 3. 12**

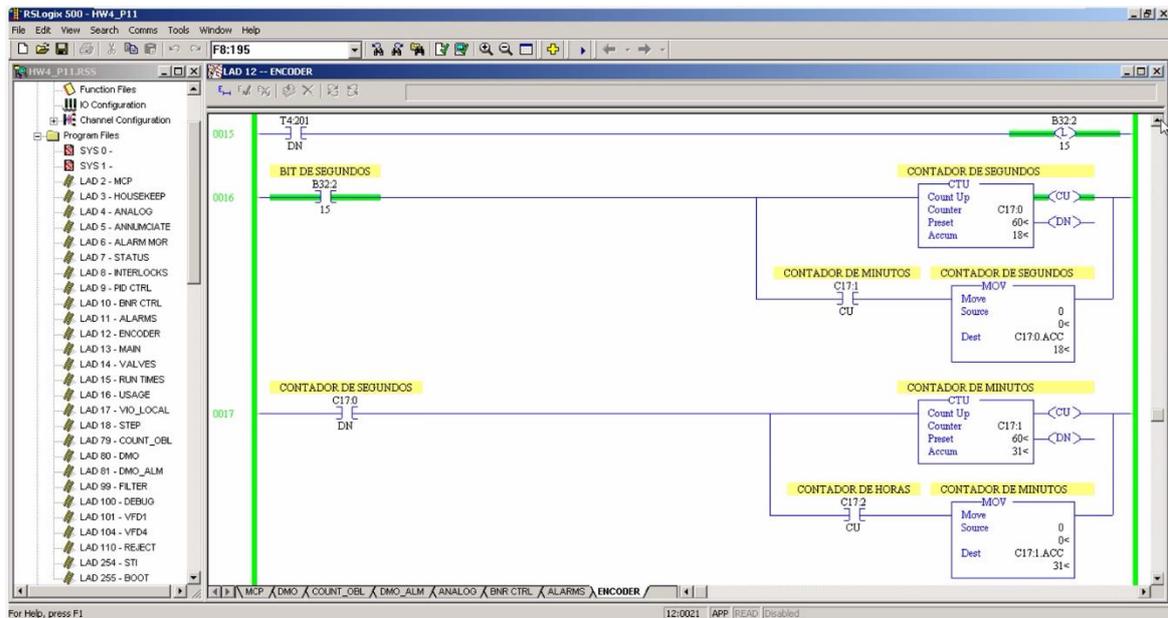
Variable horas de operación – Subrutina ENCODER – Línea0012-0016



Para el cálculo de las horas operativas se emplea el estado del controlador del motor principal M1, como se observa en la **Figura 3.12** de modo que este active un temporizador de 500 ms que una vez que transcurre el tiempo manda un pulso a la variable Bit de segundos, para cambiar su estado a bajo y activar el siguiente temporizador con 500 ms más, de modo que suman un total de 1 segundo mandado un pulso al contador de segundos que se acumulará hasta llegar a 1 minuto.

**Figura 3.13**

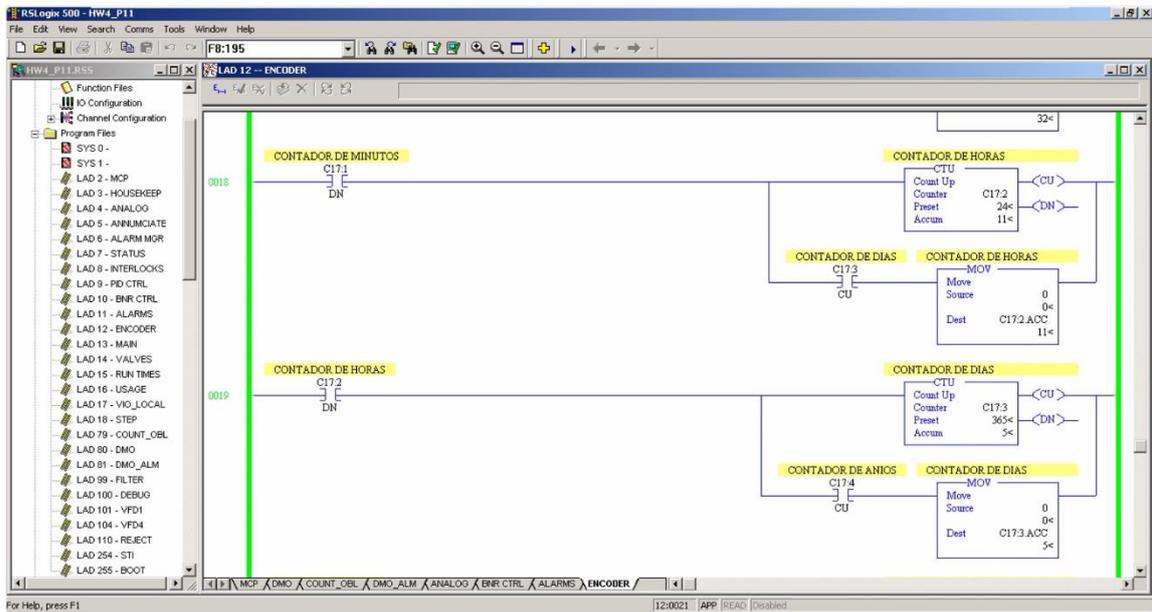
*Variable horas de operación – Subrutina ENCODER – Línea0015-0017*



Este ciclo de apagado y encendido seguirá transcurriendo e incrementará en 1 el contador de segundos que al llegar a 60, reiniciará la variable de su acumulador a 0 y activará el contador de minutos prefijado en 60 min, para sumar las horas con la misma lógica anterior, como se observa en la **Figura 3.13**.

**Figura 3. 14**

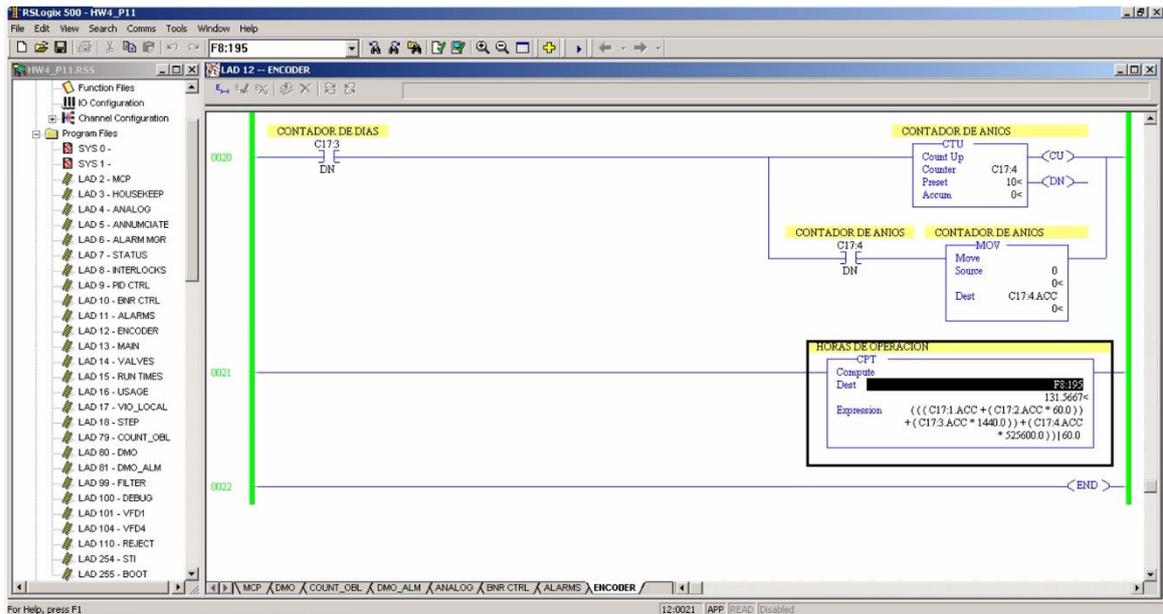
*Variable horas de operación – Subrutina ENCODER – Línea0018-0019*



La lógica inicial se replica para contabilizar 24 horas que son 1 día y 365 días que son un año como se ve en la **Figura 3.14**.

**Figura 3. 15**

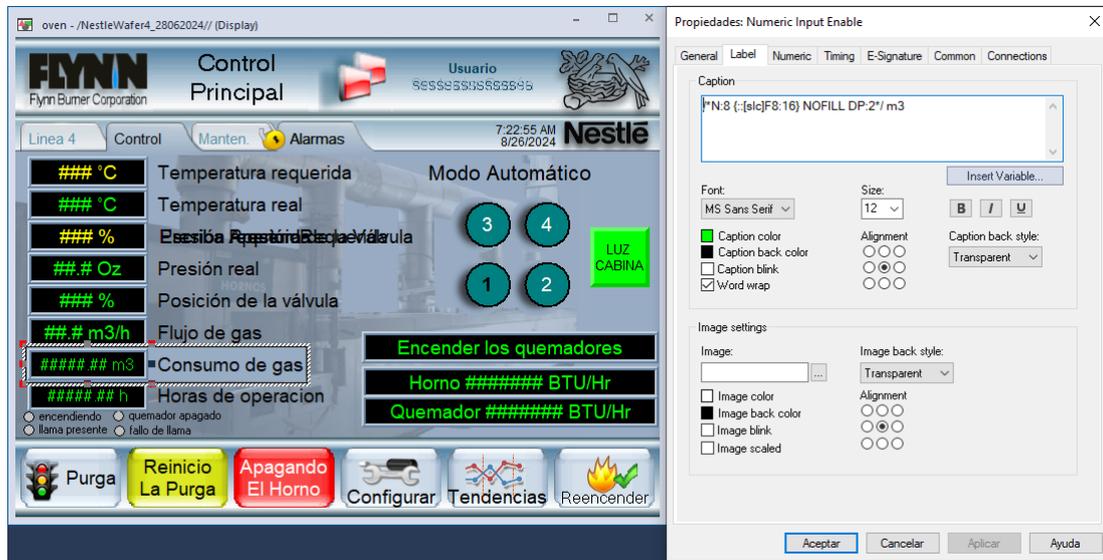
*Variable horas de operación – Subrutina ENCODER – Línea0020-0022*



Para finalizar con esta variable, en la **Figura 3.15** se usa un contador para fijar un máximo de 10 años y se emplea un bloque operacional, para realizar la conversión de los contadores anteriores a horas y sumar las horas totales que el motor se ha encontrado operativo.

Figura 3. 16

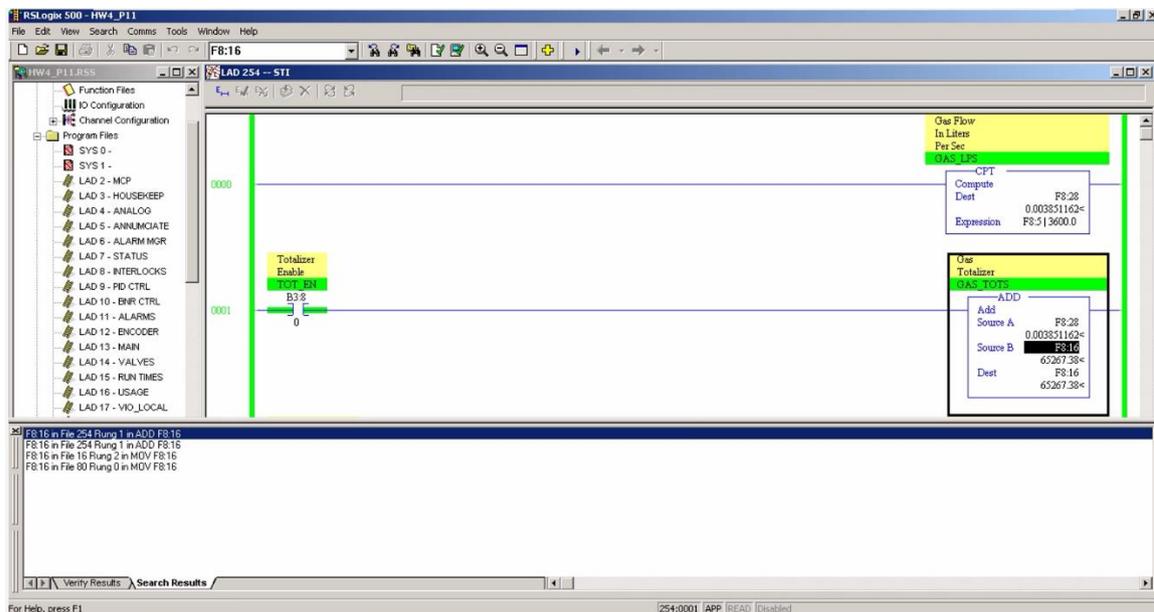
HMI – Consumo de gas GLP



Se observa en la **Figura 3.16** la variable relacionada al HMI que se encuentra enlazada a la programación, correspondiente a F8:16

Figura 3. 17

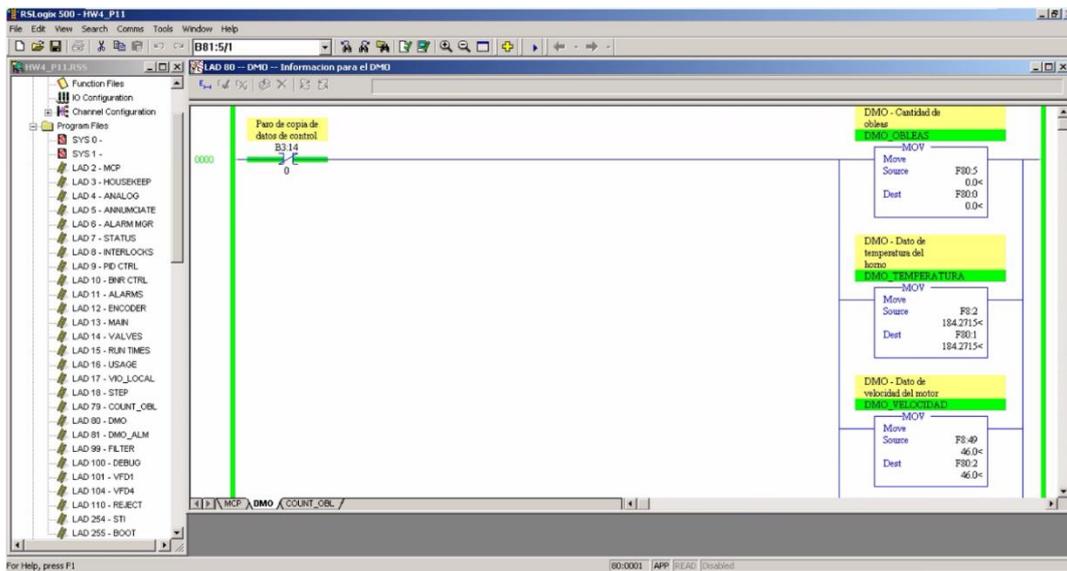
Variable consumo de GLP – Subrutina STI



En la **Figura 3.17**, se puede observar un bloque sumador encargado de contabilizar el total de GLP que se ha consumido durante el proceso de horneado.

Figura 3. 18

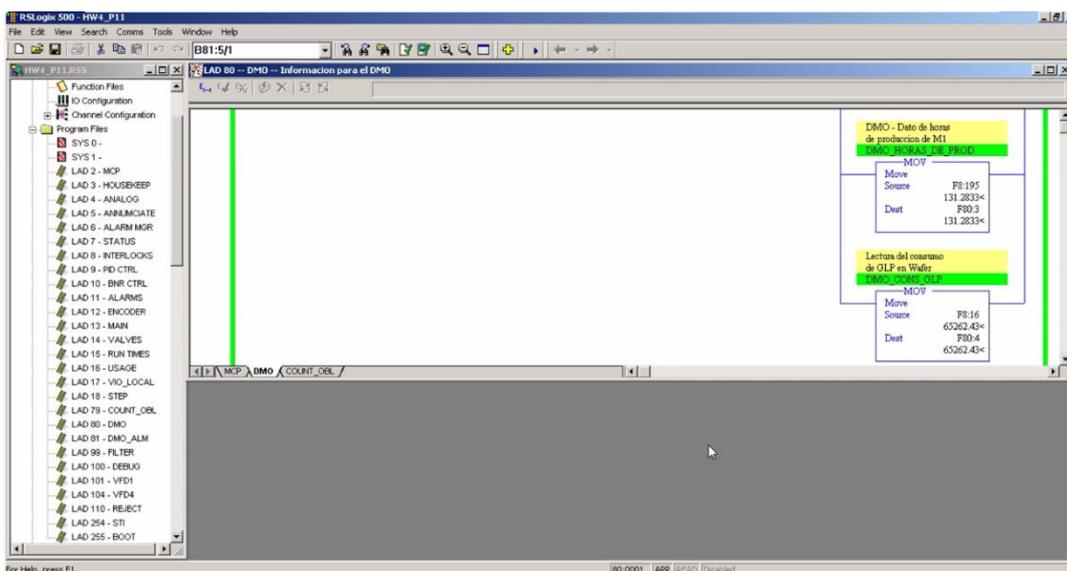
*Copia de las variables para DMO – Subrutina DMO – Parte 1*



Finalmente, se emplean nuevas variables que copian el valor de las anteriores mediante un bloque MOV, para que las mismas se comuniquen posteriormente con el servidor y puedan ser visibles en el DMO, en la **Figura 3.18**, se realiza la copia de la cantidad de obleas, de la temperatura del horno y la velocidad de producción.

Figura 3. 19

*Copia de las variables para DMO – Subrutina DMO – Parte 2*



En la **Figura 3.19**, se observa cómo se continúa con la copia de las variables horas de producción y del consumo de GLP descritas con anterioridad.

### 3.2 Parámetros de interés - Untadora

Figura 3. 20

HMI – Variable de temperatura

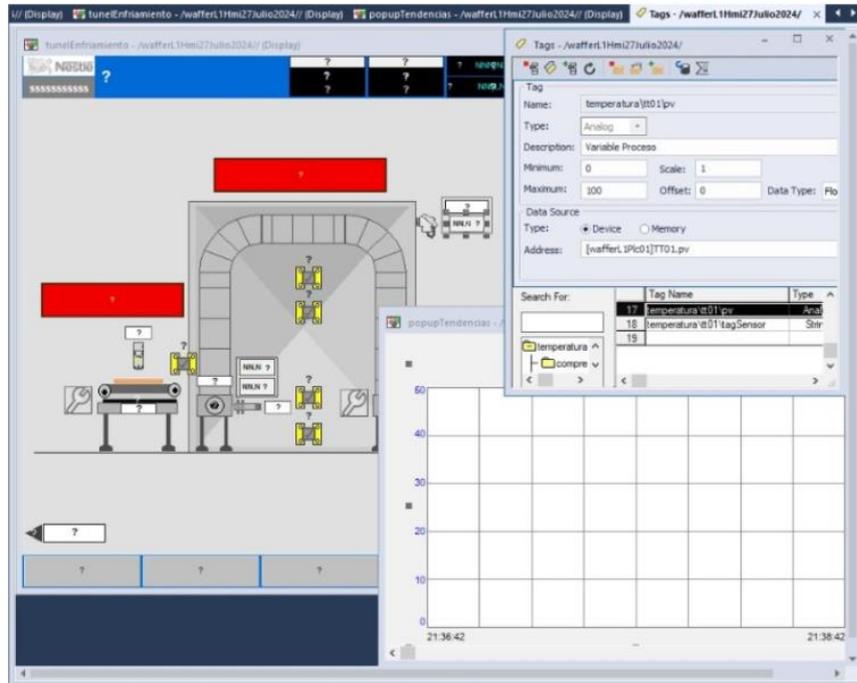
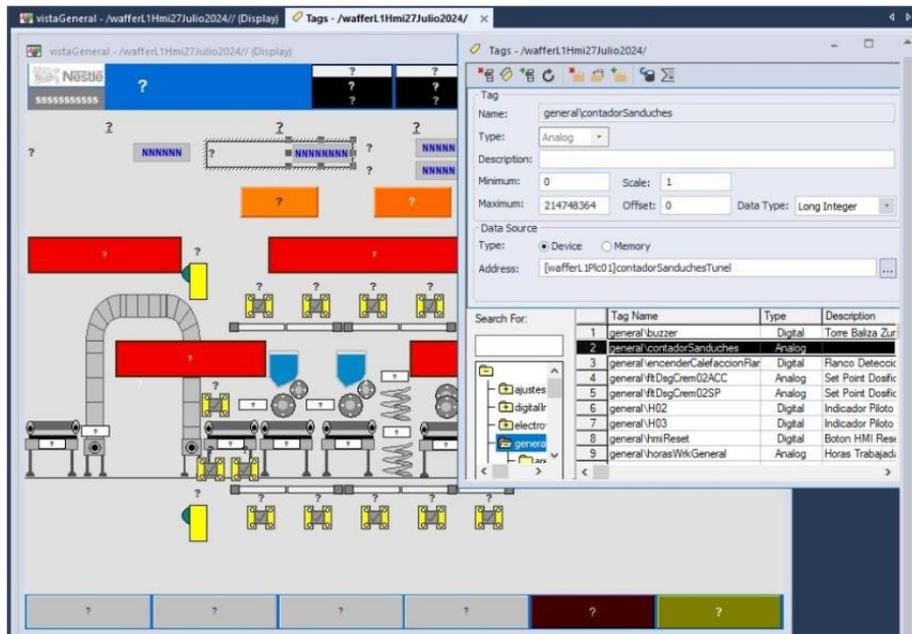


Figura 3. 21

HMI – Variable contadora de sándwiches



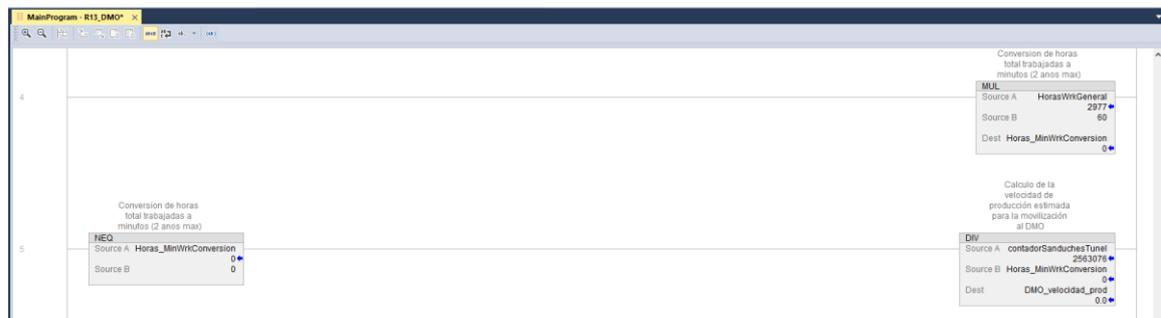
En las figuras **Figura 3.20** y **Figura 3.21** se observan las respectivas pantallas programadas para el HMI, de donde se extrae la información del nombre de la variable enlazada a la programación escalera.

**Figura 3. 22**

*Copia de las variables para DMO – Subrutina R13\_DMO – Líneas 0-3*

**Figura 3. 23**

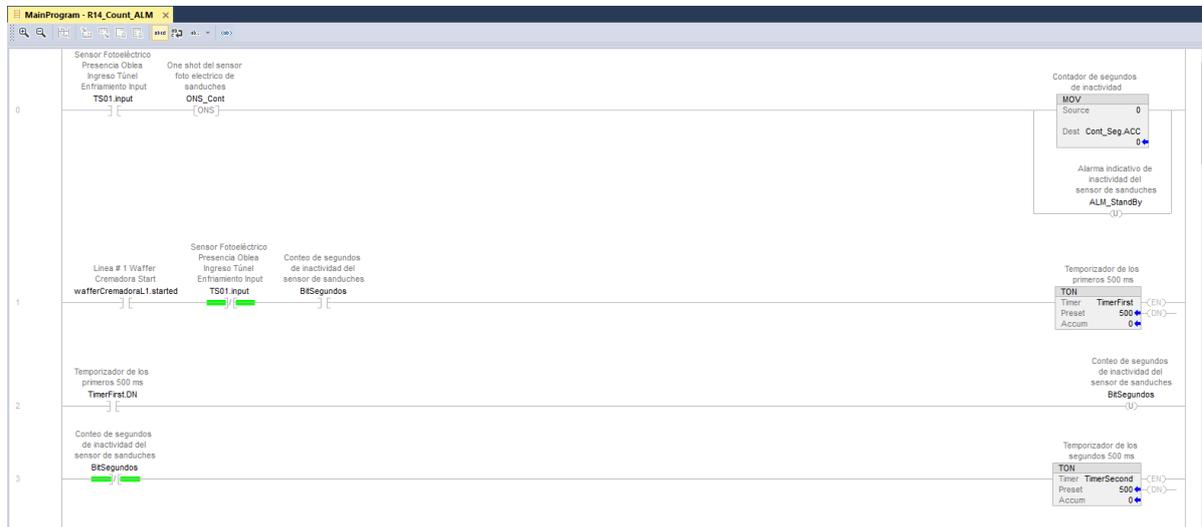
*Copia de las variables para DMO – Subrutina R13\_DMO – Líneas 4-5*



En las figuras **Figura 3.22** y **Figura 3.23**, se muestran las copias de los parámetros de interés, que fueron dirigidas al DMO y la lógica del cálculo para la velocidad de producción de las galletas ensambladas de obleas.

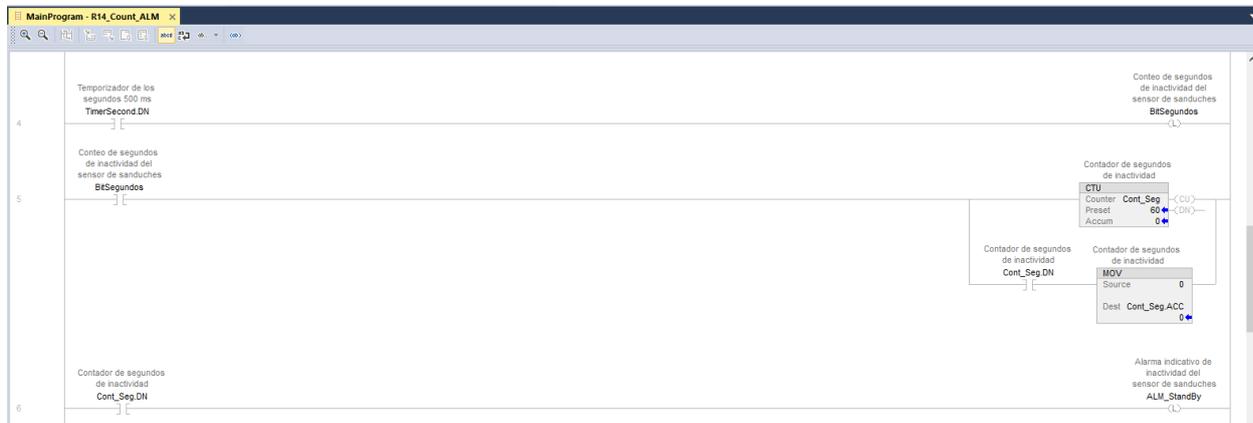
**Figura 3. 24**

*Inactividad de sensores - Subrutina R14\_Count\_ALM - Líneas0-3*



**Figura 3. 25**

*Inactividad de sensores - Subrutina R14\_Count\_ALM – Líneas4-6*

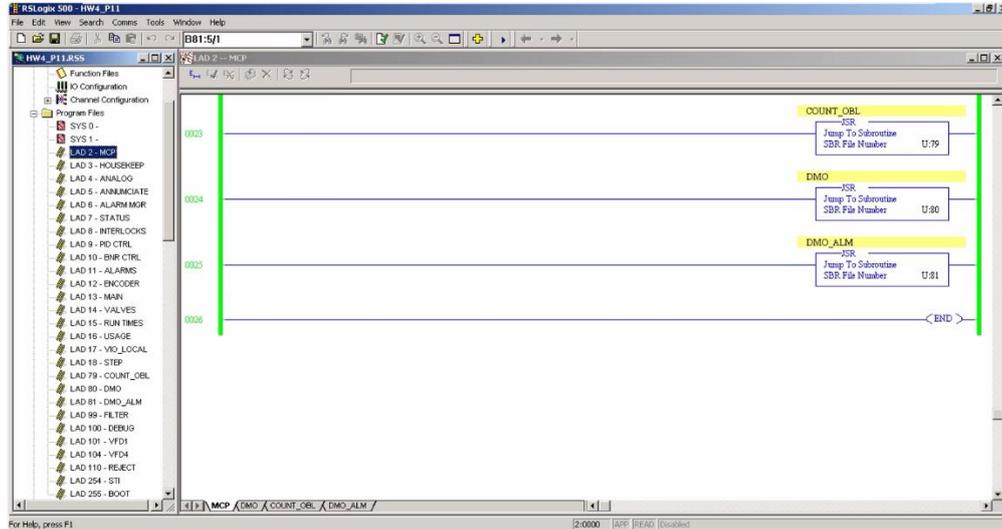


Se observa en la **Figura 3.24** y **Figura 3.25** la subrutina activadora de la alarma de inactividad de sensores, prefijada a 60 segundos, de forma similar a lo visto en el recurso de horno, con la posibilidad de realizar una variación en este valor seleccionado.

### 3.3 Programa principal – Hornos

**Figura 3. 26**

*Salto a subrutinas – Rutina principal MCP*

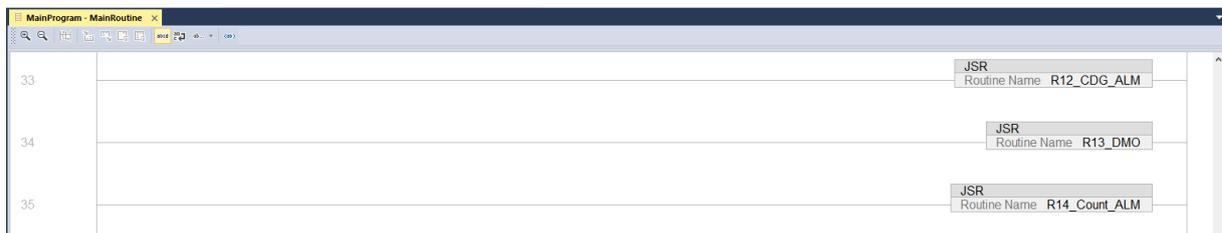


Para finalizar con el recurso de hornos, en la **Figura 3.26**, se observa que en el programa principal realiza el salto a las 3 nuevas subrutinas programadas, para que se activen al inicializar el PLC.

### 3.4 Programa principal - Untadora

**Figura 3. 27**

*Subrutina R12\_CDG\_ALM - Linea0-2*



También, se hace el salto a las nuevas rutinas en el programa principal de untadora, como se observa en la **Figura 3.27**. De forma similar al recurso de hornos, ya que es necesario este paso final para la activación de dichas subrutinas.

### 3.5 Instalación de sensores

#### Figura 3. 28

*Instalación de los sensores para el conteo de obleas*



Como se muestra en la **Figura 3.28**, los sensores para el conteo de obleas se instalaron de tal manera que puedan seguir contando incluso si uno de ellos no recibe señal debido a una oblea rota. Por esta razón, en la programación se ha implementado una lógica en paralelo para asegurar la continuidad del conteo.

### 3.6 Simulación en preproductivo

Se establecieron las ubicaciones y descripciones de las variables de importancia en el registro de los hornos 1, 2, 4 y Untadora 1 esto para una mejor organización de su localización. Para las variables dentro del programa de los hornos y untadora se establecieron las tablas **Tabla 3.1** y **Tabla 3.2** para su posterior prueba de simulación.

**Tabla 3. 1***Tabla de variables de Hornos 1, 2 y 4*

Nombre de la variable	Fuente	Ubicación	Descripción
<b>DMO_OBLEAS</b>	F80:5	F80:0	Dato de conteo de obleas
<b>DMO_TEMPERATURA</b>	F8:2	F80:1	Dato de temperatura del horno
<b>DMO_VELOCIDAD</b>	F8:49	F80:2	Dato de velocidad de producción
<b>DMO_HORAS_DE_PROD</b>	F8:195	F81:0	Dato de horas de producción de M1
<b>DMO_CONS_GLP</b>	F8:16	F81:1	Dato de lectura del consumo de GLP
<b>ALMS_CD_DMO</b>	Alarma	N82:1	Dato del código de alarma del DMO

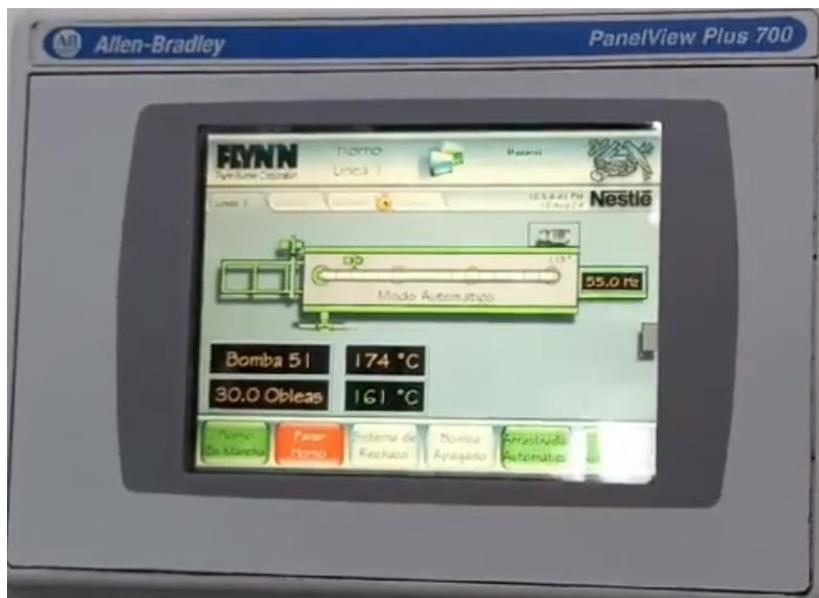
**Tabla 3. 2***Tabla de variables de Untadora1*

Ubicación	Fuente	Descripción
<b>DMO_codigo_ALM</b>	codigo_ALM	Dato del código de alarma del DMO
<b>DMO_TT01_pv</b>	TT01.pv	Dato de temperatura del horno
<b>DMO_contadorSanduchesTunel</b>	contadorSanduchesTunel	Dato de conteo de obleas
<b>DMO_HorasWrkGeneral</b>	HorasWrkGeneral	Dato de horas de producción de M1
<b>DMO_velocidad_prod</b>	velocidad_prod	Dato de velocidad de producción

Tomando como referencia lo anterior mencionado y una vez haber realizado la revisión de la programación para que no exista ningún conflicto con subrutinas existentes, se realiza la conexión y la prueba en campo de la lógica realizada.

**Figura 3. 29***Prueba de la lógica de programación en campo*

En la **Figura 3.29** se puede apreciar la lógica original del PLC tal como está integrada en el tablero eléctrico, junto con la nueva programación que se va a implementar. Esta comparación permite entender tanto el diseño inicial como las modificaciones realizadas para la actualización del sistema.

**Figura 3. 30***HMI del horno: panel linea1*

**Figura 3.31***Integración de la variable de velocidad*

	0	1	2	3	4
F80:0	0	173.2483	30.00062	0.8166667	178834
F80:5	0	0	0	0	0
F80:10	0	0	0	0	0
F80:15	0	0	0	0	0
F80:20	0	0	0	0	0
F80:25	0	0	0	0	0
F80:30	0	0	0	0	0
F80:35	0	0	0	0	0
F80:40	0	0	0	0	0
F80:45	0	0	0	0	0
F80:50	0	0	0	0	0

F80:2  
 Symbol: F80 VELOCIDAD  
 Desc:  
 F80

Properties Usage Help

En la **Figura 3.30** y **Figura 3.31** presentadas, se observa la visualización de la velocidad en el HMI, que ha sido definida por el cliente como 'velocidad de producción obleas' en el panel de la Línea 1. El HMI muestra un valor de 30 reflejándose con precisión en la variable F80:0 del DMO, lo que confirma que la configuración y la programación se han realizado correctamente.

**Figura 3. 32***Integración de la variable de temperatura*

Offset	0	1	2	3	4
F80:0	0	174.2386	30.00062	0.8166667	178834
F80:5	0	0	0	0	0
F80:10	0	0	0	0	0
F80:15	0	0	0	0	0
F80:20	0	0	0	0	0
F80:25	0	0	0	0	0
F80:30	0	0	0	0	0
F80:35	0	0	0	0	0
F80:40	0	0	0	0	0
F80:45	0	0	0	0	0
F80:50	0	0	0	0	0

Symbol: F80.1  
Desc: DMC TEMPERATURA  
Columns: 5

**Figura 3. 33***Integración de la variable de horas de producción*

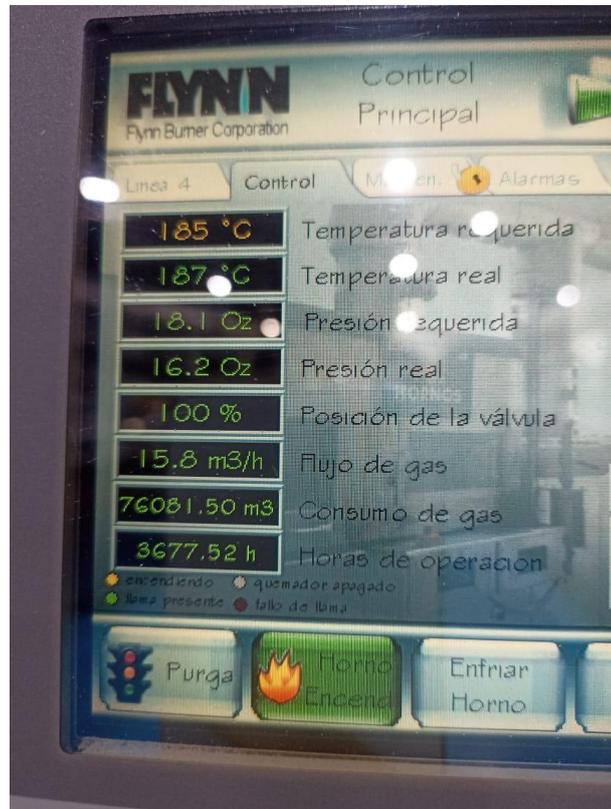
Offset	0	1	2	3	4
F80:0	0	174.3286	30.00062	0.8166667	178834
F80:5	0	0	0	0	0
F80:10	0	0	0	0	0
F80:15	0	0	0	0	0
F80:20	0	0	0	0	0
F80:25	0	0	0	0	0
F80:30	0	0	0	0	0
F80:35	0	0	0	0	0
F80:40	0	0	0	0	0
F80:45	0	0	0	0	0
F80:50	0	0	0	0	0

Symbol: F80.2  
Desc: DMC HORAS DE PRODUCCION  
Columns: 5

**Figura 3. 34***Integración de la variable de consumo de GLP*

Offset	0	1	2	3	4
F80:0	0	174.2386	30.00062	0.8166667	178834
F80:5	0	0	0	0	0
F80:10	0	0	0	0	0
F80:15	0	0	0	0	0
F80:20	0	0	0	0	0
F80:25	0	0	0	0	0
F80:30	0	0	0	0	0
F80:35	0	0	0	0	0
F80:40	0	0	0	0	0
F80:45	0	0	0	0	0
F80:50	0	0	0	0	0

Symbol: F80.4  
Desc: DMC CONSUMO GLP  
Columns: 5

**Figura 3. 35***HMI del horno: panel control*

Como se puede visualizar en la **Figura 3.35** los valores de importancia en el HMI son descritas dentro de control como “Temperatura real”, “Horas de operación” y “Consumo de Gas”. Tomando como referencia lo anteriormente descrito, en las imágenes **Figura 3.32**, **Figura 3.33** y **Figura 3.34**. se muestran la temperatura, las horas de producción y el consumo de GLP dentro de la programación. Estos valores se reflejan con precisión en las variables F80:1, F81:0 y F81:1 del DMO, respectivamente, garantizando la coherencia entre la interfaz del operador y el sistema de control.

### 3.7 Cálculo de Costos

**Tabla 3. 3**

*Componentes eléctricos*

Elementos	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal
MicroLogix 1400 1766-L32BXBA	\$1200	2	\$2400
MicroLogix 1400 1766-L32BXB	\$1200	1	\$1200
PLC CompactLogix 5069-L320ER	\$1500	1	\$1500
Panel View Plus 700	\$3000	3	\$9000
Panel View Plus 7 2711P-T10C21D8S-B	\$3000	1	\$3000
Sensor WT170-P132	\$240	9	\$2160
<b>Total</b>			<b>\$19260</b>

**Tabla 3. 4**

*Componentes informáticos*

Software/Recursos	Precio Unitario	Cantidad	Subtotal
RSLogix / Studio 5000 Standard, PN#9324-RLD300ENE, \$3,360.00	\$1496	1	\$2400
Factory Talk View ME	\$420.49	1	\$420.49
Programación de la lógica de control	\$375	-	\$375
<b>Total</b>			<b>\$3195.49</b>

**Tabla 3. 5**

*Costos totales*

Gastos totales	Subtotal
Componentes eléctricos	\$19260
Software y recursos	\$3195.49
<b>Total</b>	<b>\$22455.49</b>

En la **Tabla 3.5** se observan los gastos aproximados en caso de que se pretenda integrar este sistema desde cero, tomando en cuenta líneas productivas de similar estructura de flujo. Para dicha tabla se emplearon los resultados de los gastos en componentes eléctricos/electrónicos de la **Tabla 3.3** y de los componentes informáticos de la **Tabla 3.4**.

## Capítulo 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Una vez implementada la captura automática de datos en la línea de producción y configurado un switch NAT, se estableció una comunicación efectiva entre el servidor y los programas de los PLCs de cada recurso. Esto permite a los operadores visualizar el estado de la línea en intervalos de tiempo específicos y, en caso de un paro, identificar rápidamente el código indicativo de la causa. Además, de eliminar los tiempos muertos que los operadores empleaban en registrar manualmente los parámetros de interés, optimizando así la eficiencia del proceso.
- El uso de un PLC permite la personalización de la lógica de programación diseñada mediante subrutinas adicionales, lo que facilita realizar modificaciones adaptables a los requerimientos específicos de la planta. Esto permite un monitoreo preciso de variables clave como la velocidad de producción, la temperatura de la máquina, el consumo de gas, el conteo de unidades y las horas de operación.
- Se establecieron las rutas específicas del programa para cada una de las variables que almacenan los valores de los parámetros de interés, de modo que se permita una migración efectiva, sin equivocaciones, de los datos capturados por el PLC al servidor de telecomunicaciones, para su posterior visualización en el DMO.
- Se identificaron los recursos y máquinas clave en la línea de producción de obleas, destacando su función dentro del proceso de fabricación. Entre los equipos sobresalientes se encuentra el horno, que eleva la masa a la temperatura óptima para formar las placas de oblea. A continuación, el arco de enfriamiento reduce su temperatura, y finalmente, la máquina untadora aplica la crema y ensambla los sándwiches de galleta. Esta comprensión detallada de los procesos permitió reconocer los parámetros críticos a monitorizar para garantizar la calidad y eficiencia en la producción.

## 4.2 Recomendaciones

- Optimizar la lógica de programación para mejorar la gestión de los recursos de memoria del PLC. Esto implica revisar y refinar el código existente para reducir el uso innecesario de memoria, eliminar redundancias para garantizar que las rutinas estén lo más simplificadas posible.
- Adaptar la codificación del recurso de la untadora 1 a un software que permita realizar simulaciones previas, es crucial para comprobar el funcionamiento de la lógica diseñada antes de su integración en la planta física.
- Realizar un registro detallado de las variables, indicando su origen y su uso dentro de la programación siendo fundamental para mejorar la organización. Este enfoque facilita la localización e implementación de las variables de manera más eficiente, optimizando el proceso de desarrollo y mantenimiento del sistema.
- Incluir un apartado en el HMI para visualizar el valor de la variable “conteo de obleas”, esto permitirá al operador ver de manera rápida y clara la cantidad total de obleas producidas en un período específico. Proporcionando una visión del rendimiento de producción y facilitando el monitoreo eficiente del proceso.

## Referencias

- [1] D. E. Berkowitz, «Capítulo 67. Industria alimentaria», Instituto Nacional de Seguridad y Salud En el Trabajo, 1998. <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo%2067.%20Industria%20alimentaria.pdf/5ed98853-3b8c-4277-b056-1683f0af8e7a?version=1.0&t=1526457661502&download=true> (accedido 11 de junio de 2024).
- [2] Mme, «El sector de alimentos y bebidas, un mercado que sigue creciendo en el Ecuador. | Mucho Mejor Ecuador», Mucho Mejor Ecuador | Sello de Calidad Ecuatoriano - Marca País de Productos y Servicios, 29 de junio de 2022. <https://muchomejorecuador.org.ec/elementor-26163/> (accedido 11 de junio de 2024).
- [3] «Ficha sectorial: Elaboración de productos de confitería», CFN, noviembre de 2022. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2020/ficha-sectorial-4-trimestre-2020/FS-Confiteria-4T2020.pdf> (accedido 11 de junio de 2024).
- [4] P. González, «Qué se espera en 2024 para los principales productos de exportación de Ecuador», Primicias, 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.primicias.ec/noticias/economia/exportaciones-petroleo-camaron-banano-mineria/#:~:text=Para%202024%2C%20seg%C3%BAAn%20las%20previsiones,Producto%20Interno%20Bruto%20\(PIB\).&text=El%20sector%20flor%C3%ADcola%20tuvo%20un,volumen%2C%20hasta%20octubre%20de%202](https://www.primicias.ec/noticias/economia/exportaciones-petroleo-camaron-banano-mineria/#:~:text=Para%202024%2C%20seg%C3%BAAn%20las%20previsiones,Producto%20Interno%20Bruto%20(PIB).&text=El%20sector%20flor%C3%ADcola%20tuvo%20un,volumen%2C%20hasta%20octubre%20de%202)
- [5] J. Berganzo, «OEE: La guía completa y definitiva sobre el indicador industrial por excelencia», Sistemas OEE - Technology To Improve, 8 de mayo de 2024. <https://www.sistemasoe.com/oee-guia-completa/> (accedido 12 de junio de 2024).

- [6] J. V. Pérez, López Ortega, y R. R. García, «Medición de la productividad mediante el Overall Equipment Effectiveness (OEE) para operaciones no cíclicas», LATAM, vol. IV, n.o 6, Art. n.o p1273, dic. 2023, [En línea]. Disponible en: <https://latam.redilat.org/index.php/lt/article/download/1522/1879/2250>
- [7] J. Chitiva, «Riesgos de no considerar el OEE en proyectos de automatización industrial – Smart Ing | Empresa de automatización industrial», Smart-ing, 20 de diciembre de 2023. <https://smart-ing.com/riesgos-de-no-considerar-el-oee-en-proyectos-de-automatizacion-industrial/> (accedido 13 de junio de 2024).
- [8] DulcesNoticias, «La confitería mundial responde a los desafíos del mercado», Sweetpress, 21 de enero de 2020. <https://www.sweetpress.com/noticias/la-confiteria-mundial-responde-a-los-desafios-del-mercado> (accedido 26 de mayo de 2024).
- [9] Marta, «Automatización para la fabricación ajustada: Optimización de la eficiencia y reducción de residuos», Peruza, 31 de julio de 2023. <https://peruza.com/es/blog/robotica/automatizacion-para-la-fabricacion-ajustada-optimizacion-de-la-eficiencia-y-reduccion-de-residuos/> (accedido 26 de mayo de 2024).
- [10] FasterCapital, «IDR. Automatización de la captura de datos para mejorar la eficiencia», FasterCapital, 18 de abril de 2024. <https://fastercapital.com/es/contenido/IDR--Automatizacion-de-la-captura-de-datos-para-mejorar-la-eficiencia.html> (accedido 26 de mayo de 2024).
- [11] Milena, «Master Degree: Ingeniería de Sistemas Industriales», SCRIBD. <https://es.scribd.com/document/409651662/Informacion-de-referencia-ISE6-1-1-HISTORIA-PLC-docx> (accedido 26 de mayo de 2024).

- [12] A. Brunete, P. S. Segundo, y Herrero, «Introducción a la Automatización Industrial», UPM Blogs, marzo de 2024. <http://www.albertobrunete.es/automatica/> (accedido 31 de mayo de 2024).
- [13] B. Villacreces, Kleber, D. López, y L. Yemima, «Reducción de la perdida de productos terminados en una linea de producción de cremas de una empresa de fabricación de productos dermocosmeticos», Dspace.espol, 2023. <https://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/60845> (accedido 5 de junio de 2024).
- [14] F. Rada, J. A. González Jiménez, M. P. Román Barrezueta, y P. Daniel, «Automatización línea de producción en empresas de como ABC», Dspace.espol, 24 de noviembre de 2023. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/59255> (accedido 5 de junio de 2024).
- [15] B. Byrne, O. McDermott, y J. Noonan, «Applying Lean Six Sigma Methodology to a Pharmaceutical Manufacturing Facility: A Case Study», ResearchGate, 20 de marzo de 2021. [https://www.researchgate.net/publication/350284598\\_Applying\\_Lean\\_Six\\_Sigma\\_Methodology\\_to\\_a\\_Pharmaceutical\\_Manufacturing\\_Facility\\_A\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/350284598_Applying_Lean_Six_Sigma_Methodology_to_a_Pharmaceutical_Manufacturing_Facility_A_Case_Study) (accedido 5 de junio de 2024).
- [16] Deloitte, «El ecosistema del Internet de las cosas», Deloitte México. <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/technology/articles/Internet-de-las-cosas0.html> (accedido 10 de julio de 2024).
- [17] «¿Qué es SCADA?», COPADATA, 12 de diciembre de 2023. <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-es-scada/#:~:text=SCADA%20es%20el%20acr%C3%B3nimo%20de,registrar%20datos%20de%20sus%20operaciones.> (accedido 10 de julio de 2024).

- [18] «¿Qué es el mantenimiento basado en las condiciones? | IBM», IBM. [https://www.ibm.com/mx-es/topics/condition-based-maintenance#:~:text=El%20mantenimiento%20basado%20en%20las%20condiciones%20\(CBM\)%20es%20una%20estrategia,necesario%20realizar%20trabajos%20de%20mantenimiento.](https://www.ibm.com/mx-es/topics/condition-based-maintenance#:~:text=El%20mantenimiento%20basado%20en%20las%20condiciones%20(CBM)%20es%20una%20estrategia,necesario%20realizar%20trabajos%20de%20mantenimiento.) (accedido 10 de julio de 2024).
- [19] Allen-Bradley, «Controladores programables MicroLogix 1400», Literature, RockwellAutomation, octubre de 2009. [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1766-in001\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/1766-in001_-es-p.pdf) (accedido 24 de junio de 2024).
- [20] Allen-Bradley, «CompactLogix 5380, Compact GuardLogix 5380, and CompactLogix 5480 Controllers Specifications», Literature, RockwellAutomation, noviembre de 2023. [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/5069-td002\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/5069-td002_-en-p.pdf) (accedido 24 de junio de 2024).
- [21] Allen-Bradley, «PanelView Plus 700 to 1500 and PanelView Plus Compact 1000 Terminals and Display Modules», Literature, RockwellAutomation, abril de 2018. [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2711p-in001\\_-en-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/in/2711p-in001_-en-p.pdf) (accedido 24 de junio de 2024).
- [22] Allen-Bradley, «Terminales estándar PanelView Plus 7», Literature, RockwellAutomation, mayo de 2015. [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711p-um007\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711p-um007_-es-p.pdf) (accedido 24 de junio de 2024).
- [23] SICK, «WT170-P132», SICK, 11 de julio de 2023. [https://www.sick.com/media/pdf/8/78/978/dataSheet\\_WT170-P132\\_6010197\\_es.pdf](https://www.sick.com/media/pdf/8/78/978/dataSheet_WT170-P132_6010197_es.pdf) (accedido 18 de julio de 2024).

## **Apéndice**

## APÉNDICE A

### Alarmas seleccionadas para los recursos de hornos

Para la determinación de las alarmas de interés para el registro se realizó la evaluación por los siguientes parámetros específicos.

#### Figura A. 1

*Motores de importancia para la discretización de las alarmas*

M1_OK
Motor Principal
M2_OK
Pasta
M5_OK
Extractor
M6_OK
Soplador

Como se puede visualizar en la **Figura A.1** se consideraron las alarmas que afecten el paro de los motores M1, M2, M5 y M6 siendo estos el motor principal, motor de pasta, motor de extractor y el motor del soplador correspondientemente.

Una vez establecido los motores de importancia se realizó el reconocimiento de todas las alarmas esto visualizándose en la “figura” mostrando 80 alarmas preestablecidas y una nueva alarma agregada por conteo de obleas. Posterior a esto se realizó la codificación por colores y por numeración como se muestra en la **Figura A.2**. Siendo el código numérico el que recibe el servidor de visualización de datos y registro.

Figura A. 2

Código de alarmas – Hornos 1, 2 y 4.

	Dirección	Símbolo	Descripción	Código
WORD 1	B10:0/0	ALM_1	Pulsado paro de emergencia en el panel	1
	B10:0/1	ALM_2	Pulsado paro de emergencia #2	2
	B10:0/2	ALM_3	Panel de paro de emergencia (Estop) no se ha reseteado	
	B10:0/3	ALM_4	Paro de emergencia de horno no se ha reseteado	
	B10:0/4	ALM_5	Fallo en el variador de frecuencia (VFD) del motor principal M1	3
	B10:0/5	ALM_6	Fallo en el variador de frecuencia de la bomba M2	4
	B10:0/6	ALM_7	El interruptor automático miniatura (MCB) del motor principal M1 se disparó	5
	B10:0/7	ALM_8	El MCB del accionamiento de la bomba M2 se disparó	6
	B10:0/8	ALM_9	El MCB del limpiador M3 se disparó	
	B10:0/9	ALM_10	El MCB de la salida del horno M4 se disparó	
	B10:0/10	ALM_11	El MCB del extractor M5 se disparó	7
	B10:0/11	ALM_12	El MCB del soplador de combustión M6 se disparó	8
	B10:0/12	ALM_13	Fallo en la entrada A del encoder	9
	B10:0/13	ALM_14	Fallo en la entrada B del encoder	10
	B10:0/14	ALM_15	Entrada de retención del encoder encendida	11
	B10:0/15	ALM_16	Error detectado en el programa del encoder	12
WORD 2	B10:1/0	ALM_17	Pulsado el paro de emergencia #3	13
	B10:1/1	ALM_18	Falla de la alimentación eléctrica (Power Supply - FP)	14
	B10:1/2	ALM_19	Existe presión de aire de alimentación de la pasta	15
	B10:1/3	ALM_20	El MCB del soplador auxiliar se disparó	
	B10:1/4	ALM_21	Fallo del interruptor (Switch - Sw) de límite de la manivela	16
	B10:1/5	ALM_22	Alarma de unidad no en funcionamiento	
	B10:1/6	ALM_23	Desconexión del motor principal	17
	B10:1/7	ALM_24	Fallo en la comunicación VFD1	18
	B10:1/8	ALM_25	Fallo en la comunicación VFD4	
	B10:1/9	ALM_26		
	B10:1/10	ALM_27		
	B10:1/11	ALM_28		
	B10:1/12	ALM_29		
	B10:1/13	ALM_30		
	B10:1/14	ALM_31		
	B10:1/15	ALM_32		
WORD 3	B10:2/0	ALM_33	Interruptor OSHA no en posición de funcionamiento	
	B10:2/1	ALM_34	Baja presión de gas detectada	
	B10:2/2	ALM_35	Alta presión de gas detectada	
	B10:2/3	ALM_36	Válvula principal de gas no cerrada	
	B10:2/4	ALM_37	Disparo por alta temperatura	
	B10:2/5	ALM_38	Fallo del VPS	
	B10:2/6	ALM_39	Ventilador de escape no pudo arrancar	19
	B10:2/7	ALM_40	No se detecta flujo de aire de escape	20
	B10:2/8	ALM_41	El soplador de combustión no pudo arrancar	21
	B10:2/9	ALM_42	No se detecta flujo de aire de combustión	22
	B10:2/10	ALM_43	Quemador 1 falló	
	B10:2/11	ALM_44	Quemador 2 falló	
	B10:2/12	ALM_45	Quemador 3 falló	
	B10:2/13	ALM_46	Quemador 4 falló	
	B10:2/14	ALM_47	Temporizador de purga ajustado en bajo	
B10:2/15	ALM_48			
WORD 4	B10:3/0	ALM_49	La compuerta de purga 1 no se abre para la purga	
	B10:3/1	ALM_50	La compuerta de purga 2 no se abre para la purga	
	B10:3/2	ALM_51	La compuerta de purga 3 no se abre para la purga	
	B10:3/3	ALM_52	La compuerta de purga 4 no se abre para la purga	
	B10:3/4	ALM_53	La compuerta de purga 5 no se abre para la purga	
	B10:3/5	ALM_54	Alarma de placas no cerrada	23
	B10:3/6	ALM_55	Interruptor de límite de baja tensión	24
	B10:3/7	ALM_56	Sensor de temperatura falló	
	B10:3/8	ALM_57	Alarma de permanencia en la salida del horno M4	
	B10:3/9	ALM_58	Falla en el VFD de la salida del horno M4	
	B10:3/10	ALM_59	Paro de emergencia del limpiador de banda no reseteado	
	B10:3/11	ALM_60	Paro de emergencia de descarga no reseteado	
	B10:3/12	ALM_61	Interruptor magnético de seguridad de la puerta del cepillo - Lado del operador abierto	
	B10:3/13	ALM_62	Interruptor magnético de seguridad de la puerta del cepillo - No del lado del operador abierto	
	B10:3/14	ALM_63	Interruptor magnético de seguridad de la cabeza del horno - Lado del operador abierto	
B10:3/15	ALM_64			
WORD 5	B10:4/0	ALM_65	Interruptor magnético de seguridad de bandeja de desechos abierta	25
	B10:4/1	ALM_66	Interruptor magnético de seguridad de la cubierta de desechos abierta	26
	B10:4/2	ALM_67	Interruptor magnético de seguridad de la cabeza del horno - No del lado del operador abierto	
	B10:4/3	ALM_68		
	B10:4/4	ALM_69		
	B10:4/5	ALM_70		
	B10:4/6	ALM_71		
	B10:4/7	ALM_72		
	B10:4/8	ALM_73	Tiempo de permanencia de desperdicios M3	
	B10:4/9	ALM_74		
	B10:4/10	ALM_75		
	B10:4/11	ALM_76	Alarma de sobretemperatura (Temperatura mayor a 209 Celcius)	
	B10:4/12	ALM_77		
	B10:4/13	ALM_78		
	B10:4/14	ALM_79	Por favor, cerrar las compuertas (Dampers)	
B10:4/15	ALM_80			
B81:5/1	ALM_STBY	Alarma de stand by por inactividad de sensores	27	

Figura A. 3

Subrutina DMO\_ALM-Línea0000-0001

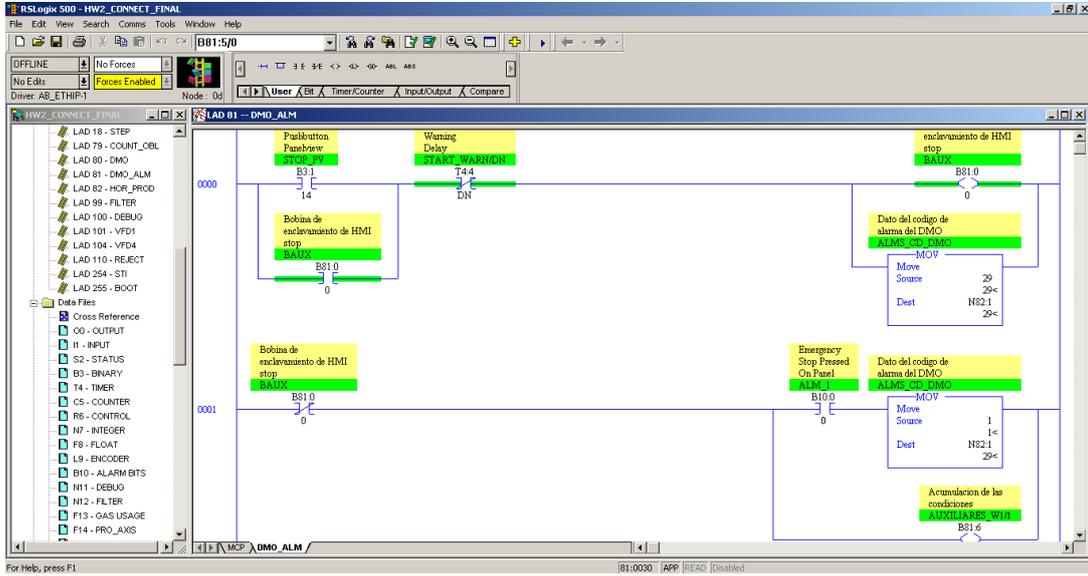


Figura A. 4

Subrutina DMO\_ALM-Línea0002-0003

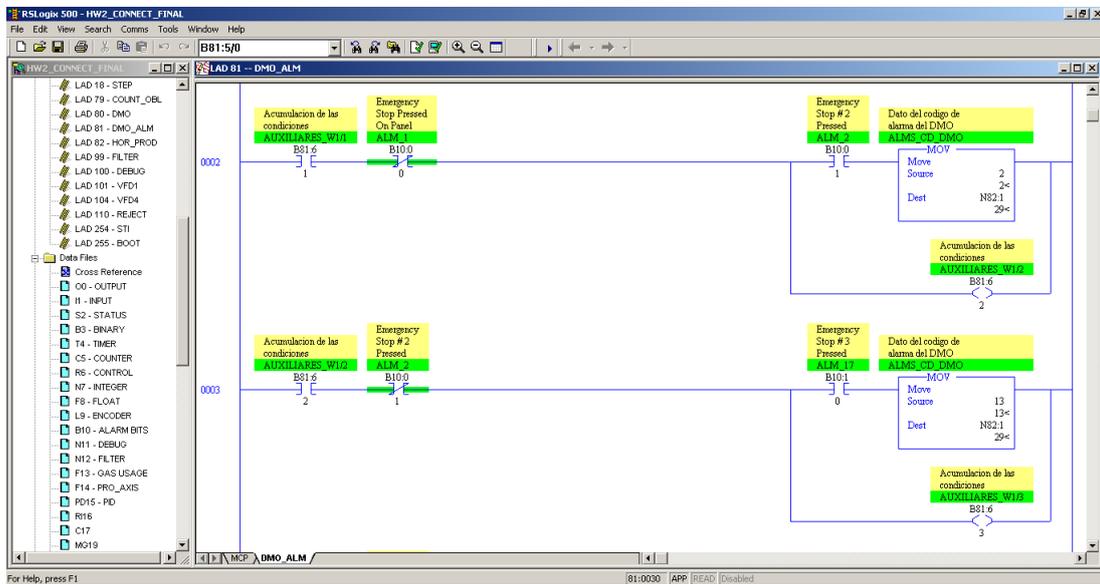


Figura A. 5

Subrutina DMO\_ALM-Línea0004-0005

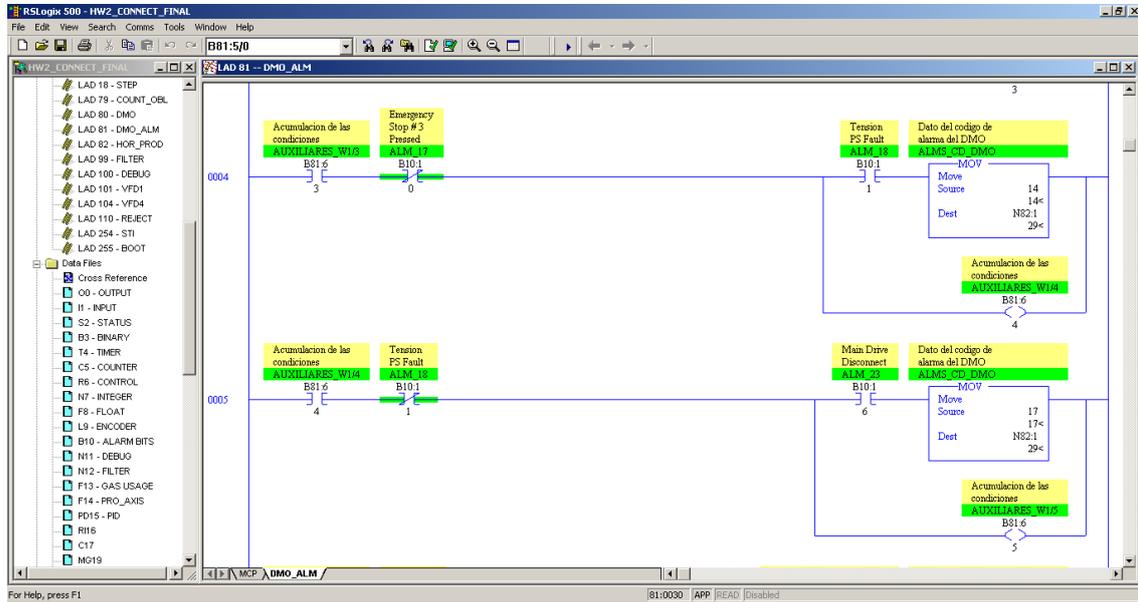
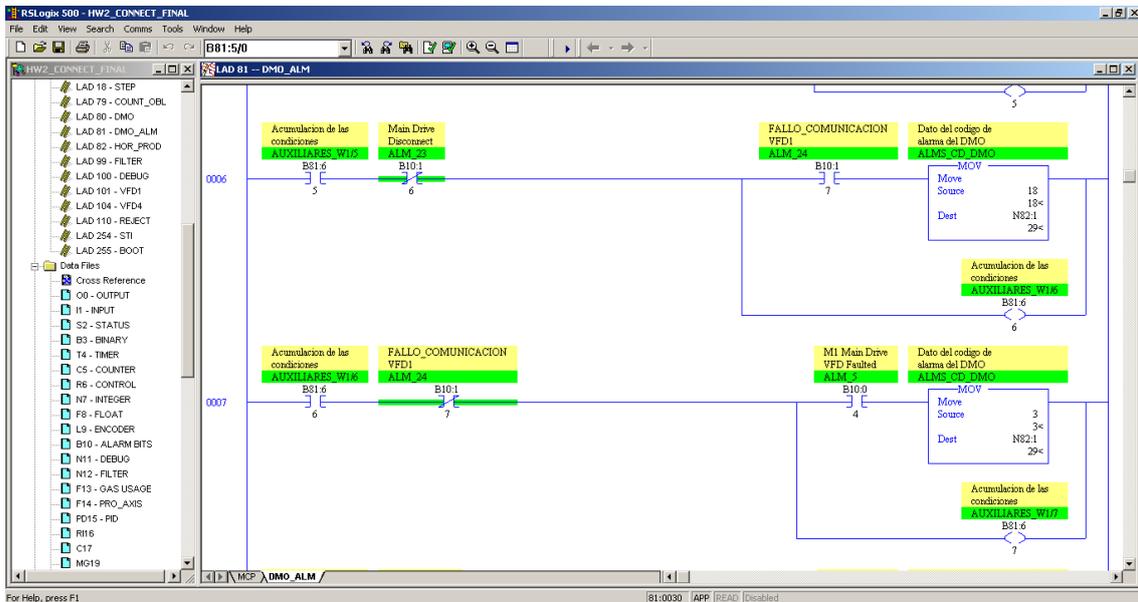


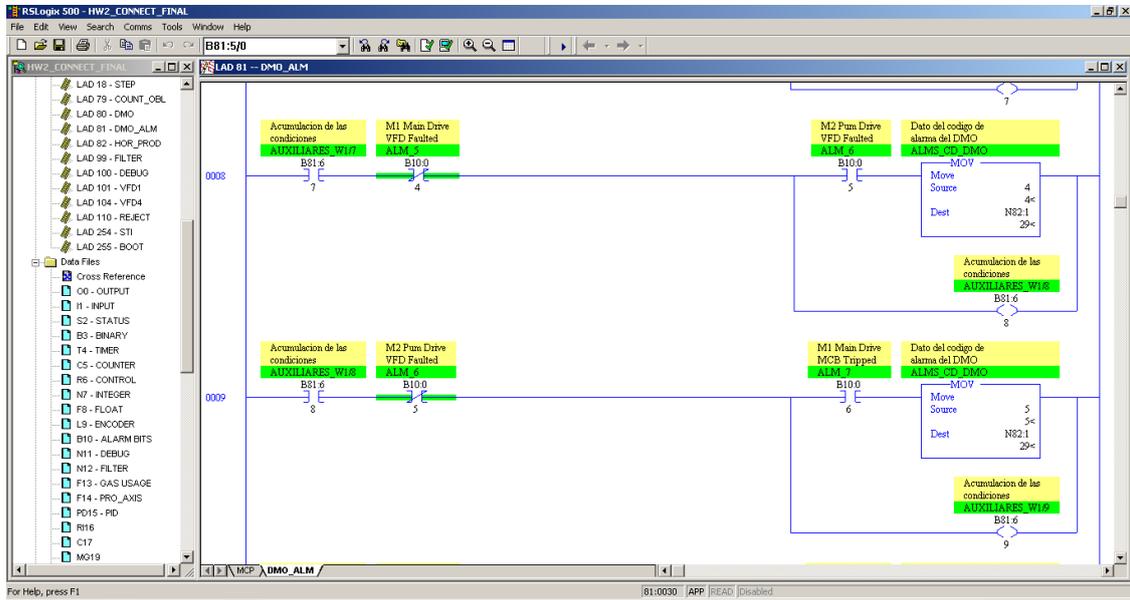
Figura A. 6

Subrutina DMO\_ALM-Línea0006-0007



**Figura A. 7**

*Subrutina DMO\_ALM-Línea0008-0009*



**Figura A. 8**

*Subrutina DMO\_ALM-Línea0010-0011*

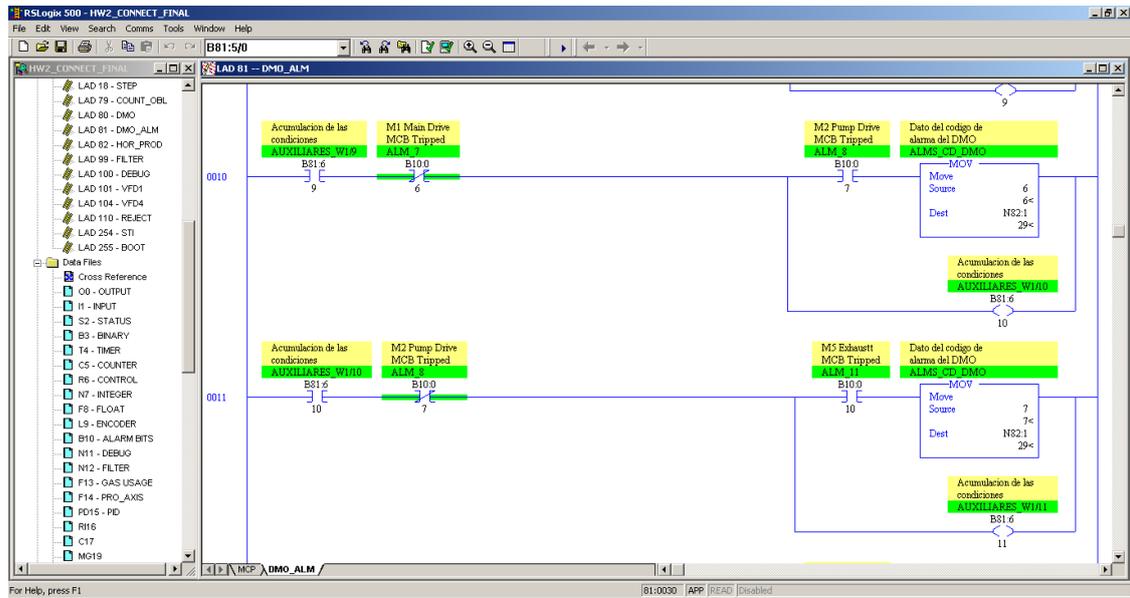


Figura A. 9

Subrutina DMO\_ALM-Línea0012-0013

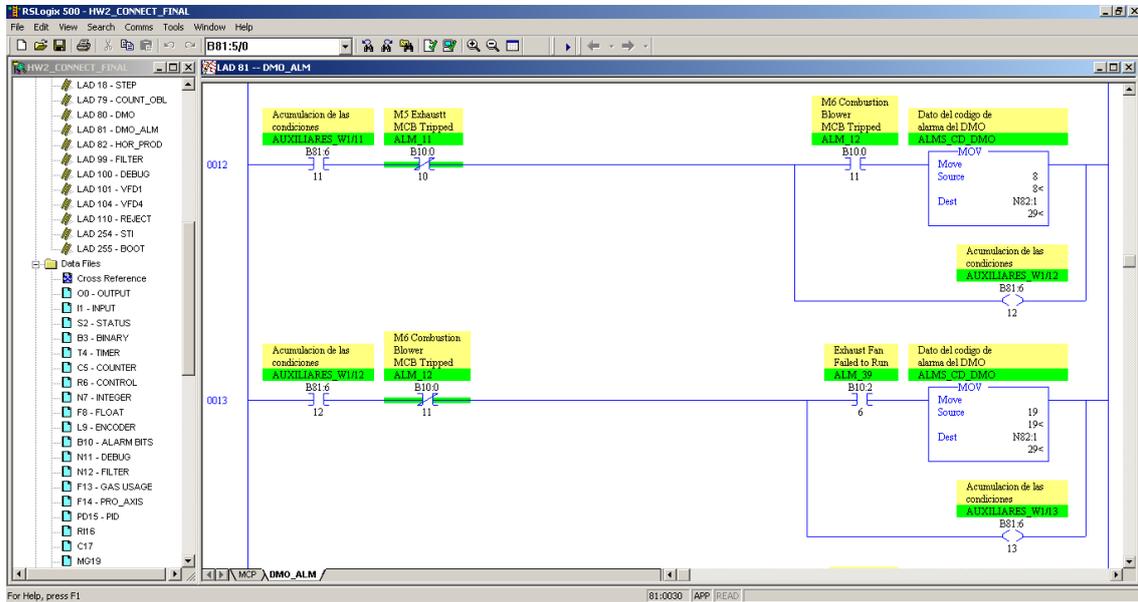
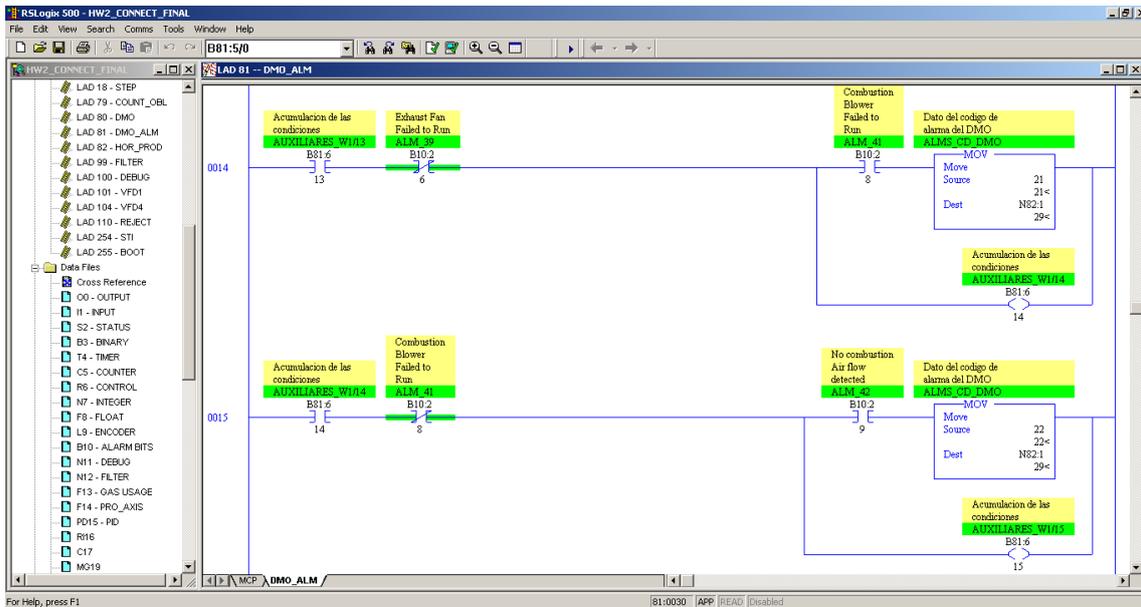


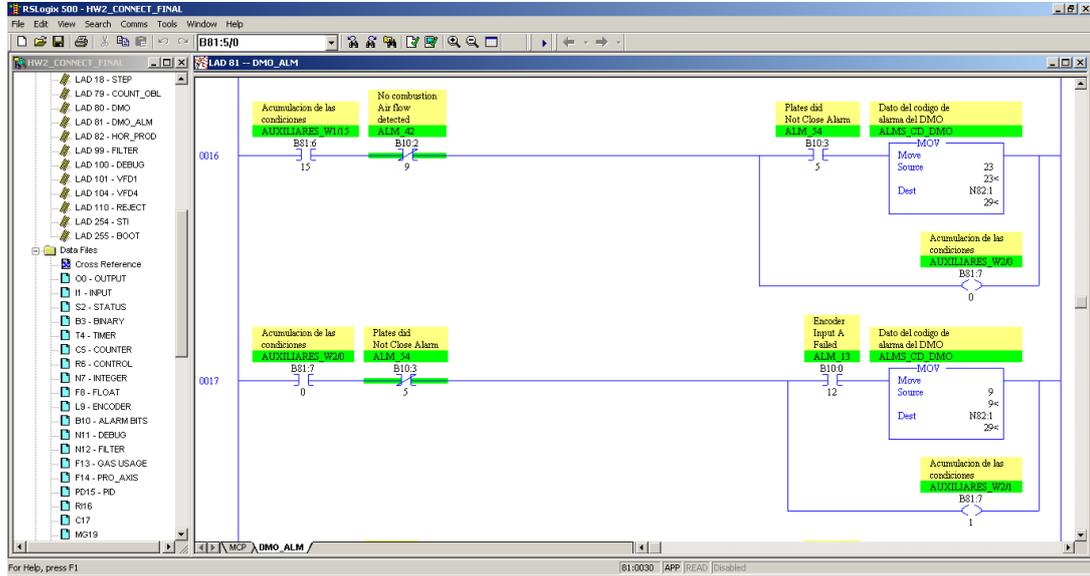
Figura A. 10

Subrutina DMO\_ALM-Línea0014-0015



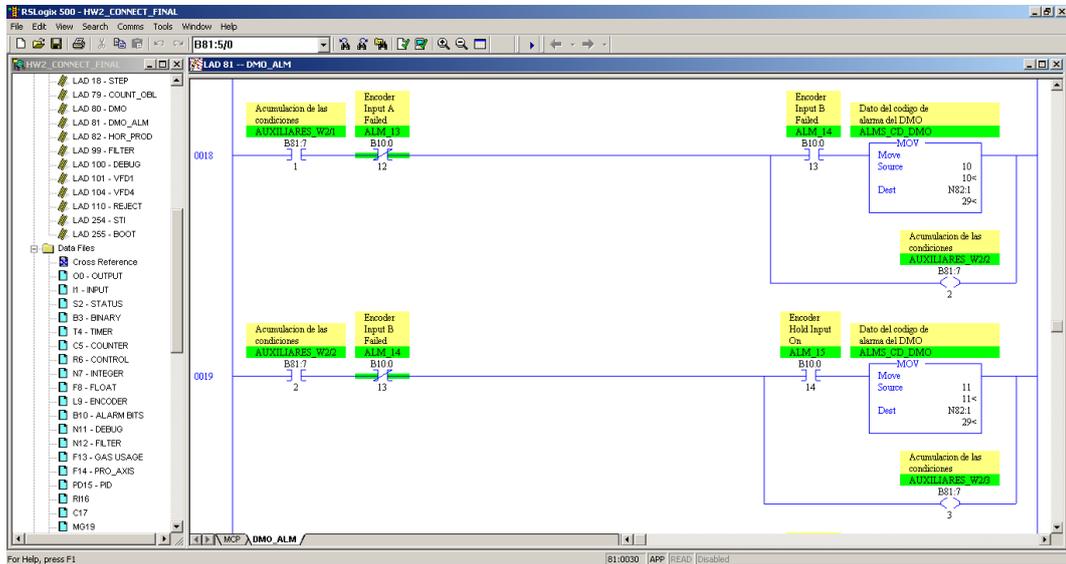
**Figura A. 11**

*Subrutina DMO\_ALM-Línea0016-0017*



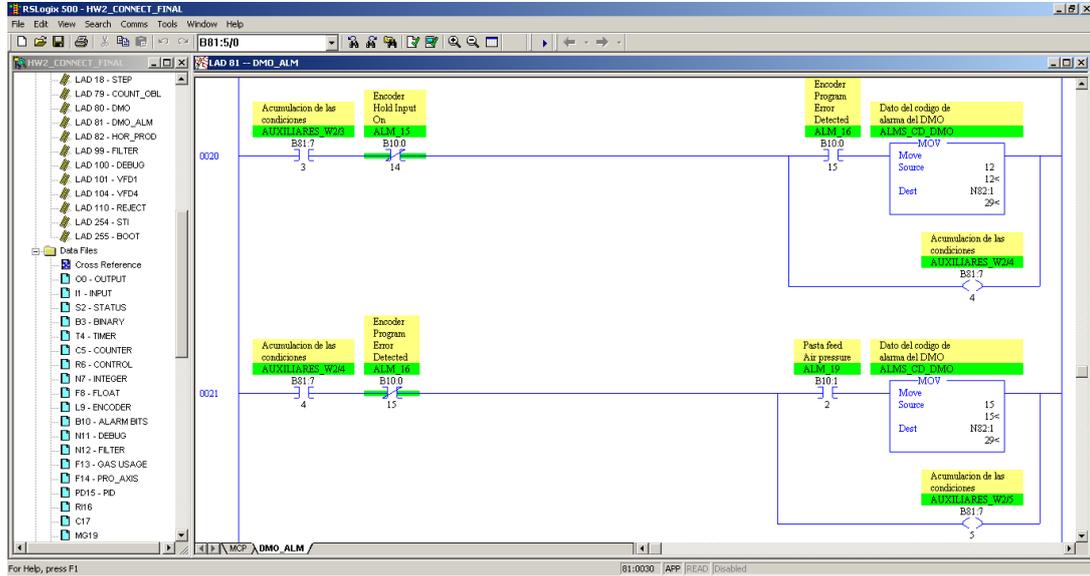
**Figura A. 12**

*Subrutina DMO\_ALM-Línea0018-0019*



**Figura A. 13**

*Subrutina DMO\_ALM-Línea0020-0021*



**Figura A. 14**

*Subrutina DMO\_ALM-Línea0022-0023*

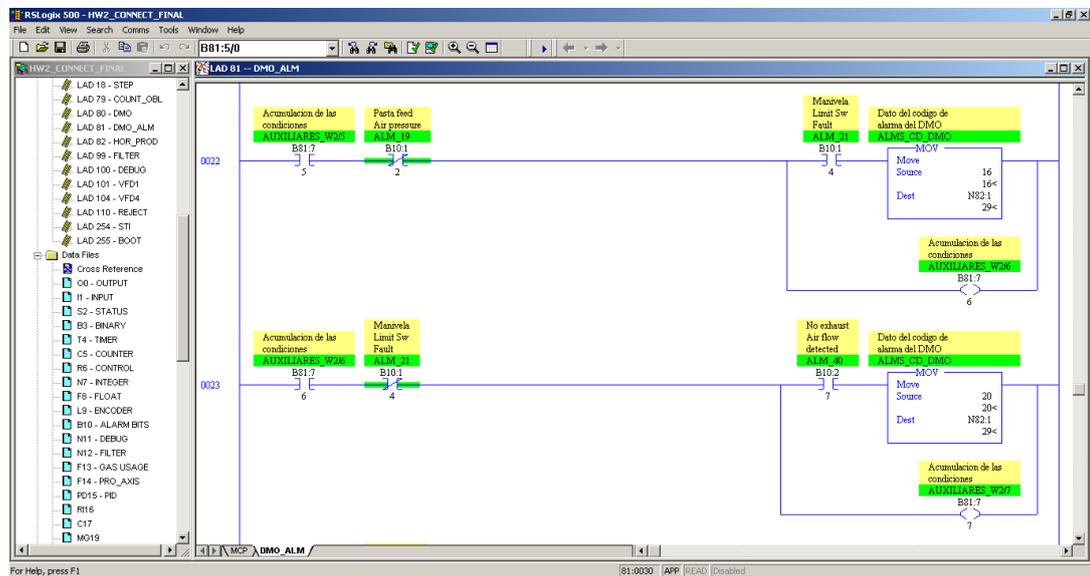


Figura A. 15

Subrutina DMO\_ALM-Línea0024-0025

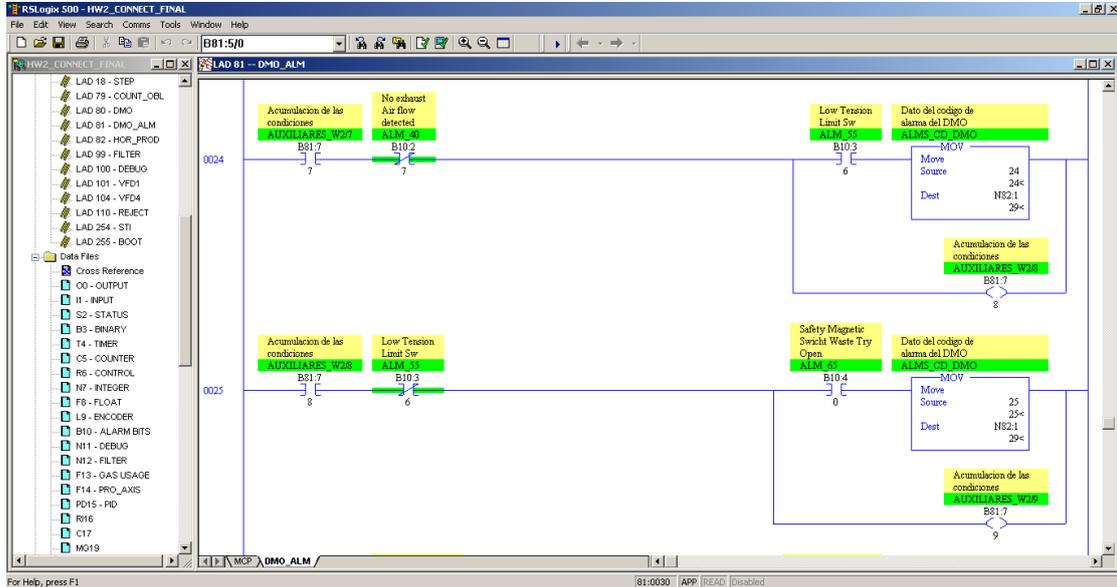
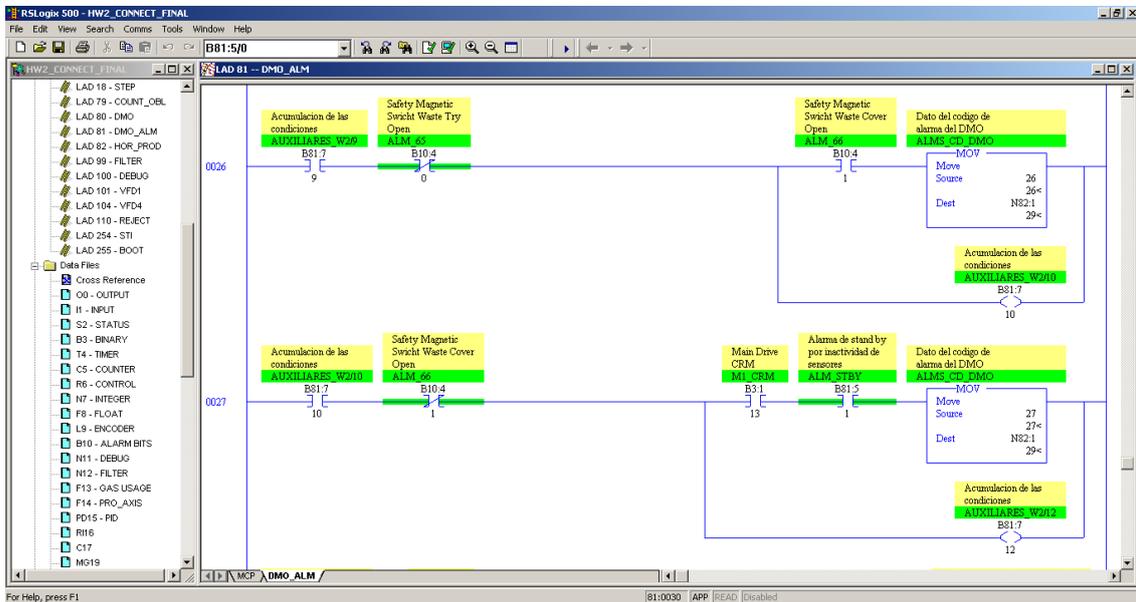
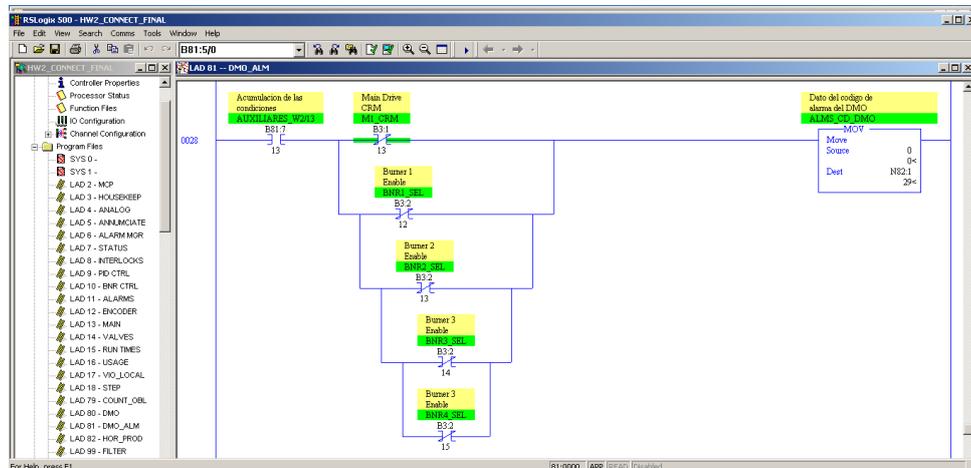


Figura A. 16

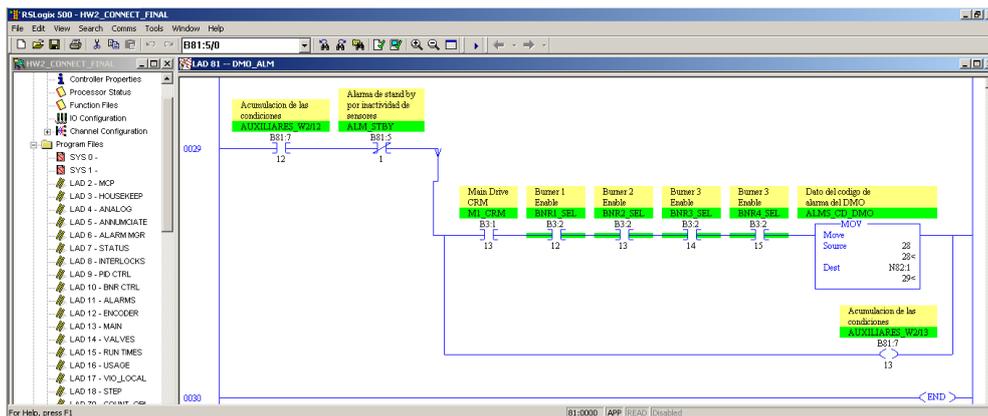
Subrutina DMO\_ALM-Línea0026-0027



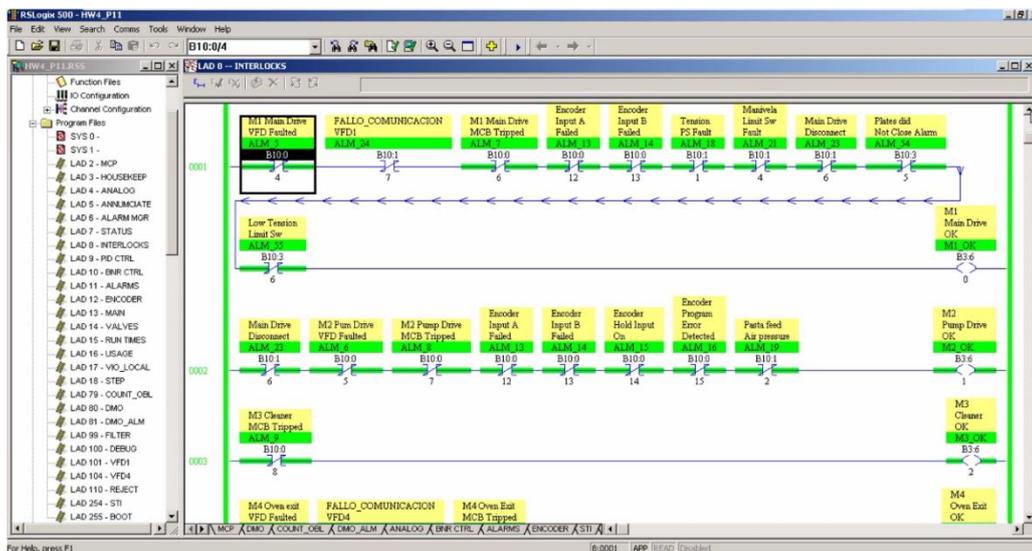
**Figura A. 17**  
*Subrutina DMO\_ALM-Línea0028*



**Figura A. 18**  
*Subrutina DMO\_ALM-Línea0029*



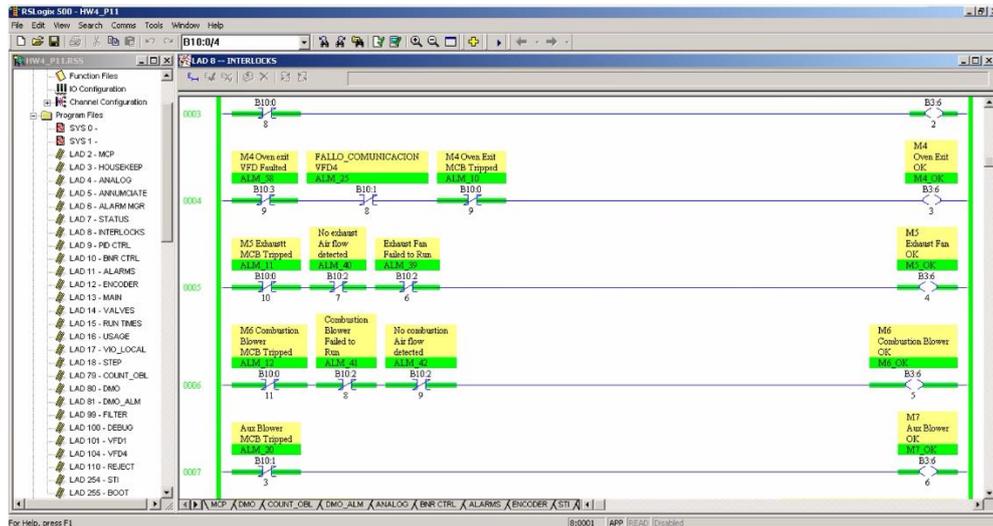
**Figura A. 19**  
*Proceso interrumpido por alarmas – Subrutina INTERLOCKS-Línea0001-0003*



Las alarmas están encargadas de permitir el proceso normal de la línea de producción de obleas, de modo que, al activarse alguna el “estado ok” de las bobinas se desactiva impidiendo el proceso normal, parando la línea de producción en la **Figura A.19** se observa como la lógica es aplicada a los motores M1 (Motor principal), M2(Controlador de la bomba) y M3(Soplador).

**Figura A. 20**

*Proceso interrumpido por alarmas – Subrutina INTERLOCKS-Línea0004-0007*



En la **Figura A.20** se continúa observando dicha lógica aplicada al estado de los motores M4(Salida del horno), M5(Ventilador de escape), M6(Soplador de combustión) y M7(Soplador auxiliar). También existen un total de 3 paros de emergencia totales en la planta que el operador puede pulsar en cualquier momento y detener la producción.

## APÉNDICE B

### Alarmas seleccionadas para los recursos de Untadora

Figura B. 1

Subrutina R12\_CDG\_ALM - Linea0-2

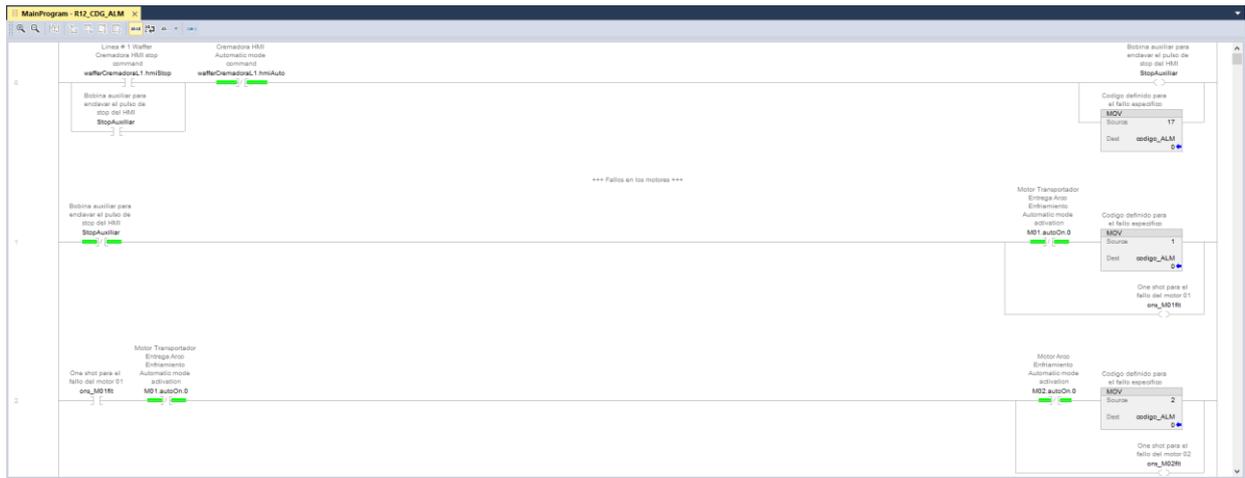
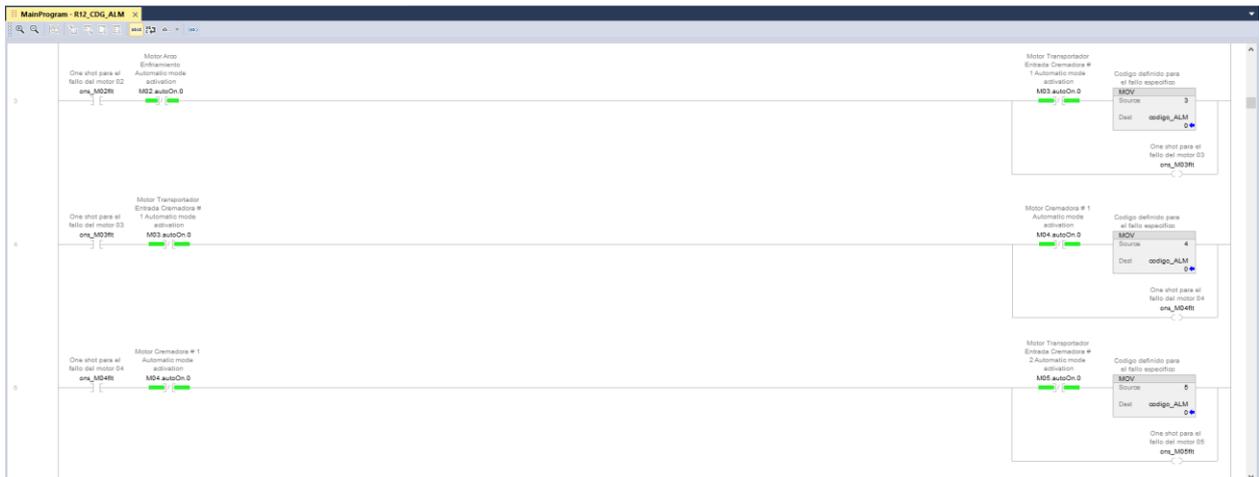


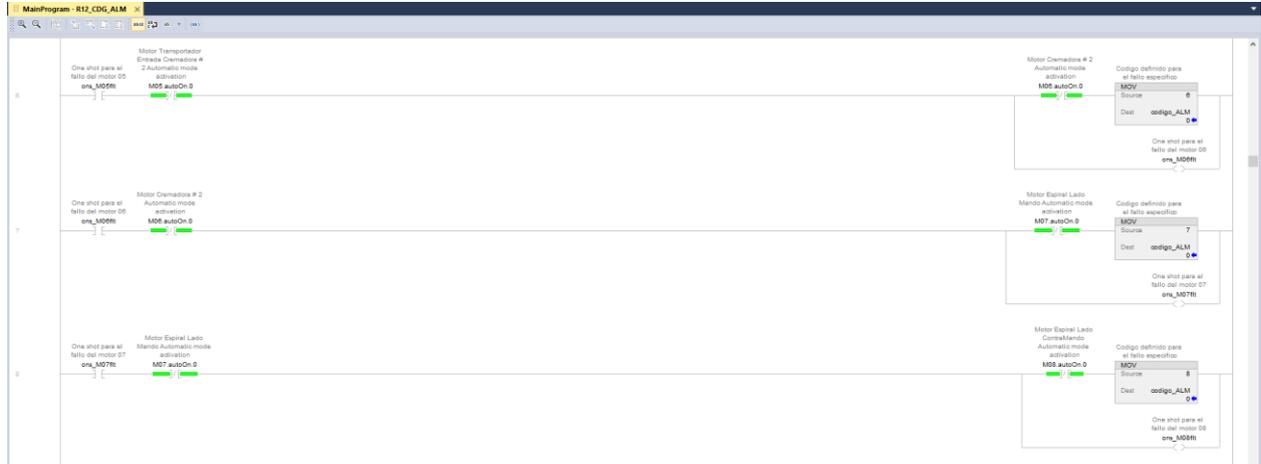
Figura B. 2

Subrutina R12\_CDG\_ALM – Linea3-5



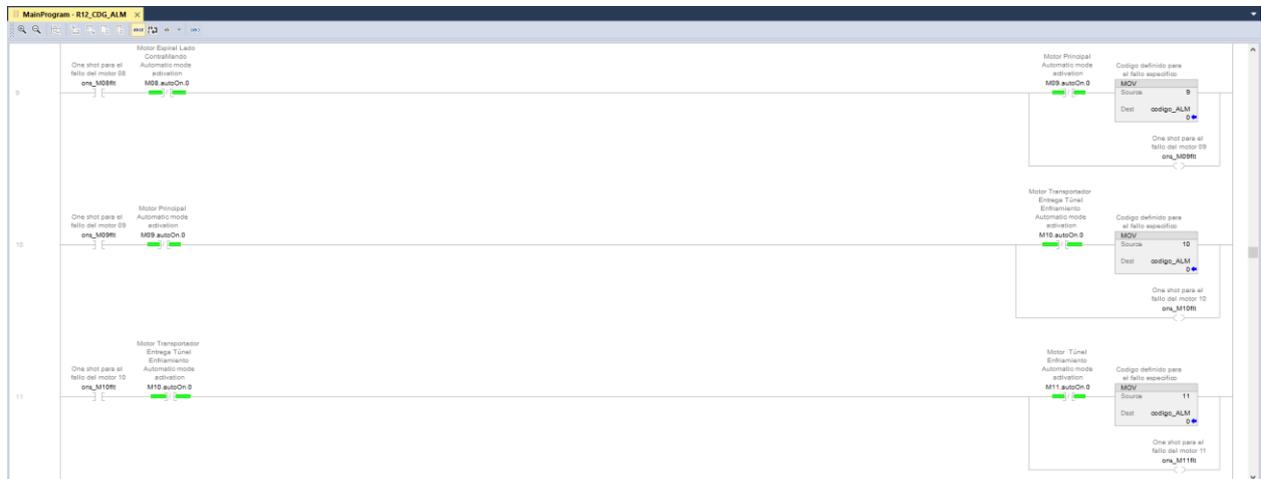
**Figura B. 3**

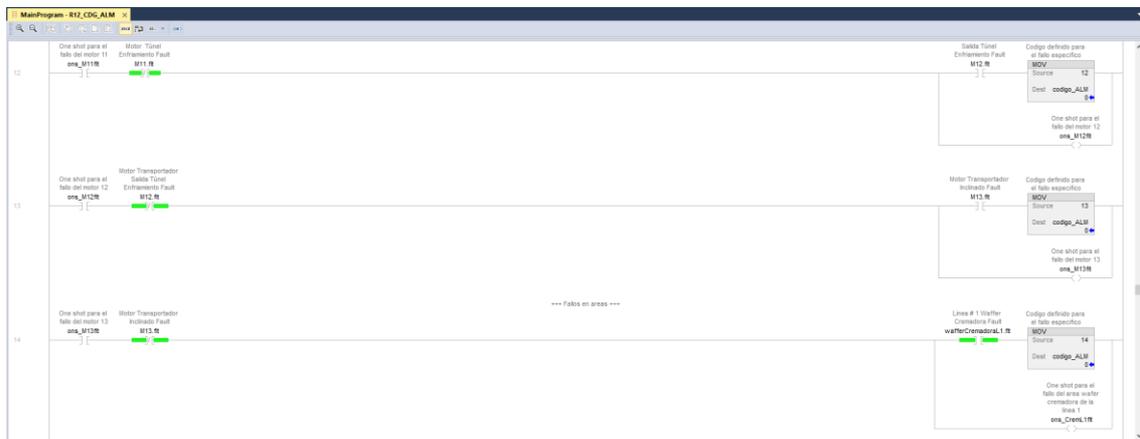
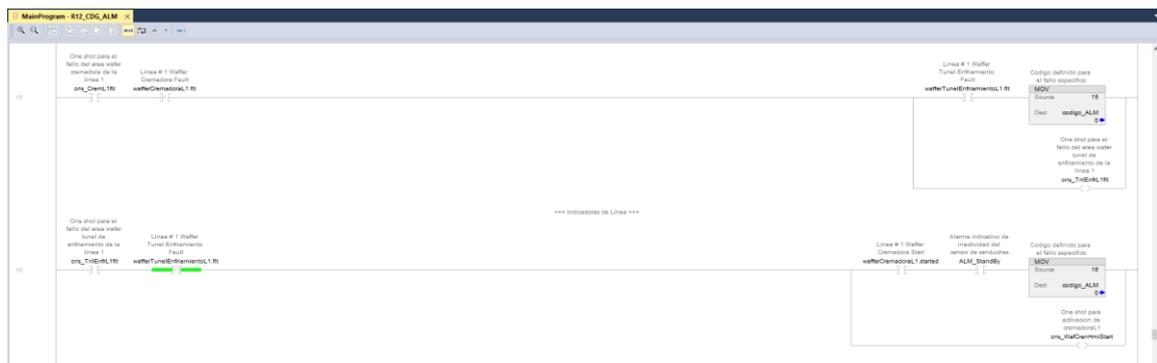
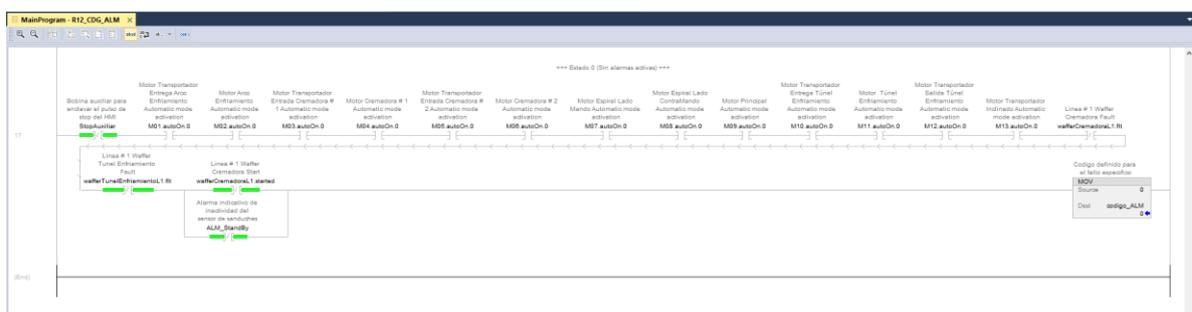
*Subrutina R12\_CDG\_ALM – Linea6-8*



**Figura B. 4**

*Subrutina R12\_CDG\_ALM – Linea9-11*



**Figura B. 5***Subrutina R12\_CDG\_ALM – Linea12-14***Figura B. 6***Subrutina R12\_CDG\_ALM – Linea15-16***Figura B. 7***Subrutina R12\_CDG\_ALM – Linea17*

De forma similar al horno, se observa en las figuras **Figura B.1**, **Figura B.2**, **Figura B.3**, **Figura B.4**, **Figura B.5**, **Figura B.6** y **Figura B.7** la lógica de programación desarrollada, que permite jerarquizar y fijar un código a las alarmas, en este caso, se mostrarán primero los paros, seguido de los fallos, en caso de no haber se visualiza el área en arranque y finalmente, al no existir alguna de las opciones anteriores activas, se fijará el estado de espera (Stand By).

## APÉNDICE C

### Implementación Práctica en Planta

#### Evidencia Fotográfica

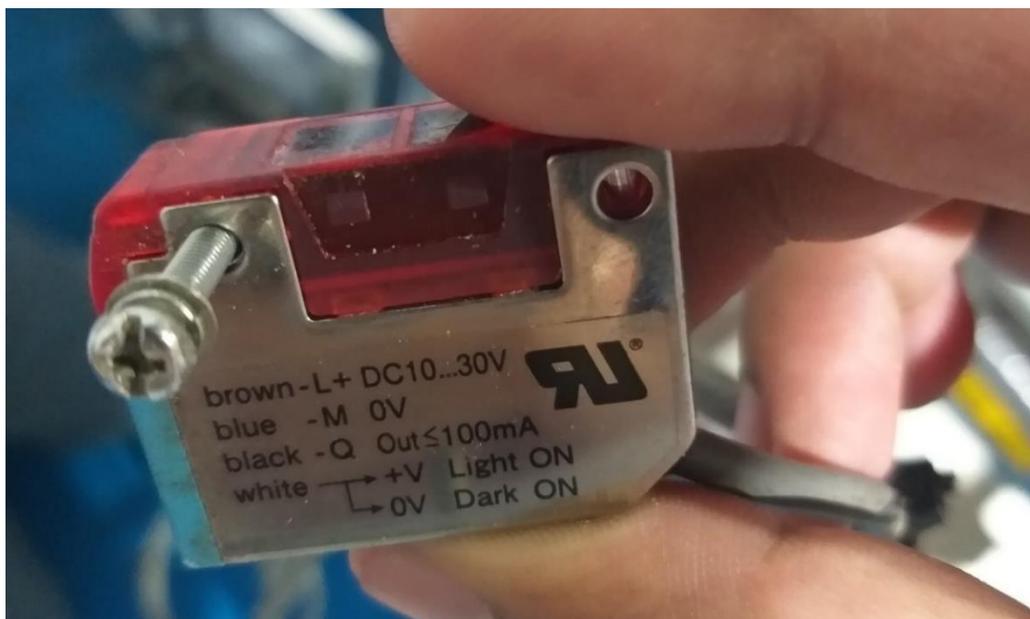
**Figura C. 1**

*Capacitación SHE*



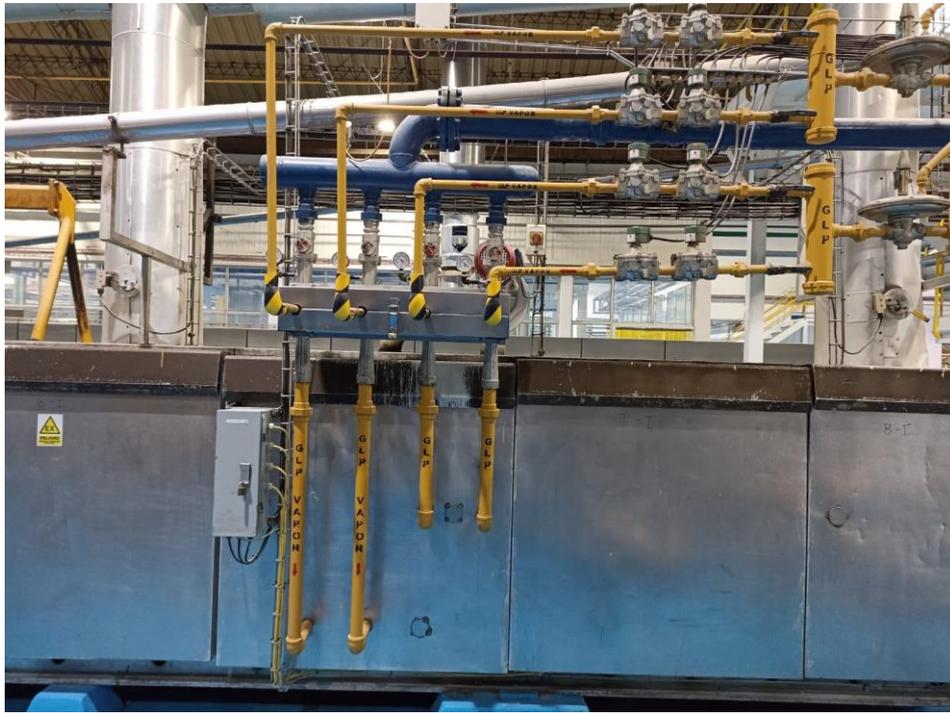
**Figura C. 2**

*Selección del sensor fotoeléctrico*



**Figura C. 3**

*Tuberías de gas licuado de petróleo – Recurso Horno*

**Figura C. 4**

*Línea de producción de oblea – Recurso Horno*



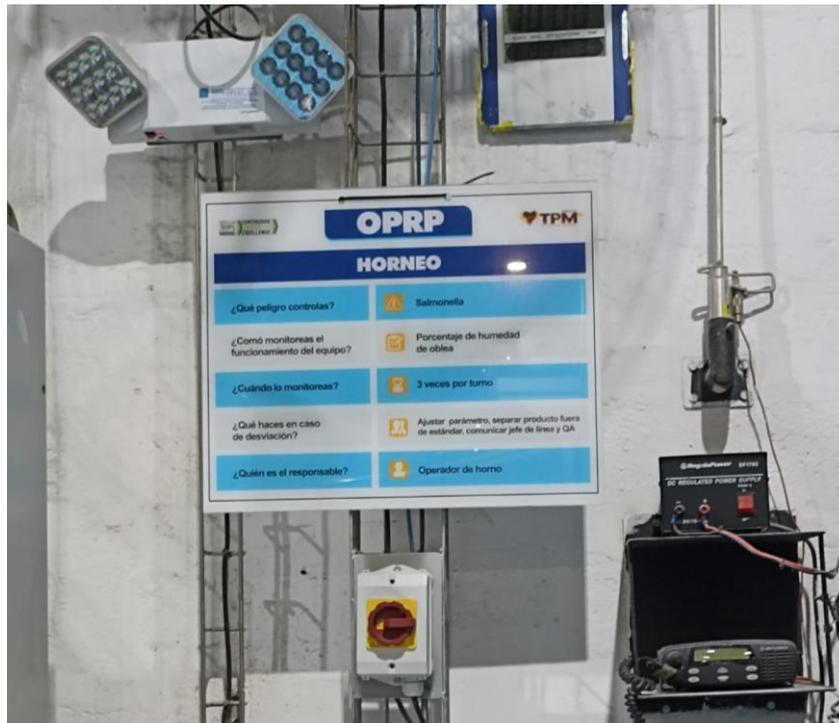
**Figura C. 5**

*Tubería de la masa – Recurso Horno*



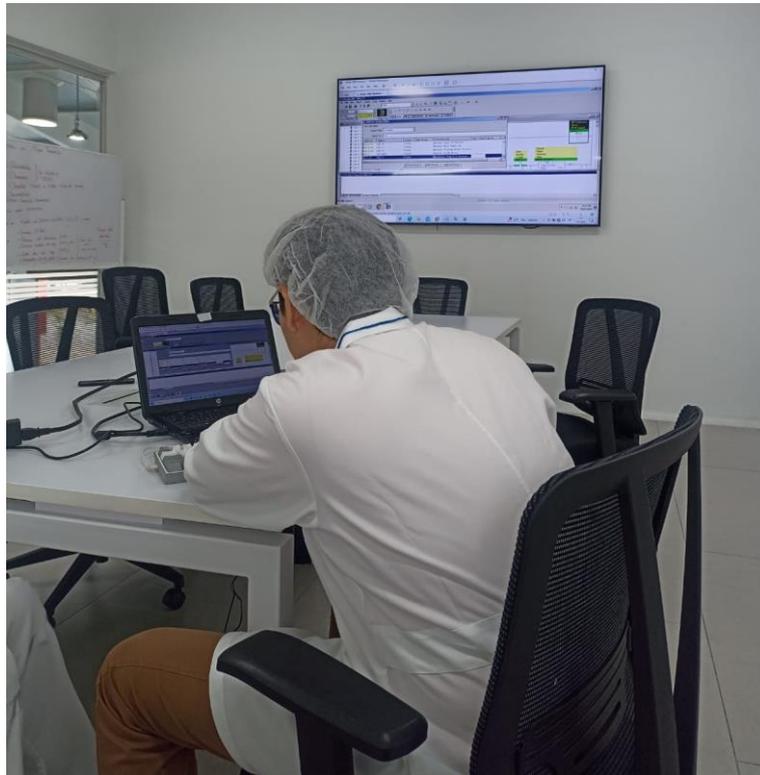
**Figura C. 6**

*OPRP – Recurso Horno*

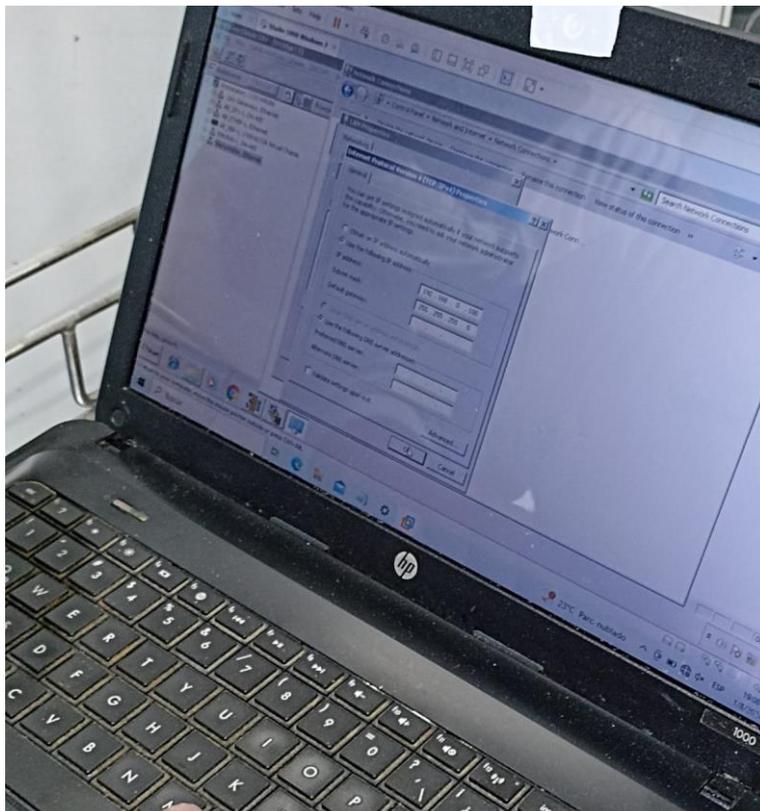


**Figura C. 7**

*Pruebas de Compare en planta*

**Figura C. 8**

*Configuración de IP para conexión con el PLC – Recurso Horno*

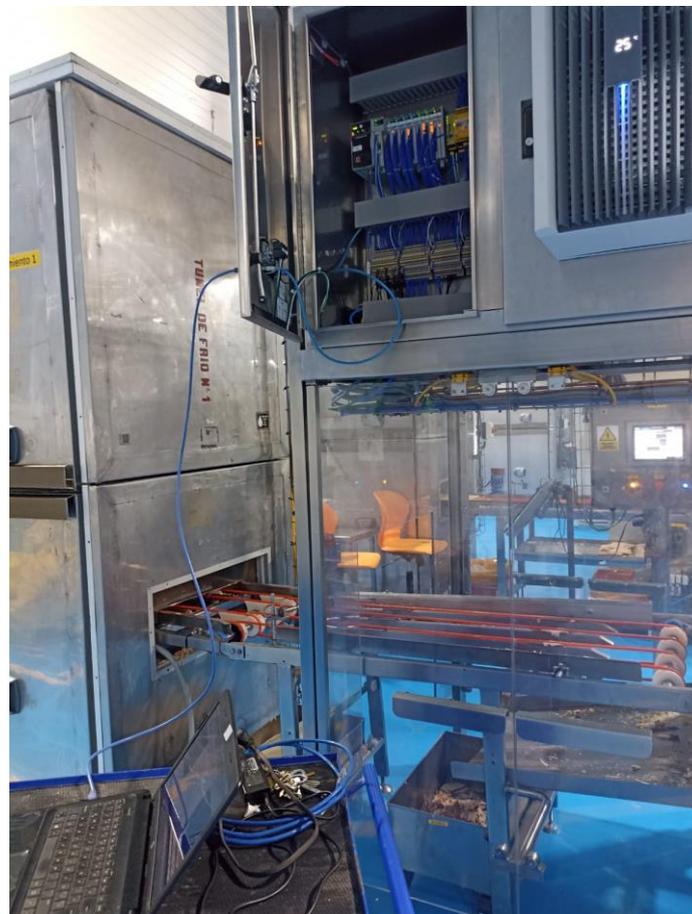


**Figura C. 9**

*Conexión de RSLogix 500 con el PLC – Recurso Horno*

**Figura C. 10**

*Conexión de Studio 5000 con PLC físico – Recurso Untadora*



**Figura C. 11**

*Salida de horno y entrada a arco de enfriamiento – Recurso Horno*

**Figura C. 12**

*Salida del horno – Recurso Horno*

