



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"**

**MAESTRÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

*Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021*

**PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER**

<b>Título del proyecto:</b>
Automatización del proceso de trituración de minerales en la planta de beneficio Angelito
<b>Línea de Investigación:</b>
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
<b>Campo amplio de conocimiento:</b>
Ingeniería, industria y construcción
<b>Autor:</b>
Geovanny Vladimir Zambrano Asanza
<b>Tutor/a:</b>
PhD. Maryory Urdaneta  PhD. Henry Diaz

**Quito – Ecuador**

**2025**

## APROBACIÓN DEL TUTORES



Yo, **PhD. Maryory Urdaneta** con C.I: **1759316126** en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Automatización del proceso de trituración de minerales en la planta de beneficio Angelito.**

Elaborado por: **Geovanny Vladimir Zambrano Asanza**, de C.I: **0704138973**, estudiante de la Maestría: **Electrónica y Automatización** de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 11 de marzo de 2025

---

**Firma**



Yo, **PhD. Henry Diaz Iza** con C.I: **1719180877** en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **Automatización del proceso de trituración de minerales en la planta de beneficio Angelito.**

Elaborado por: **Geovanny Vladimir Zambrano Asanza**, de C.I: **0704138973**, estudiante de la Maestría: **Electrónica y Automatización** de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 11 de marzo de 2025

---

**Firma**

## DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, **Geovanny Vladimir Zambrano Asanza** con C.I: **0704138973**, autor del proyecto de titulación denominado: **Automatización del proceso de trituración de minerales en la planta de beneficio Angelito**. Previo a la obtención del título de Magister en **Electrónica y Automatización**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 11 de marzo de 2025

\_\_\_\_\_  
Firma

## Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	i
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	iii
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	viii
INFORMACIÓN GENERAL	1
Contextualización del problema	1
Problema objeto de investigación	1
Objetivo general	1
Objetivos específicos	2
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	2
CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
1.1. Contextualización general del estado del arte:	3
1.2. Proceso investigativo metodológico	4
CAPÍTULO II. PROPUESTA	5
2.1. Fundamentos teóricos aplicados	5
2.1.1. Introducción	5
2.1.2. Descripción de las etapas de trituración:	6
2.1.2.1. Trituración Primaria	6
2.1.2.2. Trituración Secundaria o Intermedia	6
2.1.2.3. Trituración Terciaria	6
2.1.3. Descripción de los equipos que intervienen en las etapas de trituración:	7
2.1.3.1. Alimentador Vibratorio (Grizzly)	7
2.1.3.2. Trituradora de Mandíbula	7
2.1.3.3. Trituradora tipo cono.	8
2.1.3.4. Zaranda o Criba Vibratoria	9
2.1.3.5. Cinta transportadora	9
2.1.4. Elementos de control propuestos para la automatización y simulación:	10
2.1.4.1. Controlador Lógico Programable (PLC) S7-1200	10
2.1.4.2. Interfaz Hombre Maquina (HMI) DOP-110WS	10
2.1.4.3. Programa de simulación de gemelo digital Machines Simulator	11
2.2. Descripción de la propuesta	12
a) Estructura General	13

2.2.1. Diagrama Unifilar proceso trituración planta Angelito	13
2.2.2. Diagrama de flujo de señal de aviso	14
2.2.3. Diagrama de flujo de condiciones iniciales	15
2.2.4. Diagrama de flujo de inicio de secuencias	16
2.2.5. Diagrama de flujo de secuencias de arranque y paro	17
2.2.6. Diagrama de flujo de subproceso arranque y parada de trituradora terciaria.	19
2.2.7. Diagrama de flujo de subproceso arranque y parada de equipos en general.	20
2.2.8. Diagrama de flujo de subproceso transición entre pasos	21
2.2.9. Diagrama de flujo de fallas de equipos en general.	22
2.2.10. Diagrama de flujo de fallas trituradora terciaria	23
b) Explicación del aporte	24
2.2.11. Gemelo Digital realizado en Machines Simulator de la marca Nirtec	26
2.2.11.1. UDC Trituradora Primaria.	26
2.2.11.2. UDC Trituradora Secundaria.	27
2.2.11.3. UDC Trituradora Terciaria.	28
2.2.11.4. UDC Grupo Oleo-hidráulico de Trituradora Terciaria.	29
2.2.11.5. UDC Zaranda vibratoria.	31
2.2.12. Pantallas de la Interfaz Hombre Maquina realizadas en DOPSOFT de la marca DELTA INDUSTRIAL AUTOMATION	36
2.2.12.1. Animaciones repetitivas	39
2.2.12.1.1. Animaciones que cambian según estado.	41
2.2.13. Programa del Controlador Lógico Programable S7-1200 realizado en TIAPortal de la marca Siemens	46
2.2.13.1. Bloque Lógico (FC1) Arranque y Parada	47
2.2.13.2. Bloque Lógico (FC2) Fallas	48
2.2.13.3. Bloque Lógico (FC3) Secuencia de Arranque	49
2.2.13.4. Bloque Lógico (FC4) Secuencia de Paro	50
c) Estrategias y/o técnicas	51
2.3. Validación de la propuesta	52
2.4. Matriz de articulación de la propuesta.	52
2.5. Análisis de resultados. Presentación y discusión.	54
2.5.1. Pasos para arrancar la simulación	54
2.5.1.1. Arrancar la simulación en TIAPortal.	54
2.5.1.2. Configurar e inicializar el broker NetToPLCsim	54
2.5.1.3. Configurar e inicializar el driver en Machine Simulator	55
2.5.1.4. Configurar e inicializar la simulación en DOPSOFT	56

2.5.2. Pruebas de funcionamiento.	58
2.5.2.1. Sistema en Servicio.	58
2.5.2.2. Modo Manual: Encendido de Equipo	58
2.5.2.3. Modo Automático: Secuencia de Arranque.	59
2.5.2.4. Funcionamiento Continuo: Encendido de Ventilador	62
2.5.2.5. Funcionamiento Continuo: Falla activa	63
2.5.2.6. Funcionamiento Continuo: Parada de emergencia	65
2.5.2.7. Modo Automático: Secuencia de Paro	65
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	73
ANEXO 1	73
ANEXO 2	84
ANEXO 3	95
ANEXO 4	112
ANEXO 5	127
ANEXO 6	128
ANEXO 7	129

## Índice de Tablas

Tabla 1. Lista de entradas y salidas digitales y analógicas. ....	25
Tabla 2. Señales de las secuencias de arranque y paro .....	38
Tabla 3. Señales de ordenes desde HMI .....	39
Tabla 4. Señales de ordenes desde secuencias de PLC .....	46
Tabla 5. Descripción de perfil validadores .....	52
Tabla 6. Matriz de articulación.....	53

## Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de trituración .....	5
Figura 2. Alimentador grizzly.....	7
Figura 3. Esquema triturador tipo mandíbula.....	8
Figura 4. Esquema triturador tipo cono .....	8
Figura 5. Zaranda o criba vibratoria .....	9
Figura 6. Cinta o banda transportadora.....	10
Figura 7. Controlador lógico programable S7-1200 .....	10
Figura 8. Pantalla táctil DOP-110WS .....	11
Figura 9. Vista de pantalla de inicio de Machines Simulator V4.1.1 .....	11
Figura 10. Arquitectura de control sistema trituración planta Angelito.....	12
Figura 11. Interconexión de programas que intervienen en la simulación .....	13
Figura 12. Diagrama unifilar proceso de trituración de la planta Angelito.....	14
Figura 13. Diagrama de flujo de algoritmo para señal de aviso.....	15
Figura 14. Diagrama de flujo de algoritmo condiciones iniciales.....	16
Figura 15, Diagrama de flujo de algoritmo inicio de secuencias.....	17
Figura 16. Diagrama de flujo de algoritmos de secuencias de arranque y parada de proceso ..	18
Figura 17. Diagrama de flujo de algoritmos de arranque y parada de trituradora terciaria .....	19
Figura 18. Diagrama de flujo de algoritmos de arranque y parada de refrigeración de aceite ..	20
Figura 19. Diagrama de flujo de algoritmo de arranque y parada general de equipos .....	21
Figura 20. Diagrama de flujo algoritmo de subproceso transición .....	22
Figura 21. Diagrama de flujo algoritmo de falla general de equipos .....	23
Figura 22. Diagrama de flujo de algoritmo falla trituradora terciaria.....	24
Figura 23. Vistas lateral, frontal y superior de UDC de la trituradora Primaria .....	26
Figura 24. Código grafico del algoritmo del UDC de la Trituradora Primaria.....	27
Figura 25. Vista lateral, frontal y superior de UDC de la Trituradora Secundaria.....	27
Figura 26. Código grafico del algoritmo del UDC de la Trituradora Secundaria .....	28
Figura 27. Vista frontal, lateral y superior de UDC de la trituradora Terciaria .....	28
Figura 28. Código grafico del algoritmo del UDC de la Trituradora Terciaria .....	29
Figura 29. Vista lateral, frontal y superior de UDC del grupo Oleo-hidráulico .....	29
Figura 30. Código grafico para el sensor de temperatura de aceite del grupo oleo-hidráulico .	30
Figura 31. Código grafico para el sensor de flujo de aceite del grupo oleo-hidráulico .....	30
Figura 32. Código gráfico del algoritmo del UDC del grupo oleo-hidráulico .....	31
Figura 33. Vista lateral, frontal y superior de UDC de la Zaranda Vibratoria.....	32

Figura 34. Código gráfico del algoritmo del UDC de la zaranda vibratoria .....	32
Figura 35. Vista lateral del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito .....	33
Figura 36. Vista frontal del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito .....	33
Figura 37. Vista superior del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito.....	34
Figura 38. Vista trituradora terciaria y grupo oleo-hidráulico .....	34
Figura 39. Vista trituración secundaria y terciaria .....	35
Figura 40. Vista trituración primaria .....	35
Figura 41. Vista frontal del tablero de control .....	36
Figura 42. Vista frontal de paradas de emergencia etapa primaria, secundaria y terciaria .....	36
Figura 43. Ciclo de imágenes del alimentador de minerales .....	39
Figura 44. Ciclo de imágenes de la trituradora primaria.....	40
Figura 45. Ciclo de imágenes de la trituradora secundaria.....	40
Figura 46. Ciclo de imágenes de la trituradora terciaria .....	40
Figura 47. Ciclo de imágenes de la zaranda vibratoria.....	41
Figura 48. Ciclo de imágenes de banda transportadora .....	41
Figura 49. Ciclo de imágenes de Ventilador del sistema de refrigeración.....	41
Figura 50. Animación motor eléctrico.....	41
Figura 51. Animación resistencias calentadoras de aceite .....	42
Figura 52. Animación bomba de aceite.....	42
Figura 53. Pantalla principal .....	43
Figura 54. Pantalla trituración primaria .....	43
Figura 55. Pantalla trituración secundaria .....	44
Figura 56. Pantalla trituración terciaria .....	45
Figura 57. Pantalla secuencias arranque y paro.....	45
Figura 58. Segmentos programa OB1 (Principal) TIAPortal .....	47
Figura 59. Segmentos programa FC1 .....	48
Figura 60. Segmentos programa FC2 .....	49
Figura 61. Segmentos programa FC3 .....	50
Figura 62. Segmentos programa FC4 .....	51
Figura 63. PLCSIM funcionando .....	54
Figura 64. NetToPLCsim: Configuración de la estación.....	55
Figura 65. NetToPLCsim: Servidor broker funcionando.....	55
Figura 66. Machines Simulator: Configuración del Driver .....	56
Figura 67. Machines Simulator: Driver Conectado .....	56
Figura 68. DOPSOFT: Ajustes de Comunicación.....	57

Figura 69. DOPSOFT: HMI funcionando .....	57
Figura 70. Simulación: Sistema en Servicio .....	58
Figura 71. Simulación: Modo Manual, encendido Banda 2 .....	59
Figura 72. Simulación: Secuencia de arranque Paso 1 Activo .....	60
Figura 73. Simulación: Secuencia de arranque Paso 1 Activo, calentamiento de aceite y bomba encendida .....	60
Figura 74. Simulación: Secuencia de arranque Paso 1 Activo, Trituradora Terciaria Funcionando .....	61
Figura 75. Simulación: Secuencia de arranque Transición 1 Activa .....	61
Figura 76. Simulación: Secuencia de arranque finalizada .....	62
Figura 77. Simulación: Funcionamiento continuo, encendido de ventilador sistema de refrigeración .....	63
Figura 78. Simulación: Funcionamiento continuo, apagado de ventilador sistema de refrigeración .....	63
Figura 79. Simulación: Funcionamiento continuo, falla de Banda 2 .....	64
Figura 80. Simulación: Restablecimiento del sistema luego de falla .....	64
Figura 81. Simulación: Ejecución de parada de emergencia .....	65
Figura 82. Simulación: Reinicio del Proceso, sistema funcionando .....	66
Figura 83. Simulación: Inicio de Secuencia de Paro, Paso 1 activo .....	66
Figura 84. Simulación: Desarrollo de Secuencia de Paro, Paso 8 activo .....	67
Figura 85. Simulación: Finalización secuencia de paro, bomba aceite funcionando .....	67

## **INFORMACIÓN GENERAL**

### **Contextualización del problema**

La planta de beneficio de procesamiento de minerales Angelito está ubicada en el sitio El Tablón, cantón Portovelo de la provincia de El Oro. Esta planta tiene como objetivo procesar y recuperar metales de interés de los materiales provenientes de las diferentes menas de la zona y zonas aledañas.

En la planta de beneficio Angelito se han considerado las etapas en el procesamiento de minerales tales como trituración, molienda, concentración y depósito final o relave.

Para el proceso de trituración la planta de beneficio Angelito ha decidido utilizar 3 etapas de chancado comprendido por una trituradora primaria tipo mandíbula 600X900, una trituradora secundaria tipo mandíbula 300x1300 y una trituradora terciaria tipo cono de 3 pies de diámetro; dicho sistema requiere de un sistema eléctrico que se encargue de suministrar de una manera adecuada la energía necesaria para el funcionamiento de sus equipos, controlando la correcta operación y funcionamiento de los mismos.

### **Problema objeto de investigación**

El proceso de trituración requiere de un sistema eléctrico de fuerza y mando para el correcto funcionamiento de la maquinaria que lo comprenden, considerando los dispositivos necesarios de arranque que permitan romper la inercia de una manera adecuada sin afectar el desempeño del resto de la instalación y cumpliendo las reglas de arte que esta etapa demanda, para ello es necesario considerar la utilización de un sistema de mando automático controlado por un autómatas programable y supervisado por el personal haciendo uso de una interfaz hombre maquina apropiada donde se ilustres de una manera interactiva los diferentes equipos que la conforman y se visualicen y ejecuten las secuencias de arranque y paro para esta etapa.

### **Objetivo general**

Desarrollar la automatización del proceso de trituración de minerales en la planta de beneficio Angelito.

### **Objetivos específicos**

- Contextualizar los fundamentos teóricos sobre el proceso de trituración y los equipos que intervienen dentro de esta etapa de conminución de la planta de procesamiento de minerales Angelito.
- Diseñar la arquitectura de control, planos eléctricos básicos, pantallas de la Interfaz Hombre Maquina, programas del autómatas programable, y el gemelo digital del proceso de trituración de minerales en la planta de beneficio Angelito.
- Simular el programa elaborado en el autómatas programable, el gemelo digital, y el funcionamiento de las pantallas de la interfaz hombre máquina.
- Validar los resultados del funcionamiento del sistema contemplando los escenarios de arranque, parada y fallas posibles.
- Validar los resultados de funcionamiento del sistema con el criterio de evaluadores calificados.

### **Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:**

Dentro del distrito minero Zaruma-Portovelo, en donde la planta de beneficio de procesamiento de minerales Angelito tendrá su área de operación, existen plantas que cuentan con sistemas obsoletos de funcionamiento basados en lógica cableada no supervisada que provoca derrames de mineral, accidentes laborales y desperfecto en los equipos que intervienen, generando pérdidas significativas, daño a la integridad del personal operativo y a los componentes del sistema. El realizar un proyecto de automatización en la planta de beneficio Angelito servirá de ejemplo para que el resto de plantas del sector se atrevan a modernizar sus sistemas de control que les ayude a evitar derrames de mineral, accidentes laborales y daño de sus instalaciones, mediante el uso de algoritmos de arranque y parada que supervisen todo el tiempo cualquier desperfecto o anomalía de los partes que intervienen en el proceso. Esto sin duda beneficiará a los clientes, operarios e inversores del proyecto.

El introducir sistemas automáticos en el medio hará que se generen otro tipo de demanda de personal técnico que sea capaz de operar y mantener estas instalaciones, así como la necesidad de recursos que permitan construir y mantener este tipo de instalaciones; lo cual permite mayores fuentes de empleo y oportunidades de negocio dentro del distrito minero Zaruma-Portovelo.

## CAPÍTULO I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 1.1. Contextualización general del estado del arte:

En este capítulo se describen las investigaciones previas que se han realizado sobre el control automático en las plantas de procesamiento de minerales.

La problemática de la automatización del procesamiento de minerales ha sido estudiada por investigadores como Abraham Adewale Adeleke en su libro *Mineral Processing Technology* (2023), en el cual se hace un análisis teórico general de los principios a considerar en la automatización de este tipo de procesos, teniendo como visión maximizar el valor específico del producto y minimizar los costos operativos.

Metso en su libro *Crushing and Screening Handbook* (2023) menciona que la operación automatizada y asistida aumenta la seguridad, el rendimiento y la disponibilidad de los equipos de trituración y cribado; además indica que su solución para este tipo de sistemas es contar con un controlador principal, entradas y salidas distribuidas, y una red de comunicación a través de Profinet o Ethernet; mientras que sus modos de funcionamiento son automático, interconectado o pasa a paso, y manual. El sistema propietario de Metso, llamado CAMEOS, ha sido implementado en docenas de plantas en todo el mundo, convirtiéndose en su estándar de solución para este tipo de sistemas cumpliendo las necesidades de sus clientes de forma personalizada de acuerdo a su planta de procesamiento.

Según Ostroukh et al (2021) en el artículo *Crushing and screening digital system*, la automatización del sistema de trituración y cribado, utilizando un controlador PLC y una interfaz hombre maquina (HMI) realizada en un sistema SCADA, permite un mayor confort al operador del sistema incrementando su eficiencia en el trabajo. La pantalla desarrollada en el artículo en mención servirá de guía en el presente trabajo, aportando los criterios para ilustrar los diferentes equipos dentro de la HMI a desarrollar.

Quintero y Cortijo (2024) en su proyecto *Automatización del proceso descortezador de madera en la empresa Aglomerados Cotopaxi*, integran un variador de frecuencia al PLC utilizado, lo cual sirve como referencia para el Variador a considerar dentro del presente proyecto.

Montesdeoca y Urdaneta (2024) en su proyecto *Automatización de la medición energética y transmisión de datos en la planta de Baker Hughes – Ecuador mediante SCADA*, utilizan un broker como herramienta para organizar el flujo de información, esto servirá de referencia para una posible conexión hacia un dashboard del presente proyecto.

Teniendo en cuenta el material recopilado, se puede observar que las investigaciones realizadas sobre la automatización del proceso de trituración y cribado de minerales se han desarrollado en aplicaciones basadas en un controlador o PLC principal que se comunica a una HMI donde se encuentran las pantallas necesarias para la correcta operación y supervisión del sistema, notando los modos de funcionamiento automático, interconectado y manual, que permiten el arranque y parada del sistema en forma secuencial en cascada completamente automática o paso a paso de acuerdo a la decisión del operador, y de forma aislada manual con el objetivo no productivo o de mantenimiento. Normalmente el sistema de trituración y cribado es personalizado para cada planta, notando la utilización de diferentes marcas y modelos de equipos de acuerdo a la necesidad o capacidad económica de la misma; esto sin duda alguna hace que el sistema de control automático sea también exclusivo para cada solución, permitiendo el uso de PLC's y HMI's de diferente marca y modelo de acuerdo a la disponibilidad, calidad y soporte técnico que exista en el medio, haciendo que las soluciones propietarias analizadas no sean tan competitivas, sobre todo por su alto costo y exclusividad.

## **1.2. Proceso investigativo metodológico**

El proceso de investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que los resultados a obtener son determinísticos fruto de los cálculos a realizar y software a utilizar.

La investigación a realizar será aplicada ya que se utilizarán los conocimientos adquiridos de automatización, dimensionamiento de equipos y sistemas SCADA, para la correcta implementación del sistema de control y fuerza en la fase de trituración dentro de la planta de beneficio Angelito.

El objeto de estudio es la fase de trituración en la planta de beneficio Angelito.

La técnica a utilizar será la investigación prospectiva utilizando los softwares de simulación necesarios para saber cómo va a funcionar la automatización de la etapa de trituración en la planta de beneficio angelito.

## CAPÍTULO II. PROPUESTA

### 2.1. Fundamentos teóricos aplicados

#### 2.1.1. Introducción

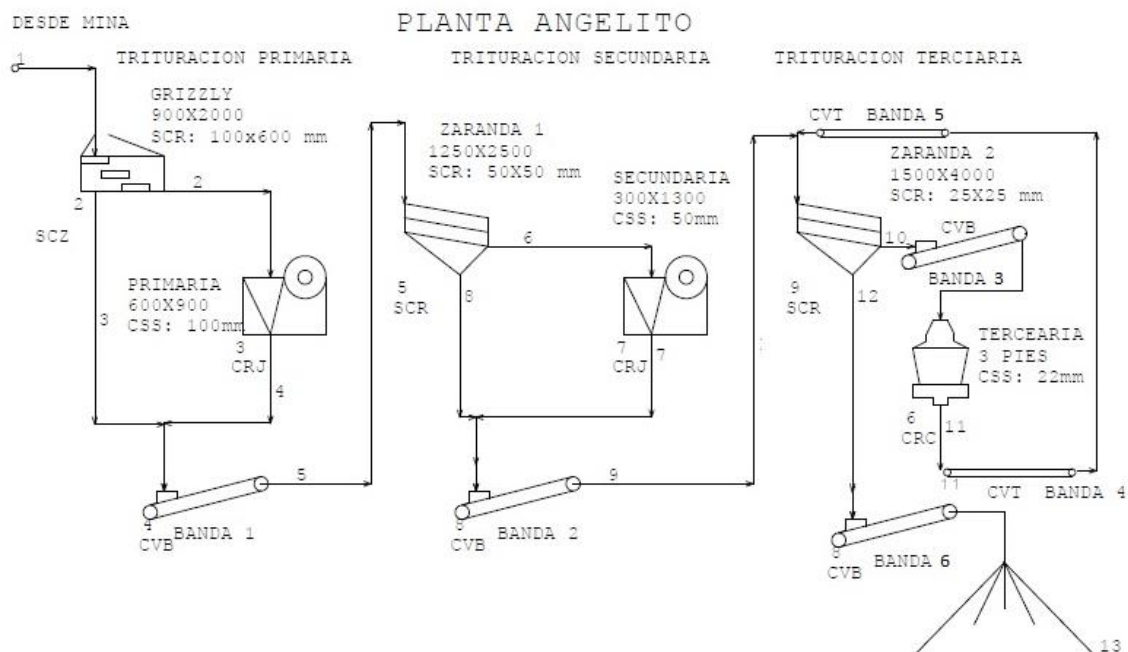
La etapa de trituración consiste en la reducción del tamaño del mineral proveniente de las menas utilizando los equipos que al combinarse en forma más eficaz logran aproximarse al intervalo de tamaño de producto final requerido (Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales, 2021).

Los sistemas de control retroalimentados permiten controlar un proceso de forma precisa y eficaz, donde las relaciones funcionales están claramente indicadas. Dentro de una planta de procesamiento de minerales un mineral en bruto se trata en una secuencia de procesos unitarios coherentes para obtener un producto final (Adeleke, 2023).

La fase de trituración y cribado de la planta de beneficio Angelito cuenta con tres etapas que intervienen de manera interconectada para lograr el objetivo de reducción de tamaño del mineral ingresado. En la Figura 1, a continuación, se ilustra el diagrama de flujo de proceso del sistema de trituración de la planta Angelito.

**Figura 1.**

*Diagrama de flujo del proceso de trituración*



## **2.1.2. Descripción de las etapas de trituración:**

### **2.1.2.1. Trituración Primaria**

La trituración primaria tiene como propósito disminuir el tamaño de mineral, realizando el chancado del mismo, para poderlo conducir mediante bandas transportadoras a las siguientes etapas de reducción (Crushing and Screening Handbook, 2023, p.47).

En la planta de beneficio Angelito se ha seleccionado a una trituradora tipo mandíbula 600X900 para esta etapa, alimentada por medio de un alimentador tipo Grizzly 900X2000 y el producto de esta etapa es depositado en una cinta transportadora para ser conducido a la siguiente etapa del proceso.

### **2.1.2.2. Trituración Secundaria o Intermedia**

La trituración secundaria obtiene el producto de una primera fase de trituración, reduciéndolo lo mayor posible para acercarlo al tamaño de producto deseado del sistema de trituración, con el menor costo que se pueda obtener (Crushing and Screening Handbook, 2023, p.48).

En la planta de beneficio Angelito se ha seleccionado a una trituradora tipo mandíbula 300X1300 para esta etapa; en donde el material proveniente de la etapa primaria es depositado en una zaranda vibratoria 1250X2500 y su producto grueso (over) es depositado a la trituradora seleccionada, mientras que el producto fino (under) es depositado en una cinta transportadora junto con el producto entregado por la trituradora de esta etapa, la suma de estos productos se convierten en la alimentación a la tercera etapa.

### **2.1.2.3. Trituración Terciaria**

La trituración terciaria impone la eficacia del producto final, recibiendo un producto de las etapas predecesoras irregular y entregando un producto de especificaciones precisas de calidad para que el mismo sea aprovechado de mejor manera en los procesos posteriores ya sea de conminución o de aprovechamiento. (Crushing and Screening Handbook, 2023, p.48)

Para esta etapa se ha considerado una triturado tipo cono de 3 pies, en donde el material proveniente de la etapa secundaria ingresa a una zaranda 1500X4000, el producto grueso (over) de esta zaranda cae a la trituradora seleccionada, mientras que el producto fino (under) es el producto final del proceso de trituración y es conducido a la siguiente fase del proceso por medio de una cinta transportadora; por otra parte el producto entregado por la trituradora tipo cono

es nuevamente conducido, por medio de cintas transportadoras, a la zaranda 1500X4000 para ser clasificado por la misma, formándose un circuito cerrado en esta etapa.

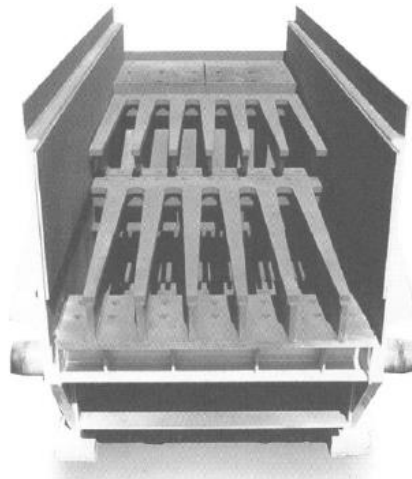
### **2.1.3. Descripción de los equipos que intervienen en las etapas de trituración:**

#### **2.1.3.1. Alimentador Vibratorio (Grizzly)**

Los alimentadores vibratorios, Figura 2, son equipos pensados para la dosificación de materiales de gran tamaño depositados en tolvas y descargados hacia una trituradora primaria; además cumplen con la función de preclasificación mediante el uso de barras en sus secciones finales, removiendo gran cantidad de material fino que no entraría en la trituradora primaria. (Crushing and Screening Handbook, 2023, p.135)

#### **Figura 2.**

*Alimentador grizzly*



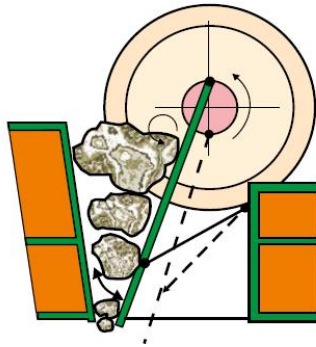
*Nota:* Tomado de Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales (2021).

#### **2.1.3.2. Trituradora de Mandíbula**

Este tipo de trituradora, cuya ilustración se observa en la Figura 3, contempla dos placas o mandíbulas llamadas fija y móvil, en donde el proceso de chancado se lleva a cabo; sobre la mandíbula móvil se encuentra un forro de desgaste que se mueve de forma oscilante sobre una biela, y debe ser reemplazado de forma regular por el deterioro que se produce, otro forro de desgaste es ubicado en la mandíbula fija que no se mueve. La oscilación se produce por un eje excéntrico en la parte superior, que junto con la placa basculante producen la acción de compresión al momento de la rotación de dicho eje. (Crushing and Screening Handbook, 2023, p.44)

**Figura 3.**

*Esquema triturador tipo mandíbula*



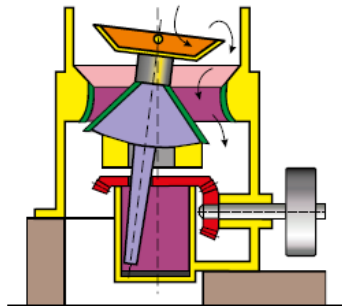
*Nota:* Tomado de *Crushing and Screening Handbook* (2023).

### **2.1.3.3. Trituradora tipo cono.**

El chancado del mineral se produce en una cavidad o espacio entre el elemento exterior llamado tazón que se mantiene fijo, y el elemento interior en forma de cono llamado manto que se mueve sobre un eje oscilante montado de forma vertical. El eje excéntrico es accionado por una transmisión de corona y piñón que generan el movimiento oscilante al momento de girar, provocando que la cabeza del cono fluctúe entre las posiciones de abertura de descarga de lado abierto y de lado cerrado; dicho movimiento provoca la compresión continua que conlleva a la fragmentación del material que ingresa a su cámara. Ambos elementos que intervienen en el proceso de trituración se les monta forros de desgaste, una ilustración se muestra en la Figura 4. (*Crushing and Screening Handbook*, 2023, p.45)

**Figura 4.**

*Esquema triturador tipo cono*



*Nota:* Tomado de *Crushing and Screening Handbook* (2023)

#### **2.1.3.4. Zaranda o Criba Vibratoria**

Las cribas vibratorias, Figura 5, se utilizan en distintas aplicaciones en las industrias y su principio es el mismo. El proceso de clasificación se produce cuando el material cae sobre la superficie de cribado perdiendo su componente vertical de velocidad y cambiando su dirección de movimiento; dicha superficie se encuentra sometida a un proceso de vibración producido por un sistema oscilante accionado por un motor, el cual provoca que la capa de material tienda a fluir sobre la superficie. Cuando el material se encuentra sobre el área de cribado se provocan dos efectos llamados estratificación y probabilidad de separación, en el primer efecto la fracción de material grueso sube a la parte superior del material mientras que la fracción fina se abre camino, por los espacios generados por la gruesa, hacia la parte inferior; en el segundo efecto las fracciones de material más finas entran en contacto con la malla de clasificación y, según el tamaño sea mayor o menor que la abertura de dicha malla, la atraviesan pasando a través de la zaranda o son rechazadas y conducidas sobre la zaranda. (Crushing and Screening Handbook, 2023, p.86)

#### **Figura 5.**

*Zaranda o criba vibratoria*



*Nota:* Tomado de Crushing and Screening Handbook (2023).

#### **2.1.3.5. Cinta transportadora**

La cinta o banda transportadora, Figura 6, es el método de transporte de material seco más utilizado en la industria minera, estas se seleccionan de acuerdo a los requerimientos de capacidad, granulometría del material, ángulo de inclinación y longitud de recorrido. La correcta selección de la banda transportadora y su buen funcionamiento es de vital importancia dentro de una planta, manteniendo el proceso fluyendo de forma continua y estable. Están conformadas por cintas de caucho y lona movidas por un tambor motriz y guiadas por un sistema de rodillos que se asientan sobre bastidores. (Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales, 2021, p.251)

**Figura 6.**

*Cinta o banda transportadora*



*Nota:* Tomado de Crushing and Screening Handbook (2023).

#### **2.1.4. Elementos de control propuestos para la automatización y simulación:**

##### **2.1.4.1. Controlador Lógico Programable (PLC) S7-1200**

Según el fabricante Siemens, se trata de un controlador lógico programable de pequeña escala tipo modular compacto, ideal para soluciones de automatización, ampliamente usado en la industria, en la Figura 7 se muestra una imagen. Para su programación, configuración y gestión se requiere del uso del paquete de software TIA-Portal, que en este proyecto se da uso de la versión trial o de prueba.

**Figura 7.**

*Controlador lógico programable S7-1200*



*Nota:* Tomado de SIMATIC S7 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE S7-1200 (2022)

##### **2.1.4.2. Interfaz Hombre Maquina (HMI) DOP-110WS**

Se trata de una pantalla táctil TFT LCD de la marca Delta Industrial Automation, de 10,1 pulgadas que admite comunicación ethernet, en la Figura 8 se observa una imagen, permitiendo la configuración, programación y gestión por medio de software libre DOPSOFT.

**Figura 8.**

*Pantalla táctil DOP-110WS*



*Nota:* Tomado de Delta Industrial Automation (2019)

### **2.1.4.3. Programa de simulación de gemelo digital Machines Simulator**

Machines Simulation, Figura 9, forma parte de la suite de software EasyPLC. Esta suite está diseñada para crear, simular, probar, practicar y aprender programas lógicos para controlar automatismos.

Machines Simulator ofrece un mundo virtual en 3D con gráficos, sonidos y física en tiempo real donde se pueden probar los programas de PLC. Estos programas lógicos se pueden realizar directamente con EasyPLC o con cualquier otro sistema PLC, utilizando cualquiera de las interfaces disponibles. (Machines Simulator Intruccion Guide, 2024, p.2)

La licencia de este programa ha sido adquirida por el autor para realizar el presente trabajo de titulación.

**Figura 9.**

*Vista de pantalla de inicio de Machines Simulator V4.1.1*

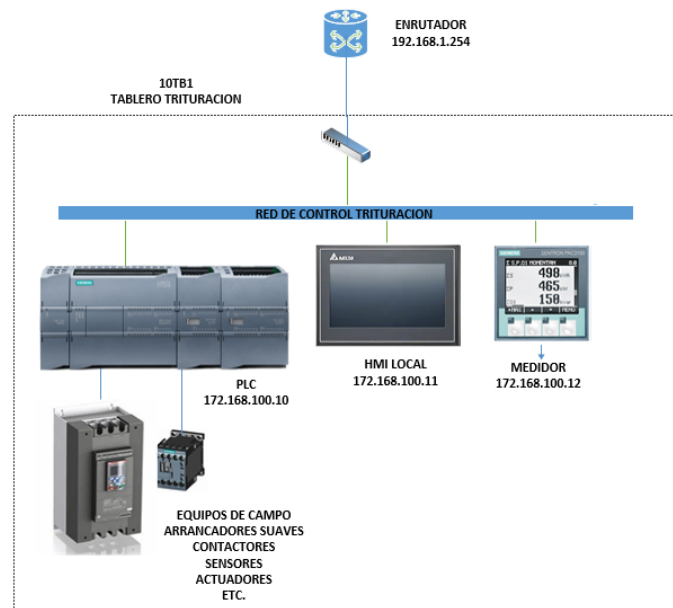


## 2.2. Descripción de la propuesta

Para poder controlar y monitorear la etapa de trituración de minerales en la planta de procesamiento Angelito, se propone utilizar un controlador lógico programable (PLC) s7-1200 de marca Siemens, destinado a recoger todas las señales digitales y analógicas provenientes de los distintos equipos que intervienen en el proceso, y a emitir los comandos hacia los actuadores que dirigen dichos equipos; además de comunicarse vía ethernet con una pantalla DOP-110WS de marca Delta Industrial Automation, destinada a ser la interfaz hombre maquina (HMI) donde el operador visualizará, supervisará y monitoreará las maquinas que pertenecen a cada etapa de trituración. A continuación, en la Figura 10, se visualiza la arquitectura de control del proceso de trituración en mención.

**Figura 10.**

*Arquitectura de control sistema trituración planta Angelito*

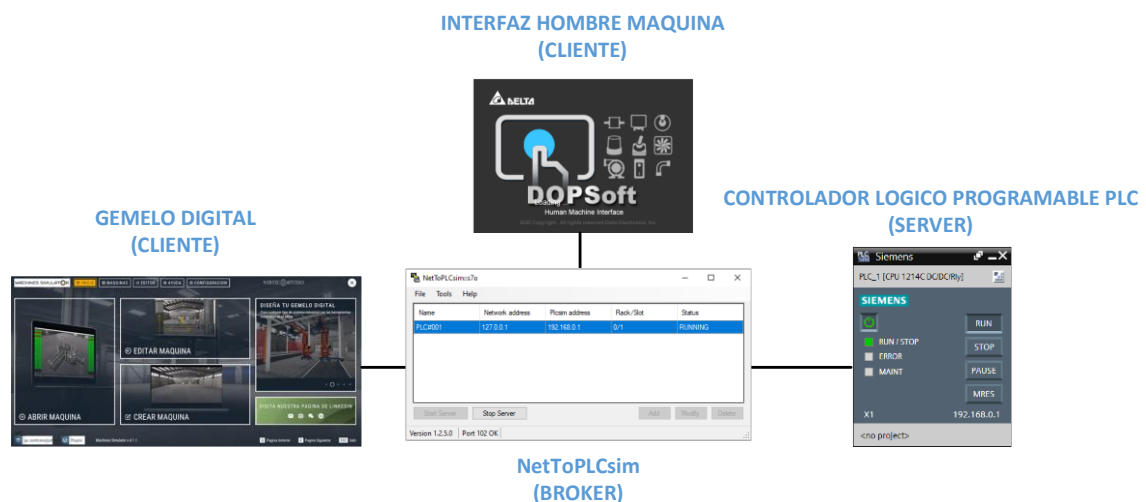


Dado que actualmente la planta de procesamiento de minerales Angelito se encuentra en la etapa de montaje e instalación y no se disponen de todos los equipos de la etapa de trituración, no se podría implementar de manera física la solución planteada; de tal forma que se propone realizar un gemelo digital del proceso que contemple todos los equipos que intervienen en el mismo de manera animada y funcional, tal cual como sería en forma real, y así disponer de los programas, desarrollados en las herramientas de programación propietarias, de PLC y HMI que serán descargados en los equipos reales considerados en la aplicación propuesta. Para la elaboración del gemelo digital se ha propuesto el uso del software Machines Simulator de la marca Nirtec versión 4.1.1.

Tanto el gemelo digital, desarrollado en Machines Simulator, el programa de PLC, desarrollado en TIA-Portal, y el HMI, elaborado en DOPSOFT, tendrán que conectarse cuando la simulación este corriendo o funcionando, para ello se hace uso de un software broker, encargado de canalizar la conexión, llamado NetToPLCsim, como se ilustra en la Figura 11 a continuación.

**Figura 11.**

*Interconexión de programas que intervienen en la simulación*



### a) Estructura General

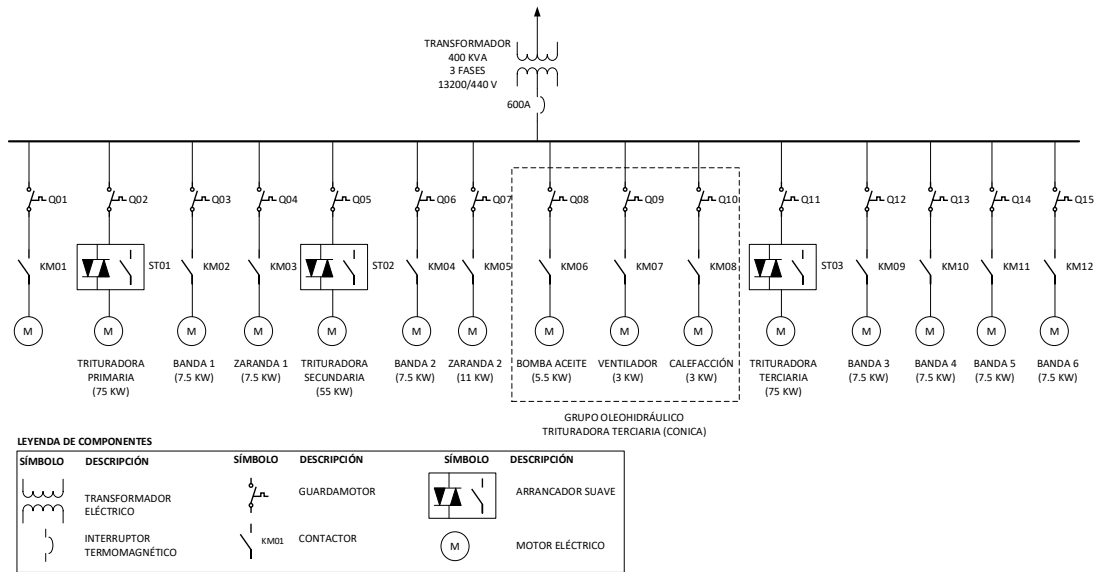
Para poder exponer de mejor manera la propuesta de automatización de la etapa de trituración en la planta de beneficio Angelito, se procedió a realizar descripciones graficas del proceso, empezando con un diagrama unifilar eléctrico de los componentes que conforman al circuito de trituración y continuando con los diagramas de flujo que ilustren los diferentes algoritmos que conforman el programa a desarrollar dentro del PLC.

#### 2.2.1. Diagrama Unifilar proceso trituración planta Angelito

Este diagrama muestra de manera resumida todos los componentes que intervienen en el circuito eléctrico del proceso de trituración, identificando cada elemento que lo conforma. En la Figura 12, a continuación, se ilustra este diagrama unifilar.

**Figura 12.**

*Diagrama unifilar proceso de trituración de la planta Angelito*

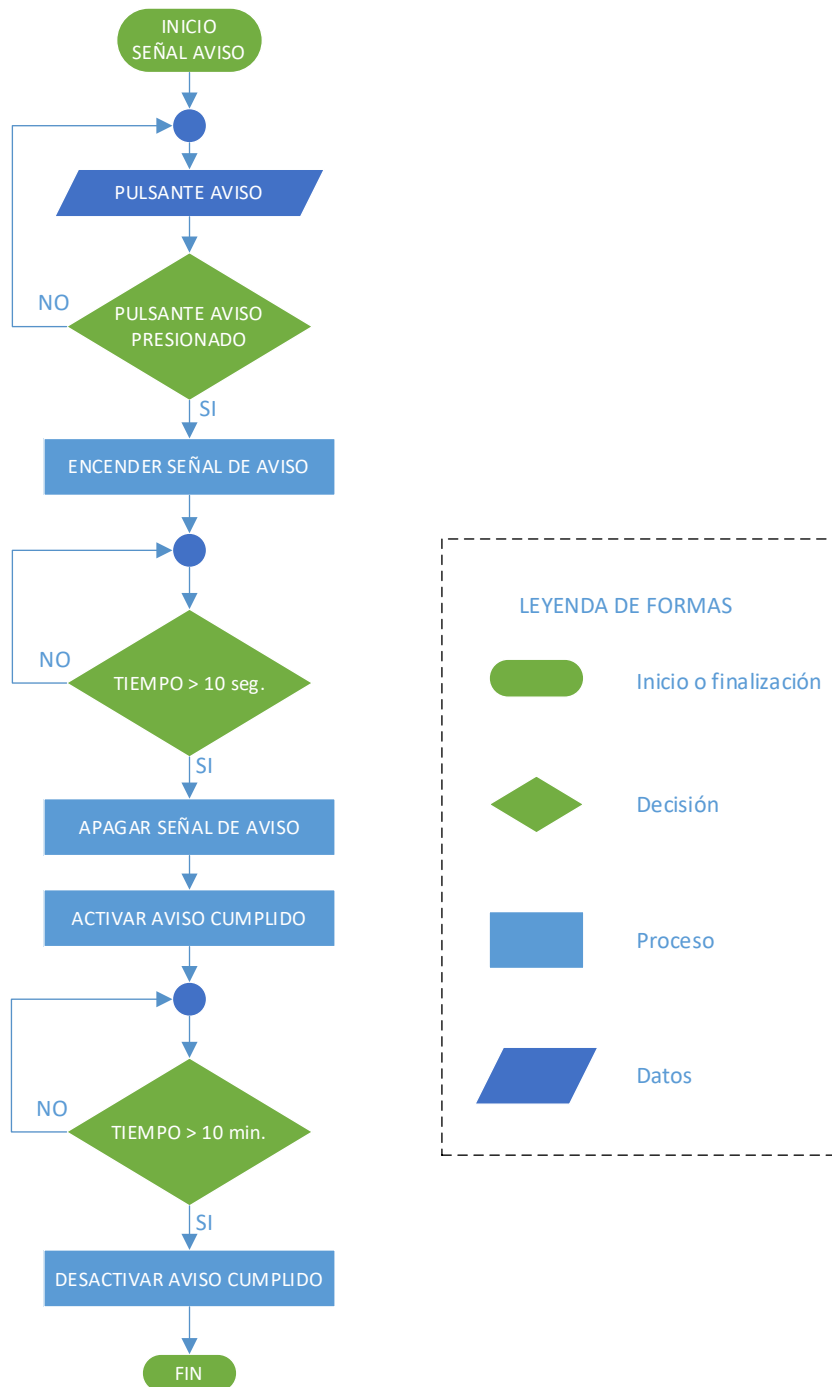


### 2.2.2. Diagrama de flujo de señal de aviso

La señal de aviso se trata de una indicación audible que tiene como objetivo alertar a los operadores y personal de mantenimiento que se encuentren cerca de los equipos que intervienen en el sistema de trituración, para ponerlos en conocimiento que se intenta arrancar el proceso de trituración o algún equipo individualmente; dicha señal es pensada con la premisa de evitar accidentes. A continuación, en la Figura 13 se ilustra el algoritmo de funcionamiento en forma de diagrama de flujo.

**Figura 13.**

*Diagrama de flujo de algoritmo para señal de aviso*

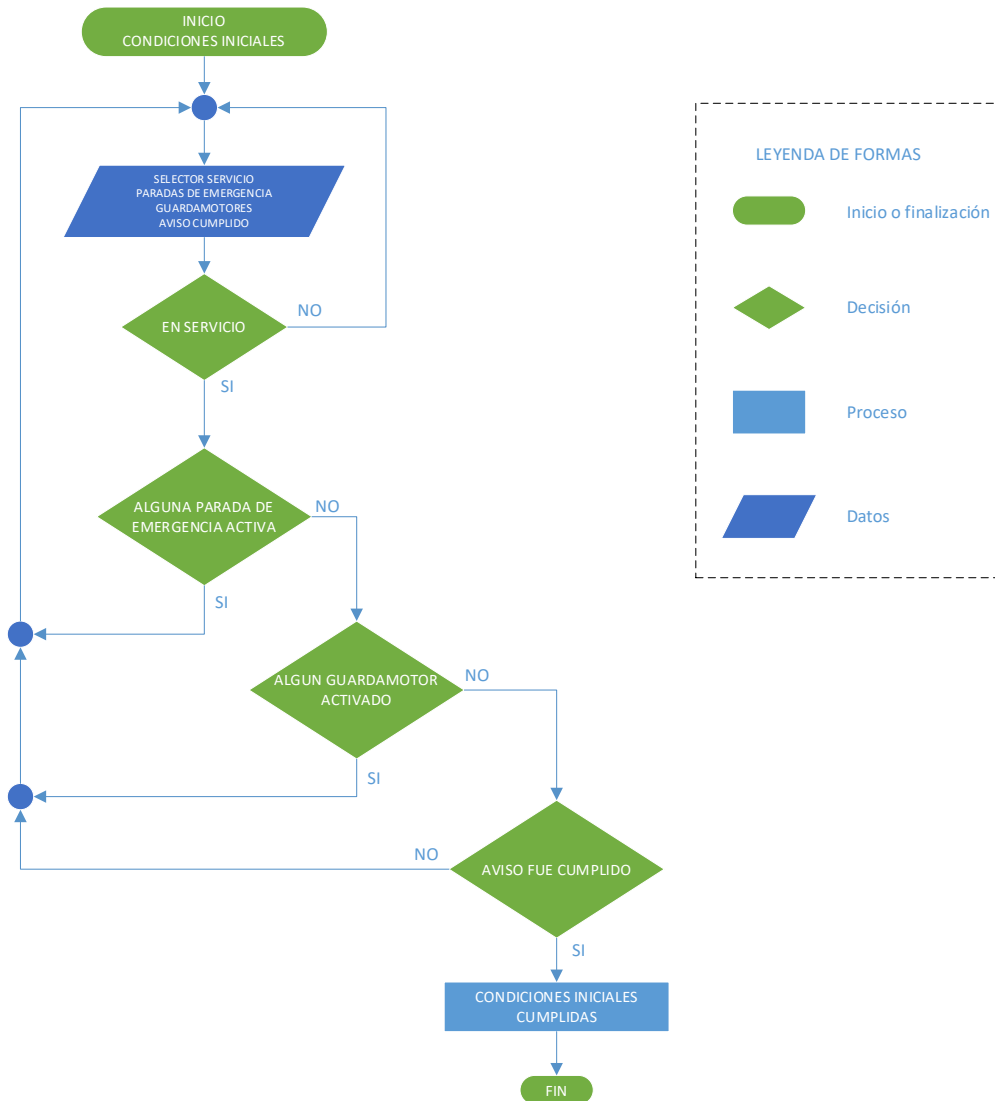


### 2.2.3. Diagrama de flujo de condiciones iniciales

Previo a dar inicio a la secuencia de arranque de modo Automático o Paso a Paso, es preciso cumplir con las condiciones iniciales preestablecidas, que garantizan que no existe algún fallo presente en el proceso de trituración. En la Figura 14 se ilustra el algoritmo en forma de diagrama de flujo de este subproceso.

**Figura 14.**

*Diagrama de flujo de algoritmo condiciones iniciales*

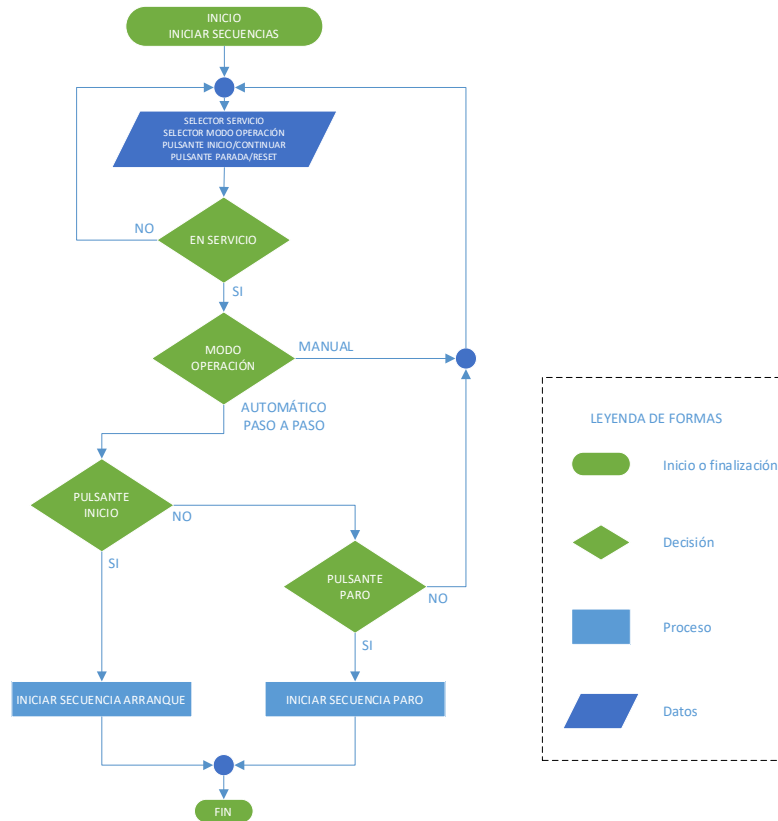


#### 2.2.4. Diagrama de flujo de inicio de secuencias

Dentro de este diagrama de flujo se encuentra el algoritmo que dará inicio a la secuencia de arranque o a la secuencia de paro del proceso de trituración, según el pulsante accionado. En la Figura 15, mostrada a continuación, se visualiza el diagrama de flujo del algoritmo de control de esta tarea.

**Figura 15,**

*Diagrama de flujo de algoritmo inicio de secuencias*

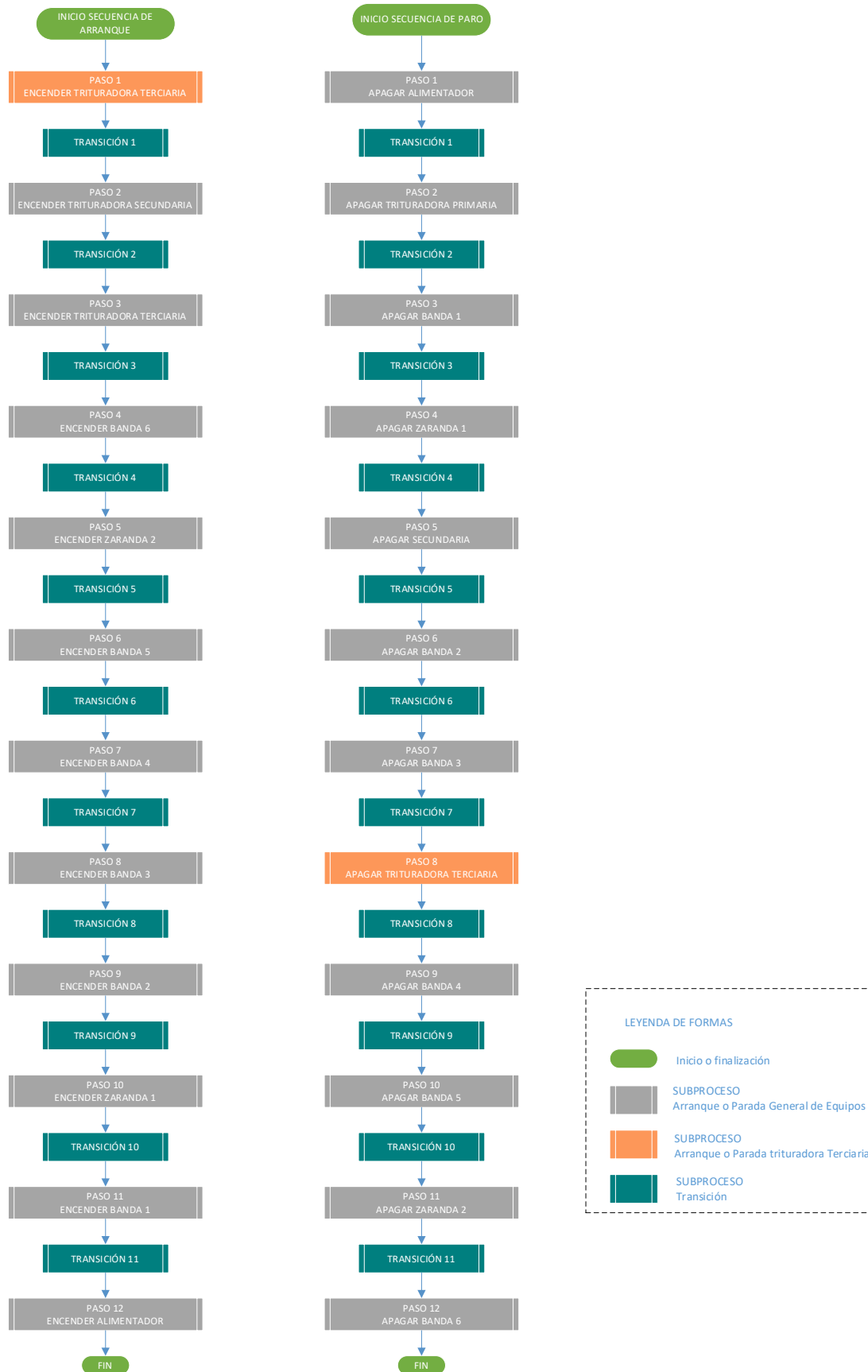


### 2.2.5. Diagrama de flujo de secuencias de arranque y paro

Una vez seleccionada la secuencia a desarrollar se dará inicio a los algoritmos de control de arranque o paro según corresponda, estos algoritmos cuentan con 12 pasos secuenciales a cumplir, los mismos que establecen el orden de arranque o parada de cada componente del proceso de trituración, organizados considerando la dirección del flujo de material sobre el sistema tanto para el arranque como para la parada del mismo. Para el caso de la secuencia de arranque, cada paso llama a un subproceso que ejecuta un algoritmo de control que arranca el equipo o componente que corresponde al paso, en donde deben de cumplirse ciertas premisas para habilitar la continuidad de la secuencia, de no cumplirse con estas condiciones y de alcanzar el tiempo asignado de espera de ejecución del paso se dará una falla que parará la secuencia. Para el caso de la secuencia de parada, cada paso también llama al subproceso, con la orden de parar el equipo o componente del sistema. Cuando se ha cumplido correctamente el paso de programa activo, se continua con un subproceso llamado transición que es el nexo con el siguiente paso, destinado a dar continuidad o pausar la secuencia según el modo de operación seleccionado. En la Figura 16 se observan los diagramas de flujo que contienen los algoritmos de arranque y paro del proceso de trituración.

**Figura 16.**

*Diagrama de flujo de algoritmos de secuencias de arranque y parada de proceso*

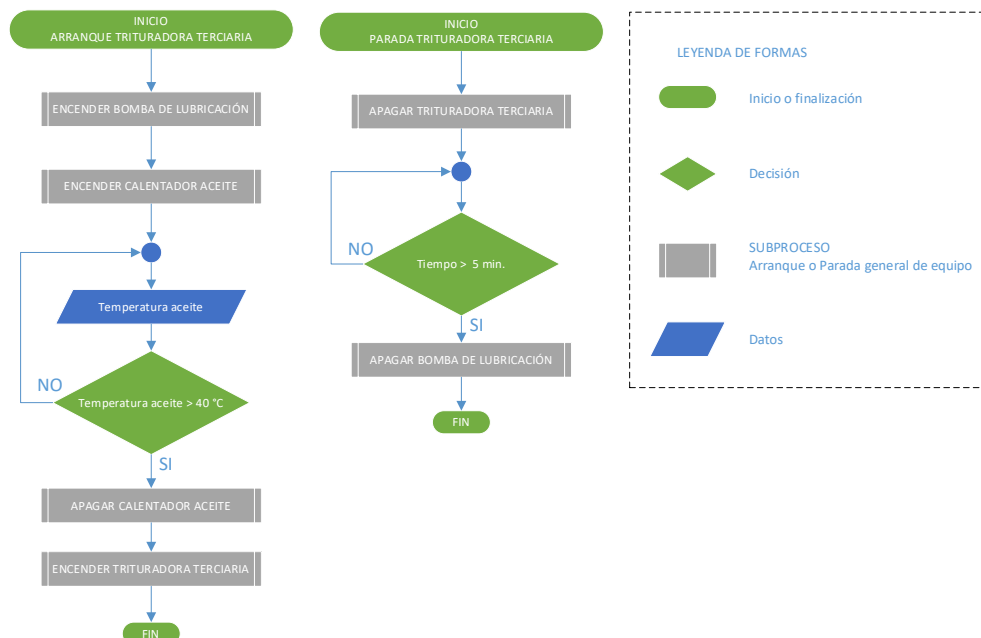


## 2.2.6. Diagrama de flujo de subproceso arranque y parada de trituradora terciaria.

Para poder dar arranque a la trituradora terciaria (cónica) es preciso disponer de una correcta lubricación de aceite en su sistema de transmisión piñón-corona, para ello se debe encender la bomba de aceite y garantizar que la viscosidad del mismo sea la apropiada para cumplir con este cometido, es por eso que la temperatura de aceite debe ser superior a los 40 °C durante el arranque, y mantenerse entre los 50°C y 60 °C durante la operación. Por otra parte, durante el proceso de parada de la trituradora terciaria es preciso garantizar que el flujo de aceite lubrique la transmisión piñón-corona cuando esta se encuentre girando por la acción de la inercia luego de apagado su motor; por ende, la bomba de aceite debe permanecer encendida durante este tiempo (5 minutos). El grupo oleo-hidráulico de la trituradora terciaria cuenta con una bomba de aceite, resistencias calentadoras de aceite y un sistema de refrigeración de aceite conformado por un radiador y un ventilador. En la Figura 17 se muestra los algoritmos de control de arranque y parada de la trituradora terciaria en forma de diagrama de flujo, mientras que en la Figura 18 se ilustra el algoritmo arranque y parada del sistema de refrigeración de aceite lubricante.

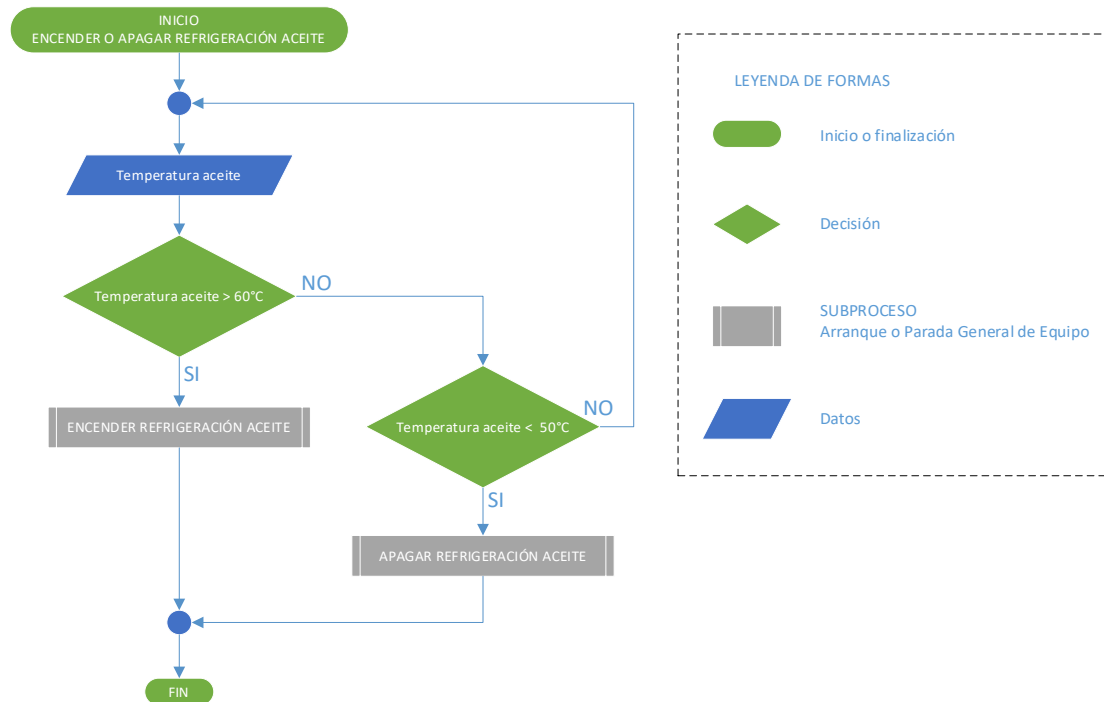
**Figura 17.**

*Diagrama de flujo de algoritmos de arranque y parada de trituradora terciaria*



**Figura 18.**

*Diagrama de flujo de algoritmos de arranque y parada de refrigeración de aceite*

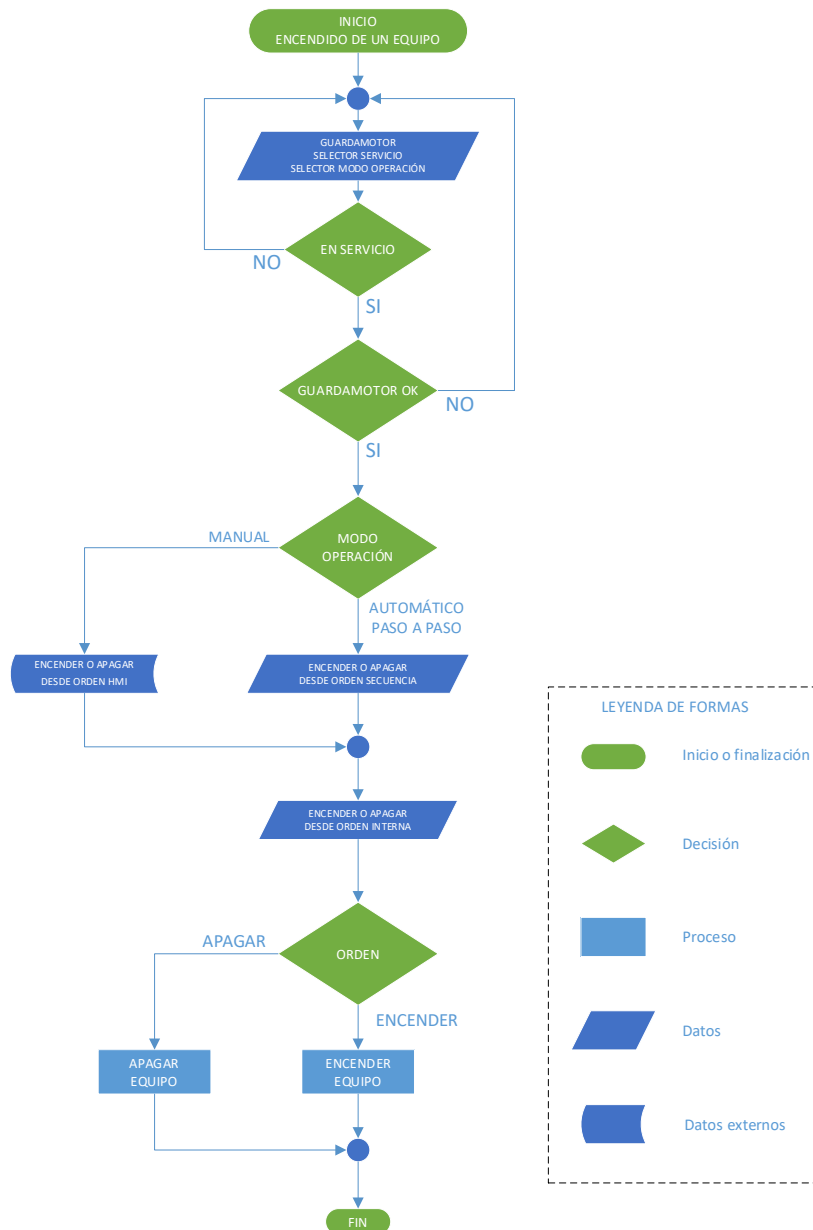


### 2.2.7. Diagrama de flujo de subproceso arranque y parada de equipos en general.

En este diagrama de flujo se ilustra el algoritmo de control de arranque y parada de cada equipo que conforma el proceso de trituración, pudiendo ser realizado desde una orden externa desde el Interfaz Hombre Maquina (HMI) durante el modo manual, o en modo automático desde una orden interna del PLC dada en los algoritmos de secuencias de arranque o parada del sistema, o en las supervisiones dentro de los algoritmos paralelos de funcionamiento de equipos. En la Figura 19, a continuación, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de arranque y parada de equipos en general.

**Figura 19.**

*Diagrama de flujo de algoritmo de arranque y parada general de equipos*

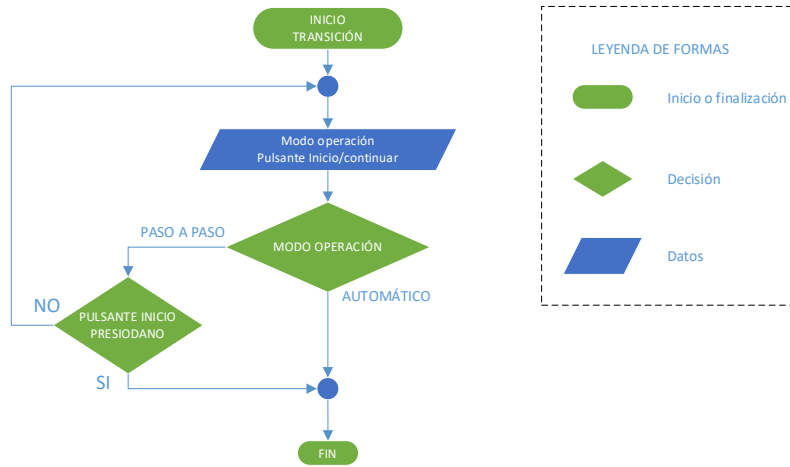


### 2.2.8. Diagrama de flujo de subproceso transición entre pasos

Las transiciones entre pasos indican que el paso previo se ha cumplido y que se iniciará el siguiente paso según el modo de operación, esperando a una nueva pulsación del botón de inicio/continuar en el modo pasa a paso, o continuando de forma automática en el modo automático. A continuación, en la Figura 20 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de transición.

**Figura 20.**

*Diagrama de flujo algoritmo de subproceso transición*

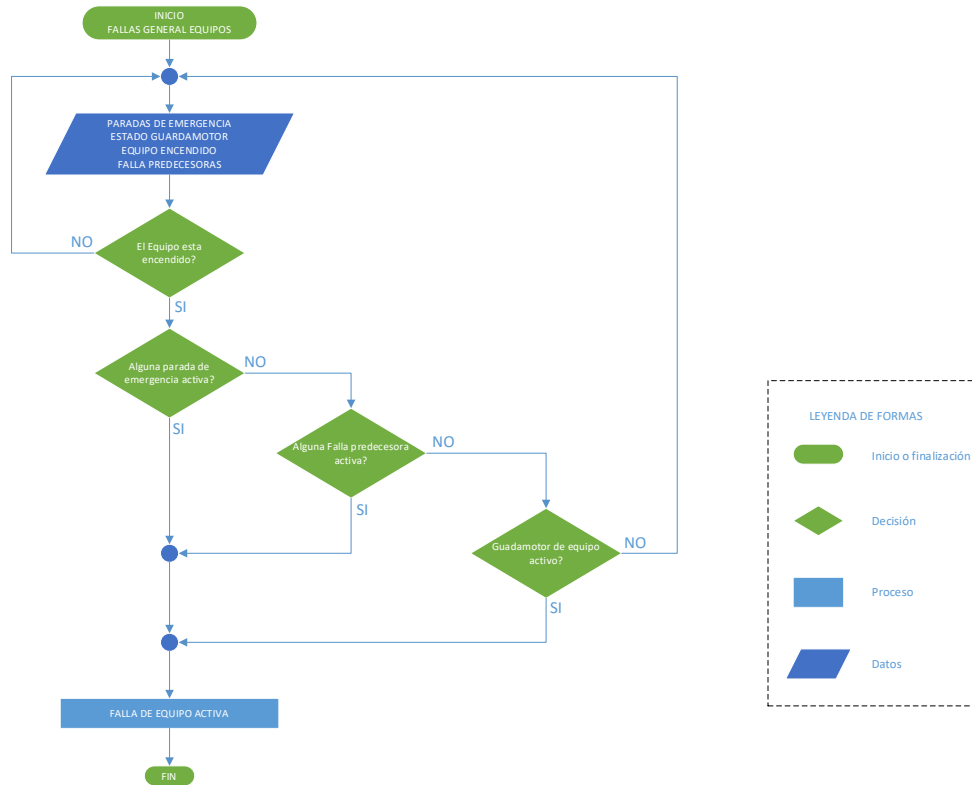


### 2.2.9. Diagrama de flujo de fallas de equipos en general.

Una vez que los equipos, que forman parte del sistema de trituración de la planta Angelito, han recibido la orden de arranque, se activa la supervisión de falla que consiste en monitorear los eventos que detienen la marcha de estos equipos en condiciones de anomalía o cuando el flujo del proceso lo requiera en caso de presentarse una falla predecesora. En la Figura 21 se ilustra el algoritmo para esta supervisión en forma de diagrama de flujo.

**Figura 21.**

*Diagrama de flujo algoritmo de falla general de equipos*

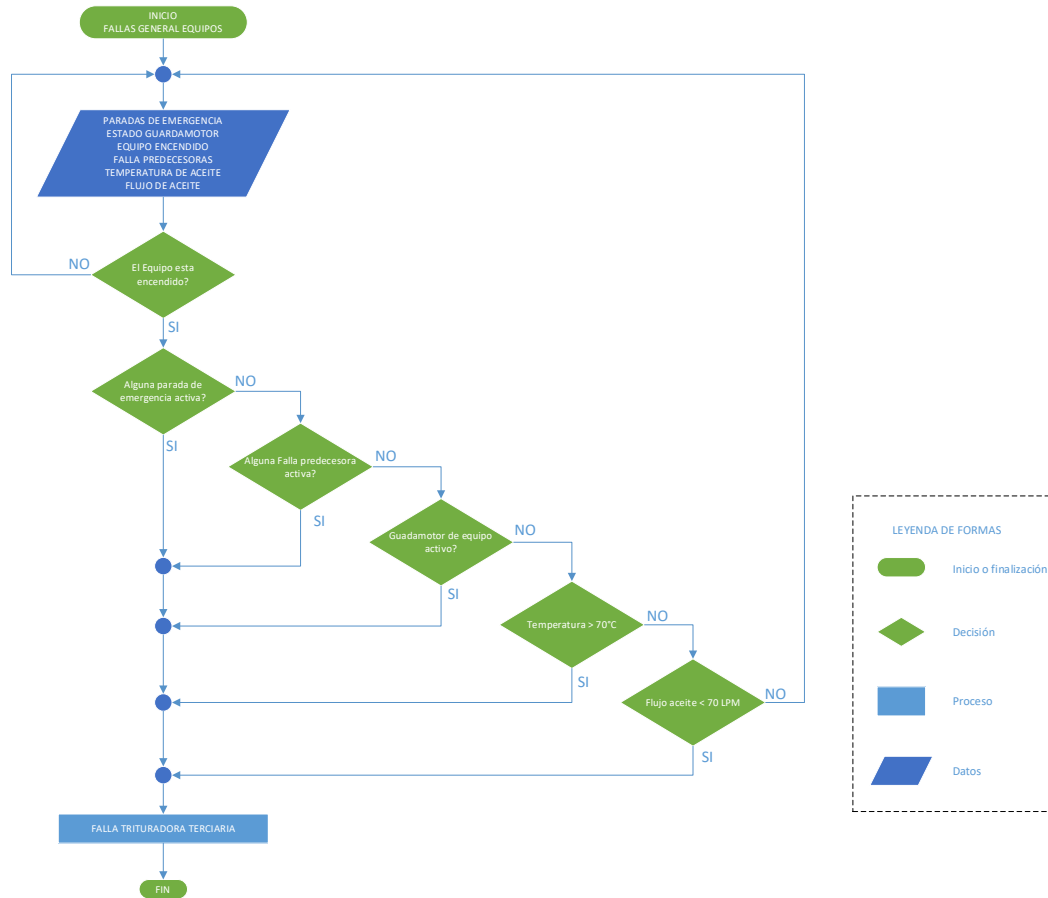


### 2.2.10. Diagrama de flujo de fallas trituradora terciaria

A diferencia de las fallas de los equipos en general, cuando se trata de la trituradora terciaria las fallas adicionales a considerar son por sobre temperatura y perdida de flujo de aceite de lubricación. A continuación, en la Figura 22 se observa el diagrama de flujo de este algoritmo.

**Figura 22.**

*Diagrama de flujo de algoritmo falla trituradora terciaria.*



### b) Explicación del aporte

En esta sección se detalla la solución propuesta plasmada en cada uno de los software que se emplean para cumplir con el cometido de automatizar la etapa de trituración de minerales en la planta Angelito, comenzando con la descripción del gemelo digital y sus componentes realizado en el software Machines Simulator, luego con las pantallas realizadas en el software DOPSOFT que servirán como la HMI del proyecto, y terminando con la descripción del programa a descargar en el PLC realizado en TIAPortal.

Considerando el diagrama unifilar del sistema indicado en el numeral 2.2.1.1, se han levantado todas las variables de campo (entradas y salidas digitales y analógicas) que intervienen en el proceso, así como las que se usará en el tablero de control que gobernará al mismo. A continuación, en la Tabla 1 se ilustra el listado de variables a usarse en los diferentes softwares.

**Tabla 1.**  
*Lista de entradas y salidas digitales y analógicas.*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TAG	DIRECCIÓN	TIPO	ETAPA	ELEMENTO	TAG ELEMENTO
1	SELECTOR FUERA DE SERVICIO	SERVICIO_ON	%I2.0	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	SELECTOR FUERA EN SERVICIO/FUERA DE SERVICIO	SELO1
2	SELECTOR AUTOMÁTICO	AUTO_ON	%I2.1	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	SELECTOR AUTOMÁTICO/PASO A PASO/MANUAL	SELO2
3	SELECTOR MANUAL	MANUAL_ON	%I2.2	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	SELECTOR AUTOMÁTICO/PASO A PASO/MANUAL	SELO2
4	PULSANTE INICIO SECUENCIA DE ARRANQUE	INICIO	%I2.3	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	PULSANTE INICIO SECUENCIA DE ARRANQUE	P01
5	PULSANTE INICIO SECUENCIA DE PARADA Y RESET	PARADA	%I2.4	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	PULSANTE INICIO SECUENCIA DE PARADA	P02
6	PULSANTE SEÑAL AVISO	SIRENA_ON	%I2.5	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	PULSANTE SEÑAL AVISO	P03
7	INDICACIÓN TENSIÓN ALIMENTACIÓN ESTABLE	TENSION_OK	%I2.6	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	SUPERVISOR DE TENSIÓN TRIFÁSICA 440 VAC	ST01
8	PARADA DE EMERGENCIA TABLERO	ESTOP_TB	%I2.7	ENTRADA DIGITAL	GLOBAL	PULSANTE DE PARADA DE EMERGENCIA EN TABLERO	PAR01
9	GUARDAMOTOR ALIMENTADOR	GALIM_OK	%I3.0	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	GUARDAMOTOR PARA ALIMENTADOR	Q01
10	ALIMENTADOR FUNCIONANDO	ALIM_ON	%I3.1	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	CONTACTOR DE ALIMENTADOR	KM01
11	GUARDAMOTOR TRITURADORA PRIMARIA	GPRIM_OK	%I3.2	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	GUARDAMOTOR PARA TRITURADORA PRIMARIA	Q02
12	TRITURADORA PRIMARIA FUNCIONANDO	PRIM_ON	%I3.3	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	SOFTSTARTER PARA TRITURADOR PRIMARIA	ST01
13	FALLO SOFTSTARTER TRITURADORA PRIMARIA	PRIM_FALLA	%I3.4	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	SOFTSTARTER PARA TRITURADORA PRIMARIA	ST01
14	GUARDAMOTOR BANDA TRANSPORTADOR # 1	GBAND1_OK	%I3.5	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	GUARDAMOTOR PARA BANDA TRANSPORTADORA # 1	Q03
15	BANDA TRANSPORTADORA # 1 FUNCIONANDO	BAND1_ON	%I3.6	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	CONTACTOR DE BANDA TRANSPORTADOR # 1	KM02
16	PARADA DE EMERGENCIA ETAPA PRIMARIA	ESTOP_PRI	%I3.7	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	PULSANTE DE PARADA DE EMERGENCIA EN ETAPA PRIMARIA	PAR02
17	GUARDAMOTOR ZARANDA # 1	GZARA1_OK	%I4.0	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	GUARDAMOTOR PARA ZARANDA # 1	Q04
18	ZARANDA # 1 FUNCIONANDO	ZARA1_ON	%I4.1	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	CONTACTOR PARA ZARANDA # 1	KM03
19	GUARDAMOTOR TRITURADORA SECUNDARIA	GSECU_OK	%I4.2	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	GUARDAMOTOR PARA TRITURADORA SECUNDARIA	Q05
20	TRITURADORA SECUNDARIA FUNCIONANDO	SECU_ON	%I4.3	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	SOFTSTARTER PARA TRITURADOR SECUNDARIA	ST02
21	FALLO SOFTSTARTER TRITURADORA SECUNDARIA	SECU_FALLA	%I4.4	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	SOFTSTARTER PARA TRITURADORA SECUNDARIA	ST02
22	GUARDAMOTOR BANDA TRANSPORTADOR # 2	GBAND2_OK	%I4.5	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	GUARDAMOTOR PARA BANDA TRANSPORTADORA # 2	Q06
23	BANDA TRANSPORTADORA # 2 FUNCIONANDO	BAND2_ON	%I4.6	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	CONTACTOR DE BANDA TRANSPORTADOR # 2	KM04
24	PARADA DE EMERGENCIA ETAPA SECUNDARIA	ESTOP_SEC	%I4.7	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	PULSANTE DE PARADA DE EMERGENCIA EN ETAPA PRIMARIA	PAR03
25	GUARDAMOTOR ZARANDA # 2	GZARA2_OK	%I5.0	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA ZARANDA # 2	Q07
26	ZARANDA # 2 FUNCIONANDO	ZARA2_ON	%I5.1	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR PARA ZARANDA # 2	KM05
27	GUARDAMOTOR BOMBA DE ACEITE TRITURADORA CÓNICA	GBACEIT_OK	%I5.2	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA BOMBA DE ACEITE TRITURADOR CÓNICA	Q08
28	BOMBA DE LUBRICACIÓN DE ACEITE TRITURADORA CÓNICA FUNCIONANDO	BACEIT_ON	%I5.3	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR DE BOMBA DE ACEITE TRITURADORA CÓNICA	KM06
29	GUARDAMOTOR VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE TRITURADORA CÓNICA	GVENT_OK	%I5.4	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE TRITURADORA CÓNICA	Q09
30	VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE TRITURADORA CÓNICA	VENT_ON	%I5.5	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR DE VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE TRITURADORA CÓNICA	KM07
31	GUARDAMOTOR RESISTENCIA CALEFACTORAS DEPOSITO ACEITE TRITURADORA CÓNICA	GRESI_ON	%I5.6	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA RESISTENCIA CALEFACTORAS DEPOSITO ACEITE TRITURADORA CÓNICA	Q10
32	RESISTENCIA CALEFACTORAS DEPOSITO ACEITE TRITURADORA CÓNICA FUNCIONANDO	RESI_ON	%I5.7	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR DE RESISTENCIA CALEFACTORAS DEPOSITO ACEITE TRITURADORA CÓNICA	KM08
33	GUARDAMOTOR TRITURADORA TERCARIA (CÓNICA)	GTERC_OK	%I6.0	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA TRITURADORA TERCARIA (CÓNICA)	Q11
34	TRITURADORA TERCARIA (CÓNICA) FUNCIONANDO	TERC_ON	%I6.1	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	SOFTSTARTER PARA TRITURADOR TERCARIA (CÓNICA)	ST03
35	FALLO SOFTSTARTER TRITURADORA TERCARIA	TERC_FALLA	%I6.2	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	SOFTSTARTER PARA TRITURADORA TERCARIA (CÓNICA)	ST03
36	GUARDAMOTOR BANDA TRANSPORTADORA # 3	GBAND3_OK	%I6.3	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA BANDA TRANSPORTADORA # 3	Q12
37	BANDA TRANSPORTADORA # 3 FUNCIONANDO	BAND3_ON	%I6.4	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR DE BANDA TRANSPORTADOR # 3	KM09
38	GUARDAMOTOR BANDA TRANSPORTADORA # 4	GBAND4_OK	%I6.5	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA BANDA TRANSPORTADORA # 4	Q13
39	BANDA TRANSPORTADORA # 4 FUNCIONANDO	BAND4_ON	%I6.6	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR DE BANDA TRANSPORTADOR # 4	KM10
40	GUARDAMOTOR BANDA TRANSPORTADORA # 5	GBAND5_OK	%I6.7	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA BANDA TRANSPORTADORA # 5	Q14
41	BANDA TRANSPORTADORA # 5 FUNCIONANDO	BAND5_ON	%I7.0	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR DE BANDA TRANSPORTADOR # 5	KM11
42	GUARDAMOTOR BANDA TRANSPORTADORA # 6	GBAND6_OK	%I7.1	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	GUARDAMOTOR PARA BANDA TRANSPORTADORA # 6	Q15
43	BANDA TRANSPORTADORA # 6 FUNCIONANDO	BAND6_ON	%I7.2	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	CONTACTOR DE BANDA TRANSPORTADOR # 6	KM12
44	PARADA DE EMERGENCIA ETAPA TERCARIA	ESTOP_TERC	%I7.3	ENTRADA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	PULSANTE DE PARADA DE EMERGENCIA EN ETAPA TERCARIA	PAR04
45	LUZ INDICADORA DE SISTEMA EN SERVICIO	LP_SERVI	%Q0.0	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	LUZ PILOTO EN SERVICIO	LP01
46	LUZ INDICADORA DE SISTEMA FUERA DE SERVICIO	LP_FSERV	%Q0.1	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	LUZ PILOTO EN FUERA DE SERVICIO	LP02
47	LUZ INDICADORA DE MODO AUTOMÁTICO	LP_AUTO	%Q0.2	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	LUZ PILOTO AUTOMÁTICO	LP03
48	LUZ INDICADORA DE MODO PASO A PASO	LP_PASO	%Q0.3	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	LUZ PILOTO PASO A PASO	LP04
49	LUZ INDICADORA DE MODO MANUAL	LP_MAN	%Q0.4	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	LUZ PILOTO MANUAL	LP05
50	LUZ INDICADORA DE INICIO DE SECUENCIA	LP_INIC	%Q0.5	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	LUZ PILOTO INICIO DE SECUENCIA	LP06
51	LUZ INDICADORA DE PARO DE SECUENCIA	LP_PARO	%Q0.6	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	LUZ PILOTO PARO DE SECUENCIA	LP07
52	BALIZA DE FALLO	BALIZA	%Q0.7	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	BALIZA ANUNCIADORA DE FALLO	BA01
53	SIRENA DE AVISO DE MAQUINARIA PRÓXIMA A ENCENDER	SIRENA	%Q1.0	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	SIRENA SONORA DE AVISO DE ENCENDIDO PRÓXIMO DE MAQUINARIA	SS01
54	RESET GENERAL	RESET	%Q1.1	SALIDA DIGITAL	GLOBAL	RELÉ AUXILIAR DE RESET	K01
55	ARRANQUE ALIMENTADOR	ALIMENT	%Q1.2	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	RELÉ AUXILIAR ALIMENTADOR	K02
56	ARRANQUE TRITURADORA PRIMARIA	PRIMARIA	%Q1.3	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	RELÉ AUXILIAR TRITURADORA PRIMARIA	K03
57	ARRANQUE BANDA # 1	BANDA_1	%Q1.4	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN PRIMARIA	RELÉ AUXILIAR BANDA # 1	K04
58	ARRANQUE ZARANDA # 1	ZARA_1	%Q1.5	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	RELÉ AUXILIAR ZARANDA # 1	K05
59	ARRANQUE TRITURADORA SECUNDARIA	SECUNDA	%Q1.6	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	RELÉ AUXILIAR TRITURADORA SECUNDARIA	K06
60	ARRANQUE BANDA # 2	BANDA_2	%Q1.7	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA	RELÉ AUXILIAR BANDA # 2	K07
61	ARRANQUE ZARANDA # 2	ZARA_2	%Q2.0	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR ZARANDA # 2	K08
62	ARRANQUE BOMBA DE ACEITE LUBRICACIÓN TRITURADORA CÓNICA	BACEIT	%Q2.1	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR CÓNICA # CÓNICA	K09
63	ARRANQUE VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE LUBRICANTE TRITURADORA CÓNICA	VENTIL	%Q2.2	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR CÓNICA # CÓNICA	K10
64	ARRANQUE RESISTENCIAS CALEFACTORAS ACEITE LUBRICANTE TRITURADORA CÓNICA	CALEFAC	%Q2.3	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR CÓNICA # CÓNICA	K11
65	ARRANQUE TRITURADORA TERCARIA (CÓNICA)	TERCEAR	%Q2.4	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR CÓNICA # CÓNICA	K12
66	ARRANQUE BANDA # 3	BANDA_3	%Q2.5	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR BANDA # 3	K13
67	ARRANQUE BANDA # 4	BANDA_4	%Q2.6	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR BANDA # 4	K14
68	ARRANQUE BANDA # 5	BANDA_5	%Q2.7	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR BANDA # 5	K15
69	ARRANQUE BANDA # 6	BANDA_6	%Q3.0	SALIDA DIGITAL	TRITURACIÓN TERCARIA	RELÉ AUXILIAR BANDA # 6	K16
70	SENSOR TEMPERATURA ACEITE LUBRICACIÓN TRITURADORA CÓNICA	TTEMP01	%0B3.DB00	ENTRADA ANALÓGICA	TRITURACIÓN TERCARIA	TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE ACEITE TRITURADORA CÓNICA	TF01
71	SENSOR FLUJO ACEITE LUBRICACIÓN TRITURADORA CÓNICA	TFLUJ001	%0B3.DB04	ENTRADA ANALÓGICA	TRITURACIÓN TERCARIA	TRANSMISOR DE FLUJO DE ACEITE TRITURADORA CÓNICA	TF01

### 2.2.11. Gemelo Digital realizado en Machines Simulator de la marca Nirtec

Para la elaboración del gemelo digital del proceso de trituración de minerales de la planta de beneficio Angelito, es preciso construir los componentes principales del sistema a partir de objetos en tres dimensiones que representan los equipos, insertados en extensión “obj” en el editor de componentes definidos por el usuario, en donde además del ensamblaje se asignan las animaciones, entradas y salidas digitales y analógicas, incluyendo un algoritmo en lenguaje grafico que tiene por objetivo la interacción de dichos elementos con el PLC. A continuación, se describe cada componente definido por el usuario, UDC por sus siglas en inglés, de los equipos que intervienen en el proceso.

#### 2.2.11.1. UDC Trituradora Primaria.

Para este UDC se usó el modelo en tres dimensiones de la trituradora de mandíbula 600X900 a usar en el proyecto, considerando la mayor cantidad de detalles posibles y haciendo sus controladores hagan girar las poleas cuando reciban la señal del PLC. En la Figura 23 a continuación se observan las vistas del UDC insertado en Machines Simulator.

**Figura 23.**

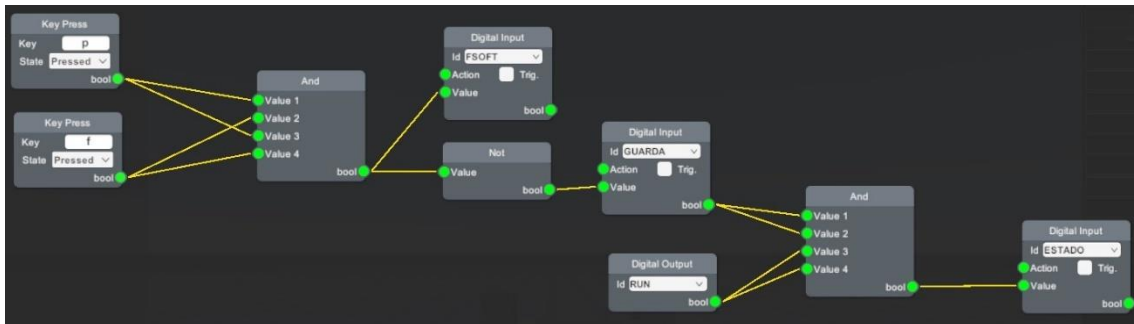
*Vistas lateral, frontal y superior de UDC de la trituradora Primaria*



Realizado el UDC de la trituradora primaria tipo mandíbula, se realizó el código grafico que entrega la señal del guardamotor y de funcionamiento al PLC, simulando una falla al presionar las teclas “f” y “p” al mismo tiempo. En la Figura 24 se ilustra este código gráfico.

**Figura 24.**

*Código grafico del algoritmo del UDC de la Trituradora Primaria*

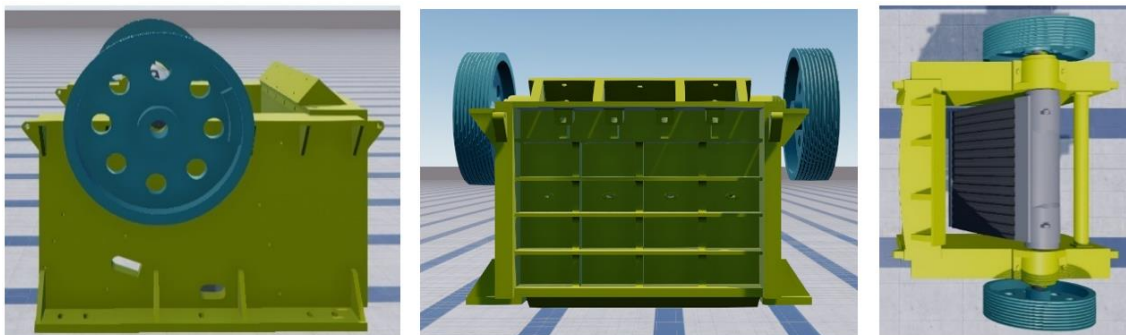


### 2.2.11.2. UDC Trituradora Secundaria.

Para la elaboración de este UDC se ha considerado el modelo en tres dimensiones de la trituradora de mandíbula 300X1300, insertándolo en la librería de UDC's del software Machines Simulator con los controladores necesarios para lograr girar sus poleas al momento de recibir la señal de accionamiento desde el PLC. A continuación, en la Figura 25 se muestra las vistas del UDC creado.

**Figura 25.**

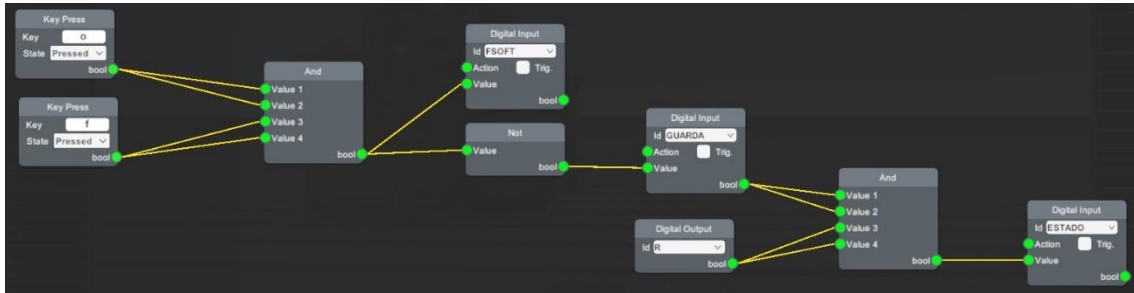
*Vista lateral, frontal y superior de UDC de la Trituradora Secundaria*



Para poder emitir las señales de posición del guardamotor y funcionamiento de la trituradora secundaria, se procedió a realizar el código gráfico, que se ilustra en la Figura 26 a continuación, en el UDC considerando la activación de la falla al presionar al mismo tiempo las teclas “f” y “o”.

**Figura 26.**

*Código grafico del algoritmo del UDC de la Trituradora Secundaria*



### 2.2.11.3. UDC Trituradora Terciaria.

En el caso de la creación de este UDC se consideró el modelo en tres dimensiones de la trituradora tipo como similar a la que se usará en el proyecto, incluyéndola dentro de las librerías de UDC's del software Machines Simulator considerando los controles que hagan girar la polea de esta máquina al recibir la se señal de activación desde el PLC. En la Figura 27, a continuación, se ilustran las vistas del UDC realizado.

**Figura 27.**

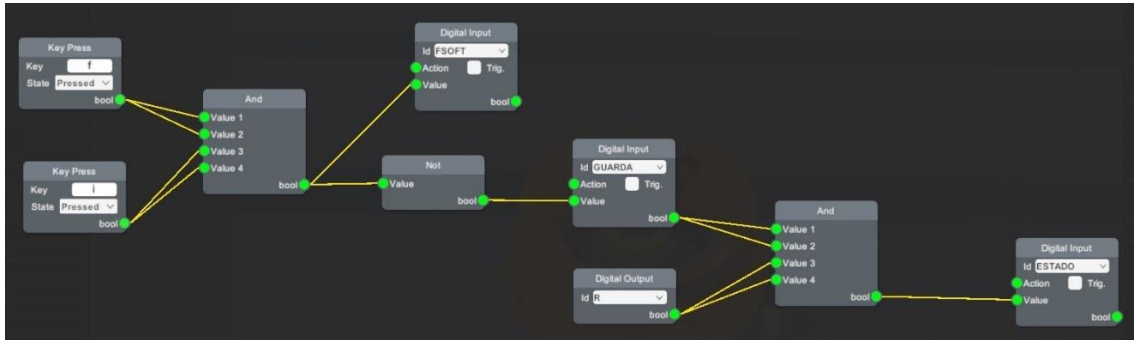
*Vista frontal, lateral y superior de UDC de la trituradora Terciaria*



Una vez concluido el UDC se realizó el código grafico que envié las señales de funcionamiento y guardamotor de la trituradora terciaria al PLC, considerando que al presionar las teclas “f” e “i” al mismo tiempo se activará la falla de la misma, esto se puede observar en la Figura 28 a continuación.

**Figura 28.**

*Código grafico del algoritmo del UDC de la Trituradora Terciaria*



#### **2.2.11.4. UDC Grupo Oleo-hidráulico de Trituradora Terciaria.**

El grupo oleo-hidráulico de la trituradora terciaria se incluyó en las librerías de UDC's del software Machines Simulator, tomando en cuenta un modelo similar en tres dimensiones, dentro de este sistema se encuentran animados los componentes que forman parte de este grupo como son la bomba de aceite y calefacción, que cambia de color al activarse desde el PLC, y el ventilador de la refrigeración que gira al activarse desde el PLC. A continuación, en la Figura 29 se muestra el UDC del grupo oleo-hidráulico de la trituradora terciaria.

**Figura 29.**

*Vista lateral, frontal y superior de UDC del grupo Oleo-hidráulico*

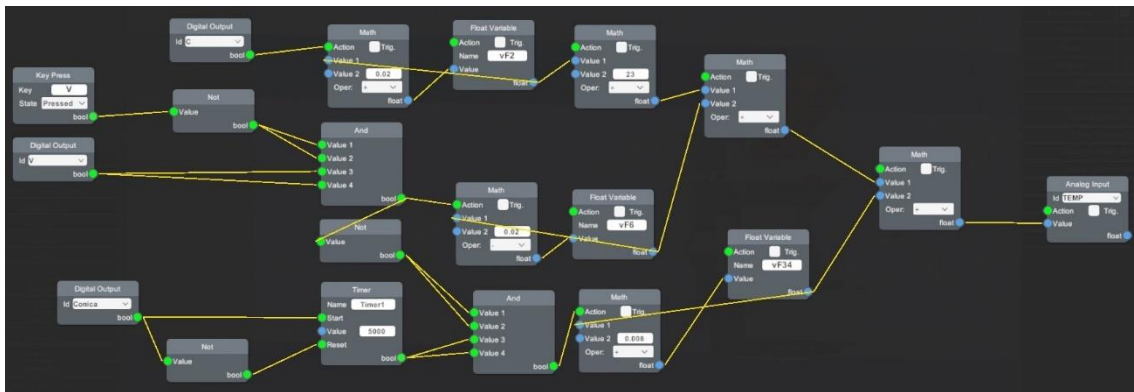


El grupo oleo-hidráulico dispone de dos señales analógicas a ser enviadas al PLC que son la temperatura y el flujo de aceite de lubricación, que para simular su variación se utilizó el código grafico dentro del UDC, haciendo incrementar la temperatura de aceite al encender las resistencias calefactoras y al recibir la señal de funcionamiento de la trituradora terciaria, y disminuir al encender el ventilador de la refrigeración. De la misma manera para la señal de flujo

de aceite, se incrementa cuando la bomba de aceite está operativa y disminuye cuando esta se para. También se incluyó el fallo de este sistema, continuando con el incremento de la temperatura, a pesar que el ventilador este encendido, cuando se presione la tecla “V”; por otro lado, el fallo de flujo se da cuando se presiona la tecla “B” a pesar que la bomba de aceite se encuentre encendida. Estos códigos gráficos se ilustran a continuación, en la Figura 30 para el caso del sensor de temperatura y Figura 31 para el sensor de flujo de aceite.

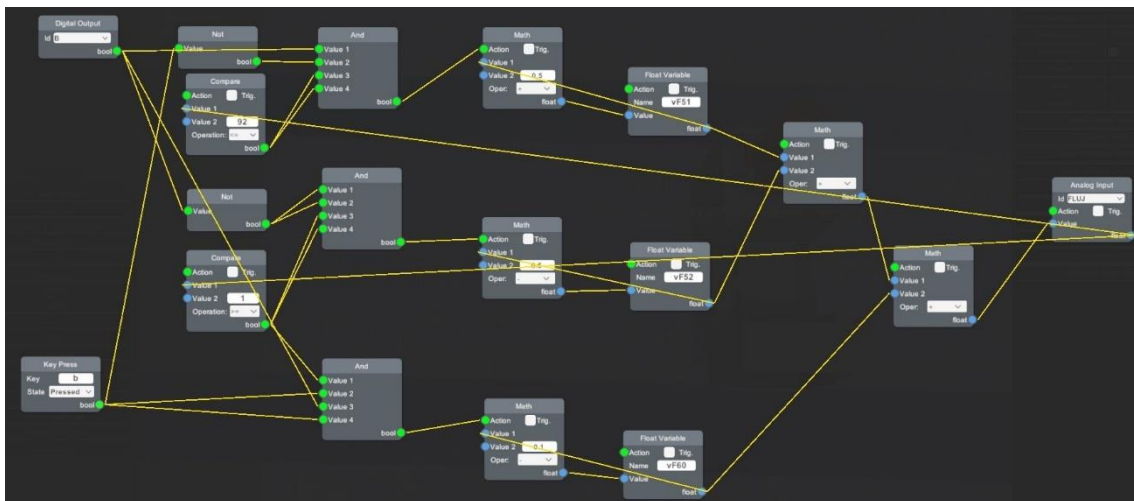
**Figura 30.**

*Código gráfico para el sensor de temperatura de aceite del grupo oleo-hidráulico*



**Figura 31.**

*Código gráfico para el sensor de flujo de aceite del grupo oleo-hidráulico*

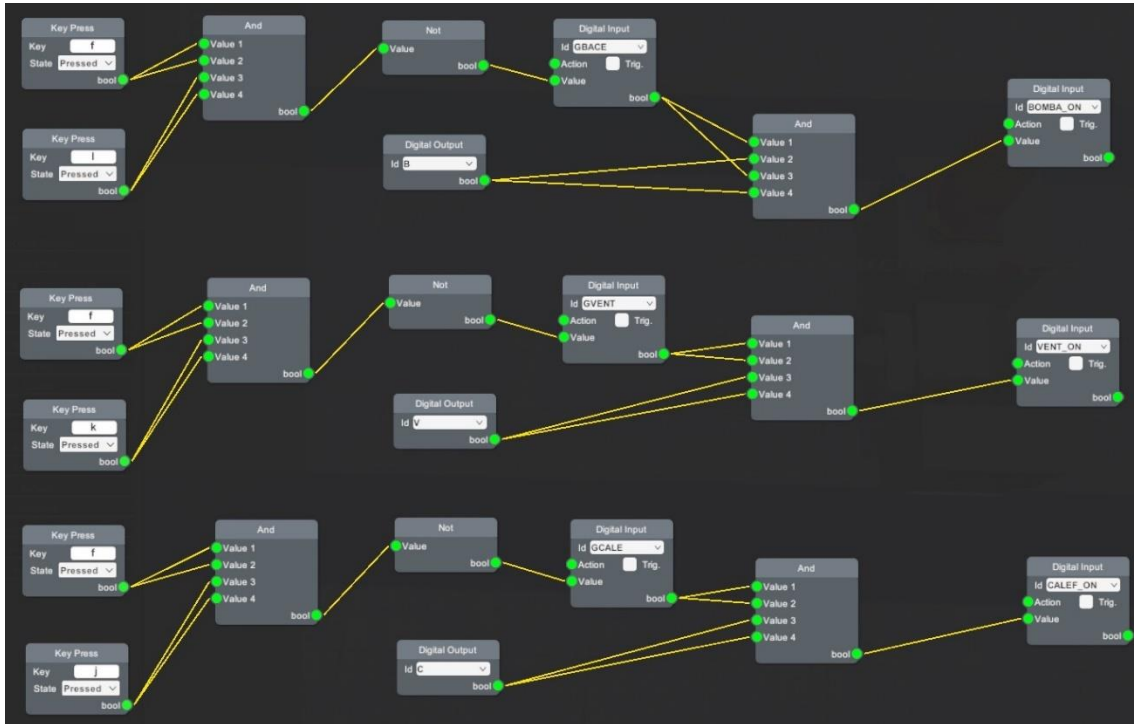


De igual manera que para el resto de UDC's se consideró el envío de las señales digitales al PLC del estado de funcionamiento, estado del guardamotor y la activación del fallo de cada componente que forma parte del grupo oleo-hidráulico, generando el fallo de la bomba de aceite al presionar las teclas “f” y “l”, del sistema calentador de aceite presionando las teclas “f”

y “j”, y del ventilador del sistema de refrigeración de aceite presionando las teclas “f” y “k”. Este código gráfico se ilustra, a continuación, en la Figura 32.

**Figura 32.**

*Código gráfico del algoritmo del UDC del grupo oleo-hidráulico*

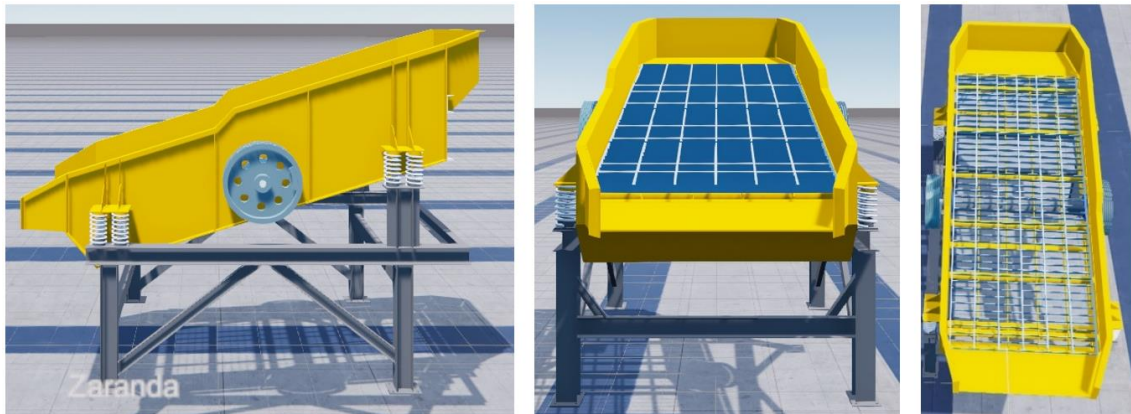


### 2.2.11.5. UDC Zaranda vibratoria.

Para la elaboración de este UDC se ha considerado el modelo en tres dimensiones de una Zaranda de vibración similar a las del proyecto, insertándolo en la librería de UDC's del software Machines Simulator con los controladores necesarios para lograr girar sus poleas al momento de recibir la señal de accionamiento desde el PLC. A continuación, en la Figura 33 se muestra las vistas del UDC creado.

**Figura 33.**

*Vista lateral, frontal y superior de UDC de la Zaranda Vibratoria*



Luego de crear el UDC se procedió a realizar el código gráfico que envié al PLC las señales de guardamotor y funcionamiento de la zaranda vibratoria, además provocar una falla de la misma cuando se presione al mismo tiempo las teclas “P” y “t”. En la Figura 34 a continuación se muestra el código gráfico realizado.

**Figura 34.**

*Código gráfico del algoritmo del UDC de la zaranda vibratoria.*

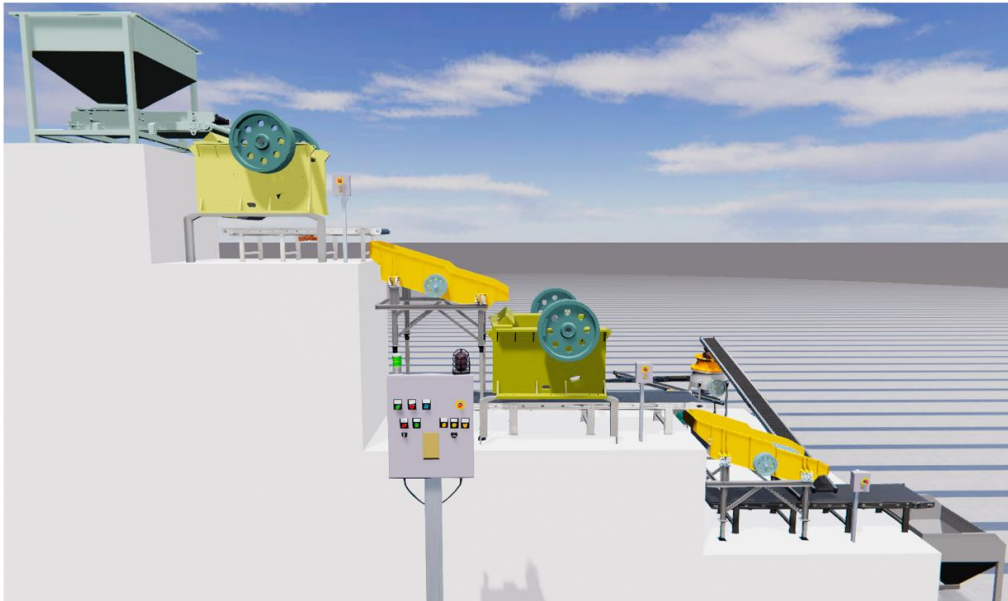


Luego de haber realizado los UDC's de cada componente, se los ubicó de acuerdo a la disposición real que tomaran en la instalación del proceso de trituración de minerales en la planta Angelito, incluyendo de forma adicional el cuadro de control con los pulsantes y selectores considerados para la operación del sistema, así como los pulsantes de parada de emergencia ubicados estratégicamente en cada etapa del proceso. En la Figura 35 se observa una vista lateral de toda la instalación, mientras que en las

Figura 36 y Figura 37 se muestran las vista frontal y superior.

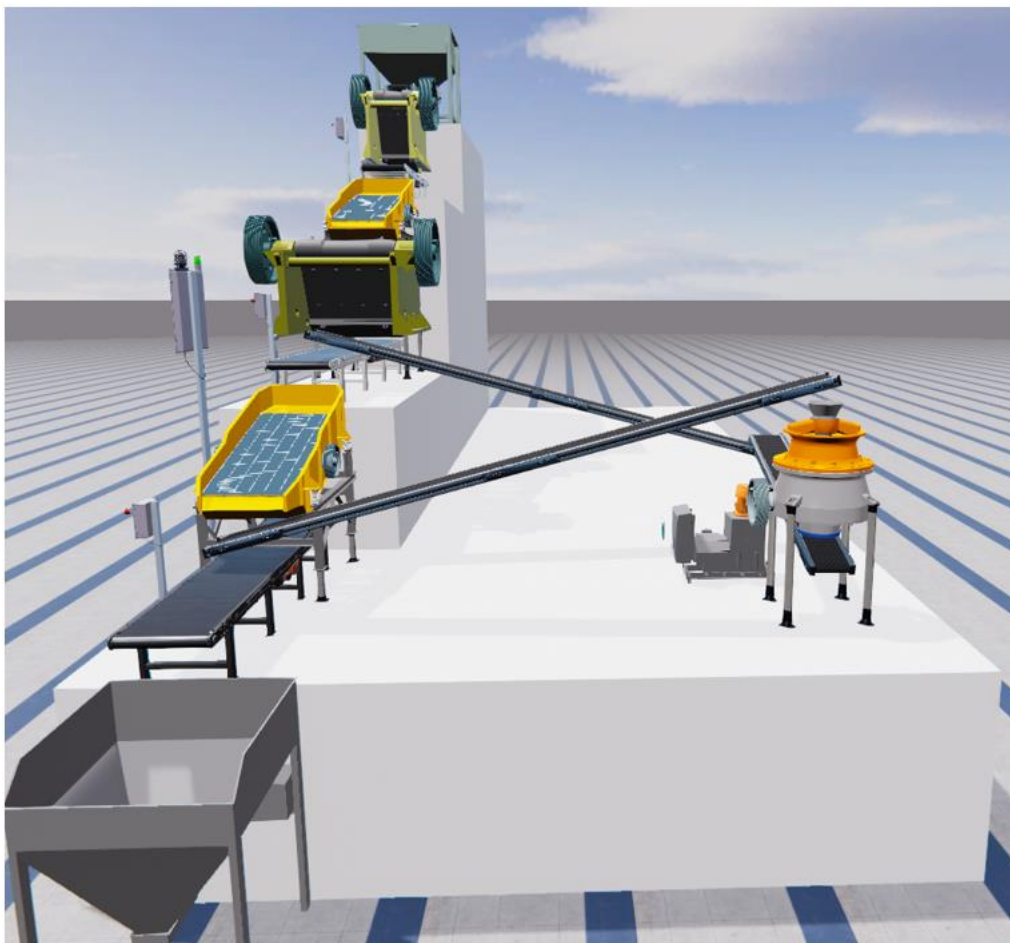
**Figura 35.**

*Vista lateral del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito*



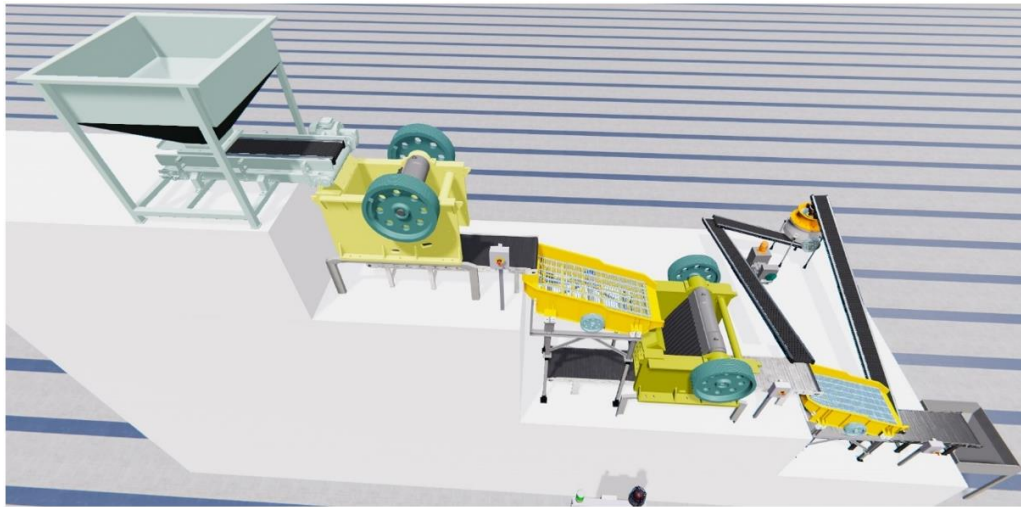
**Figura 36.**

*Vista frontal del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito*



**Figura 37.**

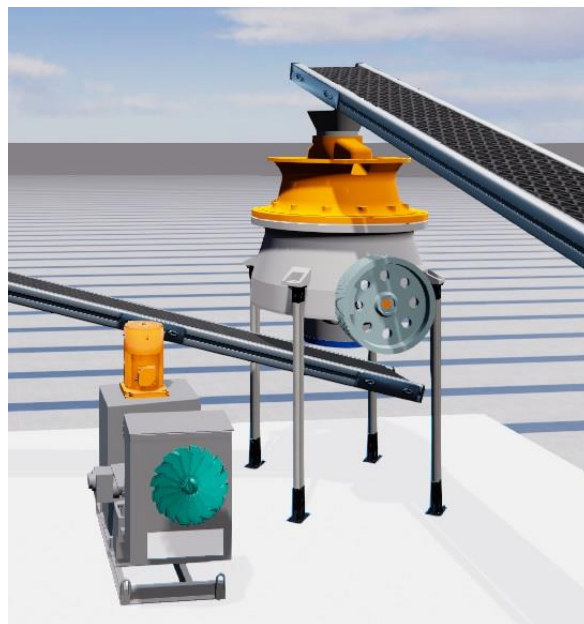
*Vista superior del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito*



Además de las vistas mostradas anteriormente también se observan en la Figura 38, Figura 39 y Figura 40 las vistas de la trituradora terciaria con su sistema oleo-hidráulico, la trituración secundaria y terciaria, y la trituración primaria.

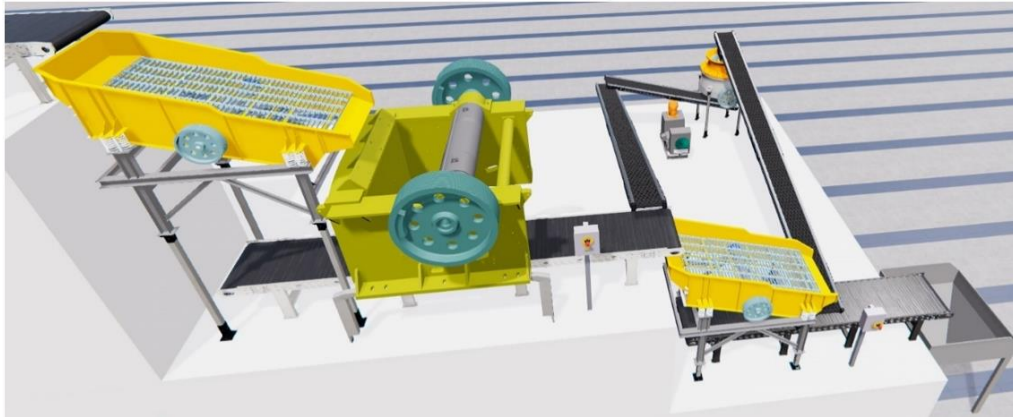
**Figura 38.**

*Vista trituradora terciaria y grupo oleo-hidráulico*



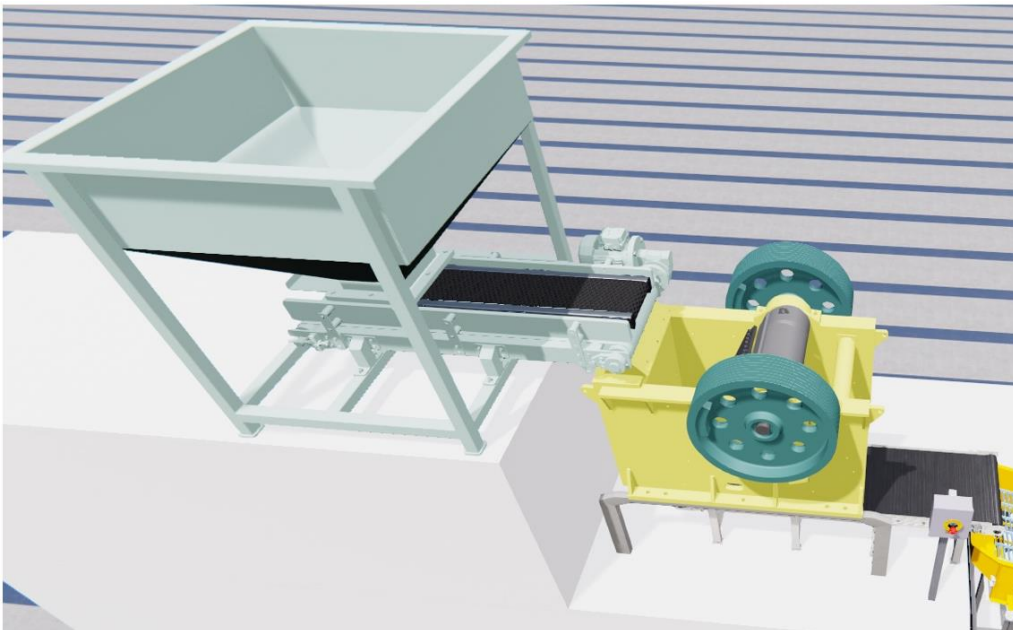
**Figura 39.**

*Vista trituración secundaria y terciaria*



**Figura 40.**

*Vista trituración primaria*



Adicional a las vistas indicadas anteriormente se ilustran, en la Figura 41 y Figura 42, el tablero de control y las paradas de emergencia ubicadas en las etapas de trituración.

**Figura 41.**

*Vista frontal del tablero de control*



**Figura 42.**

*Vista frontal de paradas de emergencia etapa primaria, secundaria y terciaria*



### **2.2.12. Pantallas de la Interfaz Hombre Maquina realizadas en DOPSOFT de la marca DELTA INDUSTRIAL AUTOMATION**

Las pantallas que servirán de Interfaz Hombre Maquina del proyecto de automatización del proceso de trituración en la planta de beneficio Angelito, han sido elaboradas en el software DOPSOFT para luego ser descargadas en un panel táctil modelo DOP-110WS, una de las

características de este software es que permite la simulación en tiempo real del panel interactuando con el software del PLC, para este caso es el TIAPortal, y así poder observar el comportamiento de sus componentes y la comunicación con el autómata programable. Además de considerar las señales de la tabla 1 para la realización de las pantallas, se consideraron las señales que se utilizan dentro del PLC en los algoritmos de secuencia de arranque y paro, este listado se muestra en la Tabla 2 a continuación; mientras que en la Tabla 3 se muestran las señales que se utilizan como órdenes desde el HMI dentro del PLC.

**Tabla 2.**

*Señales de las secuencias de arranque y paro*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TAG	DIRECCIÓN	TIPO	ETAPA	ELEMENTO	TAG ELEMENTO
1	PARADAS DE EMERGENCIA AGRUPADAS	FALLA_ESTOP	%M20.0	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
2	FALLAS DE ALIMENTADOR	FALLA ALIM	%M20.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
3	FALLAS DE TRITURADORA PRIMARIA	FALLA_TPRIM	%M20.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
4	FALLAS DE BANDA # 1	FALLA_BANDA1	%M20.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
5	FALLAS DE ZARANDA # 1	FALLA_ZARAN1	%M20.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
6	FALLAS DE TRITURADORA SECUNDARIA	FALLA_TSECU	%M20.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
7	FALLAS DE BANDA # 2	FALLA_BANDA2	%M20.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
8	FALLAS DE ZARANDA # 2	FALLA_ZARAN2	%M20.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
9	FALLAS DE BOMBA DE ACEITE CONICA	FALLA_BACEIT	%M21.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
10	FALLAS DE VENTILADOR DE REFRIGERACION CONICA	FALLA_VENT1	%M21.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
11	FALLAS DE RESISTENCIAS CALEFACTORAS DE ACEITE COM	FALLA_CALEF	%M21.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
12	FALLAS DE TRITURADORA TERCEARIA	FALLA_TTERC	%M21.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
13	FALLAS DE BANDA # 3	FALLA_BANDA3	%M21.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
14	FALLAS DE BANDA # 4	FALLA_BANDA4	%M21.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
15	FALLAS DE BANDA # 5	FALLA_BANDA5	%M21.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
16	FALLAS DE BANDA # 6	FALLA_BANDA6	%M21.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
17	CONDICIONES INICIALES PARA SECUENCIA	SEC_CONDI	%M15.0	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
18	PASO 1 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA TERCEARIA)	SEC_PASO1	%M15.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
19	PASO 2 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA SECUNDARIA)	SEC_PASO2	%M15.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
20	PASO 3 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA PRIMARIA)	SEC_PASO3	%M15.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
21	PASO 4 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 6)	SEC_PASO4	%M15.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
22	PASO 5 ACTIVO (ARRANQUE ZARANDA 2)	SEC_PASO5	%M15.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
23	PASO 6 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 5)	SEC_PASO6	%M15.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
24	PASO 7 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 4)	SEC_PASO7	%M15.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
25	PASO 8 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 3)	SEC_PASO8	%M16.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
26	PASO 9 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 2)	SEC_PASO9	%M16.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
27	PASO 10 ACTIVO (ARRANQUE ZARANDA 1)	SEC_PASO10	%M16.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
28	PASO 11 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 1)	SEC_PASO11	%M16.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
29	PASO 12 ACTIVO (ARRANQUE ALIMENTADOR)	SEC_PASO12	%M16.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
30	ALGUN PASO ARRANQUE ACTIVO	SEC_PASOS	%M16.5	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
31	FALLA PASO 1	SEC_Pfall1	%M18.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
32	FALLA PASO 2	SEC_Pfall2	%M18.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
33	FALLA PASO 3	SEC_Pfall3	%M18.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
34	FALLA PASO 4	SEC_Pfall4	%M18.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
35	FALLA PASO 5	SEC_Pfall5	%M18.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
36	FALLA PASO 6	SEC_Pfall6	%M18.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
37	FALLA PASO 7	SEC_Pfall7	%M18.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
38	FALLA PASO 8	SEC_Pfall8	%M18.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
39	FALLA PASO 9	SEC_Pfall9	%M19.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
40	FALLA PASO 10	SEC_Pfall10	%M19.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
41	FALLA PASO 11	SEC_Pfall11	%M19.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
42	FALLA PASO 12	SEC_Pfall12	%M19.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
43	ALGUN FALLO ACTIVO SECUENCIA DE ARRANQUE	SEC_PfallAS	%M19.4	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
44	SIRENA FUE ENCENDIDA	SIRENA_ACTIV	%M30.0	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
45	TRANSICION PASO 1	SEC_TRAS1	%M30.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
46	TRANSICION PASO 2	SEC_TRAS2	%M30.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
47	TRANSICION PASO 3	SEC_TRAS3	%M30.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
48	TRANSICION PASO 4	SEC_TRAS4	%M30.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
49	TRANSICION PASO 5	SEC_TRAS5	%M30.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
50	TRANSICION PASO 6	SEC_TRAS6	%M30.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
51	TRANSICION PASO 7	SEC_TRAS7	%M30.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
52	TRANSICION PASO 8	SEC_TRAS8	%M31.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
53	TRANSICION PASO 9	SEC_TRAS9	%M31.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
54	TRANSICION PASO 10	SEC_TRAS10	%M31.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
55	TRANSICION PASO 11	SEC_TRAS11	%M31.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
56	TRANSICION PASO 12	SEC_TRAS12	%M31.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
57	ALGUNA TRANSICION ARRANQUE ACTIVA	SEC_TRANSICION	%M31.5	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
58	TEMPORIZACION ENTRE PASOS	SEC_TIEMPO_PASO	%M16.6	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
59	PASO 1 DE PARADA (PARADA ALIMENTADOR)	SEC_PARO1	%M40.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
60	PASO 2 DE PARADA (PARADA PRIMARIA)	SEC_PARO2	%M40.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
61	PASO 3 DE PARADA (PARADA BANDA 1)	SEC_PARO3	%M40.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
62	PASO 4 DE PARADA (PARADA ZARANDA 1)	SEC_PARO4	%M40.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
63	PASO 5 DE PARADA (PARADA SECUNDARIA)	SEC_PAROS	%M40.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
64	PASO 6 DE PARADA (PARADA BANDA 2)	SEC_PARO6	%M40.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
65	PASO 7 DE PARADA (PARADA BANDA 3)	SEC_PARO7	%M40.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
66	PASO 8 DE PARADA (PARADA TERCEARIA)	SEC_PARO8	%M40.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
67	PASO 9 DE PARADA (PARADA BANDA 4)	SEC_PARO9	%M41.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
68	PASO 10 DE PARADA (PARADA BANDA 5)	SEC_PARO10	%M41.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
69	PASO 11 DE PARADA (PARADA ZARANDA 2)	SEC_PARO11	%M41.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
70	PASO 12 DE PARADA (PARADA BANDA 6)	SEC_PARO12	%M41.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
71	ALGUN PASO DE PARADA ACTIVO	SEC_PAROS	%M41.4	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
72	TRANSICION PARO 1	SEC_PTRAS1	%M45.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
73	TRANSICION PARO 2	SEC_PTRAS2	%M45.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
74	TRANSICION PARO 3	SEC_PTRAS3	%M45.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
75	TRANSICION PARO 4	SEC_PTRAS4	%M45.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
76	TRANSICION PARO 5	SEC_PTRAS5	%M45.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
77	TRANSICION PARO 6	SEC_PTRAS6	%M45.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
78	TRANSICION PARO 7	SEC_PTRAS7	%M45.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
79	TRANSICION PARO 8	SEC_PTRAS8	%M45.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
80	TRANSICION PARO 9	SEC_PTRAS9	%M46.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
81	TRANSICION PARO 10	SEC_PTRAS10	%M46.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
82	TRANSICION PARO 11	SEC_PTRAS11	%M46.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
83	TRANSICION PARO 12	SEC_PTRAS12	%M46.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
84	ALGUNA TRANSICION DE PARADA ACTIVA	SEC_TRANSICION	%M46.4	BIT DE MARCA	GLOBAL	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01

**Tabla 3.**

*Señales de ordenes desde HMI*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TAG	DIRECCIÓN	TIPO	ETAPA	ELEMENTO	TAG ELEMENTO
1	ENCENDER ALIMENTADOR DESDE HMI	HMI ALIM_ON	%M0.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
2	APAGAR ALIMENTADOR DESDE HMI	HMI ALIM_OFF	%M0.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
3	ENCENDER TRITURADORA PRIMARIA DESDE HMI	HMI TPRI_ON	%M0.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
4	APAGAR TRITURADORA PRIMARIA DESDE HMI	HMI TPRI_OFF	%M0.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
5	ENCENDER BANDA # 1 DESDE HMI	HMI BAN1_ON	%M0.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
6	APAGAR BANDA # 1 DESDE HMI	HMI BAN1_OFF	%M0.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
7	ENCENDER ZARANDA # 1 DESDE HMI	HMI ZAR1_ON	%M0.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
8	APAGAR ZARANDA # 1 DESDE HMI	HMI ZAR1_OFF	%M0.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
9	ENCENDER TRITURADORA SECUNDARIA DESDE HMI	HMI TSEC_ON	%M1.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
10	APAGAR TRITURADORA SECUNDARIA DESDE HMI	HMI TSEC_OFF	%M1.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
11	ENCENDER BANDA # 2 DESDE HMI	HMI BAN2_ON	%M1.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
12	APAGAR BANDA # 2 DESDE HMI	HMI BAN2_OFF	%M1.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
13	ENCENDER ZARANDA # 2 DESDE HMI	HMI ZAR2_ON	%M1.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
14	APAGAR ZARANDA # 2 DESDE HMI	HMI ZAR2_OFF	%M1.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
15	ENCENDER BOMBA DE ACEITE LUBRICACIÓN TRITURAD	HMI BACE_ON	%M1.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
16	APAGAR BOMBA DE ACEITE LUBRICACIÓN TRITURADOR	HMI BACE_OFF	%M1.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
17	ENCENDER VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE LUBRI	HMI VENT_ON	%M2.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
18	APAGAR VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE LUBRICA	HMI VENT_OFF	%M2.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
19	ENCENDER RESISTENCIAS CALEFACTORAS ACEITE LUBRI	HMI CALE_ON	%M2.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
20	APAGAR RESISTENCIAS CALEFACTORAS ACEITE LUBRICA	HMI CALE_OFF	%M2.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
21	ENCENDER TRITURADORA Terciaria (CÓNICA) DESDE H	HMI TTER_ON	%M2.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
22	APAGAR TRITURADORA Terciaria (CÓNICA) DESDE HMI	HMI TTER_OFF	%M2.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
23	ENCENDER BANDA # 3 DESDE HMI	HMI BAN3_ON	%M2.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
24	APAGAR BANDA # 3 DESDE HMI	HMI BAN3_OFF	%M2.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
25	ENCENDER BANDA # 4 DESDE HMI	HMI BAN4_ON	%M3.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
26	APAGAR BANDA # 4 DESDE HMI	HMI BAN4_OFF	%M3.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
27	ENCENDER BANDA # 5 DESDE HMI	HMI BAN5_ON	%M3.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
28	APAGAR BANDA # 5 DESDE HMI	HMI BAN5_OFF	%M3.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
29	ENCENDER BANDA # 6 DESDE HMI	HMI BAN6_ON	%M3.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01
30	APAGAR BANDA # 6 DESDE HMI	HMI BAN6_OFF	%M3.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN Terciaria	INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (HMI)	HMI01

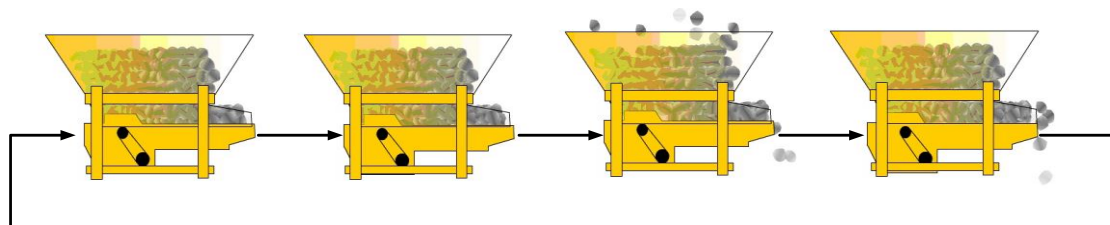
Para la construcción de las pantallas que servirán de Interfaz Hombre Maquina del proyecto de automatización del proceso de trituración en la planta Angelito, se realizaron animaciones que ilustran el sistema de trituración utilizando imágenes obtenidas de gif animados de los equipos que intervienen en las diferentes etapas. A continuación, se detallan las animaciones realizadas.

**2.2.12.1. Animaciones repetitivas**

Se trata de imágenes que cambian cíclicamente al darle una señal de activación proveniente del PLC, se le ha asignado un tiempo de 300 ms de velocidad de cambio. En las siguientes figuras se ilustra el ciclo de cada imagen que representan los diferentes equipos del proceso de trituración, animados de esta manera.

**Figura 43.**

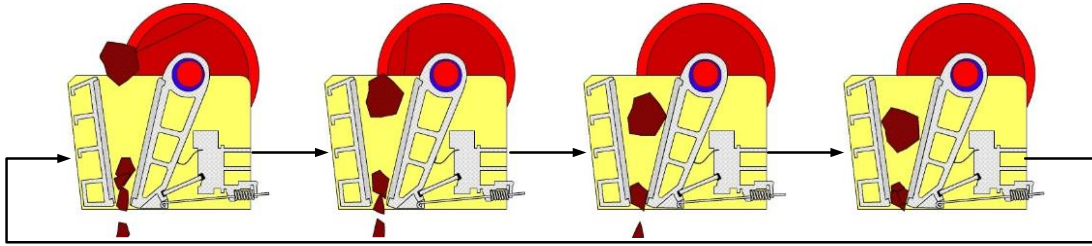
*Ciclo de imágenes del alimentador de minerales*



*Nota:* Gif tomado de <https://www.jxscmachine.com/es/nuevo/maquinas-mineras-principio-de-funcionamiento-gif-foto/>

**Figura 44.**

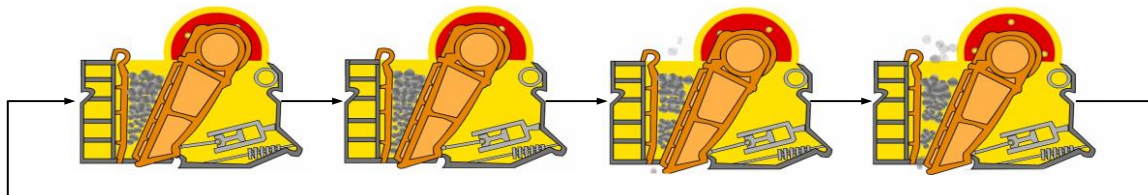
*Ciclo de imágenes de la trituradora primaria*



*Nota:* Gif tomado de <https://cieeteknik.blogspot.com/2016/02/jaw-crusher.html>

**Figura 45.**

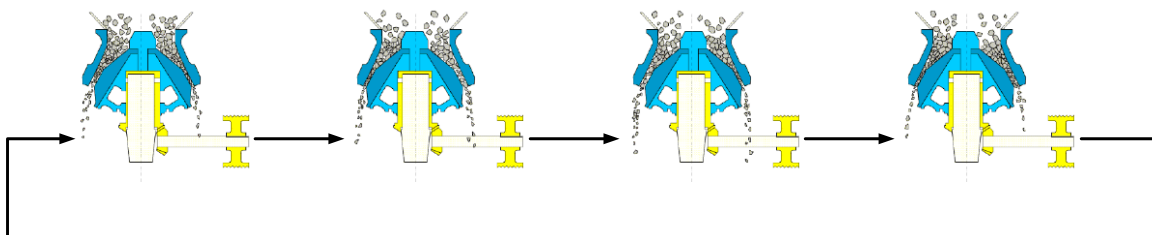
*Ciclo de imágenes de la trituradora secundaria*



*Nota:* Gif tomado de <https://www.jxscmachine.com/es/nuevo/maquinas-mineras-principio-de-funcionamiento-gif-foto/>

**Figura 46.**

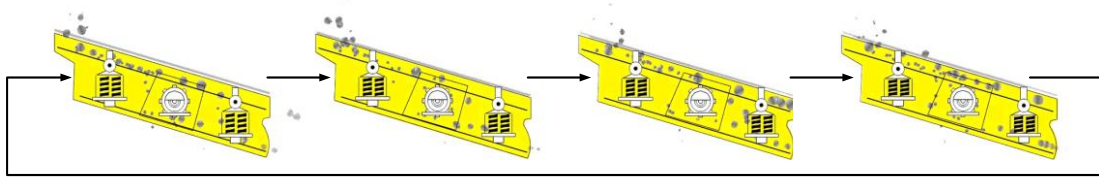
*Ciclo de imágenes de la trituradora terciaria*



*Nota:* Gif tomado de <https://www.jxscmachine.com/es/nuevo/maquinas-mineras-principio-de-funcionamiento-gif-foto/>

**Figura 47.**

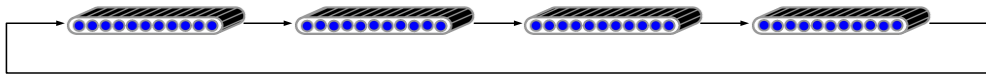
*Ciclo de imágenes de la zaranda vibratoria*



*Nota:* Gif tomado de <https://www.jxscmachine.com/es/nuevo/maquinas-mineras-principio-de-funcionamiento-gif-foto/>

**Figura 48.**

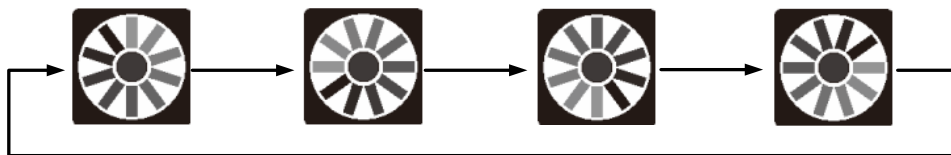
*Ciclo de imágenes de banda transportadora*



*Nota:* Gif tomado de <https://www.jxscmachine.com/es/nuevo/maquinas-mineras-principio-de-funcionamiento-gif-foto/>

**Figura 49.**

*Ciclo de imágenes de Ventilador del sistema de refrigeración*



#### 2.2.12.1.1. Animaciones que cambian según estado.

Estas animaciones cambian su imagen según la variable de estado que se le asigne, se utilizan los números 0, 1 y 2, donde el valor de “0” se le asigna al estado de no funcionamiento, el valor de 1 al estado en funcionamiento, y el valor de 2 al estado en falla. A continuación, se observan los elementos considerados en este tipo de animación.

**Figura 50.**

*Animación motor eléctrico*



**Figura 51.**

*Animación resistencias calentadoras de aceite*



**Figura 52.**

*Animación bomba de aceite*



Una vez construidos los elementos que intervienen en las animaciones se procedió a elaborar las pantallas que forman la interfaz hombre máquina, se han considerado 5 pantallas que se describen a continuación:

- Pantalla principal, Figura 53: que muestra todos los componentes que forman el sistema de trituración.
- Pantalla trituración primaria, Figura 54: donde se muestran los componentes que pertenecen a esta etapa junto con sus mandos en modo manual.
- Pantalla trituración secundaria, Figura 55: que contiene todos los componentes que pertenecen a esta etapa junto con sus mandos en modo manual.
- Pantalla trituración terciaria, Figura 56: donde se ilustran todos los componentes que pertenecen a esta etapa junto con sus mandos en modo manual.
- Pantalla secuencias de arranque y paro, Figura 57: que alberga las condiciones iniciales para arranque, secuencia de arranque y secuencia de paro del sistema de trituración.

Cada una de estas pantallas se observan en las siguientes figuras a continuación.

Figura 53.

Pantalla principal

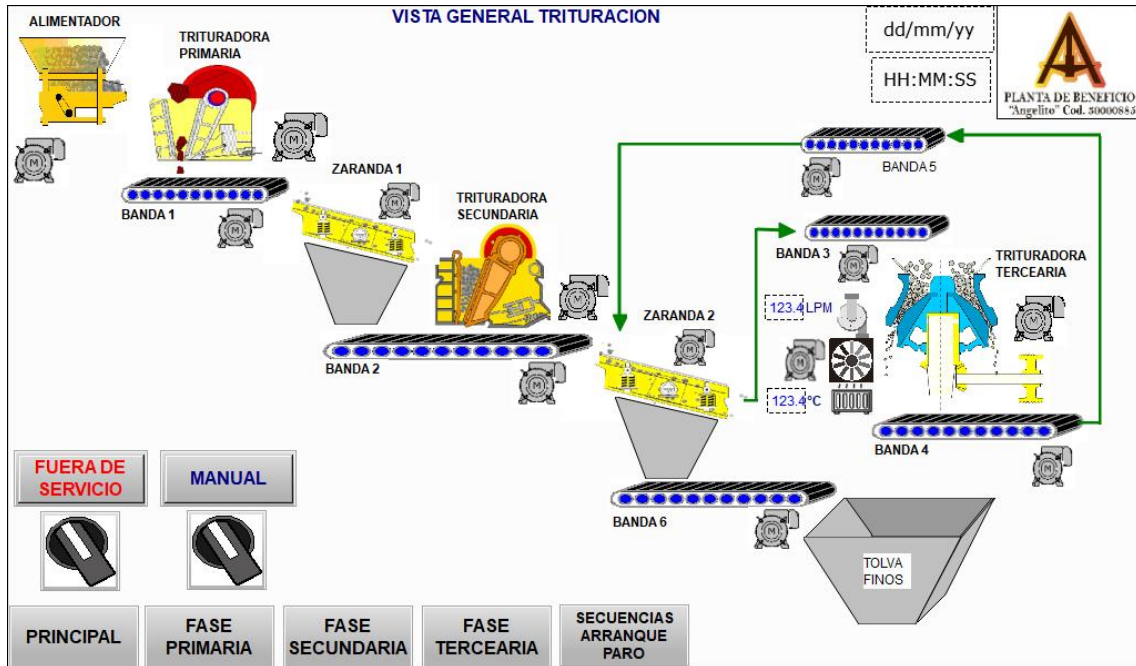


Figura 54.

Pantalla trituración primaria

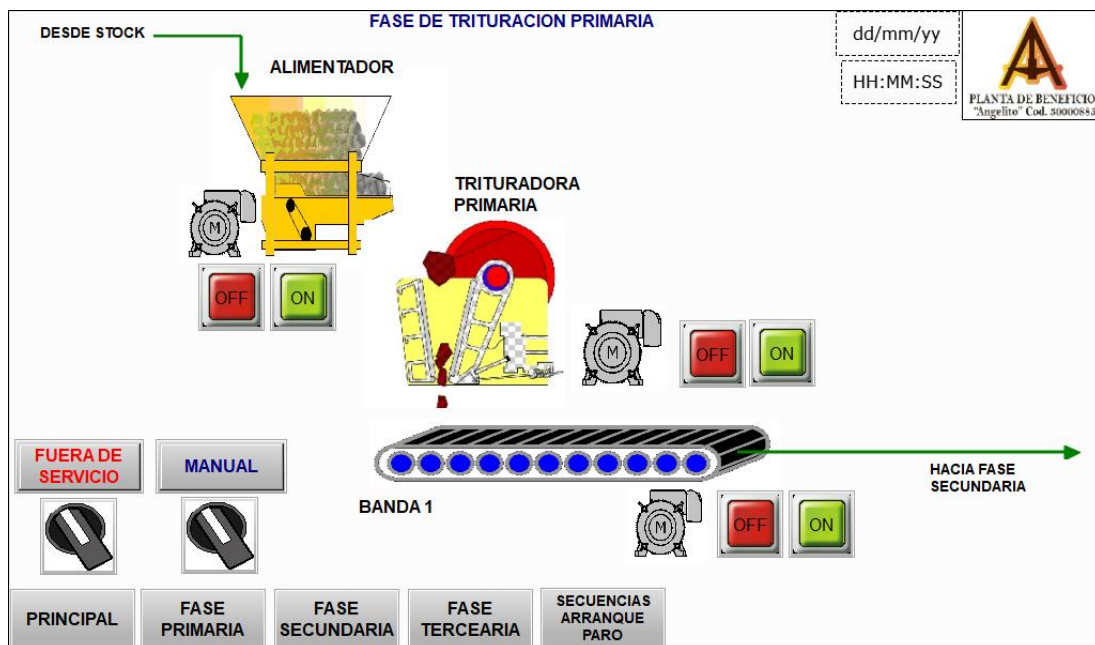
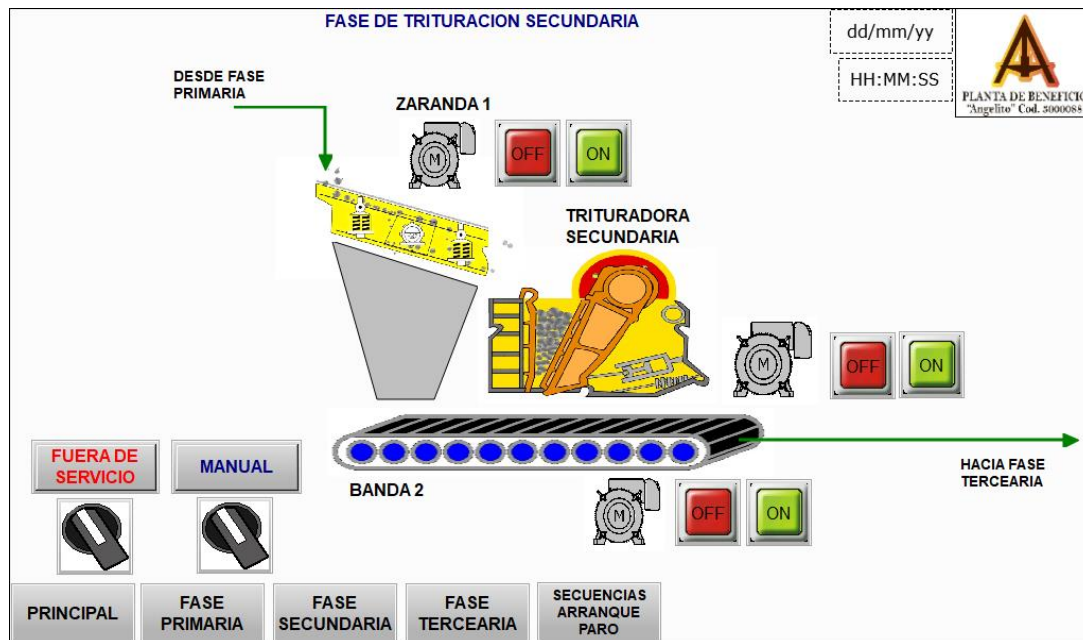


Figura 55.

Pantalla trituración secundaria





## 2.2.13. Programa del Controlador Lógico Programable S7-1200 realizado en TIAPortal de la marca Siemens

Para la realización del programa del controlador lógico programable S7-1200 en TIAPortal se consideró el uso de las variables de las tablas 1, 2 y 3 citadas anteriormente, y se han incluido las variables internas que sirven de orden de arranque y paro desde las secuencias, las cuales se muestran en la Tabla 4 a continuación.

**Tabla 4.**

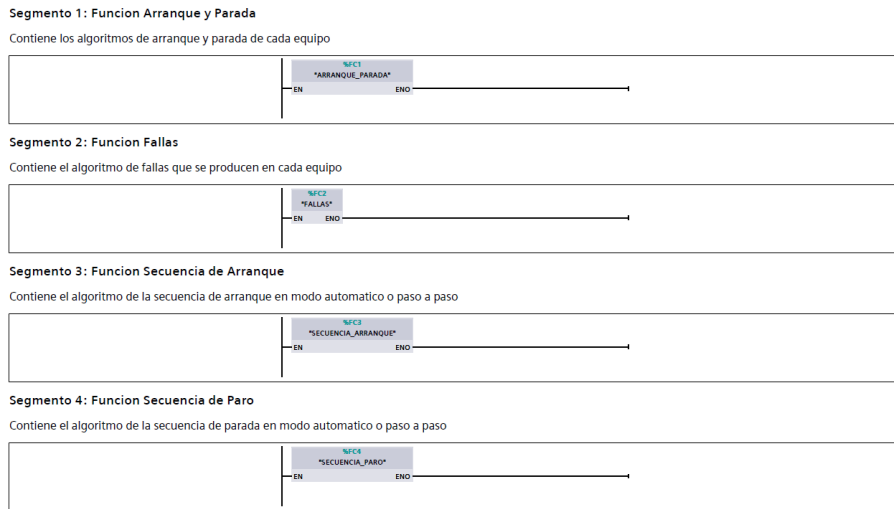
*Señales de ordenes desde secuencias de PLC*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TAG	DIRECCIÓN	TIPO	ETAPA	ELEMENTO	TAG ELEMENTO
1	ENCENDER ALIMENTADOR DESDE SECUENCIA	SEC_ALIM_ON	%M10.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
2	APAGAR ALIMENTADOR DESDE SECUENCIA	SEC_ALIM_OFF	%M10.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
3	ENCENDER TRITURADORA PRIMARIA DESDE SECUENCIA	SEC_TPRI_ON	%M10.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
4	APAGAR TRITURADORA PRIMARIA DESDE SECUENCIA	SEC_TPRI_OFF	%M10.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
5	ENCENDER BANDA # 1 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND1_ON	%M10.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
6	APAGAR BANDA # 1 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND1_OFF	%M10.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN PRIMARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
7	ENCENDER ZARANDA # 1 DESDE SECUENCIA	SEC_ZAR1_ON	%M10.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
8	APAGAR ZARANDA # 1 DESDE SECUENCIA	SEC_ZAR1_OFF	%M10.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
9	ENCENDER TRITURADORA SECUNDARIA DESDE SECUENCIA	SEC_TSEC_ON	%M11.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
10	APAGAR TRITURADORA SECUNDARIA DESDE SECUENCIA	SEC_TSEC_OFF	%M11.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
11	ENCENDER BANDA # 2 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND2_ON	%M11.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
12	APAGAR BANDA # 2 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND2_OFF	%M11.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN SECUNDARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
13	ENCENDER ZARANDA # 2 DESDE SECUENCIA	SEC_ZAR2_ON	%M11.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
14	APAGAR ZARANDA # 2 DESDE SECUENCIA	SEC_ZAR2_OFF	%M11.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
15	ENCENDER BOMBA DE ACEITE LUBRICACIÓN TRITURADORA	SEC_BACE_ON	%M11.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
16	APAGAR BOMBA DE ACEITE LUBRICACIÓN TRITURADORA	SEC_BACE_OFF	%M11.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
17	ENCENDER VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE LUBRICACIÓN	SEC_VENT_ON	%M12.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
18	APAGAR VENTILADOR REFRIGERACIÓN ACEITE LUBRICACIÓN	SEC_VENT_OFF	%M12.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
19	ENCENDER RESISTENCIAS CALEFACTORAS ACEITE LUBRICACIÓN	SEC_CALE_ON	%M12.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
20	APAGAR RESISTENCIAS CALEFACTORAS ACEITE LUBRICACIÓN	SEC_CALE_OFF	%M12.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
21	ENCENDER TRITURADORA TERCIARIA (CÓNICA) DESDE SECUENCIA	SEC_TTER_ON	%M12.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
22	APAGAR TRITURADORA TERCIARIA (CÓNICA) DESDE SECUENCIA	SEC_TTER_OFF	%M12.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
23	ENCENDER BANDA # 3 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND3_ON	%M12.6	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
24	APAGAR BANDA # 3 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND3_OFF	%M12.7	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
25	ENCENDER BANDA # 4 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND4_ON	%M13.0	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
26	APAGAR BANDA # 4 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND4_OFF	%M13.1	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
27	ENCENDER BANDA # 5 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND5_ON	%M13.2	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
28	APAGAR BANDA # 5 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND5_OFF	%M13.3	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
29	ENCENDER BANDA # 6 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND6_ON	%M13.4	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01
30	APAGAR BANDA # 6 DESDE SECUENCIA	SEC_BAND6_OFF	%M13.5	BIT DE MARCA	TRITURACIÓN TERCIARIA	AUTÓMATA PROGRAMABLE (PLC)	PLC01

Considerando los diagramas de flujo descritos en la sección 2.2.1 del presente documento, se han realizado los bloques lógicos FC que abarcan los algoritmos de control que gobiernan el funcionamiento del proceso de trituración de minerales en la planta Angelito, estos bloques son llamados desde el programa principal (main) OB1. En la Figura 58, a continuación, se muestran los segmentos del programa principal OB1.

**Figura 58.**

*Segmentos programa OB1 (Principal) TIAPortal*



Cada uno de los bloques lógicos FC que conforman la lógica de programa para el funcionamiento del proceso de trituración en la planta Angelito, se describen a continuación.

**2.2.13.1. Bloque Lógico (FC1) Arranque y Parada**

Para este bloque lógico se consideró los diagramas de flujo que contienen los algoritmos de arranque y parada de equipos en general y el algoritmo del subproceso trituradora terciaria, que se encuentran en los literales 2.2.1.7 y 2.2.1.6 respectivamente; además dentro del segmento 16 se encuentran los accionamientos de las luces piloto del tablero de control, y en el segmento 17 el algoritmo de accionamiento de la señal de aviso según el diagrama de flujo del literal 2.2.1.2. Los 17 segmentos que conforman este bloque lógico se observan en la Figura 59 que se muestra a continuación; mientras que el detalle de cada segmento se encuentra en el Anexo 1 de este documento.

**Figura 59.**

*Segmentos programa FC1*

▼ <b>Título del bloque:</b> ARRANQUES Y PARADAS DE EQUIPOS
Programa que contiene los arranques y paradas de los equipos que intervienen en el proceso
▶ <b>Segmento 1:</b> ARRANQUE Y PARO ALIMENTADOR
▶ <b>Segmento 2:</b> ARRANQUE Y PARO TRITURADORA PRIMARIA
▶ <b>Segmento 3:</b> ARRANQUE Y PARO BANDA # 1
▶ <b>Segmento 4:</b> ARRANQUE Y PARO ZARANDA # 1
▶ <b>Segmento 5:</b> ARRANQUE Y PARO TRITURADORA SECUNDARIA
▶ <b>Segmento 6:</b> ARRANQUE Y PARO BANDA # 2
▶ <b>Segmento 7:</b> ARRANQUE Y PARO ZARANDA # 2
▶ <b>Segmento 8:</b> ARRANQUE Y PARO BOMBA DE ACEITE LUBRICACION TRITURADORA CONICA
▶ <b>Segmento 9:</b> ARRANQUE Y PARO VENTILADOR REFRIGERACION ACEITE LUBRICANTE TRITURADORA CONICA
▶ <b>Segmento 10:</b> ARRANQUE Y PARO RESISTENCIAS CALEFACTORAS ACEITE LUBRICANTE TRITURADORA CONICA
▶ <b>Segmento 11:</b> ARRANQUE Y PARO TRITURADORA TERCEARIA (CONICA)
▶ <b>Segmento 12:</b> ARRANQUE Y PARO BANDA # 3
▶ <b>Segmento 13:</b> ARRANQUE Y PARO BANDA # 4
▶ <b>Segmento 14:</b> ARRANQUE Y PARO BANDA # 5
▶ <b>Segmento 15:</b> ARRANQUE Y PARO BANDA # 6
▶ <b>Segmento 16:</b> LUCES INDICADORAS
▶ <b>Segmento 17:</b> SIRENA DE AVISO DE MAQUINARIA PROXIMA A ENCENDER

### **2.2.13.2. Bloque Lógico (FC2) Fallas**

Este bloque lógico está conformado por 18 segmentos que obedecen a los algoritmos descritos en forma de diagrama de flujo en los literales 2.2.1.9 y 2.2.1.10, que corresponden a las fallas de equipos en general y las fallas de la trituradora terciaria. A continuación, en la Figura 60 se observan los segmentos del bloque lógico; mientras que en el Anexo 2 se observa el detalle de cada segmento.

**Figura 60.**

*Segmentos programa FC2*

▼	<b>Título del bloque:</b> FALLAS DE CADA EQUIPO
	Programa donde se agrupan las fallas de los diferentes equipos que intervienen en el proceso
▶	<b>Segmento 1:</b> PARADAS DE EMERGENCIA AGRUPADAS
▶	<b>Segmento 2:</b> FALLAS DE BANDA # 6
▶	<b>Segmento 3:</b> FALLAS DE BANDA # 5
▶	<b>Segmento 4:</b> FALLAS DE BANDA # 4
▶	<b>Segmento 5:</b> FALLAS DE BOMBA DE ACEITE CONICA
▶	<b>Segmento 6:</b> FALLAS DE VENTILADOR DE REFRIGERACION CONICA
▶	<b>Segmento 7:</b> FALLAS DE RESISTENCIAS CALEFACTORAS DE ACEITE CONICA
▶	<b>Segmento 8:</b> FALLAS DE TRITURADORA TERCEARIA
▶	<b>Segmento 9:</b> FALLAS DE BANDA # 3
▶	<b>Segmento 10:</b> FALLAS DE ZARANDA # 2
▶	<b>Segmento 11:</b> FALLAS DE BANDA # 2
▶	<b>Segmento 12:</b> FALLAS DE TRITURADORA SECUNDARIA
▶	<b>Segmento 13:</b> FALLAS DE ZARANDA # 1
▶	<b>Segmento 14:</b> FALLAS DE BANDA # 1
▶	<b>Segmento 15:</b> FALLAS DE TRITURADORA PRIMARIA
▶	<b>Segmento 16:</b> FALLAS DE ALIMENTADOR
▶	<b>Segmento 17:</b> PERDIDA DE FLUJO DE ACEITE CONICA
▼	<b>Segmento 18:</b> SOBRETENPERATURA ACEITE CONICA

### **2.2.13.3. Bloque Lógico (FC3) Secuencia de Arranque**

Para este bloque lógico se consideraron los diagramas de flujo que se encuentran en los literales 2.2.1.3, 2.2.1.4, 2.2.1.5 y 2.2.1.6, que representan los algoritmos de condiciones iniciales, inicio de secuencias, secuencias de arranque y paro, y el subproceso arranque y parada de trituradora terciaria respectivamente. A continuación, en la Figura 61 se muestra los 17 segmentos que conforman este bloque lógico, mientras que en el Anexo 3 se encuentra el detalle de cada segmento.

**Figura 61.**

*Segmentos programa FC3*

▼ <b>Título del bloque:</b> SECUENCIA DE ARRANQUE AUTOMATICO Y PASO A PASO
Programa que contiene la secuencia de arranque automática del proceso
▶ <b>Segmento 1:</b> CONDICIONES INICIALES PARA SECUENCIA
▶ <b>Segmento 2:</b> PASO 1 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA TERCEARIA)
▶ <b>Segmento 3:</b> PASO 2 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA SECUNDARIA)
▶ <b>Segmento 4:</b> PASO 3 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA PRIMARIA)
▶ <b>Segmento 5:</b> PASO 4 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 6)
▶ <b>Segmento 6:</b> PASO 5 ACTIVO (ARRANQUE ZARANDA 2)
▶ <b>Segmento 7:</b> PASO 6 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 5)
▶ <b>Segmento 8:</b> PASO 7 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 4)
▶ <b>Segmento 9:</b> PASO 8 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 3)
▶ <b>Segmento 10:</b> PASO 9 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 2)
▶ <b>Segmento 11:</b> PASO 10 ACTIVO (ARRANQUE ZARANDA 1)
▶ <b>Segmento 12:</b> PASO 11 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 1)
▶ <b>Segmento 13:</b> PASO 12 ACTIVO (ARRANQUE ALIMENTADOR)
▶ <b>Segmento 14:</b> ALGUN PASO ACTIVO
▶ <b>Segmento 15:</b> ALGUNA TRANSICION ARRANQUE ACTIVA
▶ <b>Segmento 16:</b> ALGUN FALLO ACTIVO SECUENCIA DE ARRANQUE
▶ <b>Segmento 17:</b> TEMPORIZACION ENTRE PASOS

#### **2.2.13.4. Bloque Lógico (FC4) Secuencia de Paro**

Este bloque lógico está conformado por 14 segmentos que obedecen a los diagramas de flujo que se encuentran en los literales 2.2.1.4, 2.2.1.5 y 2.2.1.6, que representan los algoritmos de inicio de secuencias, secuencias de arranque y paro, y el subproceso arranque y parada de trituradora terciaria respectivamente. En la Figura 62, a continuación, se muestra los segmentos que conforman este bloque lógico, mientras que en el Anexo 4 se encuentra el detalle de cada segmento.

**Figura 62.**

Segmentos programa FC4

▼ <b>Título del bloque:</b> SECUENCIA DE PARADA
Programa que contiene la secuencia de parada automática del proceso
▶ <b>Segmento 1:</b> PASO 1 DE PARADA (PARADA ALIMENTADOR)
▶ <b>Segmento 2:</b> PASO 2 DE PARADA (PARADA PRIMARIA)
▶ <b>Segmento 3:</b> PASO 3 DE PARADA (PARADA BANDA 1)
▶ <b>Segmento 4:</b> PASO 4 DE PARADA (PARADA ZARANDA 1)
▶ <b>Segmento 5:</b> PASO 5 DE PARADA (PARADA SECUNDARIA)
▶ <b>Segmento 6:</b> PASO 6 DE PARADA (PARADA BANDA 2)
▶ <b>Segmento 7:</b> PASO 7 DE PARADA (PARADA BANDA 3)
▶ <b>Segmento 8:</b> PASO 8 DE PARADA (PARADA TERCARIA)
▶ <b>Segmento 9:</b> PASO 9 DE PARADA (PARADA BANDA 4)
▶ <b>Segmento 10:</b> PASO 10 DE PARADA (PARADA BANDA 5)
▶ <b>Segmento 11:</b> PASO 11 DE PARADA (PARADA ZARANDA 2)
▶ <b>Segmento 12:</b> PASO 12 DE PARADA (PARADA BANDA 6)
▶ <b>Segmento 13:</b> ALGUN PASO DE PARADA ACTIVO
▶ <b>Segmento 14:</b> ALGUNA TRANSICION DE PARADA ACTIVA

### c) Estrategias y/o técnicas

Como estrategia metodológica se utilizó el aprendizaje basado en proyectos, investigando problemas similares al estudiado y la manera de cómo fueron resueltos por otros investigadores, diseñando una solución acorde a las necesidades del proceso de trituración de minerales en la planta Angelito, y aplicando los conocimientos adquiridos durante la maestría en Electrónica y Automatización de la universidad de Israel. Esto conlleva a plantar un gemelo digital del proceso gobernado desde un autómata programable y supervisado desde una interfaz hombre máquina, considerando los modos de operación que se recomienda por parte de Metso en su libro *Crushing and Screening Handbook* (2023).

Como herramientas tecnológicas se utilizó el software Machines Simulator en la construcción del gemelo digital, ya que permite incluir objetos en tres dimensiones de los componentes del proceso y darles la animación requerida durante la simulación del mismo, para utilizar este software fue necesario adquirir una licencia de uso; se utilizó el software DOPSOFT en la creación de las pantallas de la interfaz hombre máquina, que es gratuito, de fácil manejo y permite el modo simulación interactuando con diferentes marcas de PLC, además el panel considerado

(DOP-110WS) es comercial, robusto y económico en comparación a otras marcas; por otra parte se utilizó el software TIAPortal, en su versión de trial, como software de programación de los algoritmos de control que gobernarán el proceso mediante el uso de un PLC S7-1200 de la marca Siemens, este software permite distintos lenguajes de programación y se puede realizar la conexión en modo simulación con los softwares antes mencionados utilizando un broker como el NetToPLCsim.

### 2.3. Validación de la propuesta

Para validar la propuesta se seleccionó a un profesional metalurgista, área afín al proceso, un profesional académico de la rama eléctrica, y un profesional en funciones de la rama eléctrica. En la Tabla 5 se presenta la información de los validadores, mientras que la validación se encuentra en los anexos 5, 6 y 7.

**Tabla 5.**

*Descripción de perfil validadores*

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Años de Experiencia</b>	<b>Titulación Académica</b>	<b>Cargo</b>
Elmar Vicente Torpoco Sanabria	27	Ingeniero Químico con mención en Metalurgia	Jefe de Planta ECOLUXEN S.A.
Diego Xavier Morales Jadán	11	PhD. Ingeniería Eléctrica	Docente Investigador Universidad Católica de Cuenca
Sergio Patricio Zambrano Asanza	24	PhD. Ingeniería Eléctrica	Director de Planificación (E) Empresa eléctrica CENTROSUR

### 2.4. Matriz de articulación de la propuesta.

En la Tabla 6, a continuación, se observa la matriz que resume la coyuntura del proyecto realizado, indicando los apoyos teóricos, metodológicos y tecnológicos empleados.

**Tabla 6.**

*Matriz de articulación*

Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
<p><b>1</b> Definición: Descripción de los componentes del proceso de trituración, levantamiento de las variables de ingreso a supervisar y de las variables de mando a ejecutar, y análisis de los diagramas de flujo del proceso.</p>	<p><b>1.1</b> Aprendizaje del funcionamiento de cada equipo que conforman el proceso.  <b>1.2</b> Listado de variables que intervienen en el proceso.  <b>1.3</b> Identificación de los componentes tecnológicos a utilizar.</p>	<p>Fundamentos de electrónica industrial y sistemas electromecánicos.  Fundamentos teóricos de Metalurgia de minerales.</p>	<p>Revisión y estudio de las fuentes bibliográficas relacionadas.  Consultas a profesionales expertos en el proceso.</p>
<p><b>2</b> Diseño: Elaboración de los diagramas de flujo que describen los algoritmos de control de proceso, construcción del gemelo digital utilizando objetos en tres dimensiones, realización de las pantallas del HMI con objetos animados y respetando el flujo del proceso, y construcción de los programas en el PLC considerando los algoritmos previamente planteados</p>	<p><b>2.1</b> Diagrama de Flujo que plasman los algoritmos de control del proceso.  <b>2.2</b> Máquina que representa el gemelo digital.  <b>2.3</b> Pantallas plasmadas en la HMI.  <b>2.4</b> Bloques lógicos desarrollados en el software del PLC</p>	<p>Autómatas programables.  Sistemas de Control Distribuido.  Manual de usuario de la aplicación para construcción del gemelo digital.  Manual de usuarios de la pantalla táctil y del software que lo controla.  Manuales de usuarios y tutoriales del software que gobierna el PLC.</p>	<p>Software Machines Simulator de propiedad de Nirtec,  Software DOPSOFT de propiedad de DELTA Industrial Automation.  Software TIAPortal de propiedad de SIEMENS</p>
<p><b>3</b> Simulación: Ejecución de simulaciones del gemelo digital, HMI y PLC, realizando las pruebas de funcionamiento y contemplando los diferentes escenarios del proceso.</p>	<p><b>3.1</b> Explicación de las pruebas de funcionamiento.  <b>3.2</b> Ilustración, mediante imágenes, de los diferentes escenarios de simulación realizados.</p>	<p>Protocolos de comunicación.  Sistemas de control Distribuido.  Gemelos Digitales</p>	<p>Software NetToPLCsim  Software Machines Simulator  Software DOPSOFT  Software TIA Portal</p>

## 2.5. Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Una vez realizado la construcción del gemelo digital, elaborado las pantallas del HMI, y concluida la programación del PLC, se procedió a dar inicio a la simulación del proceso de trituración de minerales en la planta Angelito; esto implica realizar los siguientes pasos previos para arrancar la simulación.

### 2.5.1. Pasos para arrancar la simulación

#### 2.5.1.1. Arrancar la simulación en TIAPortal.

Confirmando que la compilación del programa haya sido realizada con éxito, se procede a dar inicio a la simulación, verificando que el PLCSIM se encuentre en funcionamiento, como se ilustra en la Figura 63, a continuación.

#### Figura 63.

*PLCSIM funcionando*

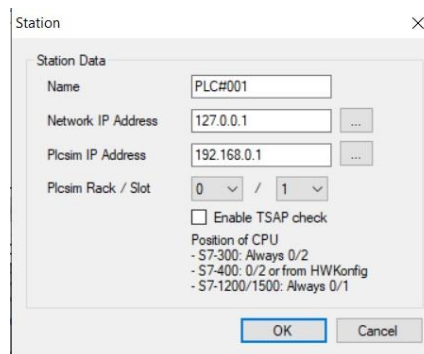


#### 2.5.1.2. Configurar e inicializar el broker NetToPLCsim

Con el PLCSIM funcionando, se continúa configurando la estación en el NetToPLCsim, utilizando una dirección IP interna loopback 127.0.0.1, que permite acceder a los servicios del computador sin necesidad de una red externa. A continuación, en la Figura 64 se ilustra la configuración recomendada para la estación NetToPLCsim.

**Figura 64.**

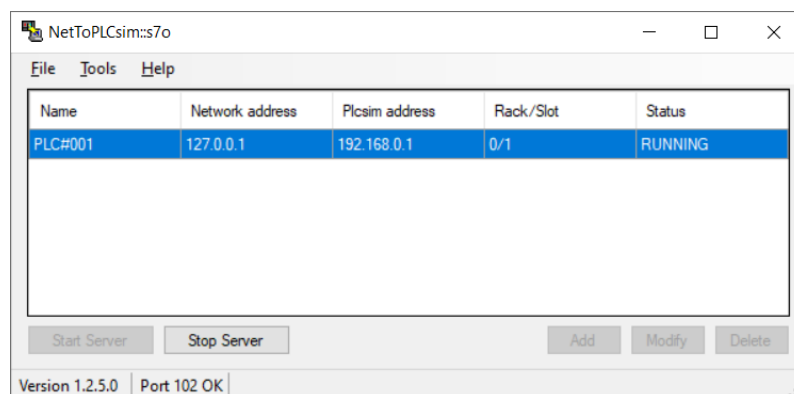
*NetToPLCsim: Configuración de la estación*



Luego de realizar la configuración de la estación en NetToPLCsim, se procede a inicializar el servidor, en la Figura 65 se ilustra el proceso funcionando correctamente.

**Figura 65.**

*NetToPLCsim: Servidor broker funcionando*



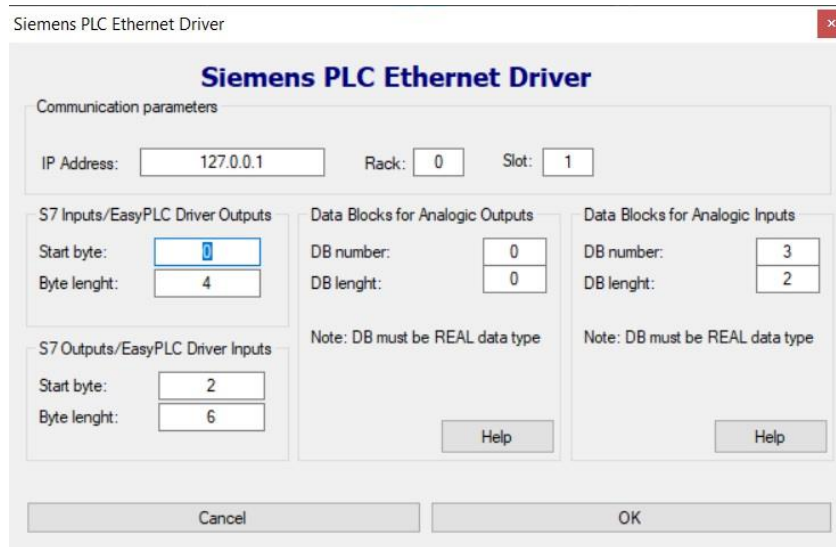
Una vez inicializado el servidor del NetToPLCsim, queda listo el camino para poder conectarse al PLC desde el gemelo digital y la interfaz hombre máquina del proceso.

### **2.5.1.3. Configurar e inicializar el driver en Machine Simulator**

Configurado el camino de acceso al PLC con la ayuda del broker NetToPLCsim, se procede a arrancar la maquina creada en Machines Simulator y configurar el driver en la misma; en dicha configuración se debe tomar en cuenta la cantidad y tipo de señales de entrada y salida que se están utilizando, para así establecer el byte de arranque y su longitud de cada uno de los registros digitales y analógicos que demanda la configuración del driver. Esta configuración se observa en la Figura 66 a continuación.

**Figura 66.**

*Machines Simulator: Configuración del Driver*



Aceptada la configuración del driver se da inicio al mismo, notando que ha sido exitosa la conexión al mostrarse el mensaje de DRIVER CONECTADO en la parte inferior izquierda de la máquina, como se aprecia en la Figura 67 a continuación.

**Figura 67.**

*Machines Simulator: Driver Conectado*

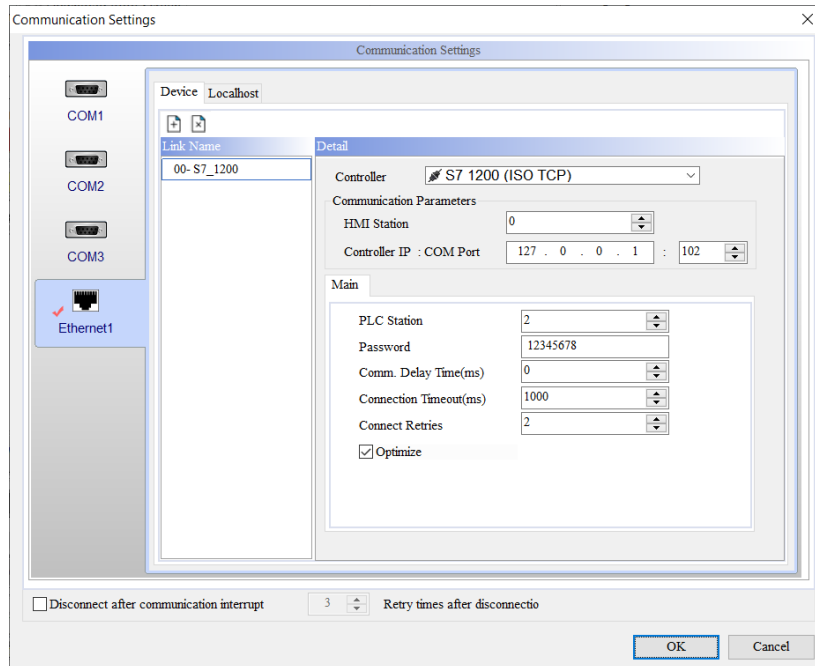


#### **2.5.1.4. Configurar e inicializar la simulación en DOPSOFT**

Garantizado el acceso al PLC mediante el broker NetToPLCSim, se da inicio al modo simulación del HMI en el software DOPSOFT, para ello es preciso configurar la dirección del PLC en los ajustes de comunicación, como se ilustra en la Figura 68 a continuación.

**Figura 68.**

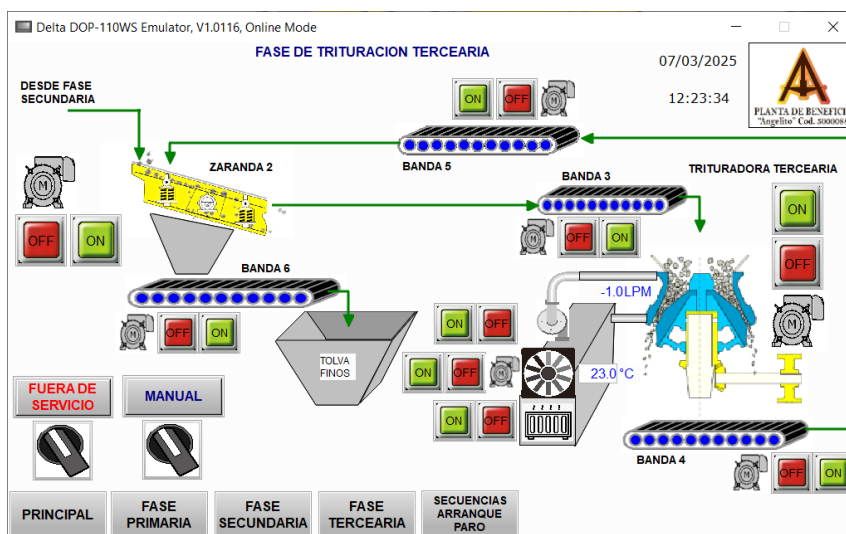
*DOPSOFT: Ajustes de Comunicación*



Aceptada el ajuste de la comunicación se da inicio a la simulación en modo en línea (On-Line Simulation), evidenciando que la misma se realizó con éxito al observar la pantalla principal del proceso funcionando sin informar ningún error de comunicación. A continuación, en la Figura 69 se ilustra la pantalla Principal del HMI funcionando.

**Figura 69.**

*DOPSOFT: HMI funcionando*



Cumplidos los pasos de arranque de la simulación en cada uno de los softwares que intervienen, y verificado la comunicación entre el PLC con el Gemelo Digital y el HMI, se procede a realizar las pruebas de funcionamiento, descritas a continuación.

## 2.5.2. Pruebas de funcionamiento.

### 2.5.2.1. Sistema en Servicio.

Funcionando la simulación se coloca el selector de servicio en posición “EN SERVICIO”, iluminándose la luz piloto correspondiente en el tablero de control dentro de Machines Simulator; además se observa que el selector virtual y el cuadro de texto de servicio cambian a “EN SERVICIO”, evidenciando el correcto funcionamiento del programa. Esto se puede observar en la Figura 70 a continuación.

**Figura 70.**

*Simulación: Sistema en Servicio*

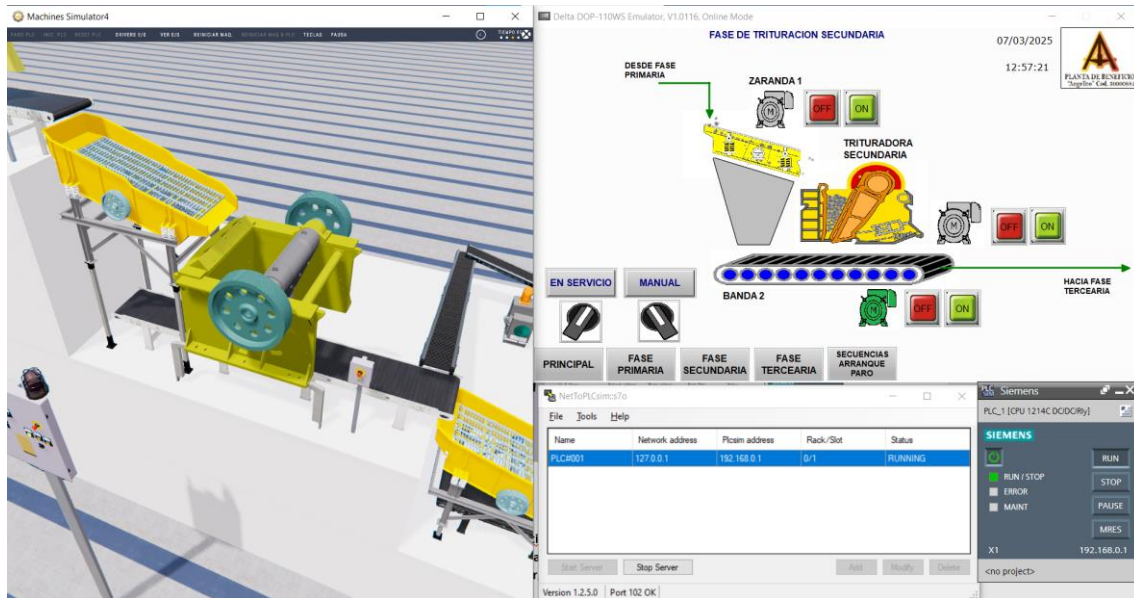


### 2.5.2.2. Modo Manual: Encendido de Equipo

Para la ejecución de esta prueba se coloca el selector de modo de operación en la posición “MANUAL”, lo cual ilumina la luz piloto correspondiente del tablero de control en Machines Simulator, y asigna al selector virtual con su texto en este modo dentro del HMI. Garantizado el modo manual se procede habilitar el sistema activando el aviso de arranque al pulsar el botón “ANUNCIO” dentro del cuadro de control en Machines Simulator; cumplido esto se procede a encender un equipo cualquiera en este modo. En la Figura 71 se observa el encendido de la Banda 2 en modo Manual.

**Figura 71.**

*Simulación: Modo Manual, encendido Banda 2*



### 2.5.2.3. Modo Automático: Secuencia de Arranque.

La realización de esta prueba consiste en colocar el selector de modo de operación en modo “PASO A PASO” o “AUTOMÁTICO”, y así dar inicio a la secuencia de arranque del proceso de trituración. En la Figura 72, se evidencia el funcionamiento de la secuencia de arranque en paso 1, que corresponde al encendido de la trituradora terciaria, en el cual se enciende la bomba de lubricación y se calienta el aceite hasta alcanzar los 40°C. Como se observa en la Figura 73 el sistema se encuentra en el proceso descrito anteriormente. Luego de haber alcanzado el aceite la temperatura de 40°C, se enciende la trituradora terciaria, constancia que se ilustra en la Figura 74. Una vez encendida la trituradora terciaria se finaliza el paso 1 y el programa activa la transición de paso como se observa en la Figura 75, para de allí continuar con la secuencia de forma automática, si el selector de modo de operación está en “AUTOMÁTICO”, o esperar la pulsación del botón de inicio si el modo es “PASO A PASO”.

Figura 72.

Simulación: Secuencia de arranque Paso 1 Activo

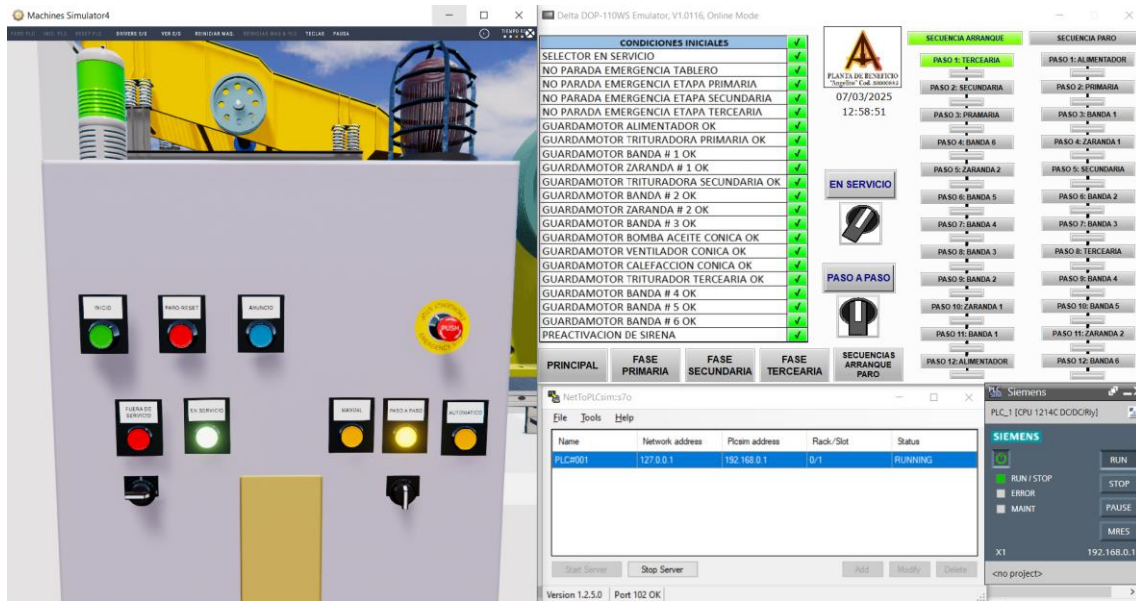
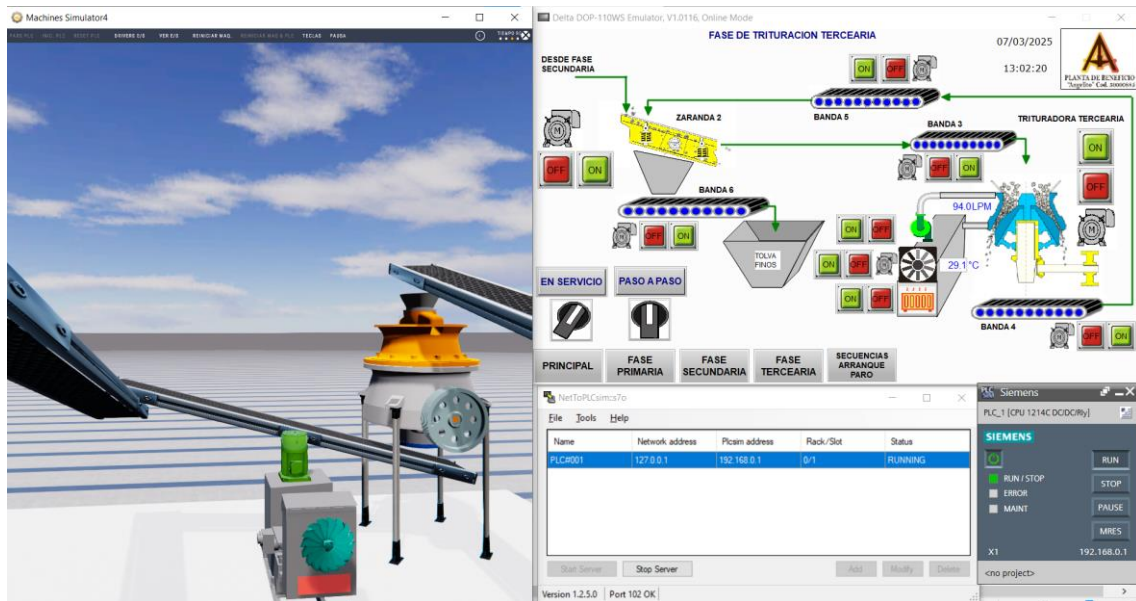


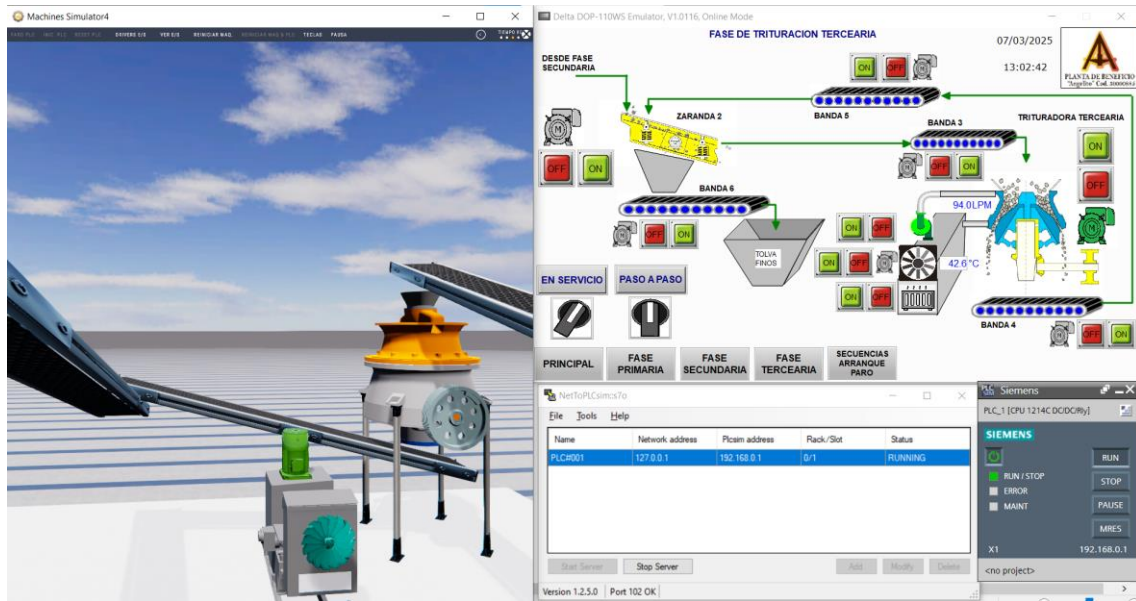
Figura 73.

Simulación: Secuencia de arranque Paso 1 Activo, calentamiento de aceite y bomba encendida



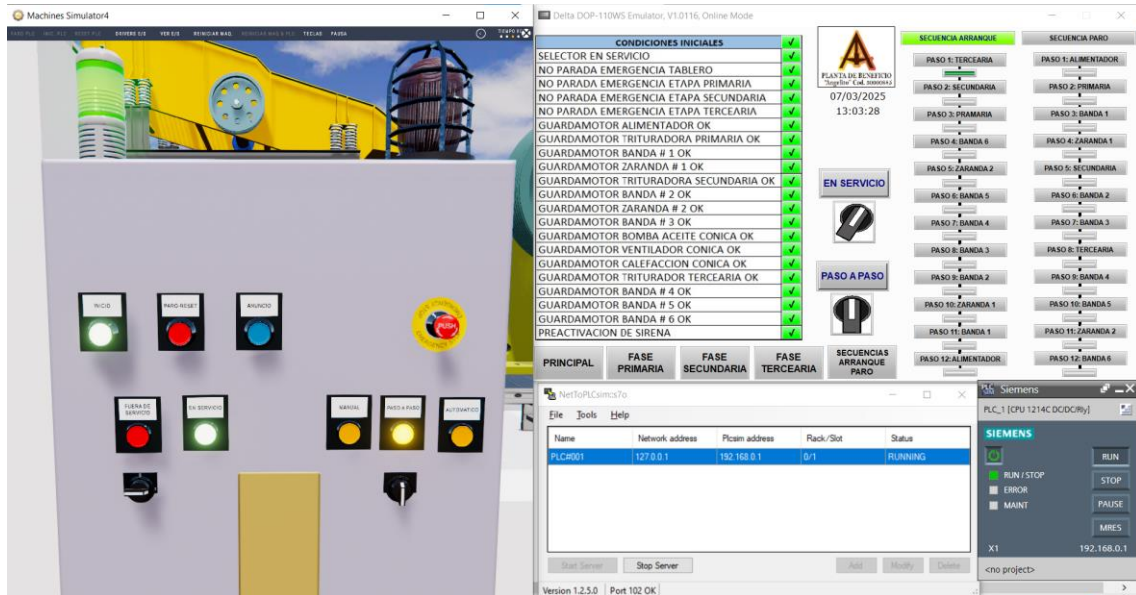
**Figura 74.**

*Simulación: Secuencia de arranque Paso 1 Activo, Trituradora Terciaria Funcionando*



**Figura 75.**

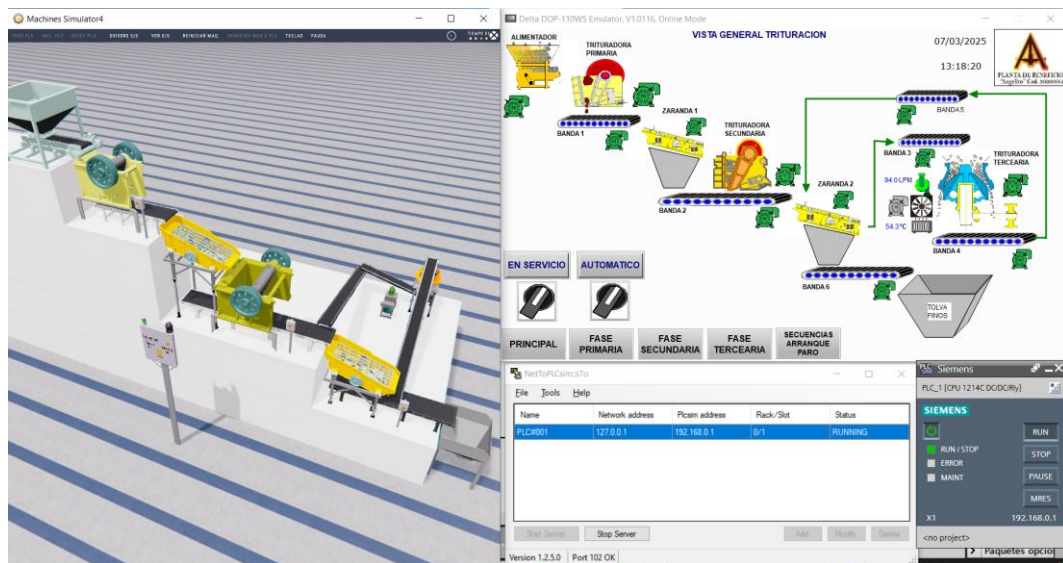
*Simulación: Secuencia de arranque Transición 1 Activa.*



Luego de haber continuado con la secuencia de arranque y haber realizado todos los pasos correspondientes, el programa finaliza dicha secuencia como se observa, a continuación, en la Figura 76.

**Figura 76.**

*Simulación: Secuencia de arranque finalizada.*



#### **2.5.2.4. Funcionamiento Continuo: Encendido de Ventilador**

Después de haber concluido la secuencia de arranque y estar en funcionamiento continuo, el programa corre algoritmos automáticos que responden a ciertas condiciones, como en el caso de la temperatura del aceite del grupo oleo-hidráulico de la trituradora terciaria, que se incrementa gradualmente con la operación continua de esta trituradora y al alcanzar los 60°C, se da arranque al ventilador del sistema de refrigeración de aceite, provocando la disminución paulatina de la temperatura de aceite, y cuando esta alcanza los 50°C se apaga el ventilador mencionado; esto se evidencia en la Figura 77 y Figura 78, a continuación ilustradas.

**Figura 77.**

*Simulación: Funcionamiento continuo, encendido de ventilador sistema de refrigeración*



**Figura 78.**

*Simulación: Funcionamiento continuo, apagado de ventilador sistema de refrigeración*



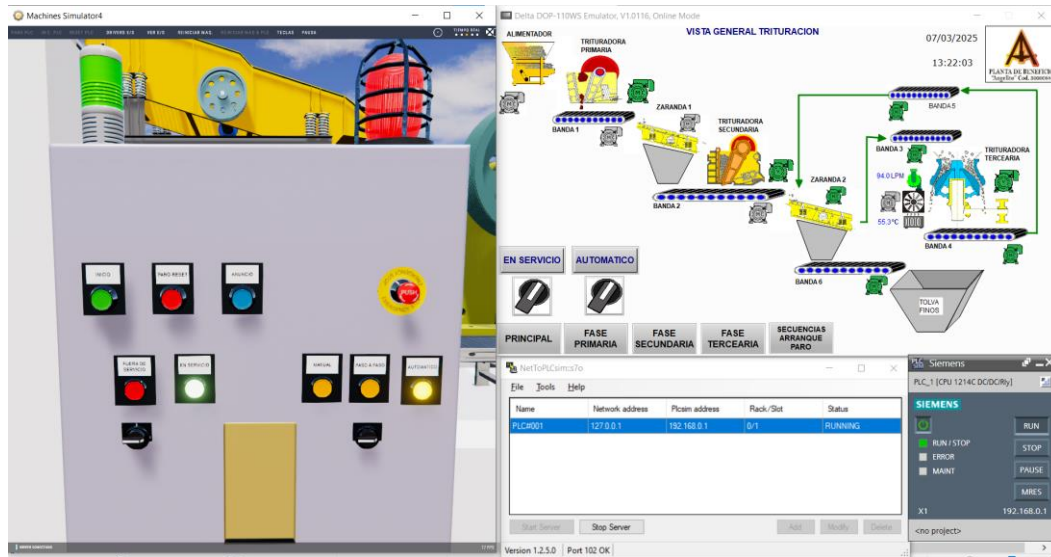
**2.5.2.5. Funcionamiento Continuo: Falla activa**

Otro tipo de vigilancias que el programa dentro del PLC supervisa son las fallas que se pueden presentar durante el funcionamiento continuo del sistema de trituración, para simular este evento se asignó combinaciones de letras en el gemelo digital que conllevan a generar una anomalía; para efectos de demostración de este tipo de suceso se seleccionó la falla de la Banda

2, presionando al mismo tiempo las teclas “f” y “2”. Como se observa en la Figura 79, este evento provoca el accionamiento de la Baliza de Falla y el apagado de la Banda 2, además se apagan los equipos necesarios que corten el flujo de mineral hacia la falla, en este caso son la Zaranda 1, la Banda 1 y el Alimentador.

**Figura 79.**

*Simulación: Funcionamiento continuo, falla de Banda 2*



Superada la falla y restablecida la alarma en el panel de control, presionando el botón de reset, se puede volver a arrancar los equipos, que fueron apagados durante la anomalía, dando inicio a la secuencia de arranque. En la Figura 80, a continuación, se constata el restablecimiento del sistema luego de la falla de la Banda 2.

**Figura 80.**

*Simulación: Restablecimiento del sistema luego de falla*



### 2.5.2.6. Funcionamiento Continuo: Parada de emergencia

Cuando el sistema se encuentre en funcionamiento continuo y un operador observe una condición crítica, puede presionar uno de los 4 pulsantes de parada de emergencia ubicados estratégicamente en cada etapa del sistema, esto provocará una parada súbita de todos los equipos que conforman el proceso de trituración. A continuación, en la Figura 81 se observa este efecto, donde se resalta la indicación de la baliza de fallo y que todos los equipos fueron apagados satisfactoriamente.

**Figura 81.**

*Simulación: Ejecución de parada de emergencia*



### 2.5.2.7. Modo Automático: Secuencia de Paro

Con el sistema reiniciado y cumplida la secuencia de arranque, como se ilustra en la Figura 82, se da inicio a la secuencia de paro presionando el botón “PARO-RESET”, inmediatamente comienza la secuencia en Paso 1 que corresponde al apagado del alimentador, como se muestra en la Figura 83. El programa continúa su curso dependiendo del modo de operación, siguiendo de forma automática cuando el selector se encuentra en “AUTOMÁTICO”, o a la espera, en la transición correspondiente, de que se presione el botón de “PARO-RESET” para continuar con el siguiente paso, en el modo “PASO A PASO”. En la Figura 84 se muestra la continuidad del programa en el Paso 8. Una vez completada la secuencia de paro, según el algoritmo programado, la bomba de lubricación de aceite en el grupo oleo-hidráulico de la trituradora terciaria queda en funcionamiento durante el tiempo asignado, como se observa en la Figura

85, esto se da con el objetivo de garantizar la lubricación de la transmisión piñón-corona de la trituradora terciaria cuando esta se apaga y queda girando por inercia propia.

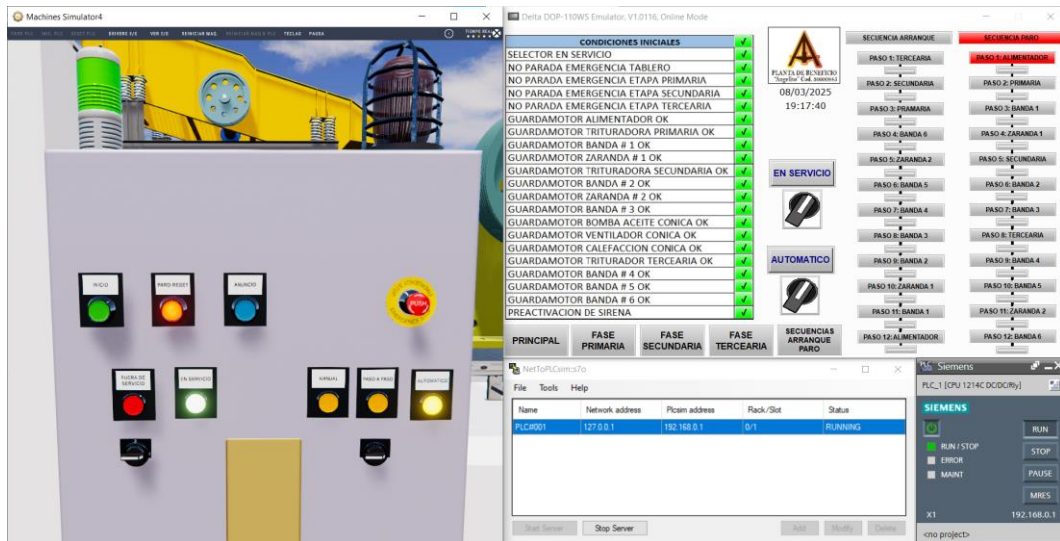
**Figura 82.**

*Simulación: Reinicio del Proceso, sistema funcionando.*



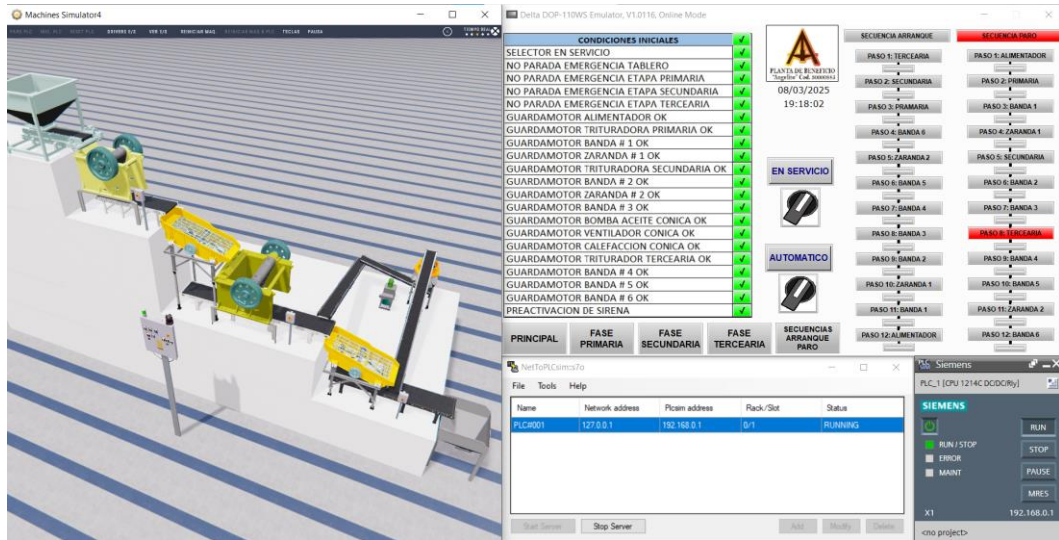
**Figura 83.**

*Simulación: Inicio de Secuencia de Paro, Paso 1 activo*



**Figura 84.**

*Simulación: Desarrollo de Secuencia de Paro, Paso 8 activo*



**Figura 85.**

*Simulación: Finalización secuencia de paro, bomba aceite funcionando*



## CONCLUSIONES

Entender el funcionamiento de cada etapa que conforma el proceso de trituración de minerales en la planta de beneficio Angelito, así como de los componentes que contienen, es de suma importancia para el desarrollo del sistema de automatización. Concluyendo que el estudiar los fundamentos teóricos del proceso permitió identificar y elaborar los distintos algoritmos que sistema demanda.

Elaborar la arquitectura de control y los planos eléctricos básicos, permitió identificar todas las variables de entrada y salida a utilizar en los distintos softwares de PLC, HMI y el Gemelo Digital, concluyendo que es de vital importancia el desarrollo de los mismos.

Construir el Gemelo Digital en Machines Simulator considerando los objetos en tres dimensiones del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito, permitió tener una visión clara del problema; concluyendo que los gemelos digitales son una herramienta poderosa que brinda un buen entendimiento del sistema cuando no se lo dispone.

Se elaboraron pantallas para la interfaz hombre máquina de forma animada, conservando el flujo del proceso, e ilustrando las secuencias de arranque y paro en forma de diagrama secuencial; concluyendo que esta manera de representar los componentes del sistema ayuda durante la operación del mismo.

Los bloques lógicos que contienen los algoritmos de funcionamiento del proceso de trituración de minerales de la planta Angelito, se diseñaron siguiendo los diagramas de flujo propuestos para el sistema, concluyendo que es crucial plantear dichos diagramas para realizar un programa de forma ordenada y eficaz.

Las distintas simulaciones realizadas permitieron corregir diferentes errores cometidos durante la etapa de programación y elaboración de pantallas, concluyendo que los gemelos digitales ayudan a realizar todas las pruebas de funcionamiento posibles sin tener que poner en riesgo ningún componente del proceso físico.

Por otra parte, las simulaciones del proceso también permitieron verificar el correcto funcionamiento del PLC y su interacción con las diferentes pantallas desarrolladas en el HMI, concluyendo que se pudo realizar las pruebas de funcionamiento muy apegado a la realidad.

Realizar el proceso de validación de los resultados ejecutando las distintas simulaciones planteadas permitieron demostrar la potencialidad de los gemelos digitales, concluyendo que son una herramienta poderosa al momento de sanear los programas de PLC y las pantallas de un HMI; además sirven durante la etapa de adiestramiento del personal operativo.

Observar el comportamiento de la HMI durante las pruebas de validación demostró lo útil que resulta disponer de pantallas animadas muy apegadas al proceso; concluyendo que estas pantallas permiten que los operadores se relacionen de manera intuitiva y fácil con el sistema automatizado.

## RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones de procesos similares al estudiado en la presente investigación, se recomienda aprender correctamente los fundamentos teóricos, apoyándose en profesionales del área que ayuden a seleccionar adecuadamente los algoritmos a plantear.

Es preciso siempre elaborar la ingeniería básica de todo proyecto similar al estudiado en la presente investigación, considerando los diagramas eléctricos, arquitecturas de control y diagramas del proceso en general, recomendando profundizar adecuadamente en estos, para poder así disponer de toda la información a utilizar en el sistema automatizado.

Cuando se tenga que realizar un gemelo digital para representar adecuadamente un proceso de similar tipo al investigado, es recomendable utilizar un software adecuado que permita no solo la representación gráfica del mismo, sino plasmar el comportamiento de sensores o situaciones típicas del funcionamiento.

Las aplicaciones de automatización de procesos iguales o similares al planteado en la presente investigación, por lo general son operadas o manejadas por personal afín al proceso que muchas veces desconoce de sistemas automatizados; por lo que, es recomendable construir una interfaz hombre máquina que detalle el flujo del proceso de forma animada y sea amigable e intuitiva.

El plantear correctamente los algoritmos de control en forma de diagramas de flujo siempre permitirá traducirlos a lenguajes de programación de manera más fácil y completa, recomendando no obviar este paso, en proyectos futuros similares, al momento de elaborar un programa dentro del software de algún PLC.

En cualquier proyecto futuro a realizar que sea igual o similar al desarrollado en la presente investigación, es recomendable realizar todas las simulaciones posibles que contemplen los diferentes escenarios que se puedan presentar, antes de llevarlos al mundo real con componentes físicos, ya que de no hacerlo dichos equipos quedarían expuestos a daños graves o irreversibles.

Las simulaciones que se logren realizar en este tipo de aplicaciones o en similares que se puedan contemplar en el futuro, deben abarcar todos los componentes e interactuar con las diferentes escenas plasmadas en las pantallas del interfaz hombre máquina, recomendando que siempre se consiga interactuar con el PLC al momento de ejecutarlas.

Ejecutar la validación de funcionamiento contemplando distintos escenarios de simulación de procesos iguales o semejantes al estudiado en la presente investigación, permite corroborar

el correcto funcionamiento del mismo, recomendando siempre realizarlo, no solo para corregir errores, sino para disponer de una herramienta de adiestramiento de personal mediante uso de gemelos digitales.

Es recomendable validar el funcionamiento de la interfaz hombre máquina en modo simulación para este tipo de proceso o similares al planteado en la presente investigación, para poder alcanzar un resultado que sea amigable con los operadores y fácil comprensión.

## BIBLIOGRAFÍA

Adeleke, A. (2023). Mineral Processing Technology [Tecnología de Procesamiento de minerales]. CRC Press.

Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales. (2021). Metso Outotec Handbook  
Crushing and Screening Handbook [Manual de trituración y cribado]. (2023). Metso Corporation.

CV. Duta Engineering. (7 de febrero de 2016). Jaw Crusher [Trituradora de mandíbula]. <https://cieeteknik.blogspot.com/2016/02/jaw-crusher.html>

JXSC Mine Machinery Factory. (8 de enero de 2020). 25 máquinas mineras Principio de funcionamiento GIF Foto. <https://www.jxscmachine.com/es/nuevo/maquinas-mineras-principio-de-funcionamiento-gif-foto/>

Machines Simulator Instruction Guide [Guía de Instrucciones de Machines Simulator]. (2024). Nirtec Studio

Montesdeoca, J. y Urdaneta, M. (2024). Automatización de la medición energética y transmisión de datos en la planta de Baker Hughes – Ecuador mediante SCADA [Tesis de Maestría, Universidad de Israel]. Repositorio Digital Universidad Israel.

Ostroukh, A. et al. (2021). Crushing and screening Digital System [Sistemas Digitales de Trituración y Cribado]. IOP Conference Series.: Materials Science and Engineering. <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/1159/1>

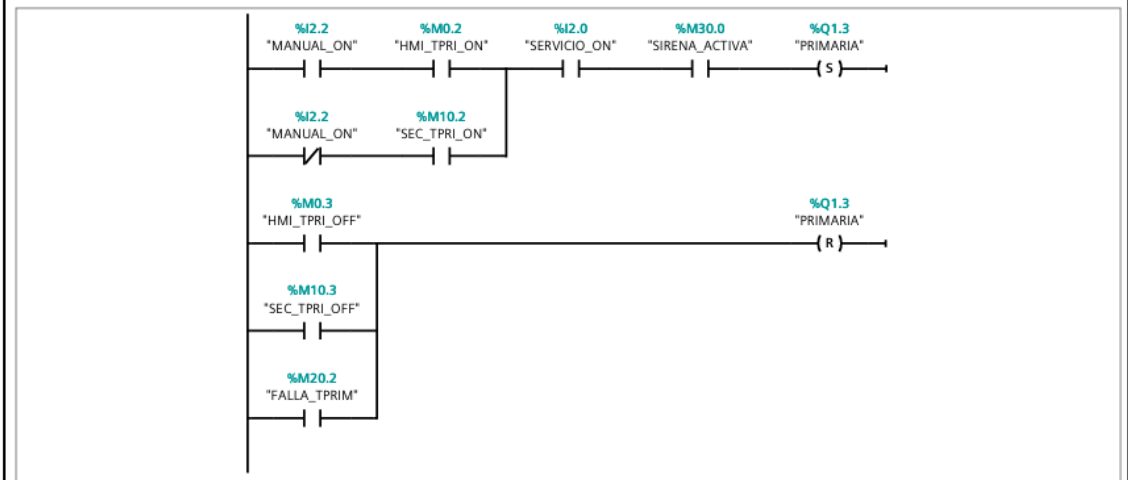
Quintero, Y. y Cortijo, R. (2024). Automatización del proceso descortezador de madera en la empresa Aglomerados Cotopaxi [Tesis de Maestría, Universidad de Israel]. Repositorio Digital Universidad Israel.

SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200. (2022). Siemens AG.

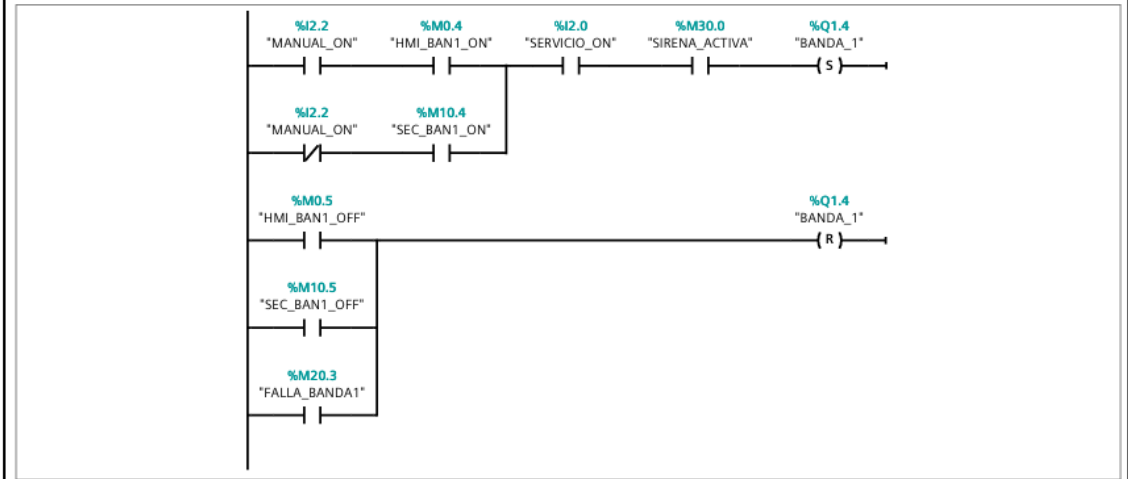
## ANEXOS

### ANEXO 1

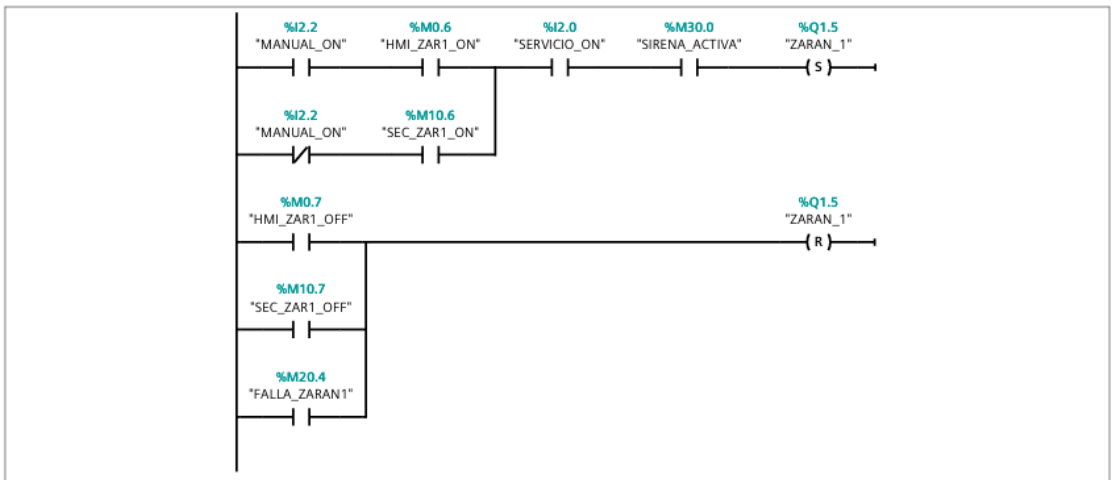
Totally Integrated Automation Portal			
<h3>PLC_Angelito / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Bloques de programa</h3> <h4>ARRANQUE_PARADA [FC1]</h4>			
<b>ARRANQUE_PARADA Propiedades</b>			
<b>General</b>			
<b>Nombre</b>	ARRANQUE_PARADA	<b>Número</b> 1	<b>Tipo</b> FC
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b>	Automático
<b>Información</b>			
<b>Título</b>	ARRANQUES Y PARADAS DE EQUIPOS	<b>Autor</b>	Geovanny_Zambrano
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1
		<b>Comentario</b>	Programa que contiene los arranques y paradas de los equipos que intervienen en el proceso
		<b>ID personalizado</b>	
<b>ARRANQUE_PARADA</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo de datos</b>	<b>Valor predet.</b>	<b>Comentario</b>
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
ARRANQUE_PARADA	Void		
<b>Segmento 1: ARRANQUE Y PARO ALIMENTADOR</b>			
<b>Segmento 2: ARRANQUE Y PARO TRITURADORA PRIMARIA</b>			



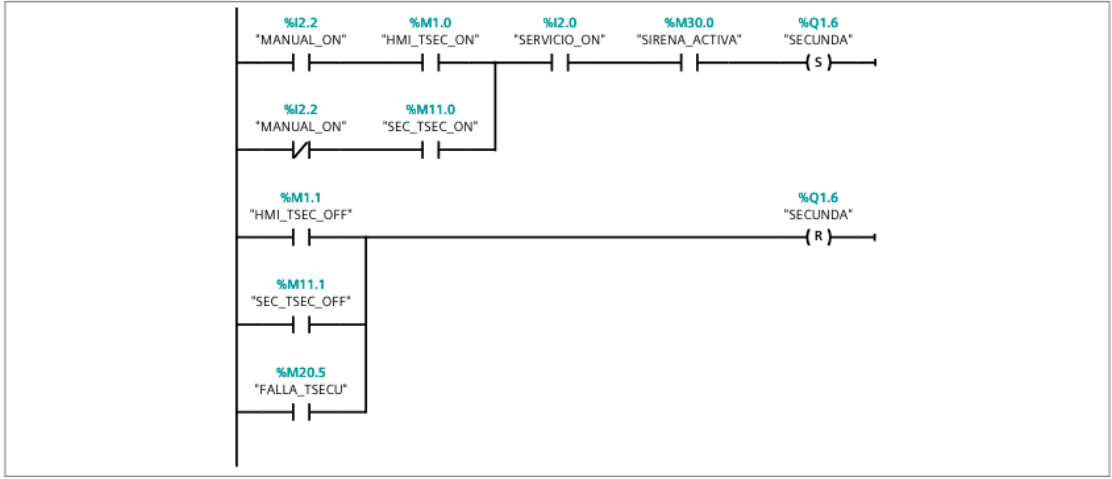
**Segmento 3: ARRANQUE Y PARO BANDA # 1**



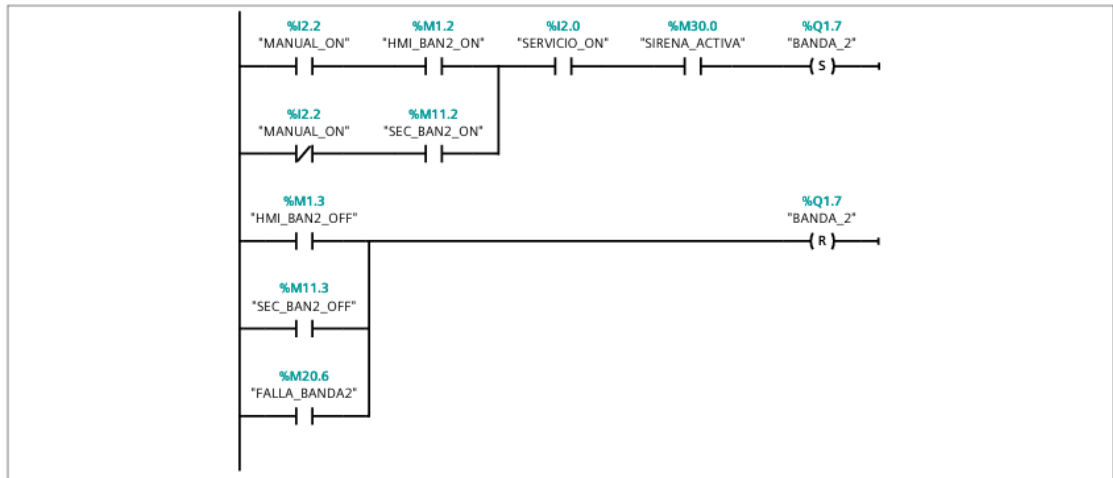
**Segmento 4: ARRANQUE Y PARO ZARANDA # 1**



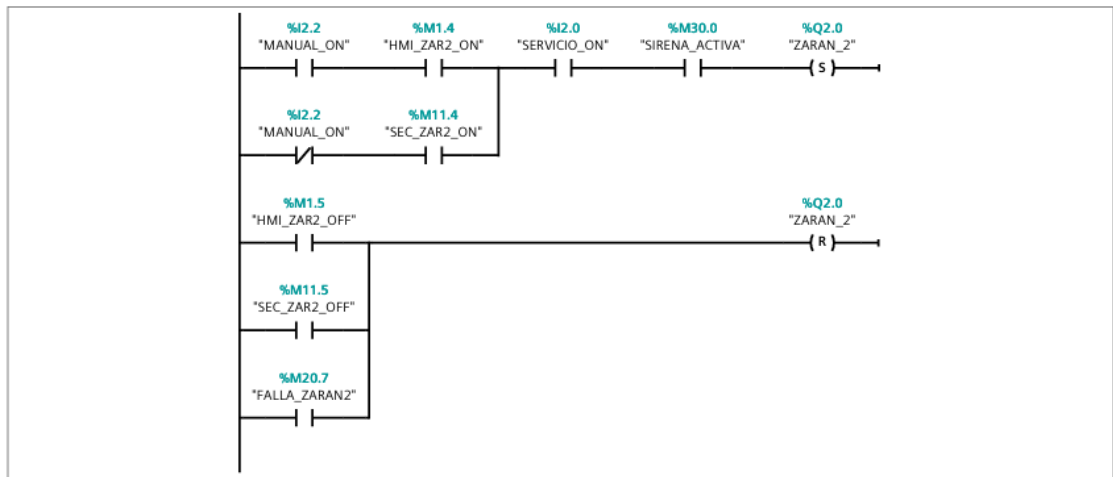
**Segmento 5: ARRANQUE Y PARO TRITURADORA SECUNDARIA**



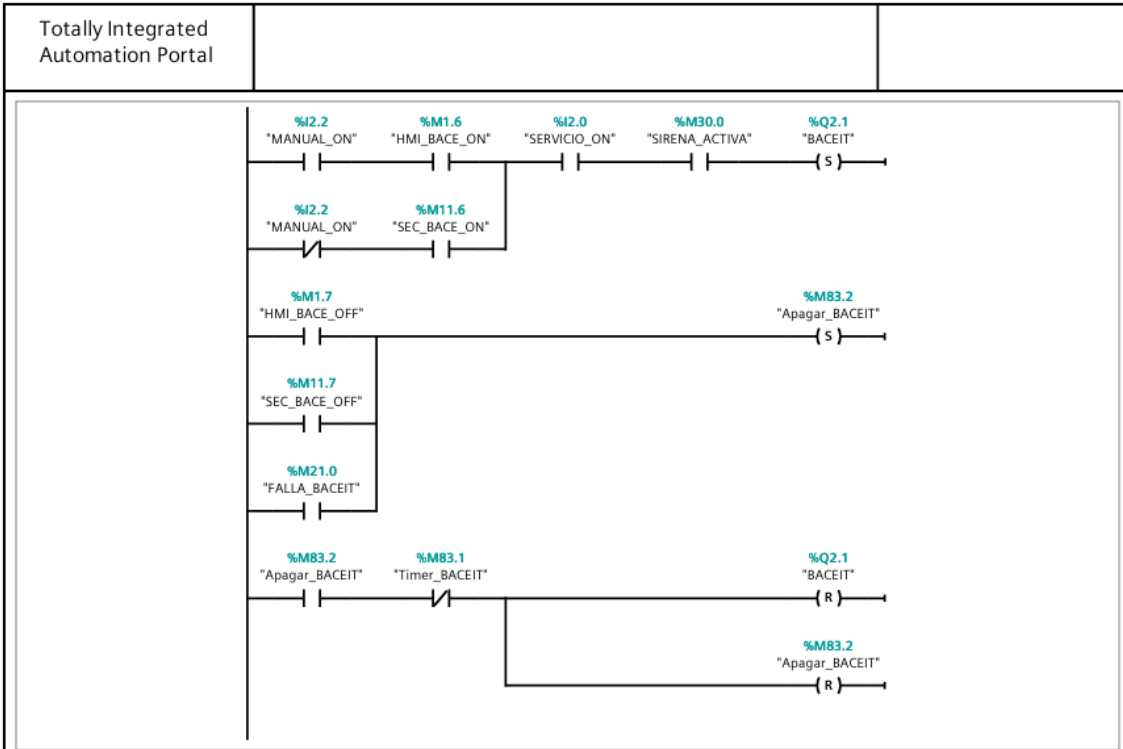
**Segmento 6: ARRANQUE Y PARO BANDA # 2**



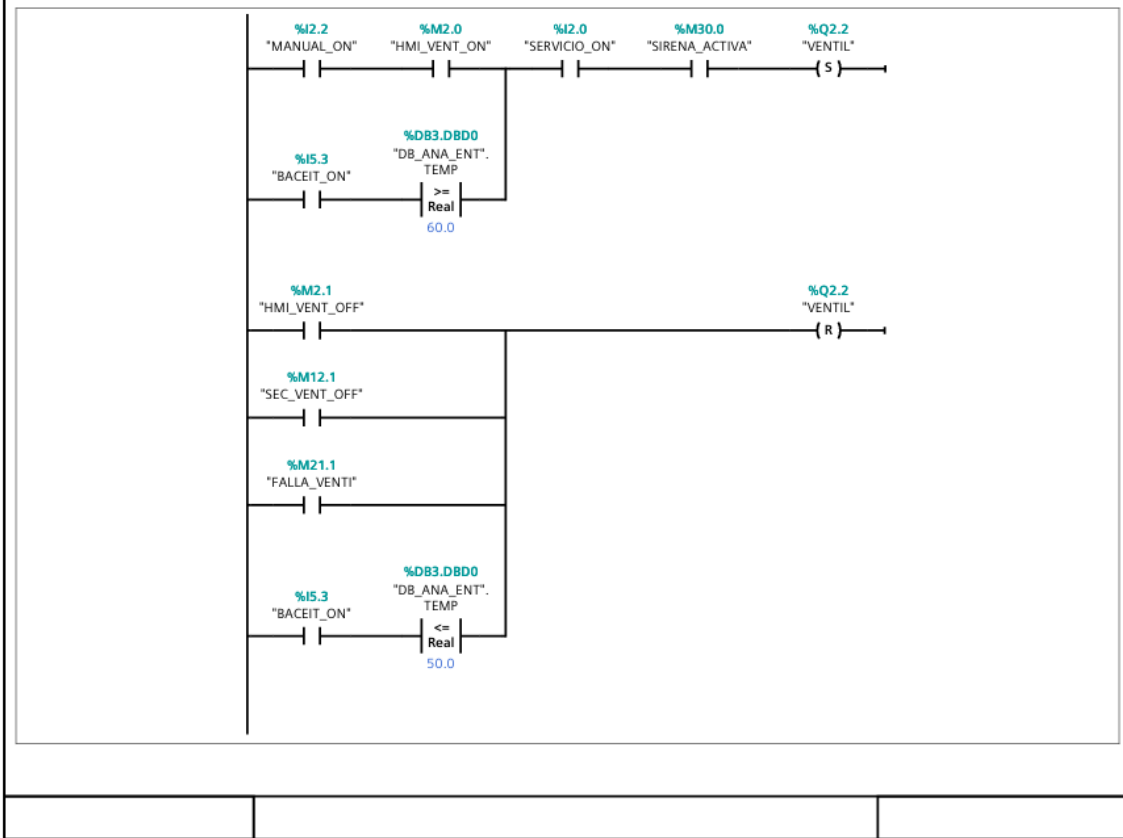
**Segmento 7: ARRANQUE Y PARO ZARANDA # 2**



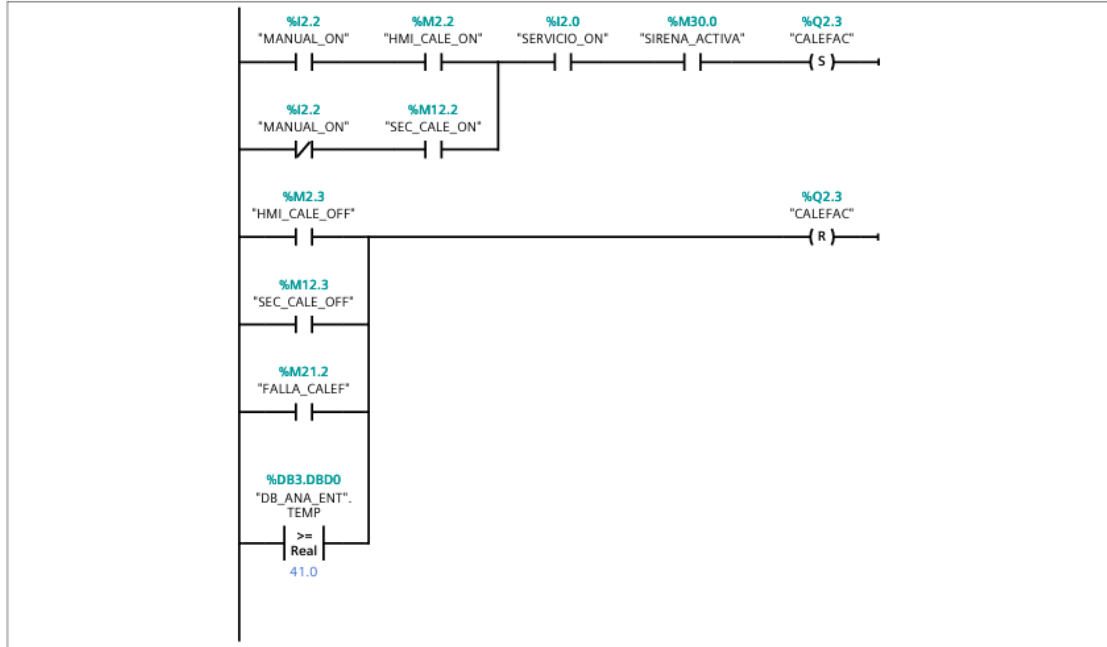
**Segmento 8: ARRANQUE Y PARO BOMBA DE ACEITE LUBRICACION TRITURADORA CONICA**



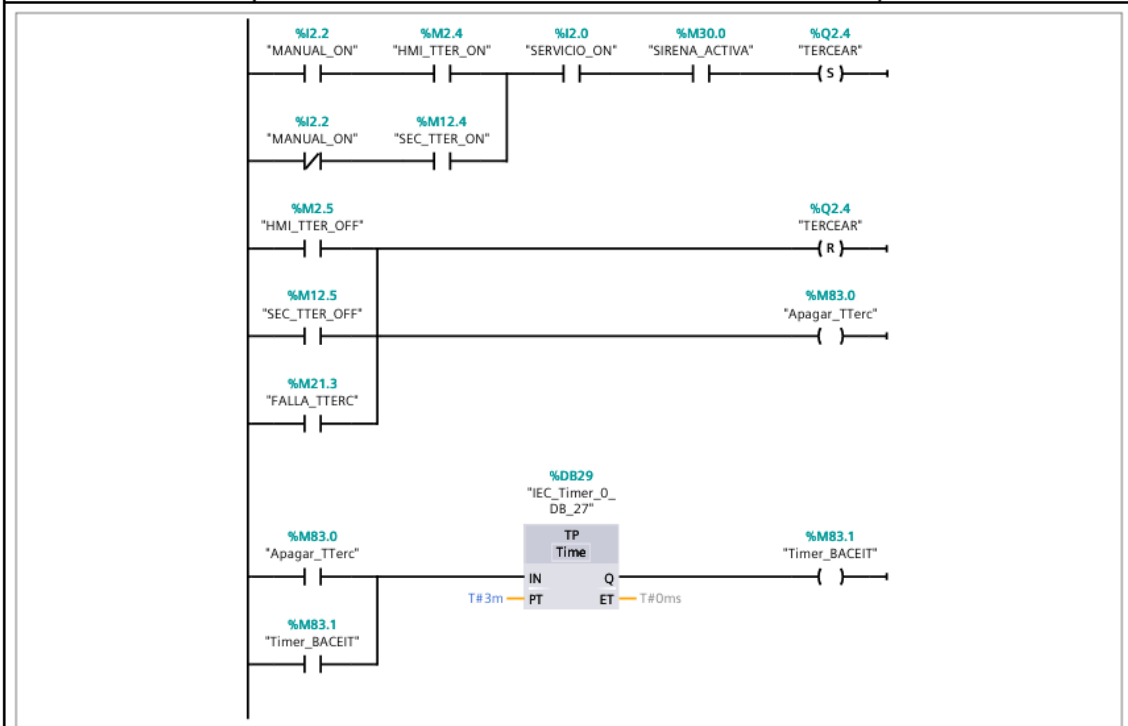
**Segmento 9: ARRANQUE Y PARO VENTILADOR REFRIGERACION ACEITE LUBRICANTE TRITURADORA CONICA**



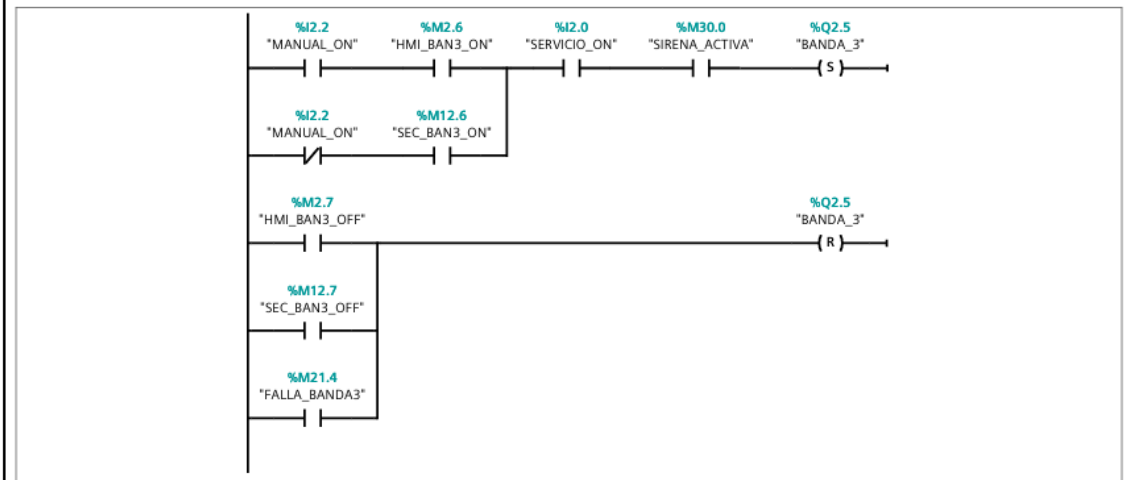
### Segmento 10: ARRANQUE Y PARO RESISTENCIAS CALEFACTORAS ACEITE LUBRICANTE TRITURADORA CONICA



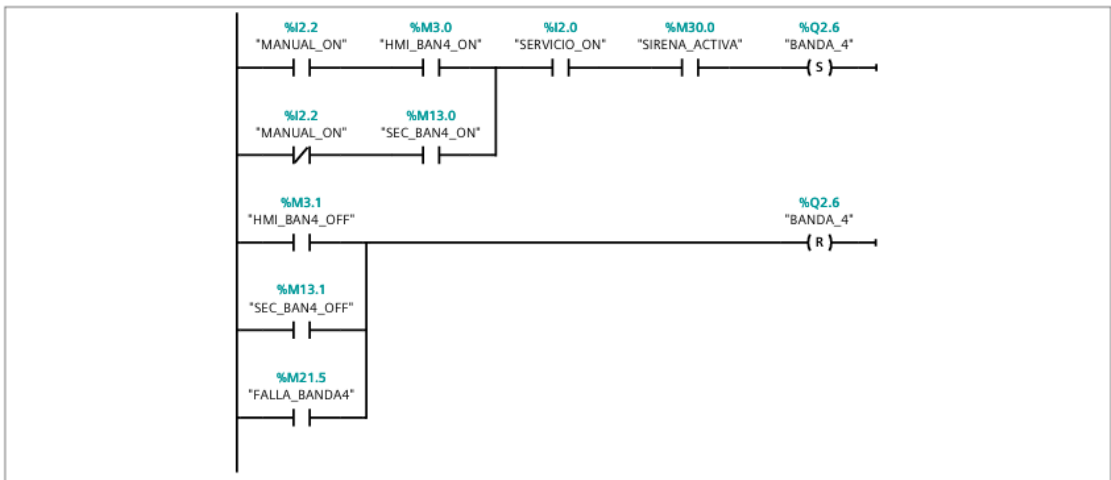
### Segmento 11: ARRANQUE Y PARO TRITURADORA TERCEARIA (CONICA)



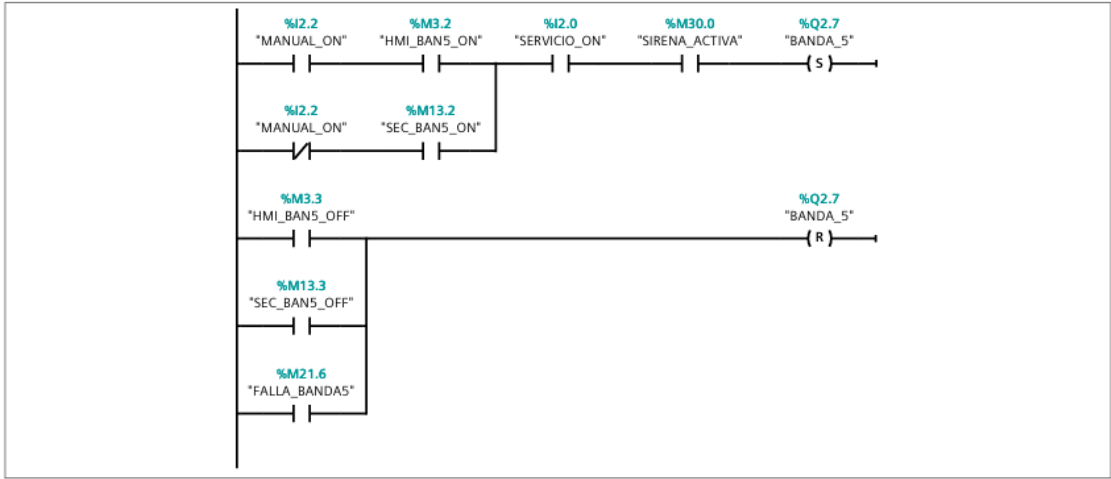
**Segmento 12: ARRANQUE Y PARO BANDA # 3**



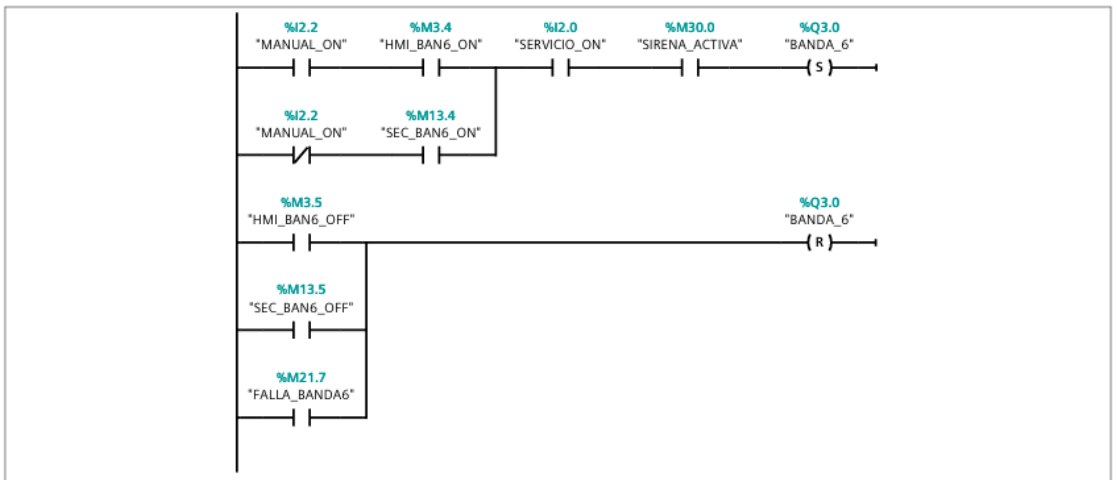
**Segmento 13: ARRANQUE Y PARO BANDA # 4**



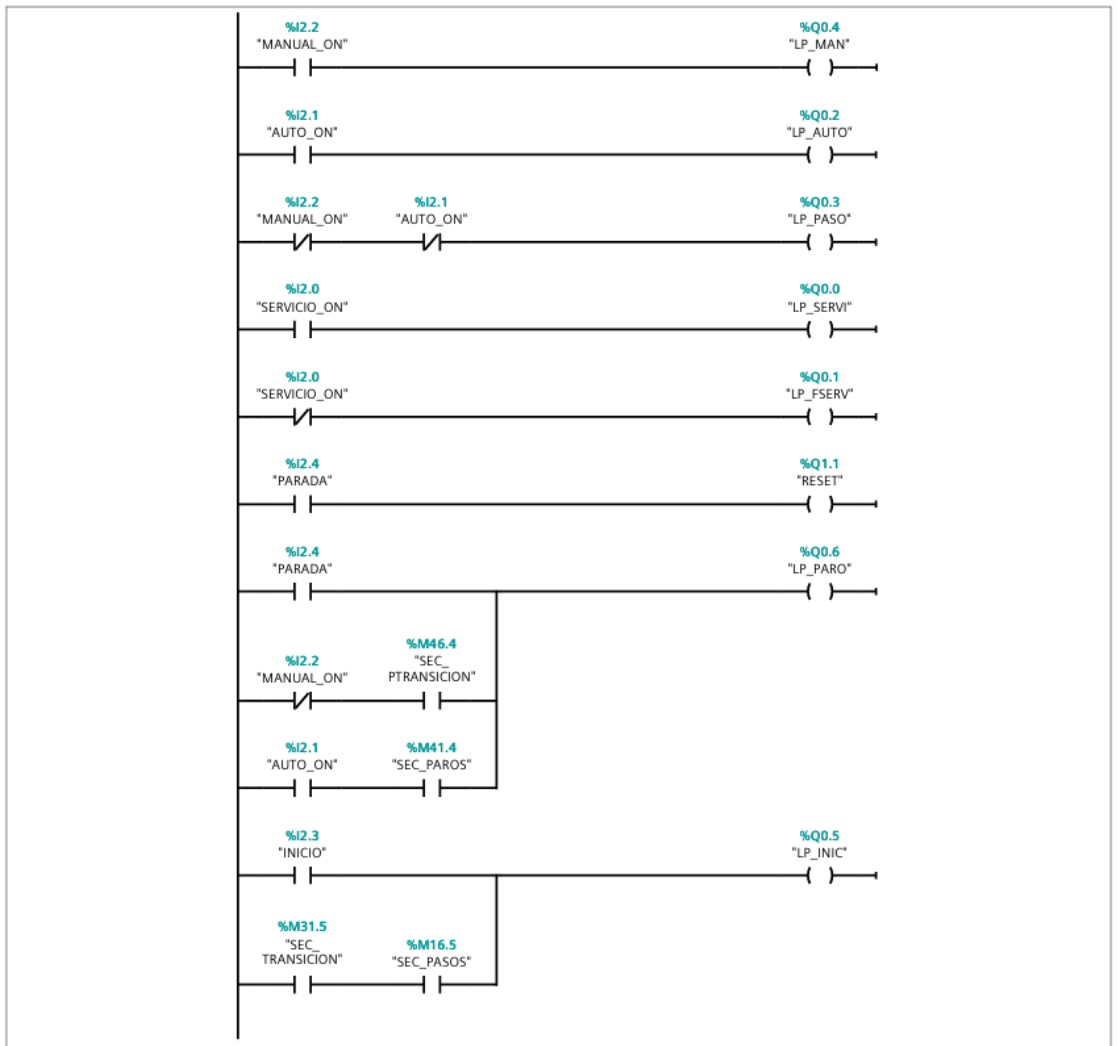
**Segmento 14: ARRANQUE Y PARO BANDA # 5**



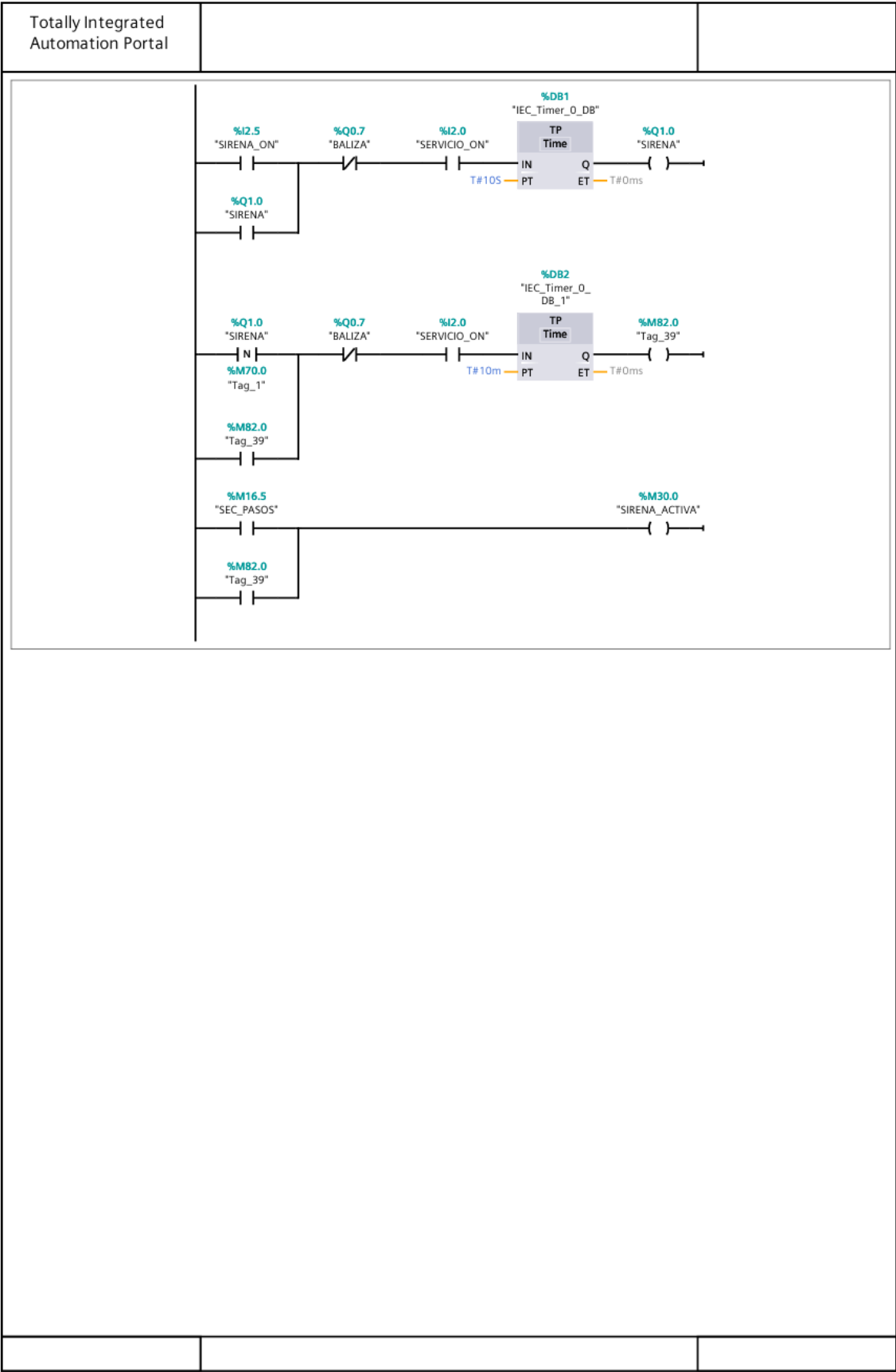
**Segmento 15: ARRANQUE Y PARO BANDA # 6**



**Segmento 16: LUCES INDICADORAS**

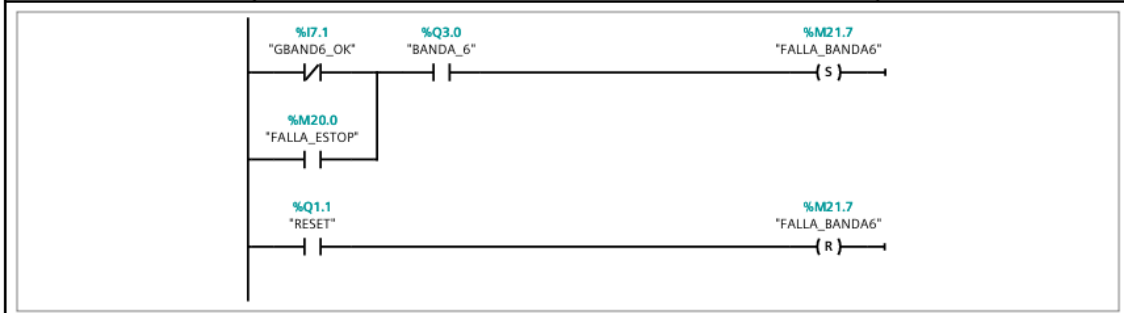


**Segmento 17: SIRENA DE AVISO DE MAQUINARIA PROXIMA A ENCENDER**

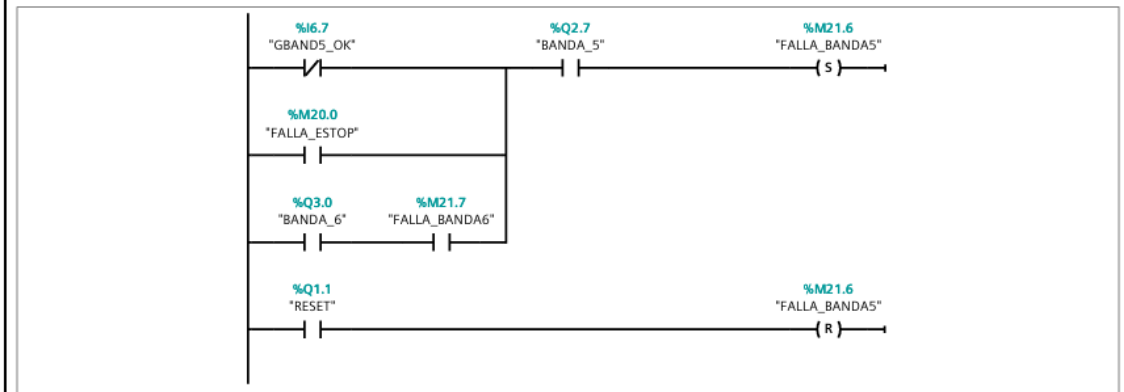


## ANEXO 2

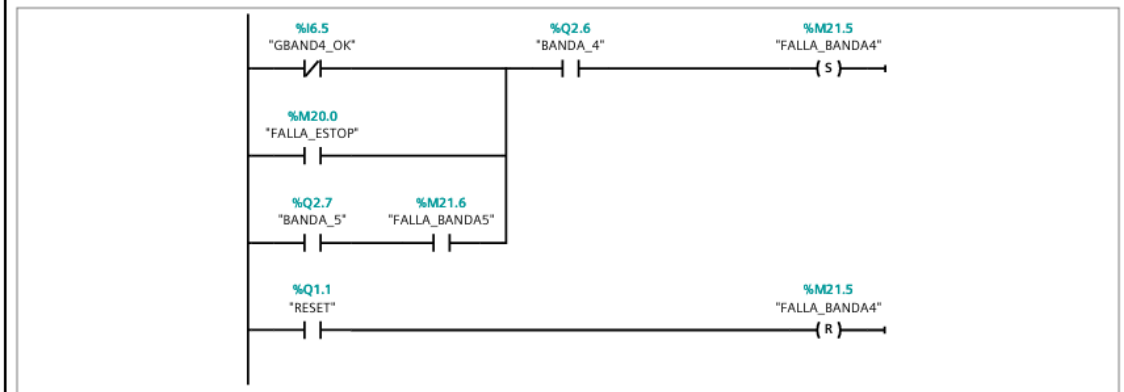
Totally Integrated Automation Portal		
<h3>PLC_Angelito / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Bloques de programa</h3> <h4>FALLAS [FC2]</h4>		
<b>FALLAS Propiedades</b>		
<b>General</b>		
<b>Nombre</b>	FALLAS	<b>Número</b> 2
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b> Automático
<b>Información</b>		
<b>Título</b>	FALLAS DE CADA EQUIPO	<b>Autor</b> Geovanny_Zambrano
<b>Familia</b>		<b>Versión</b> 0.1
		<b>Comentario</b> Programa donde se agrupan las fallas de los diferentes equipos que interviene en el proceso
		<b>ID personalizado</b>
<b>FALLAS</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Tipo de datos</b>	<b>Valor predet.</b>
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FALLAS	Void	
<b>Segmento 1: PARADAS DE EMERGENCIA AGRUPADAS</b>		
<pre> graph TD     subgraph Network         direction TB         I2_7["%I2.7 'ESTOP_TB'"]         I13_7["%I13.7 'ESTOP_PRI'"]         I4_7["%I4.7 'ESTOP_SEC'"]         I17_3["%I17.3 'ESTOP_TERC'"]         I2_0["%I2.0 'SERVICIO_ON'"]         M81_4["%M81.4 'Tag_38'"]         Q1_1["%Q1.1 'RESET'"]     end     I2_7 --- AND1(( ))     I13_7 --- AND1     I4_7 --- AND1     I17_3 --- AND1     I2_0 --- AND1     M81_4 --- AND1     Q1_1 --- AND1     AND1 --- S["%M20.0 'FALLA_ESTOP' (S)"]     AND1 --- R["%M20.0 'FALLA_ESTOP' (R)"]     </pre>		
<b>Segmento 2: FALLAS DE BANDA # 6</b>		



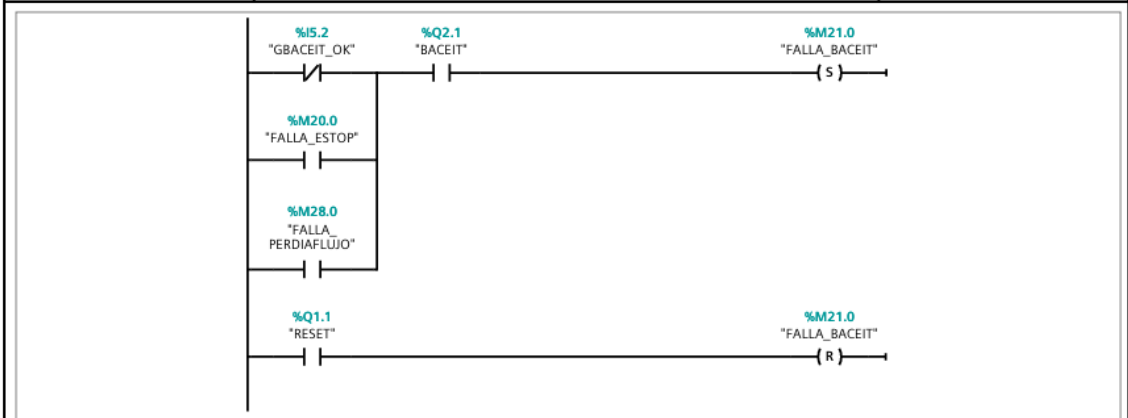
**Segmento 3: FALAS DE BANDA # 5**



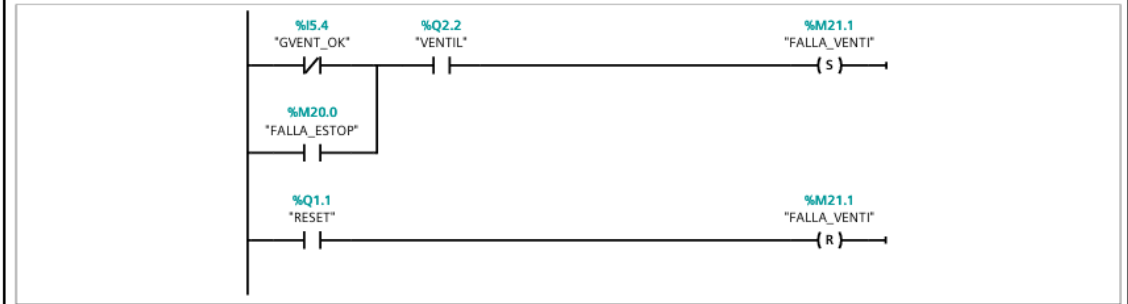
**Segmento 4: FALAS DE BANDA # 4**



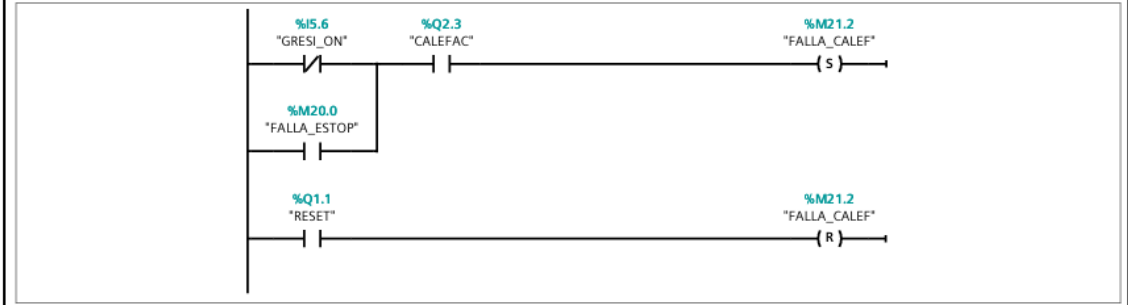
**Segmento 5: FALAS DE BOMBA DE ACEITE CONICA**



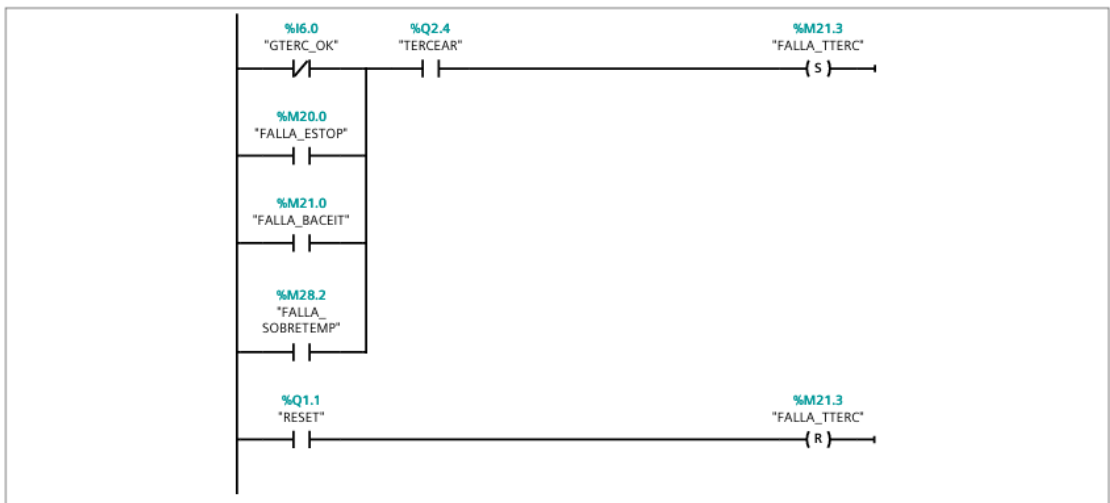
**Segmento 6: FALLAS DE VENTILADOR DE REFRIGERACION CONICA**



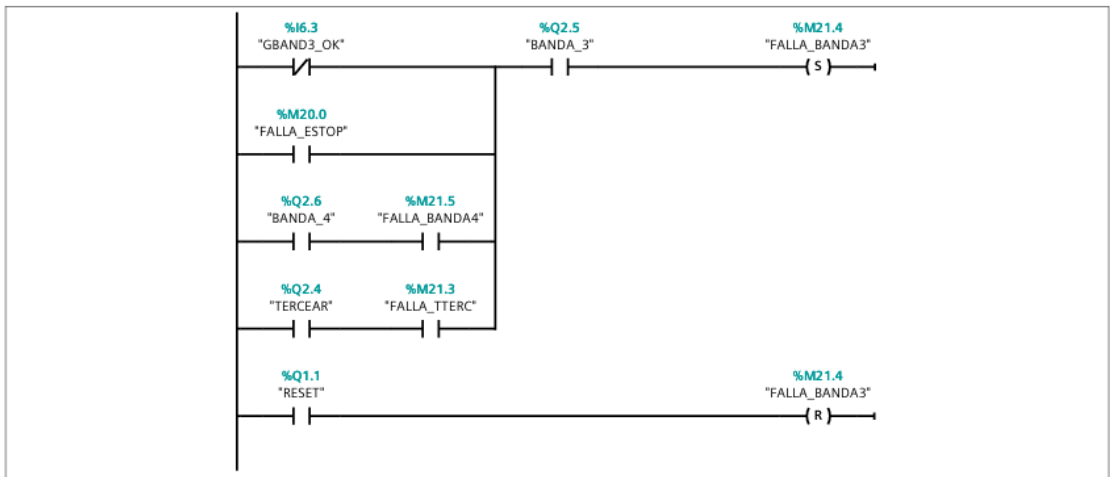
**Segmento 7: FALLAS DE RESISTENCIAS CALEFACTORAS DE ACEITE CONICA**



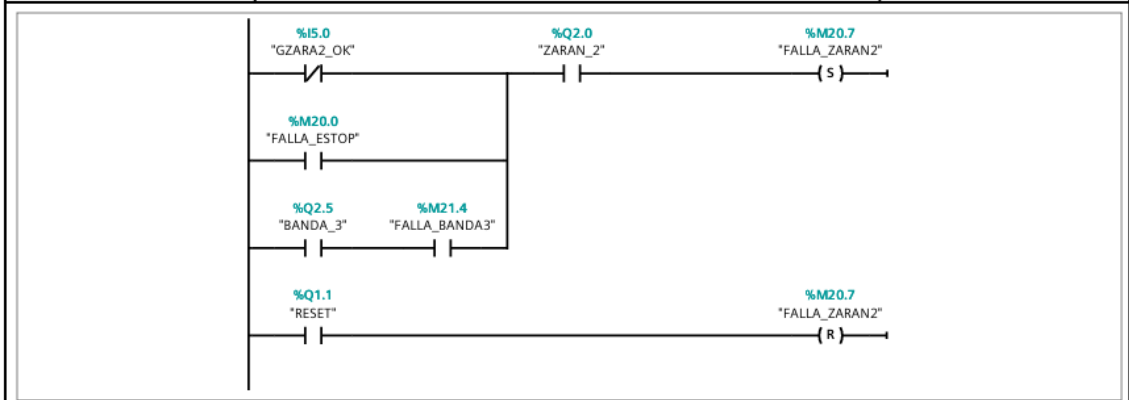
**Segmento 8: FALLAS DE TRITURADORA TERCEARIA**



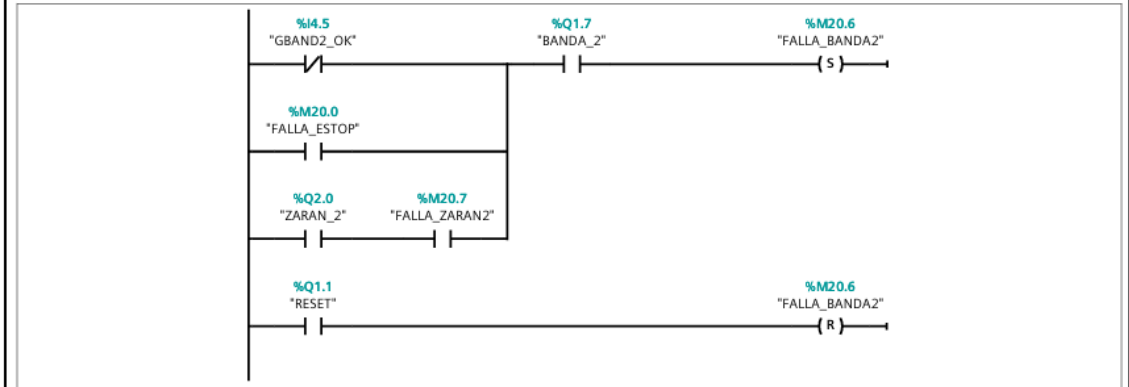
**Segmento 9: FALLAS DE BANDA # 3**



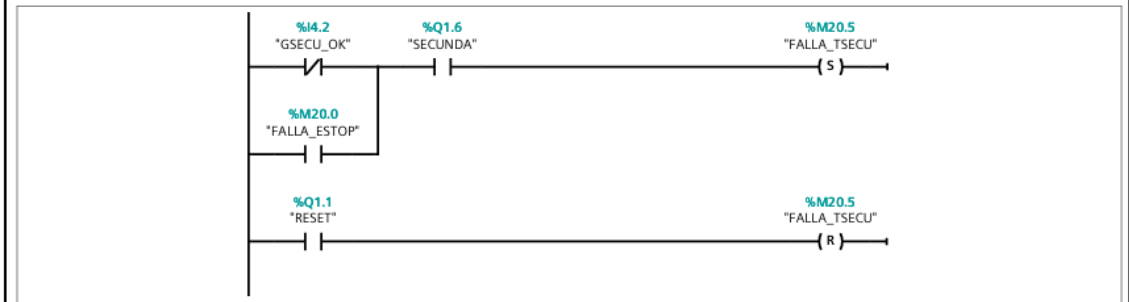
**Segmento 10: FALLAS DE ZARANDA # 2**



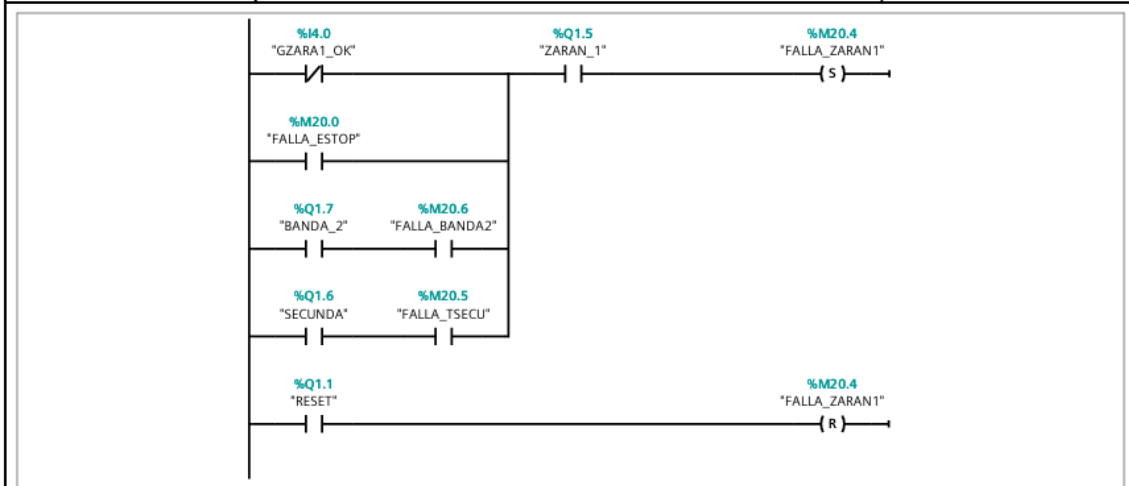
**Segmento 11: FALLAS DE BANDA # 2**



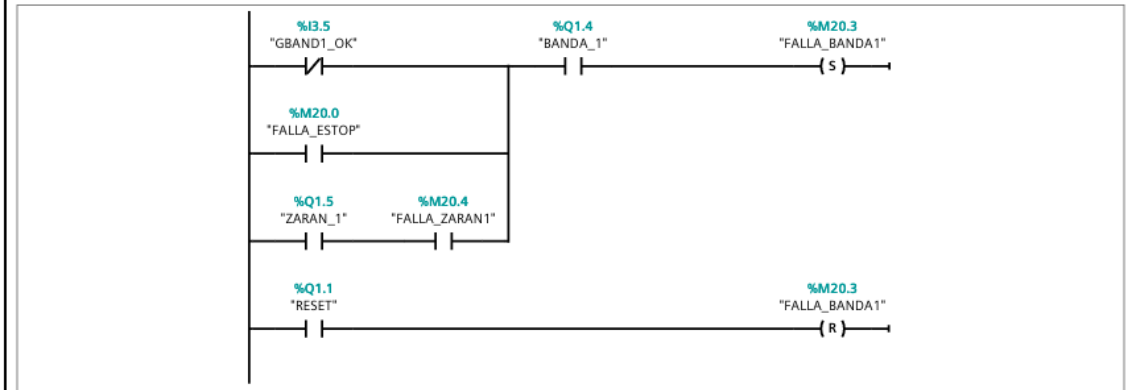
**Segmento 12: FALLAS DE TRITURADOA SECUNDARIA**



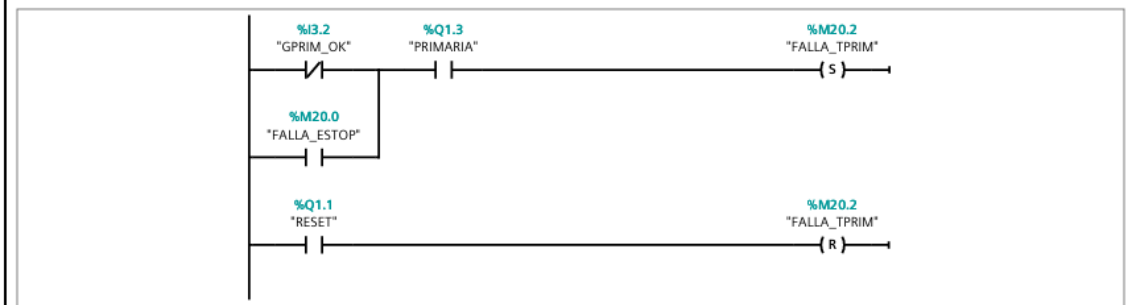
**Segmento 13: FALLAS DE ZARANDA # 1**



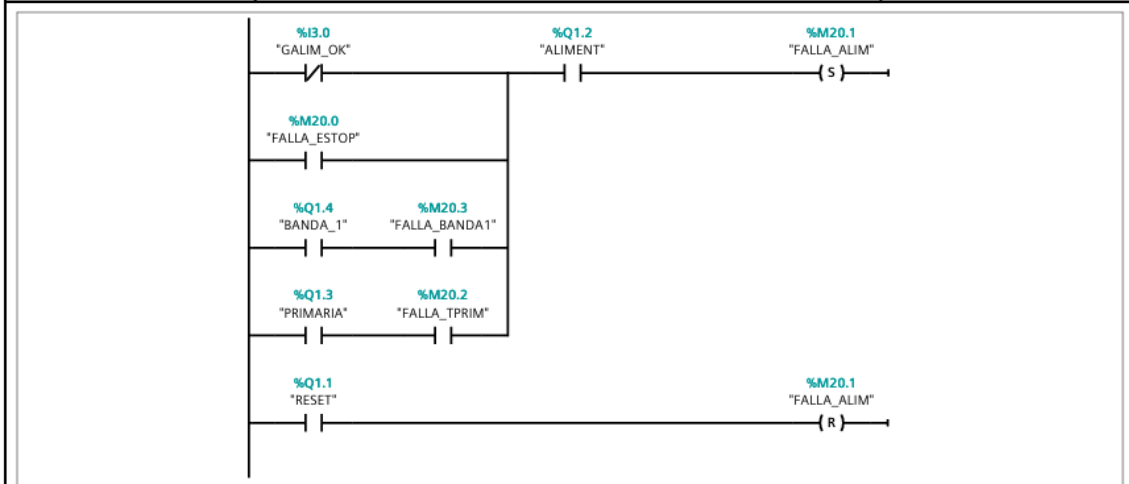
**Segmento 14: FALLAS DE BANDA # 1**



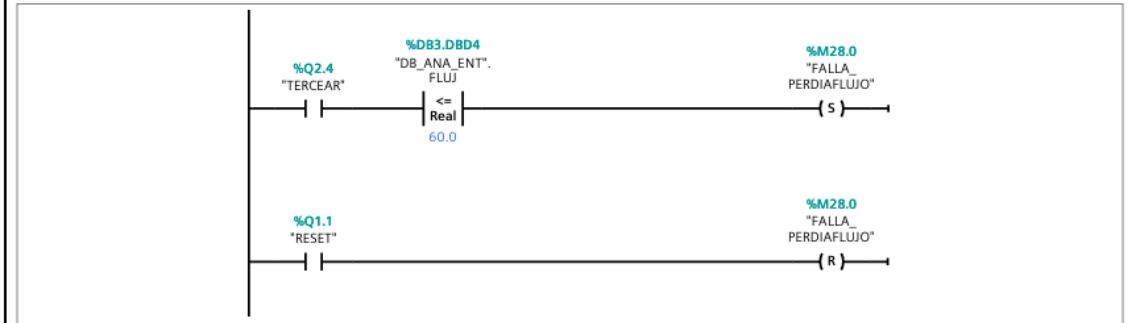
**Segmento 15: FALLAS DE TRITURADOA PRIMARIA**



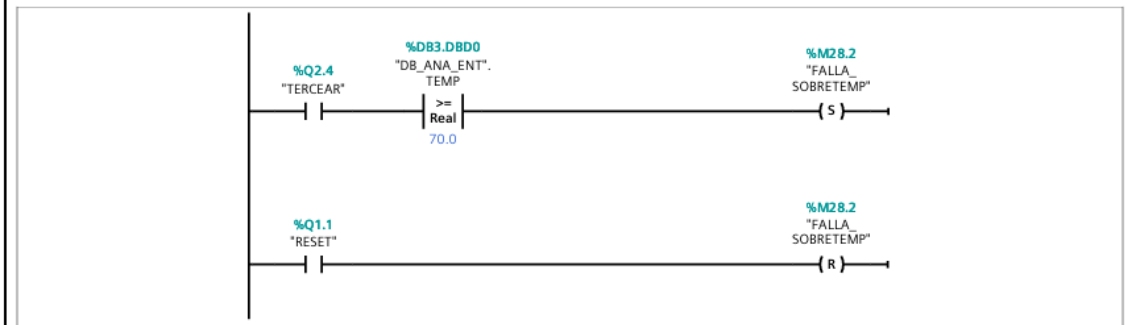
**Segmento 16: FALLAS DE ALIMENTADOR**



**Segmento 17: PERDIDA DE FLUJO DE ACEITE CONICA**



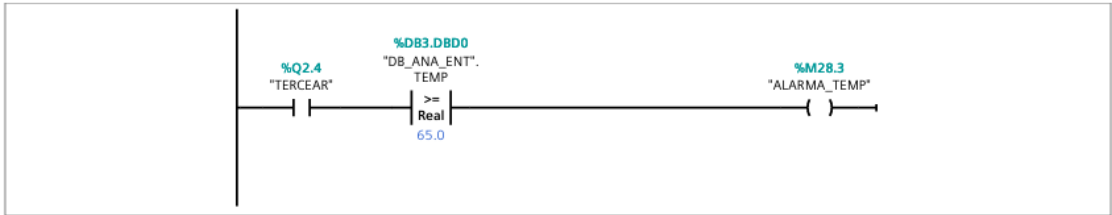
**Segmento 18: SOBRETENPERATURA ACEITE CONICA**



**Segmento 19: ALARMA PERDIDA FLUJO ACEITE CONICA**

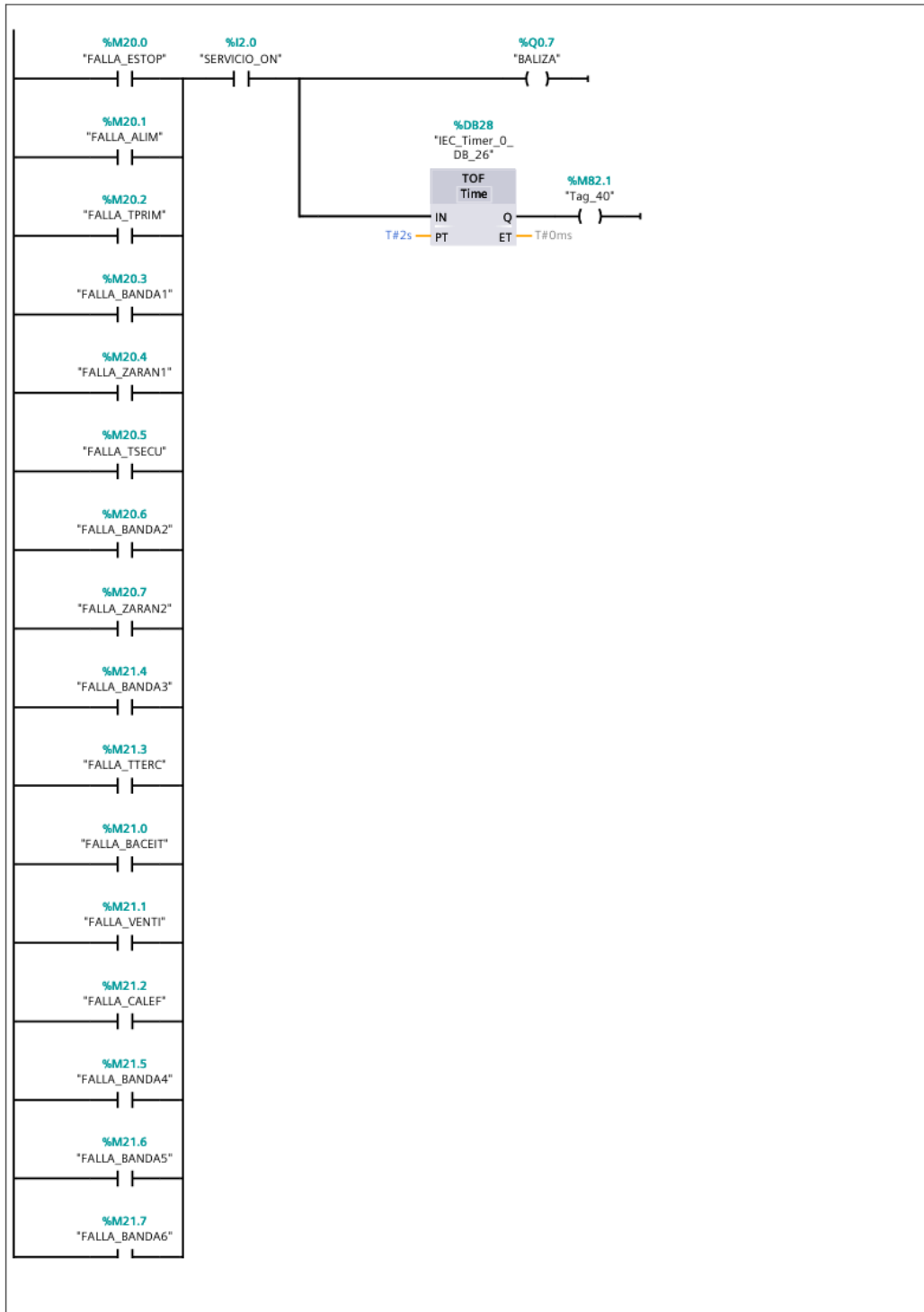


**Segmento 20: ALARMA SOBRETENPERATURA ACEITE CONICA**



**Segmento 21: BALIZA DE FALLO**

Segmento 21: BALIZA DE FALLO (1.1 / 2.1)

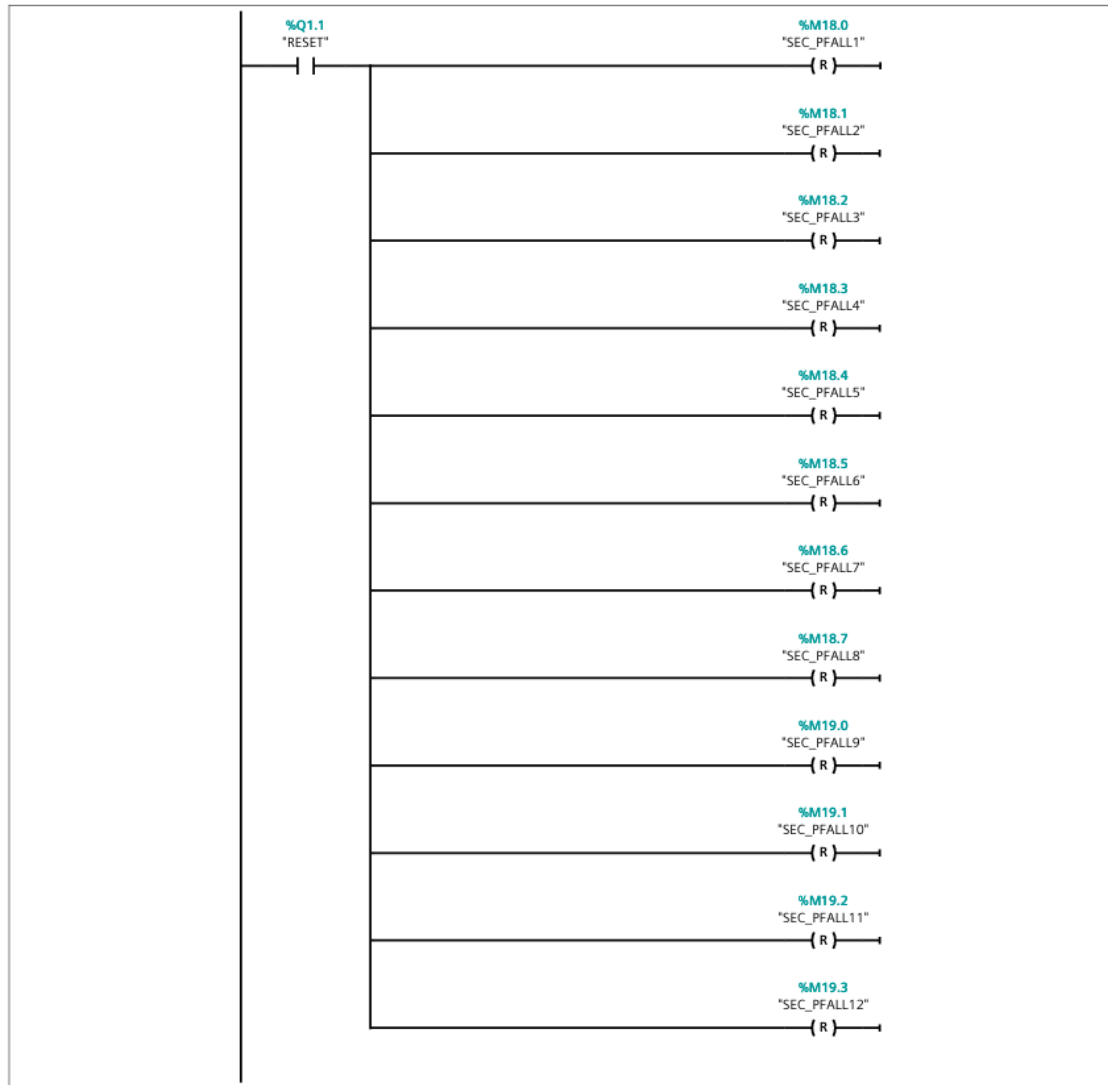


Segmento 21: BALIZA DE FALLO (2.1 / 2.1)

1.1 (Página1 - 9)

%M19.4  
"SEC\_FFALLAS"

### Segmento 22: RESET DE FALLAS EN SECUENCIA ARRANQUE



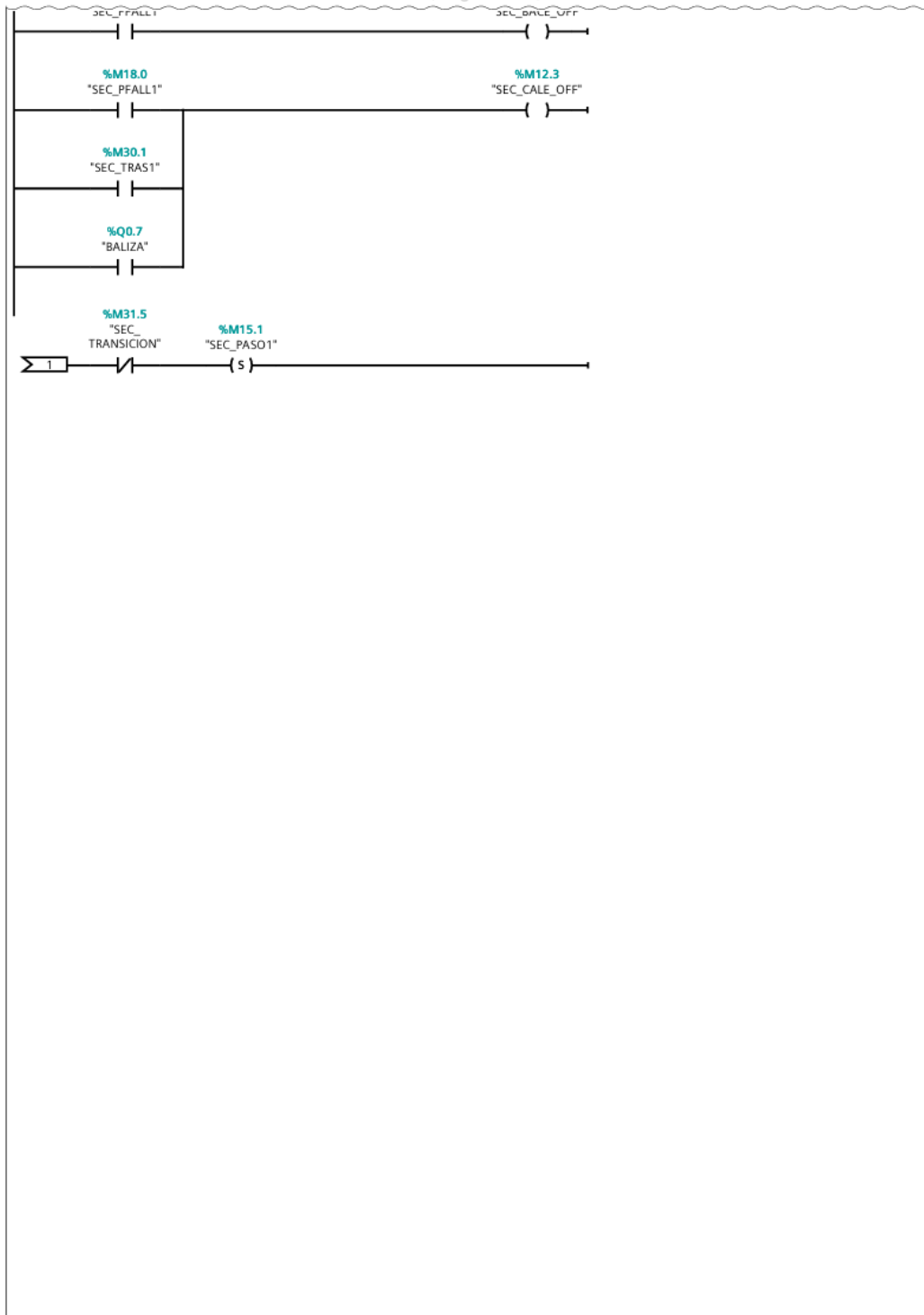
### ANEXO 3

Totally Integrated Automation Portal					
<h2>PLC_Angelito / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Bloques de programa</h2> <h3>SECUENCIA_ARRANQUE [FC3]</h3>					
<b>SECUENCIA_ARRANQUE Propiedades</b>					
<b>General</b>					
<b>Nombre</b>	SECUENCIA_ARRANQUE	<b>Número</b>	3	<b>Tipo</b>	FC
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b>	Automático		
<b>Información</b>					
<b>Título</b>	SECUENCIA DE ARRANQUE AUTOMATICO Y PASO A PASO	<b>Autor</b>	Geovanny_Zambrano	<b>Comentario</b>	Programa que contiene la secuencia de arranque automatica del proceso
<b>Familia</b>		<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizado</b>	
<b>SECUENCIA_ARRANQUE</b>					
<b>Nombre</b>		<b>Tipo de datos</b>		<b>Valor predet.</b>	
Input					
Output					
InOut					
Temp					
Constant					
▼ Return					
SECUENCIA_ARRANQUE		Void			
<b>Segmento 1: CONDICIONES INICIALES PARA SECUENCIA</b>					
<p><b>Segmento 1: CONDICIONES INICIALES PARA SECUENCIA</b></p>					
<b>Segmento 2: PASO 1 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA TERCEARIA)</b>					

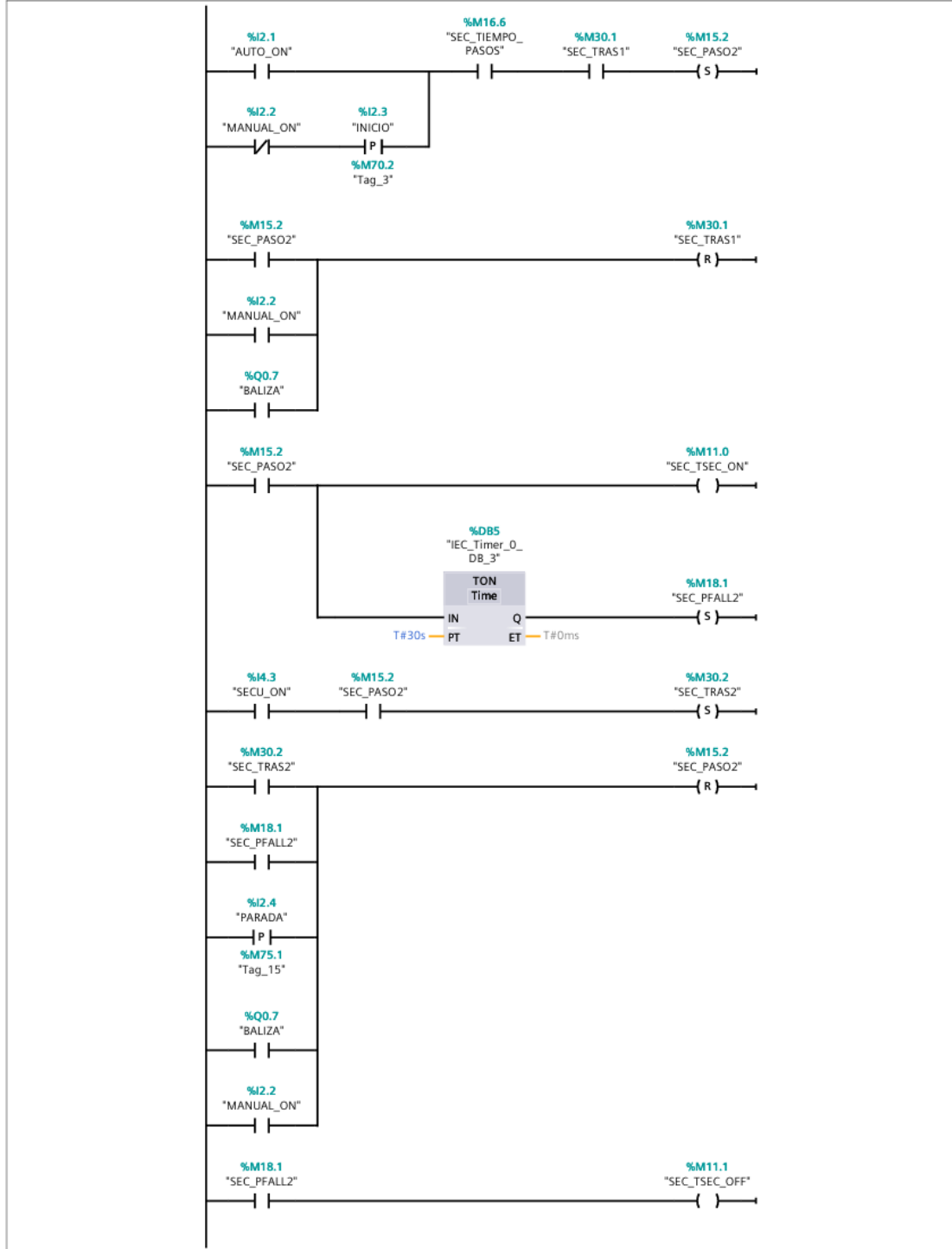


Segmento 2: PASO 1 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA TERCEARIA) (2.1 / 2.1)

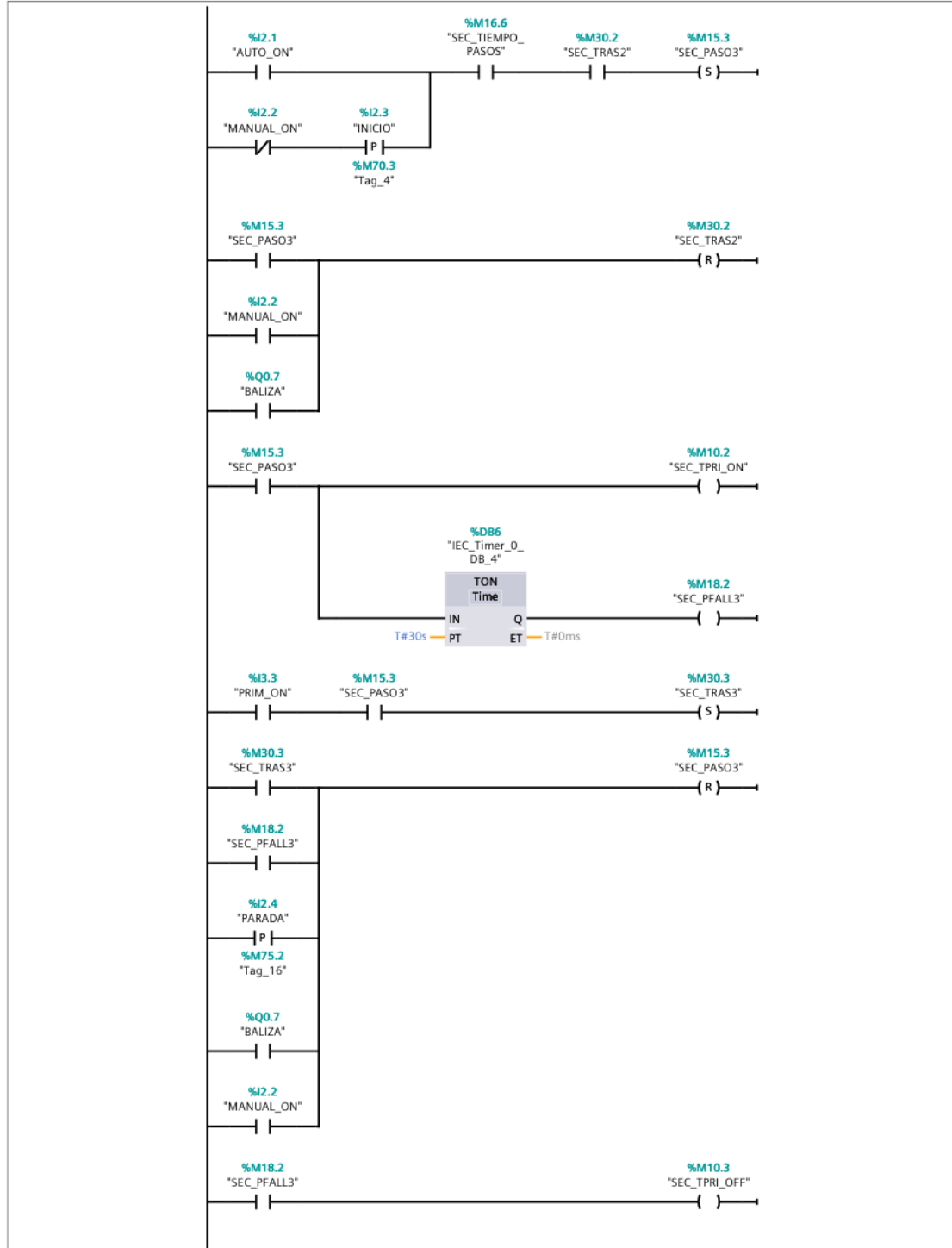
1.1 (Página1 - 2)



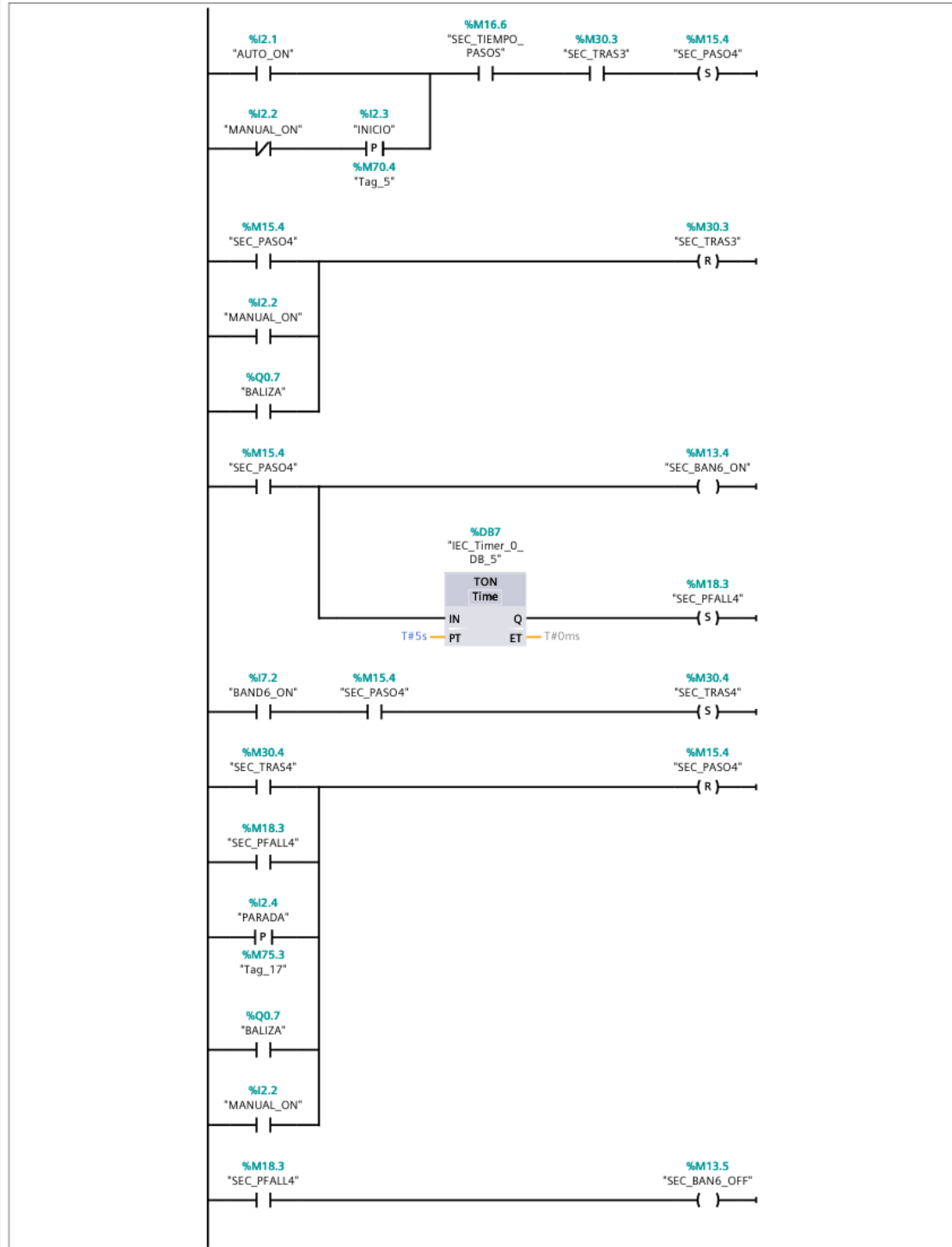
Segmento 3: PASO 2 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA SECUNDARIA)



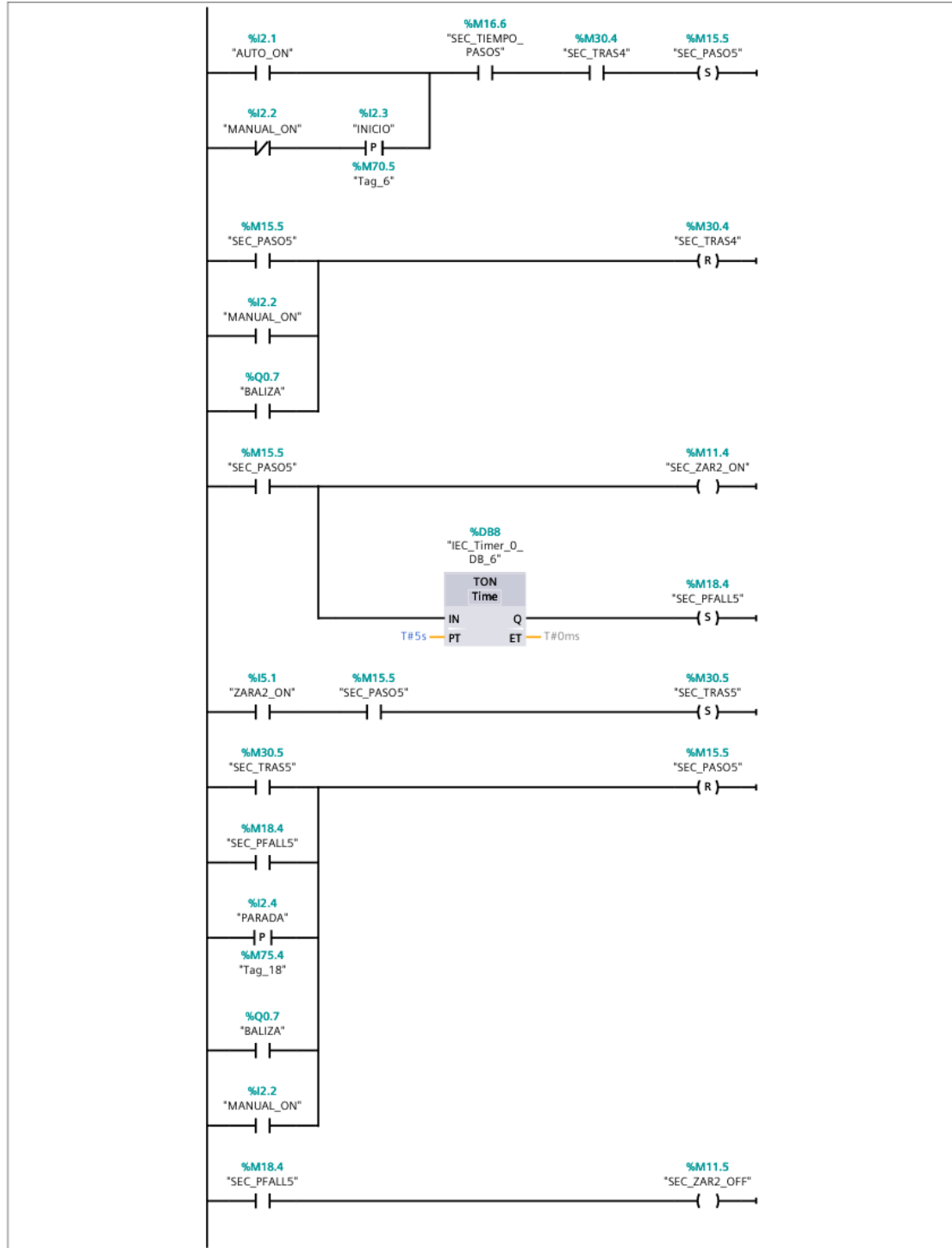
**Segmento 4: PASO 3 ACTIVO (ARRANQUE TRITURADORA PRIMARIA)**



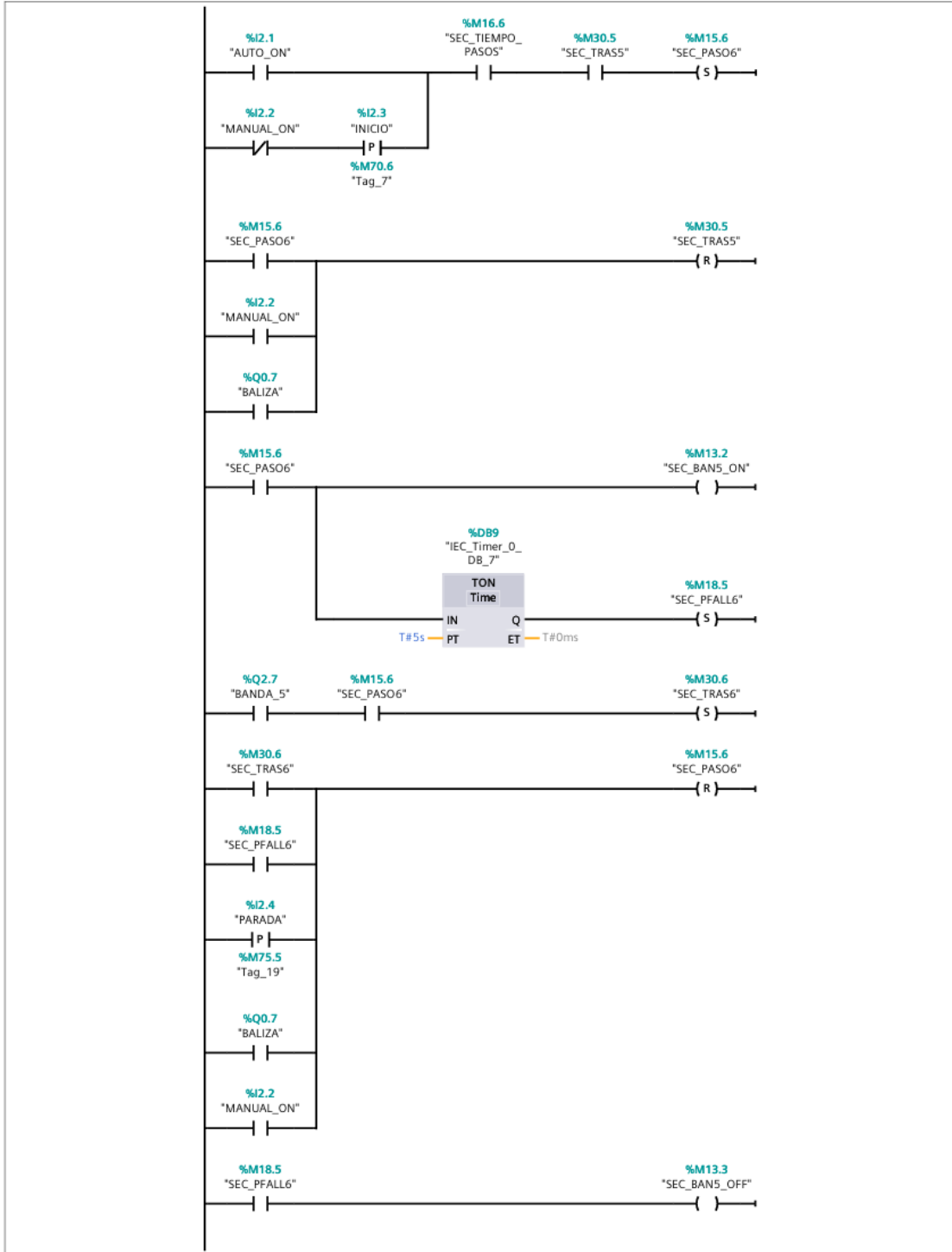
Segmento 5: PASO 4 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 6)



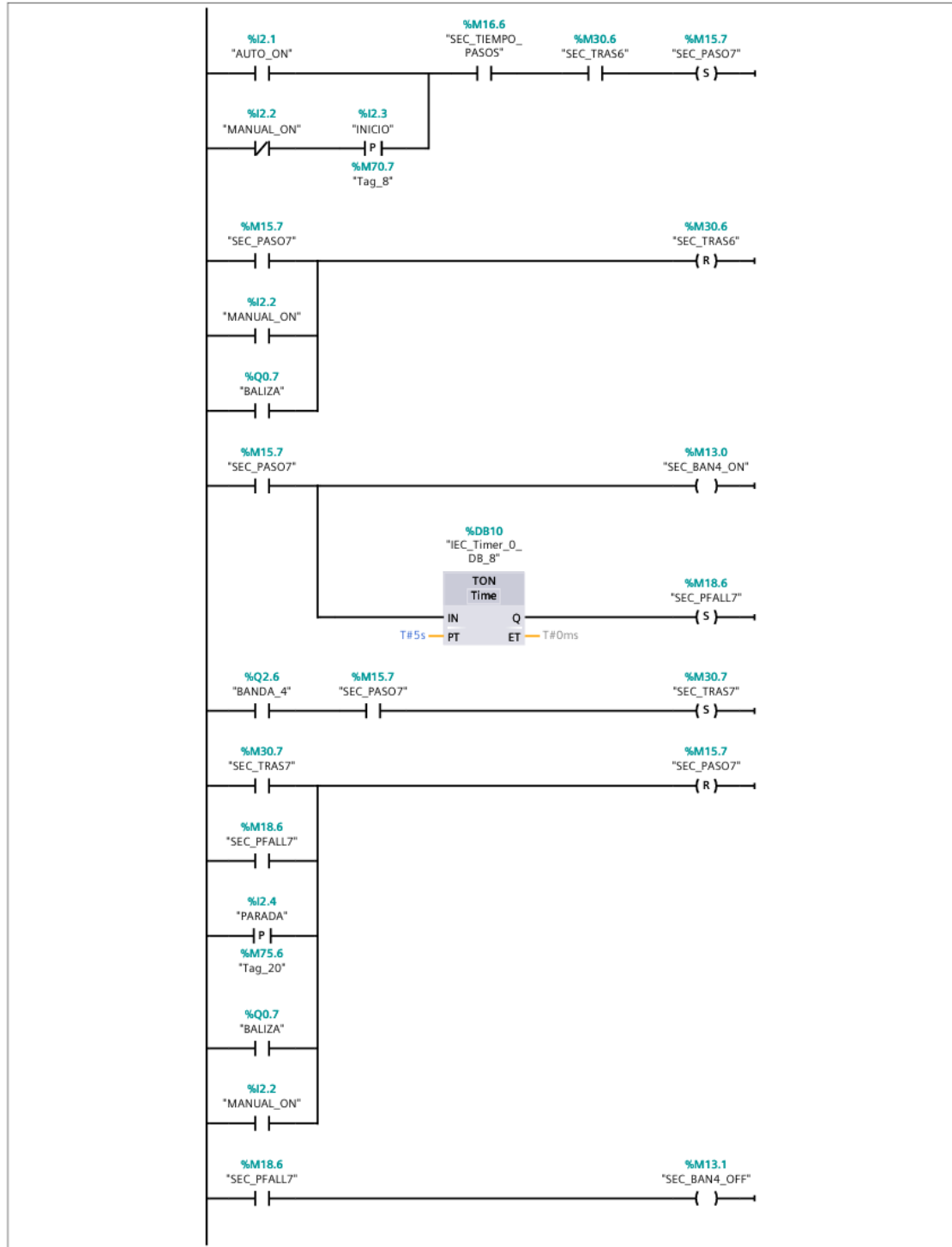
Segmento 6: PASO 5 ACTIVO (ARRANQUE ZARANDA 2)



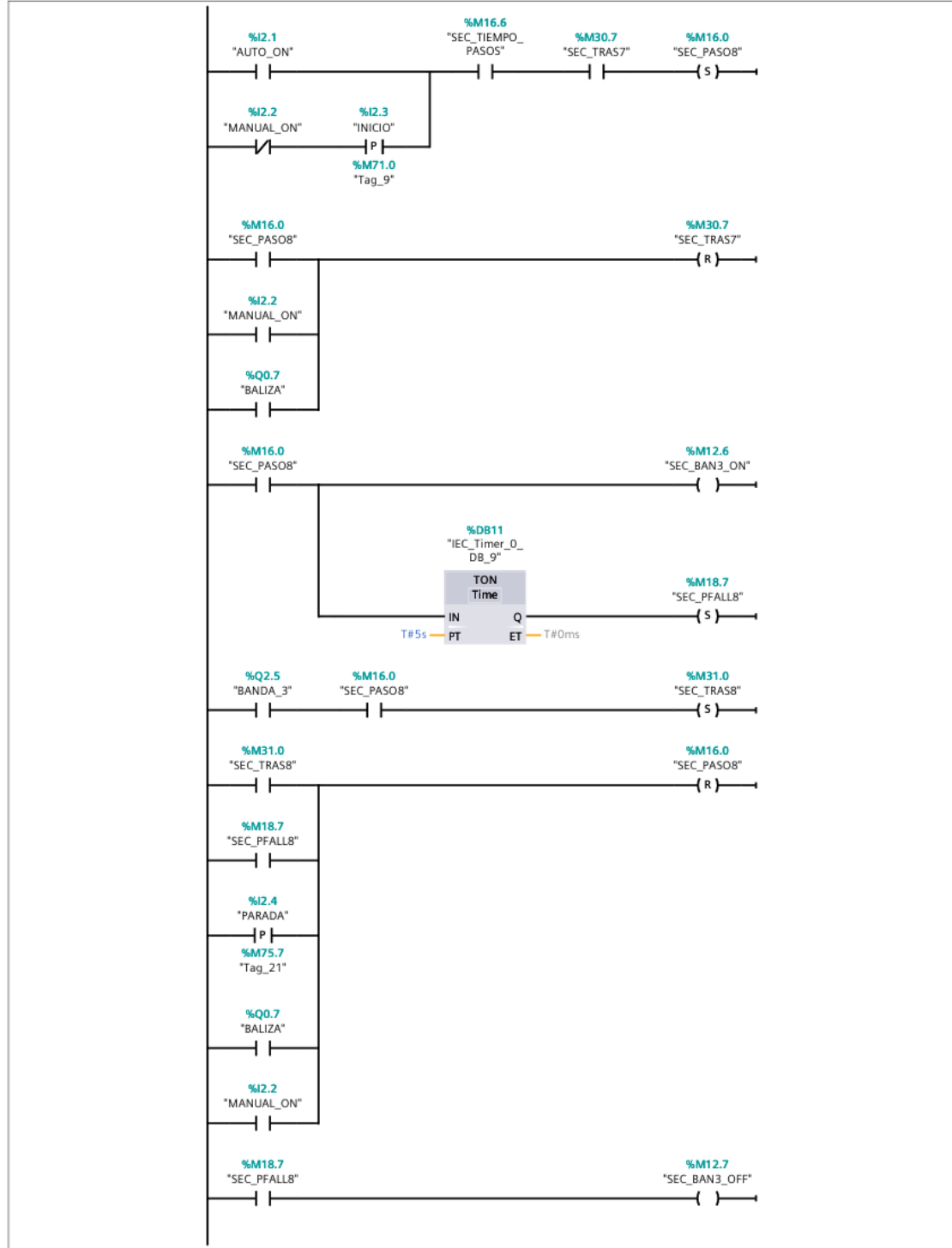
Segmento 7: PASO 6 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 5)



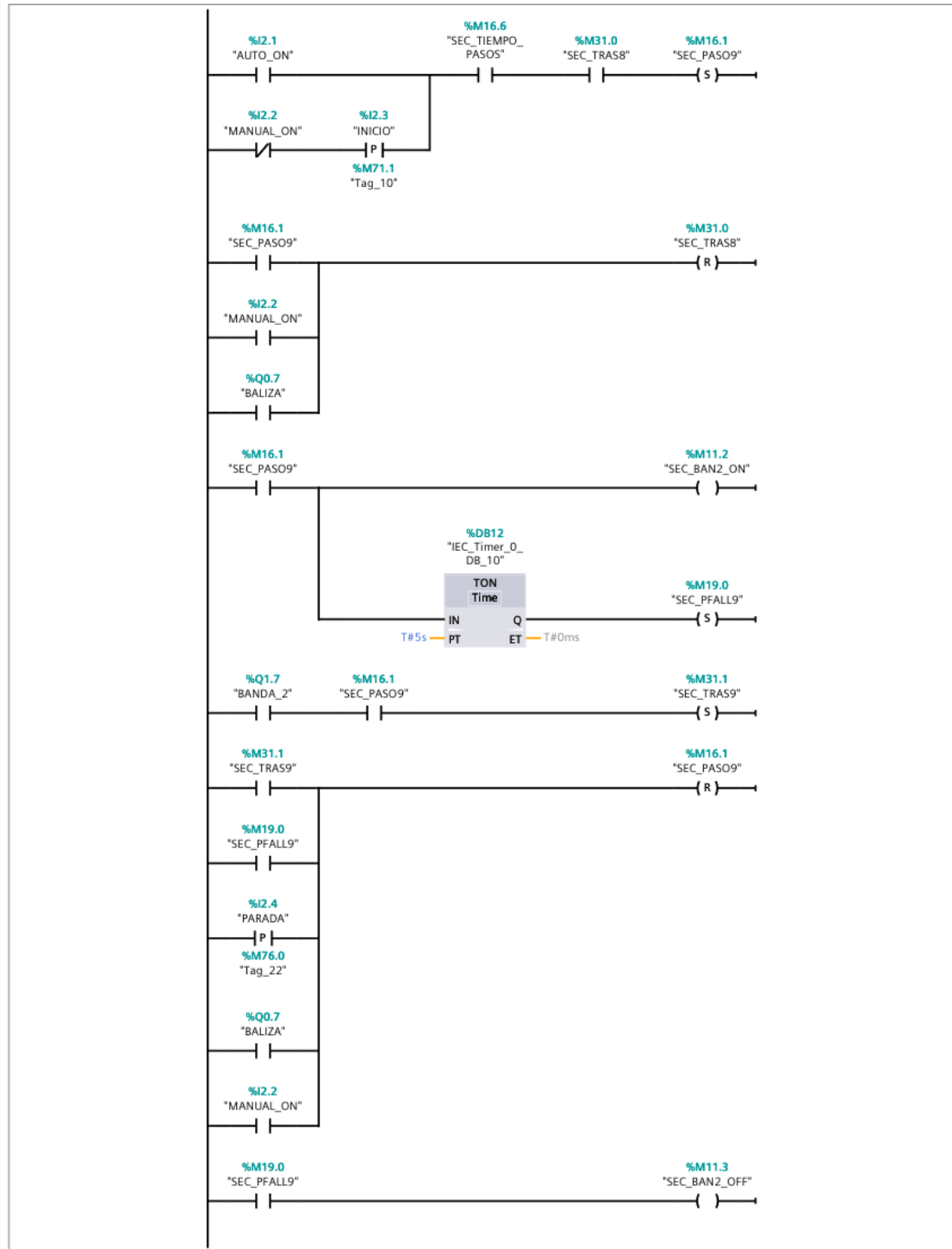
Segmento 8: PASO 7 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 4)



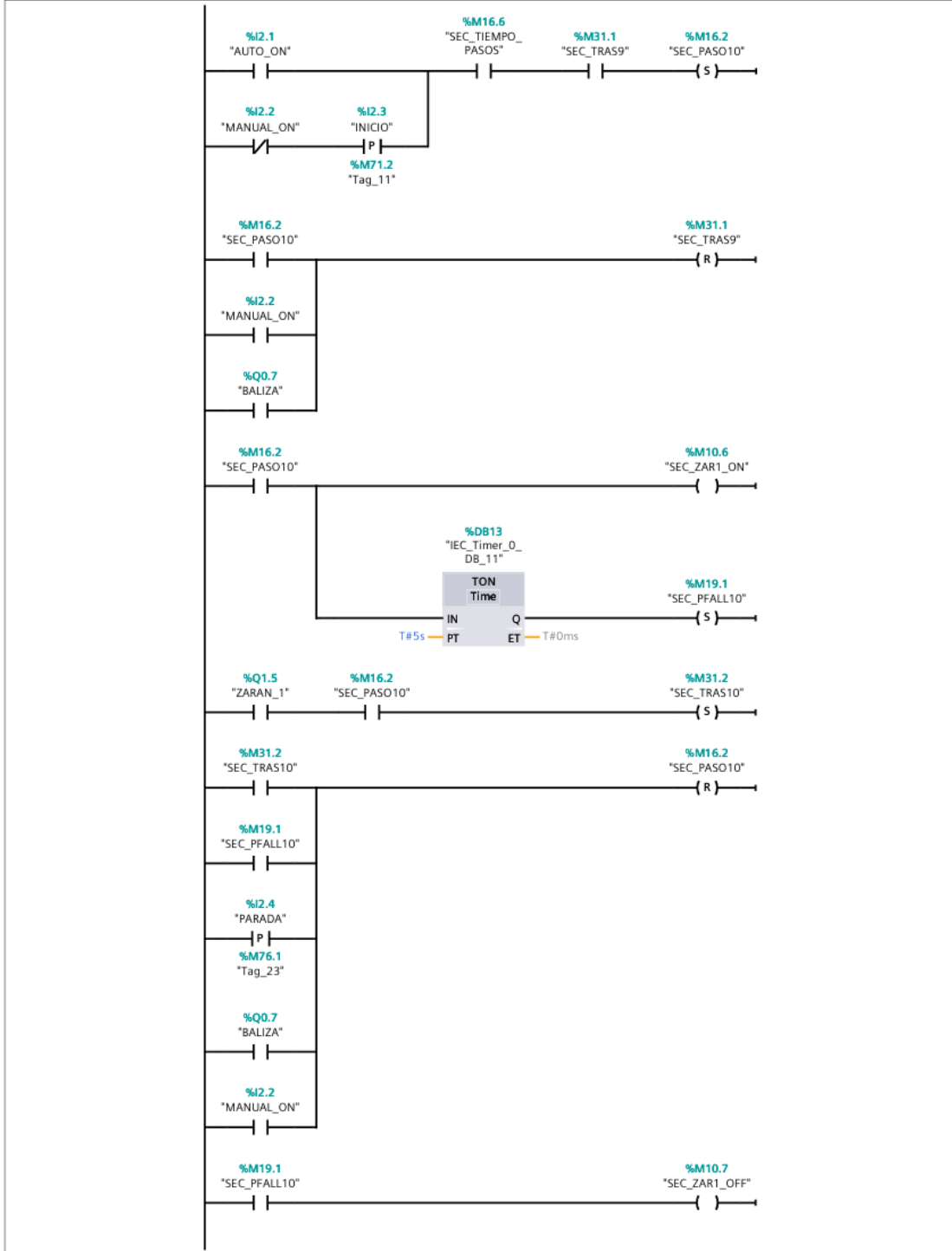
Segmento 9: PASO 8 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 3)



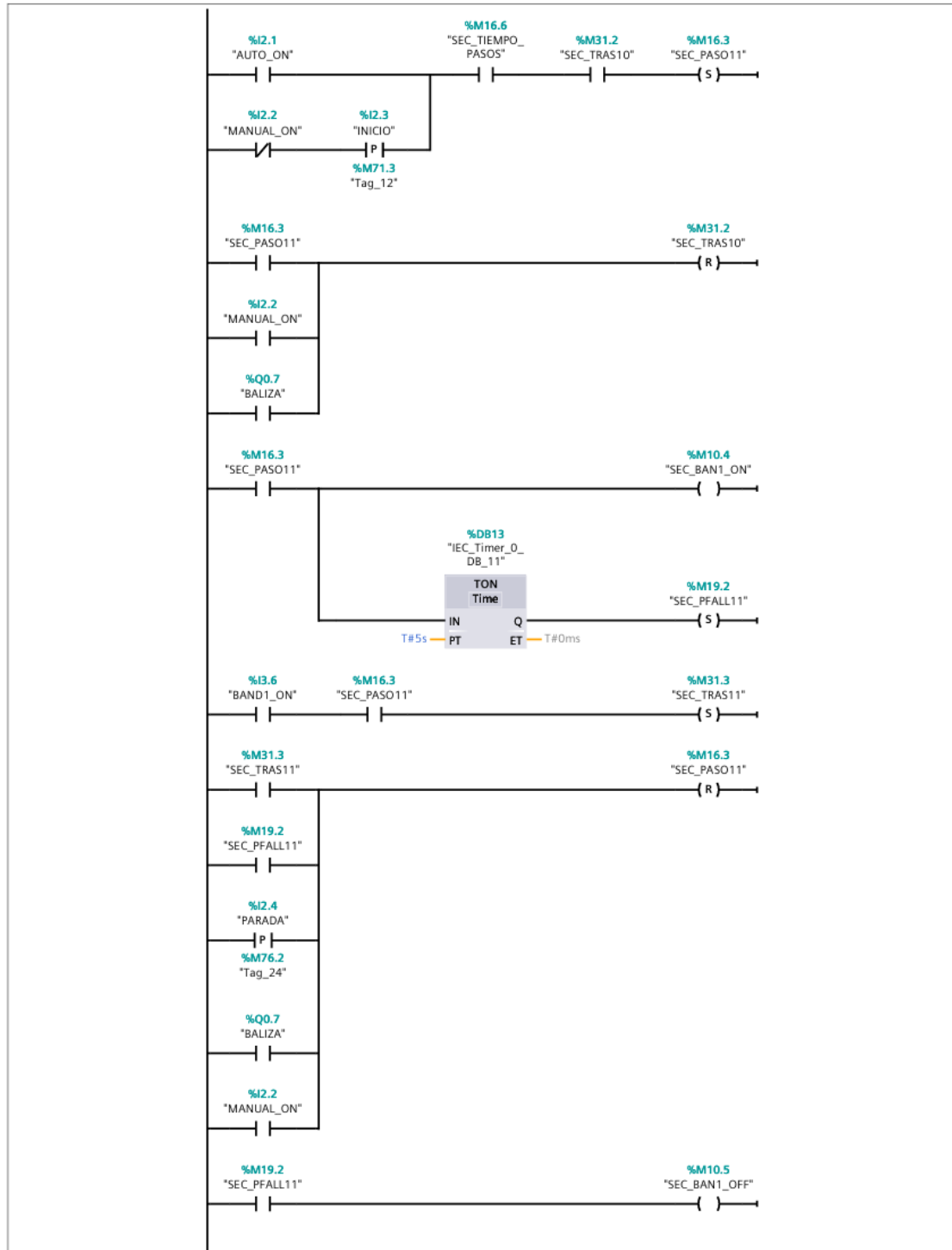
Segmento 10: PASO 9 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 2)



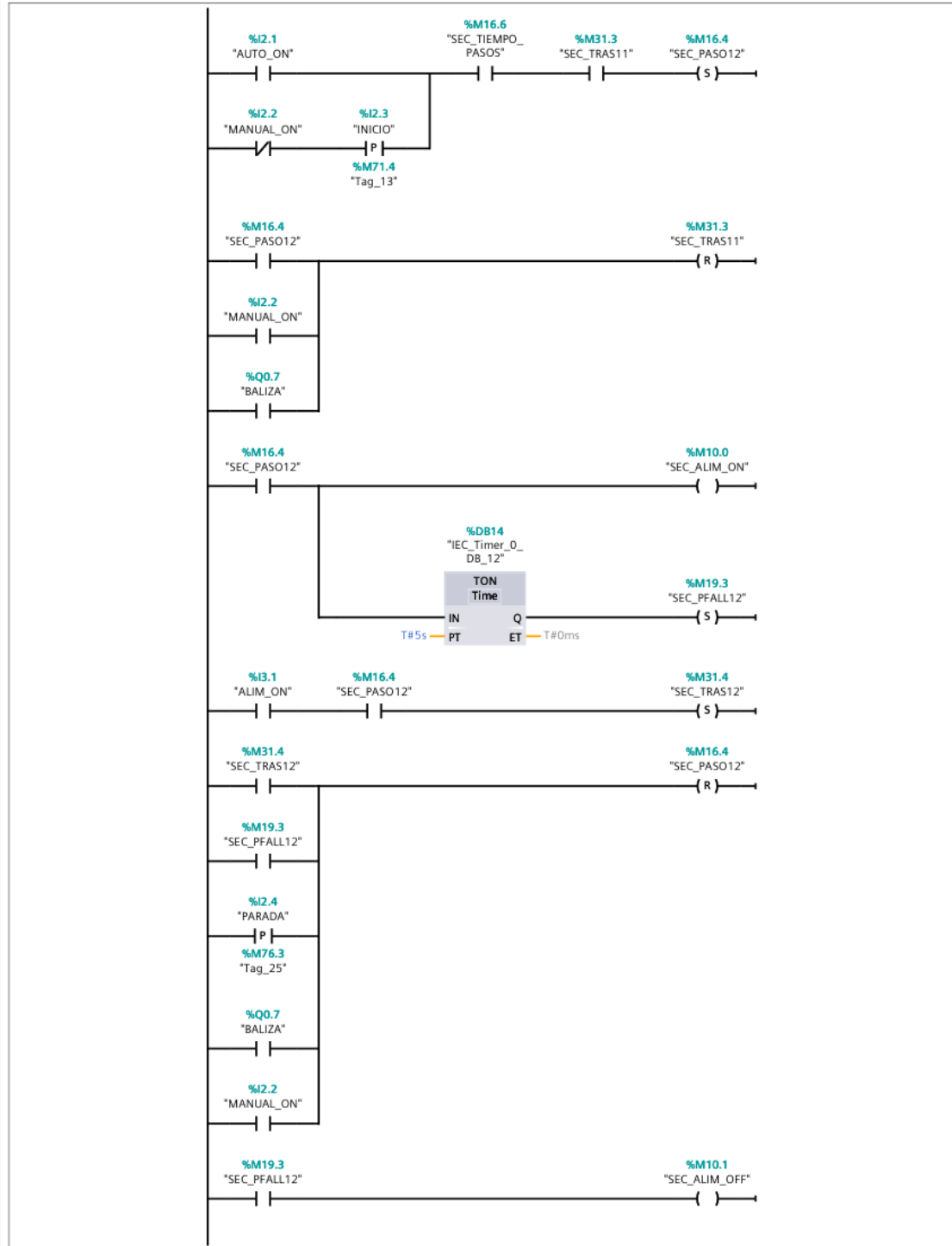
Segmento 11: PASO 10 ACTIVO (ARRANQUE ZARANDA 1)



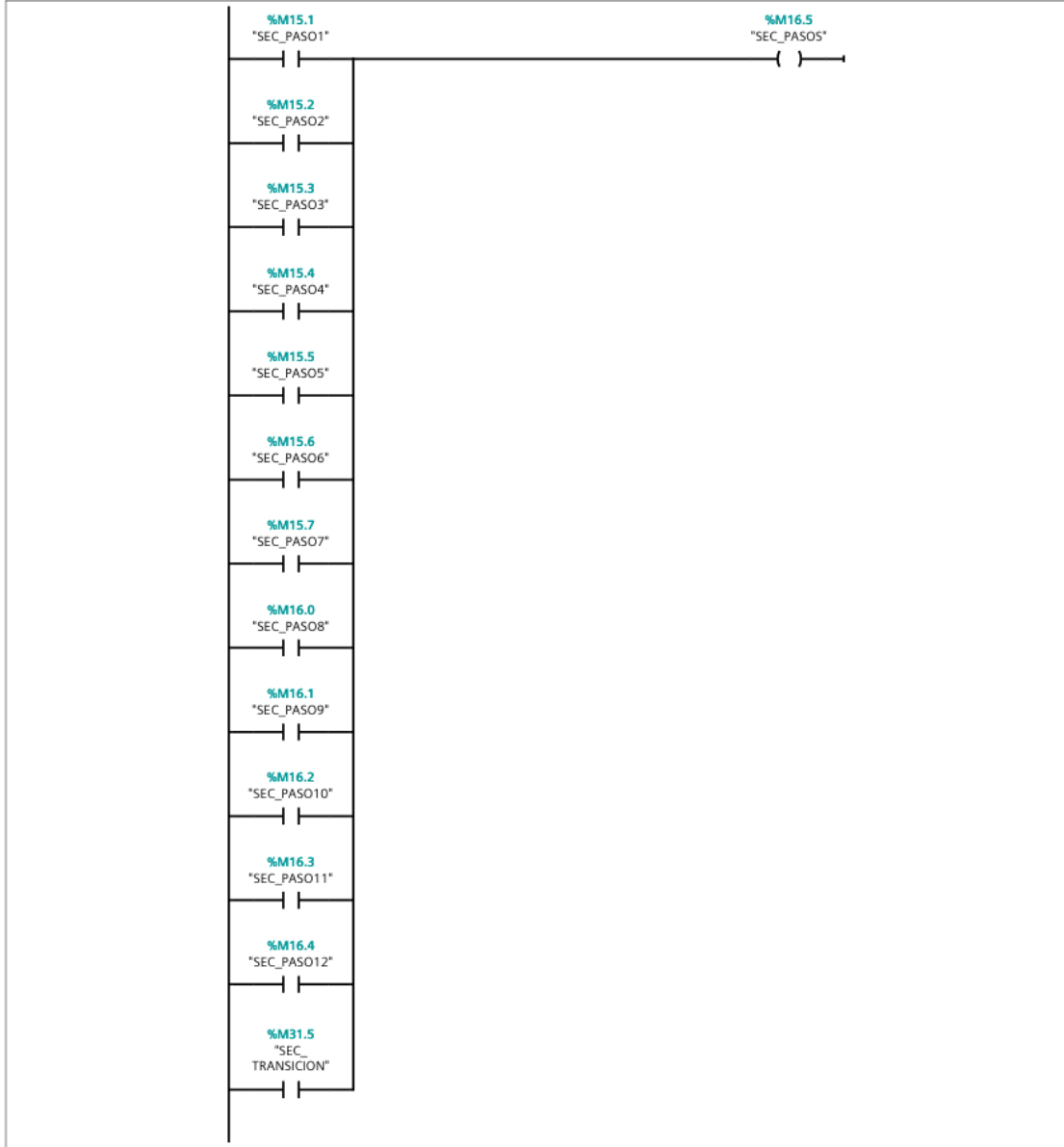
Segmento 12: PASO 11 ACTIVO (ARRANQUE BANDA 1)



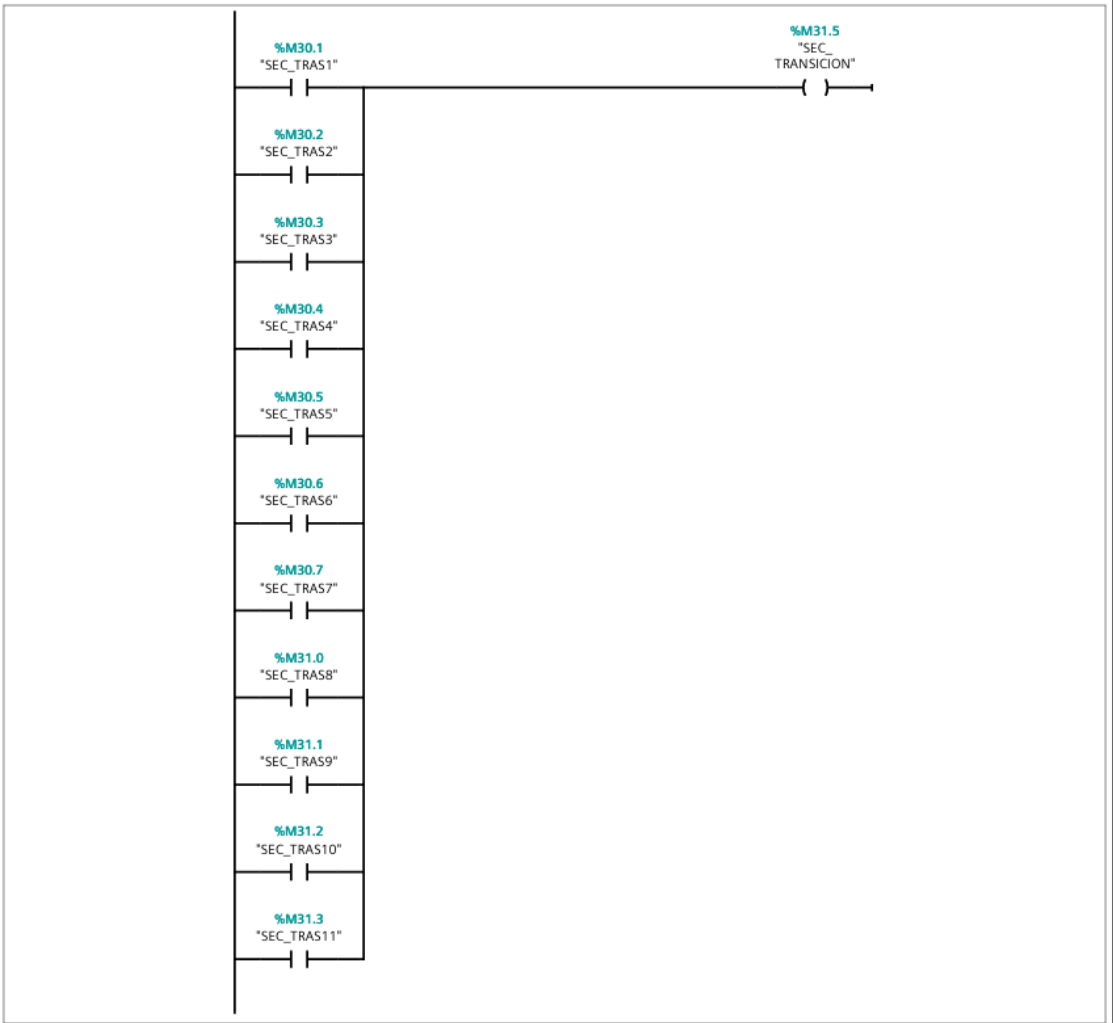
### Segmento 13: PASO 12 ACTIVO (ARRANQUE ALIMENTADOR)



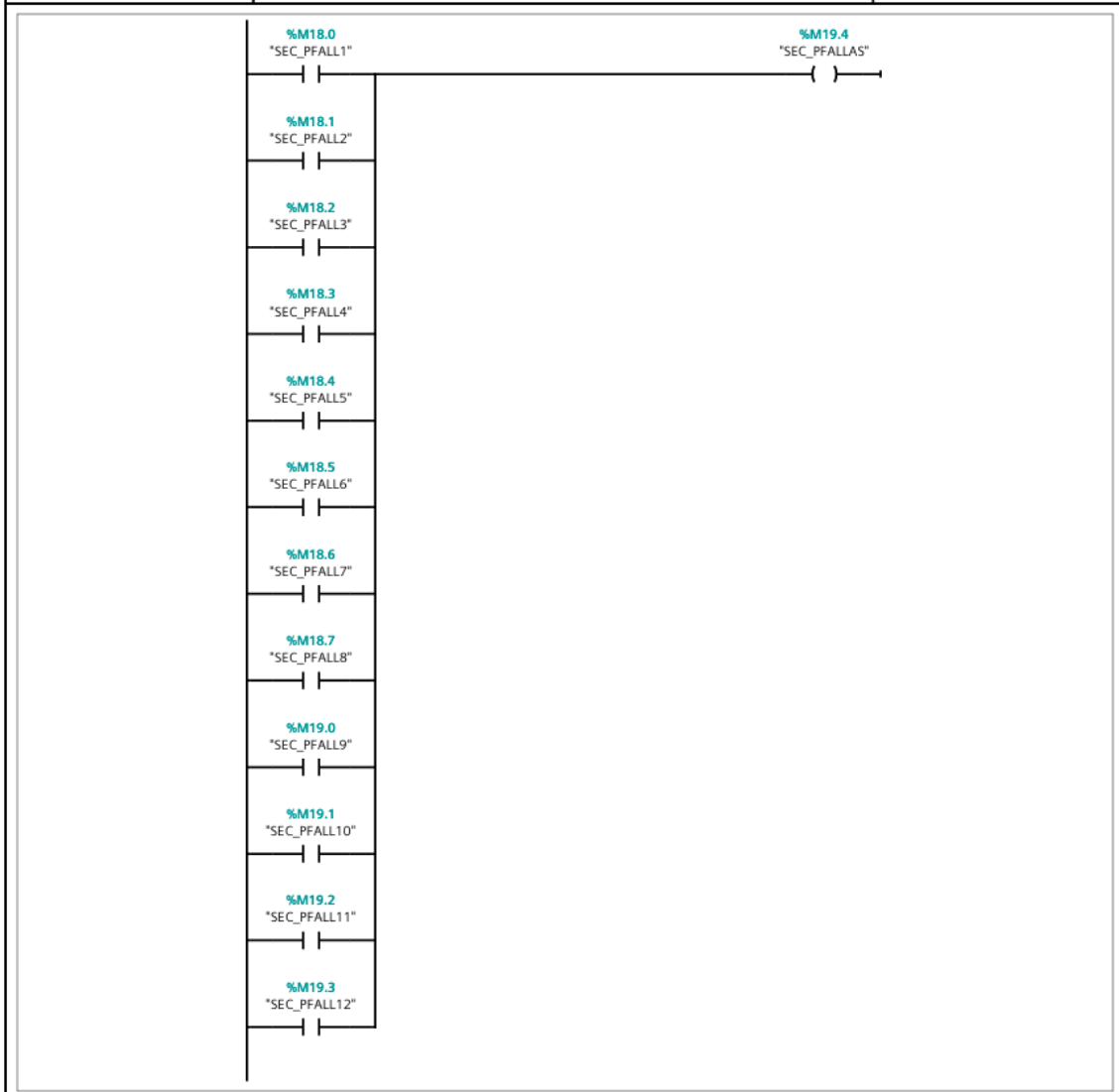
**Segmento 14: ALGUN PASO ACTIVO**



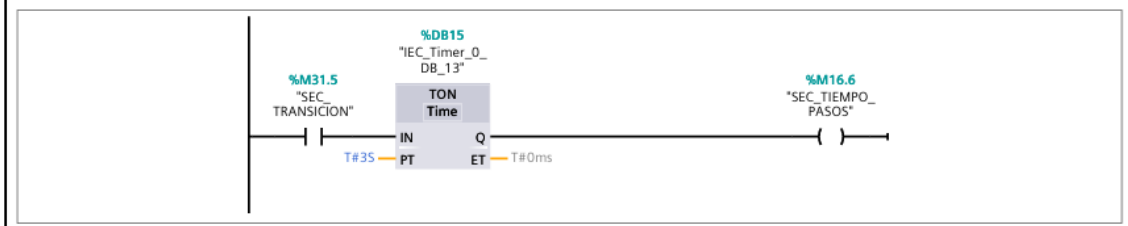
**Segmento 15: ALGUNA TRANSICION ARRANQUE ACTIVA**



**Segmento 16: ALGUN FALLO ACTIVO SECUENCIA DE ARRANQUE**

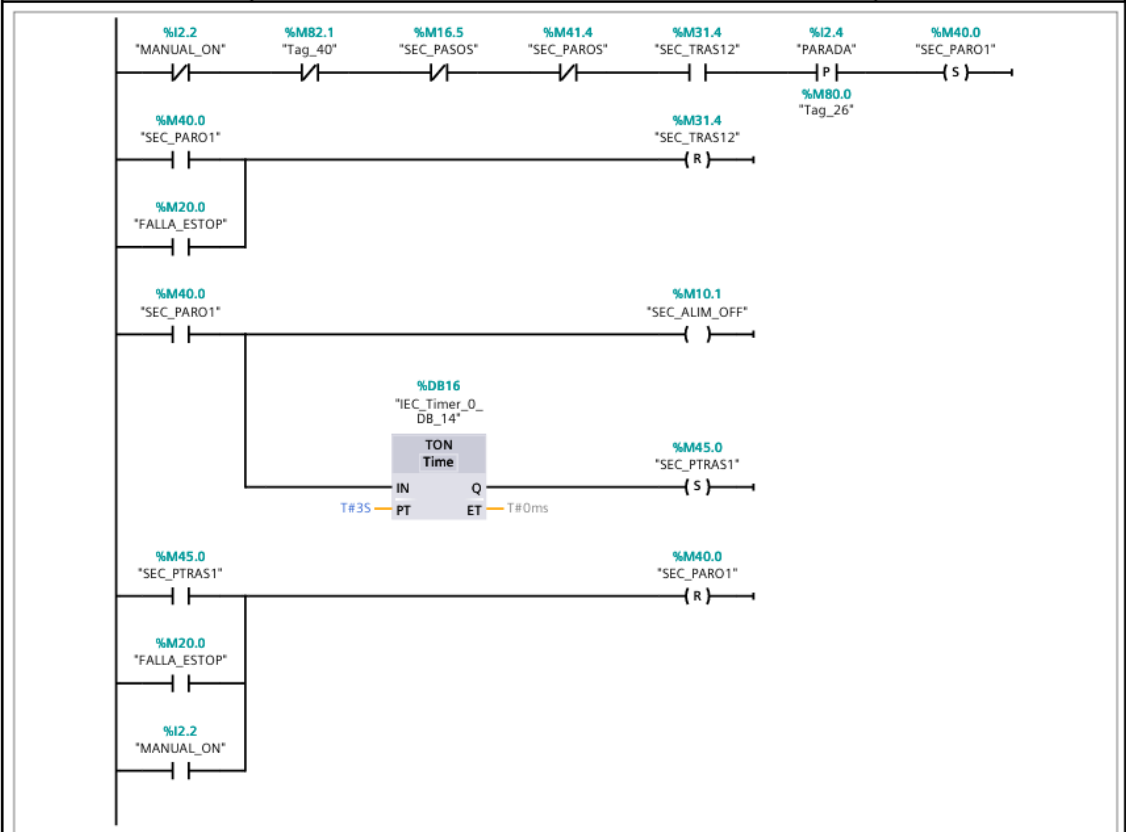


**Segmento 17: TEMPORIZACION ENTRE PASOS**

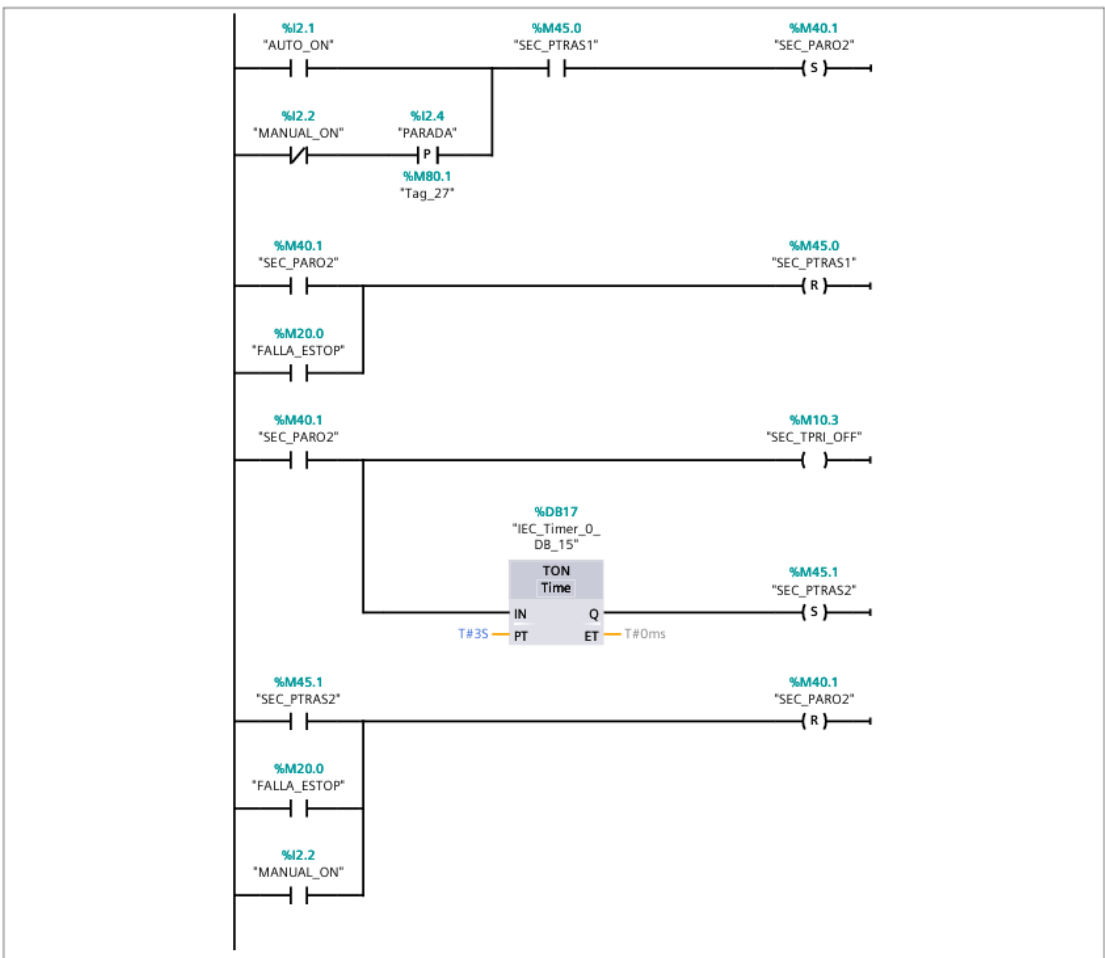


**ANEXO 4**

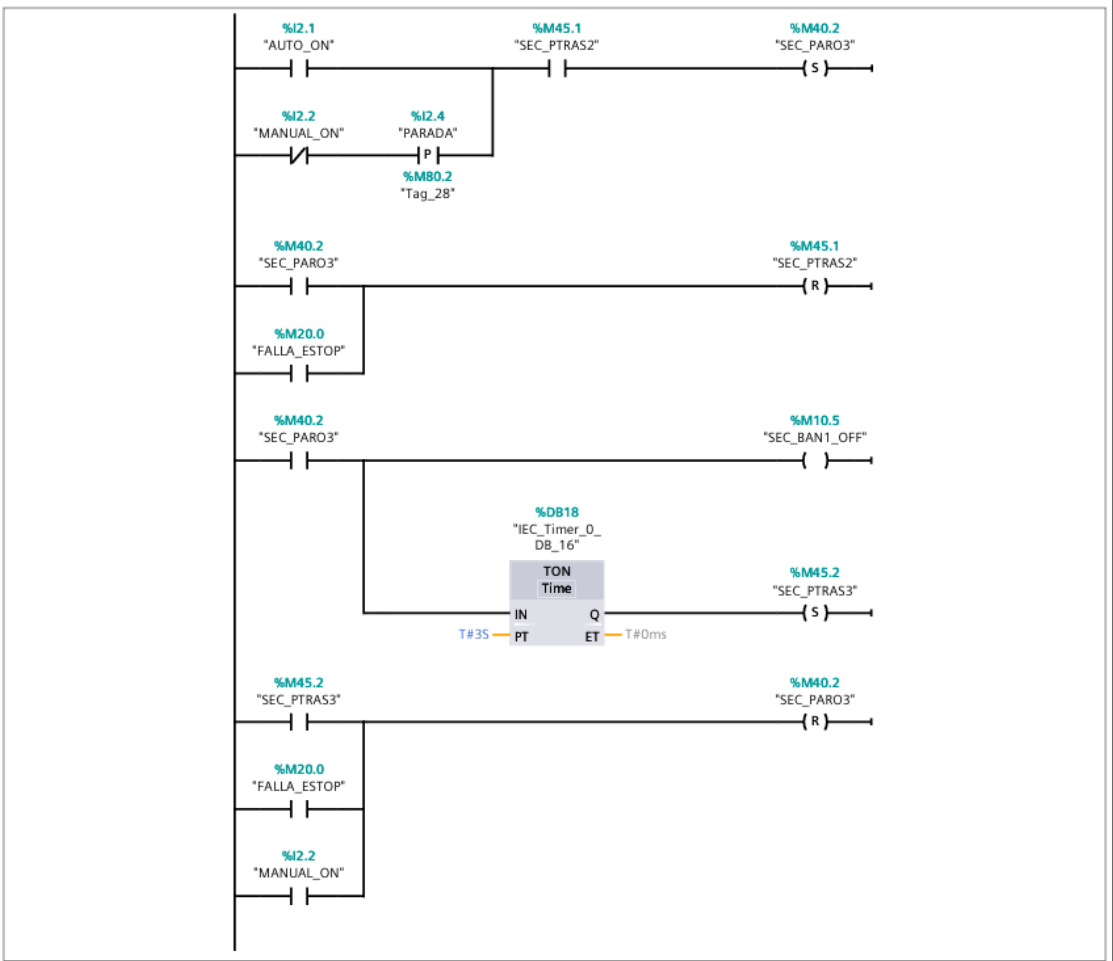
Totally Integrated Automation Portal			
<p><b>PLC_Angelito / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/Rly] / Bloques de programa</b></p> <p><b>SECUENCIA_PARO [FC4]</b></p>			
<b>SECUENCIA_PARO Propiedades</b>			
<b>General</b>			
<b>Nombre</b>	SECUENCIA_PARO	<b>Número</b> 4	<b>Tipo</b> FC
<b>Idioma</b>	KOP	<b>Numeración</b> Automático	
<b>Información</b>			
<b>Título</b>	SECUENCIA DE PARADA	<b>Autor</b> Geovanny_Zambrano	<b>Comentario</b> Programa que contiene la secuencia de parada automática del proceso
<b>Familia</b>		<b>Versión</b> 0.1	<b>ID personalizado</b>
<b>SECUENCIA_PARO</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Tipo de datos</b>	<b>Valor predet.</b>	
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
SECUENCIA_PARO	Void		
<p><b>Segmento 1: PASO 1 DE PARADA (PARADA ALIMENTADOR)</b></p>			



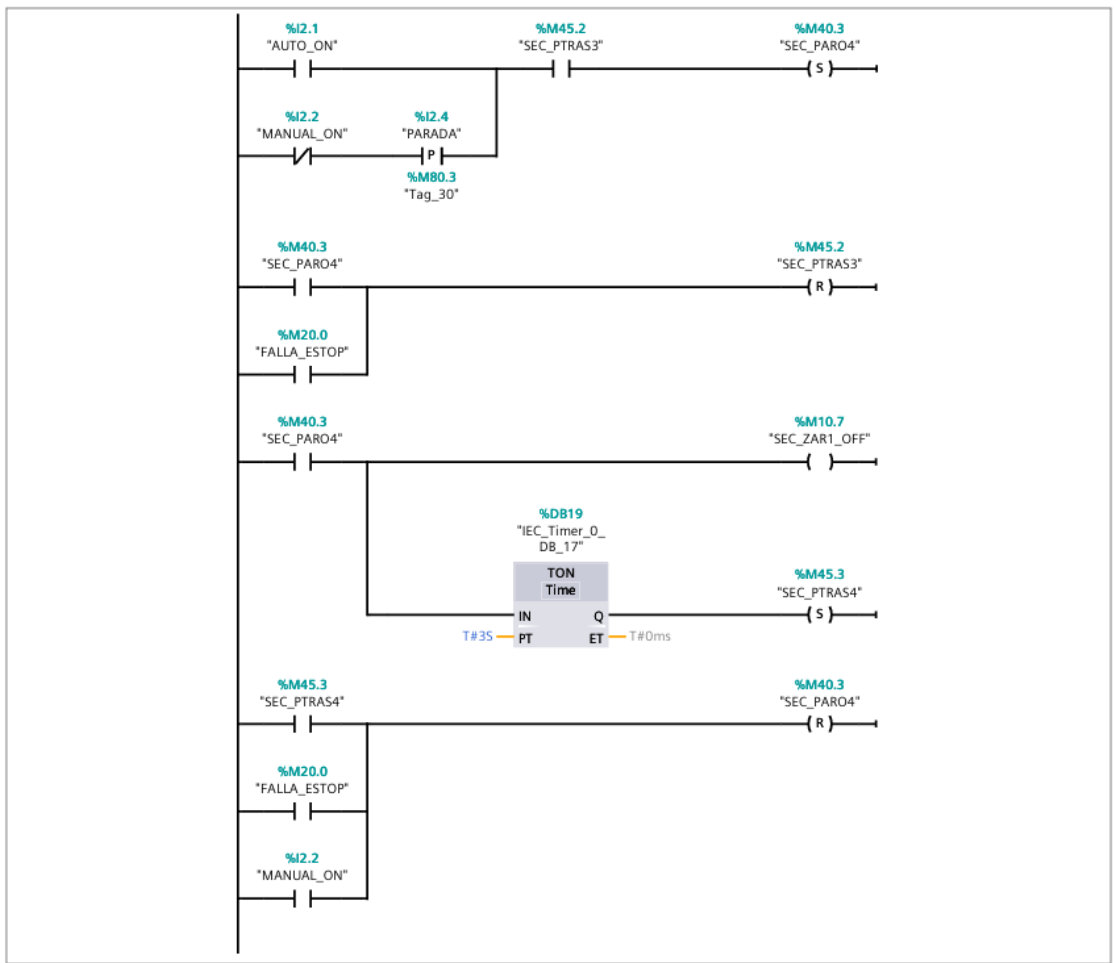
Segmento 2: PASO 2 DE PARADA (PARADA PRIMARIA)



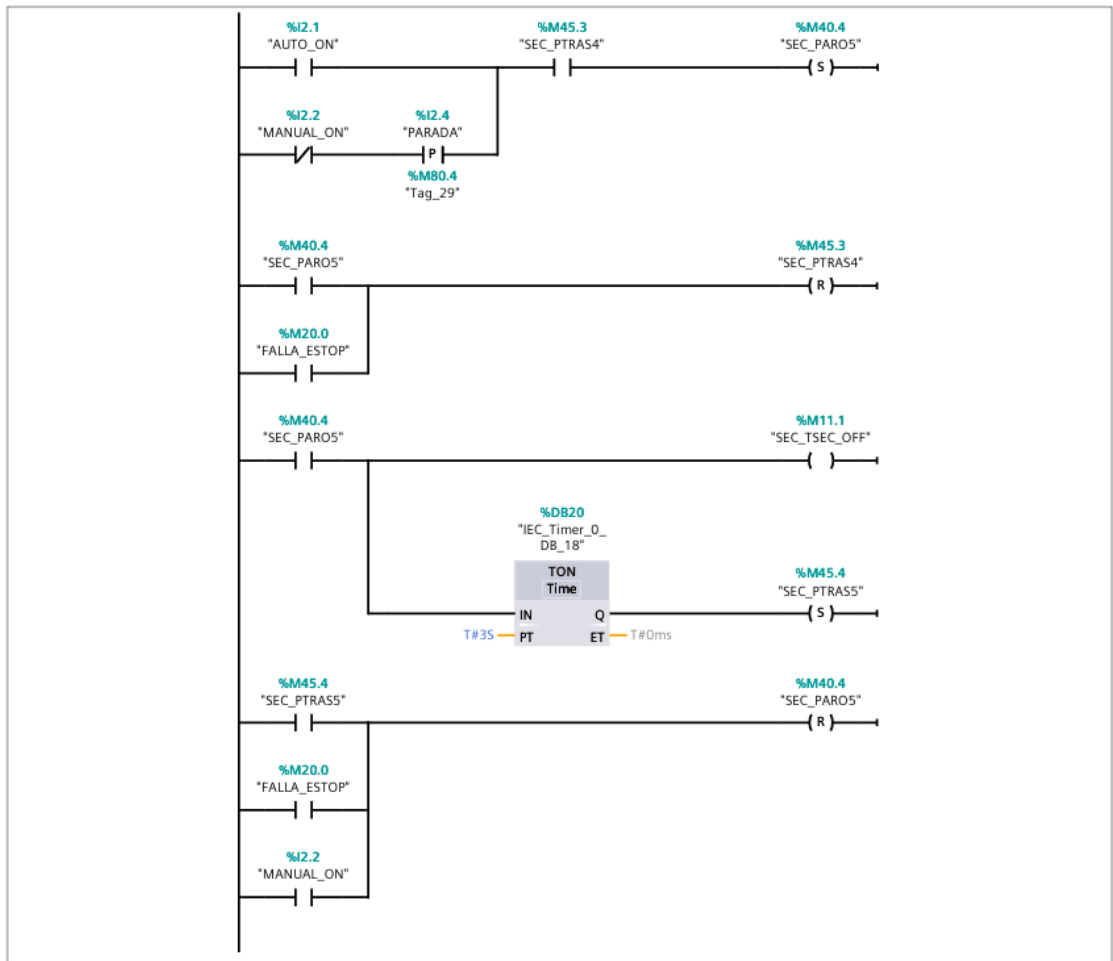
Segmento 3: PASO 3 DE PARADA (PARADA BANDA 1)



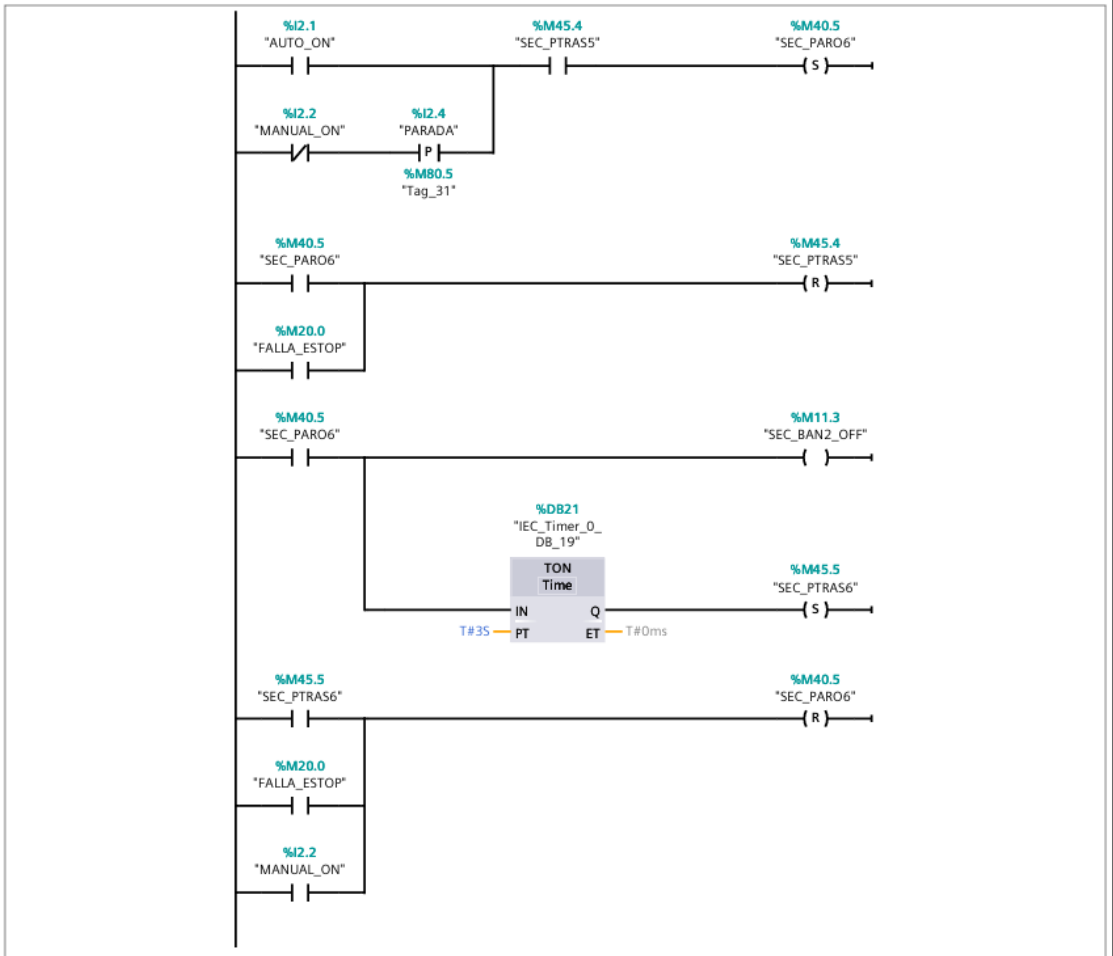
**Segmento 4: PASO 4 DE PARADA (PARADA ZARANDA 1)**



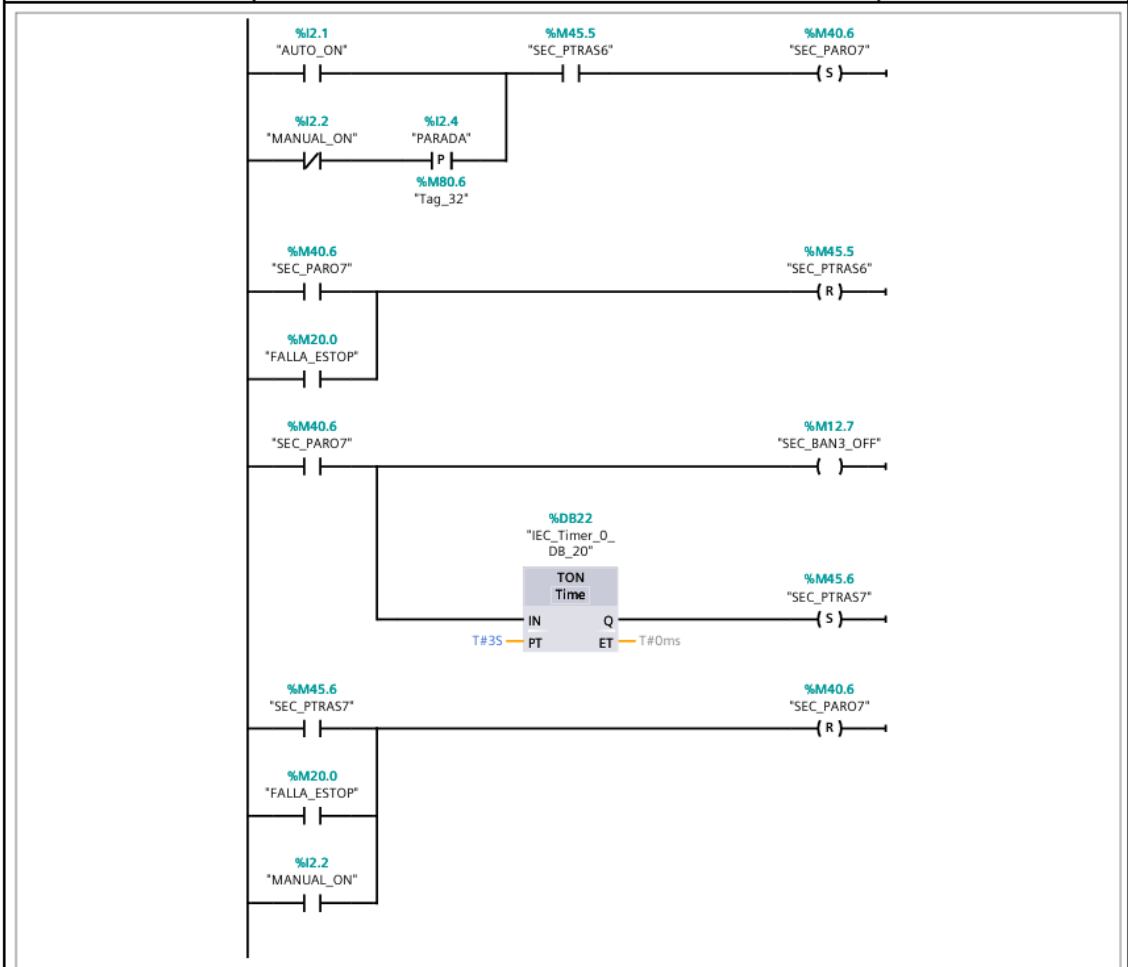
**Segmento 5: PASO 5 DE PARADA (PARADA SECUNDARIA)**



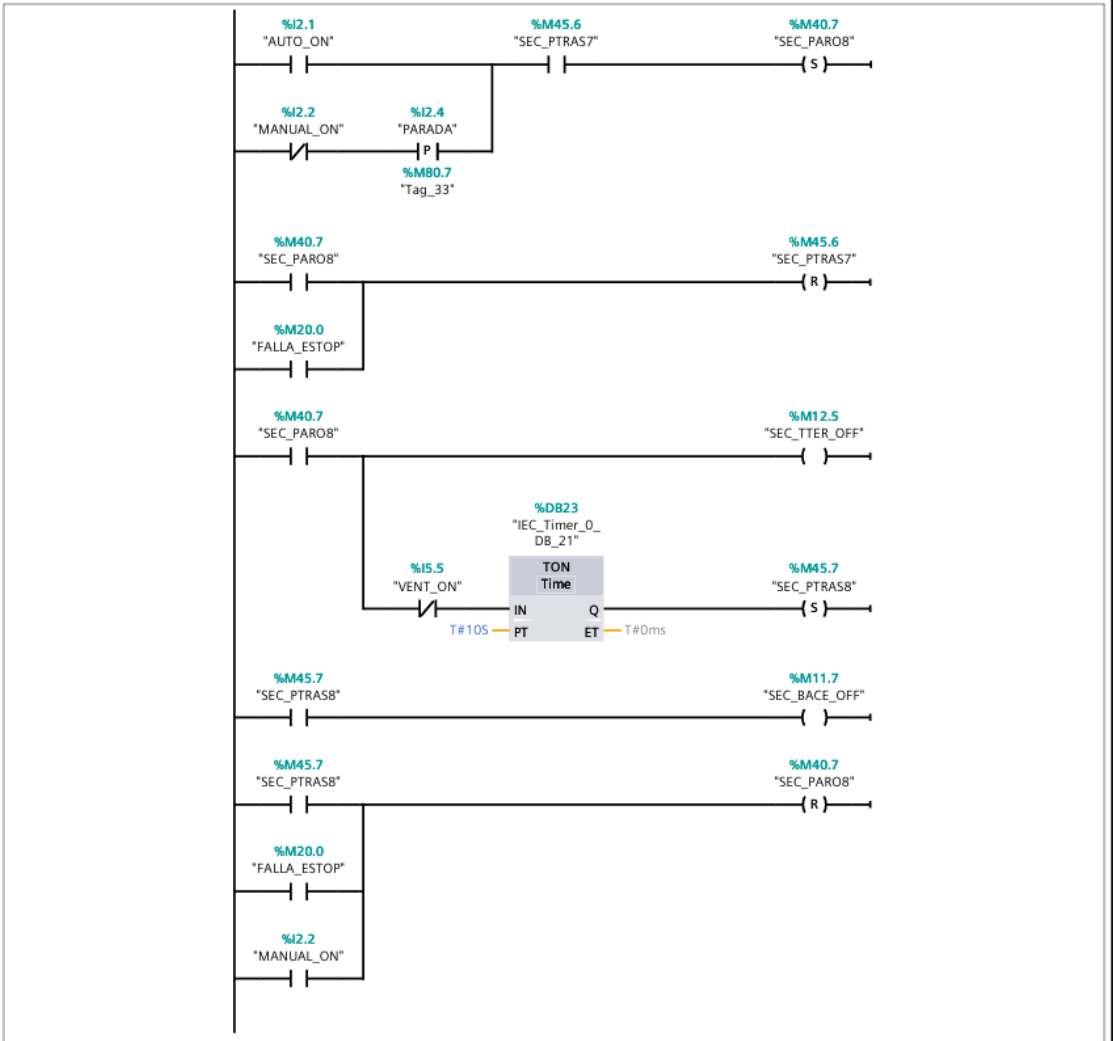
**Segmento 6: PASO 6 DE PARADA (PARADA BANDA 2)**



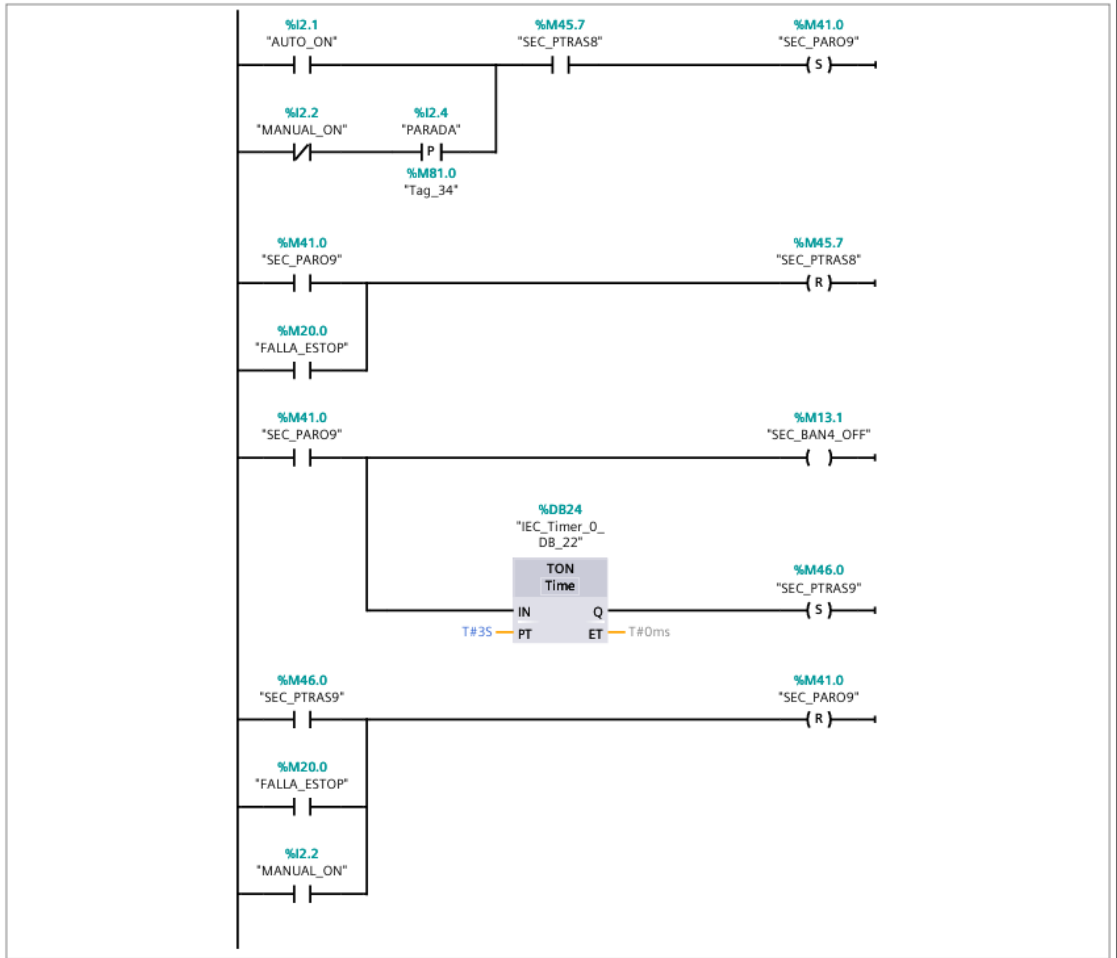
**Segmento 7: PASO 7 DE PARADA (PARADA BANDA 3)**



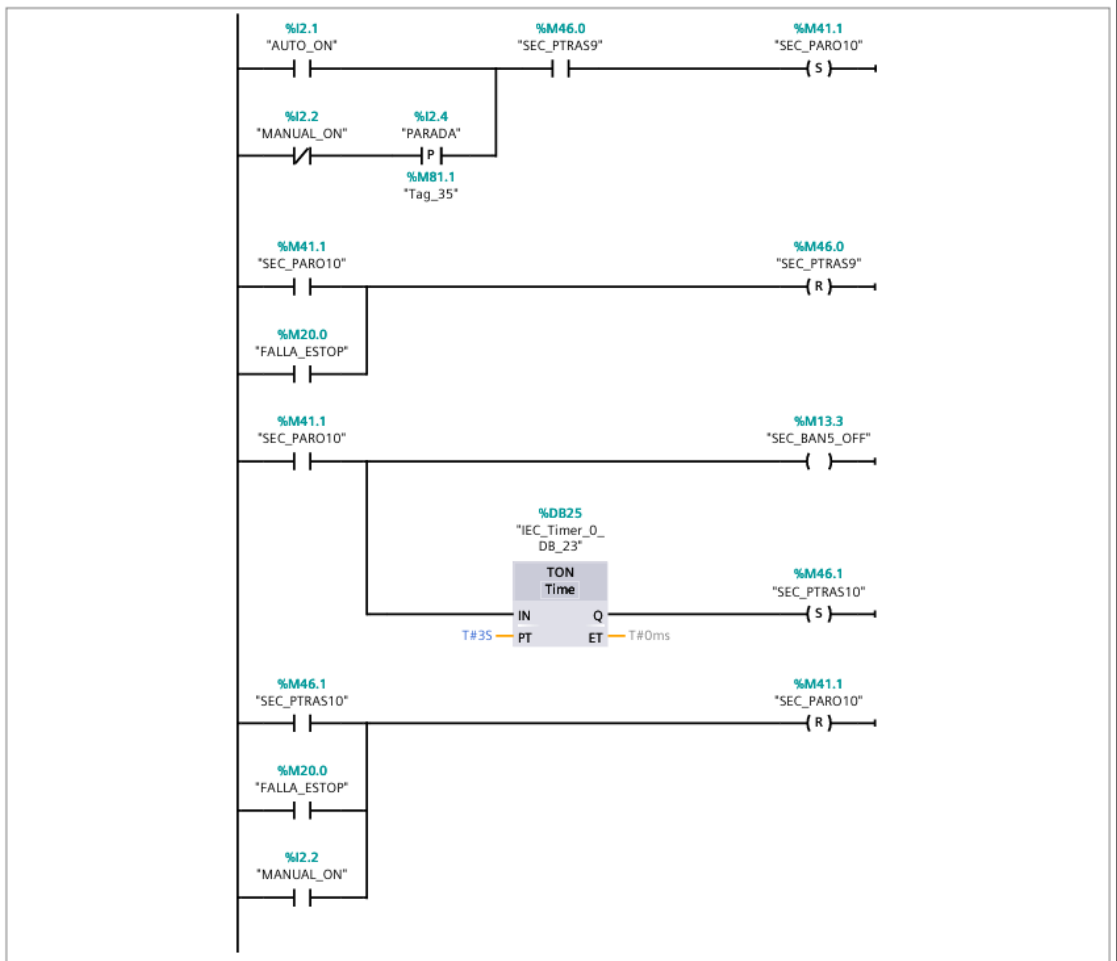
**Segmento 8: PASO 8 DE PARADA (PARADA TERCIARIA)**



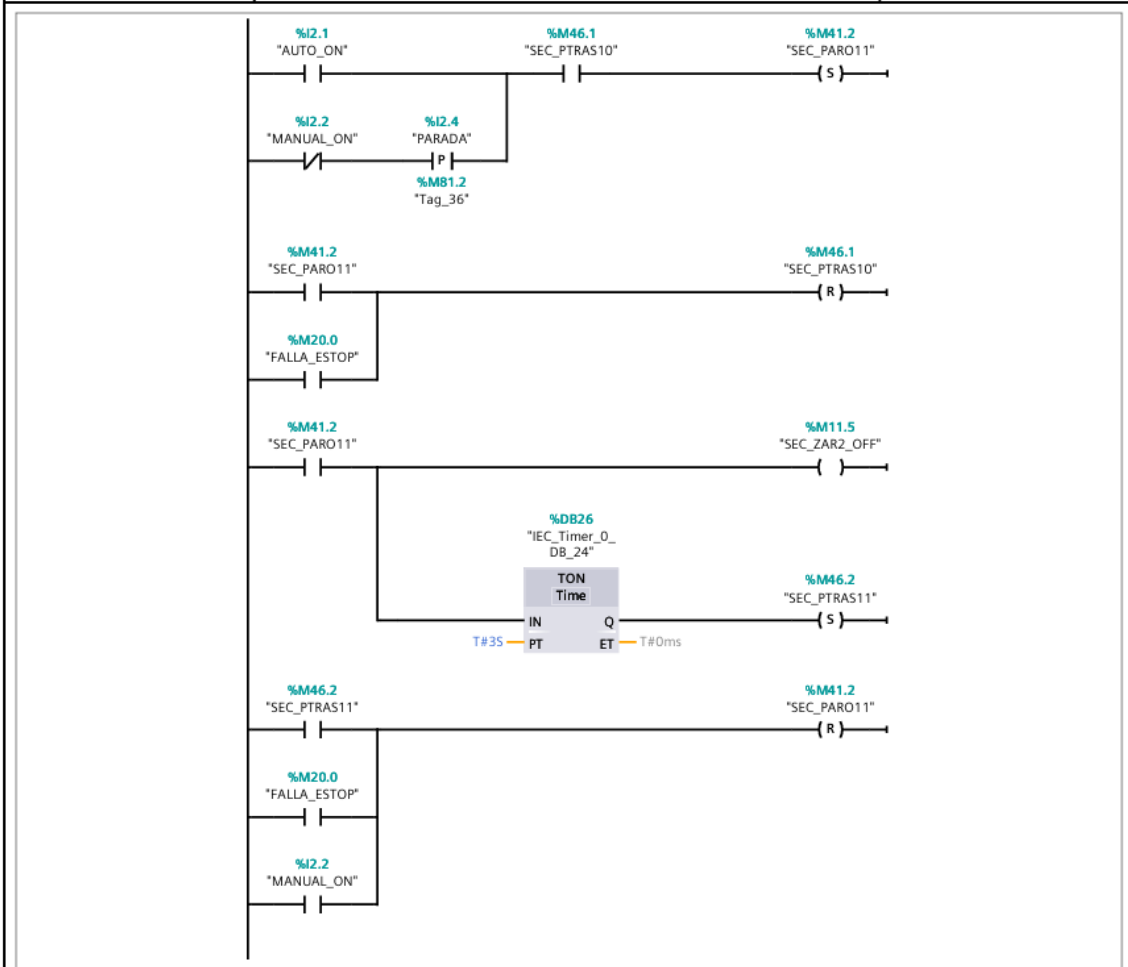
**Segmento 9: PASO 9 DE PARADA (PARADA BANDA 4)**



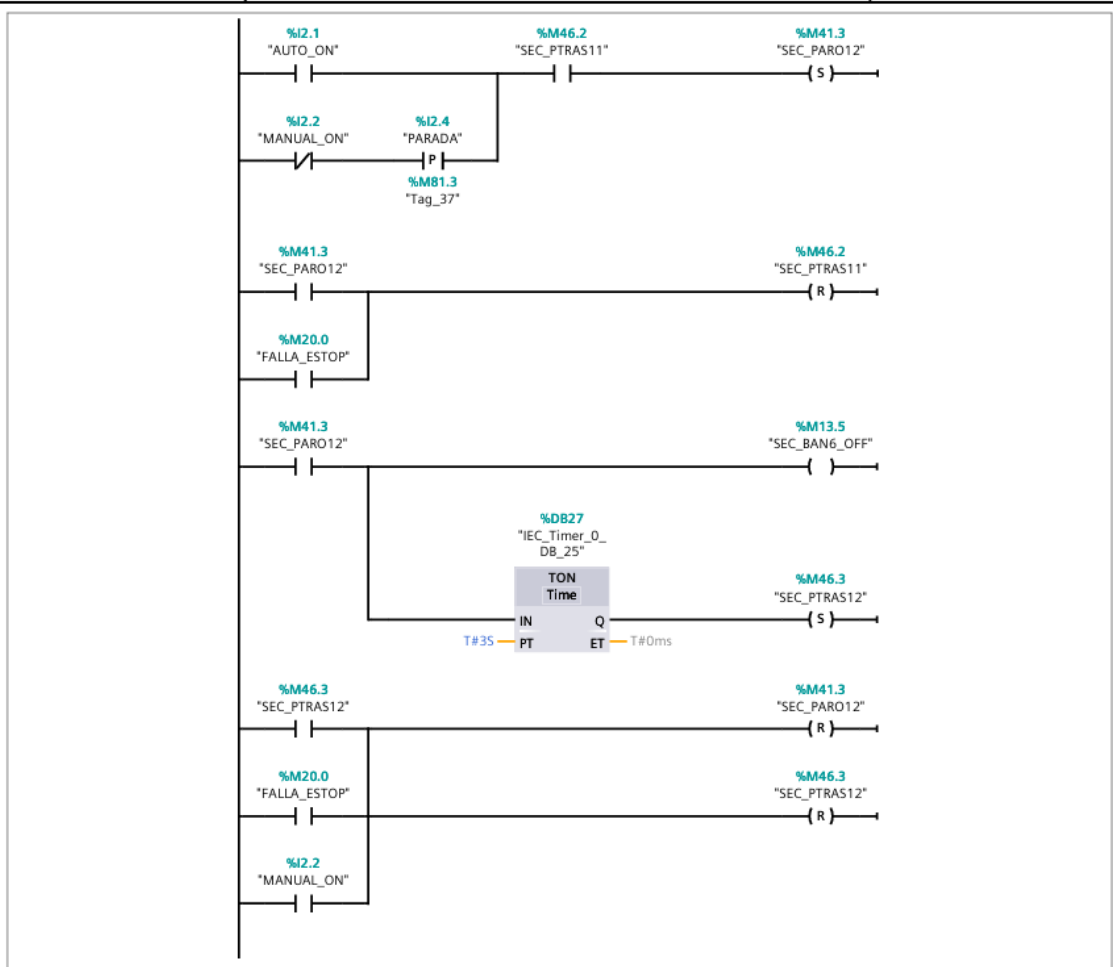
Segmento 10: PASO 10 DE PARADA (PARADA BANDA 5)



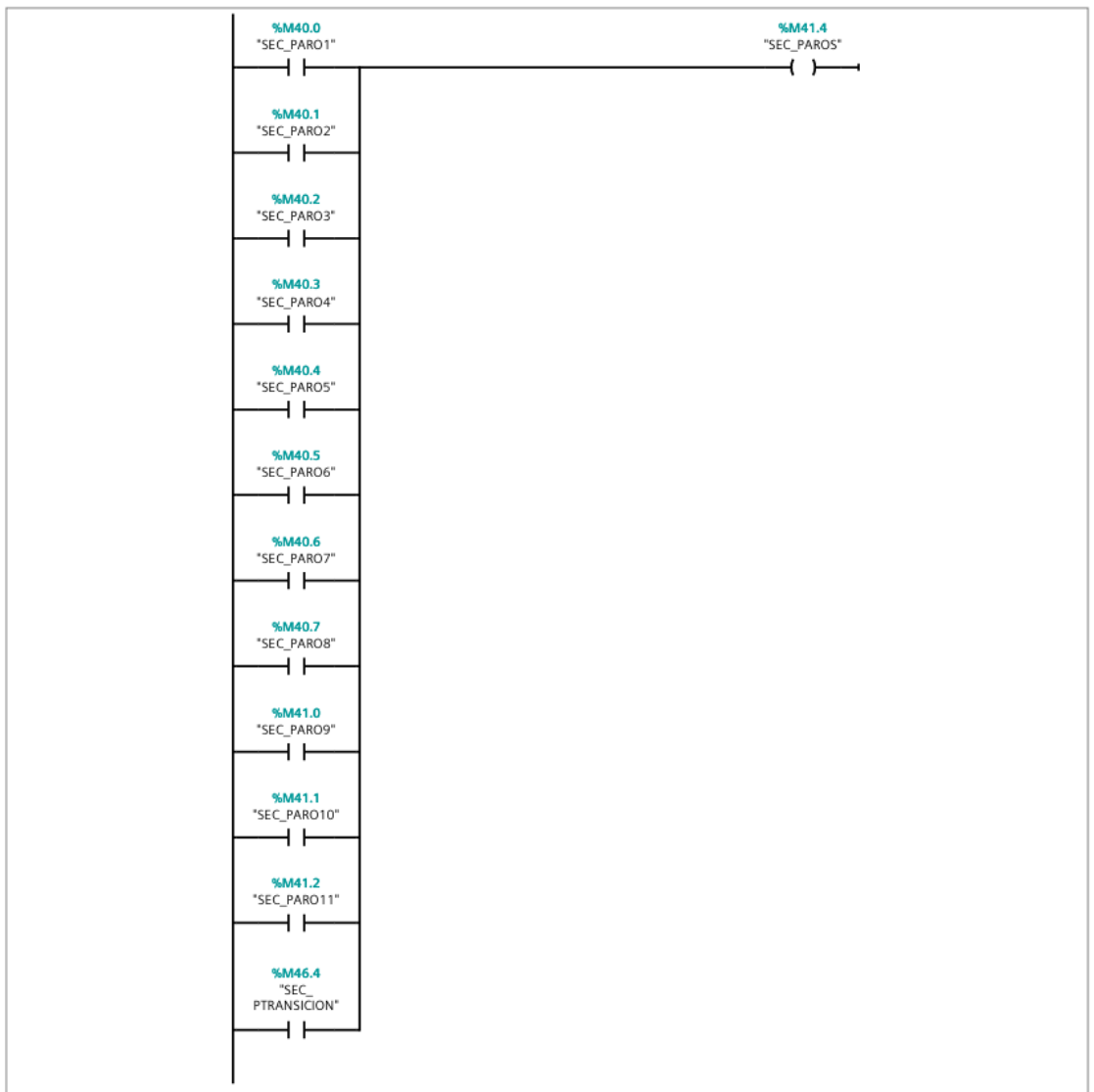
Segmento 11: PASO 11 DE PARADA (PARADA ZARANDA 2)



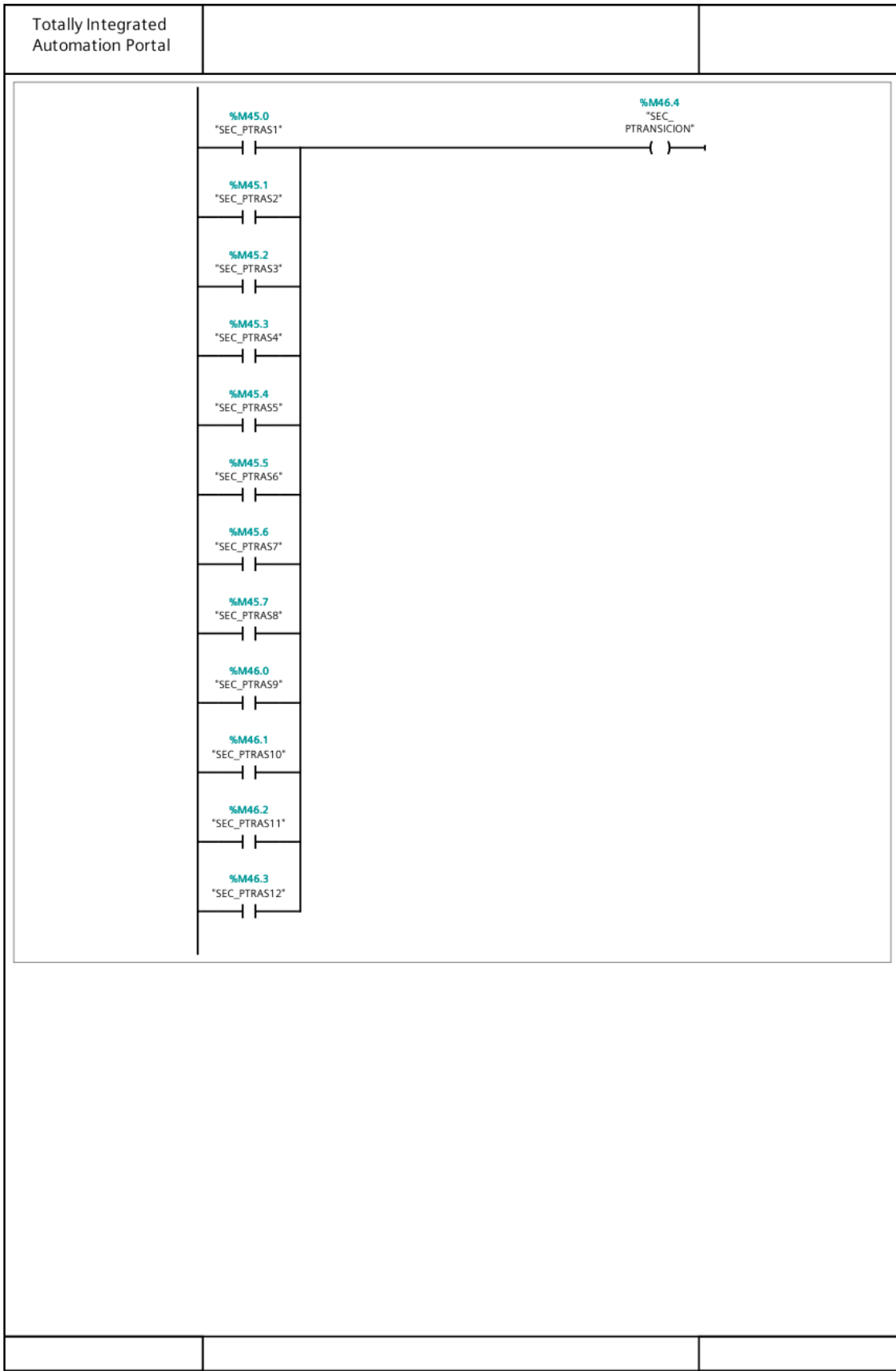
Segmento 12: PASO 12 DE PARADA (PARADA BANDA 6)



**Segmento 13: ALGUN PASO DE PARADA ACTIVO**



**Segmento 14: ALGUNA TRANSICION DE PARADA ACTIVA**



## ANEXO 5

### DATOS DE VALIDADOR ING. ELMAR TORPOCO

Nombres y Apellidos	Años de Experiencia	Titulación Académica	Cargo
Elmar Vicente Torpoco Sanabria	27	Ingeniero Químico con mención en Metalurgia	Jefe de Planta ECOLUXEN S.A.

#### *Criterios de Valuación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

#### *Escala de evaluación. Elaborado por: Ing. Elmar Vicente Torpoco Sanabria*

Criterios	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				Totalmente Acuerdo
	En total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

\_\_\_\_\_  
FIRMA

## ANEXO 6

### DATOS DE VALIDADOR PhD. DIEGO MORALES

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Años de Experiencia</b>	<b>Titulación Académica</b>	<b>Cargo</b>
Diego Xavier Morales Jadán	11	PhD. Ingeniería Eléctrica	Docente Investigador Universidad Católica de Cuenca

#### *Criterios de Valuación*

<b>Criterios</b>	<b>Descripción</b>
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

#### *Escala de evaluación. Elaborado por: PhD. Diego Xavier Morales Jadán*

<b>Criterios</b>	<b>EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD</b>				<b>Totalmente Acuerdo</b>
	<b>En total Desacuerdo</b>	<b>En Desacuerdo</b>	<b>Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo</b>	<b>De Acuerdo</b>	
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

\_\_\_\_\_  
FIRMA

## ANEXO 7

### DATOS DE VALIDADOR PhD. SERGIO ZAMBRANO

Nombres y Apellidos	Años de Experiencia	Titulación Académica	Cargo
Sergio Patricio Zambrano Asanza	24	PhD. Ingeniería Eléctrica	Director de Planificación (E) Empresa eléctrica CENTROSUR

#### *Criterios de Valuación*

Criterios	Descripción
Impacto	Representa el alcance que tendrá el modelo de gestión y su representatividad en la generación de valor público.
Aplicabilidad	La capacidad de implementación del modelo considerando que los contenidos de la propuesta sean aplicables
Conceptualización	Los componentes de la propuesta tienen como base conceptos y teorías propias de la gestión por resultados de manera sistémica y articulada.
Actualidad	Los contenidos de la propuesta consideran los procedimientos actuales y los cambios científicos y tecnológicos que se producen en la nueva gestión pública.
Calidad Técnica	Miden los atributos cualitativos del contenido de la propuesta.
Factibilidad	Nivel de utilización del modelo propuesto por parte de la Entidad.
Pertinencia	Los contenidos de la propuesta son conducentes, concernientes y convenientes para solucionar el problema planteado.

#### *Escala de evaluación. Elaborado por: PhD. Sergio Patricio Zambrano Asanza*

Criterios	EVALUACIÓN SEGÚN IMPORTANCIA Y REPRESENTATIVIDAD				Totalmente Acuerdo
	En total Desacuerdo	En Desacuerdo	Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo	De Acuerdo	
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

\_\_\_\_\_  
FIRMA