

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

Diseño del sistema de automatización de una planta fundidora para la elaboración de la estructura base de luminarias LED para su uso en locales comerciales y en la industria, en la empresa SERVACONSA.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

### **Ingeniero en Electrónica y Automatización**

Presentado por:

Edgar Daniel Medina Jácome

Publio David Saavedra Coello

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

## DEDICATORIA

Para aquellos que creen en el poder del conocimiento, para los que me brindaron apoyo incondicional y aliento constante, y para todos aquellos que siempre han creído en mí. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo y el reflejo de la pasión por aprender y crecer. A mi familia, amigos y mentores, gracias por ser mi fuente de inspiración y por guiarme en este camino. Sus palabras de aliento han sido la luz que me ha llevado a través de los momentos desafiantes. Que este trabajo sea un tributo a su fe inquebrantable en mí y en el poder del conocimiento para transformar vidas.

Con gratitud eterna,

Edgar D. Medina J.

El presente proyecto se lo dedico a toda mi familia, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo el trayecto de mi carrera para ser una mejor persona tanto ética como profesionalmente.

Publio D. Saavedra C.

## AGRADECIMIENTOS

Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la contribución de muchas personas que me han acompañado en este viaje de aprendizaje y descubrimiento:

A mi familia, por su amor incondicional, aliento constante y sacrificios que han hecho posible mi educación. Cada logro en esta tesis es también suyo.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado con palabras de aliento, momentos de distracción y comprensión en los momentos más estresantes.

Y especialmente a ESPOL, esta noble institución, por proporcionar el entorno y los recursos necesarios para que todos nosotros como estudiantes pudiéramos desarrollar nuevas experiencias y ampliar nuestros horizontes hacia un mundo que, aunque en muchas ocasiones puede ser muy difícil, nosotros como humanos debemos ser capaces de demostrar que siempre podemos levantarnos y alcanzar la felicidad.

Edgar D. Medina J.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis compañeros con quienes trabajamos juntos y nos ayudamos en todo momento. Agradezco a mi compañero de tesis Edgar Medina Jacome por realizar la tesis cada fin de semana, hasta el último día, sacrificando horas de sueño. A mi familia por creer y por apoyarme todo este tiempo, incluso en momentos donde más lo necesitaba. Este logro va para mis padres y hermanos, para marcar un precedente de que se puede ser un politécnico con mucho esfuerzo y dedicación.

Publio D. Saavedra C.

## DECLARACION EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Edgar Daniel Medina Jacome* y *Publio David Saavedra Coello*, damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



**Edgar Daniel Medina Jácome**



**Publio David Saavedra Coello**

# EVALUADORES

---

**MSc. Ing. Dennys Dick Cortez Alvarez**  
PROFESOR DE LA MATERIA



---

**MSc. Ing. Alexander Prieto León**  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto está propuesto con la intención de ser aplicado para iniciar una industria que, hasta la fecha en que este documento es redactado, en el Ecuador, no era considerada una necesidad, debido a que siempre existió la opción de importar.

La industria metalúrgica es un sector clave en la economía global que se dedica a la transformación y manipulación de metales para la fabricación de una amplia variedad de productos, desde piezas y componentes industriales hasta estructuras de gran envergadura. En los últimos años, la industria metalúrgica ha experimentado una transformación significativa gracias a los avances en la automatización. La automatización en la metalurgia se refiere a la implementación de sistemas y tecnologías avanzadas que permiten mejorar la eficiencia, la precisión y la productividad de los procesos metalúrgicos. [1]

La automatización ha revolucionado la forma en que se realizan tareas en la industria metalúrgica. Por ejemplo, en la fundición se utilizan robots y sistemas controlados por computadora para manejar la carga y descarga de materiales, controlar la temperatura y el flujo del metal, y monitorear en tiempo real el proceso de fundición. Esto ha permitido aumentar la velocidad de producción, reducir errores y defectos, y mejorar la seguridad laboral. Además de la fundición, la automatización también se ha aplicado en otras áreas de la industria metalúrgica, como el mecanizado, la soldadura y el ensamblaje. Los robots y las máquinas controladas por computadora pueden llevar a cabo tareas complejas y repetitivas con alta precisión y velocidad, lo que optimiza la producción y minimiza los costos. [2]

La automatización en la industria metalúrgica también ha impulsado la adopción de conceptos como la fabricación inteligente y la Industria 4.0. Estos enfoques integran sistemas de producción automatizados con tecnologías de información y comunicación, como el Internet de las cosas (IoT) y el análisis de datos, para lograr una mayor eficiencia, flexibilidad y personalización en los procesos metalúrgicos.

En resumen, la automatización ha revolucionado la industria metalúrgica al mejorar la eficiencia, la precisión y la productividad de los procesos. Mediante el uso de robots, sistemas controlados por computadora y tecnologías avanzadas, la automatización ha permitido a los fabricantes metalúrgicos alcanzar mayores niveles de calidad, reducir costos y competir en un mercado cada vez más exigente. [3]

## **ABSTRACT**

*The metallurgical industry is a key sector in the global economy that is dedicated to the transformation and manipulation of metals for the manufacturing of a wide range of products, from industrial parts and components to large-scale structures.*

*In recent years, the metallurgical industry has undergone significant transformation thanks to advances in automation. Automation in metallurgy refers to the implementation of advanced systems and technologies that improve the efficiency, precision, and productivity of metallurgical processes.*

*Automation has revolutionized the way tasks are carried out in the metallurgical industry. For example, in casting, robots and computer-controlled systems are used to handle the loading and unloading of materials, control the temperature and flow of metal, and monitor the casting process in real-time. This has led to increased production speed, reduced errors and defects, and improved workplace safety.*

*In addition to casting, automation has also been applied in other areas of the metallurgical industry, such as machining, welding, and assembly. Robots and computer-controlled machines can perform complex and repetitive tasks with high precision and speed, optimizing production and minimizing costs.*

*Automation in the metallurgical industry has also driven the adoption of concepts such as smart manufacturing and Industry 4.0. These approaches integrate automated production systems with information and communication technologies, such as the Internet of Things (IoT) and data analytics, to achieve greater efficiency, flexibility, and customization in metallurgical processes.*

*In summary, automation has revolutionized the metallurgical industry by improving the efficiency, precision, and productivity of processes. Using robots, computer-controlled systems, and advanced technologies, automation has allowed metallurgical manufacturers to achieve higher levels of quality, reduce costs, and compete in an increasingly demanding market.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	IX
ÍNDICE GENERAL .....	X
ABREVIATURAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XXI
CAPÍTULO 1 .....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Descripción del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Justificación del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Marco teórico .....</b>	<b>5</b>
CAPÍTULO 2 .....	20
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Fase de análisis de requerimientos .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 Fase de diseño y solución .....</b>	<b>31</b>
CAPÍTULO 3 .....	78
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>78</b>
<b>3.1 Resultados de la fundidora .....</b>	<b>78</b>
<b>3.2 Resultado de la programación para el control del proceso .....</b>	<b>89</b>
<b>3.3 Análisis de costos .....</b>	<b>108</b>

CAPÍTULO 4 .....	113
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	113
<b>4.1 Conclusiones</b> .....	113
<b>4.2 Recomendaciones</b> .....	114
BIBLIOGRAFÍA .....	115

## ABREVIATURAS

<b>HP</b>	Caballos de fuerza.
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable.
<b>HMI</b>	Intrefaz Humano-Maquina.
<b>CNC</b>	Control Numérico por Computadora.
<b>SCADA</b>	Supervicion de Control y Adquisición de Datos.
<b>AC/VAC</b>	Corriente/Voltaje Alterna.
<b>DC/VDC</b>	Corriente/Voltaje Directa.
<b>PWM</b>	Modulador de Ancho de Pulsos.
<b>E/S – I/O</b>	Entradas y Salidas.
<b>ADC</b>	Convertidor Analógico-Digital.
<b>SiO2</b>	Óxido de silicio.
<b>Kg</b>	Kilogramos.
<b>°C</b>	Grados Celsius.
<b>1Ø/3Ø</b>	Monofásico/Trifásico.
<b>Hz</b>	Hercios.
<b>cm/m</b>	Centímetros/Metros
<b>Ω</b>	Ohmios.
<b>A/mA</b>	Amperios/Miliamperios.
<b>LAD</b>	Lenguaje Ladder.
<b>FBD</b>	Lenguaje de Bloques de Funciones.
<b>ST</b>	Lenguaje de Instrucciones.
<b>LIL</b>	Lenguaje de Lista de Instrucciones.
<b>DI/DO</b>	Entradas/Salidas Digitales.

<b>AI/AO</b>	Entradas/Salidas Analógicas.
<b>HSC</b>	Contadores de Alta Velocidad.
<b>PTO</b>	Salida de Tren de Pulsos.
<b>KB/MB</b>	Kilobytes/Megabytes.
<b>IP#</b>	Grado de protección del equipo.
<b>Nm/lbft</b>	Torque (en Newton por metros/libras por pie).
<b>RPM</b>	Revolución Por Minuto.
<b>W/kW</b>	Watts/Kilowatts.
<b>Ø</b>	Diámetro.
<b>\$</b>	Dolares.
<b>Rly</b>	Relé.
<b>CM</b>	Modulos de Comunicación.
<b>AS-i</b>	Interfaz de Sensores y Actuadores.
<b>Mbits/seg</b>	Megabits por segundo.

## SIMBOLOGÍA



Motor.



Tamizado.



Pistón.



Celda de carga.



Trituradora.



Fundidora.



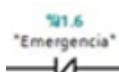
Puerta de chatarras.



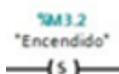
Caja molde.



Contacto normalmente abierto.



Contacto normalmente cerrado.



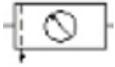
Salida en set.



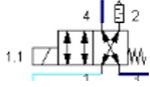
Salida en reset..



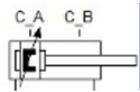
Fuente de aire comprimido.



Unidad de mantenimiento.



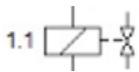
Válvula de 4 vías, 2 posiciones, con accionamiento electrónico y retorno por muelle.



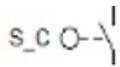
Piston hidráulico con sensor final de carrera.



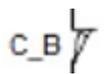
Conexión eléctrica +24 VDC.



Electroválvula.



Contacto con accionamiento por sensor final de carrera.



Contacto normalmente cerrado.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Diseño preliminar de horno de fundición con electrodos.....	8
Figura 2.1.1: Esquema de línea de producción.....	20
Figura 2.1.2: Secuencia de tamizado usando motor de 2 HP. ....	21
Figura 2.1.3: Secuencia de compactación de arena/arcilla mediante pistones. ....	22
Figura 2.1.4: Secuencia de modelación de arena/arcilla mediante pistones.....	23
Figura 2.1.5: Secuencia de limpieza de la pieza metálica usando motor de 2 HP. ...	23
Figura 2.1.6: Variables de sensores de final de carrera, pistones.....	24
Figura 2.1.7: Variables de peso obtenidas de las celdas de carga. ....	24
Figura 2.1.8: Secuencia del paso y pesaje de la chatarra hacia troceadora con motor de 10 HP. ....	25
Figura 2.1.9: Partes que conforman una fundidora por método de inducción. ....	26
Figura 2.1.10: Secuencia fundidora movida mediante un pistón cilíndrico.....	26
Figura 2.1.11: Vista superior y lateral de la caja molde.....	27
Figura 2.2.1.1: Medidas de la celda de carga Siwarex WL260 SP-S AA en milímetros. ....	32
Figura 2.2.1.2: Módulo electrónico de pesaje Siwarex WP231. ....	33
Figura 2.2.1.3: PLC Simatics S7-1200. ....	35
Figura 2.2.1.4: Servocontrol de posición Sinamics V90. ....	36
Figura 2.2.1.5: Variador de frecuencias Sinamics G120C.....	37
Figura 2.2.1.6: Parametrización del motor de 2 HP. ....	38
Figura 2.2.1.7: Parametrización del motor de 10 HP. ....	39
Figura 2.2.1.8: Fuente de alimentación SITOP PSU6200.....	39
Figura 2.2.1.9: Módulo de Poder PM240-2 FSC. ....	41
Figura 2.2.1.10: Servomotor Simotics S-1FL6. ....	43
Figura 2.2.1.11: Motor WEG NEMA MG-1 W22 143ST. ....	44
Figura 2.2.1.12: Motor WEG NEMA MG-1 W22 215T.....	45

Figura 2.2.1.13: Trituradora Wanrooe PNSS-1200. ....	46
Figura 2.2.1.14: Fundidora Jinlai JLZ-25.....	47
Figura 2.2.3.1: PLC Simatics S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC.....	53
Figura 2.2.3.2: Normalización y escalamiento del peso de la chatarra. ....	54
Figura 2.2.3.3: Accionamiento de la línea de producción.....	55
Figura 2.2.3.4: Accionamiento de los pistones de la etapa de compactación, modelación y fundidora. ....	56
Figura 2.2.3.5: HMI Siemens KTP700 Basic 7”.....	57
Figura 2.2.3.6: Pantalla principal del HMI de la planta. ....	58
Figura 2.2.3.7: Pantalla de monitoreo de los 4 motores. ....	58
Figura 2.2.3.8: HMI mostrando los pesos de la arcilla en el tamizado, y la chatarra en la etapa de chatarrización. ....	59
Figura 2.2.3.9: Variables que trabajan en el HMI de Pesaje. ....	59
Figura 2.2.3.10: Pantalla para monitoreo de los 3 pistones. ....	60
Figura 2.2.3.11: Sensor final de carrera tipo palanca Siemens 3SE5112. ....	61
Figura 2.2.3.12: Módulo de comunicación CP1542SP-1.....	62
Figura 2.2.3.13: Módulo de comunicación Scalance XB008. ....	63
Figura 2.2.5: Pseudocódigo del proceso de la planta fundidora para la elaboración de la estructura base de luminarias LED.....	65
Figura 2.2.6: Topología principal del proceso de la planta fundidora del diseño.....	66
Figura 2.2.7.1: Dimensiones, equipos y vista interior/exterior del primer panel eléctrico.....	68
Figura 2.2.7.2: Dimensiones, equipos y vista interior/exterior del segundo panel eléctrico.....	70
Figura 2.2.7.3: Dimensiones, equipos y vista interior/exterior del tercer panel eléctrico. .....	72
Figura 2.2.7.4: Pines de conexión del PLC S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC .....	72
Figura 2.2.7.5: Pines de alimentación del Scalance XB008 .....	73

Figura 2.2.7.6: Alimentación del ET200 SP (CP1542SP-1) .....	73
Figura 2.2.7.7: Conexiones del Sinamics V90 junto con el Servomotor S-1FL6 .....	74
Figura 2.2.7.8: Pines de conexión para el Sinamics G120C .....	74
Figura 2.2.7.9: Puertos de conexión SITOP PSU6200.....	75
Figura 2.2.7.10: Alimentación y conexiones del Power Module PM240-2.....	75
Figura 2.2.7.11: Pines de conexión de la celda de carga Siwarex WP231 .....	76
Figura 2.2.7.12: Conexiones y datos de placa del Motor WEG de 2 HP .....	76
Figura 2.2.7.13: Conexiones y datos de placa del Motor WEG de 10 HP .....	77
Figura 2.2.7.14: Alimentación del HMI KTP700 Basic.....	77
Figura 3.1.1: Simulación de la planta fundidora. ....	80
Figura 3.1.2: Pistones de compactación, modelación y fundidora de la planta en su estado inicial. ....	81
Figura 3.1.3: Encendido de la planta fundidora y funcionamiento de la etapa de tamizado.....	82
Figura 3.1.4: Accionamiento del pistón de compactación. ....	83
Figura 3.1.5: Pesaje de la chatarra mediante la celda de carga. ....	83
Figura 3.1.6: Apagado del motor de tamizado y accionamiento de la trituradora y fundidora. ....	84
Figura 3.1.7: Accionamiento del pistón de modelación. ....	85
Figura 3.1.8: Accionamiento de la etapa de modelación y calentamiento de la fundidora. ....	85
Figura 3.1.9: Movimiento de la caja molde en la línea de producción. ....	86
Figura 3.1.10: Activación de la etapa fundidora. ....	86
Figura 3.1.11: Activación del pistón de la fundidora. ....	87
Figura 3.1.12: Desactivación de la planta mediante paro de emergencia. ....	88
Figura 3.1.13: Apagado de la planta fundidora. ....	88
Figura 3.2.1: Algoritmo Ladder para el encendido del sistema y asignación de variables iniciales. ....	90

Figura 3.2.2.a: Antes de accionamiento de etapa de tamizado.....	91
Figura 3.2.2.b: Después de accionamiento de etapa de tamizado.....	92
Figura 3.2.2.c: Final de etapa de tamizado. ....	92
Figura 3.2.3.a: Antes de accionamiento de etapa de compactado.....	93
Figura 3.2.3.b: Después de accionamiento de etapa de compactado.....	93
Figura 3.2.3.c: Final de etapa de compactado. ....	94
Figura 3.2.4.a: Antes de accionamiento de etapa de modelado. ....	94
Figura 3.2.4.b: Después de accionamiento de etapa de modelado. ....	95
Figura 3.2.4.c: Final de etapa de modelado. ....	95
Figura 3.2.5.a: Etapa de troceado antes de accionamiento por sensor de final de carrera de tamizado. ....	96
Figura 3.2.5.b: Etapa de troceado después de accionamiento por sensor de final de carrera de tamizado. ....	96
Figura 3.2.5.c: Final de etapa de troceado.....	97
Figura 3.2.6.a: Etapa de vertido de aluminio líquido antes de accionamiento por sensor de final de carrera de lava. ....	98
Figura 3.2.6.b: Etapa de vertido de aluminio líquido después de accionamiento por sensor de final de carrera de lava. ....	98
Figura 3.2.6.c: Final de etapa de troceado.....	99
Figura 3.2.7.a: Etapa de vertido de aluminio líquido antes de accionamiento por sensor de final de carrera de lava. ....	100
Figura 3.2.7.b: Etapa de vertido de aluminio líquido después de accionamiento por sensor de final de carrera de lava. ....	100
Figura 3.2.8: Pantalla principal, diseño final.....	101
Figura 3.2.9: Pantalla pesaje, diseño final.....	102
Figura 3.2.10.a: Pantalla Motores, diseño final, etapa no iniciada. ....	103
Figura 3.2.10.b: Pantalla Motores, diseño final, etapa iniciada. ....	103
Figura 3.2.11.a: Pantalla Pistones, diseño final, inicio secuencia compactado.....	104

Figura 3.2.11.b: Pantalla Pistones, diseño final, fin secuencia compactado. ....	104
Figura 3.2.11.c: Pantalla Pistones, diseño final, inicio secuencia modelado.....	105
Figura 3.2.11.d: Pantalla Pistones, diseño final, fin secuencia modelado. ....	105
Figura 3.2.11.e: Pantalla Pistones, diseño final, inicio secuencia vertido.....	106
Figura 3.2.11.f: Pantalla Pistones, diseño final, fin secuencia vertido. ....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.1: Lista de equipos del mismo fabricante. ....	29
Tabla 2.1.2: Lista de equipos de diversos fabricantes. ....	30
Tabla 2.1.3: Lista de equipos eléctricos. ....	30
Tabla 2.2.1.1: Especificaciones de la celda de carga Siwarex WL260 SP-S. ....	33
Tabla 2.2.1.2: Especificaciones del módulo electrónico de pesaje Siwarex WP231. ....	34
Tabla 2.2.1.3: Especificaciones del PLC Simatics S7-1200. ....	35
Tabla 2.2.1.4: Especificaciones del servocontrol de posición Sinamics V90. ....	36
Tabla 2.2.1.5: Especificaciones del variador de frecuencias Sinamics G120C. ....	38
Tabla 2.2.1.6: Especificaciones del regulador de voltaje SITOP PSU6200. ....	40
Tabla 2.2.1.7: Especificaciones del Módulo de Poder PM240. ....	42
Tabla 2.2.1.8: Especificaciones del servomotor Simotics S-1FL6. ....	43
Tabla 2.2.1.9: Especificaciones del Motor WEG NEMA MG-1 W22 143ST. ....	44
Tabla 2.2.1.10: Especificaciones del Motor WEG NEMA MG-1 W22 215T. ....	45
Tabla 2.2.1.11: Especificaciones de la trituradora Wanrooe PNSS-1200. ....	47
Tabla 2.2.1.12: Especificaciones de la fundidora Jinlai JLZ-25. ....	48
Tabla 2.2.3.1: Especificaciones del PLC Simatics S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC. ....	53
Tabla 2.2.3.2: Especificaciones del HMI Siemens KTP700 Basic 7". ....	57
Tabla 2.2.3.3: Especificaciones para el sensor final de carrera Siemens 3SE5112. ....	61
Tabla 2.2.3.4: Especificaciones del termopar Sitrans TH400 tipo E. ....	62
Tabla 2.2.3.5: Especificaciones del módulo de comunicación Scalance XB008. ....	63
Tabla 2.2.4: Tabla de E/S de la programación en PLC S7-1200 CPU 1215C. ....	64
Tabla 3.1: Lista de precios del mismo fabricante. ....	109
Tabla 3.2: Lista de precios de diversos fabricantes. ....	110
Tabla 3.3: Lista de precios de los equipos eléctricos. ....	111

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La automatización de fundidoras es un proceso en el cual se emplean sistemas y tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia y la precisión de las operaciones de fundición industrial. La fundición es un proceso utilizado para dar forma a metales líquidos mediante la aplicación de calor y la utilización de moldes.

La automatización de fundidoras busca optimizar este proceso utilizando maquinaria controlada por computadora y sistemas robóticos para realizar tareas que anteriormente eran realizadas por operadores humanos. Esto no solo mejora la productividad, sino que también garantiza una mayor calidad y precisión en los productos finales. Algunas de las ventajas de la automatización de fundidoras incluyen una mayor velocidad de producción, una reducción de los errores y defectos, una mejora en la seguridad laboral, un mejor control del proceso y la capacidad de realizar tareas repetitivas de manera más eficiente. [1]

Los sistemas de automatización de fundidoras pueden incluir robots que manejan la carga y descarga de materiales, controladores de temperatura y flujo de metal, sistemas de monitoreo en tiempo real, sensores de calidad, entre otros. Estos sistemas pueden ser programados y supervisados por operadores humanos, lo que permite una mayor flexibilidad y control sobre el proceso de fundición.

En resumen, la automatización de fundidoras es un enfoque moderno que busca mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad en la industria de la fundición. Al utilizar tecnología avanzada, los fabricantes optimizan sus operaciones y obtienen resultados más consistentes y rentables en la producción de piezas y componentes de metal. [3]

## **1.1 Descripción del problema**

La industria para la manufactura de luminarias LED es un mercado que no se ha visto muy desarrollado en el Ecuador, generalmente, las empresas que se dedican a la instalación y diseño de iluminación importan luminarias agregando costos de importación al precio final de diseño.

Debido a estas instancias la empresa SERVACONSA se ha planteado desarrollar el diseño de una planta para la manufactura de luminarias LED en el Ecuador, con el objetivo de introducir esta industria al Ecuador y mejorar la competitividad en el área de iluminación LED.

La intención de establecer un sistema automatizado para la elaboración de luminarias es liderar el mercado al ofrecer productos que puedan ser fácilmente producidos en Ecuador.

## **1.2 Justificación del problema**

Utilizando conocimientos sobre tecnologías, adquiridos a lo largo de la carrera, se han determinado los equipos más apropiados, luego de haber sometido a evaluación varias opciones y fabricantes.

La propuesta planteada está pensada para ser aplicada a una planta de producción desde la etapa de diseño, sabiendo esto, se procuró dar prioridad al ámbito económico durante el diseño del sistema automatizado completo. La primera etapa del diseño se encargará de automatizar el procesamiento de la materia prima (aluminio) previamente tratada para reducir su tamaño y facilitar el proceso de fundición.

Posteriormente, se procederá a utilizar electrodos que se encarguen del proceso mencionado a una temperatura aproximada de 670 °C, con el objetivo de dar forma a las bases de las luminarias, las cuales van a tener diferente tamaño, y cada base consta de 3 piezas diferentes.

Los moldes a utilizar se someterán a un proceso de prensado en arena o arcilla, debido a su capacidad para soportar el proceso a la temperatura mencionada, considerando minimizar pérdidas de materia prima y emisiones de gases de efecto invernadero. Con esto en mente, se procederá a automatizar en adición el mecanismo de transporte de los moldes a lo largo de esta primera etapa utilizando sensores de final de carrera que inicie cada proceso en la elaboración de dichos moldes y su posterior relleno con el material fundido. Para el control de los dispositivos, se utilizará un PLC que enviará las órdenes a los actuadores con base a la información adquirida de los sensores industriales. Y luego, utilizaremos un CNC para el fresado mediante un modelo 3D a desarrollar. Esta etapa será monitoreada mediante un sistema SCADA, el cual permite ampliar a medio o largo plazo el proceso de automatización de la planta.

Finalmente, la línea de producción pasará por una etapa de enfriamiento lento, de manera que las piezas resultantes puedan ser removidas o almacenadas para sus futuros procesos mecánicos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar el sistema de automatización de una planta fundidora para la elaboración de la estructura base de luminarias LED para su uso en locales comerciales y en la industria empleando equipamiento e instrumentación industrial.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Comparar las plantas fundidoras existentes y sus sistemas automatizados para determinar el más apropiado que se ajuste a los requerimientos del cliente.
- Seleccionar la instrumentación y equipamiento adecuado para la automatización del sistema en la planta.
- Diseñar las conexiones eléctricas y la comunicación en red del sistema.
- Implementar la configuración y programación del controlador para lograr una producción efectiva.
- Establecer las interfaces con los operadores requeridas para el manejo y monitoreo del sistema.
- Validar las implementaciones realizadas mediante simulación o pruebas parciales reales.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Industria metalúrgica**

La metalurgia es la técnica de tratamiento y obtención de metales desde los minerales metálicos a partir de la minería, y aprovechando la tecnología tanto física como química, se adquiere metales y aleaciones con las propiedades requeridas, con el fin de elaborar productos (como herramientas, maquinaria industrial, agrícola, postes, varillas, monedas, pilas, repuestos, motores...), reciclado de materiales, y laminación. La industria consta de dos tipos: La metalurgia química, que se encarga de reducir la oxidación y escoria de los metales para que estén puros. Esto se puede lograr mediante el procesamiento de minerales, su extracción, termodinámica, electroquímica, y corrosión (consiste en la degradación química del metal). En cambio, la metalurgia física se enfoca en las propiedades mecánicas y físicas de los metales, así también como su rendimiento físico. Lo que incluye cristalografía, transformaciones de fase, y mecanismos de fallo.

Anteriormente, la industria metalúrgica se ha enfocado en producir metales mediante el proceso de minerales extraídos para procesar el metal o realizar aleaciones.

Las aleaciones son mezclas de dos o más elementos metálicos diferentes, o incluso se añaden elementos no metálicos para adquirir propiedades adecuadas para una aplicación en específico.

Los metales más comunes usados son el aluminio, cobre, cromo, hierro, magnesio, níquel, titanio, zinc, y silicio, además que estos metales (excepto el silicio) son muy usados como aleaciones. El acero al carbono se utiliza en aplicaciones de bajo costo por su alta resistencia, bajo peso y baja susceptibilidad a la corrosión.

Las aleaciones de aluminio y aleaciones de magnesio se utilizan en aplicaciones automotrices y aeroespaciales por su peso ligero y resistencia. Las aleaciones de cobre-níquel son eficientes en entornos corrosivos y aplicaciones no magnéticas.

También existen superaleaciones basadas en el níquel para turbinas de gas, turbocompresores, recipientes a presión e intercambiadores de calor, los cuales manejan altas temperaturas. Para la electrónica moderna, el silicio de alta pureza es comúnmente usado para transistores y circuitos integrados. [4]

#### **1.4.2 Ventajas y Desventajas**

##### Ventajas

- Reducir costos por importación y tiempo de espera.
- Optimizar costos de producción mediante un sistema automatizado.
- Aprovecha los recursos minerales.
- Incursionar en el mercado de elaboración de luminarias led en el Ecuador.
- Implementación de un sistema SCADA para monitorear todos los procesos de la planta en cada etapa.

##### Desventajas:

- La inversión inicial podrá ser recuperada a largo plazo.
- Requiere amplio espacio físico para cubrir todas las etapas.
- Inversión en sofisticadas y fuertes medidas de seguridad.
- Mantenimientos periódicos debido a las altas temperaturas del proceso de fundición.

### **1.4.3 Elementos mecánicos utilizados**

- Motores para transporte de piezas resultantes.
- Troceadora de aluminio.
- Pistones hidráulicos.
- Línea de producción con placas de acero.
- Tolvas de pesaje.

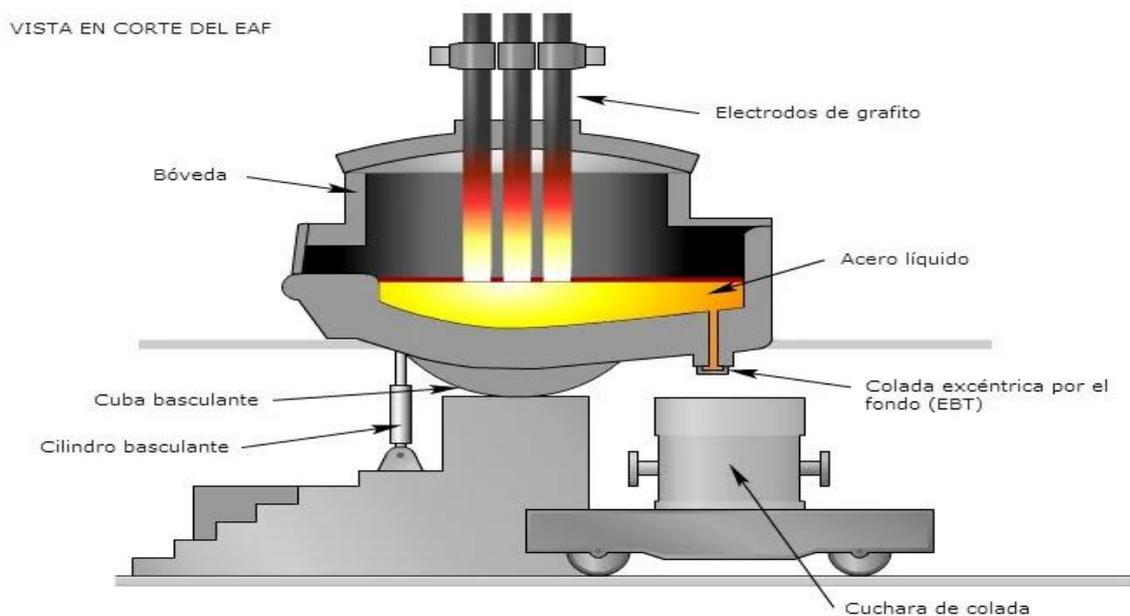
#### **1.4.3.1 Fundidora**

Considerando la posibilidad de implementar un método similar a la fundición de acero para adaptarlo a las propiedades del aluminio, se utiliza dos electrodos para inducir corrientes parásitas al metal en cuestión, esto provocará el aumento de temperatura hasta alcanzar su punto de fusión, por lo que, al encontrarse en estado líquido, procederá a verterse en el molde de arena que se encuentre en ese momento en espera.

Otra opción de transporte se considera un control de la línea de fundido, donde se vierte la lava incandescente directamente en la banda móvil laminar. Esta se encarga de enviar el material para dar forma a las varillas, utilizando procesos en caliente y en frío.

De acuerdo con la investigación sobre otras plantas de fundición existentes, los procesos que estas ejecutan son especializados para materiales de construcción. Por ejemplo, ADELCA es una industria dedicada a la fundición de acero para la elaboración de varillas orientadas a la construcción.

Por lo tanto, luego del proceso de fundición, este material (acero) no es colocado en moldes, sino que recibe dos tipos de tratamiento para dar forma a dichas varillas, un proceso es en caliente (compactación) y el otro proceso es en frío, esto se refiere a que la temperatura del material ya no se encuentra cerca del punto de fusión, sin embargo, conserva la temperatura suficiente para atravesar anillos de modelación para estirar y dar forma al producto final. Este último proceso ocurre tantas veces como sea necesario hasta alcanzar el diámetro requerido para las diferentes aplicaciones en el área de la construcción.



**Figura 1.1: Diseño preliminar de horno de fundición con electrodos.**

### **1.4.3.2 Transporte en línea de producción**

Debido al manejo de materiales a altas temperaturas, el método de transporte será a través de cadenas sobre placas de acero, de esta manera cada uno de los moldes de arena o arcilla se encontrarán enlazados unos a otros para movilizar todos los moldes a la vez a la posición donde se realizará el siguiente proceso. [5]

Una opción alterna es considerar el uso de sistemas SCADA, donde se pueden controlar 4 etapas, cambiando los rodillos por placas metálicas, y un motor transportará los moldes linealmente deslizando entre estas etapas:

- Surtidor de chatarra.
- Compactación de moldes.
- Fundición.
- Transporte.

### **1.4.4 Automatización y control de procesos industriales**

La automatización y el control de procesos se refieren a la aplicación de tecnologías y sistemas para supervisar y regular de manera automática las operaciones en diversos procesos industriales. Estos procesos pueden ser tanto físicos como químicos, y abarcan una amplia gama de industrias, como la manufactura, la energía, la química y la alimentaria. La automatización se centra en el uso de sistemas y dispositivos automatizados, como sensores, actuadores, controladores y software, para llevar a cabo tareas de manera autónoma y precisa, sin intervención humana directa. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, la calidad, la seguridad y la productividad de los procesos industriales.

El control de procesos se relaciona con la supervisión y regulación de variables y parámetros clave en un proceso industrial, como la temperatura, la presión, el flujo, la velocidad y la calidad. Los sistemas de control se encargan de monitorear continuamente estas variables mediante sensores, y utilizan algoritmos y lógica para ajustar y regular automáticamente los dispositivos de actuación, como válvulas, motores o sistemas de calefacción, con el fin de mantener el proceso dentro de los límites deseados y optimizados.

En conjunto, la automatización y el control de procesos permiten lograr una serie de beneficios, como la reducción de costos de producción, la mejora en la calidad y consistencia de los productos, la optimización de la utilización de recursos, la minimización de los errores humanos, la seguridad laboral y la capacidad de adaptación y flexibilidad en entornos cambiantes. [2]

#### **1.4.4.1 Principios de automatización**

Los principios de la automatización se basan en un conjunto de conceptos y directrices que orientan el diseño e implementación de sistemas automatizados:

- **Objetivo:** La automatización debe tener un propósito claro y definido. Se deben establecer metas y objetivos específicos que se deseen lograr a través de la automatización, como mejorar la eficiencia, reducir costos o aumentar la calidad.
- **Simplicidad:** Los sistemas automatizados deben ser diseñados de manera simple y comprensible. La complejidad excesiva puede dificultar la operación y el mantenimiento, por lo que se debe buscar la simplicidad en la interfaz y en los procesos automatizados.
- **Flexibilidad:** La automatización debe ser flexible y adaptable a cambios y variaciones en los procesos y requerimientos. Debe ser capaz de ajustarse y configurarse fácilmente para hacer frente a nuevas necesidades y situaciones.
- **Fiabilidad:** Los sistemas automatizados deben ser confiables y funcionar de manera consistente y predecible. Se deben implementar medidas para prevenir y resolver fallas, así como para garantizar la disponibilidad continua del sistema.
- **Seguridad:** La seguridad es un principio fundamental en la automatización. Se deben considerar y cumplir normas y estándares de seguridad para proteger a los operadores, el equipo y el entorno de trabajo. También se deben implementar medidas de seguridad en caso de emergencias.

- Integración: Los sistemas automatizados deben ser capaces de integrarse con otros sistemas y dispositivos, como equipos de control, sensores y software de gestión. La interoperabilidad y la comunicación fluida entre diferentes componentes son esenciales para una automatización efectiva.
- Monitoreo y retroalimentación: Los sistemas automatizados deben contar con mecanismos de monitoreo y retroalimentación. Se deben utilizar sensores y sistemas de control para supervisar el desempeño y recopilar datos, permitiendo la toma de decisiones informadas y la optimización continua del proceso automatizado.

#### **1.4.4.2 Variables para considerar en un proceso industrial**

La fundición es un proceso de manufactura en el que se derrite un metal y se vierte en un molde para crear una pieza o componente deseado. Durante este proceso, hay varias variables clave que deben considerarse, especialmente el peso para la dosificación y la temperatura.

La dosificación precisa es fundamental en el proceso de fundición, ya que garantiza la calidad y las características deseadas de la pieza final. El peso es una variable crítica que determina la cantidad exacta de metal necesaria para cada fundición. Para lograr una dosificación precisa, se utilizan sistemas de pesaje y medición de última generación. Estos sistemas emplean tecnologías como células de carga y balanzas de alta precisión para determinar con exactitud el peso requerido.

Además del peso, la temperatura es una variable crucial en la fundición. La temperatura adecuada del metal líquido es esencial para lograr una buena fluidez, asegurar el llenado completo del molde y evitar defectos en la pieza final.

En el proceso de fundición, se emplean hornos y sistemas de calentamiento controlados por computadora para alcanzar y mantener la temperatura óptima del metal fundido. Los termopares y otros sensores de temperatura se utilizan para monitorear constantemente la temperatura y realizar ajustes según sea necesario. [5]

El control preciso de estas variables, peso y temperatura son esenciales para obtener fundiciones de alta calidad. Los avances en tecnología de automatización han permitido la implementación de sistemas de control avanzados en los procesos de fundición. Estos sistemas incluyen controladores programables y software especializado que permiten regular y ajustar automáticamente la dosificación del metal y mantener la temperatura óptima a lo largo del proceso de fundición.

La combinación de un sistema de dosificación precisa basado en peso y un control de temperatura preciso y automatizado ha revolucionado la industria de la fundición. Esto ha mejorado la eficiencia, reducir los desperdicios y defectos, y garantizado una mayor consistencia en la calidad de las piezas fundidas. [6]

#### **1.4.4.3 Selección de equipos para la automatización de procesos industriales**

La selección de los equipos necesarios para un proceso de automatización requiere de un enfoque cuidadoso y sistemático. Aquí hay algunos pasos clave que pueden ayudarte en el proceso de selección:

- Definir los objetivos y requisitos del proceso de automatización: Antes de seleccionar equipos, es importante tener una comprensión clara de los objetivos que deseas lograr con la automatización. Define los requisitos específicos del proceso, como el rendimiento esperado, las capacidades de control requeridas y cualquier restricción técnica o presupuestaria.
- Realizar un análisis detallado del proceso actual: Examina en detalle el proceso que deseas automatizar. Identifica las actividades clave, los puntos críticos y los cuellos de botella. Analiza los requerimientos de entrada y salida, las variables de control y cualquier consideración especial relacionada con el entorno de trabajo.
- Investigar y evaluar las opciones disponibles: Investiga las diferentes opciones de equipos y tecnologías disponibles en el mercado que se ajusten a tus requisitos. Consulta a proveedores, realiza investigaciones en línea y busca referencias de usuarios en situaciones similares. Evalúa las características, capacidades y compatibilidad de los equipos con tu proceso específico.
- Considerar la escalabilidad y la flexibilidad: Evalúa si los equipos seleccionados pueden adaptarse y escalar para futuras necesidades. Es importante tener en cuenta la capacidad de los equipos para manejar incrementos en la producción, cambios en los requisitos del proceso y nuevas tecnologías emergentes. La flexibilidad del sistema automatizado servirá para su adaptabilidad a largo plazo.

- Evaluar la integración con otros sistemas: Si tienes otros sistemas existentes en tu planta o proceso, considera la capacidad de los equipos de automatización para integrarse con ellos. La interoperabilidad y la comunicación fluida entre diferentes componentes y sistemas son primordiales para un sistema de automatización efectivo y eficiente.
- Realizar pruebas y demostraciones: Si es posible, solicitar pruebas o demostraciones de los equipos que estás considerando. Esto permitirá evaluar su rendimiento en condiciones reales y verificar si cumplen con tus expectativas. Además, puedes aprovechar este proceso para obtener retroalimentación de los usuarios finales y expertos en la materia.
- Considerar el soporte técnico y el servicio posventa: Asegúrate de seleccionar equipos de proveedores confiables que ofrezcan un buen soporte técnico y servicio posventa. Esto es crucial para resolver problemas técnicos, recibir actualizaciones de software y garantizar la disponibilidad continua del sistema de automatización.

#### **1.4.4.3.1 Sensores industriales**

- Celdas de carga: Es un dispositivo utilizado para medir fuerzas o cargas aplicadas a través de sensores de peso. El cambio en la resistencia se convierte en una señal eléctrica proporcional a la carga aplicada, que puede ser interpretada y utilizada para determinar la fuerza o el peso.
- Sensor final de carrera: Es un dispositivo utilizado para detectar la posición final o límite de un objeto o componente en un sistema mecánico o automatizado. Su función principal es proporcionar una señal eléctrica o de otro tipo cuando el objeto alcanza una posición específica predeterminada. Esta señal puede utilizarse para detener, iniciar o cambiar el funcionamiento de otros componentes o para activar un mecanismo de seguridad.
- Convertidor de frecuencia: Es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad y el funcionamiento de motores eléctricos de corriente alterna (AC). También se conoce como variador de frecuencia, variador de velocidad o inversor de frecuencia. Proporcionan un control preciso de la velocidad del motor, lo que permite una mayor eficiencia energética, un arranque suave, un control de par preciso y una capacidad de frenado regenerativo.

#### 1.4.4.3.2 Actuadores industriales

- Servomotor: Es un dispositivo electromecánico utilizado para controlar la posición, velocidad y aceleración de un mecanismo o sistema. Se controla mediante un microcontrolador o un controlador de servomotores. Estas señales de control permiten ajustar la velocidad y la posición del servomotor según las necesidades del sistema.
- Driver regulador de potencia: Es un dispositivo utilizado para controlar la cantidad de potencia suministrada a un dispositivo o carga eléctrica. Puede operar en corriente continua (DC) o corriente alterna (AC), dependiendo de las características del sistema y de la carga.

El driver regulador de potencia puede utilizar diferentes técnicas de control, como modulación de ancho de pulso (PWM, Pulse Width Modulation) o control de frecuencia, para regular la potencia de salida de acuerdo con las señales de control proporcionadas.

- Pistones hidráulicos: Son componentes mecánicos que generan movimiento lineal o fuerza a través de fluidos incompresibles (como aceite, líquido hidráulico, o aire comprimido). Son utilizados en aplicaciones industriales y maquinarias donde requiere transmisión de fuerza y movimiento de forma controlada y eficiente. Consta de un cilindro en el que se encuentra un émbolo o pistón móvil.

Un pistón hidráulico consta de un cilindro en el que se encuentra un émbolo o pistón móvil. Cuando se aplica presión al fluido hidráulico en un extremo del cilindro, ejerce una fuerza sobre el pistón, lo que a su vez genera movimiento.

#### **1.4.4.3.3 Controladores (PLC)**

- **PLC:** Un PLC (Programmable Logic Controller) o controlador lógico programable, es un dispositivo electrónico utilizado en automatización industrial para controlar y supervisar maquinaria y procesos. Se utiliza para controlar secuencias lógicas, realizar operaciones lógicas y matemáticas, y comunicarse con otros dispositivos dentro de un sistema. Además de la CPU, un PLC típico también incluye módulos de entrada y salida (E/S) que se conectan a sensores y actuadores para recibir y enviar señales eléctricas o digitales.
- **Módulos de pesaje:** Es un dispositivo utilizado en sistemas de pesaje para adquirir y procesar la señal proveniente de celdas de carga o sensores de peso. Estos módulos son parte de los sistemas de pesaje industrial y se utilizan para medir y controlar de manera precisa la carga o el peso de objetos.
- **Se conecta a las celdas de carga o sensores de peso y proporciona interfaces y funciones específicas para adquirir y procesar la señal de peso.** Estos módulos están diseñados para ofrecer una alta precisión y estabilidad en la medición de peso, incluso en condiciones ambientales adversas.
- **Control de velocidad por frecuencia:** Es un dispositivo utilizado en sistemas de accionamiento de motores eléctricos para controlar y regular la velocidad de rotación del motor mediante la variación de la frecuencia suministrada.
- **Se utiliza en aplicaciones donde se requiere un control preciso y flexible de la velocidad del motor,** como en maquinaria industrial, sistemas de transporte, sistemas de bombeo y ventilación, entre otros.

- **Módulo de entradas analógicas:** Es un dispositivo utilizado en sistemas de adquisición de datos para recibir y convertir señales analógicas en valores digitales que puedan ser procesados por un sistema de control o una computadora. Estos módulos permiten la medición de magnitudes continuas, como voltajes o corrientes, provenientes de sensores o transductores.

La conversión analógica a digital se realiza mediante un convertidor analógico-digital (ADC) integrado en el módulo. El ADC toma muestras de la señal analógica a intervalos regulares y asigna valores digitales a esas muestras, representando así la amplitud de la señal en un formato digital. El resultado es una serie de valores digitales que se pueden utilizar para análisis, control o visualización.

- **HMI (Interfaz humano-máquina):** HMI (Human-Machine Interface) o Interfaz Hombre-Máquina, es un sistema que proporciona una interfaz gráfica o visual que permite la interacción entre los seres humanos y las máquinas o sistemas automatizados. Su objetivo principal es facilitar la comunicación y el control de los sistemas por parte de los operadores o usuarios. El HMI permite al operador o usuario monitorear y controlar el sistema de manera intuitiva y eficiente.

Puede mostrar información en tiempo real, como el estado de los sensores, actuadores y otros dispositivos conectados, y permitir al usuario realizar acciones, como iniciar o detener procesos, ajustar parámetros, configurar alarmas y visualizar registros o historiales de datos. El HMI puede ofrecer la capacidad de generar informes, realizar análisis y visualizaciones de datos, proporcionar sistemas de seguridad y autenticación de usuarios, y permitir la comunicación con otros sistemas o dispositivos a través de redes o protocolos de comunicación.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

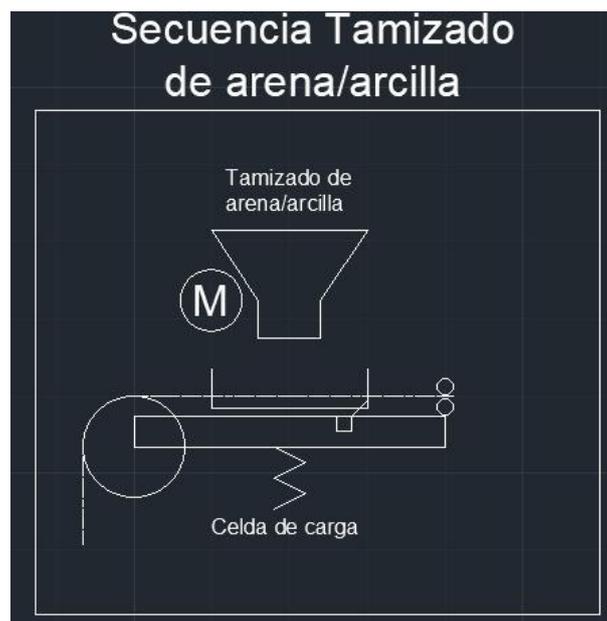
Haciendo énfasis en la automatización de la planta, se considerará inicialmente el diseño, del proceso de fundición y moldeo del aluminio, donde las bandejas serán transportadas por cadenas con la ayuda de un motor, el cual será accionado conforme sea requerido para trasladar cada bandeja luego de pasar por cada etapa.



Figura 2.1.1: Esquema de línea de producción.

En cada etapa mencionada se encontrará ubicado un sensor de final de carrera que detecte la presencia de una caja donde se procederá a generar el molde para la futura fundición, estos sensores de final de carrera serán nuestras primeras señales a recibir en cada etapa, esto emitirá las salidas que, vía OPC server ejecutarán una secuencia en FluidSIM. Además, al terminar cada secuencia de los pistones, se recibirán tres nuevas entradas digitales que me indicarán el final de cada secuencia respectivamente.

La arena fina es un material ampliamente utilizado en el proceso de fundición, específicamente en el método de fundición conocido como moldeo en arena. Este tipo de arena, también llamada arena de moldeo se compone de partículas finas de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y se utiliza para crear moldes en los que se vierte el metal fundido. Por este motivo se establece una variable de entrada analógica que va a medir el peso de arena/arcilla a utilizar en cada molde, valor que puede ser establecido de acuerdo con las necesidades del molde a crear. El uso de arena fina en la fundición ofrece varias ventajas. En primer lugar, su finura permite obtener detalles precisos y una superficie de acabado suave en las piezas fundidas. Además, la arena fina facilita el proceso de compactación y el desmoldeo del molde, lo que ayuda a mantener la integridad de la forma y facilita la extracción de la pieza fundida. [6]



**Figura 2.1.2: Secuencia de tamizado usando motor de 2 HP.**

En esta primera etapa se puede observar como la caja previamente mencionada ha accionado el primer sensor de final de carrera, esto indicará que la línea de producción deberá detenerse, el motor para el tamizado será accionado y que la etapa de chatarrización también iniciará de manera simultánea a las siguientes etapas.

Mientras la arena caiga en la caja, el peso medido por las celdas de carga incrementará hasta alcanzar el valor deseado que será ingresado inicialmente por pantalla. Una vez alcanzado este valor, el motor se detendrá y la línea de producción volverá a ponerse en marcha.



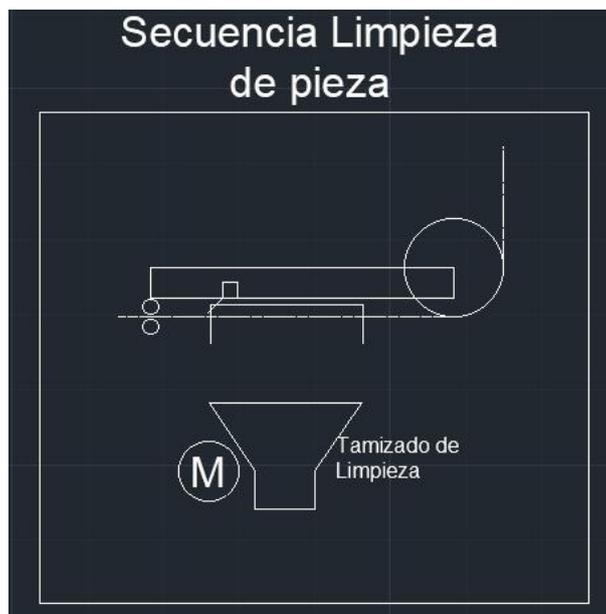
**Figura 2.1.3: Secuencia de compactación de arena/arcilla mediante pistones.**

Esta segunda etapa muestra el inicio de la secuencia de compactación por parte del pistón, esta secuencia será activada al momento de detectar la presencia de la caja gracias al segundo sensor de final de carrera, lo que implica que la línea de producción nuevamente se deberá de detener hasta que la secuencia del pistón de compactación culmine.



**Figura 2.1.4: Secuencia de modelación de arena/arcilla mediante pistones.**

La tercera etapa, similar a la segunda, iniciará secuencia de pistón al activarse el tercer sensor de final de carrera luego de que se detenga la línea de producción, nuevamente, cuando culmine la secuencia, el motor de 10 HP que moviliza la línea de producción, volverá a ponerse en marcha.



**Figura 2.1.5: Secuencia de limpieza de la pieza metálica usando motor de 2 HP.**

Esta secuencia de limpieza ocurre en la parte inferior de la línea de producción, aunque existe la posibilidad de que por gravedad la pieza resultante caiga de su molde, el sensor de final de carrera correspondiente a esta etapa encenderá otro motor de tamizado para ayudar a la pieza a salir de su molde.

En caso de que la pieza caiga por un costado mientras el molde esté descendiendo, también existirá una barrera que impida que salga de la línea de producción y que de todas formas sea posicionada en la parrilla inferior, esta parrilla servirá para rociar agua en dirección de la pieza para remover cualquier rastro de arena/arcilla y reducir su temperatura para la manipulación posterior.

1		Sensor_Tamizado	Default tag table	Bool	%I0.0
2		Sensor_Compact	Default tag table	Bool	%I0.1
3		Sensor_Molde	Default tag table	Bool	%I0.2
4		Sensor_Lava	Default tag table	Bool	%I0.3
5		Sensor_Limpieza	Default tag table	Bool	%I0.4
6		Fin_Compact	Default tag table	Bool	%I0.5
7		Fin_Molde	Default tag table	Bool	%I0.6
8		Fin_Lava	Default tag table	Bool	%I0.7
14		Piston_Compact	Default tag table	Bool	%Q0.0
15		Piston_Molde	Default tag table	Bool	%Q0.1
16		Piston_Lava	Default tag table	Bool	%Q0.2

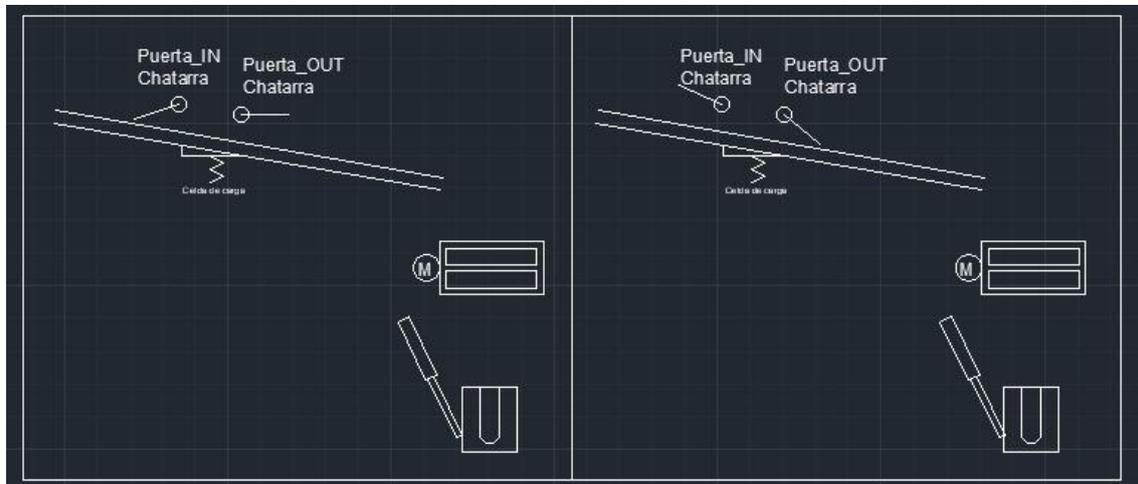
**Figura 2.1.6: Variables de sensores de final de carrera, pistones.**

Se adjuntan las variables a ser consideradas para el sistema de pesaje en las dos etapas correspondientes para pesar la cantidad de arena fina y aluminio necesarios, se utilizará un juego de cuatro celdas de carga distribuidas uniformemente para comparar el peso medido con el valor ingresado por pantalla el cual servirá de parámetro o referencia para la elaboración tanto de molde como la pieza resultante.

12		Peso_raw_Chatarra	Default tag table	Int	%IW64
13		Peso_raw_Tamizado	Default tag table	Int	%IW66

**Figura 2.1.7: Variables de peso obtenidas de las celdas de carga.**

Como se mencionó durante la explicación de la primera etapa, con el sensor de final de carrera en cuestión se dará paso al inicio de la etapa de chatarrización, esto ocurre alternando los estados de abierto y cerrado de las dos compuertas mostradas en el plano, al momento del accionamiento del sensor, la puerta de entrada se abre y la de salida se cierra, esto permitirá que la chatarra/aluminio caiga por gravedad, gracias a la inclinación de la plataforma de aproximadamente  $\frac{\pi}{12}$  rad, para lo cual al momento de hacer la medición, se considera este valor como un factor de conversión para obtener una medición más precisa.



**Figura 2.1.8: Secuencia del paso y pesaje de la chatarra hacia troceadora con motor de 10 HP.**

Posteriormente este material pesado procederá a su fundición haciendo uso de una fundidora de inducción.

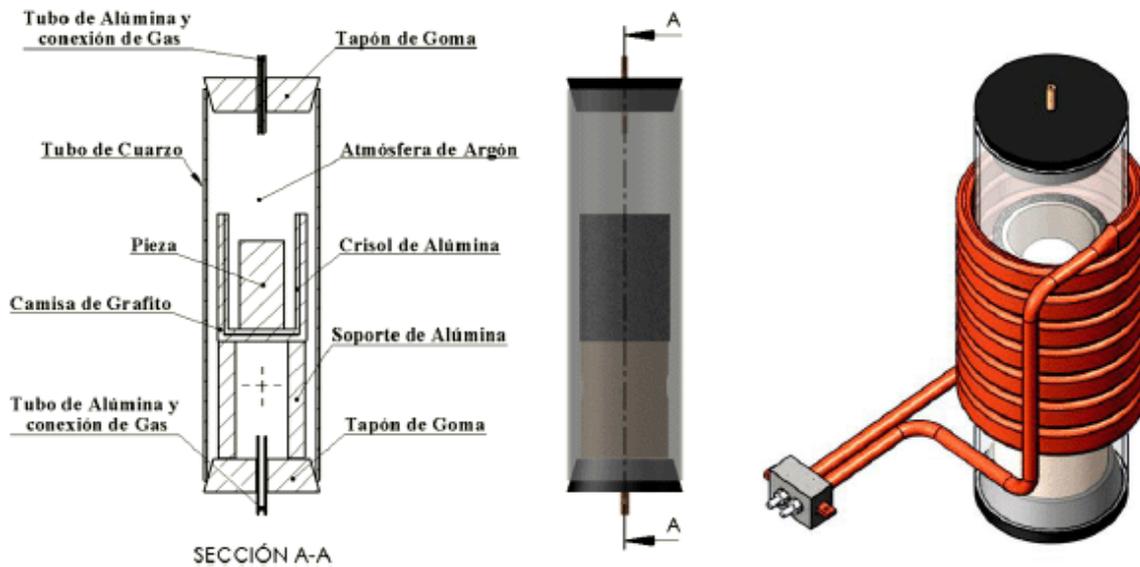


Figura 2.1.9: Partes que conforman una fundidora por método de inducción.

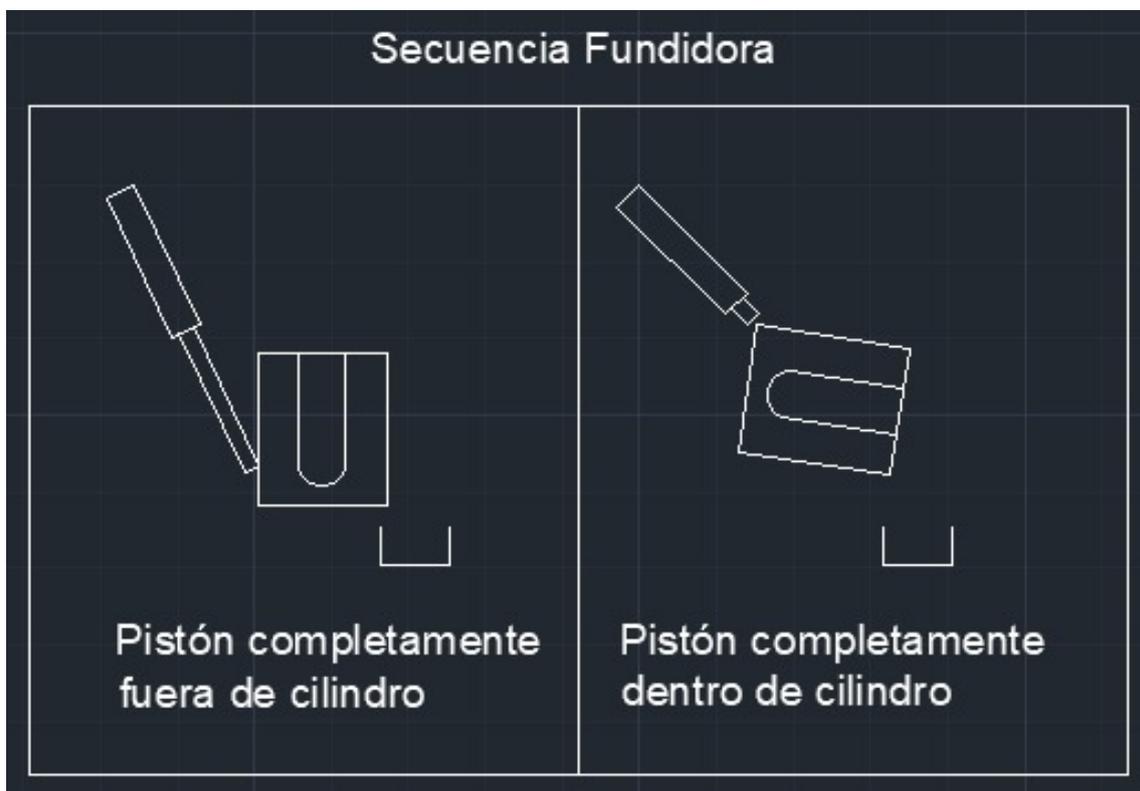


Figura 2.1.10: Secuencia fundidora movida mediante un pistón cilíndrico.

La secuencia de fundición mostrada en la imagen inicia al momento de culminado el temporizador, tiempo en el que el aluminio ha alcanzado su punto de fusión y podrá ser vertido gracias al pistón que hará rotar la fundidora sobre un eje apropiado con el objetivo de que todo el material caiga en el molde.



**Figura 2.1.11: Vista superior y lateral de la caja molde.**

En resumen, se verterá arena fina en la bandeja hasta alcanzar un peso establecido por software, aproximadamente de 10 a 12 Kg, lo que provocará el accionamiento del motor para avanzar a la siguiente fase que será la compactación de la arena, para esto, se utilizará un sensor de final de carrera para accionar el pistón que procederá a realizar la compactación de la arena. Posteriormente, se compactará nuevamente la arena con el accionamiento de otro sensor de final de carrera para dar forma al molde y finalmente verter el aluminio incandescente. Al finalizar, la pieza en molde pasará por un proceso de enfriamiento lento para evitar el cambio brusco de temperatura, lo cual conlleva a fisuras o fracturas de la pieza. Una vez que se encuentre a una temperatura cercana a la temperatura ambiente, se retirará del molde y se limpiará el excedente de arena en la pieza. [5]

## **2.1 Fase de análisis de requerimientos**

Teniendo conocimiento de la extensión del proyecto y la necesidad de cooperación multidisciplinaria, sin mencionar que la planta no existe físicamente por el momento, se optó por limitar esta primera etapa únicamente al troceado de la materia prima para su posterior fundición y almacenamiento.

### **2.1.1 Recopilación de información y requerimientos**

- **Espacio:** El área de trabajo del proyecto se le otorgará un ala de la planta industrial brindada por la empresa para aprovechar el máximo del espacio posible, con el fin de que este proyecto se pueda expandir o mejorar a largo plazo.
- **Alimentación:** La alimentación de toda la línea de producción se basa en los niveles de voltaje de la empresa SERVACONSA, el cual utiliza voltajes de red de 110 VAC/ 220 VAC, 220 VAC /440 VAC para las maquinarias grandes, y 24 VDC para los controladores, sensores y servomotores.
- **Operadores:** Se busca optimizar el número de operadores partiendo de que el proyecto será lo más automatizado posible. Para este proyecto se prevé contar con dos operarios, uno que manipule las piezas recién moldeadas en la planta, mientras otro supervisa los sensores y monitores HMI.
- **Cantidad de material chatarra:** Para realizar las luminarias LED se necesitará cantidades enormes de chatarra para que la producción sea continua y con mayor volumen, basado en la demanda de las empresas por el producto final.
- **Temperaturas de operación:** Para la etapa de fundición de la chatarra, se manejarán temperaturas cercanas a 700 °C. Por lo que la caldera a utilizar debe tener una resistencia de 1000 °C para la continuidad del uso de toda la planta. [7]

### 2.1.1.1 Lista de equipos de la misma línea

Dispositivo	Cantidad
Motor AC on-off WEG (00236EG3E145T-W22): 230 V/460 V, 2 HP, 60 Hz, 2 polos, 3Ø	2
Motor AC on-off WEG (01018ET3E215TF3-W22): 230 V/460 V, 10 HP, 60 Hz, 4 polos, 3Ø	1
Maquina trituradora de metales Wanrooe PNSS-1200 con cuchillas tipo gancho D2 de doble eje: 380 V, 10 HP, 50/60 Hz, 4 polos, 3Ø	1
Módulos de pesaje SIWAREX WP231 (7MH4960-2AA01)	3
Celdas de carga SIWAREX WL260 SP-S AA Clase 3	8
Servomotores SIMOTICS S-1FL6 (1FL6042-2AF21-1AA1)	2
Sensores finales de carrera tipo palanca SIEMENS 3SE5112	5
Pistón cilindro ISO 15552 Serie CF056	3
HMI SIEMENS KTP700 Basic 7" (6AV2123-2GB03-0AX0)	3
Cable industrial SIEMENS Ethernet TP Cord RJ45 (6XV1850-2GH20) X 10 m	100
Variador de frecuencias SINAMICS G120C (6SL3261-6GC00-0BA0)	4
Fuente de alimentación SITOP PSU6200 (6EP3333-7SB00-0AX0)	6
Servocontrol de posición Sinamics V90 (6SL3210-5FE10-4UA0)	2
Módulo de poder PM240 FSC (6SL3210-1PE22-7UL0)	4
PLC Simatics S7-1200 (CPU 1215C DC/DC/DC - 6ES7215-1AG40-0XB0)	1
Módulo de E/S digitales SM1223 8 DI, 8DO, 24 VDC (6ES7221-1BH32-0XB0)	1
Módulo de entrada analógica SM1231 4 AI, ±10 V (6ES7231-4HD30-0XB0)	1
Módulo de salida analógica SM1232 4 AO, ±10 V (6ES7232-4HD32-0XB0)	1
Fundidora de metales Jinlai JLZ-25	1
Módulo de comunicación CP1542SP-1 (6GK7542-6UX00-0XE0)	1
Módulo de comunicación Scalance XB008 (6GK5008-0BA00-1AB2)	1

**Tabla 2.1.1: Lista de equipos del mismo fabricante.**

### 2.1.1.2 Lista de equipos de distintas líneas

Dispositivo	Cantidad
Motor AC on-off WEG (00236EG3E145T-W22): 230 V/460 V, 2 HP, 60 Hz, 2 polos, 3Ø	2
Motor AC on-off WEG (01018ET3E215TF3-W22): 230 V/460 V, 10 HP, 60 Hz, 4 polos, 3Ø	1
Maquina trituradora de metales Wanrooe PNSS-1200 con cuchillas tipo gancho D2 de doble eje: 380 V, 10 HP, 50/60 Hz, 4 polos, 3Ø	1
Módulos de pesaje Delta DVP201LC-SL	3
Celdas de carga Flintec PC46	8
Servomotores Schneider Electric (BCH2MB0133CA5C)	2
Sensores finales de carrera tipo rodillo Schneider Electric (XCDR2102N12)	5
Pistón cilindro ISO 15552 Serie CF056	3
HMI SIEMENS KTP700 Basic 7" (6AV2123-2GB03-0AX0)	5
Cable industrial SIEMENS Ethernet TP Cord RJ45 (6XV1850-2GH20) X 10 m	100
Variador de frecuencias Schneider Electric Altivar Easy 310	6
Fuente de alimentación Allen-Bradley (1606-XLP72E)	6
Módulo de poder PM240 FSC (6SL3210-1PE22-7UL0)	4
PLC Delta Ethernet DVP12SE11T	1
Módulo de control de velocidad para servomotores Delta tipo E	1
Fundidora de metales Jinlai JLZ-25	1
Conmutador Ethernet Allen-Bradley Stratix 2000 (1783-US8T)	1

**Tabla 2.1.2: Lista de equipos de diversos fabricantes.**

### 2.1.1.3 Lista de equipos eléctricos

Dispositivo	Cantidad
Disyuntor SASSIN 2P10A 230VAC/400VAC (3SB71-63 B12C10N)	6
Disyuntor SASSIN 3P20A 230VAC/400VAC (3SB71-63 B12C20N)	2
Disyuntor SASSIN 3P50A 230VAC/400VAC (3SB71-63 B12C50N)	3
Disyuntor SASSIN 3P100A 230VAC/400VAC (3SB71-63 B12C10N)	1
Disyuntor DRX 3P175A 230VAC/400VAC	2
Disyuntor CHINT 3P250A 230VAC/400VAC (NM1-250H/3300)	1
Disyuntor CHINT 3P350A 230VAC/400VAC (NM8-400S/3300)	1
Pulsador NA 220V CAMSCO metálico simple 22 mm (FPB-BA1)	1
Pulsador NC 220V CAMSCO metálico simple 22 mm (FPB-BA2)	1
Pulsador NC 220V CAMSCO plástico tipo hongo 22 mm (LMB-BS5)	3
Luces piloto LED CHINT plástico RGY 22 mm (ND16-22D/4)	18
Contactador CHINT 12 A / 24 VAC (CJX2-1201)	3
Válvula SMC 4/2 vías (SAI 9431) con acción eléctrica y retorno por muelle	3

**Tabla 2.1.3: Lista de equipos eléctricos.**

## 2.2 Fase de diseño y solución

### 2.2.1 Selección de Equipos

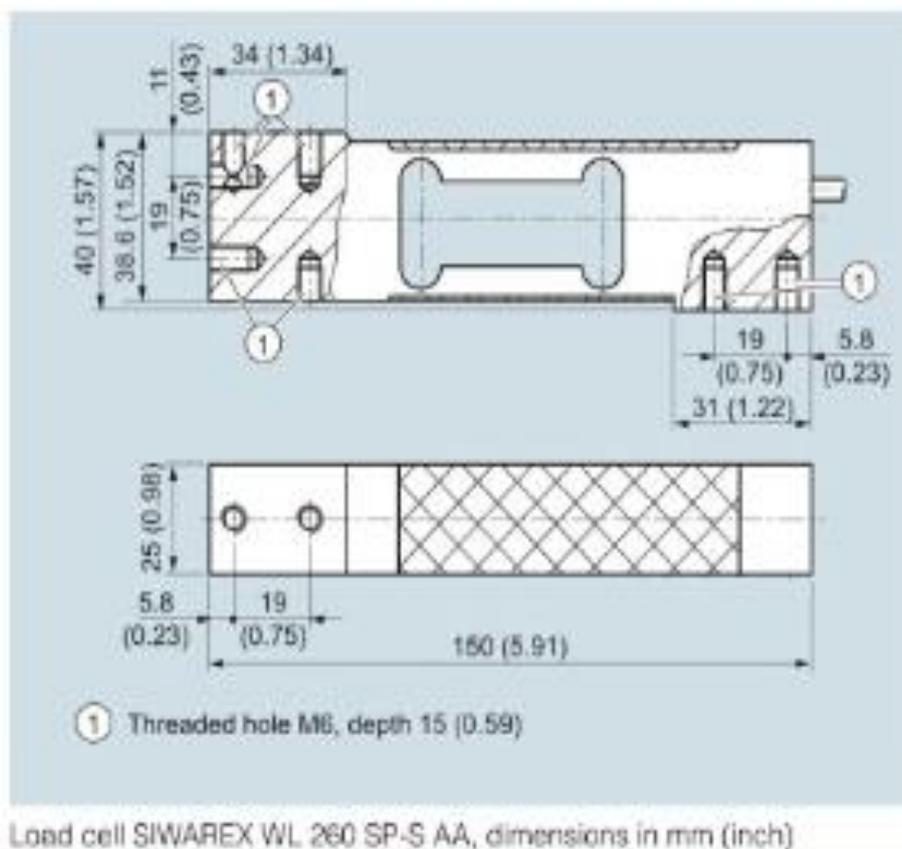
Una vez analizado los sistemas y componentes existentes dentro del mercado para este proyecto a base de los requerimientos presentados por la empresa, procedemos a utilizar los equipos de la **Tabla 2.1.1** por fines de compatibilidad de la misma línea y eficiencia en la comunicación. Un inconveniente de trabajar con los componentes de la **Tabla 2.1.2** son los algoritmos de comunicación de distintas marcas, lo que en una planta industrial sería un enorme problema. Gracias a los servidores de comunicación industriales existentes (KepServer, Ignition, OPC, Codesys, Modbus, Profinet, ...) permiten la utilización de diversas marcas dentro de una planta, aunque la mayoría de estos tiene un método de pago para acceder a su funcionalidad total.

Para la etapa de pesaje, es necesario pesar dichos trozos de chatarra para dosificar la fundición de metales. Para ello, utilizaremos una celda de carga Siwarex WL260 SP-S para pesarlos. Esta se alimenta con un voltaje de 12VDC, sus dimensiones son de 15 cm X 4 cm X 2.5 cm (largo, ancho, grosor) para colocar una plataforma de máximo 40 cm X 40 cm. Antes de su uso, la celda de carga se debe calibrar mediante ajuste de parámetros electrónicos para asegurar una medición precisa.

El funcionamiento de la celda de carga se enfoca en la deformación elástica cuando se aplica una carga. Y junto con una galga extensiométrica, esta envía una señal eléctrica proporcional a dicha carga para que se amplifique y condicione, y se realice su conversión analógica-digital con el fin de que llegue dicha señal a los sistemas de control y visualización (en este caso, un Sinamics, PLC y/o un HMI).

Dicho acondicionamiento y amplificación lo realiza el módulo de pesaje Siwarex WP231 mediante ajustes detallados de parametrización y límites para las salidas, y funciones de diagnóstico como registro de pesos y procesos en Trace.

El módulo dispone de cuatro entradas y salidas digitales, y una salida analógica, y puede conectarse a un lado del PLC Simatic S7-1200, o puede conectarse vía cable Ethernet o cableado RS485 con protocolos Modbus a un panel de mando/control para operarse de forma independiente del PLC Simatic S7-1200.



**Figura 2.2.1.1: Medidas de la celda de carga Siwarex WL260 SP-S AA en milímetros.**

Celda de carga Siwarex WL260 SP-S	
Rango ( $E_{max}$ )	3 kg – 100 kg
Límite de sobrecarga	300% $E_{max}$
Sensibilidad ( $C_n$ )	2.0 mV/V $\pm$ 2 mV/V
No linealidad	$\pm$ 0.015% $C_n$
Recuperación lenta	$\pm$ 0.02% $C_n$ / 30 min.
Voltaje de excitación recomendada	5 VDC – 12 VDC
Voltaje de excitación	15 VDC
Salida cero	$\pm$ 0.4 mV/V
Impedancia de salida ( $R_s$ )	350 $\Omega$ $\pm$ 3 $\Omega$
Temperatura de funcionamiento	-35 °C – +65 °C
Nivel de protección	IP65: Hermético al polvo y protección contra el agua proyectada.
Área de carga	40 cm X 40 cm

Tabla 2.2.1.1: Especificaciones de la celda de carga Siwarex WL260 SP-S.



Figura 2.2.1.2: Módulo electrónico de pesaje Siwarex WP231.

<b>Módulo electrónico de pesaje Siwarex WP231</b>	
<b>Tensión nominal</b>	24 VDC
<b>Consumo máximo</b>	200 mA @ 24V DC
<b>Consumo del bus de fondo S7-1200</b>	Tip. 3 mA
<b>Rango de medición</b>	± 2 mV/V
<b>Longitud máxima del cable</b>	1000 m
<b>Rango de tensión (modo común)</b>	0 ... 5 V
<b>Protección contra cortocircuito/sobrecarga</b>	Si
<b>Conexión</b>	6 hilos 4 hilos

**Tabla 2.2.1.2: Especificaciones del módulo electrónico de pesaje Siwarex WP231.**

En este caso, el módulo de pesaje Siwarex WP231 se instalará y conectará mediante rieles eléctricos a lado del PLC Simatics S7-1200 para controlar todos los datos enviados. El PLC Simatics S7-1200 es un dispositivo electrónico compacto que posee 8 entradas digitales de 24 VDC, 6 salidas digitales, relé de 2 A, salidas analógicas de 0 – 10 VDC, con posibilidad de expansión por módulos de entradas y salidas o módulos de comunicación para adaptarse a distintas aplicaciones. Su funcionamiento se define mediante la programación desarrollada en el software TIA Portal, el cual utiliza lenguajes de programación tipo Ladder (LAD), bloques de funciones (FBD), instrucciones (ST) y lista de instrucciones (LIL). Al ejecutarse dicho programa, el PLC lee las entradas, ejecuta lógica de control que se encarga de realizar operaciones matemáticas, lógicas, temporizadores, contadores, escalado, entre otras, y actualiza las salidas en consecuencia. Y, al igual que el módulo de pesaje Siwarex, puede comunicarse con otros PLC, sistemas HMI, PC, y otros equipos mediante comunicación industrial.



Figura 2.2.1.3: PLC Simatics S7-1200.

<b>Controlador PLC Simatics S7-1200</b>	
<b>Tipo de producto</b>	CPU 1215C DC/DC/DC
<b>Paquete de programación</b>	Step / V16 o superior
<b>Tensión de alimentación</b>	24 VDC ± 4.8 VDC
<b>Entradas digitales (func. tecnológicas)</b>	14 DI (6 usables para HSC a 100 kHz)
<b>Salidas digitales (func. tecnológicas)</b>	10 DO (4 usables para PTO a 100 kHz)
<b>Entradas/salidas analógicas</b>	2 AI   2AO
<b>Interfaz</b>	2 puertos Ethernet RJ45 (switch integrado)
<b>Dimensiones</b>	11 cm X 10 cm X 7.5 cm
<b>Memoria de trabajo y carga</b>	125 KB   4MB
<b>Max. número de módulos expandibles</b>	3 módulos de comunicación 8 módulos de señal E/S 1 tablero de comunicaciones/señales

Tabla 2.2.1.3: Especificaciones del PLC Simatics S7-1200.



Figura 2.2.1.4: Servocontrol de posición Sinamics V90.

<b>Servocontrol de posición Sinamics V90</b>	
<b>Tensión de alimentación</b>	380 VAC – 480 VAC (±10% - ±15%)   3Ø
<b>Frecuencia de entrada</b>	45 Hz – 66 Hz
<b>Factor de potencia</b>	0.70 – 0.75
<b>Frecuencia de pulsación</b>	4 kHz
<b>Potencia de consumo</b>	400 W
<b>Corriente de salida</b>	1.2 A
<b>Corriente máxima</b>	3.6 A
<b>I/O Digitales</b>	10 DI / 6 DO
<b>I/O Analógicos</b>	2 AI / 2 AO
<b>Peso</b>	1.85 kg
<b>Dimensiones (ancho, alto, grosor)</b>	6 cm X 18 cm X 20 cm
<b>Grado de protección</b>	IP20: Contra cuerpos sólidos (Ø > 12 mm) y contra el contacto con los dedos.
<b>Temperatura de empleo</b>	0 °C – 45 °C
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-40 °C – +70 °C
<b>Humedad relativa del aire</b>	90%
<b>Altitud de instalación</b>	Hasta 1000 metros sobre el nivel del mar

Tabla 2.2.1.4: Especificaciones del servocontrol de posición Sinamics V90.

Cuando se llega al peso deseado envía una señal a uno de los Sinamics G120C para que accione el servomotor que se encarga de abrir la compuerta y se vierta la chatarra en la caldera fundidora. Un Sinamics G120C es un variador de velocidad de frecuencia que controla la velocidad y rendimiento de motores eléctricos. Se conecta a la red de alimentación trifásica y rectifica la corriente alterna en corriente continua para alimentar motores. Luego la convierte nuevamente en corriente alterna de voltaje y frecuencia variable para que el usuario manipule la velocidad, rendimiento y par de salida del motor alimentado. Estos pueden programarse mediante software y ajustar los parámetros de funcionamiento, así como definir límites de velocidad, corriente, velocidad, entre otros.

Un Sinamics pueden integrarse mediante interfaces de comunicación (Profibus, Profinet, Ethernet/IP, ...) para su supervisión remota, y posee funciones de protección contra daños tanto para el motor como para sí mismo causados por sobretensión, sobrecorriente, sobretemperatura, entre otros.



**Figura 2.2.1.5: Variador de frecuencias Sinamics G120C.**

Variador de Frecuencias Sinamics G120C	
Tensión de alimentación	380 VAC – 480 VAC ( $\pm 10\%$ - $\pm 20\%$ )   3Ø
Frecuencia de entrada	47 Hz – 63 Hz
Factor de potencia	0.70 – 0.75
Frecuencia de pulsación	4 kHz
Longitud máxima de cable del motor	50 metros
Potencia nominal	11 kW (~14.75 HP)
Posibles métodos de frenado	Frenado por corriente continua Frenado combinado Frenado por resistencia con chopper
Grado de protección	IP20: Contra cuerpos sólidos ( $\varnothing > 12$ mm) y contra el contacto con los dedos.
Temperatura de empleo	-10 °C – +60 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C – +70 °C
Humedad relativa del aire	< 95% (sin condensación)
Altitud de instalación	Hasta 1000 metros sobre el nivel del mar

Tabla 2.2.1.5: Especificaciones del variador de frecuencias Sinamics G120C.

The screenshot shows the 'Commissioning Wizard' window with the 'Motor' step selected. The interface includes a sidebar with navigation options and a main configuration area. The 'Motor' section is titled 'Specification of motor type and motor data.' and contains the following settings:

- Motor configuration: Enter motor data
- Select motor type: [1] Induction motor
- Select the connection type for your motor and 87 Hz operation: Star

Two tables are displayed for entering motor data:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p305[0]	Rated motor current	2.56	Arms
p307[0]	Rated motor power	2.00	hp
p311[0]	Rated motor speed	3490.0	rpm

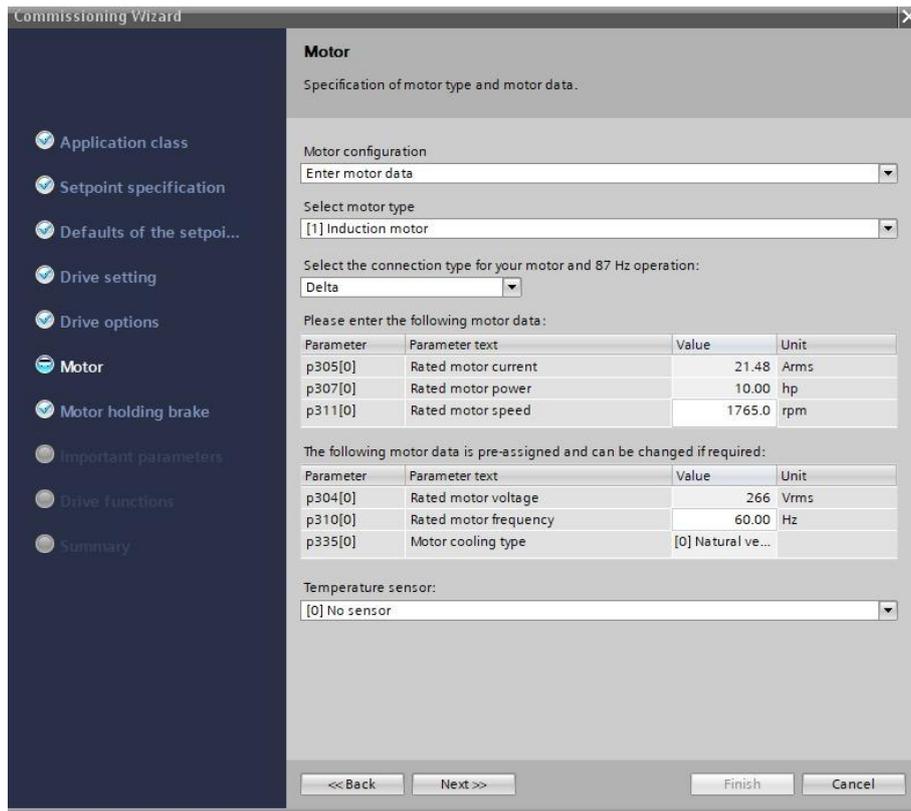
  

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p304[0]	Rated motor voltage	460	Vrms
p310[0]	Rated motor frequency	60.00	Hz
p335[0]	Motor cooling type	[0] Natural ve...	

Temperature sensor: [0] No sensor

Navigation buttons at the bottom: << Back, Next >>, Finish, Cancel.

Figura 2.2.1.6: Parametrización del motor de 2 HP.



**Figura 2.2.1.7: Parametrización del motor de 10 HP.**

Para alimentar todos los equipos en cada tablero, se corresponde instalar una fuente de alimentación que entregue la potencia necesaria y al nivel de voltaje adecuado para su correcto funcionamiento.



**Figura 2.2.1.8: Fuente de alimentación SITOP PSU6200.**

<b>Fuente de alimentación SITOP PSU6200</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	120 VAC - 230 VAC   120 VDC - 240 VDC
<b>Rango de voltaje</b>	85 VAC - 275 VAC   100 VDC - 275 VDC
<b>Frecuencia nominal</b>	50 Hz – 60 Hz
<b>Corriente nominal</b>	1.9 A - 1.1 A
<b>Disyuntor en miniatura recom.</b>	> 6 A
<b>Voltaje de salida</b>	24 ± 4.8 VDC
<b>Corriente de salida</b>	5 A (6A si es continuo a 45 °C)
<b>Límite de sobrecarga de corriente</b>	150%
<b>Reducción de corriente</b>	2%/°K a partir de los 60°C
<b>Eficiencia</b>	90.2%
<b>Grado de protección</b>	IP20: Contra cuerpos sólidos (Ø > 12 mm) y contra el contacto con los dedos.
<b>Temperatura de operación</b>	-25 °C – +70 °C
<b>Dimensiones (ancho, alto, grosor)</b>	3.5 cm X 13.5 cm X 12.5 cm
<b>Peso aproximado</b>	0.7 kg

**Tabla 2.2.1.6: Especificaciones del regulador de voltaje SITOP PSU6200.**

Para que los Sinamics G120 puedan funcionar con voltajes de 380 VAC - 480 VAC se necesita instalar los reguladores de voltaje POWER MODULE en cada uno de ellos.

Los reguladores de voltaje son fuentes de alimentación conmutadas para suministrar energía estabilizada a dispositivos electrónicos en aplicaciones industriales, protegiendo los equipos conectados contra las fluctuaciones de voltaje. Estos se conectan a la fuente de energía AC de la red eléctrica, aceptando un rango de voltaje específico para operar. Luego, se rectifica y filtra la etapa de entrada para convertirla en corriente continua relativamente estable, reduciendo el rizado y las perturbaciones en la señal eléctrica.

Y en esta etapa de conversión, dicha corriente continua se vuelve a convertir en otro nivel de corriente continua con el fin de que se pueda suministrar a los dispositivos conectados (sea un PLC, servomotor, módulos de comunicación, entre otros) mediante un proceso de conmutación rápida.

El regulador de voltaje monitorea constantemente la tensión de salida y ajusta el proceso de conmutación en función de los cambios en la carga y en el voltaje de entrada para mantenerlo constante. Si existe alguna perturbación en la tensión de entrada, el regulador lo ajusta automáticamente para mantener el voltaje de salida dentro del rango específico. La protección del regulador prevé sobrecalentamientos, cortocircuitos, sobrecorriente y sobretensión, y si detecta dichas anomalías, el regulador desconecta automáticamente las salidas para evitar daños en los elementos conectados.

Como estos dispositivos son compactos, pueden instalarse en los rieles DIN. Y algunos de los reguladores de voltaje incluyen funciones de comunicación (Profibus, Profinet, Ethernet/IP, ...) que permiten su supervisión por control remoto.



**Figura 2.2.1.9: Módulo de Poder PM240-2 FSC.**

<b>Módulo de Poder PM240-2 FSC</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	120 VAC – 230 VAC
<b>Potencia nominal</b>	15 HP / 10 HP
<b>Factor de potencia</b>	0.7 – 0.85
<b>Frecuencia nominal</b>	50 Hz – 60 Hz
<b>Frecuencia de salida</b>	0 Hz – 550 Hz
<b>Corriente nominal</b>	32.6 A / 27 A
<b>Voltaje de salida</b>	380 VAC – 480 VAC ( $\pm 10\%$ )
<b>Corriente de salida</b>	26 A / 18A
<b>Límite de sobrecarga de corriente</b>	39 A
<b>Factor de potencia</b>	0.85
<b>Rendimiento</b>	0.97
<b>Grado de protección</b>	IP20: Contra cuerpos sólidos ( $\varnothing > 12$ mm) y contra el contacto con los dedos.
<b>Temperatura de operación</b>	-5 °C – +50 °C
<b>Dimensiones (ancho, alto, grosor)</b>	14 cm X 35.5 cm X 16.5 cm
<b>Peso aproximado</b>	4.7 kg

**Tabla 2.2.1.7: Especificaciones del Módulo de Poder PM240.**

Un servomotor Simotics es un tipo de motor de corriente alterna o continúa utilizado en aplicaciones de control de alta precisión. Estos incorporan sensores de retroalimentación, como encoders o resolvers, los cuales detectan la posición, velocidad y dirección del rotor del motor. Se combinan con amplificadores de potencia que suministran la corriente y voltaje, y generan el par necesario para mover el eje del motor.

Los servomotores cuentan con capacidades de comunicación para facilitar la comunicación, monitoreo y ajustes en tiempo real, y pueden funcionar conectados a módulos de comunicación (como un PLC o algún Sinamics). Además, poseen protecciones de sobrecorriente y sobrecalentamiento para proteger a los equipos.



Figura 2.2.1.10: Servomotor Simotics S-1FL6.

<b>Servomotor Simotics S-1FL6</b>	
<b>Tipo de motor</b>	Síncrono de imán permanente, inercia baja
<b>Tensión de alimentación</b>	230 VAC
<b>Potencia nominal</b>	0.75 kW (~ 1 HP)
<b>Torque nominal</b>	2.39 Nm
<b>Torque máximo</b>	7.20 Nm
<b>Corriente nominal</b>	4.7 A
<b>Corriente máxima</b>	14.2 A
<b>Velocidad máxima</b>	5000 rpm
<b>Peso neto</b>	2.80 kg
<b>Grado de protección</b>	IP65: Hermético al polvo y protección contra el agua proyectada.
<b>Temperatura de operación</b>	0 °C – 40 °C

Tabla 2.2.1.8: Especificaciones del servomotor Simotics S-1FL6.

Se requerirán dos tipos de motores dependiendo de su capacidad, en el caso de los procesos donde se necesite mayor velocidad, se utilizarán motores de dos HP, mientras que para procesos donde se requiera un mayor par, se utilizarán motores de diez HP.



Figura 2.2.1.11: Motor WEG NEMA MG-1 W22 143ST.

<b>Motor WEG NEMA MG-1 W22 143ST</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	230 VAC – 460 VAC
<b>Potencia</b>	2 HP (1.5 kW)
<b>Numero de polos</b>	2
<b>Frecuencia nominal</b>	60 Hz
<b>Rotación nominal</b>	3490 rpm
<b>Corriente nominal</b>	5.12 A – 2.56 A
<b>Corriente de arranque</b>	45.6 A – 22.8 A
<b>Torque nominal (Tnom)</b>	3.01 lb*ft
<b>Torque de arranque/máximo</b>	340% - 360% Tnom
<b>Momento de inercia</b>	0.0610 lb*ft <sup>2</sup>
<b>Temperatura de operación</b>	-20 °C – +40 °C
<b>Grado de protección</b>	IP55: Protegidos contra los depósitos de polvo y chorros de agua desde cualquier ángulo.
<b>Peso aproximado</b>	23.9 kg

Tabla 2.2.1.9: Especificaciones del Motor WEG NEMA MG-1 W22 143ST.



Figura 2.2.1.12: Motor WEG NEMA MG-1 W22 215T.

<b>Motor WEG NEMA MG-1 W22 215T</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	230 VAC – 460 VAC
<b>Potencia</b>	10 HP (7.5 kW)
<b>Numero de polos</b>	4
<b>Frecuencia nominal</b>	60 Hz
<b>Rotación nominal</b>	1765 rpm
<b>Corriente nominal</b>	24.8 A – 12.4 A
<b>Corriente de arranque</b>	159 A – 79.4 A
<b>Torque nominal (Tnom)</b>	29.8 lb*ft
<b>Torque de arranque/máximo</b>	200% - 295% Tnom
<b>Momento de inercia</b>	1.51 lb*ft^2
<b>Temperatura de operación</b>	-20 °C – +40 °C
<b>Grado de protección</b>	IP55: Protegidos contra los depósitos de polvo y chorros de agua desde cualquier ángulo.
<b>Peso aproximado</b>	80.3 kg

Tabla 2.2.1.10: Especificaciones del Motor WEG NEMA MG-1 W22 215T.

Después, se requiere que las chatarras sean trituradas para que la celda de carga pese con mayor precisión un volumen de trozos a ser fundidos, dosificando la cantidad de aluminio que se va a verter en cada molde, por lo que la máquina troceadora debe ser capaz de triturar cualquier tipo de chatarra que pase por la banda transportadora. Como se tratará con chatarra de diversos tamaños y dureza, se utilizarán cuchillas de garra dobles para lograr un mejor troceo. Dichas cuchillas son desmontables.

La trituradora Wanrooe PNSS-1200 posee una superficie de triturado grande (100 cm X 120 cm) y utiliza cuchillas de garras dobles para el troceo de metales grandes con el fin de facilitar el fundido del metal. Trabaja con una potencia máxima de 60 kW (30 kW en cada eje de cuchillas), lo que hace que trocee chatarra a razón de entre 100 kg/h a 1000 kg/h. La trituradora maneja un motor Siemens de 10 HP.



**Figura 2.2.1.13: Trituradora Wanrooe PNSS-1200.**

<b>Trituradora Wanrooe PNSS-1200</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	380 VAC   3Ø
<b>Frecuencia de operación</b>	50 Hz – 60 Hz
<b>Número y tipo de cuchillas</b>	24 cuchillas tipo gancho D2 de doble eje
<b>Potencia máxima</b>	60 kW (30kW en cada eje)
<b>Material de triturado</b>	Metales, papeles, plásticos, cartón, neumáticos
<b>Capacidad de triturado</b>	100 kg/h – 1000 kg/h
<b>Superficie de triturado</b>	100 cm X 120cm

**Tabla 2.2.1.11: Especificaciones de la trituradora Wanrooe PNSS-1200.**

Luego, para realizar la fundición de la chatarra troceada, esta debe calentarse a temperatura de fusión del metal, que llega a los 670 °C mediante una caldera que calentará el metal troceado por método de inducción. Cuando este metal llega a dicha temperatura, se abrirá una compuerta en el que se vierte dicho aluminio a un molde previamente colocado para que forme la luminaria LED.

La fundidora a utilizar será una Jinlai JLZ-25, con capacidad de 40 kg de metal a fundirse, oscila una potencia máxima de 25 kW y opera a una frecuencia máxima de 20 kHz. Su fase de calentamiento desde frío demora hasta 60 minutos, y calienta los metales a una razón de 3 litros por minuto (8.1 kg por minuto, basado en la conversión de densidad del aluminio), lo que hace que la fundición de los metales sea menor a los 2 minutos.



**Figura 2.2.1.14: Fundidora Jinlai JLZ-25.**

<b>Fundidora Jinlai JLZ-25</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	380 VAC   3Ø
<b>Frecuencia de operación</b>	50 Hz – 60 Hz
<b>Frecuencia de oscilación</b>	1 kHz – 20 kHz
<b>Potencia máxima</b>	~ 90 kW
<b>Corriente de entrada</b>	36 A
<b>Voltaje de salida</b>	70 VAC – 550 VAC
<b>Dimensiones (ancho, alto, grosor)</b>	65 cm X 100 cm X 84 cm
<b>Peso neto</b>	180 kg
<b>Capacidad máxima de fundición</b>	50 kg
<b>Longitud del cable</b>	2 m – 6m
<b>Calefacción de metal</b>	6 L/min (8.1 kg/min, basado en la densidad del aluminio)
<b>Ciclo de servicio</b>	100%, 40°C

**Tabla 2.2.1.12: Especificaciones de la fundidora Jinlai JLZ-25.**

### 2.2.2 Selección de Software

- TIA Portal: Software empleado para programar y simular los equipos listados en la **Tabla 2.1.1**. En este software se colocarán las entradas y salidas analógicas que ejecutarán los módulos de pesaje, servomotores, motores y sensores mediante las variables programadas.
- Factory I/O: Software de simulación de plantas y procesos industriales. Se diseñará la planta fundidora con cada una de las etapas (troceo/fundición, modelación, compactación, enfriamiento y limpieza) para la elaboración de las estructuras base de las luminarias LED. Esta planta trabaja a la par con las variables de entradas y salidas, y equipos electrónicos utilizados en TIA Portal.
- KEPServerEX: Software de servidor de comunicación industrial utilizado para conectar, recopilar y distribuir datos entre dispositivos de automatización. Este software actúa como un intermediario entre diferentes dispositivos y sistemas de automatización que utilizan protocolos de comunicación diferentes, integrando datos de dispositivos y controladores de diferentes fabricantes y con protocolos de comunicación diversos en un solo sistema (OPC, Modbus, SNMP, MQTT, BACnet, entre otros).
- Festo FluidSIM: Software de simulación de sistemas neumáticos e hidráulicos utilizado para aprender, simular, y visualizar el funcionamiento de sistemas de control por circuitos neumáticos e hidráulicos mediante su biblioteca de componentes, como válvulas, cilindros, bombas, motores, tuberías, sensores, y más. Dichos componentes pueden ser configurados con parámetros específicos, y simular en tiempo real para observar su funcionalidad y respuesta del sistema.

## 2.2.3 Selección de elementos para la automatización

### 2.2.3.1 Selección de PLC

Antes de seleccionar el PLC con el que trabajaremos en este proyecto, se tuvo en cuenta 5 tipos de PLC de distintas marcas y características. Cada uno de ellos tiene un uso más específico, por lo que se detalla a continuación las características de cada uno de ellos:

- Micro850:
  - Se puede colocar hasta 4 módulos en entradas y salidas analógicas (4mA – 20 mA, 0 VDC – 10 VDC).
  - Posee 48 entradas y salidas digitales.
  - Tiene memoria máxima de 20 KB.
  - Tiene un puerto Ethernet que permite hasta 5 nodos de E/S Ethernet.
  - Su costo es de \$760
  
- CompactLogix 1769-L33ER:
  - Cuenta con 256 entradas y salidas analógicas.
  - Posee 256 entradas y salidas digitales.
  - Tiene memoria máxima de 2 MB.
  - Tiene un puerto Ethernet que permite hasta 16 nodos de entradas y salidas Ethernet.
  - Su costo es de \$2290

- Simatics S7-1200 CPU 1214 AC/DC/Rly:
  - Alimentación AC (120 V / 230 V), y corrientes entre 100 mA a 300 mA.
  - Cuenta con 2 entradas analógicas y 2 salidas analógicas.
  - Posee 14 entradas digitales y 10 salidas digitales (por relé).
  - Usa 6 entradas digitales como HSC (Conteo de alta velocidad) de 100 kHz.
  - Ampliable hasta 3 módulos de comunicación, 8 módulos de señal, y 1 tablero de señal/tablero de comunicación.
  - Tiene memoria de trabajo de 100 KB y memoria de carga de 4 MB.
  - Su costo es de \$400
  - Posee 1 puerto Ethernet RJ45 (sin switch integrado).
  
- Simatics S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC:
  - Alimentación DC (24 V), y corrientes entre 500 mA (solo) a 1500 mA (con todos los módulos de expansión colocados).
  - Cuenta con 2 entradas analógicas y 2 salidas analógicas.
  - Posee 14 entradas digitales y 10 salidas digitales.
  - Usa 6 entradas digitales como HSC (Conteo de alta velocidad) de 100 kHz, y 4 salidas digitales como PTO (Salida de tren de pulsos) de 100 kHz.
  - Ampliable hasta 3 módulos de comunicación, 8 módulos de señal, y 1 tablero de señal/tablero de comunicación.
  - Tiene memoria de trabajo de 125 KB y memoria de carga de 4 MB.
  - Su costo es de \$640
  - Posee 2 puertos Ethernet RJ45 (con switch integrado).

- Simatics S7-1200F CPU 1215FC DC/DC/DC:
  - Alimentación DC (24 V), y corrientes entre 500 mA (solo) a 1500 mA (con todos los módulos de expansión colocados).
  - Cuenta con 2 entradas analógicas y 2 salidas analógicas.
  - Posee 14 entradas digitales y 10 salidas digitales.
  - Usa 6 entradas digitales utilizables como HSC (Conteo de alta velocidad) de 100 kHz, y 4 salidas digitales como PTO (Salida de tren de pulsos) de 100 kHz.
  - Ampliable hasta 3 módulos de comunicación, 8 módulos de señal, y 1 tablero de señal/tablero de comunicación.
  - Tiene memoria de trabajo de 150 KB y memoria de carga de 4 MB.
  - Su costo es de \$800
  - Posee 2 puertos Ethernet RJ45 (con switch integrado).
  - Tiene protocolos de seguridad de red más potentes que la serie 1215C.

Con base en las características de los PLC propuestos, elegimos usar el Simatics S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC. Esto se debe a que, en el proyecto, necesitamos usar dos puertos Ethernet y sus salidas de tren de pulsos, con posibilidad de realizar una red tipo anillo e implementación de sistemas SCADA a futuro. Su precio es económico comparado con los PLC de otras marcas, y su línea es la misma de los otros dispositivos para comunicarse.

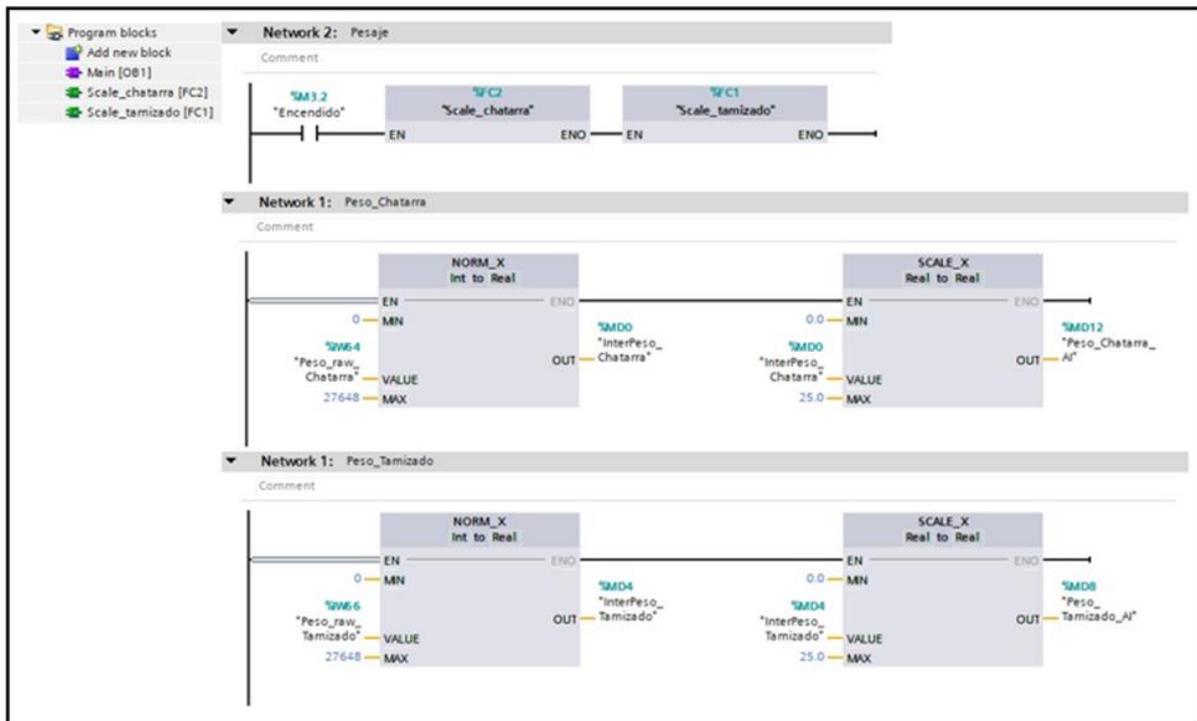


Figura 2.2.3.1: PLC Simatics S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC.

<b>Controlador PLC Simatics S7-1200</b>	
<b>Tipo de producto</b>	CPU 1215C DC/DC/DC
<b>Paquete de programación</b>	Step / V16 o superior
<b>Tensión de alimentación</b>	24 VDC ± 4.8 VDC
<b>Consumo de corriente</b>	500 mA: Solo el CPU 1500 mA: CPU con todos los módulos
<b>Entradas digitales (func. tecnológicas)</b>	14 DI (6 usables para HSC a 100 kHz)
<b>Salidas digitales (func. tecnológicas)</b>	10 DO (4 usables para PTO a 100 kHz)
<b>Entradas/salidas analógicas</b>	2 AI   2AO
<b>Interfaz y protocolos</b>	2 puertos Ethernet RJ45 (switch integrado) Profinet IO (controlador o dispositivo) Profibus (requiere CM1242-5 esclavo, o CM1243-5 maestro) Servidor OPC UA AS-I (requiere CM1243-2)
<b>Dimensiones</b>	11 cm X 10 cm X 7.5 cm
<b>Memoria de trabajo y carga</b>	125 KB   4MB
<b>Max. número de módulos expandibles</b>	3 módulos de comunicación 8 módulos de señal E/S 1 tablero de comunicaciones/señales

Tabla 2.2.3.1: Especificaciones del PLC Simatics S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC.

Como se trata de un sistema controlado por un solo CPU, se estima que cualquier expansión pueda significar la implementación de otra subred que complemente el proceso industrial. De ser posible, que se puede utilizar el mismo CPU para controlar las futuras etapas de expansión. Además, se cuenta con cuatro variadores de frecuencia mencionados en el componente anterior y dos módulos de pesaje, los cuales van a recibir la información desde las celdas de carga ubicadas estratégicamente para pesar de manera uniforme la cantidad de arena/arcilla que se utilizará en el molde, y la cantidad de chatarra o aluminio que va a ser fundido.



**Figura 2.2.3.2: Normalización y escalamiento del peso de la chatarra.**

Se realiza una función de escalado que puede actuar en lugar del módulo de pesaje en caso de requerirlo, en esta ocasión, se lo agregó a la programación Ladder por motivo de simulación. Sin embargo, para un mejor resultado se debería utilizar equipos especializados.

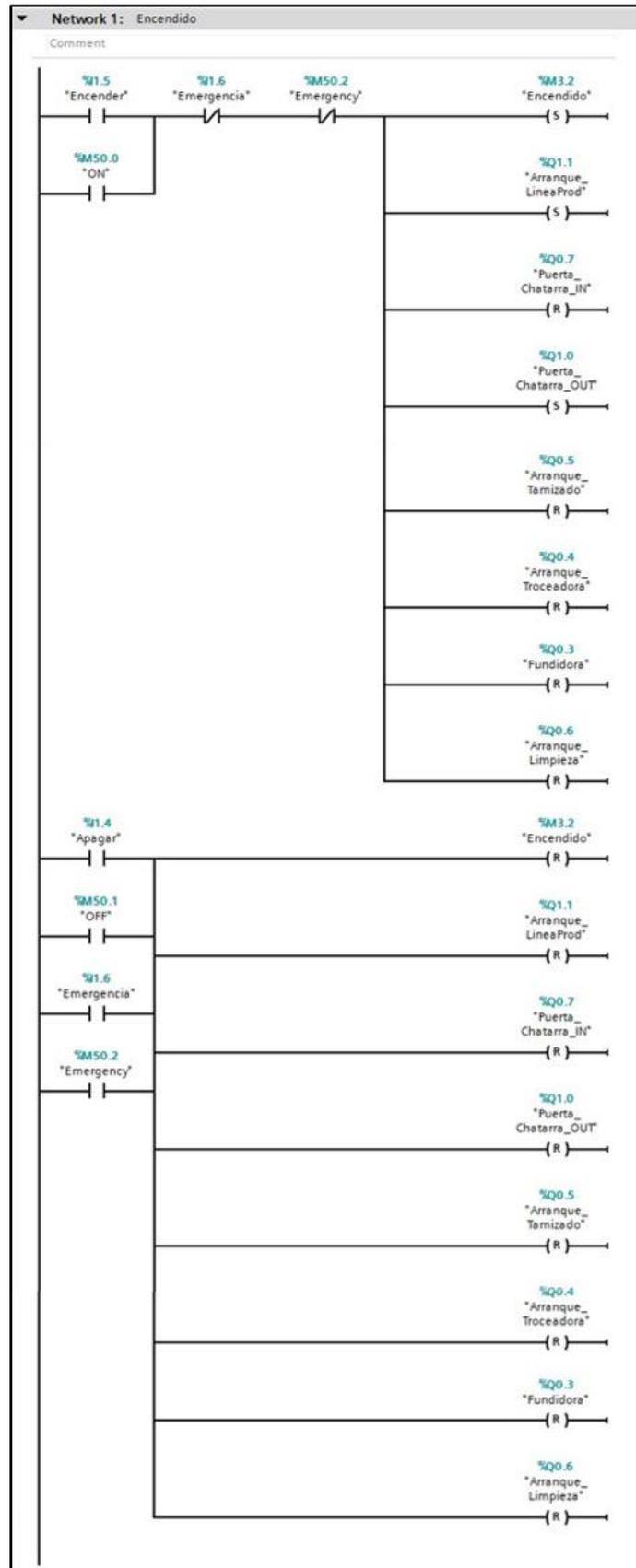
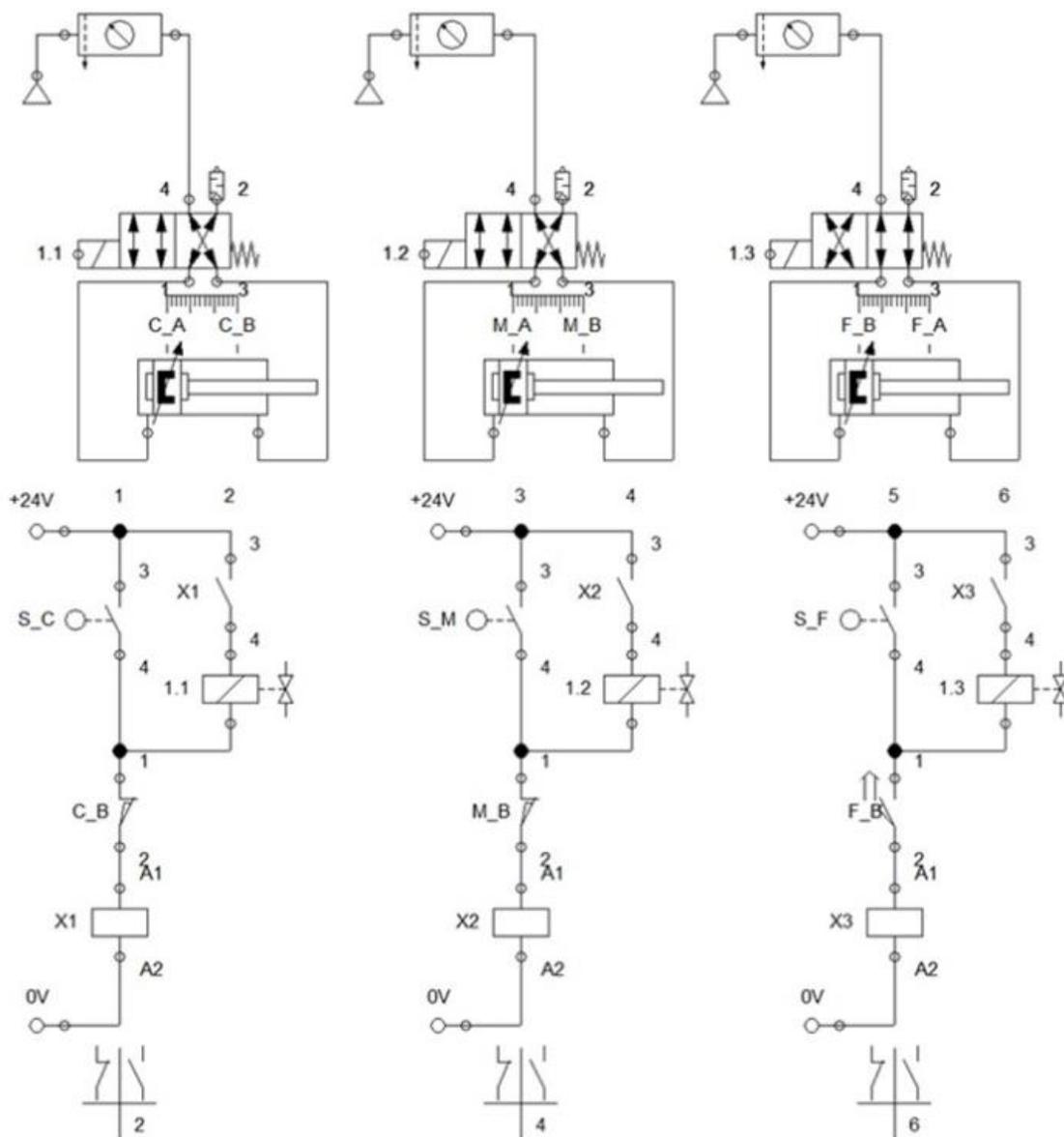


Figura 2.2.3.3: Accionamiento de la línea de producción.

Se muestra la programación Ladder del mecanismo de encendido, apagado y paro de emergencia, accionando o desactivando las señales que correspondan.

También se cuenta con tres secuencias diseñadas con accionamiento electrónico para controlar el estado de tres pistones, esto ocurrirá cuando los sensores de final de carrera en cada etapa sean accionados. En orden, de izquierda a derecha, serían las secuencias de compactación, modelación y fundición.



**Figura 2.2.3.4: Accionamiento de los pistones de la etapa de compactación, modelación y fundidora.**

### 2.2.3.2 Selección de HMI

Los HMI mostrarán cada una de las partes del proceso. Un Basic Panel de 7” es suficiente para mostrar cada etapa, por lo que se escogió el HMI Siemens KTP700 Basic 7”. Esto se debe a que todos los HMI de la serie KTP son táctiles, y su resolución de 800X480 con su método de comunicación Profinet y Modbus TCP/IP es la mejor opción.

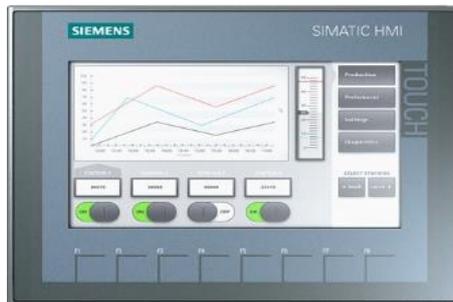


Figura 2.2.3.5: HMI Siemens KTP700 Basic 7”.

HMI Siemens KTP700 Basic 7”	
<b>Voltaje de alimentación</b>	(24 ± 4.8) VDC
<b>Corriente nominal</b>	230 mA
<b>Potencia nominal</b>	5.5 W
<b>Procesador</b>	ARM
<b>Memoria usable</b>	10 MB
<b>Tipos de interfaces</b>	Ethernet, USB (hasta 16 GB)
<b>Protocolos de comunicación</b>	Profinet, Modbus TCP/IP, Ethernet/IP
<b>Grado de protección</b>	IP65 (Frontal): Hermético al polvo y protegido contra el agua proyectada IP20 (Posterior): Contra cuerpos sólidos (Ø > 12 mm) y el contacto con los dedos.
<b>Temperatura de operación</b>	0 °C – 50 °C
<b>Resolución</b>	800 pixeles X 480 píxeles
<b>Dimensiones del display</b>	15.4 cm X 8.6 cm

Tabla 2.2.3.2: Especificaciones del HMI Siemens KTP700 Basic 7”.

Como diseño preliminar para la interfaz, se muestran las siguientes imágenes. Considerando este diseño inicial, se podrían realizar modificaciones en caso de requerirlo, en el análisis proporcionado en el **CAPÍTULO 3** se especifican tanto función, como una adaptación para el sistema de paro de emergencia.

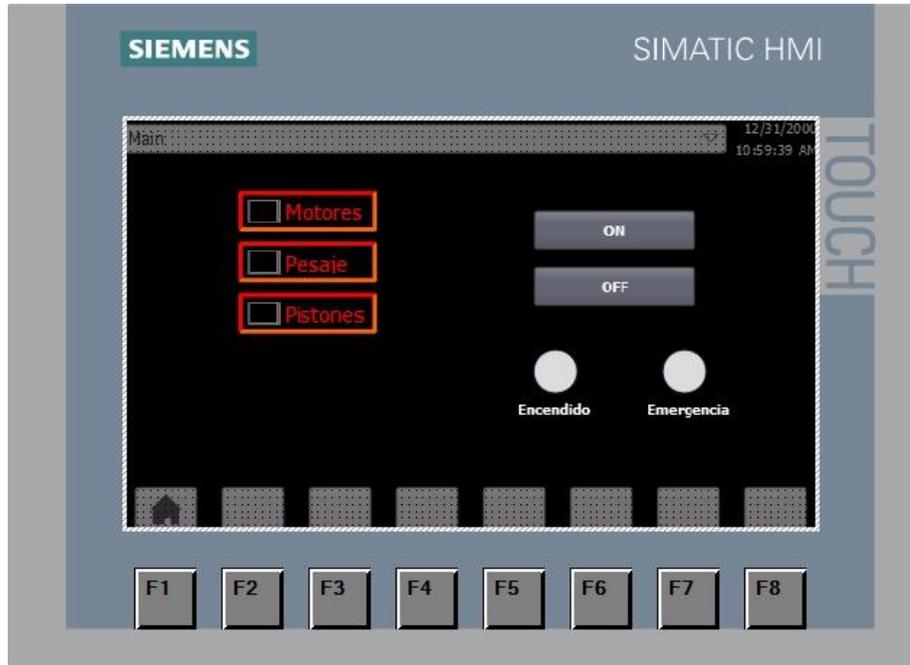


Figura 2.2.3.6: Pantalla principal del HMI de la planta.

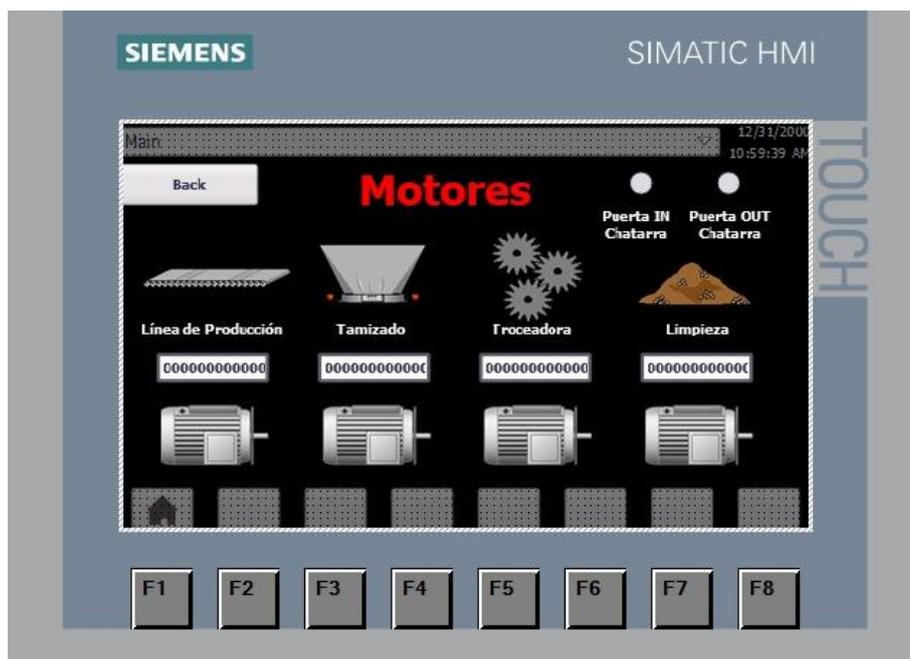


Figura 2.2.3.7: Pantalla de monitoreo de los 4 motores.

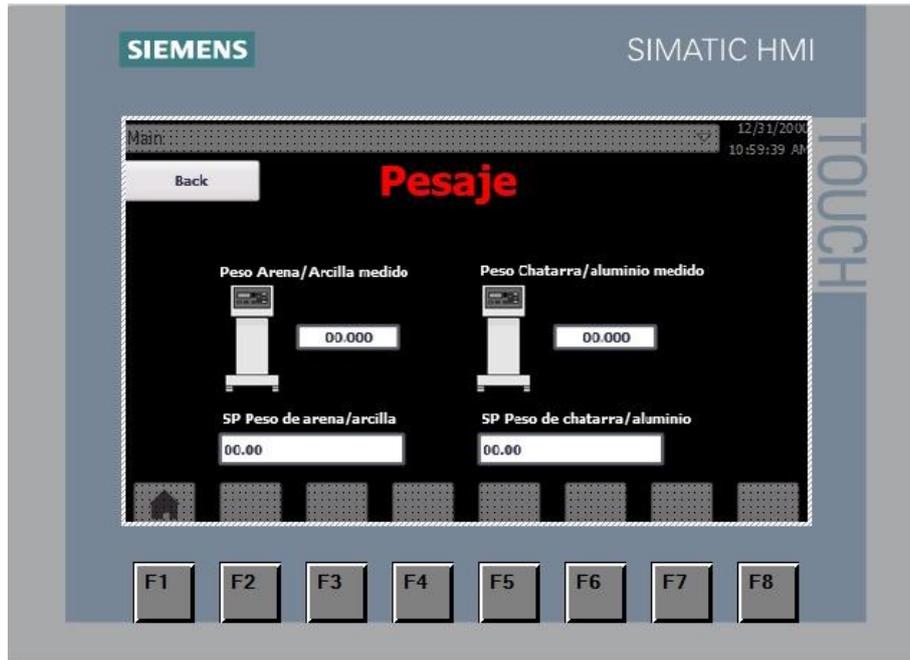


Figura 2.2.3.8: HMI mostrando los pesos de la arcilla en el tamizado, y la chatarra en la etapa de chatarrización.

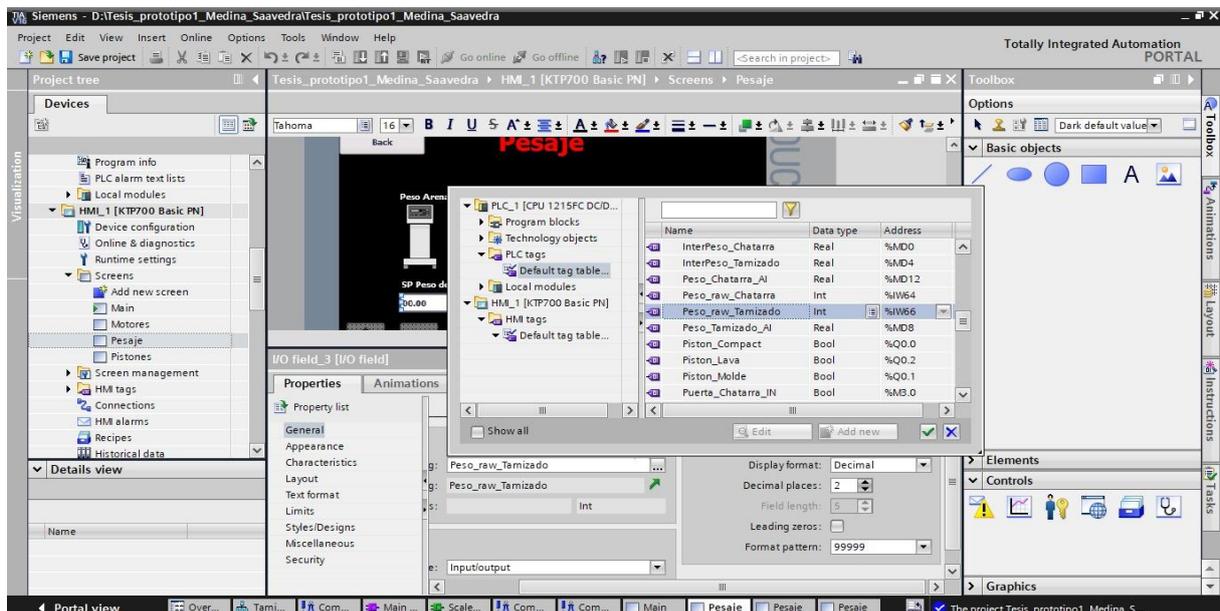


Figura 2.2.3.9: Variables que trabajan en el HMI de Pesaje.

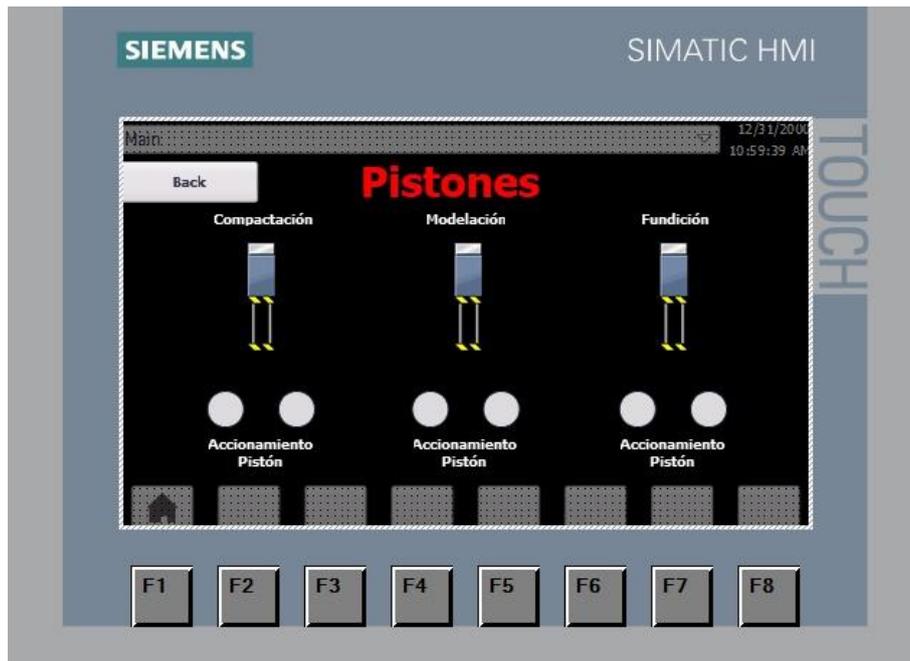


Figura 2.2.3.10: Pantalla para monitoreo de los 3 pistones.

### 2.2.3.3 Selección de sensores

En este proyecto se necesita que los moldes se detengan cada vez que recorren las etapas de tamizado, compactación, modelación, fundición y empuje, por lo que es necesario utilizar sensores de final de carrera tipo palanca para detener los moldes hasta que se termine de ejecutar la correspondiente etapa.

Para la línea de producción, cada paso se debe controlar mediante sensores finales de carrera. Estos son un tipo de interruptor de posición utilizados para detectar la presencia o ausencia de objetos, controlar límites de movimientos, y activar y desactivar dispositivos en función de la posición mecánica.

Los sensores finales de carrera constan de una carcasa robusta que alberga los componentes electrónicos y mecánicos del sensor. Y algunos sensores (como el 3SE5112-0CH01) poseen una palanca o actuador mecánico. Dentro del sensor, hay interruptores y contactos mecánicos que se activan cuando el actuador entra o sale del contacto con el objeto, cambiando de estado (de abierto a cerrado, y viceversa).

Estos contactos pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados, dependiendo de cómo se configure el sensor. La activación o desactivación de los contactos dentro del sensor genera una señal eléctrica digital que es usada para indicar la posición del objeto.



**Figura 2.2.3.11: Sensor final de carrera tipo palanca Siemens 3SE5112.**

<b>Sensor final de carrera tipo palanca SIEMENS 3SE5112</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	300 VAC
<b>Corriente térmica nominal</b>	10 A
<b>Corriente nominal</b>	6 A
<b>Grado de protección</b>	IP67: Hermético al polvo y protección contra la inmersión. Resistente al agua a profundidades entre 0.15 m a 1 m.
<b>Temperatura de operación</b>	-25 °C – +85 °C
<b>Dimensiones (ancho, alto, grosor)</b>	5.6 cm X 7.8 cm X 3.8 cm

**Tabla 2.2.3.3: Especificaciones para el sensor final de carrera Siemens 3SE5112.**

#### 2.2.3.4 Selección de protocolo de comunicación y cableado

Para el protocolo de comunicación, se usará el protocolo Profinet para el control de los componentes de automatización, como los variadores de frecuencia, reguladores de voltaje, sensores, actuadores, PLC, HMI, entre otros. Esto es con el fin de establecer comunicaciones entre las etapas de manera sincrónica y en tiempo real, además de la configuración y diagnóstico remoto.

El protocolo Profinet se basa en el cableado Ethernet RJ45, el cual establece los canales de comunicación (cableado o inalámbrico) para la transmisión y recepción de datos. Para lograr esta comunicación desde el PLC, se debe utilizar un módulo de comunicación adaptable a dicho CPU, como el CP1542SP-1 para realizar la conexión del ET200SP del PLC mediante Ethernet.



Figura 2.2.3.12: Módulo de comunicación CP1542SP-1.

Módulo de comunicación CP1542SP-1	
<b>Voltaje de alimentación</b>	24 VDC $\pm$ 4.8 VDC
<b>Corriente térmica nominal</b>	10 A
<b>Tasa de transferencia</b>	10 Mbits/seg – 100 Mbits/seg
<b>Grado de protección</b>	IP20: Contra cuerpos sólidos ( $\varnothing > 12$ mm) y contra el contacto con los dedos.
<b>Temperatura de operación</b>	-30 °C – +60 °C
<b>Dimensiones (ancho, alto, grosor)</b>	6 cm X 11.7 cm X 7.4 cm
<b>Peso</b>	0.18 kg

Tabla 2.2.3.4: Especificaciones del termopar Sitrans TH400 tipo E.

Como se utilizará varias conexiones Ethernet, y los dispositivos autómatas no cuentan con varios puertos para dicho fin, se optará por usar switches industriales, que permiten conectar varios dispositivos por cable Ethernet para formar una red local.

El módulo de comunicación Scalance XB008 posee 8 puertos Ethernet, lo cual permite la conmutación de paquetes, analiza la dirección MAC (Control de acceso de medios) de destino y decide a qué puerto enviará dicho paquete de datos al dispositivo correcto. También puede realizar la duplicación de tráfico de datos, con el fin de monitorear la actividad en la red y solución de problemas sin afectar el flujo de datos manual.



**Figura 2.2.3.13: Módulo de comunicación Scalance XB008.**

<b>Módulo de comunicación Scalance XB008 (8 puertos Ethernet)</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	24 VDC ± 4.8 VDC
<b>Corriente térmica nominal</b>	0.12 A
<b>Tasa de transferencia</b>	10 Mbits/seg – 100 Mbits/seg
<b>Grado de protección</b>	IP20: Contra cuerpos sólidos ( $\varnothing > 12$ mm) y contra el contacto con los dedos.
<b>Temperatura de operación</b>	-10 °C – +60 °C
<b>Dimensiones (ancho, alto, grosor)</b>	4.5 cm X 10 cm X 8.7 cm
<b>Peso</b>	0.18 kg

**Tabla 2.2.3.5: Especificaciones del módulo de comunicación Scalance XB008.**

## 2.2.4 Tabla de Entradas y Salidas

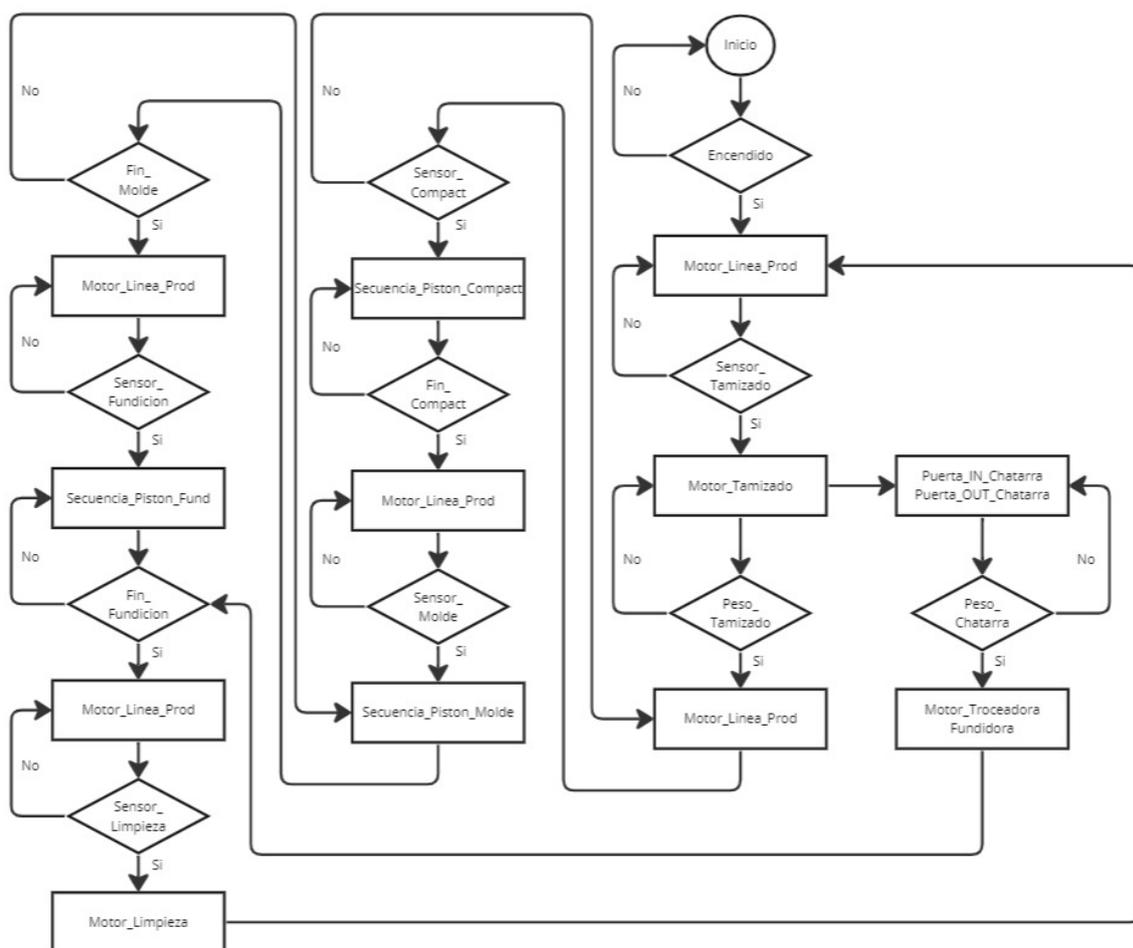
Las entradas digitales y analógicas permitirán que se ejecute continuamente cada secuencia automatizada. Existen más señales internas (marcas del sistema) que permitirán la interacción con el usuario a través de la interfaz.

<b>TABLA DE ENTRADAS Y SALIDAS FÍSICAS DEL PROGRAMA</b>			
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>		<b>SALIDAS DIGITALES</b>	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>
Sensor_Tamizado	Sensor final de carrera que acciona motor tamizador.	Piston_Compact	Señal de accionamiento de secuencia del compactador.
Sensor_Compact	Sensor final de carrera que envía señal Piston_Compact.	Piston_Molde	Señal de accionamiento de secuencia del moldeador.
Sensor_Molde	Sensor final de carrera que envía señal Piston_Molde.	Piston_Lava	Señal de accionamiento de secuencia del vaciado de la fundidora.
Sensor_Lava	Sensor final de carrera que envía señal Piston_Lava.	Fundidora	Accionamiento de los electrodos de la fundidora.
Sensor_Limpieza	Sensor final de carrera que acciona motor Limpiador.	Arranque_Troceadora	Pone en marcha el motor de 10HP de la troceadora.
Fin_Compact	Sensor final de carrera que termina secuencia compact.	Arranque_Tamizado	Pone en marcha el motor de 2HP para tamizado de arena/arcilla.
Fin_Molde	Sensor final de carrera que termina secuencia molde.	Arranque_Limpieza	Pone en marcha el motor de 2HP para remoción de pieza del molde.
Fin_Lava	Sensor final de carrera que termina secuencia fundidora.	Puerta_Chatarra_IN	Señal de apertura para la compuerta de entrada de chatarra/aluminio hacia estación de pesaje.
Apagar	Apaga el sistema y detiene todos los procesos.	Puerta_Chatarra_OUT	Señal de apertura para la compuerta de salida de chatarra/aluminio hacia estación de pesaje.
Encender	Enciende el sistema e inicia todos los procesos.	Arranque_LineaProd	Pone en marcha el motor de 10HP para tracción de línea de producción.
Emergencia	Detiene todos los procesos en caso de emergencia e impide que vuelvan a funcionar hasta solucionar.		
<b>ENTRADAS ANALÓGICAS</b>		<b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>
Peso_raw_Chatarra	Peso del aluminio sin normalizar ni escalar.	Peso_Chatarra_AI	Peso del aluminio real.
Peso_raw_Tamizado	Peso de la arena/arcilla sin normalizar ni escalar.	Peso_Tamizado_AI	Peso de la arena/arcilla real.

**Tabla 2.2.4: Tabla de E/S de la programación en PLC S7-1200 CPU 1215C.**

## 2.2.5 Algoritmo de programación

Para la programación en el PLC, se realizó un pseudocódigo indicando paso a paso el procedimiento del tamizado de la arena del molde, su compactación, modelación, la trituración de la chatarra, su fundición, vertimiento del metal líquido en el molde, y traslado de la pieza resultante. En primer lugar, se verifica que el sistema se encuentre encendido, luego empieza a detectar presencia de alguna de las cajas en los sensores final de carrera, etapa por etapa, previamente descritas anteriormente como una secuencia. Se puede apreciar las señales que se activan dentro del diagrama de flujo, si las señales no se encuentran mencionadas, se asume que se encuentran apagadas.



**Figura 2.2.5: Pseudocódigo del proceso de la planta fundidora para la elaboración de la estructura base de luminarias LED.**

## 2.2.6 Topología de Red

Haciendo énfasis en la distribución óptima de recursos se establecieron tres secciones que permitirán el control de varias etapas previamente mencionadas. Uno de los tableros sugeridos, incluirá el accionamiento y control de los motores de dos caballos de fuerza; otro tablero se encargará de los de diez caballos de fuerza; Por último, el tablero principal de control recibirá todas las señales provenientes tanto de la periferia descentralizada ET200SP como del switch SCALANCE XB008.

En el primer bloque de conexiones según la topología diseñada, se encontrará que el PLC y el primer HMI se vinculen con el switch SCALANCE que se encuentra en el segundo bloque de la topología, en el segundo bloque de la topología se observará a este switch previamente mencionado, junto al segundo HMI que también se conectará a él. Por otro lado, en el tercer bloque se instalará la periferia descentralizada ET200SP junto al tercer HMI para monitoreo. Todos estos equipos se encontrarán compartiendo la misma red a través del switch mencionado. Además, la ET200SP poseerá dos módulos I/O analógicos y en serie a este módulo de comunicación se encontrarán los drives.

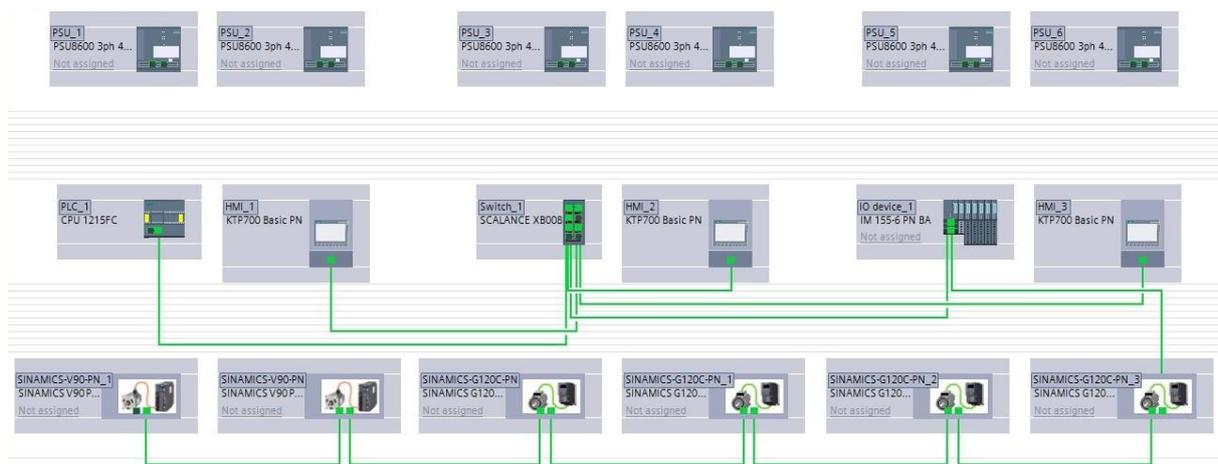


Figura 2.2.6: Topología principal del proceso de la planta fundidora del diseño.

### 2.2.7 Dimensionamiento de tableros

Basada en la topología de la red, El PLC S7-1200 con CPU 1215C DC/DC/DC se encontrará compartiendo un tablero de control con el primer HMI Basic Panel 7" en un área separada de la planta fundidora.

En la parte interior se encontrarán instalados:

- PLC S7-1200 con CPU 1215C DC/DC/DC
- 2 fuentes de alimentación SITOP PSU 6200 (CPU y HMI)
- 2 drives SINAMICS V90 (servocontrol)
- 2 módulos de poder PM240FSA
- Disyuntores:
  - 3P50A/230V (Principal)
  - 2P10A/230V (SITOP)
  - 2P10A/230V (SITOP)
  - 3P20A/230V (V90/PM240FSA)
  - 3P20A/230V (V90/PM240FSA)

En la parte exterior se encontrarán instalados:

- HMI Basic Panel 7"
- 2 pulsadores de encendido y apagado (NO y NC)
- Pulsador tipo hongo para paro de emergencia

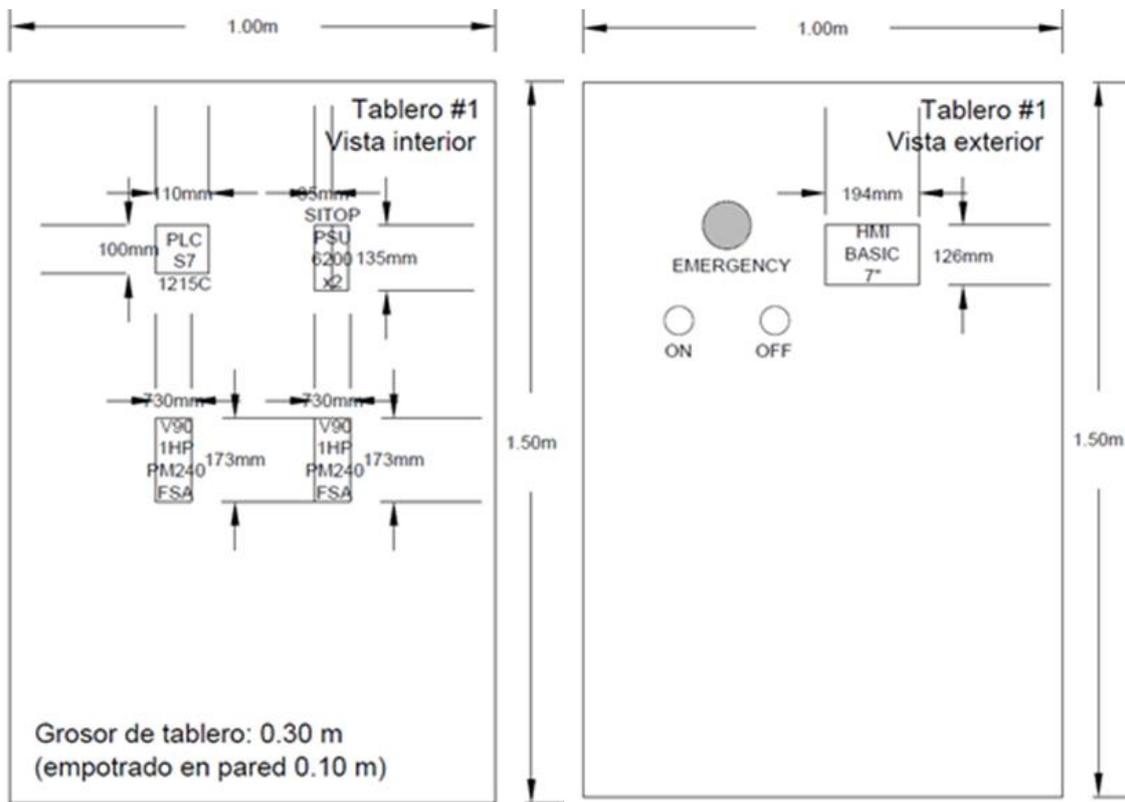


Figura 2.2.7.1: Dimensiones, equipos y vista interior/externo del primer panel eléctrico.

En el segundo tablero, se considerará la instalación del switch SCALANCE XB008 junto al segundo HMI Basic Panel 7" y a los drivers variadores de frecuencia G120C que accionan los motores de la troceadora y la línea de producción respectivamente.

En la parte interior se encontrarán instalados:

- SWITCH SCALANCE XB008
- 2 fuentes de alimentación SITOP PSU 6200 (SWITCH y HMI)
- 2 drives SINAMICS G120C (control torque de motores 10HP)
- 2 módulos de poder PM240FSC
- Disyuntores:
  - 3P250/460V (Principal)
  - 2P10A/230V (SITOP)
  - 2P10A/230V (SITOP)
  - 3P100A/460V (G120C/PM240FSC)
  - 3P100A/460V (G120C/PM240FSC)

En la parte exterior se encontrarán instalados:

- HMI Basic Panel 7"
- Pulsador tipo hongo para paro de emergencia

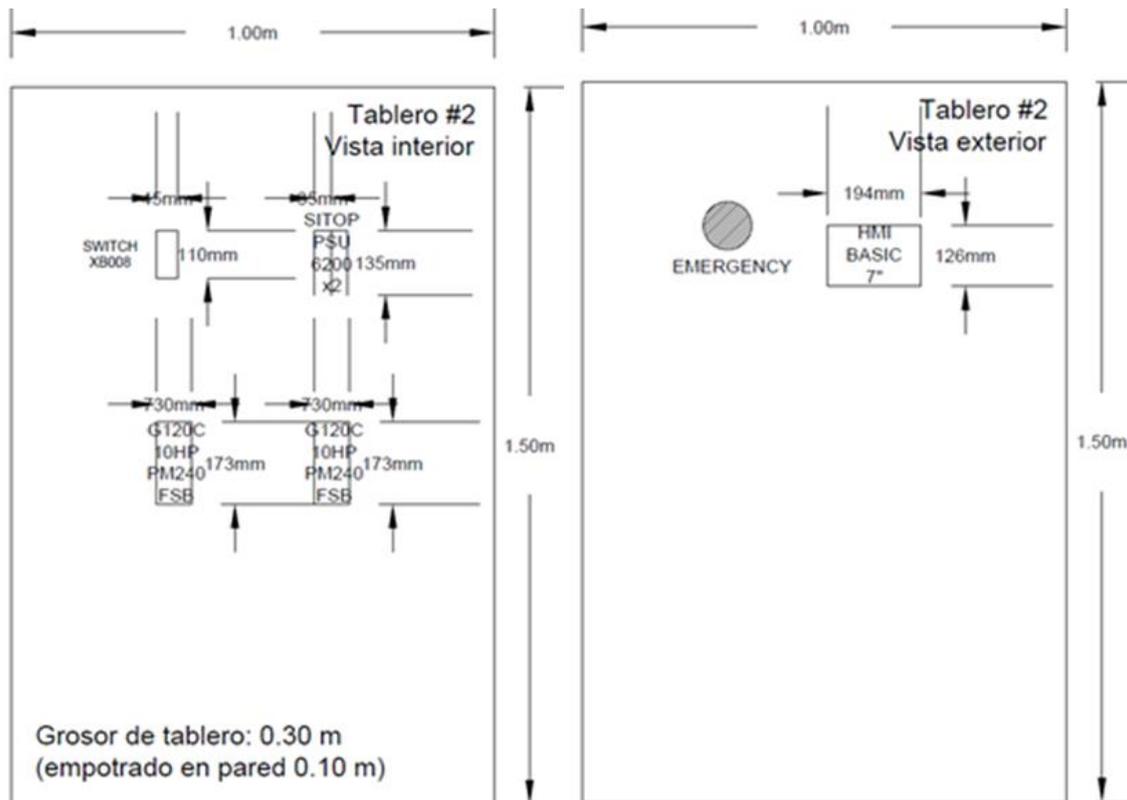


Figura 2.2.7.2: Dimensiones, equipos y vista interior/externo del segundo panel eléctrico.

Por último, el tercer tablero incluirá al periférico ET200SP con el tercer HMI Basic Panel 7" y los drivers restantes correspondientes al tamizador de arena/arcilla para el molde y al tamizador de limpieza en la salida del bloque final de aluminio.

En la parte interior se encontrarán instalados:

- ET200SP CP1542SP-1
- 2 fuentes de alimentación SITOP PSU 6200 (ET200SP y HMI)
- 2 drives SINAMICS G120C (control velocidad de motores 2HP)
- 2 módulos de poder PM240FSB
- Disyuntores:
  - 3P100A/230V (Principal)
  - 2P10A/230V (SITOP)
  - 2P10A/230V (SITOP)
  - 3P50A/230V (G120C/PM240FSB)
  - 3P50A/230V (G120C/PM240FSB)

En la parte exterior se encontrarán instalados:

- HMI Basic Panel 7"
- Pulsador tipo hongo para paro de emergencia

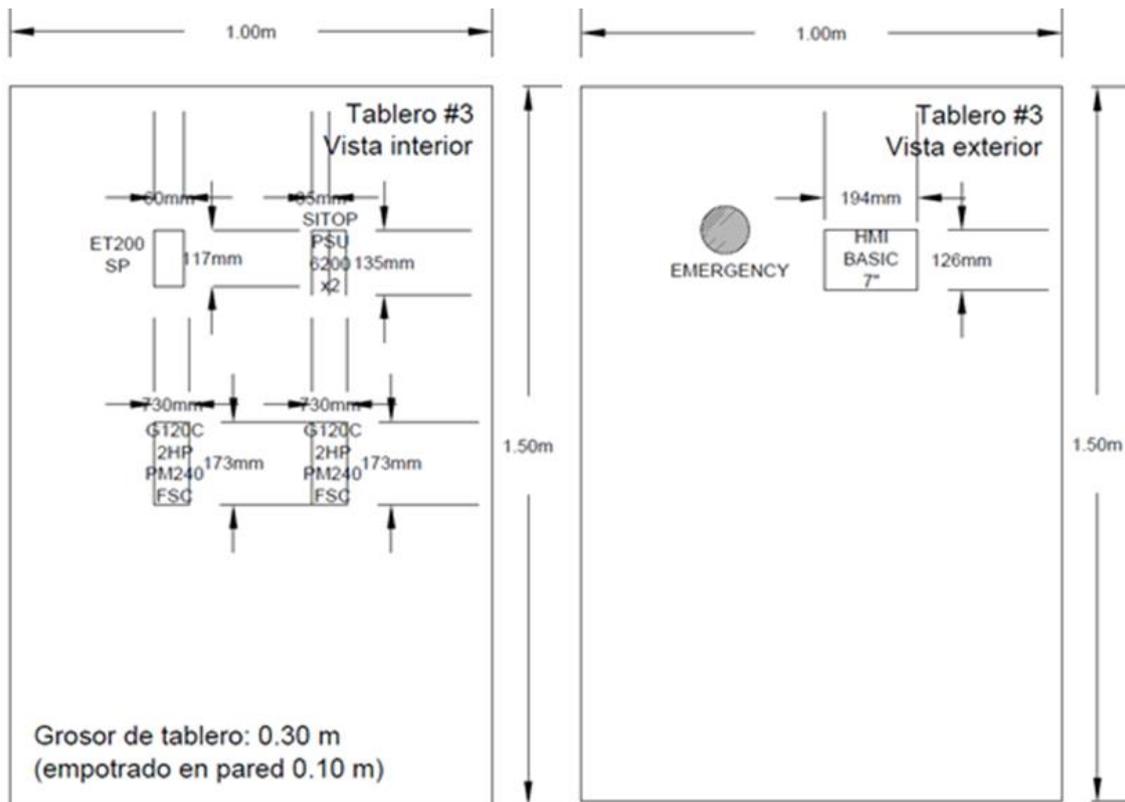


Figura 2.2.7.3: Dimensiones, equipos y vista interior/externo del tercer panel eléctrico.

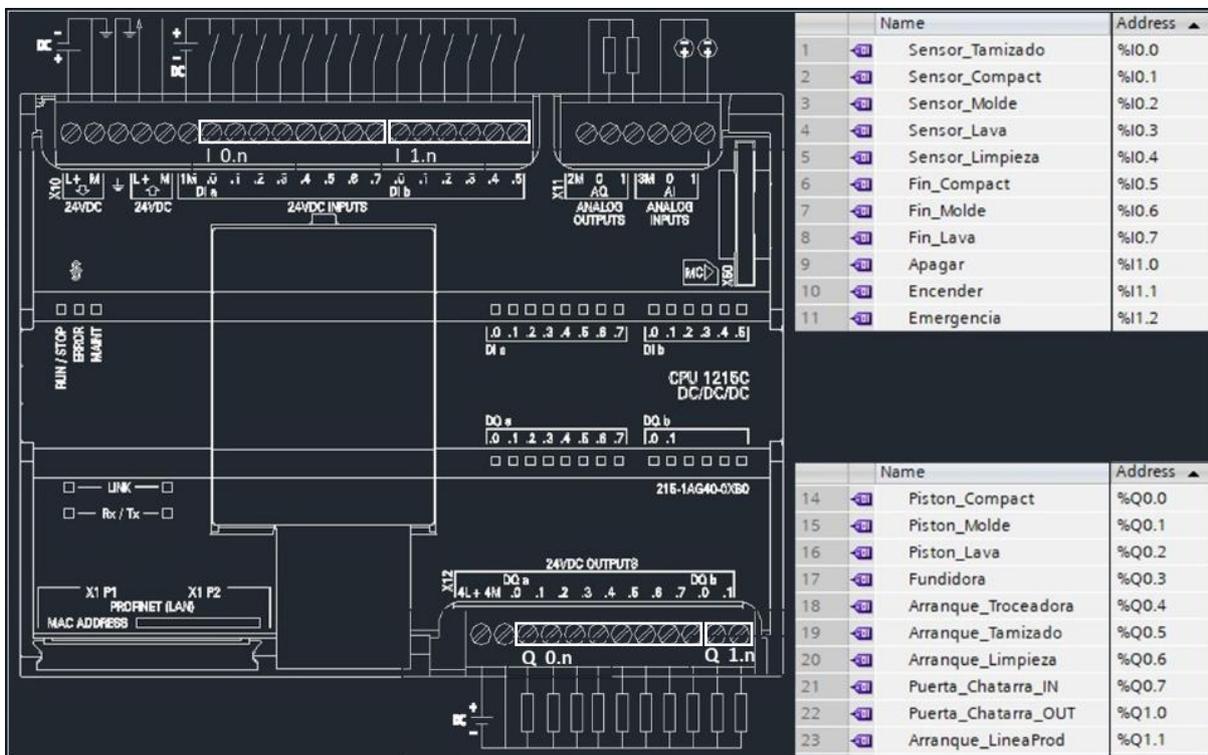
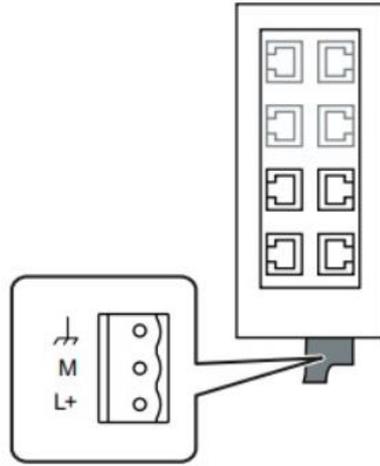
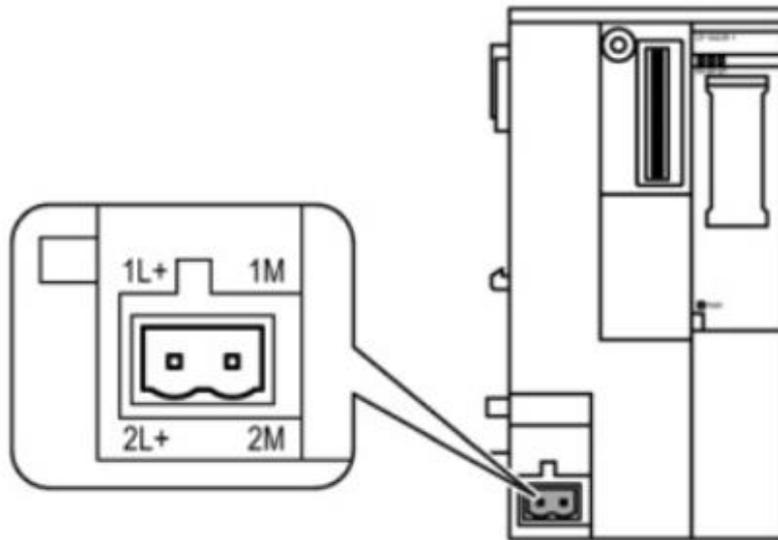


Figura 2.2.7.4: Pines de conexión del PLC S7-1200 CPU 1215C DC/DC/DC



Número de pin	Asignación
Pin 1	Tierra funcional
Pin 2	M (24 V AC, 50/60 Hz)
Pin 3	L+ (24 V AC, 50/60 Hz)

Figura 2.2.7.5: Pines de alimentación del Scalance XB008



Terminal	Asignación
1L+ / 2L+	24 V DC
1M / 2M	Masa

Figura 2.2.7.6: Alimentación del ET200 SP (CP1542SP-1)

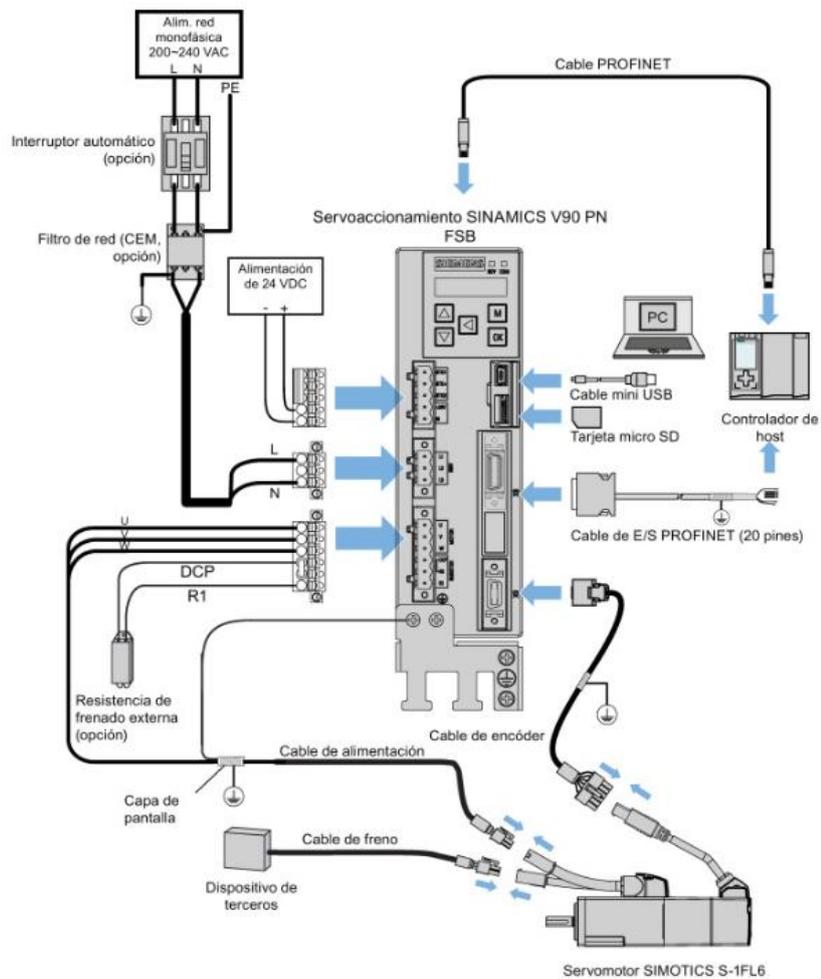


Figura 2.2.7.7: Conexiones del Sinamics V90 junto con el Servomotor S-1FL6

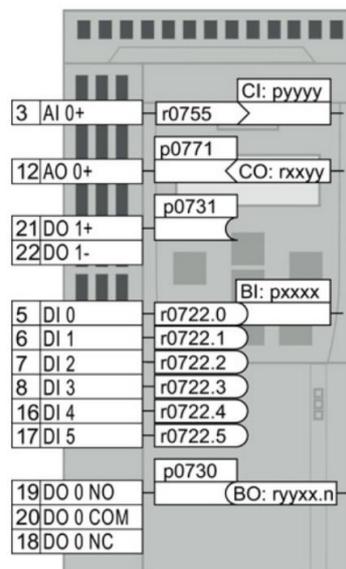
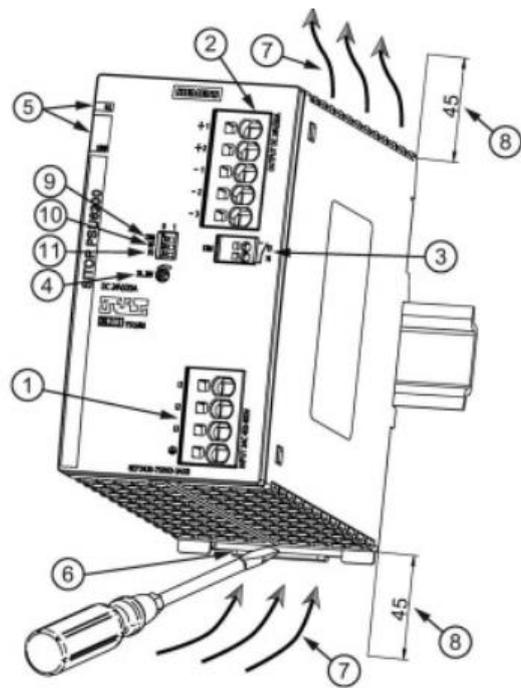


Figura 2.2.7.8: Pines de conexión para el Sinamics G120C



- ① AC/DC input
- ② DC output
- ③ Signaling contact (13, 14)
- ④ Potentiometer 24 - 28 V or 48 - 56 V
- ⑤ Indicator light, diagnostics monitor (O.K., LOAD)
- ⑥ DIN rail slider
- ⑦ Convection (natural convection)
- ⑧ Clearance above/below
- ⑨ Diagnostics interface (COM)
- ⑩ DC voltage level increase (HV)
- ⑪ Parallel operation (PO)

Figura 2.2.7.9: Puertos de conexión SITOP PSU6200

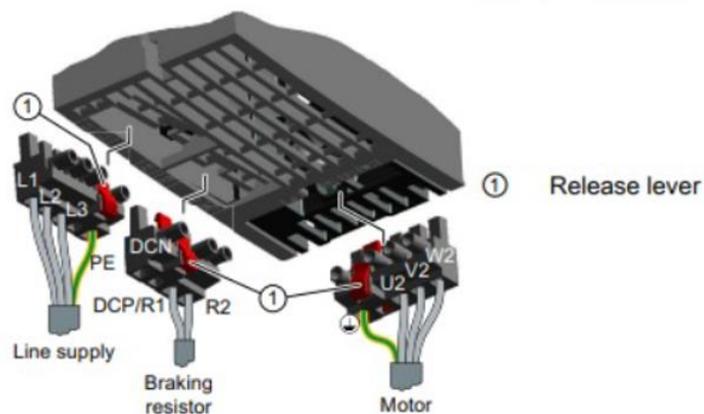
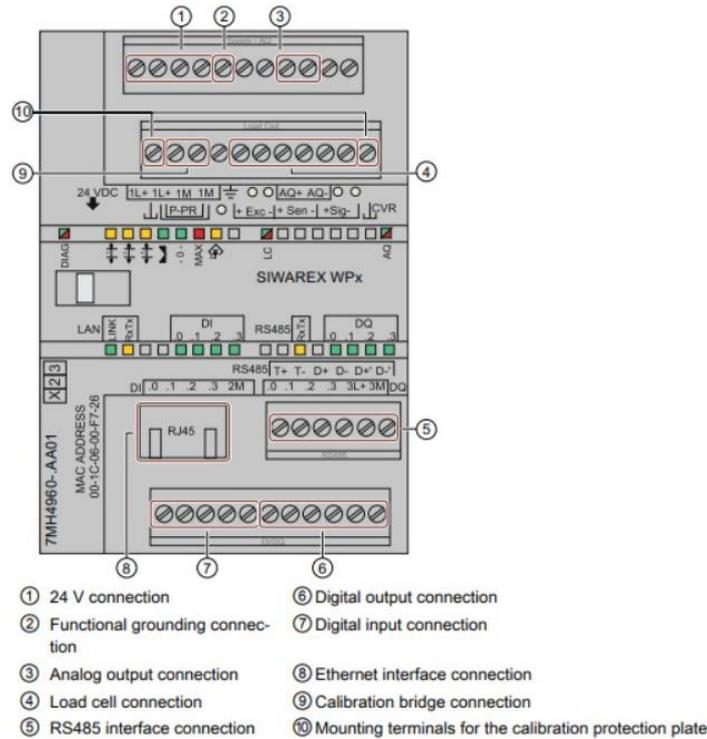
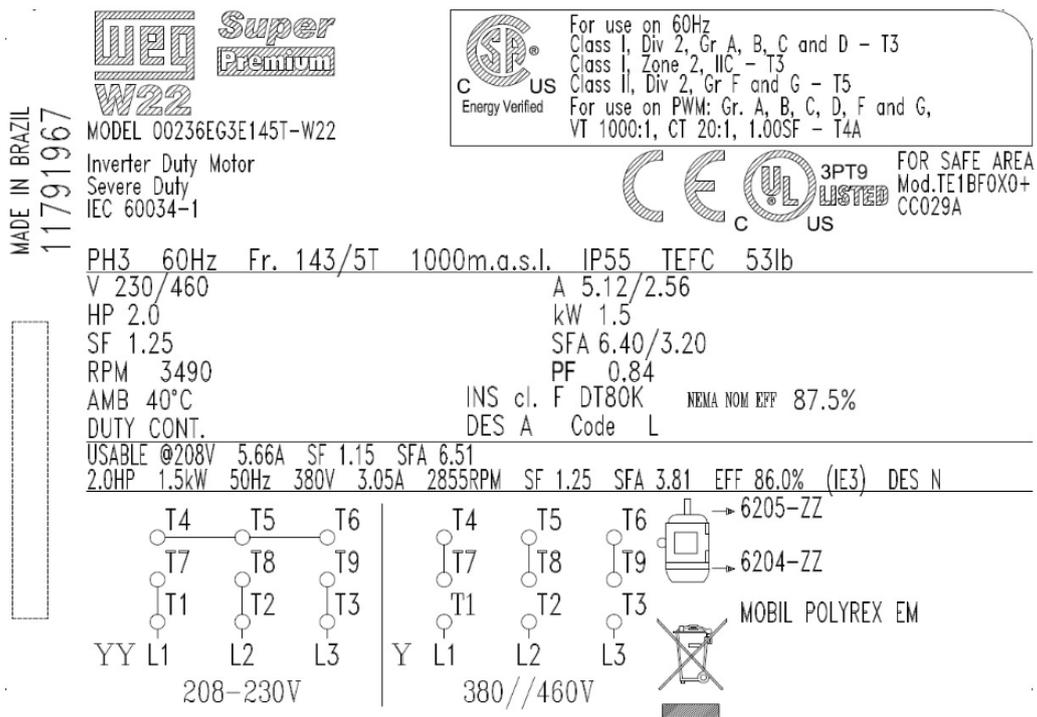


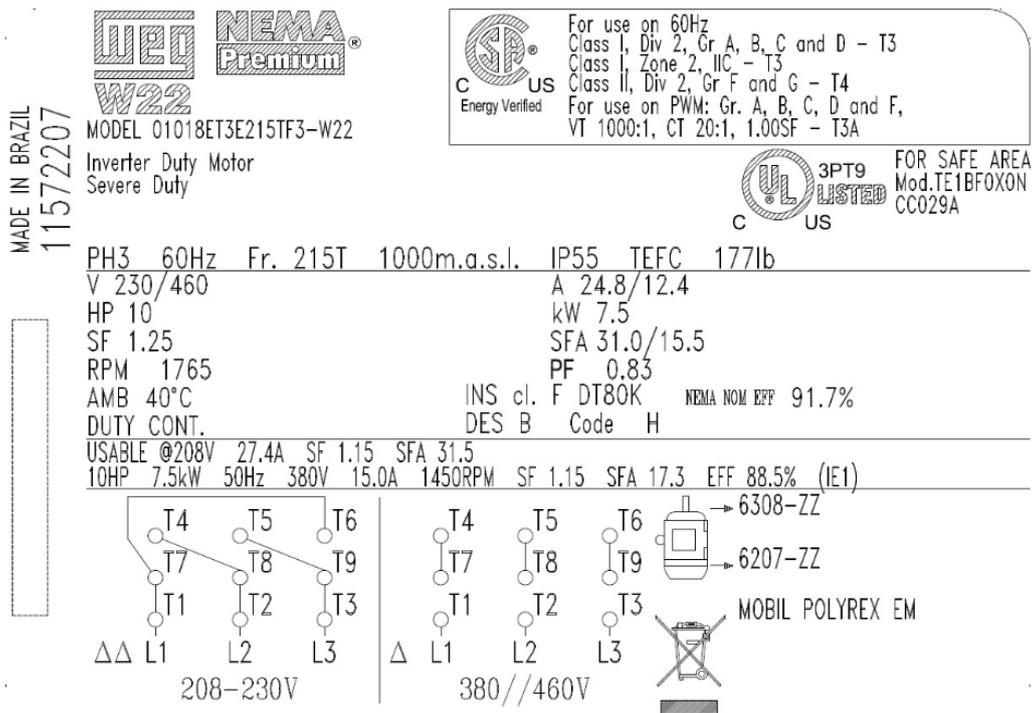
Figura 2.2.7.10: Alimentación y conexiones del Power Module PM240-2



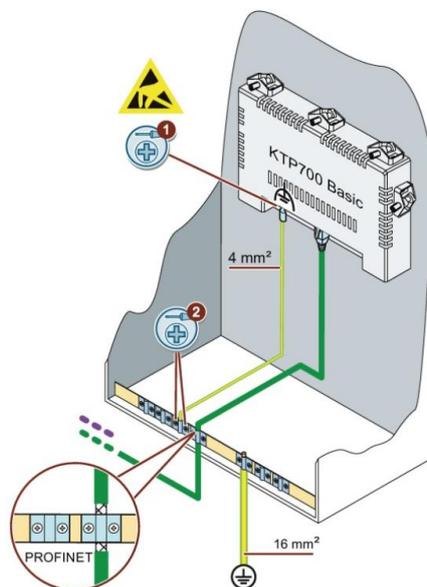
**Figura 2.2.7.11: Pines de conexión de la celda de carga Siwarex WP231**



**Figura 2.2.7.12: Conexiones y datos de placa del Motor WEG de 2 HP**



**Figura 2.2.7.13: Conexiones y datos de placa del Motor WEG de 10 HP**



**Figura 2.2.7.14: Alimentación del HMI KTP700 Basic**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Resultados de la fundidora

#### 3.1.1 Componente industrial

En vista de la implementación de una fundidora para la elaboración de bases de aluminio para luminarias LED se han tomado las debidas consideraciones para optimizar la producción de estos, entre ellos, la seguridad, lo que implica cuidado y precaución adecuado en las cercanías de la caldera por las altas temperaturas. Esto también aplica para los instrumentos y equipos que están involucrados en este proceso industrial.

En consecuencia, se ha aprovechado el espacio disponible para seccionar cada etapa del proceso con sus respectivas medidas de seguridad.

La implementación de una fundidora para la producción de bases de aluminio destinadas a luminarias LED involucra consideraciones cruciales para optimizar la producción y asegurar la seguridad. Esto implica la aplicación de medidas de precaución en torno a las altas temperaturas cerca de la caldera y la implementación de medidas de seguridad para los instrumentos y equipos en el proceso industrial. Además, se ha diseñado un esquema de secciones para cada etapa del proceso, garantizando un enfoque en la seguridad.

El proceso ha logrado una optimización del uso de materia prima, con éxito en la reutilización del material excedente tanto en la elaboración de moldes como en el proceso de fundición.

### **3.1.2 Componente mecánico**

Los equipos involucrados fueron seleccionados cuidadosamente para cumplir con los objetivos requeridos, sin omitir una posible expansión. Además, se consideró el rango de precios de acuerdo con las capacidades necesarias para cada elemento mecánico.

Se usaron 4 motores, de los cuales dos de ellos se enfocarán en el torque producido para efecto de la troceadora y la línea de producción, y los dos restantes en la velocidad, uno para procurar un correcto tamizado de la arena o arcilla necesaria para la elaboración de los moldes y el otro para garantizar que la pieza final salga del molde con facilidad. Para los pistones, se han diseñado tres secuencias que funcionan directamente con los sensores en la planta para ejecutar cíclicamente.

En síntesis, se procuró que no existan intervenciones entre cada componente mecánico para evitar daños o cualquier potencial peligro debido a la falla de estos.

La configuración mecánica se ha diseñado de tal manera que los componentes interactúen sin intervenciones manuales, minimizando riesgos potenciales por fallos.

### 3.1.3 Componente automatización

El sistema propuesto refleja una serie de etapas a ejecutarse en secuencia, a excepción del procesamiento del aluminio destinado a fundición. Cada sensor de final de carrera acciona cada una de estas etapas, en las cuales se detiene la línea de producción hasta culminar dicha secuencia, es aplica tanto para la activación de los motores como para los pistones, se puede observar una diferencia mínima entre cada subproceso.

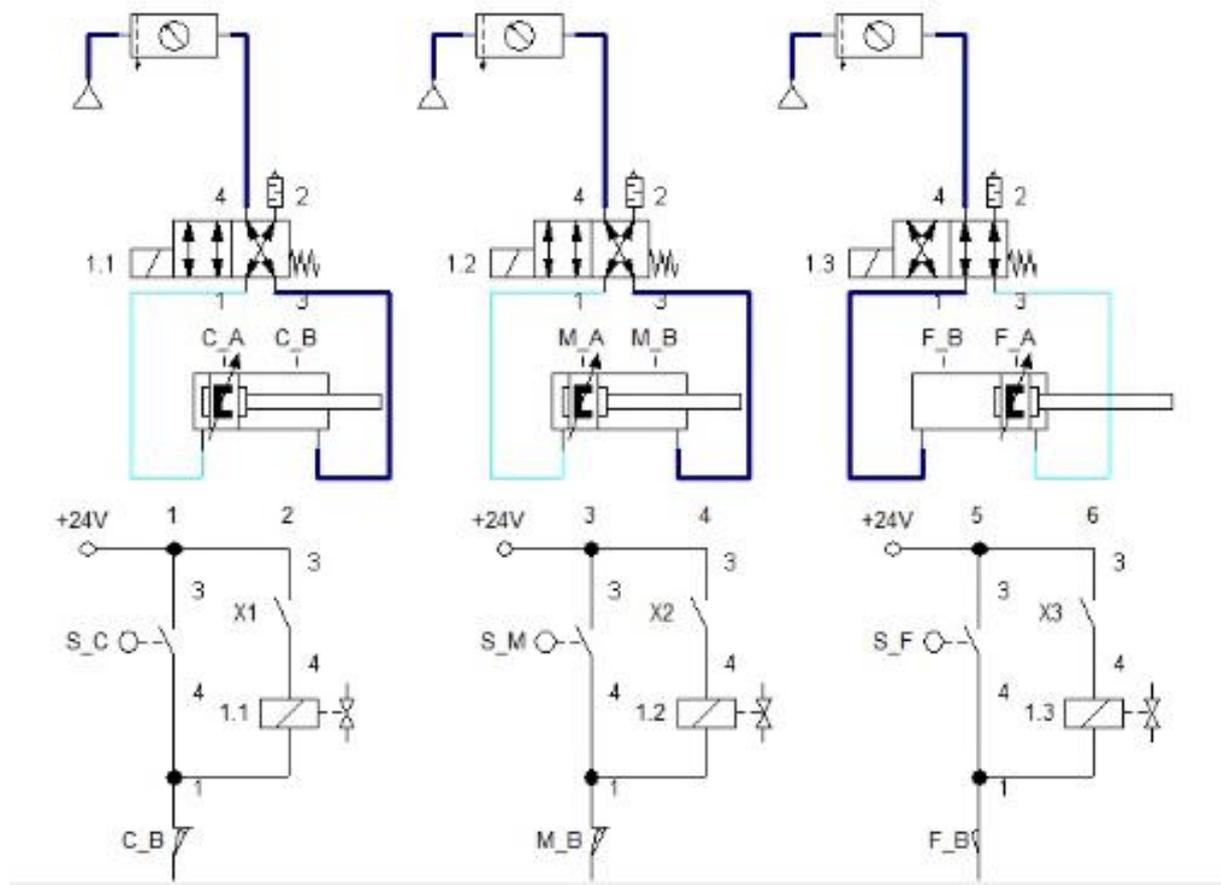
El uso del PLC seleccionado, así como los demás componentes referentes a la automatización, conservan una sinergia adecuada y sincronizada para la elaboración efectiva de las bases para luminarias LED requeridas.

El tiempo es uno de los factores más importantes a considerar, puesto que, se necesitó optimizar el volumen de producción de acuerdo con la demanda.

La simulación de la planta en Factory I/O nos muestra el funcionamiento del proyecto. Inicialmente se coloca una caja molde que irá moviéndose hasta el primer sensor final de carrera, que corresponde a la etapa de tamizado.

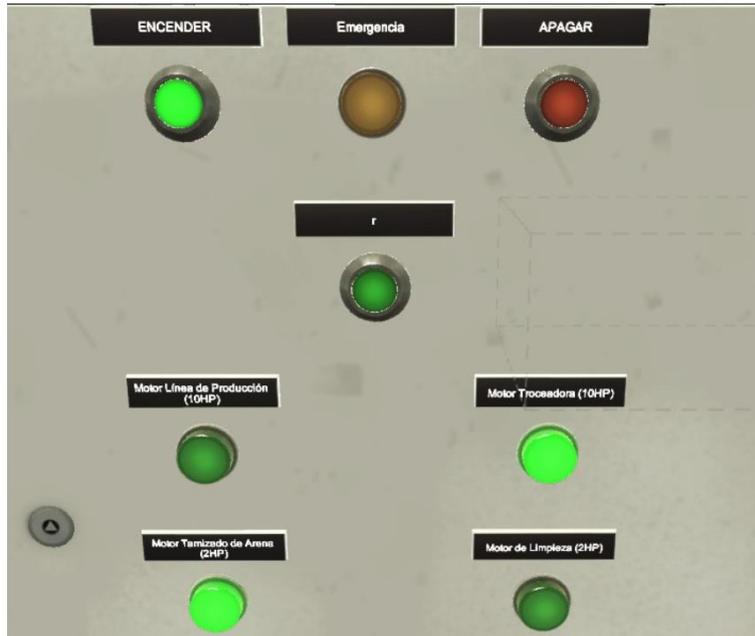


**Figura 3.1.1: Simulación de la planta fundidora.**



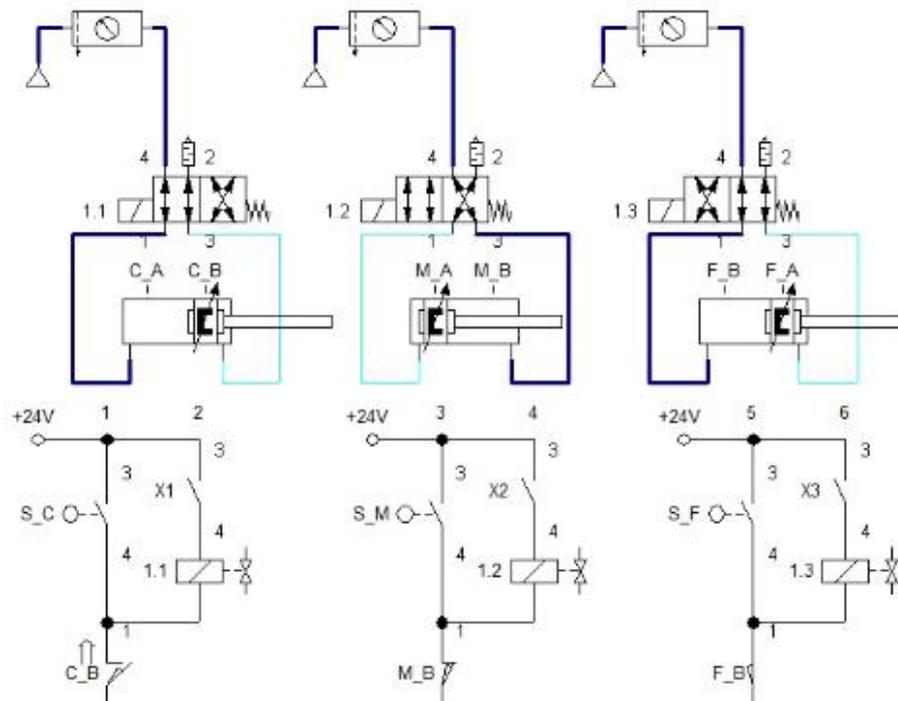
**Figura 3.1.2: Pistones de compactación, modelación y fundidora de la planta en su estado inicial.**

Cuando la caja molde se detiene por medio del primer sensor final de carrera, el motor de la tamizadora de arena se enciende, lo cual llena de arena dicho molde. A su vez, el motor de la troceadora quedará encendido para cuando la celda de carga de la etapa trituradora tenga el peso adecuado.



**Figura 3.1.3: Encendido de la planta fundidora y funcionamiento de la etapa de tamizado.**

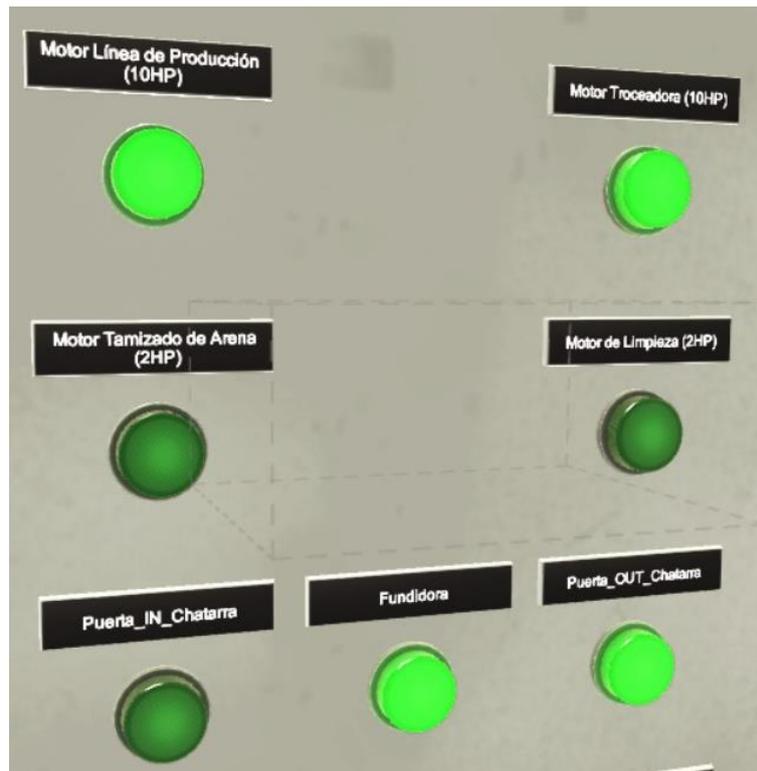
Luego, la línea de producción vuelve a mover la caja molde hasta el segundo sensor final de carrera, apagando el motor de la tamizadora de arena. Llegando a ese sensor se activa el pistón de compactación. Al bajar este pistón aplastará la arena para que se compacte en el molde. Mientras tanto, cuando la celda de carga midió el peso necesario de la chatarra, abrirá una compuerta que da paso a que dicha chatarra sea triturada y se encenderá la fundidora para que esté lista más adelante.



**Figura 3.1.4: Accionamiento del pistón de compactación.**

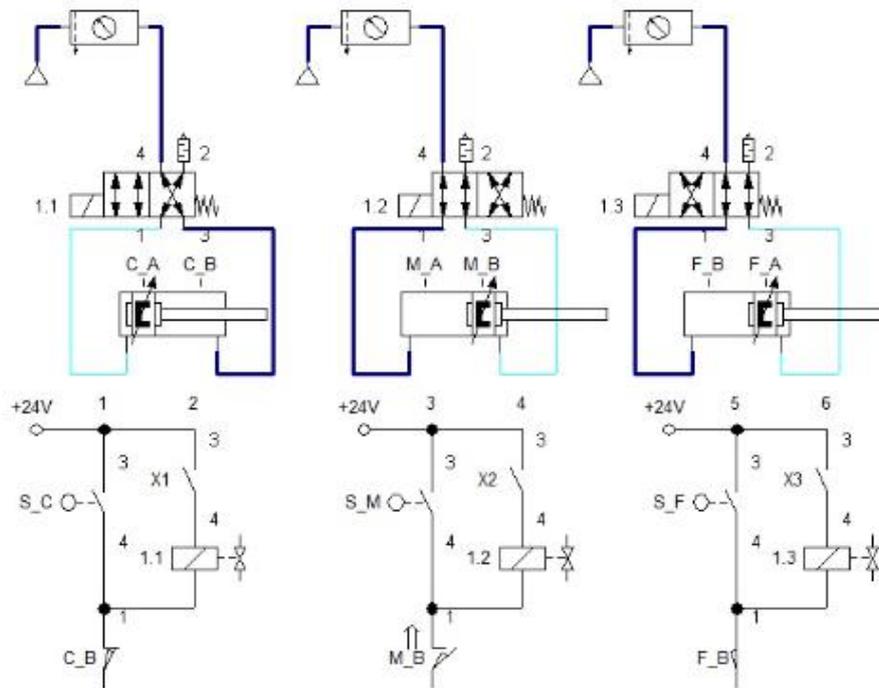


**Figura 3.1.5: Pesaje de la chatarra mediante la celda de carga.**

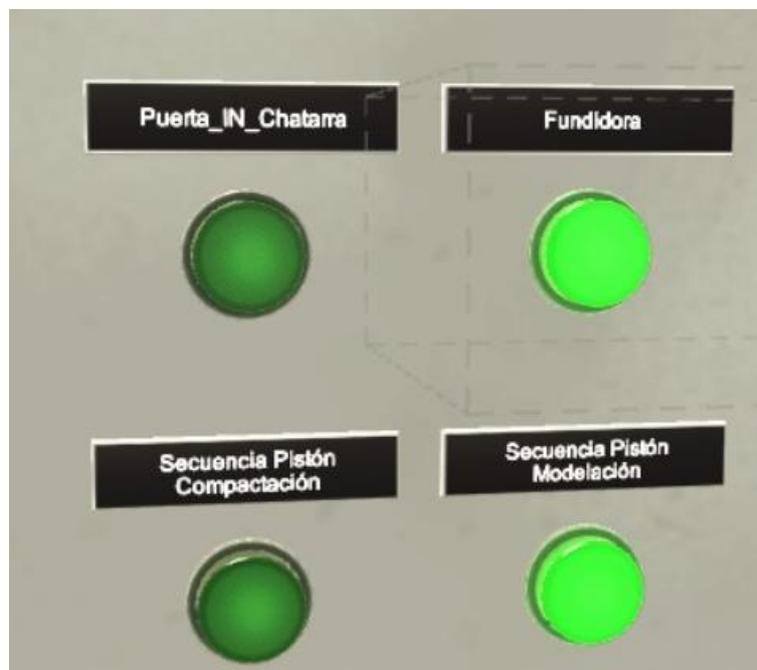


**Figura 3.1.6: Apagado del motor de tamizado y accionamiento de la trituradora y fundidora.**

Cuando el pistón de compactación termina de subir se activará nuevamente la línea de producción, moviendo la caja molde al tercer sensor final de carrera correspondiente al pistón de modelación. Este pistón tiene una función similar al de compactación, con el fin de que la arena quede moldeada y lista para que se vierta el metal líquido. Simultáneamente, el metal triturado se ha vertido en la fundidora para derretirse. La fundidora alcanzó temperaturas de 680 °C, lo suficiente para que se liquidifique el aluminio.



**Figura 3.1.7: Accionamiento del pistón de modelación.**

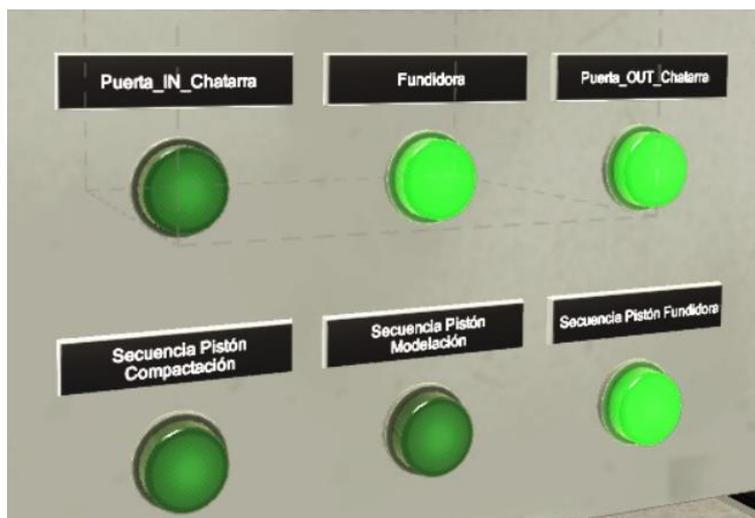


**Figura 3.1.8: Accionamiento de la etapa de modelación y calentamiento de la fundidora.**

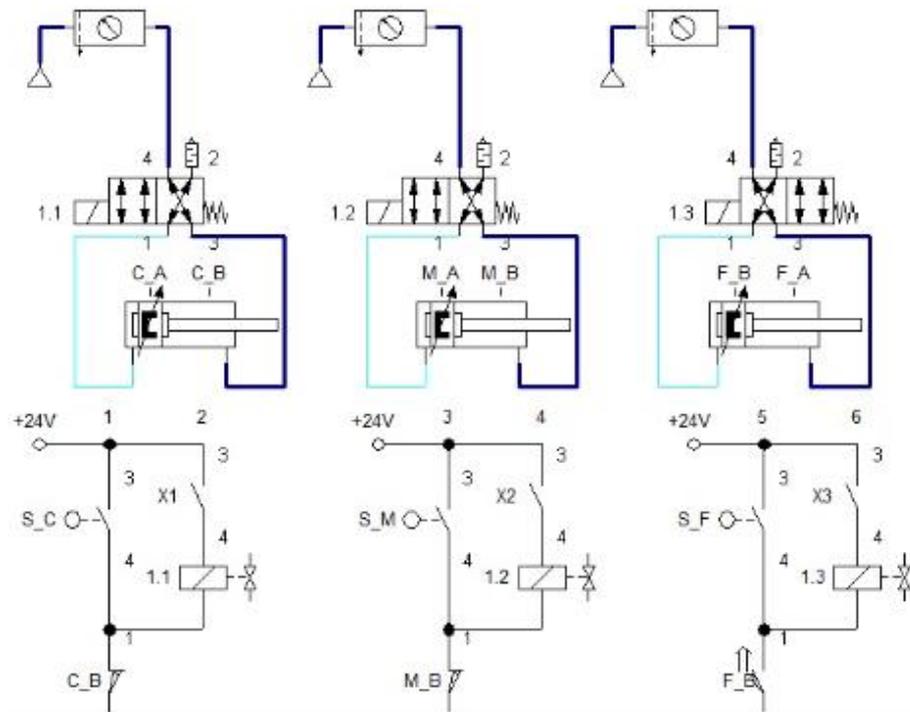


**Figura 3.1.9: Movimiento de la caja molde en la línea de producción.**

Cuando el pistón de modelación termina de subir, se activa la línea de producción, moviendo la caja molde debajo de la fundidora. Una vez que se acciona el cuarto sensor final de carrera, el pistón de la fundidora esperara a que transcurran dos minutos, asegurando que el metal este líquido. Posteriormente, se acciona el pistón de la fundidora, el cual lo levantará para verter el metal en el molde.



**Figura 3.1.10: Activación de la etapa fundidora.**



**Figura 3.1.11: Activación del pistón de la fundidora.**

Una vez finalizado, el pistón de la fundidora regresará a su posición original para que la fundidora vuelva a estar lista para derretir otra dosis de chatarra. Después, la línea de producción trasladará la caja molde con el metal líquido dentro hacia el quinto sensor final de carrera, lo que activará el motor tamizador de limpieza, mientras se enfría el metal hasta solidificarse. Este motor se encarga de sacudir la arena del molde y obtener la base LED solidificada, y posteriormente, llegara a motor de limpieza, que limpiara con agua la pieza, quitando el exceso de arena y enfriándolo aún más.

Finalmente, esta base sólida se almacenará y se enviará a una máquina CNC para realizar el diseño y pulido de la pieza base.

Para el apagado del sistema se realiza de dos formas, una de ellas es mediante un botón de apagado, y otro es el paro de emergencia. Estos detendrán por completo todos los procesos de la planta.

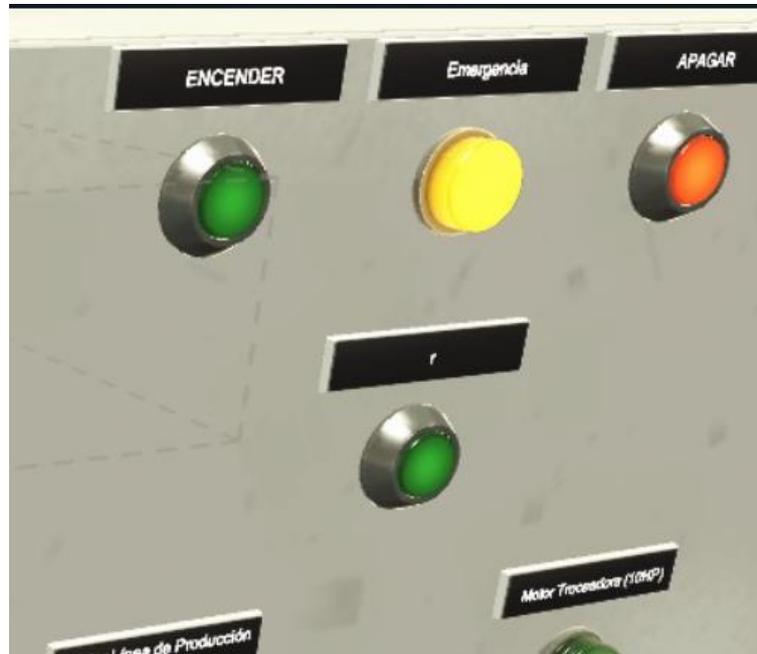


Figura 3.1.12: Desactivación de la planta mediante paro de emergencia.

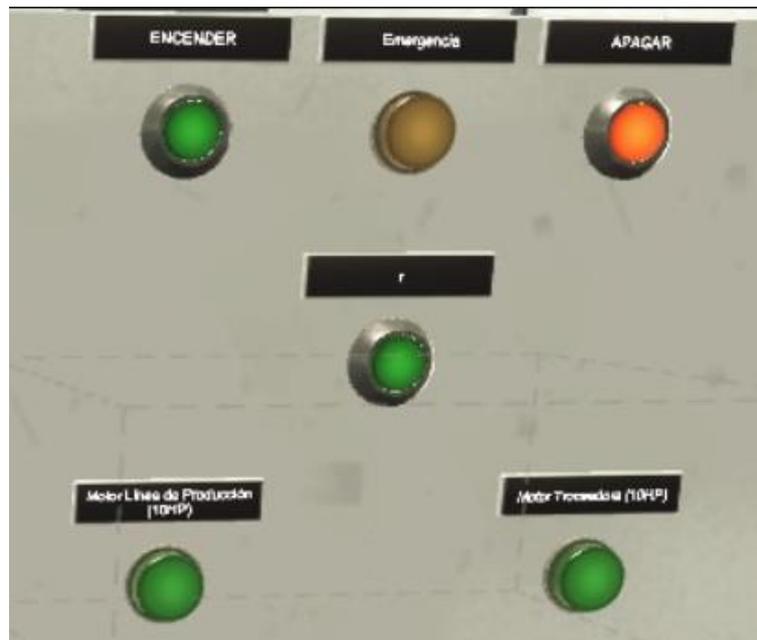


Figura 3.1.13: Apagado de la planta fundidora.

### **3.2 Resultado de la programación para el control del proceso**

Debido a la dependencia de los sensores, todo el sistema se ejecuta por etapas. Cada una de ellas con su respectivo accionamiento y final de proceso. En algunos casos, se usó temporizadores para que coincida el final de una etapa con otra, como es el caso de la fundición y el traslado del molde hacia la posición exacta donde recibirá el aluminio líquido. Esto, sin ignorar el tiempo que puede tardar individualmente cada secuencia de pistón, puesto que no se debe solidificar el aluminio dentro de la caldera luego de desactivarse la fundidora, generando un problema de desincronización.

Se enfatizó el uso de las interfases HMI para el monitoreo del proceso y para el ingreso de los parámetros de peso respectivos para la cantidad de arena/arcilla para la elaboración de los moldes y para la cantidad de chatarra/aluminio que será fundida, esto será dependiendo del diseño de la base a producir.

Por lo tanto, se establecieron dos funciones que permitirán escalar el valor medido de peso, además de las comparaciones en el programa principal para validar que el peso medido sea el requerido.

El accionamiento de las compuertas de la etapa de troceado, de los motores, de las secuencias de los pistones en cada una de las etapas donde fueron implementadas, todo será controlado por el programa principal.

En cuanto al mecanismo de encendido, se presenta la siguiente imagen donde se puede observar los estados iniciales de las señales de salida al momento de pulsar el botón “encender”, ya sea en el tablero de control o en alguno de los HMI.

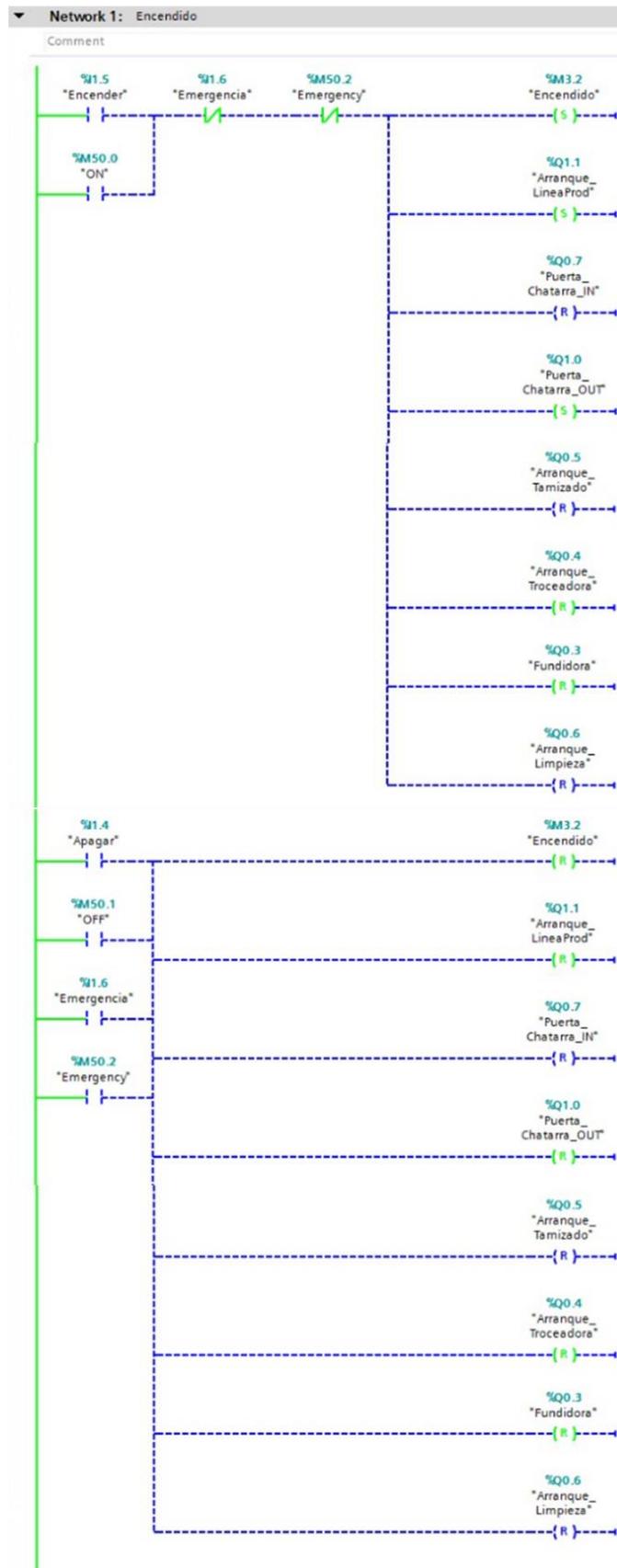


Figura 3.2.1: Algoritmo Ladder para el encendido del sistema y asignación de variables iniciales.

En seguida, se aprecian tres estados de la etapa de tamizado, a partir del instante en el que la caja que portará al molde es detectada por el sensor de final de carrera, hasta que el valor de peso medido alcance el requerido y ponga fin a esta etapa.

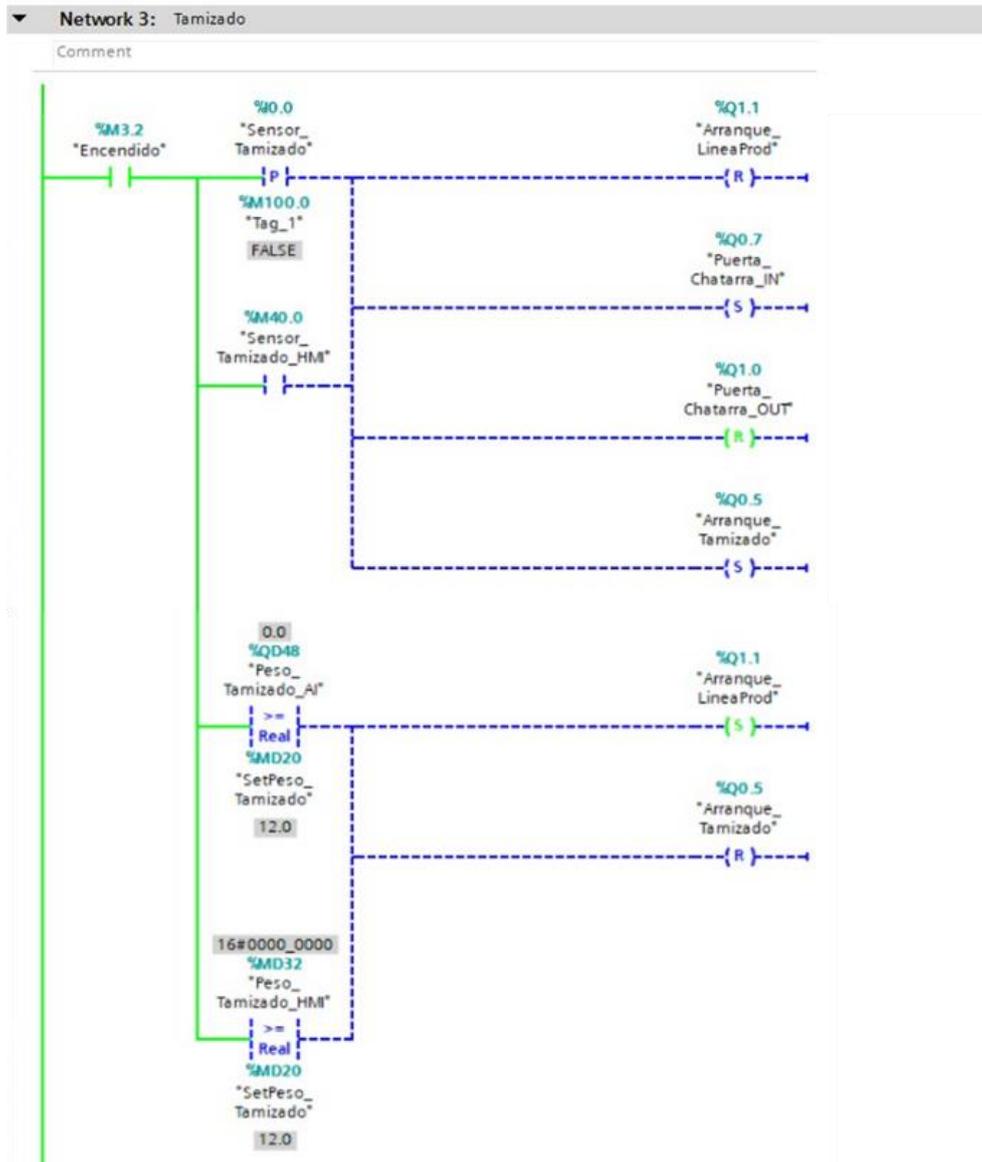


Figura 3.2.2.a: Antes de accionamiento de etapa de tamizado.

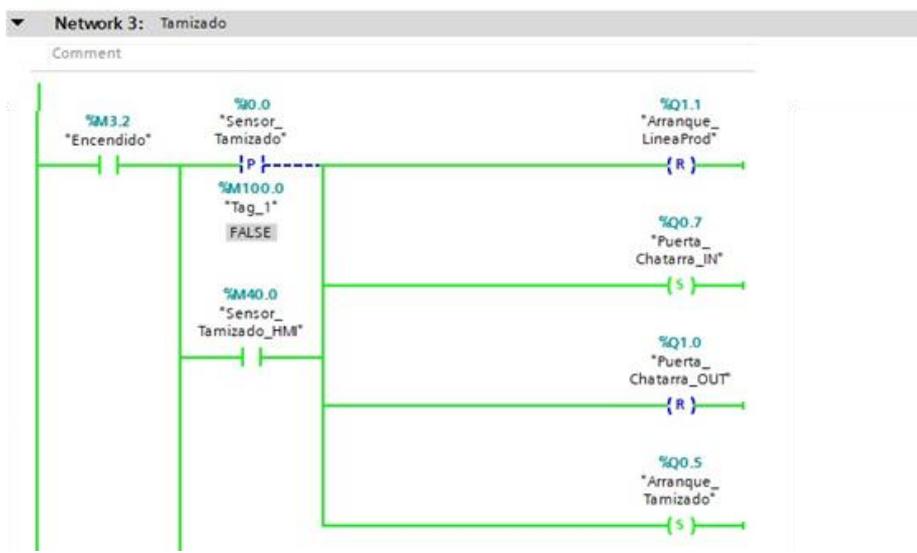


Figura 3.2.2.b: Después de accionamiento de etapa de tamizado.

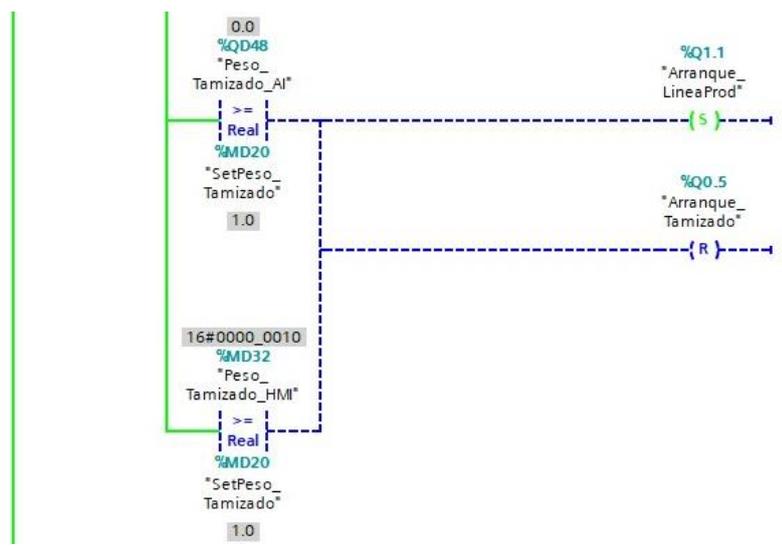


Figura 3.2.2.c: Final de etapa de tamizado.

En consecuencia, por el mismo tipo de accionamiento por sensor de final de carrera se procede a mostrar los estados correspondientes a la etapa de compactación, así como la secuencia mostrada en la **Figura 3.1.4**.

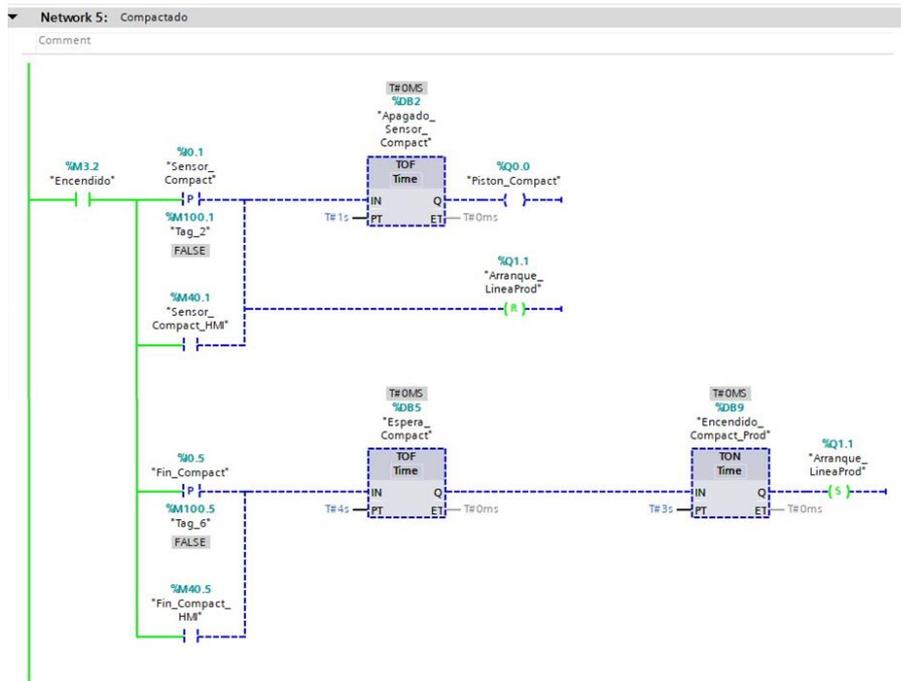


Figura 3.2.3.a: Antes de accionamiento de etapa de compactado.

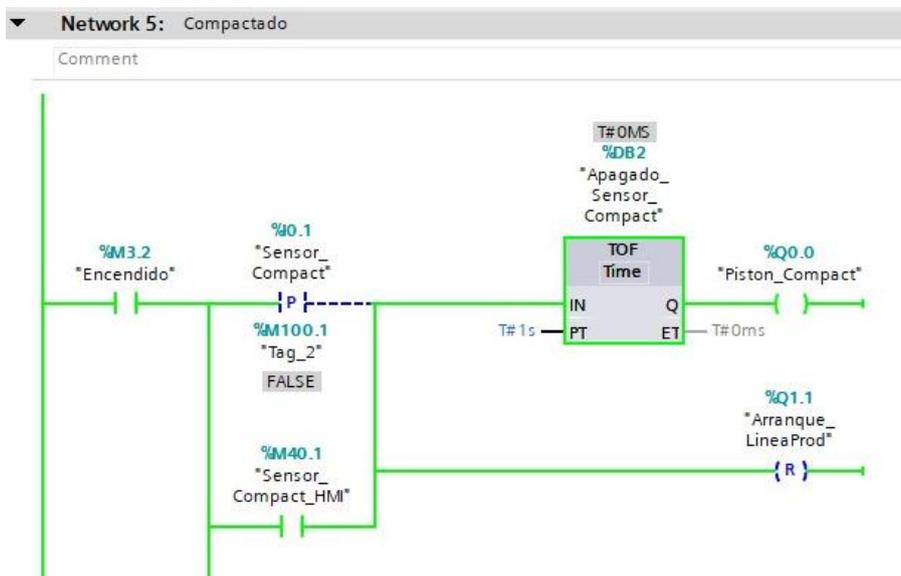


Figura 3.2.3.b: Después de accionamiento de etapa de compactado.

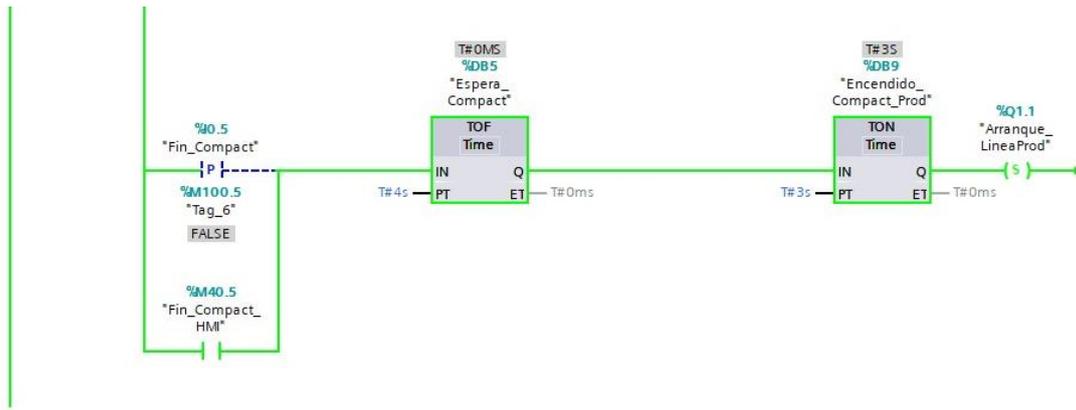


Figura 3.2.3.c: Final de etapa de compactado.

Para la etapa de modelado, ocurre exactamente lo mismo que en la etapa anterior, como se lo puede comprobar en las siguientes imágenes sobre los estados de esta etapa que se va a hacer referencia con la **Figura 3.1.7**.

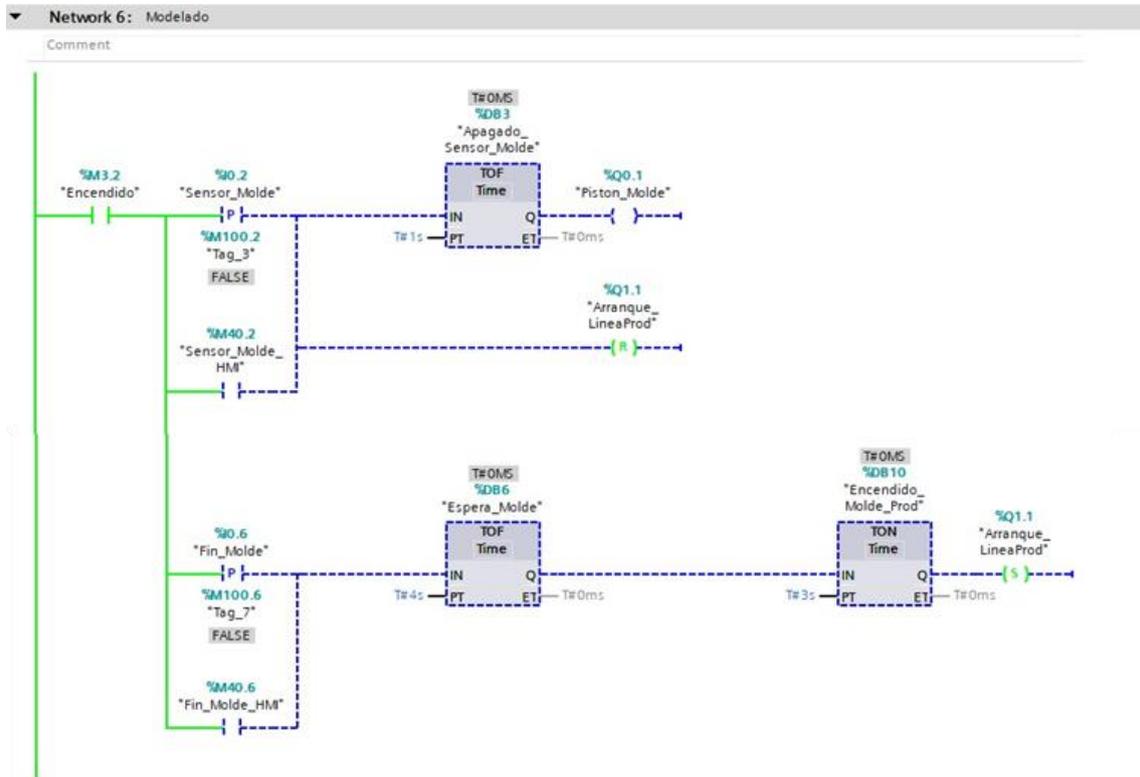


Figura 3.2.4.a: Antes de accionamiento de etapa de modelado.

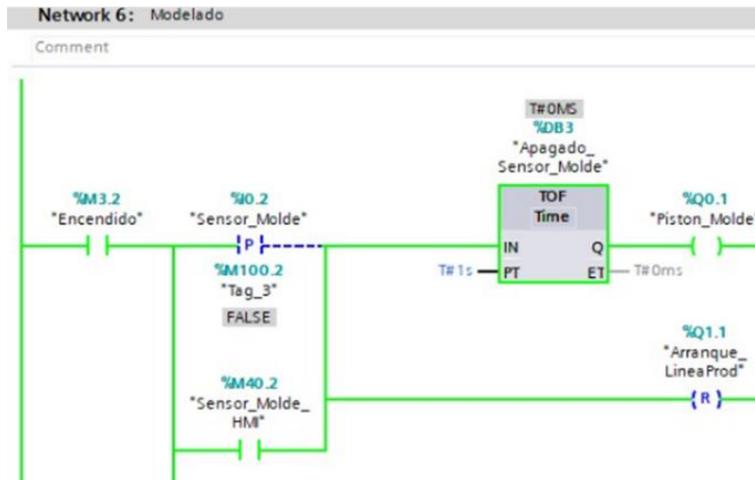


Figura 3.2.4.b: Después de accionamiento de etapa de modelado.

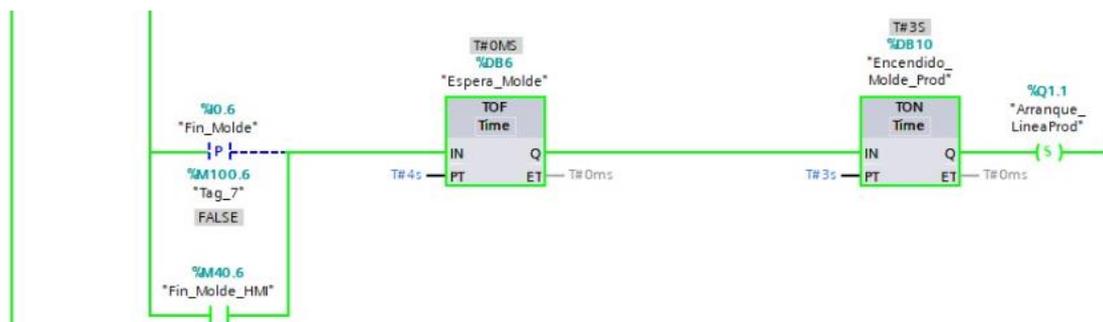
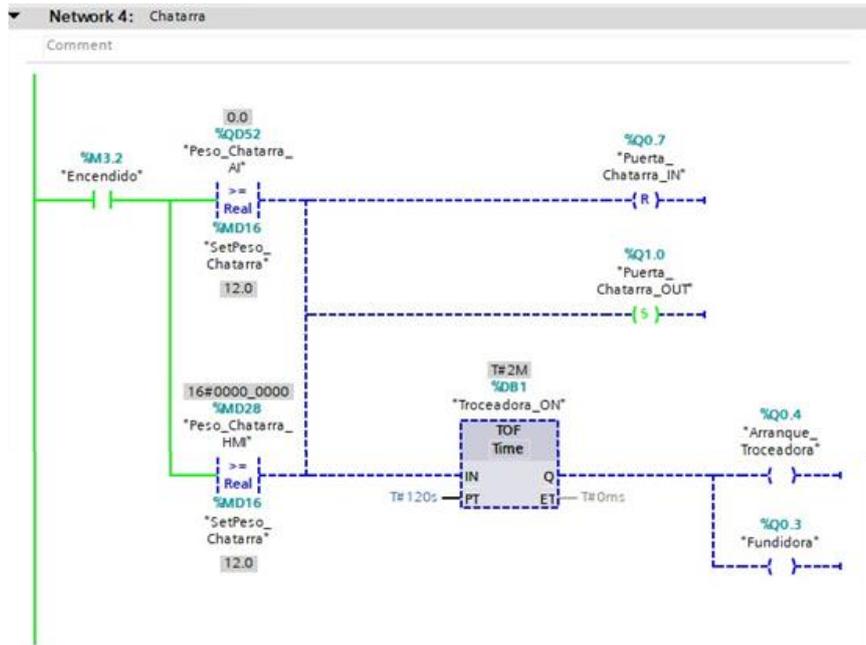


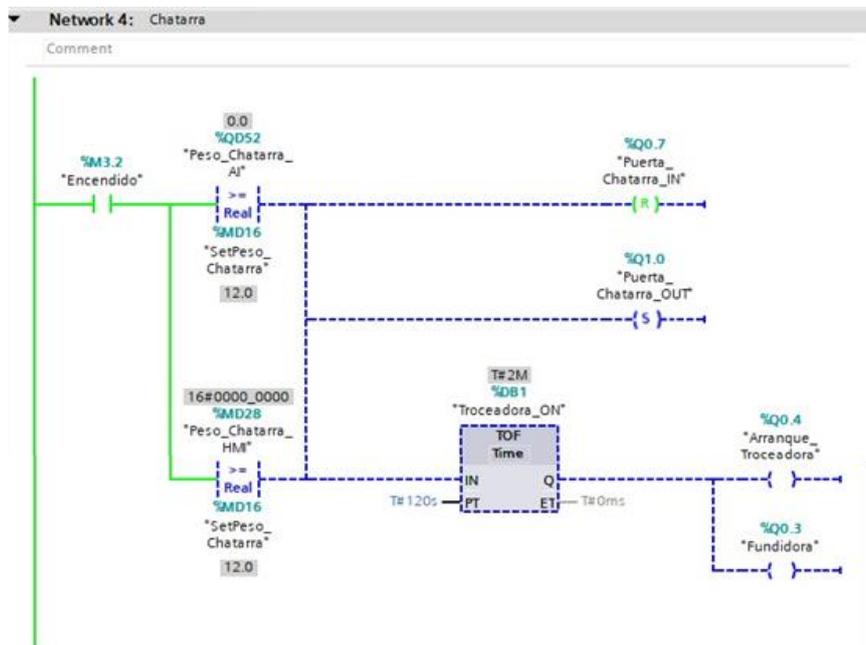
Figura 3.2.4.c: Final de etapa de modelado.

Antes de explicar la etapa de la fundidora, cabe recalcar que, al accionarse el sensor de final de carrera de la etapa de tamizado en la **Figura 3.2.2.b**, se dará inicio en simultáneo, la etapa de troceado de la chatarra/aluminio. Esto implica, que las compuertas alternadas cambiarán su estado para permitir el paso de chatarra hacia la báscula.



**Figura 3.2.5.a: Etapa de troceado antes de accionamiento por sensor de final de carrera de tamizado.**

Se puede observar cómo se alternaron las compuertas al accionarse el sensor de final de carrera de la etapa de tamizado.



**Figura 3.2.5.b: Etapa de troceado después de accionamiento por sensor de final de carrera de tamizado.**

Se agregará un temporizador (timer) para garantizar que los procesos de troceado y fundición transcurran de manera eficiente.

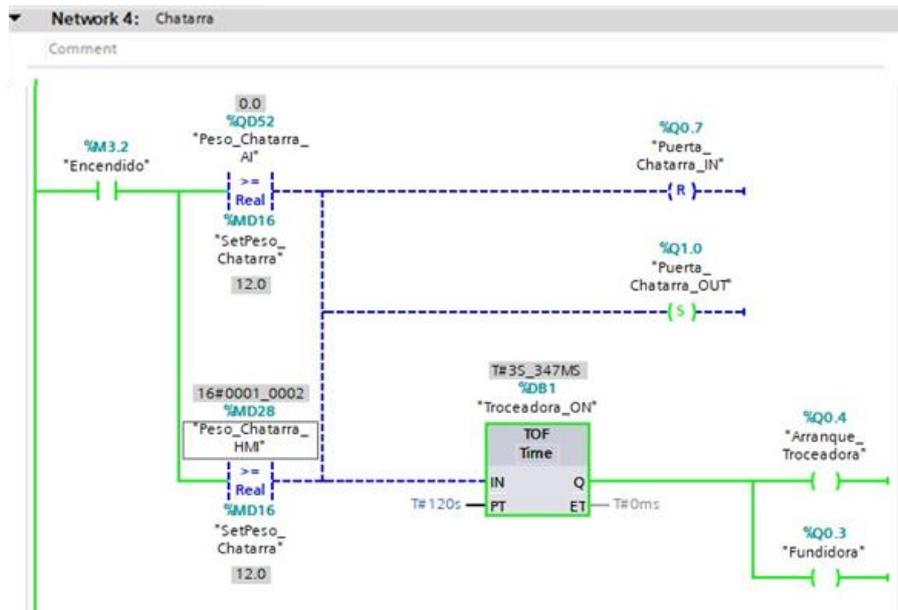


Figura 3.2.5.c: Final de etapa de troceado.

Continuando con la línea de producción, al toparse el molde ya elaborado en la caja del principio, el motor se detendrá. Conociendo que se encuentra activa la fundidora, pasado el tiempo establecido en el timer mencionado en la etapa anterior, al momento de desactivarse, se dará inicio a la última secuencia de pistón como se muestra en la **Figura 3.1.11**.

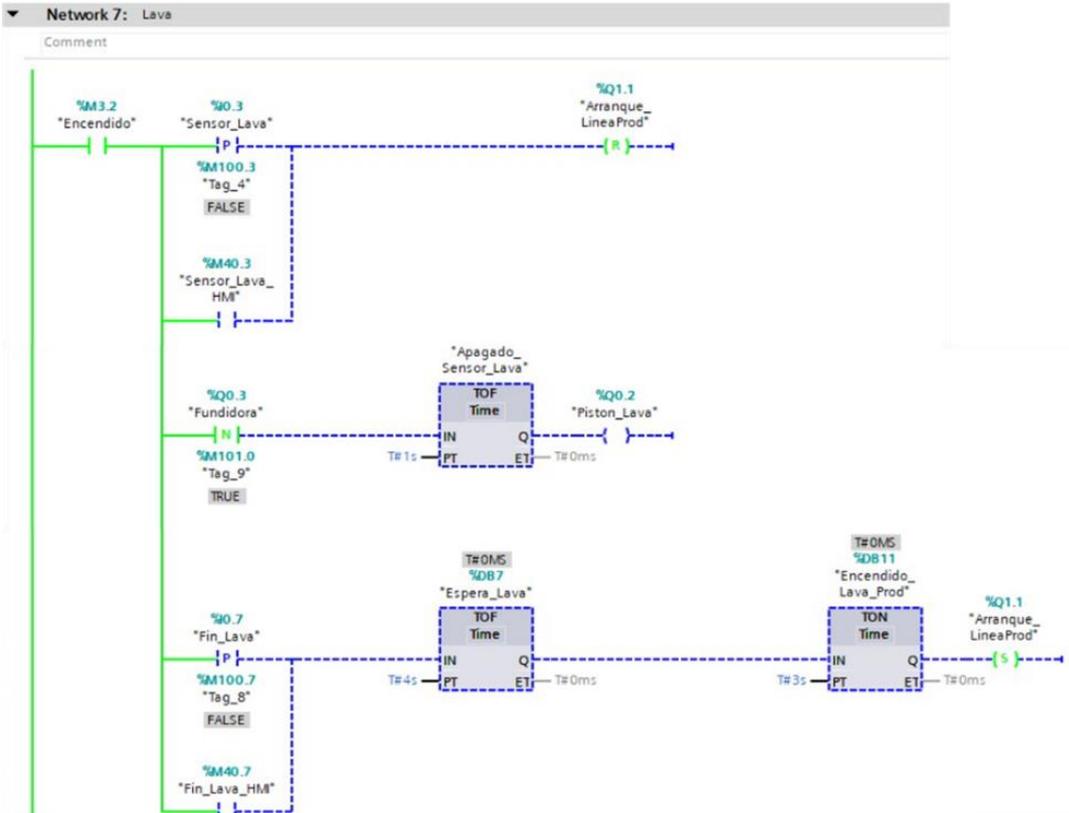


Figura 3.2.6.a: Etapa de vertido de aluminio líquido antes de accionamiento por sensor de final de carrera de lava.

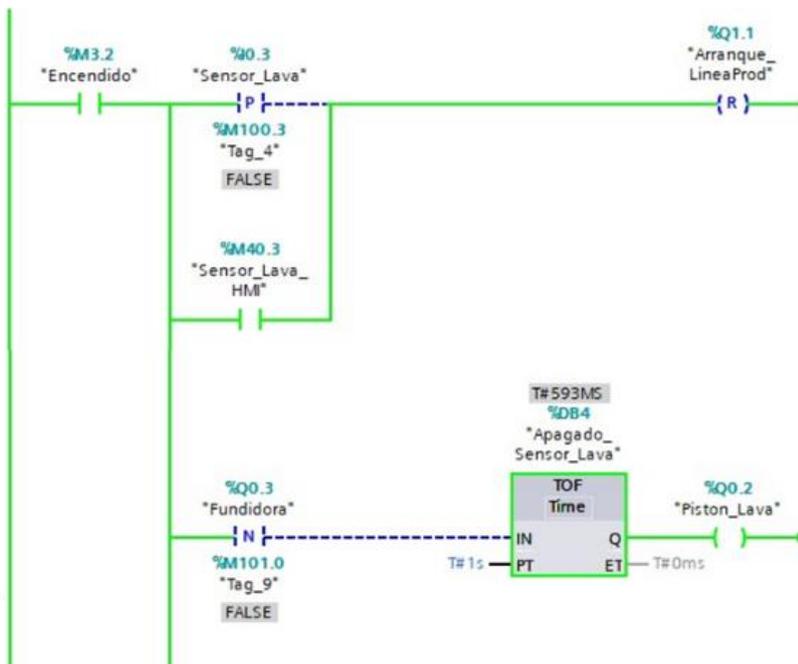
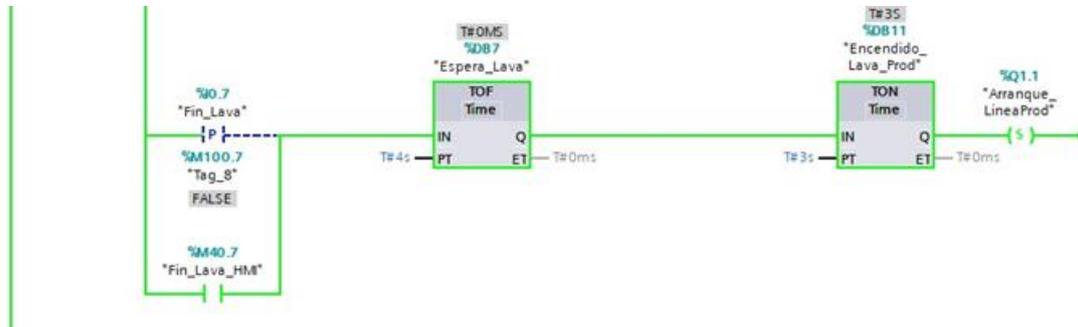


Figura 3.2.6.b: Etapa de vertido de aluminio líquido después de accionamiento por sensor de final de carrera de lava.

Completando esta secuencia, se activará el sensor final de carrera del pistón de la fundidora, lo que provocará que arranque nuevamente el motor de la línea de producción.



**Figura 3.2.6.c: Final de etapa de troceado.**

Finalmente, la pieza resultante pasará a la parte inferior de la línea de producción, en este transcurso podría caer tranquilamente, debido a que habrá una plataforma debajo que receptorá el bloque para rociarlo con agua. En caso de no caer por gravedad, esta caja pasará por un sensor de final de carrera que accione el motor de tamizado para limpieza.

Si bien es cierto, ya existe un motor de tamizado, el presente en esta etapa tendrá como objetivo sacudir dicha caja con el objetivo de garantizar que la pieza salga del molde con éxito.

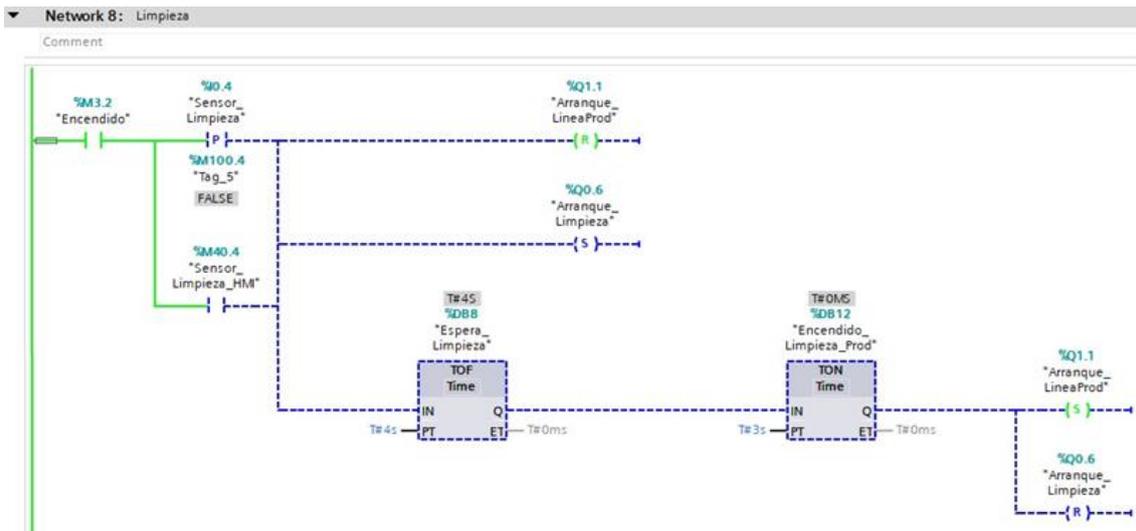


Figura 3.2.7.a: Etapa de vertido de aluminio líquido antes de accionamiento por sensor de final de carrera de lava.

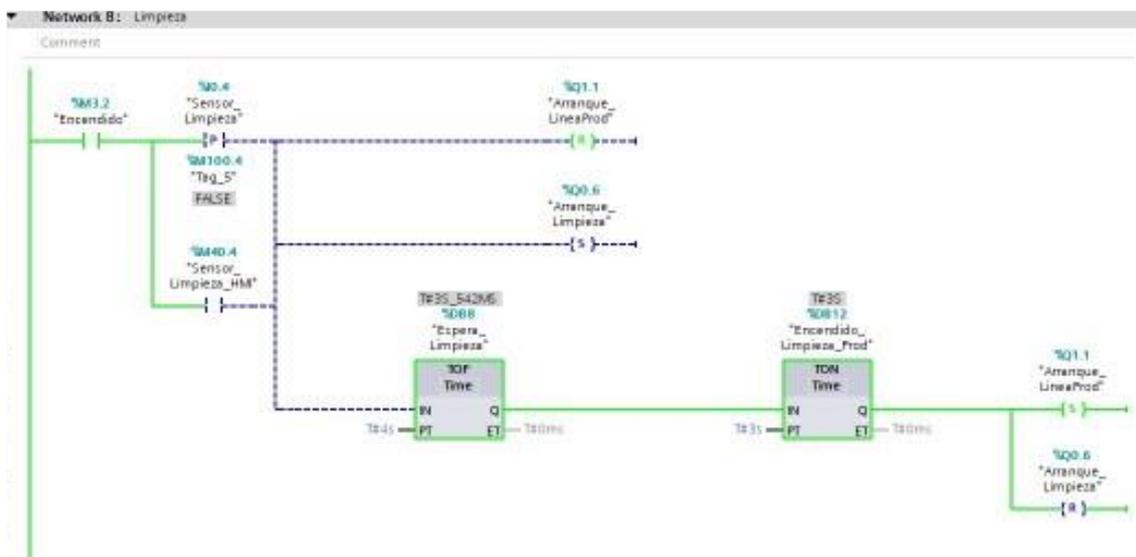
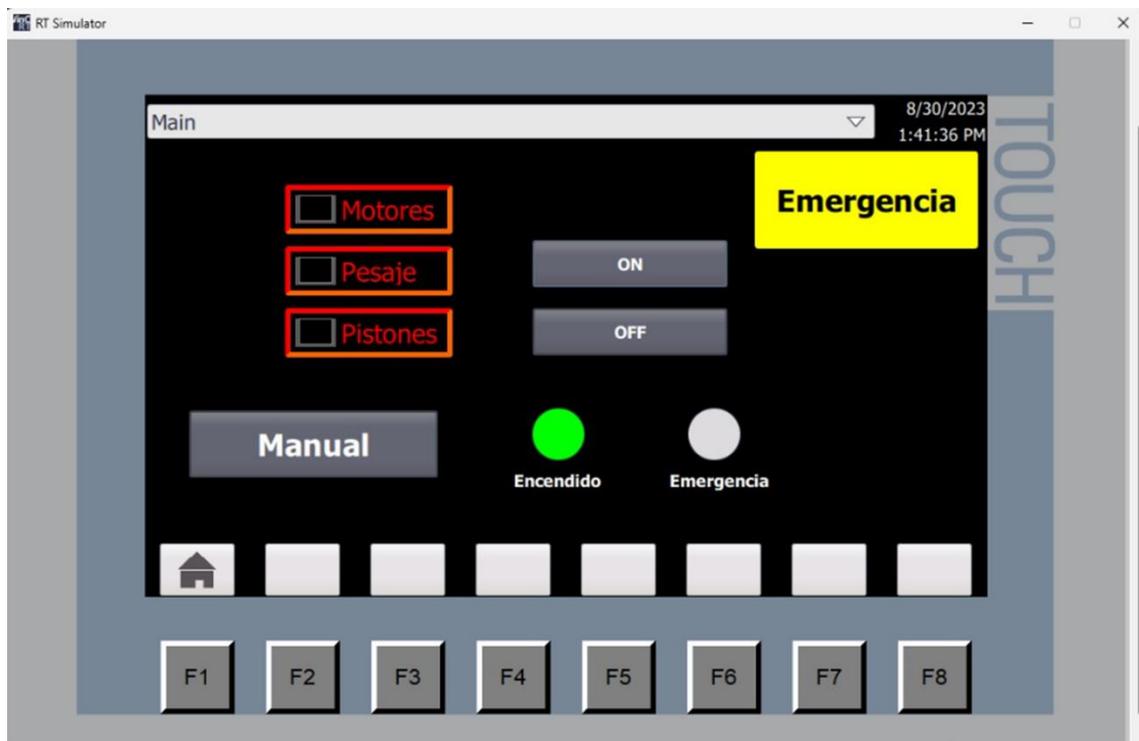


Figura 3.2.7.b: Etapa de vertido de aluminio líquido después de accionamiento por sensor de final de carrera de lava.

Tal y como se mencionó en el **CAPÍTULO 2**, En el contexto de las limitaciones actuales, se ha desarrollado un diseño de interfase base con una pantalla para cada una de las etapas presentes en la configuración final del proyecto. Este diseño se enfoca específicamente en la sección de producción de los moldes de las bases para luminarias LED. Se reconoce que las etapas subsiguientes podrán estar conectadas a esta fase inicial para llevar a cabo operaciones como el fresado de las bases y el ensamblaje de los drivers y la óptica de las luminarias LED. Esto implicará la incorporación de pantallas adicionales que se correspondan con cada nueva etapa añadida.

La pantalla inicial de la interfaz HMI ha sido diseñada con flexibilidad en mente, con atajos para trasladar al usuario hacia tres pantallas que permitan un monitoreo general de todas las etapas.



**Figura 3.2.8: Pantalla principal, diseño final.**

Un aspecto fundamental es la capacidad de ingresar manualmente el valor de peso requerido tanto para la arena/arcilla como para la chatarra/aluminio, dependiendo del diseño específico de la luminaria que se está produciendo.

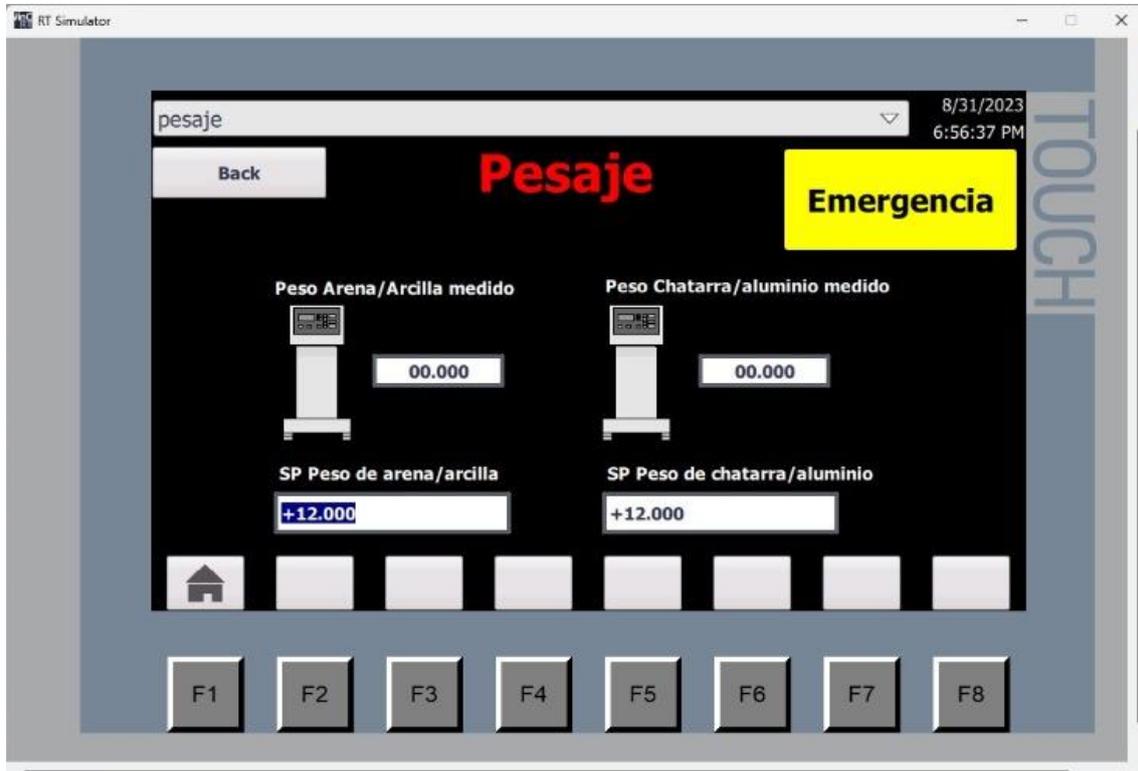


Figura 3.2.9: Pantalla pesaje, diseño final.

Esta función permite la adaptación del proceso según las necesidades variables de producción, brindando control al operador para ajustar los parámetros según las especificaciones del producto.

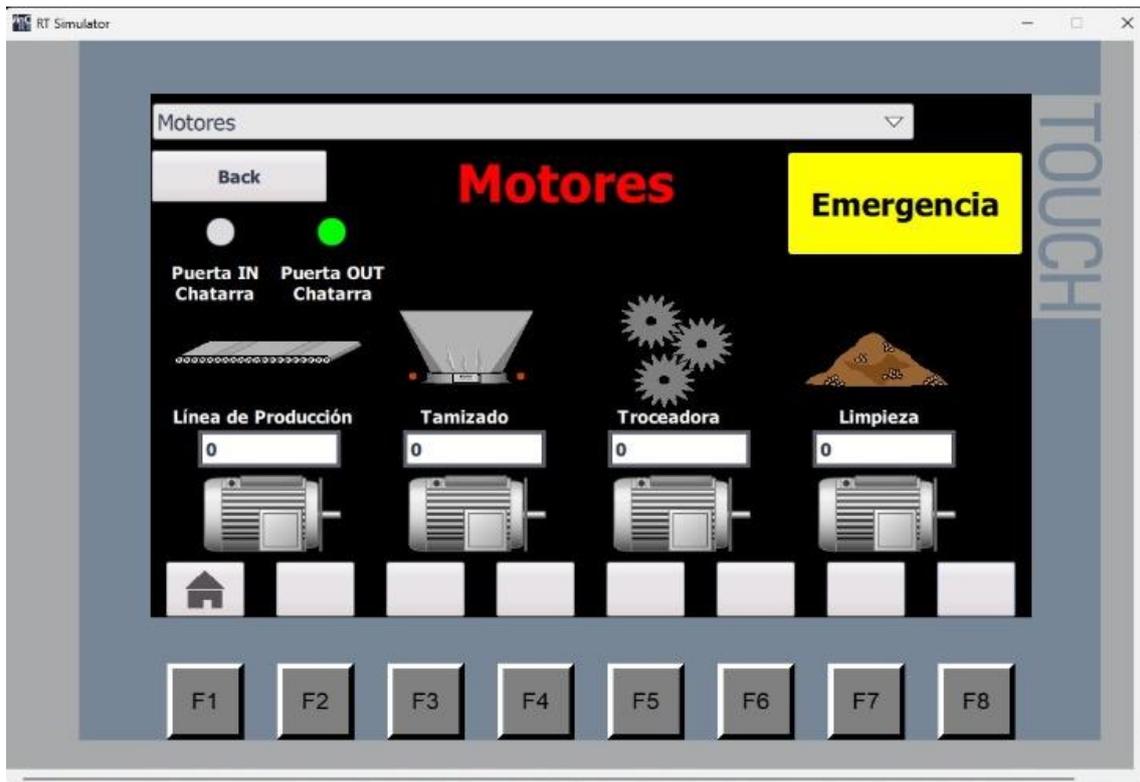


Figura 3.2.10.a: Pantalla Motores, diseño final, etapa no iniciada.

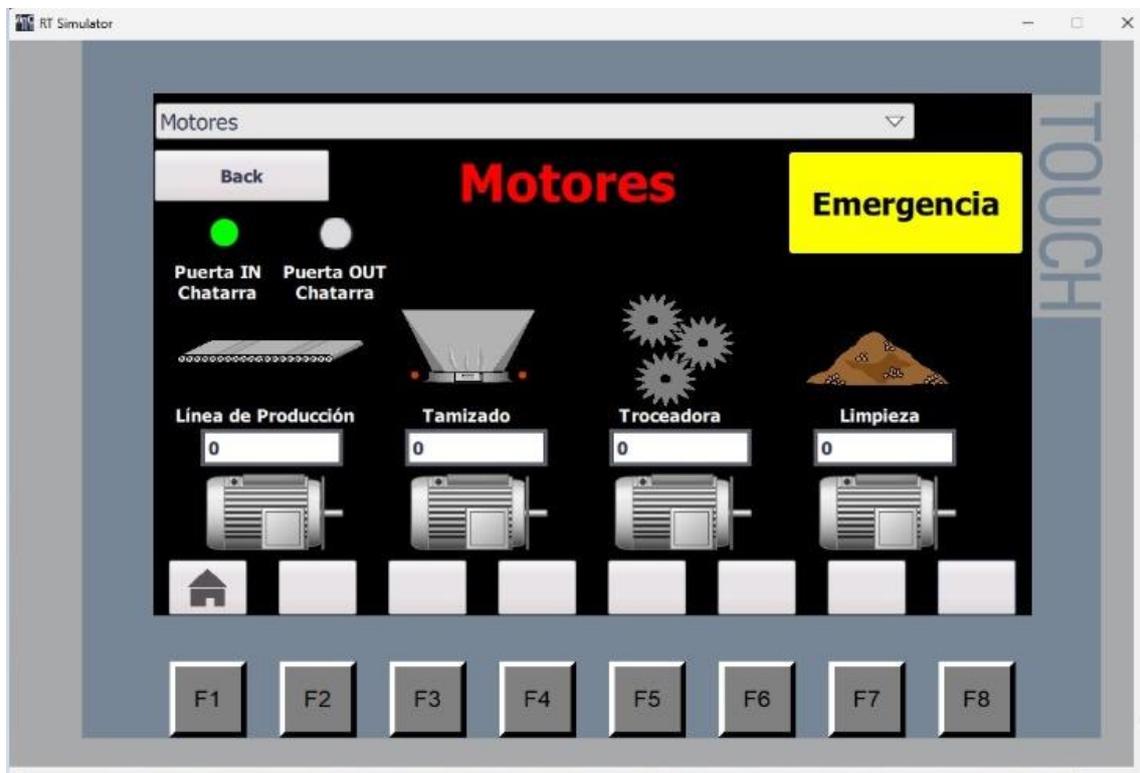
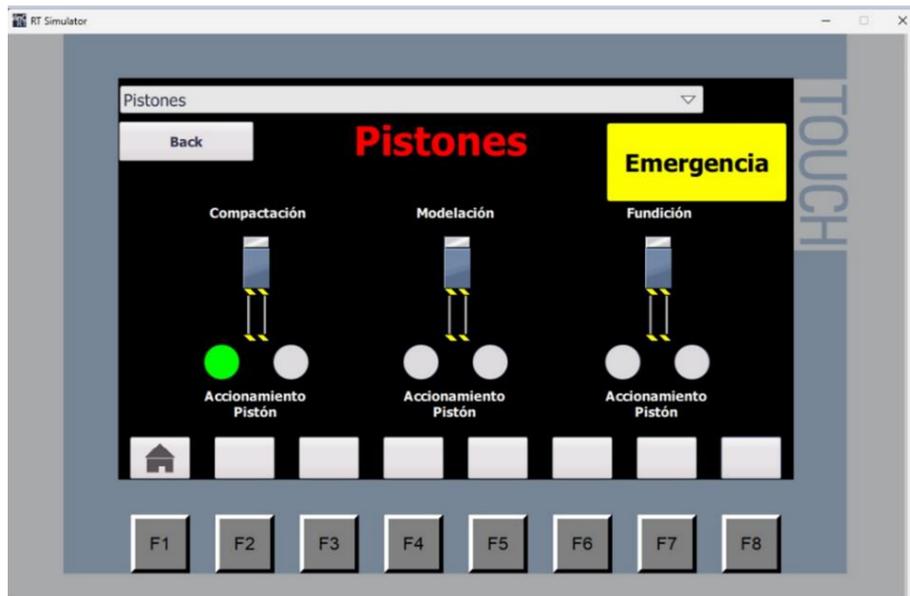
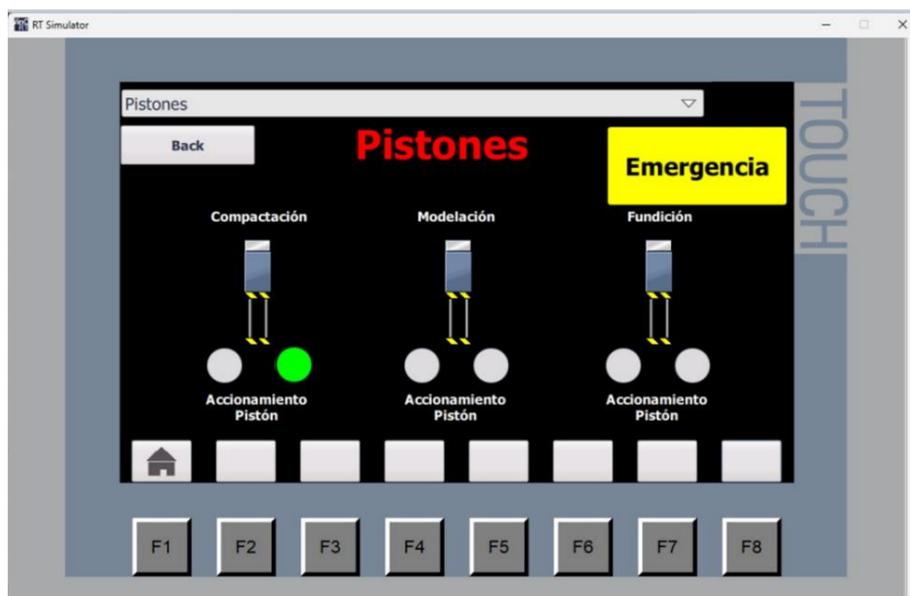


Figura 3.2.10.b: Pantalla Motores, diseño final, etapa iniciada.

En la pantalla de motores se podrá observar las velocidades de los motores mientras vayan siendo accionados en cada etapa, como corresponda. Inicialmente la puerta de entrada de la chatarra permanecerá cerrada y la de salida, abierta. Es en el caso explicado en la descripción de la **Figura 3.2.5.a**, donde intercalan estado estas puertas.



**Figura 3.2.11.a:** Pantalla Pistones, diseño final, inicio secuencia compactado.



**Figura 3.2.11.b:** Pantalla Pistones, diseño final, fin secuencia compactado.

Con antelación ya se ha mencionado el funcionamiento de los pistones y sus accionamientos, en estas imágenes se puede apreciar la misma pantalla en dos estados diferentes, el primero, es cuando se da inicio a la secuencia del pistón orientado a la compactación de la arena/arcilla para el molde, el segundo, el desenlace.

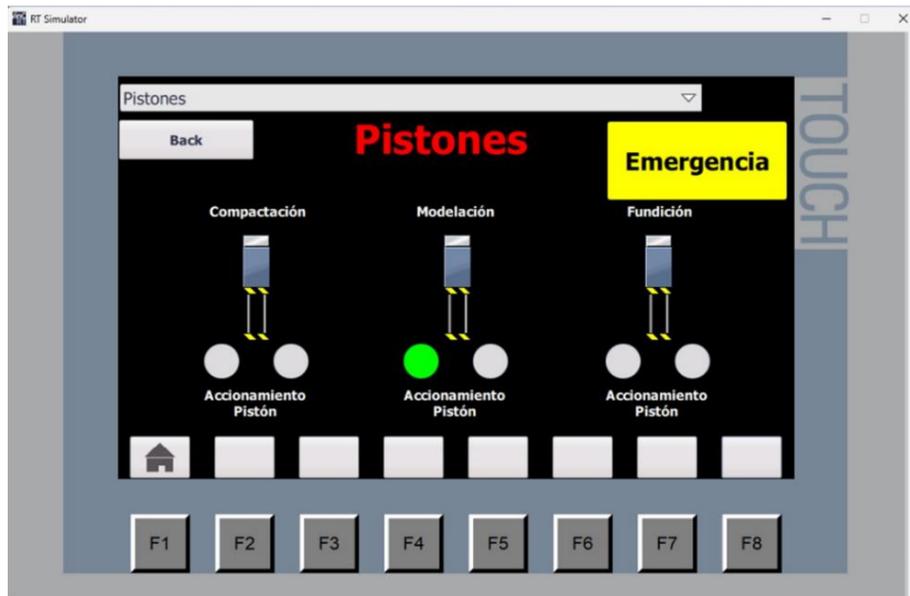


Figura 3.2.11.c: Pantalla Pistones, diseño final, inicio secuencia modelado.

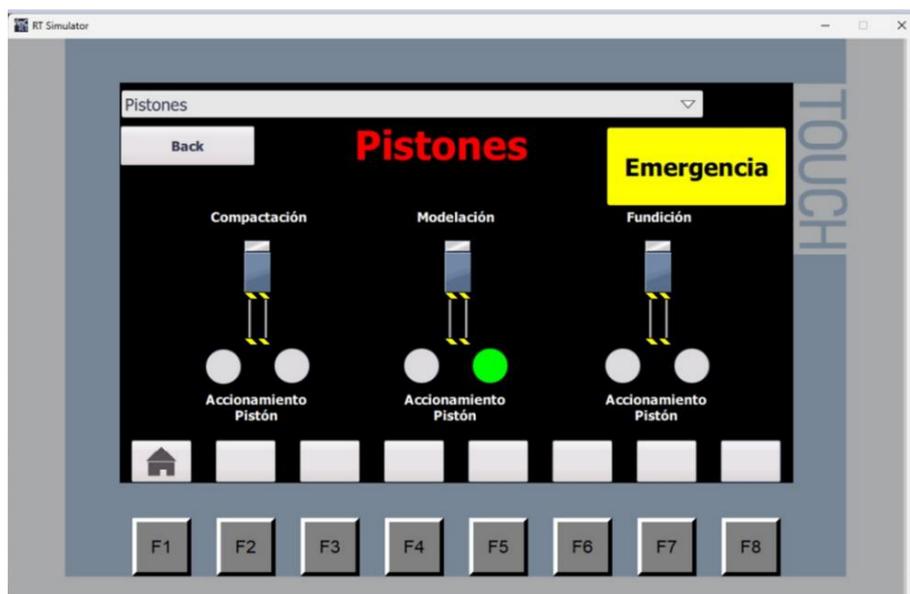


Figura 3.2.11.d: Pantalla Pistones, diseño final, fin secuencia modelado.

A continuación, las imágenes de la simulación muestran los dos estados del pistón para moldear o modelar el molde, el primero, es cuando se da inicio a la secuencia del pistón orientado a la compactación de la arena/arcilla ya dando forma al molde en cuestión, y el segundo estado, la finalización de dicha secuencia.

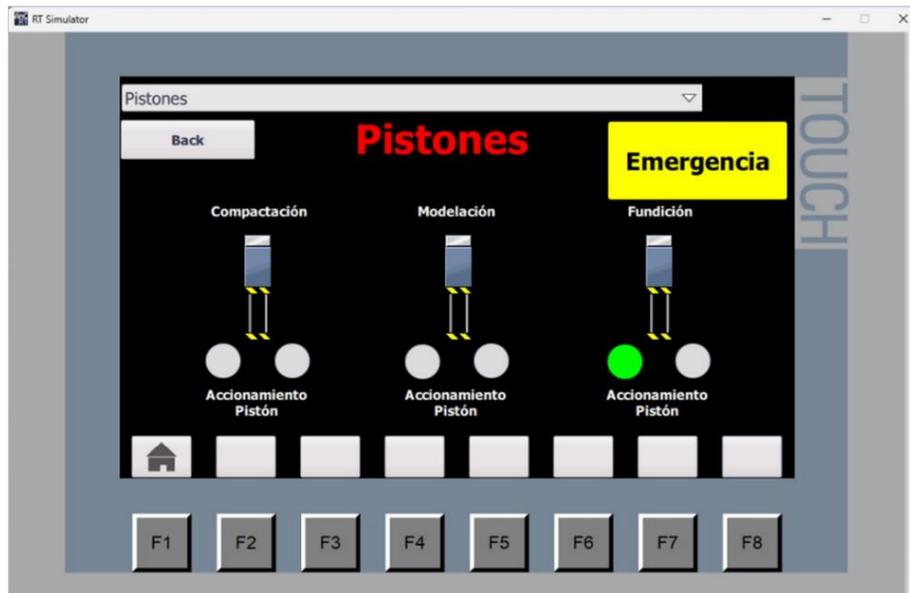


Figura 3.2.11.e: Pantalla Pistones, diseño final, inicio secuencia vertido.

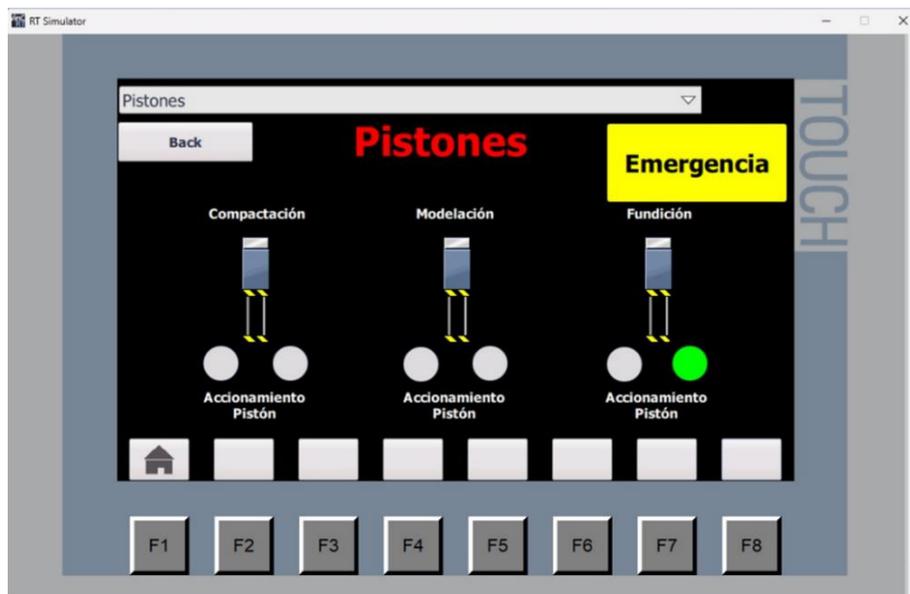


Figura 3.2.11.f: Pantalla Pistones, diseño final, fin secuencia vertido.

De igual forma, en estas figuras se observan los dos estados del pistón que hará rotar a la fundidora para verter la lava de aluminio en el molde elaborado gracias a las secuencias anteriores, en el primero, inicia la secuencia del pistón y en el segundo, el fin de la secuencia.

En la medida en que el proyecto evolucione y se expanda, se ha considerado la posibilidad de integrar un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) que abarque las etapas subsiguientes. Esto permitirá una mayor supervisión y control centralizado de todo el proceso de producción, desde la elaboración de los moldes hasta el ensamblaje final de las luminarias LED, representando un avance significativo en la eficiencia y el monitoreo de la planta, además de preparar el sistema para futuras mejoras y adiciones.

### 3.3 Análisis de costos

Como se mencionó anteriormente en Selección de Equipos, uno de los factores por los cuales elegimos trabajar con los equipos listados en la **Tabla 2.1.1** es por la compatibilidad de la marca fabricante, dado que se diseñaron para usar el mismo protocolo de comunicación y a su eficiencia en la conexión de redes. Esto, si bien se puede solucionar mediante diversos servidores de comunicación, esto requiere de otra capacitación para lograr dichas comunicaciones entre distintos fabricantes.

Si bien, el factor económico es fundamental en la decisión de equipos, la diferencia de precios entre ambas listas de productos es relativamente mínima si consideramos los beneficios de utilizar dispositivos de un mismo fabricante.

Algo que se consideró es el planeamiento a futuro sobre la expansión de la planta, como un sistema SCADA, uso de PC industriales para conexión de redes tipo anillo, adquisición de máquinas CNC, o incluso la instalación de equipos de producción en paralelo, por lo que la decisión de uso de los equipos puede variar a largo plazo.

Sabiendo que la planta estará mayormente automatizada, se requerirá de muy pocos operarios y un equipo encargado del mantenimiento de dicha planta.

Dispositivo	Cantidad	Costo unitario	Costo completo
Motor AC on-off WEG 3Ø: 230 V/460 V, 2 HP, 60 Hz, 2 polos	2	\$650.00	\$1,300.00
Motor AC on-off WEG 3Ø: 230 V/460 V, 10 HP, 60 Hz, 4 polos	2	\$1,300.00	\$2,600.00
Máquina trituradora de metales Wanrooe PNSS-1200 380 V, 100 HP, 50/60 Hz, 4 polos, 3Ø	1	\$6,000.00	\$6,000.00
Panel eléctrico para control de módulos automatizados (1.6 m X 1 m X 0.8 m)	3	\$600.00	\$1,800.00
Módulos de pesaje SIWAREX WP231 (7MH4960-2AA01)	3	\$670.00	\$2,010.00

Celdas de carga SIWAREX WL260 SP-S AA Clase 3	8	\$100.00	\$800.00
Servomotores SIMOTICS S-1FL6 (1FL6042-2AF21-1AA1)	2	\$300.00	\$600.00
Termopar SITRANS TH400 tipo E	1	\$600.00	\$600.00
Sensores finales de carrera tipo palanca SIEMENS 3SE5112	5	\$55.00	\$275.00
Pistón cilindro ISO 15552 Serie CF056	3	\$70.00	\$210.00
HMI SIEMENS KTP700 Basic 7" (6AV2123-2GB03-0AX0)	3	\$500.00	\$1,500.00
Cable industrial SIEMENS Ethernet TP Cord RJ45 (6XV1850-2GH20) x10m	100	\$10.00	\$1,000.00
Variador de frecuencias SINAMICS G120C (6SL3261-6GC00-0BA0)	4	\$240.00	\$960.00
Servocontrol de posición Sinamics V90 (6SL3210-5FE10-4UA0)	2	\$420.00	\$840.00
Fuente de alimentación SITOP PSU6200 (6EP3333-7SB00-0AX0)	6	\$150.00	\$900.00
Módulo de poder PM240 FSC (6SL3210-1PE22-7UL0)	4	\$920.00	\$3,680.00
PLC Simatics S7-1200 (6ES7215-1AG40-0XB0) CPU 1215C DC/DC/DC	1	\$640.00	\$640.00
Fundidora de metales Jinlai JLZ-25	1	\$3,700.00	\$3,700.00
Módulo de comunicación CP1542SP-1 (6GK7542-6UX00-0XE0)	1	\$650.00	\$650.00
Módulo de E/S digitales SM1223 8 DI, 8DO, 24 VDC (6ES7221-1BH32-0XB0)	1	\$240.00	\$240.00
Módulo de entrada analógica SM1231 4 AI, ±10 V (6ES7231-4HD30-0XB0)	1	\$290.00	\$290.00
Módulo de salida analógica SM1232 4 AO, ±10 V (6ES7232-4HD32-0XB0)	1	\$300.00	\$300.00
Módulo de comunicación Scalance XB008 (6GK5008-0BA00-1AB2)	1	\$250.00	\$250.00
<b>Total</b>	-	<b>\$18,655.00</b>	<b>\$31,145.00</b>

**Tabla 3.1: Lista de precios del mismo fabricante.**

Dispositivo	Cantidad	Costo unitario	Costo completo
Motor AC on-off WEG 3Ø: 230 V/460 V, 2 HP, 60 Hz, 2 polos	2	\$650.00	\$1,300.00
Motor AC on-off WEG 3Ø: 230 V/460 V, 10 HP, 60 Hz, 4 polos	2	\$1,300.00	\$2,600.00
Máquina trituradora de metales Wanrooe PNSS-1200: 380 V, 100 HP, 50/60 Hz, 4 polos, 3Ø	1	\$6,000.00	\$6,000.00
Panel eléctrico para control de módulos automatizados (1.6 m X 1 m X 0.8 m)	3	\$600.00	\$1,800.00
Módulos de pesaje Delta DVP201LC-SL	3	\$170.00	\$510.00
Celdas de carga Flintec PC46	8	\$100.00	\$800.00
Servomotores Schneider Electric (BCH2MB0133CA5C)	2	\$400.00	\$800.00
Sensores finales de carrera tipo rodillo Schneider Electric (XCDR2102N12)	5	\$45.00	\$225.00
Pistón cilindro ISO 15552 Serie CF056	3	\$70.00	\$210.00
HMI SIEMENS KTP700 Basic 7" (6AV2123-2GB03-0AX0)	5	\$500.00	\$2,500.00
Cable industrial SIEMENS Ethernet TP Cord RJ45 (6XV1850-2GH20) x10m	100	\$10.00	\$1,000.00
Variador de frecuencias Schneider Electric Altivar Easy 310	6	\$160.00	\$960.00
Fuente de alimentación Allen- Bradley (1606-XLP72E)	6	\$220.00	\$1,320.00
Módulo de poder PM240 FSC (6SL3210-1PE22-7UL0)	4	\$920.00	\$3,680.00
PLC Delta Ethernet DVP12SE11T	1	\$220.00	\$220.00
Módulo de control de velocidad para servomotores Delta tipo E	1	\$620.00	\$620.00
Fundidora de metales Jinlai JLZ-25	1	\$3,700.00	\$3,700.00
Conmutador Ethernet Allen-Bradley Stratix 2000 (1783-US8T)	1	\$235.00	\$235.00
<b>Total</b>	-	<b>\$15,920.00</b>	<b>\$28,480.00</b>

**Tabla 3.2: Lista de precios de diversos fabricantes.**

<b>Dispositivo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo completo (\$)</b>
Disyuntor SASSIN 2P10A 230V/400V (3SB71-63 B12C10N)	6	\$10.00	\$60.00
Disyuntor SASSIN 3P20A 230V/400V (3SB71-63 B12C20N)	2	\$10.00	\$20.00
Disyuntor SASSIN 3P50A 230V/400V (3SB71-63 B12C50N)	3	\$10.00	\$30.00
Disyuntor SASSIN 3P100A 230V/400V (3SB71-63 B12C10N)	1	\$60.00	\$60.00
Disyuntor MEC 3P175A 230V/400V (MCCB ABS 203b)	2	\$60.00	\$120.00
Disyuntor CHINT 3P250A 230V/400V (NM1-250H/3300)	1	\$60.00	\$60.00
Disyuntor CHINT 3P350A 230V/400V (NM8-400S/3300)	1	\$220.00	\$220.00
Pulsador NA 220V CAMSCO metálico simple 22 mm (FPB-BA1)	1	\$3.00	\$3.00
Pulsador NC 220V CAMSCO metálico simple 22 mm (FPB-BA2)	1	\$3.00	\$3.00
Pulsador NC 220V CAMSCO plástico tipo hongo 22 mm (LMB-BS5)	3	\$5.00	\$15.00
Luces piloto LED CHINT plástico RGY 22 mm (ND16-22D/4)	18	\$3.00	\$54.00
Contactador CHINT 12 A / 24 VAC (CJX2-1201)	3	\$11.00	\$33.00
Válvula SMC 4/2 vías (SAI 9431) con acción eléctrica y retorno por muelle	3	\$90.00	\$270.00
<b>Total</b>	-	<b>\$545.00</b>	<b>\$948.00</b>

**Tabla 3.3: Lista de precios de los equipos eléctricos.**

En este análisis de costos y retorno de inversión, evaluamos dos propuestas de diseño, una de estas emplea equipos del mismo fabricante, prometiendo fiabilidad, compatibilidad y eficiencia, y otra más económica. Además de detallar los costos de los equipos y los beneficios asociados, consideramos los honorarios de ingeniería, por un 10% del valor final del proyecto, suponiendo el caso de selección de la propuesta de mayor valor, previamente expuesta, junto a los dispositivos de protección y acometida eléctrica, se estima un valor aproximado de \$40000 como inversión inicial, recordemos que la planta dependerá de otras secciones que requerirán una segunda inyección de capital.

Calculando el tiempo de amortización basado en la producción diaria de luminarias, se considera como tiempo de producción de una sola pieza alrededor de tres minutos, cada base de luminaria consta de tres piezas diferentes, por lo que, en un lapso de tres horas, se habrán producido veinte bases completas para luminarias. Cabe recalcar que las piezas resultantes aún no se encontrarían aptas para ensamblaje. Sin embargo, se puede calcular un total de sesenta luminarias diarias producidas, dependiendo de la demanda de estas. Conociendo el precio de venta de las luminarias, los costos de producción, el mínimo porcentaje de ganancia entre la relación costo-pvp para garantizar rentabilidad y el volumen de ventas promedio mensual, se puede estimar que en un lapso de tres meses es posible recuperar la inversión.

Sin mencionar los beneficios de poseer una fundidora de este tipo, cuando no se encuentre en operación, se podría ofrecer a la competencia tarifas por elaborar sus luminarias con nosotros.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se comprobó que las plantas fundidoras existentes en la actualidad se especializan únicamente en un tipo de producto final, no cuentan con la versatilidad de producción para otros diseños en la industria. Aunque los sistemas automatizados y métodos utilizados son bastante eficientes, se considera que esta limitante impide su expansión e incursión a nuevas industrias bastante rentables.
- Se determinó que la diferencia de costos en los equipos propuestos en las cotizaciones previas no era suficientemente significativa en relación con los beneficios que se obtendrían al trabajar con equipos de un mismo fabricante, los cuales principalmente serían, la fiabilidad de los datos, la compatibilidad de las señales analógicas y digitales y el aprovechamiento de las nuevas tecnologías en comunicación industrial.
- Se diseñó un sistema de acometida y alimentación para los diferentes tableros y por consecuente de los equipos con la idea de una posible expansión, optimizando espacio y recursos.
- Se configuró los equipos de manera oportuna para efectuar la automatización del proceso de fundición haciendo énfasis en la eficiencia, para optimizar los beneficios de la planta con el objetivo de garantizar un producto de calidad y rentable.

- Se establecieron tres puestos de monitoreo; Además del tablero de control donde se encuentra instalado el CPU, se colocaron dos tableros adicionales ubicados estratégicamente para el control, principalmente, de los motores, considerando igualmente las distancias entre tableros y sensores o actuadores para optimizar la instalación de conductores industriales a lo largo de toda la planta.
- Se realizaron las respectivas simulaciones utilizando ambientes virtuales tridimensionales para una mejor comprensión del funcionamiento de la planta. Inclusive, aprovechando esta herramienta, se realizó la debida inspección de errores para garantizar el correcto funcionamiento del sistema final en físico.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda utilizar los equipos pertenecientes a un mismo fabricante con el objetivo de garantizar la fiabilidad y resolución de los datos transmitidos en la planta.
- En caso de requerir una expansión, ya sea para aumentar la producción o para añadir más aplicaciones a la planta, se sugiere dimensionar el espacio físico de acuerdo con las medidas de seguridad referentes a esta planta.
- Es necesario aclarar, que se debe instalar un sistema de seguridad bastante sofisticado para evitar accidentes graves debido a la naturaleza de los riesgos presentes en la planta.
- En vista de que será inminente la adición de más etapas al proceso completo para obtener la base para luminaria LED, se recomienda diseñar un sistema de comunicación SCADA para monitorear toda la planta desde una zona de control.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anónimo. (4 de Noviembre de 2020). *¿Qué es la metalmecánica?* Inter 2000 Mecanizados.  
<https://www.inter2000mecanizados.com/post/que-es-la-metalmeccanica>
- [2] Pelegrí, J. (28 de Agosto de 2019). *Aplicaciones de la robótica en la industria del metal y mecanizado*. Universal Robots.  
<https://www.universal-robots.com/es/blog/aplicaciones-de-la-robotica-en-la-industria-metal/>
- [3] Vaca Ortega, G. A., & Corrales Tapia, C. R. (2021). *Automatización de un horno para fundición del aluminio y cobre*. Tsede.
- [4] Anónimo. (11 de Junio de 2020). *Metalurgia y siderurgia*. Ferrosplanes.  
<https://ferrosplanes.com/metalurgia-y-siderurgia-en-que-se-diferencian/>
- [5] Anónimo. (31 de Octubre de 2018). *Fundición de arena y los diferentes tipos de moldeo*. INDUTECSA.  
<https://www.indutecsa.com/index.php/noticias/31-fundicion-de-arena-y-los-diferentes-tipos-de-moldeo>
- [6] Intelangelo, R., & Bonato, A. (2015). *Fundición y moldeo*. Universidad Nacional de Rosario.  
<https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/14246/9201-19%20TALLER%20Fundición%20y%20Moldeo.pdf>
- [7] Donoso Quezada, D. P., & Rosero Cuaspa, D. J. (27 de Agosto de 2015). *Diseño de la automatización del proceso de transporte de moldes de fundición para la empresa, servicios mecánicos y metalúrgica*. Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11440>