



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CALCINACIÓN DE CARBONATO
DE CALCIO MEDIANTE PLC Y HMI**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: ANDRADE CAJAS JOHNN MANUEL

TUTOR: ING. GENARO ELICEO DIAZ SOLÍS, MSIG.

Guayaquil – Ecuador

2025

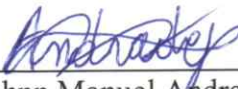
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Johnn Manuel Andrade Cajas con documento de identificación No. 0956120760, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 02 de junio del año 2025.

Atentamente,



Johnn Manuel Andrade Cajas

0956120760

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Johnn Manuel Andrade Cajas con documento de identificación No. 0956120760, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño y Simulación del proceso de calcinación de carbonato de calcio mediante PLC y HMI”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 02 de junio del año 2025.

Atentamente,



Johnn Manuel Andrade Cajas

0956120760

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Genaro Eliceo Díaz Solís MSIG con documento de identificación N° 0912186467, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CALCINACIÓN DE CARBONATO DE CALCIO MEDIANTE PLC Y HMI", realizado por Johnn Manuel Andrade Cajas con documento de identificación No. 0956120760, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 31 de junio del año 2025.

Atentamente,



Ing. Genaro Eliceo Díaz Solís, MISG

0912186467

DEDICATORIA

A Dios por ayudarme día a día guiándome para alcanzar esta etapa de mi carrera.

A mi familia, fundamentales en mi vida, quienes me han brindado su apoyo incondicional enseñándome con su ejemplo la importancia del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia.

A mis seres queridos que me apoyaron para seguir adelante motivándome con su comprensión y aliento constante en cada etapa de este camino.

A mis docentes de carrera que me brindaron sus conocimientos motivando a trabajar con devoción para culminar esta etapa universitaria.

Johnn Manuel Andrade Cajas.

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a Dios por guiar mi camino y fortalecerme en los momentos de duda, su guía fue fundamental para alcanzar esta meta.

A mi familia mi mayor soporte, gracias a por su amor incondicional, por creer en mí y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado del compromiso y la perseverancia.

A mis seres queridos quienes con su cercanía, ánimos y confianza constante me impulsaron a seguir adelante aun en los días más difíciles.

A mis docentes por compartir sus conocimientos con entrega y vocación, gracias por motivarme a ir más allá de mi crecimiento académico y personal.

Johnn Manuel Andrade Cajas.

Resumen

El proyecto técnico presenta el diseño y simulación del proceso industrial calcinación carbonato de calcio mediante PLC S7-1500 y HMI.

Consiste en entender la lógica de programación del proceso de calcinación de carbonato de calcio (Alimentación-Combustión-Descarga). Una vez obtenido la información lógica del proceso, se procedió al análisis y posterior a realizar el esquema de bloques en el TIA PORTAL.

En cuanto a la programación, se utilizó el TIA PORTAL como centro de datos donde guarda la información en la memoria para poder cargar las señales al PLC S7-1500 en función de las variables que se deben tener en cuenta al momento de iniciar el proceso dentro de la pantalla HMI

Palabras Clave: PLC S7-1500, HMI, TIA PORTAL, Programación

Abstract

The technical project presents the design and simulation of the industrial process of calcium carbonate calcination using a PLC S7-1500 and HMI.

It consists of understanding the programming logic of the calcium carbonate calcination process (Feeding-Combustion-Discharge). Once the logical information of the process was obtained, the analysis was carried out, followed by the creation of the block diagram in TIA PORTAL.

Regarding the programming, TIA PORTAL was used as the data center where information is stored in memory in order to load signals into the PLC S7-1500, based on the variables that must be considered when starting the process on the HMI screen.

Keywords: PLC S7-1500, HMI, TIA PORTAL, Programming

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Importancia y alcance.....	2
1.3. Delimitación.....	3
1.3.1. Académico	4
1.3.2. Temporal.....	4
1.3.3. Espacial.....	4
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
3. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	6
3.1. Piedra caliza	6
3.2. PLC.....	6
3.2.1. Entradas y Salidas	7
3.3. HMI	7
3.4. Proceso de alimentación	9
3.5. Proceso de Combustión	11
3.6. Proceso de Descarga.....	14

4.	MARCO METODOLÓGICO	17
4.1.	Propuesta de Diseño	17
5.	RESULTADOS	42
5.1.	Resultados	42
6.	CRONOGRAMA.....	47
7.	PRESUPUESTO.....	48
8.	CONCLUSIONES	49
9.	RECOMENDACIONES	50
10.	REFERENCIAS	51
11.	ANEXO.....	54
11.1.	Programación de TIA PORTAL.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Piedra Caliza	6
Figura 2 PLC.....	7
Figura 3 HMI	8
Figura 4 Banda Transportadora	9
Figura 5 Zaranda- Criba Vibratoria.....	10
Figura 6 Malacate.....	11
Figura 7 Horno Vertical de cal	12
Figura 8 Ciclón Industrial.....	13
Figura 9 Motor Vibrador Separador.....	14
Figura 10 Máquina pesada Gusano	15
Figura 11 Silo	16
Figura 12 Diagrama de bloques proceso general.....	17
Figura 13 Diagrama de instrumentación proceso general	18
Figura 14 Diagrama de bloques etapa de alimentación.....	19
Figura 15 Diagrama de instrumentación proceso general	19
Figura 16 Diagrama de bloques etapa combustión	20
Figura 17 Diagrama de instrumentación etapa de combustión.....	21
Figura 18 Diagrama de bloques etapa de descarga.....	21
Figura 19 Diagrama de instrumentos etapa de descarga	22
Figura 20 Inicio del programa TIA PORTAL	23
Figura 21 NETWORK de TIA PORTAL.....	24
Figura 22 Segmento 1 etapa alimentación.....	24
Figura 23 Segmento 2 etapa alimentación.....	25

Figura 24 Segmento 3 etapa alimentación.....	26
Figura 25 Segmento 4 etapa alimentación.....	26
Figura 26 Segmento 5 etapa alimentación.....	27
Figura 27 Segmento 6 etapa alimentación.....	28
Figura 28 Segmento 7 etapa alimentación.....	28
Figura 29 Segmento 8 etapa alimentación.....	29
Figura 30 Segmento 9 etapa alimentación.....	30
Figura 31 Segmento 1 etapa combustión	30
Figura 32 Segmento 2 etapa combustión	31
Figura 33 Segmento 3 etapa combustión	31
Figura 34 Segmento 4 etapa combustión	32
Figura 35 Segmento 5 etapa combustión	32
Figura 36 Segmento 6 etapa combustión	33
Figura 37 Segmento 7 etapa combustión	33
Figura 38 Segmento 8 etapa combustión	34
Figura 39 Segmento 9 etapa combustión	35
Figura 40 Segmento 10 etapa combustión.....	36
Figura 41 Segmento 1 etapa descarga.....	36
Figura 42 Segmento 2 etapa descarga.....	37
Figura 43 Segmento 3 etapa descarga.....	37
Figura 44 Segmento 4 etapa descarga.....	38
Figura 45 Segmento 5 etapa descarga.....	38
Figura 46 Segmento 1 materia prima	39

Figura 47 Segmento 2 materia prima	39
Figura 48 Segmento 3 materia prima	40
Figura 49 Segmento 4 materia prima	40
Figura 50 Segmento 5 materia prima	41
Figura 51 Funcionamiento de programación en módulo de conexión	42
Figura 52 Pantalla inicial HMI	43
Figura 53 Pantalla del proceso general	43
Figura 54 Pantalla etapa de alimentación	44
Figura 55 Pantalla etapa de combustión	45
Figura 56 Pantalla etapa de combustión	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades.....	47
Tabla 2. Presupuesto del proyecto de titulación	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura A 1 Programación etapa de alimentación 1-2.....	55
Figura A 2 Programación etapa de alimentación 2-2.....	55
Figura A 3 Programación etapa de combustión 1-3.....	55
Figura A 4 Programación etapa de combustión 2-3.....	55
Figura A 5 Programación etapa de combustión 3-3.....	55
Figura A 6 Programación etapa de descarga	55
Figura A 7 Programación materia prima.....	55
Figura A 8 Pantalla de inicio	55
Figura A 9 Pantalla de proceso general.....	55
Figura A 10 Pantalla etapa de alimentación	55
Figura A 11 Pantalla etapa de combustión.....	55
Figura A 12 Pantalla etapa de descarga	55

INTRODUCCIÓN

La comercialización en las grandes industrias ha requerido de procesos sumamente eficientes, automatizados y con altos costos económicos específicamente en sectores donde se prevé convertir o transformar materiales para la fabricación de un bien o producto de alta calidad y estándares dominantes. El carbonato de calcio (CaCO_3) ha sido empleado en estos últimos años para lograr producir óxido de calcio (CaO), así como también dióxido de carbono (CO_2) con el fin de ser usados en diferentes áreas como por ejemplo la industria siderúrgica, fabricación de cerámica, tratamiento de aguas para ajustar el pH, además el CO_2 puede llegar a ser empleado en industria alimenticia o para aplicaciones industriales, otra ventaja es que puede ser usado inclusive para procesos de desulfuración de gases en plantas termoeléctricas con el fin de reducir emisiones que hacen daño al medio ambiente.

El presente proyecto técnico tiene como objetivo principal diseñar y simular el proceso de calcinación de CaCO_3 por medio de un controlador lógico programable (PLC) y además visualizar de manera dinámica en la interfaz hombre máquina (HMI), con la implementación de esta tecnología se logra automatizar un proceso garantizando un control eficaz dado que se puede llegar a controlar diversas variables como puede ser; temperatura, tiempo y velocidad de ejecución, y esto conlleva a tener mejor eficiencia operativa, y por ende, al final obtener un mejor producto con altos índices de calidad.

El proyecto técnico se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), Sede Guayaquil (GYE), específicamente en el campus centenario. El diseño y simulación del proceso de calcinación de CaCO_3 se encuentra ubicado en el Laboratorio de Automatización Industrial. A través de la HMI se logra supervisar de manera dinámica el proceso y esto conlleva a tener una experiencia interactiva con los estudiantes de la carrera de Ingeniería

Electrónica lo que hace que el aprendizaje y la investigación se intensifique y que los estudiantes en manera futura busquen innovar con proyectos que tengan gran alcance y altos índices de calidad.

Este trabajo en modalidad de proyecto técnico busca incentivar con la investigación y contribuir con nuevas tecnologías y dar a conocer que procesos industriales pueden ser ejecutados de manera óptima con una excelente ingeniería por detrás, dado que con esto se logra a optimizar recursos y además evitar poner en riesgo la integridad física de algún operador durante los procesos de calcinación.

1. PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Efectuar un diseño y simulación de un proceso de CaCO_3 es una operación principal en las grandes industrias como son la; química, cementera, siderúrgica y la más usada la cuál es tratamientos de aguas, dicho proceso radia de la descomposición térmica del CaCO_3 y CO_2 [1], ya que es una reacción principal en diferentes aplicaciones industriales. Por tradición se ha venido usando en aplicaciones como hornos rotativos [2] que viene con un control manual y muestra limitaciones con respecto a la eficacia y seguridad [3].

Con avances tecnológicos en el área industrial y electrónico los Controlador Lógico Programables (PLC) juegan un papel principal en estos avances, dado que se han convertido en una herramienta dinámica y eficaz para mejorar la eficiencia de los procesos industriales. Todos estos procesos logran efectuar un monitoreo y control preciso de las diversas variables, garantizando así la robustez del sistema siendo más seguros y predecibles.

Las interfaces hombre máquina (HMI) les dan un plus a los procesos del sistema, dado que facilita la supervisión y ajuste de parámetros en tiempo real por parte de los operadores que son los encargados de dar seguimiento a los procesos.

1.2.Importancia y alcance

Realizar un diseño y un proceso que realice de manera óptima el proceso de calcinación del CaCO_3 mediante un sistema automatizado el cual es controlado por un PLC mediante una supervisión inherente con HMI es esencial y representa un avance exponencial en la automatización de procesos industriales.

Ejecutar procesos de calcinación de CaCO_3 hoy en día se ha vuelto importante debido a la capacidad de generar óxido de carbono (CaO), así como también dióxido de carbono (CO_2), y esto

conlleva a tener dos compuestos ampliamente necesario para múltiples procesos industriales, dado que al pasar por un proceso estos componentes son usados en diversas fábricas e inclusive llegan a purificar el metal [4].

Una gran importancia del proceso es realizar su proceso automático mediante las herramientas como son el PLC y la HMI, ya que con esto se logra monitorear, supervisar y controlar las diversas variables que se llegan a tener en diferentes procesos, y usar estos métodos que sean automáticos también ayuda que los operadores eviten algún peligro por un incidente o accidente [5].

El alcance del proyecto técnico del diseño y simulación del proceso de calcinación del CaCO_3 se lo subdivide en tres partes las cuales son;

Académico; logra evidenciar un estudio y profesionalismo en ejecutar proyectos que profundicen los procesos industriales y al aplicarlo en el Laboratorio de Automatización Industrial ayuda a que los estudiantes y futuros ingenieros se animen a efectuar proyecto con esta misma índole.

Industrial; mediante las diversas simulaciones se recomienda realizar de manera física la implementación de proyectos que realicen este tipo de procesos, ya que optimizará recursos, así como ayuda al medio ambiente disminuyendo la huella de carbono.

Ambientales; monitorear y controlar los índices de CaCO_3 , así como también CO_2 es de gran ayuda al planeta tierra, dado que de una u otra manera disminuye las emisiones de gases [6].

1.3.Delimitación

El proyecto técnico está limitado por tres aspectos esenciales los cuales se los dividió de la siguiente manera; académico, espacial y temporal, dado que el objetivo es establecer las limitantes del desarrollo y ejecución del proyecto.

1.3.1. Académico

El proyecto se centra en aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y aplicar la teoría de los PLC y diseño de HMI, conceptos y teoría que fue recibida en clases de Automatización Industrial, ya que el proyecto permite poner en práctica diversas habilidades como son el diseño, codificación y programación.

1.3.2. Temporal

Realizar el proyecto técnico lleva consigo un arduo trabajo el cual fue realizado durante los seis meses que dura el periodo académico 65 entre octubre del 2024 a marzo del 2025, en este tiempo se efectúa tareas principales como es la investigación, elaboración de diseños, programación de PLC, desarrollo de pantallas HMI y, por último, implementación y validación del proyecto mediante la implementación de este en el Laboratorio de Automatización Industrial de la UPS Sede GYE.

1.3.3. Espacial

La delimitación espacial del proyecto técnico es donde se realizaron las simulaciones y puesta en marcha del proceso de calcinación del CaCO_3 y este espacio físico es el Laboratorio de Automatización Industrial de la UPS Sede GYE, donde se cuenta con el equipamiento necesario para realizar la programación del PLC, desarrollo de interfaz HMI, así como la implementación del proceso.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Diseñar y simular del proceso de calcinación de carbonato de calcio en conjunto con el módulo del laboratorio.

2.2.Objetivos específicos

Desarrollar la programación del proceso carbonato de calcio en el PLC.

Diseñar las pantallas del proceso en el HMI.

Implementar la programación en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. Piedra caliza

Las piedras calizas son conocidas como una roca la cual está compuesta por mineral cal, dado que la metamorfosis geológica produce yacimientos grandes las cuales forman la piedra caliza o cristales incoloros esta afirmación la verifica Gálvez Hugo en su investigación [7]. En la Figura 1 se visualiza la forma y apariencia que tiene la piedra caliza la cual contiene gran porcentaje de carbonato de calcio (CaCO_3), además, Lavandaio E. [8] afirma que este tipo de piedras son abundantes y han sido de gran utilidad en el desarrollo y posterior evolución de la humanidad en los últimos 10.000 años.

Figura 1
Piedra Caliza



Nota. Figura tomada del artículo del autor Lavandaio Eddy [8].

3.2. PLC

El PLC conocido en español como el Controlador Lógico Programable es un dispositivo electrónico que es ampliamente usado en los procesos de automatización industrial, los autores Gómez Gustavo y Ponguillo Víctor [9] indican que los PLC están conformado por señales de

entrada y salida, las cuales procesan un programa pres-establecido con el fin de controlar maquinas o procesos. En la Figura 2 se presenta un modelo de PLC el cual es empleado en muchos procesos de automatización, además, GSL Industrias [10] afirma que el emplear este tipo de dispositivos innova el mercado, dado que optimiza tiempo y recursos para cualquier empresa.

Figura 2
PLC



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía GSL Industrias [10].

3.2.1. Entradas y Salidas

GSL Industria [10] afirma que en todo proceso con maquinarias se deben establecer con sumo cuidado las entradas y salidas de todo el proceso que se desea automatizar, además, establecer un correcto etiquetado para identificar las variables y optimizar el sistema.

3.3.HMI

El dispositivo de Interfaz Hombre Máquina (HMI) es aquel equipo electrónico empleado en los procesos de automatización industrial con el fin de que el operador, técnico o ingeniero a cargo del proceso pueda visualizar el sistema en tiempo real y establecer criterios, monitoreos,

además toma de decisión cuando algo no se alinee al proceso del sistema industrial, Gómez y Ponguillo [9] implementaron estas interfaz hombre máquina con el fin de poder visualizar en tiempo real su proceso industrial, y así poder monitorear los avances del sistema industrial. Las HMI son de suma importancia en todo sistema automatizado, dado que ayuda a identificar de manera rápida algún fallo en los equipos o maquinarias que conforma el sistema industrial, así lo afirma SICMA21 [11] que es una industria ampliamente conocida en el mercado por la comercialización de las pantallas HMI, en la Figura 3 se observa un ejemplo de la interfaz hombre máquina, además, la HMI es un equipo el cual sirve para la supervisión y adquisición de datos, para así poder efectuar mantenimientos a largo plazo, los cuales pueden ser mantenimientos preventivos o correctivos, dependiendo del análisis de los ingenieros con respecto a los datos adquiridos en el proceso industrial.

Figura 3
HMI



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía SICMA21 [11].

3.4. Proceso de alimentación

Los procesos de alimentación están centrados en el traspaso de la materia prima, tal como lo afirma Gálvez Hugo [7], esta materia prima es denominada piedra caliza la cual es procesada y llevada por una banda transportadora con el fin de cumplir con su primero proceso industrial. Las bandas transportadoras son maquinarias robustas y eficientes para procesos de alta potencia, además son confiables y fácil de emplear en los procesos industriales siempre y cuando se haga con estricta precaución, así lo reafirma A&G Environment [12], dado que llevan más de 12 años en el mercado comercializando este tipo de maquinarias pesadas en la Figura 4 se observa una banda procesadora para sistemas que manejen materia prima robusta, tal es el caso como la Piedra Caliza.

Figura 4
Banda Transportadora



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía A&G Environment [12].

Cuando la Piedra Caliza se haya transportado de un lugar hacia el otro, se deben filtrar las piedras de cal acorde al tamaño, Gálvez Hugo [7] afirma que este tamaño sería de 50 a 100 milímetros (mm), que en el caso las piedras sean menores a 50 mm están fuera del proceso, en cambio las mayores a 100 mm se quedan en la maquinaria de filtrado la cual es conocida como Zaranda, tal como se visualiza en la Figura 5.

Figura 5
Zaranda- Criba Vibratoria



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía MAAMSA [13].

Para continuar con el proceso se debe movilizar el material filtrado, para ello Gálvez [7] menciona que es necesario una segunda banda procesadora con el fin de llenar el cajón de materia prima, una vez el cajón se encuentre en su capacidad es elevado mediante una maquinaria pesada conocida como malacate, la cual es robusta y sirve para optimizar el traslado de materia prima de un punto hacia otro, así lo reafirma la compañía FIDESCO [14] que se encarga de comercializar este tipo de maquinaria y en la Figura 6 se visualiza un ejemplo de este tipo de maquinaria.

Figura 6
Malacate



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía FIDESCO [14].

3.5. Proceso de Combustión

Los procesos de combustión son aquellos que optimizan el cambiar el estado de una materia prima a otro, en este caso particular llevar a cabo la combustión mediante hornos la materia prima de la piedra caliza es un gran reto tal como lo afirma Guevara Valeria en conjunto con sus investigadores [15], para este proceso es de suma importancia contar con hornos de alta gama y robustos capaz de realizar la combustión en gran cantidad. Los hornos deben ser maquinarias que estén certificadas y avaladas por entes reguladores como es el caso de los que fabrica la compañía AGICO CEMENT [16], en la Figura 7 se muestra un horno capaz de efectuar el proceso de combustión.

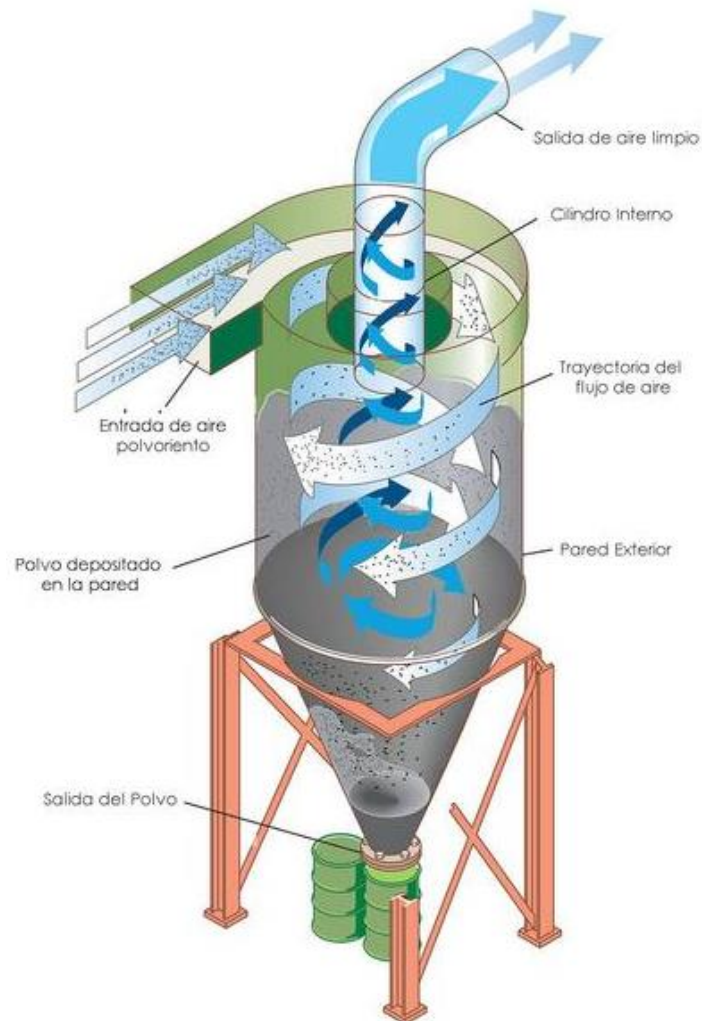
Figura 7
Horno Vertical de cal



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía AGICO CEMENT [16].

El proceso que se sitúa en el Horno Vertical de cal es sumamente importante y debe ser monitoreado, dado que se debe precalentar para la calcinación de la piedra y para ello se deben llegar hasta temperaturas elevadas de hasta mayor a 1000°C con el fin de generar la desgasificación, ya que el carbonato de calcio sufre una transformación química por las elevadas temperaturas y convierte el carbonato de calcio en óxido de calcio (CaO) denominada Cal viva y Dióxido de carbono (CO_2) perdiendo un tercio de su peso original los gases de vapor provenientes del horno circulan hasta el ciclón [17] separadas las partículas sólidas suspendidas tal como se visualiza en la Figura 8.

Figura 8
Ciclón Industrial



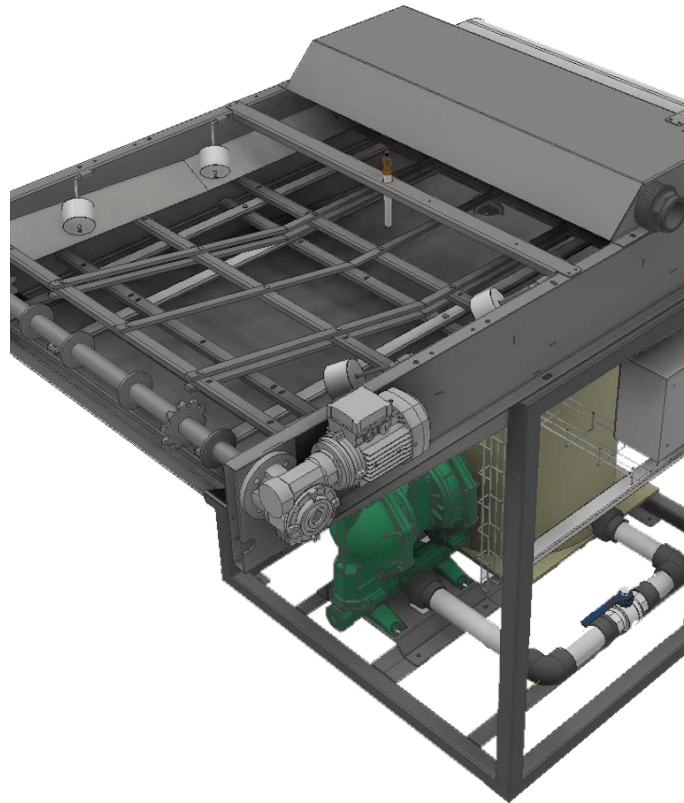
Nota. Figura tomada del artículo de la compañía VENTDEPOT [17].

Cuando el proceso del ciclón industrial finalice es de suma importancia realizar el proceso de extracción tal como lo afirma Guevara [15], para ello se emplea un extractor o ventilador de alta potencia.

3.6. Proceso de Descarga

Cuando el proceso de combustión haya finalizado con éxito, se procede a realizar la descarga de Cal mediante motores vibradores como se visualiza en la Figura 9 [18], la cual es de suma importancia, dado que con esto se cumple una de las funciones principales para descargar la materia prima.

Figura 9
Motor Vibrador Separador



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía CTECH [18].

Una vez se haya separa la materia prima se procede a trasladarla hasta un elevador y posterior a una maquinaria pesada tipo gusano que ayuda a recorrer el trayecto de la cal hacia un lugar donde se depositará, en la Figura 10 se visualiza la maquina pesada del gusano [15].

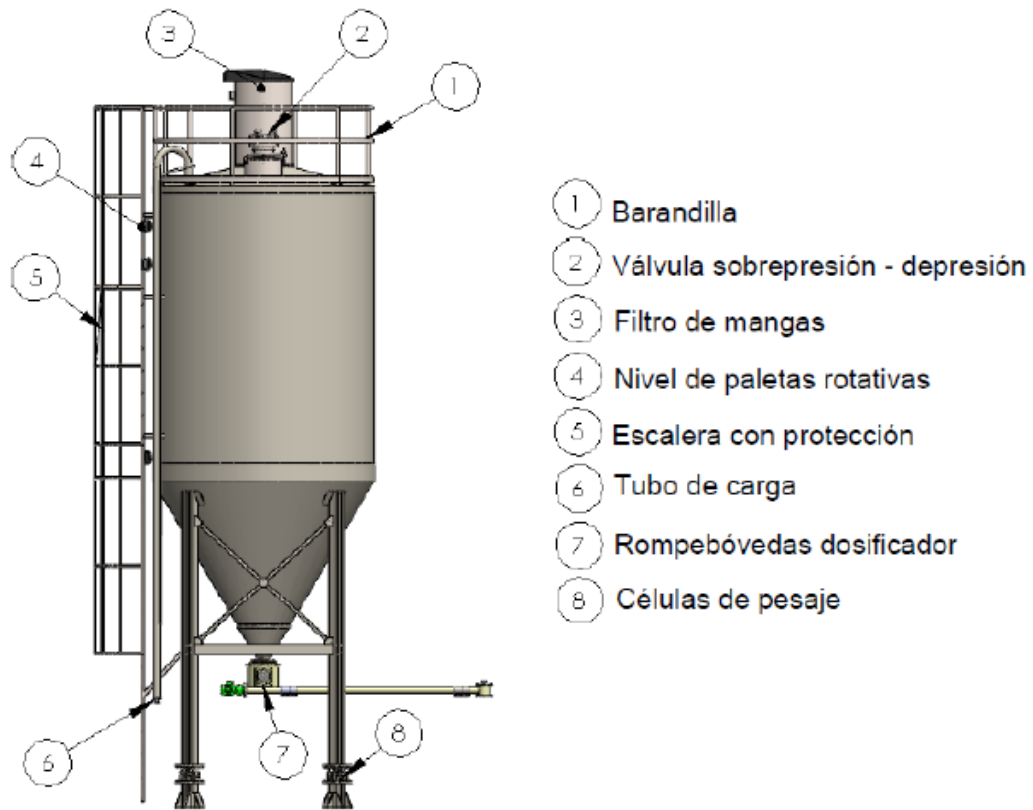
Figura 10
Máquina pesada Gusano



Nota. Figura tomada de la investigación de Guevara y sus colegas [15].

Por medio del gusano, la cal recorre el trayecto hasta ser almacenada en un depósito con un silo donde es guardada e hidratada, tal como se observa en la Figura 11, cabe indicar que, durante la estadía de la cal en el silo, se deberá monitorear el estado de la cal, para evitar daños en la materia prima, para ello monitorear las variables de temperatura es importante y se puede realizar mediante la interfaz HMI.

Figura 11
Silo



Nota. Figura tomada del artículo de la compañía CTECH [18].

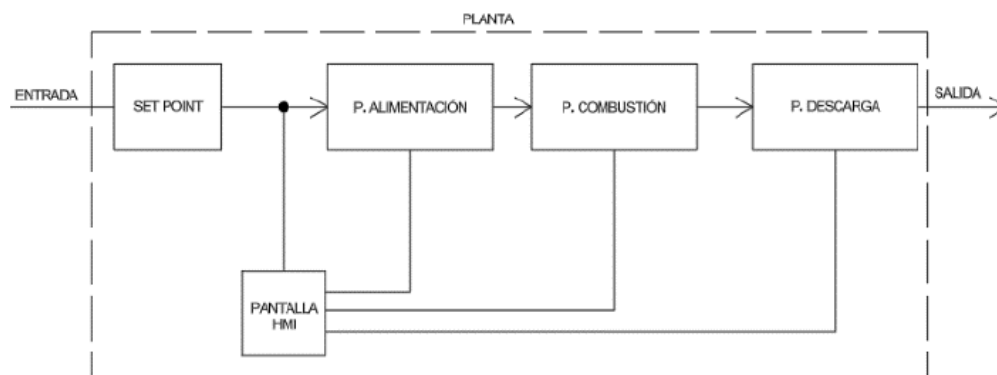
4. MARCO METODOLÓGICO

4.1.Propuesta de Diseño

Para realizar la implementación del diseño del proyecto “Diseño y simulación del proceso de calcinación de carbonato de calcio mediante plc y hmi” se utilizó el programa de AutoCAD para realizar varios diagramas de bloques e instrumentación que contienen las distintas etapas para así unir los diagramas y visualizar un diagrama general del proceso de calcinación de carbonato de calcio, las cuales están conformadas por las siguientes etapas: alimentación, combustión y descarga tal y como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

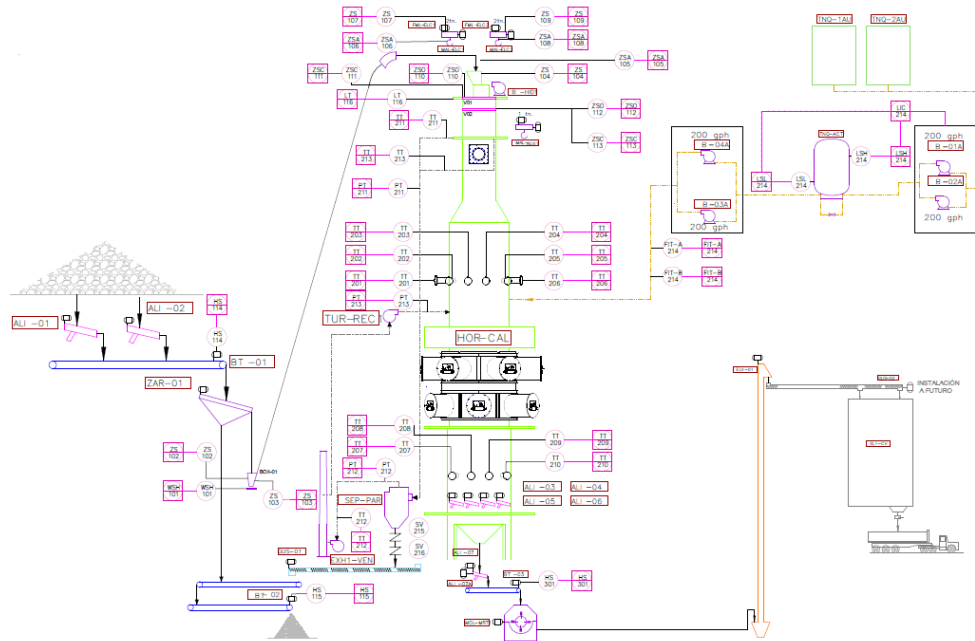
Diagrama de bloques proceso general



Nota. Diagrama general proceso calcinación carbonato de calcio

En la Figura 13 se aprecia el diseño general del proceso de calcinación de carbonato de calcio la cual interactúan los distintos actuadores para la simulación.

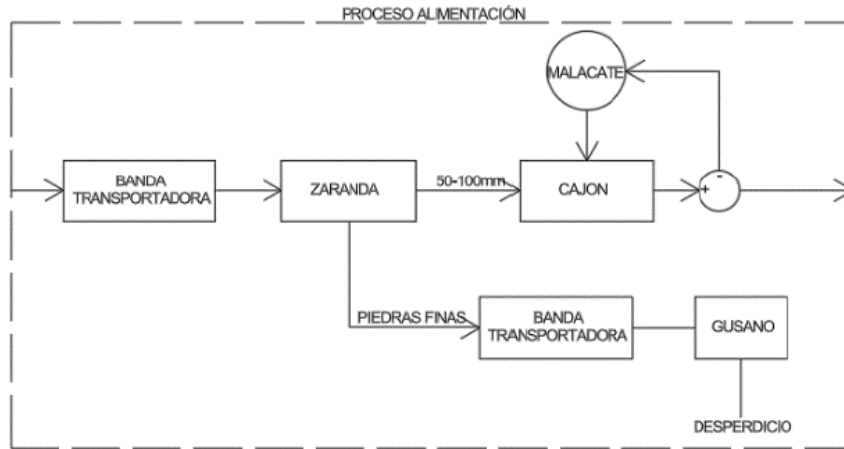
Figura 13
Diagrama de instrumentación proceso general



Nota. Diagrama de instrumentación proceso calcinación carbonato de calcio

En la etapa de alimentación se enfoca en el ingreso de la materia prima tal como se muestra en la Figuras 14, por lo que la piedra caliza es transportada a una zaranda la cual permite filtrar las piedras más finas que salen del proceso por medio de un gusano y las piedras con el tamaño adecuado son llevadas a otra bandeja la cual permitirá llevar el material hasta la cima del horno.

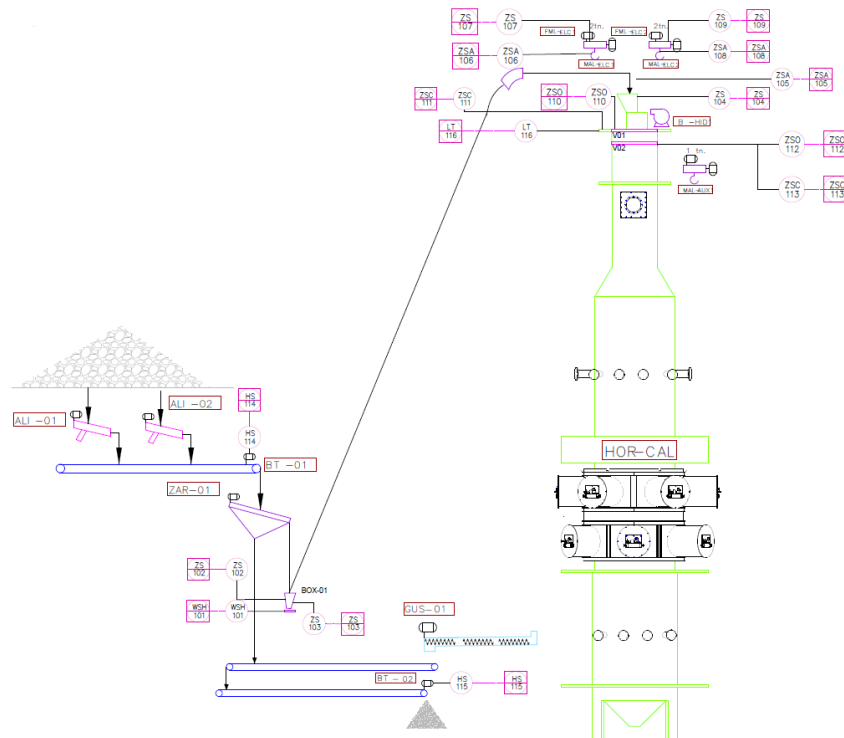
Figura 14
Diagrama de bloques etapa de alimentación



Nota. Diagrama de bloques que intervienen en la etapa alimentación

En la Figura 15 se puede apreciar los instrumentos la cual intervienen en la etapa de alimentación.

Figura 15
Diagrama de instrumentación proceso general

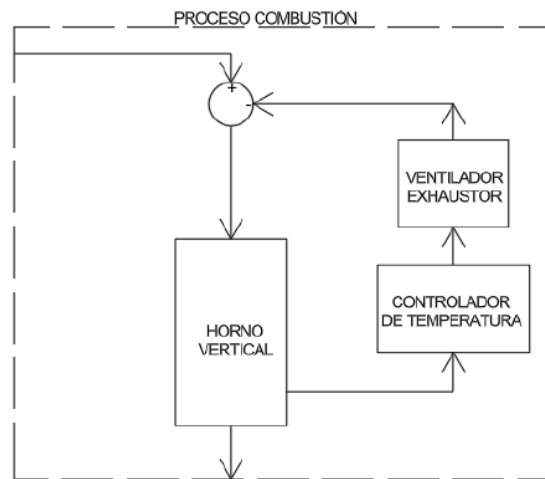


Nota. Diagrama de instrumentos que intervienen en la etapa alimentación

En la etapa de combustión se enfoca en el control de temperatura del horno para la cual debe estar en un valor máximo 1100°C tal como se muestra en la Figura 16, por lo tanto previamente se debe realizar el ingreso de aceite para su precalentamiento y para su regulación de temperatura se utilizará un motor exhaustor la cual ayuda a filtrar las partículas más pesadas permitiendo la recirculación de aire en el horno vertical con la finalidad de mantener las temperaturas ideales para la calcinación de la piedra.

Figura 16

Diagrama de bloques etapa combustión

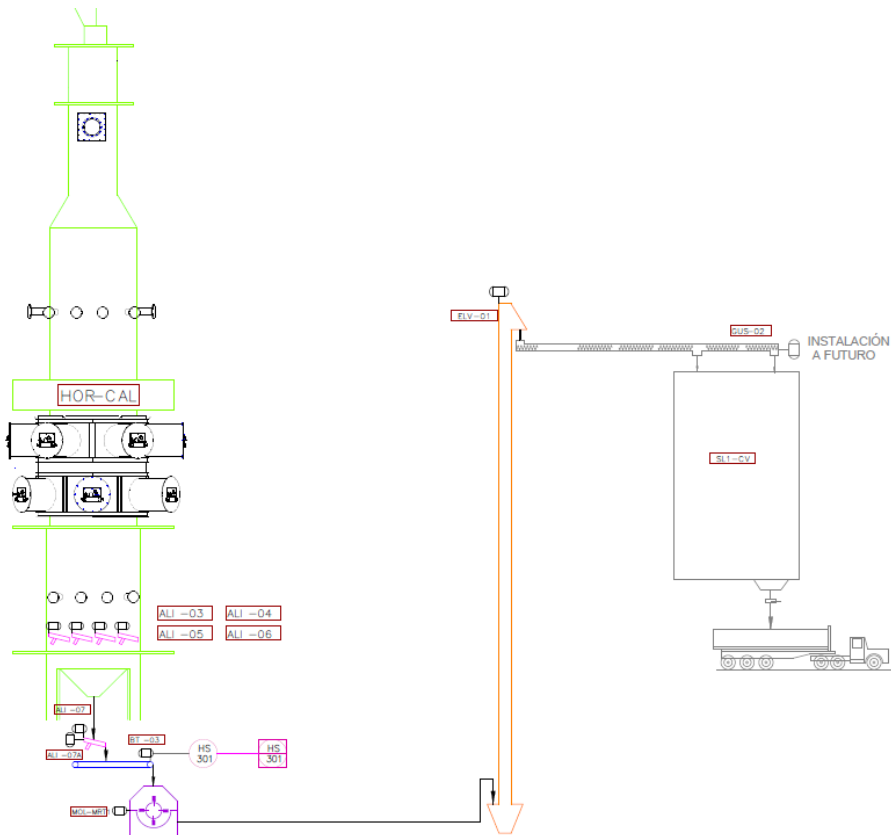


Nota. Diagrama de bloques que intervienen en la etapa combustión

En la Figura 17 se puede apreciar los instrumentos la cual intervienen en la etapa de combustión.

En la Figura 19 se puede apreciar los instrumentos que intervienen en la etapa de descarga.

Figura 19
Diagrama de instrumentos etapa de descarga



Nota. Diagrama de instrumentos que intervienen en la etapa de descarga

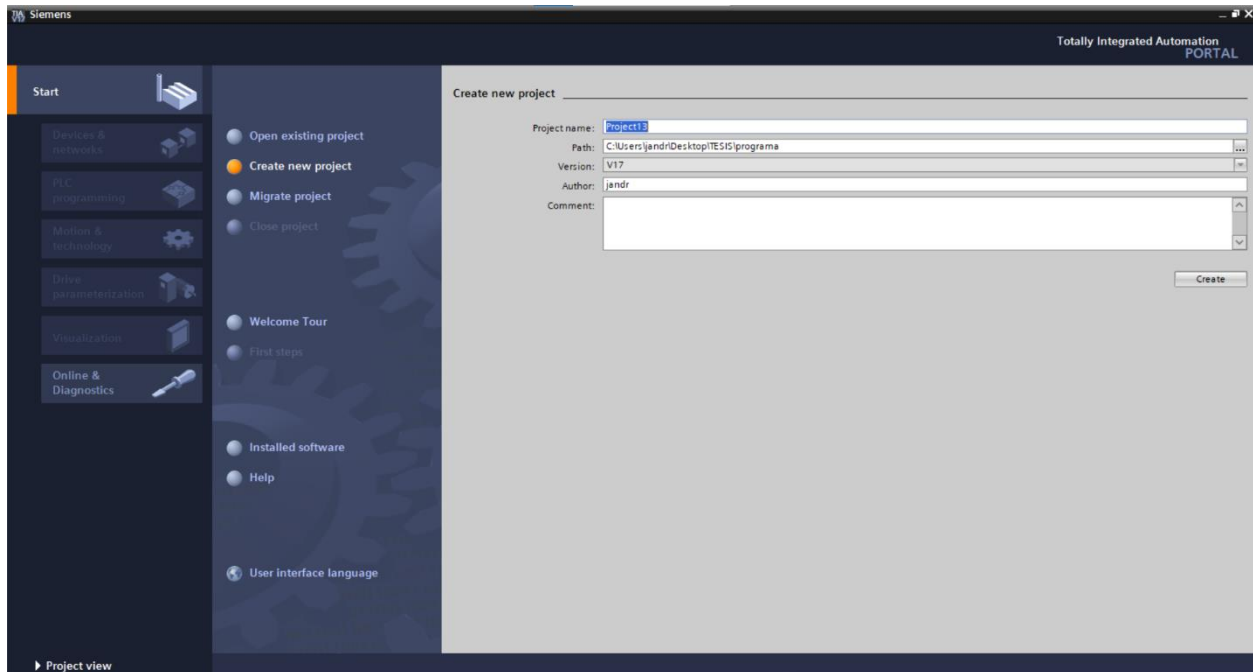
Pasos para realizar un proyecto de diseño y simulación de calcinación de carbonato de calcio mediante plc y hmi, se procede a explicar paso a paso la programación y diseño de pantallas junto con el movimiento de imágenes y control de temperatura.

Ejecución en TIA PORTAL:

En primer lugar, se debe iniciar con el programa de TIA PORTAL instalado en el ordenador, una vez iniciado se dirige a Crear nuevo proyecto e ingresa el nombre del proyecto a realizar y se escoge el modelo de PLC y HMI para realizar el emparejamiento entre equipos, una

vez realizado este paso se crea el proyecto, y se da click en Nuevo proyecto, como se puede visualizar en la Figura 20.

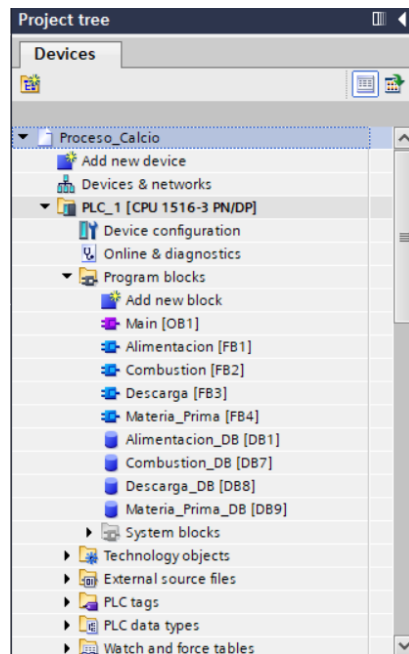
Figura 20
Inicio del programa TIA PORTAL



Nota. Diagrama de instrumentos que intervienen en la etapa de descarga

Una vez creado se puede visualizar una ventana del lado izquierdo donde se puede iniciar con la programación y añadir cada bloque o proceso deseado. Además, se pueden agregar una cantidad determina de NETWORK, estos bloques pueden variar dependiendo de la cantidad de procesos que vayan a utilizar tal como se muestra en la Figura 21.

Figura 21
NETWORK de TIA PORTAL



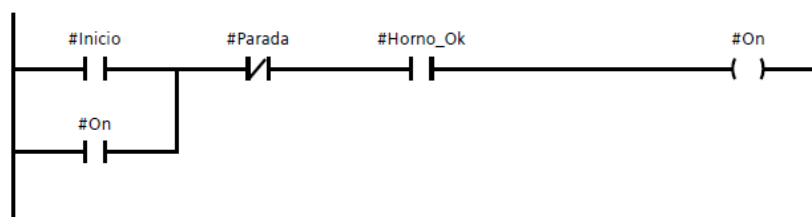
Nota. NETWORK perteneciente a TIA PORTAL

Segmentación de cada NETWORK para cada etapa del proceso:

Etapa alimentación:

Se visualiza en la Figura 22 con el primer segmento la primera etapa de alimentación, para esta etapa es primordial que el horno llegue a la temperatura de 1000°C para que active esta etapa.

Figura 22
Segmento 1 etapa alimentación

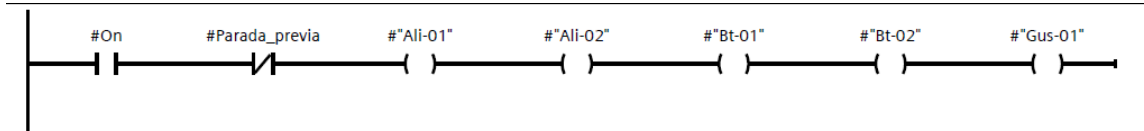


Nota. Segmento 1 Control de encendido de etapa alimentación

Una vez asegurado la acción en conjunto se activan los actuadores en la etapa tales como alimentador 1 (Ali-01), alimentador 2 (Ali-02), banda transportadora 1 (Bt-01), banda transportadora 2 (Bt-02), y gusano sin fin (Gus-01) tal como se muestra en la siguiente Figura 23.

Figura 23

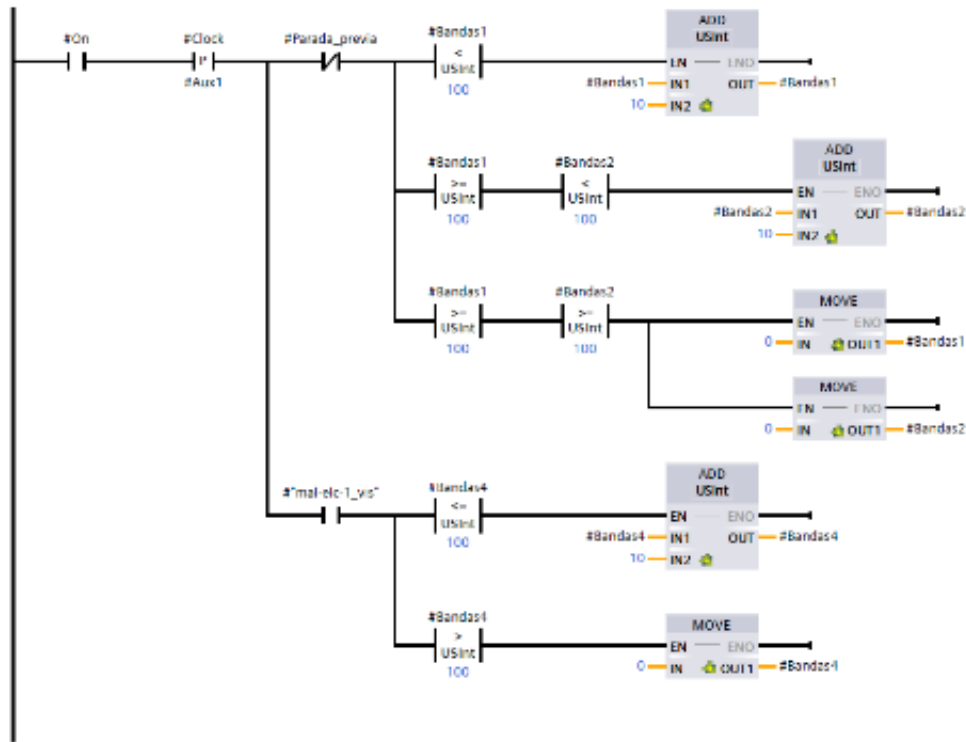
Segmento 2 etapa alimentación



Nota. Segmento 2 Control de actuadores en la etapa alimentación

En este segmento se indica los actuadores la cual permite el control de animación de bandas transportadoras utilizando el bloque #CLOCK debido a que cada flanco del clock los sumadores (ADD) incrementan una variable que va a corresponder a la posición de ciertos elementos del hmi y cuando se enciende habilita el clock incrementando su valor permitiendo visualizar el movimiento de la materia prima a través de las bandas transportadoras tal como se visualiza en la siguiente Figura 24.

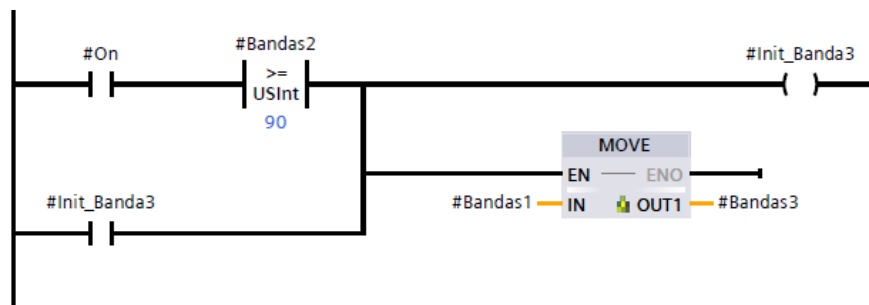
Figura 24
Segmento 3 etapa alimentación



Nota. Segmento 3 Control de animación de bandejas y transportadores etapa alimentación

En el siguiente segmento se indica las condiciones para el movimiento de la banda transportadora 3 una vez que la banda 2 sea mayor a 90 genera un enclavamiento permitiendo el movimiento de la tercera banda transportadora tal como se muestra en la siguiente Figura 25.

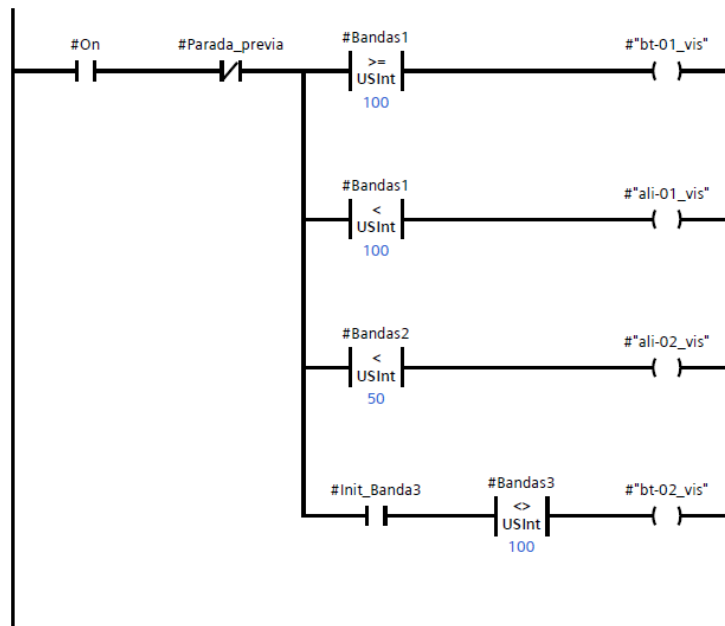
Figura 25
Segmento 4 etapa alimentación



Nota. Segmento 4 Inicio de banda 3 etapa alimentación

En el siguiente segmento contiene el control de visibilidad debido a que ciertos elementos del hmi que aparecen en cierto momento y desaparecen en otro por lo que se debe controlar la animación de las bandas transportadoras y dependiendo del rango una banda trabaja y después continua la siguiente tal como se muestra en la siguiente Figura 26.

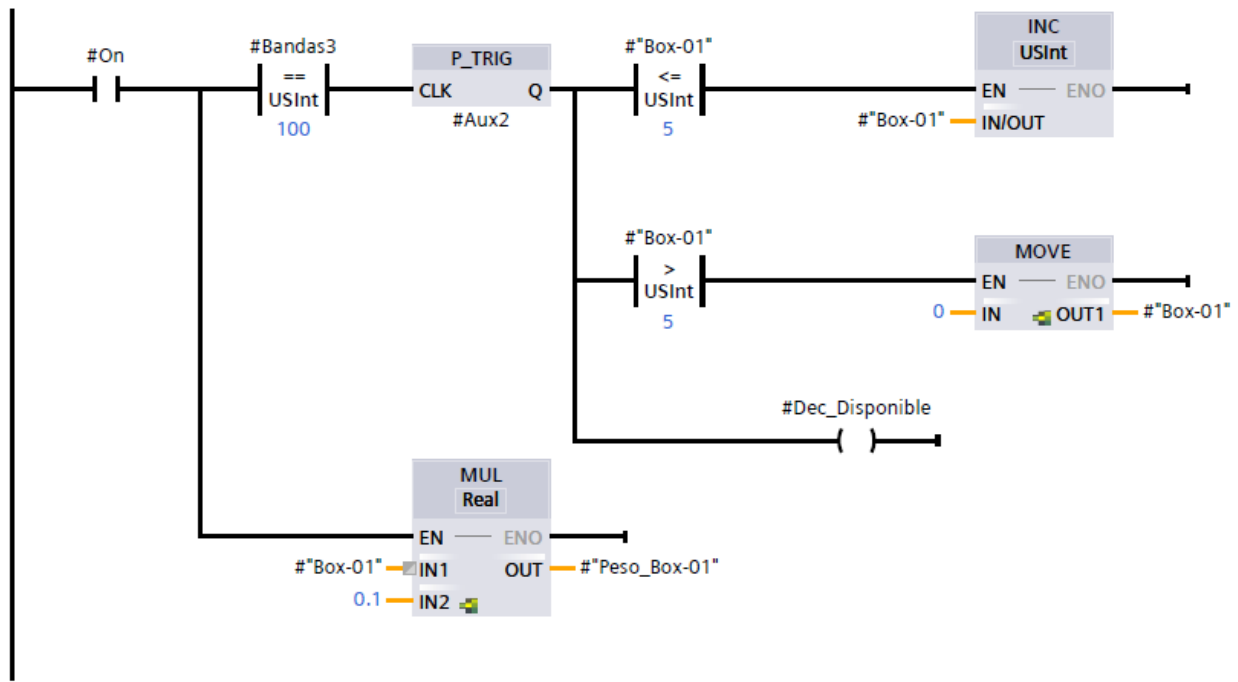
Figura 26
Segmento 5 etapa alimentación



Nota. Segmento 5 control de visibilidad para material en actuadores etapa alimentación

Una vez realizado el control de las bandas, se crea el siguiente segmento para controlar el peso permitiendo leer cada elemento que llega a la caja denominada Box-01 se incrementa el peso por 0.1 tonelada hasta 0.5 toneladas una vez alcanzado el peso indicado envía el material al horno tal como se muestra en la siguiente Figura 27.

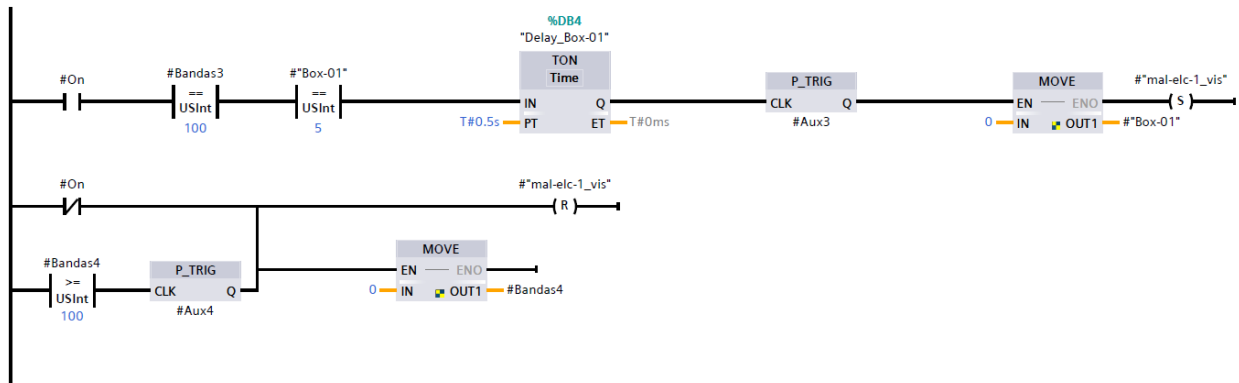
Figura 27
Segmento 6 etapa alimentación



Nota. Segmento 6 control de peso etapa alimentación

En el siguiente segmento se controla el movimiento de la caja (box1) para trasladar el material de carbonato de calcio a la compuerta principal del horno vertical tal como se muestra en la siguiente Figura 28.

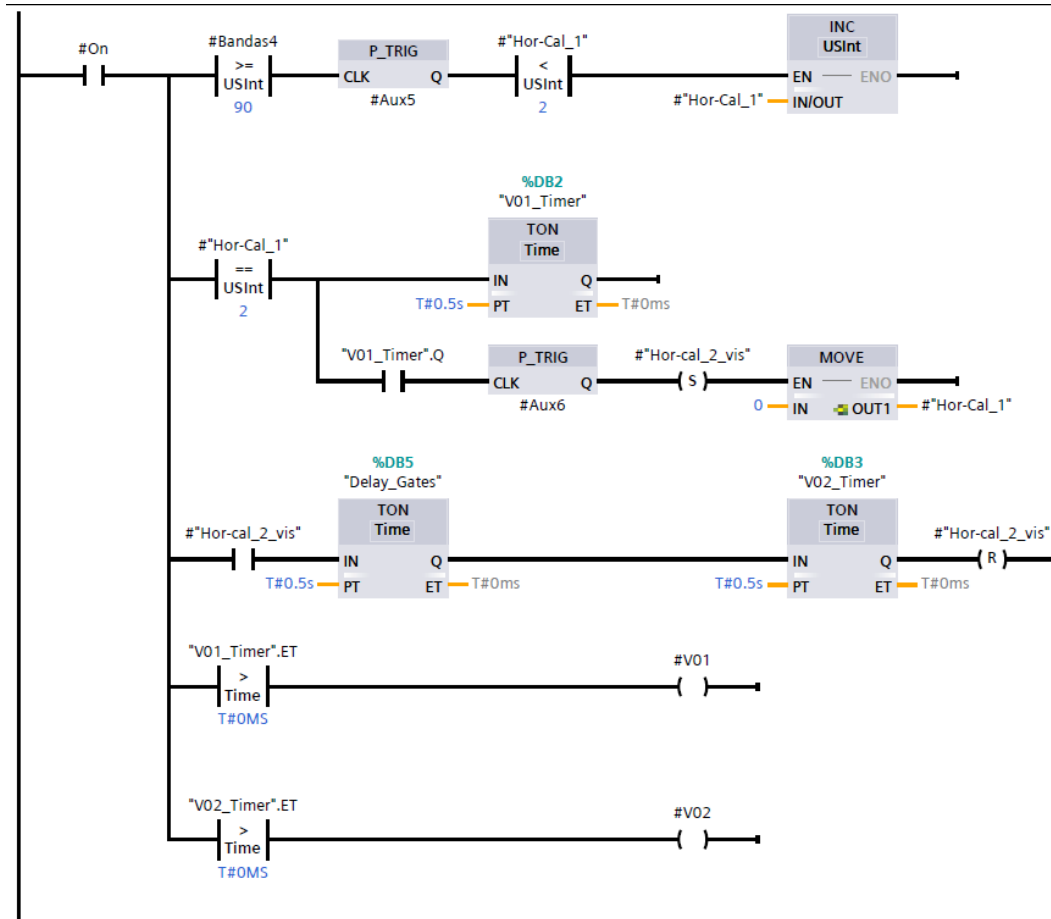
Figura 28
Segmento 7 etapa alimentación



Nota. Segmento 7 control de traslado de material etapa alimentación

En el siguiente Figura 29 se visualiza el segmento de control de apertura y cierre de las compuertas del horno una vez alcanzado el peso máximo para la compuerta que es 1 tonelada por lo que se realiza 2 sensores de nivel permitiendo el ingreso del material al horno.

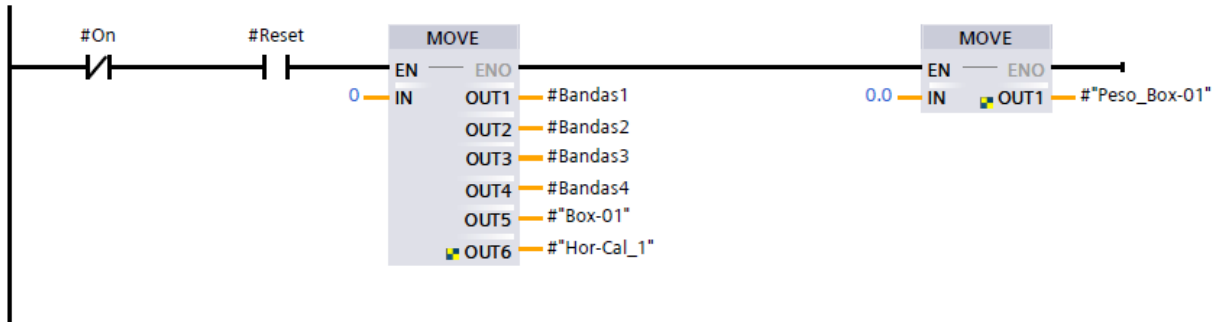
Figura 29
Segmento 8 etapa alimentación



Nota. Segmento 8 control de apertura compuerta 1 y compuerta 2 etapa alimentación.

Como segmento final de la etapa de alimentación se coloca un botón de reinicio colocando los demás elementos en su posición inicial tal como se muestra en la siguiente Figura 30.

Figura 30
Segmento 9 etapa alimentación



Nota. Segmento 9 Reinicio de simulación.

Etapa de combustión

En la etapa de combustión inicia con un enclavamiento de marcha y paro tal como se muestra en la siguiente Figura 31.

Figura 31
Segmento 1 etapa combustión

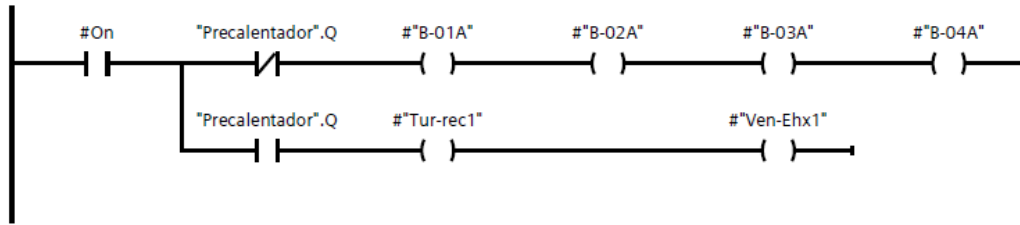


Nota. Segmento 1 Control de encendido etapa combustión.

En el segmento 2 se activan los actuadores en la etapa tales como Bombas 1, 2, 3 y 4 (B-01, B-02 B-03, B-04), y una vez precalentado el horno se activa el ventilador recirculador y el ventilador exhaustor tal como se muestra en la siguiente Figura 32.

Figura 32

Segmento 2 etapa combustión

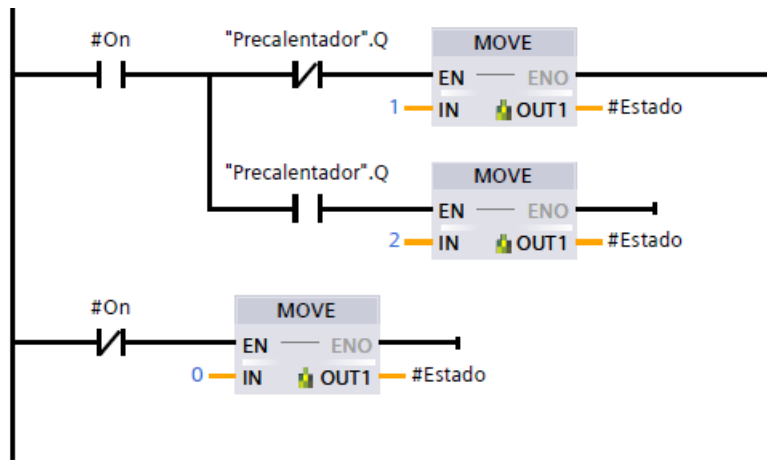


Nota. Segmento 2 Control de actuadores etapa combustión

En el siguiente segmento se coloca los indicadores del estado del horno permitiendo visualizar en el hmi lo siguiente: 0 (Apagado), 1 (Pre calentamiento), 2 (Listo ok) tal como se muestra en la siguiente Figura 33.

Figura 33

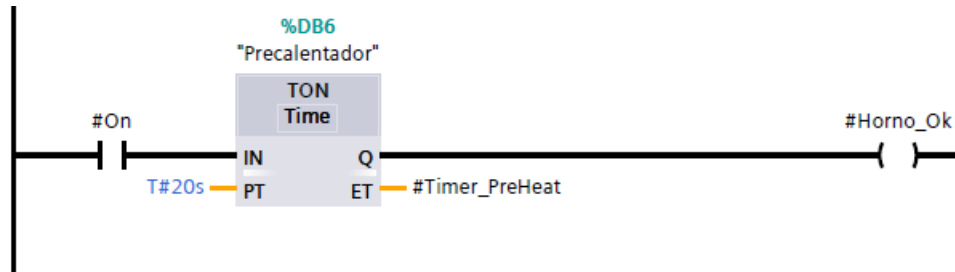
Segmento 3 etapa combustión



Nota. Segmento 3 Indicador de estado del horno etapa combustión

En el siguiente segmento contiene el tiempo para el precalentamiento considerado 20 segundos para simulación tal como se muestra en la siguiente Figura 34.

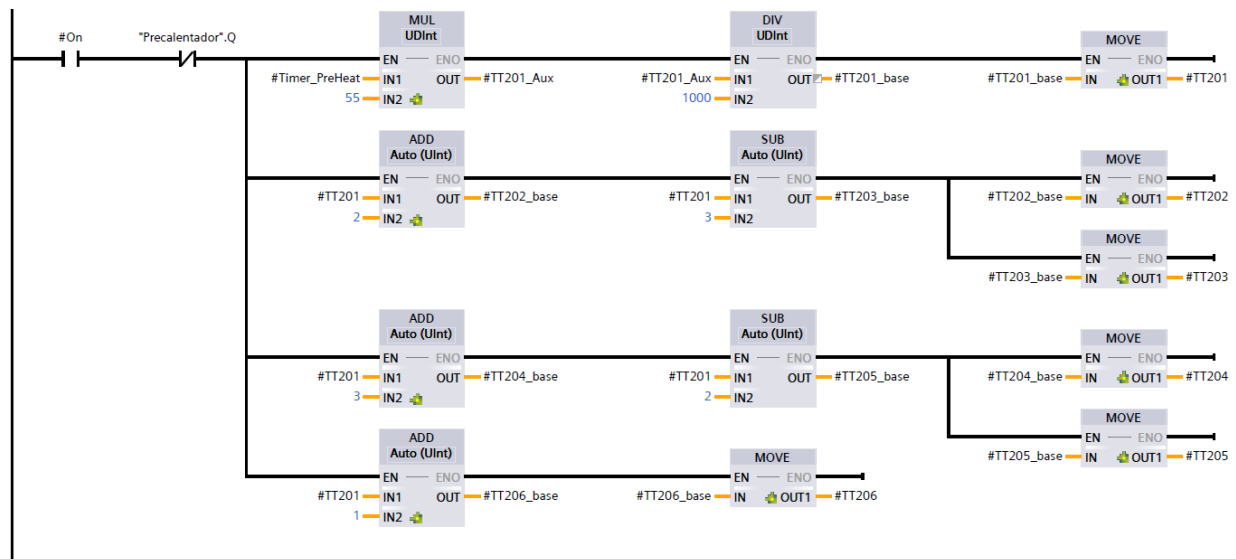
Figura 34
Segmento 4 etapa combustión



Nota. Segmento 4 precalentamiento del horno etapa combustión.

En los siguientes segmentos se utiliza la variable digital interna (#Timer_PreHeat) la cual incrementa paulatinamente haciendo un escalamiento del valor simulando los cambios del sensor de temperatura tal como se muestra en la Figura 35.

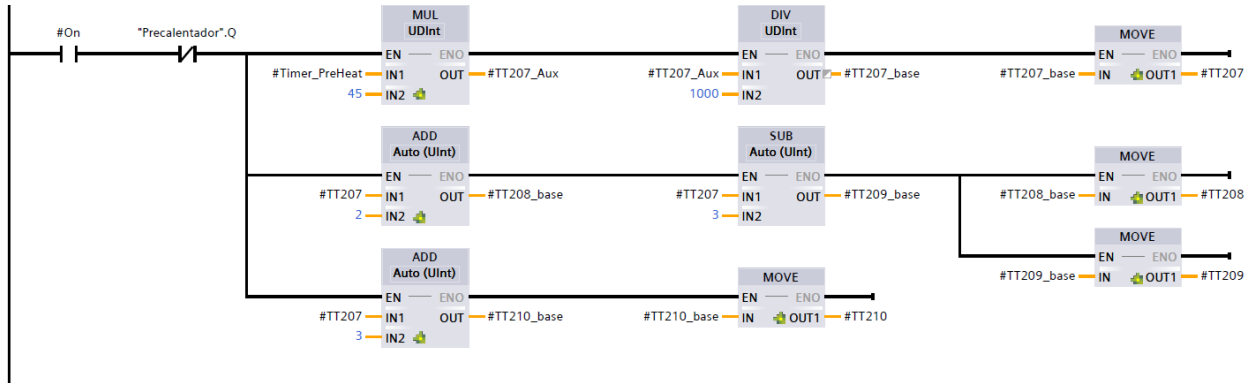
Figura 35
Segmento 5 etapa combustión



Nota. Segmento 5 simulación de sensores de temperatura hasta 1000°C etapa combustión.

En la Figura 36 se aprecia la configuración de temperatura hasta un máximo de 900°C.

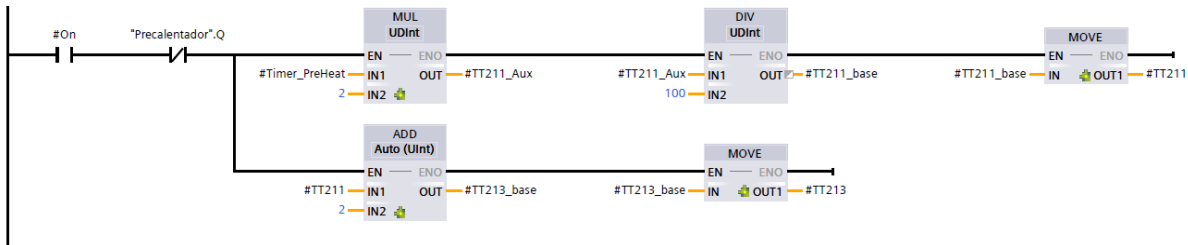
Figura 36
Segmento 6 etapa combustión



Nota. Segmento 6 simulación de sensores de temperatura hasta 900°C etapa combustión

En la Figura 37 se aprecia la configuración de temperatura hasta un máximo de 400°C.

Figura 37
Segmento 7 etapa combustión

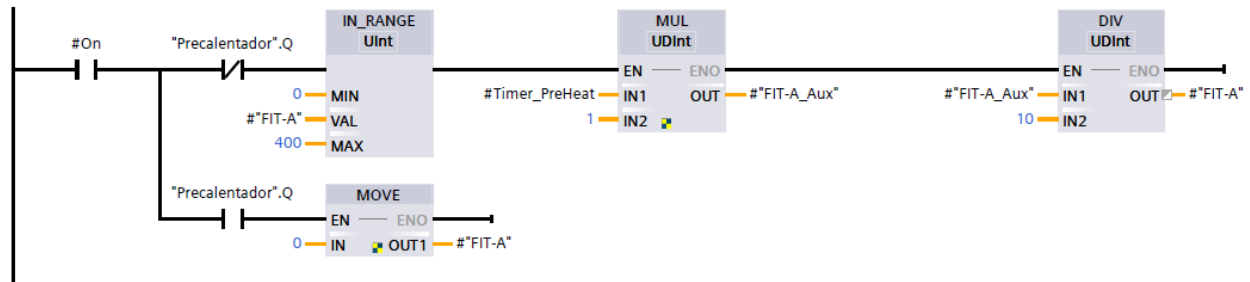


Nota. Segmento 7 simulación de sensores de temperatura hasta 400°C etapa combustión.

En el siguiente segmento se coloca un indicador de flujo de aceite en el caso que el horno no se encuentre en precalentamiento y una vez ya precalentado ya no se visualiza el flujo tal como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

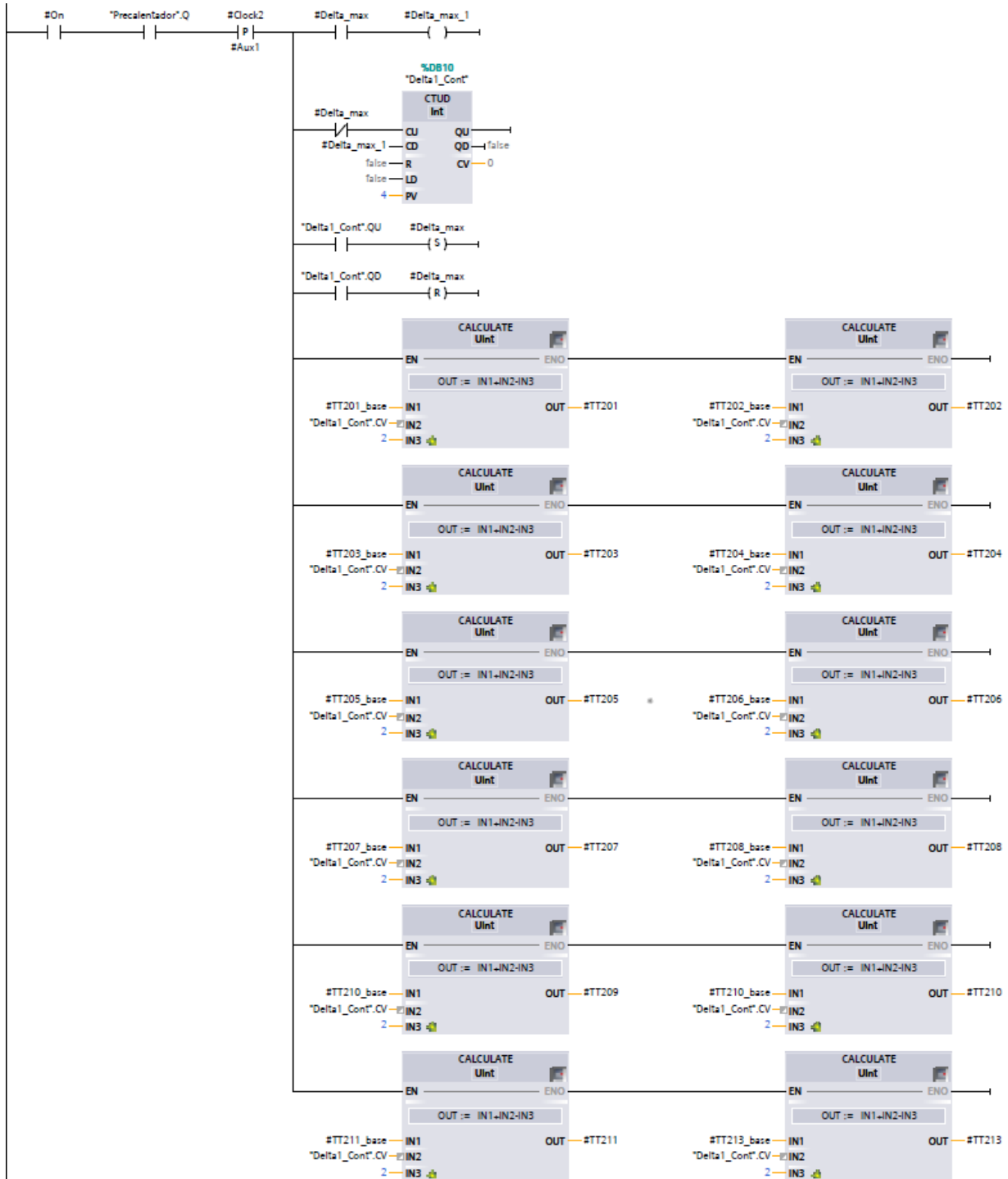
Segmento 8 etapa combustión



Nota. Segmento 8 indicador de flujo etapa combustión

En el siguiente segmento una vez pasado el precalentamiento empieza el encendido la cual utiliza una señal de reloj la cual permite a través de un contador ascendente y descendente poder variar el valor pequeño de temperatura permitiendo visualizar las variaciones pequeñas de temperatura tal como se muestra en la siguiente Figura 39.

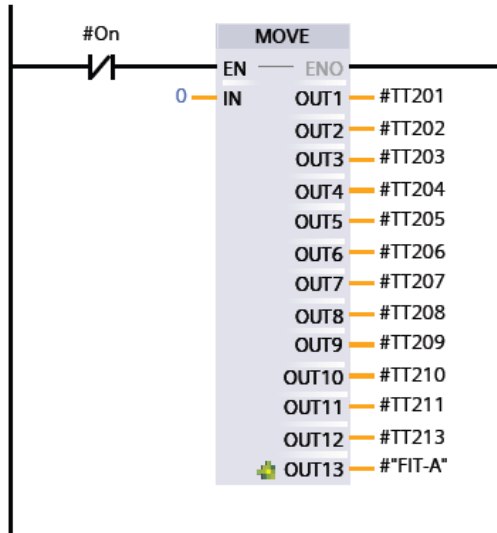
Figura 39
Segmento 9 etapa combustión



Nota. Segmento 9 variación de temperatura etapa combustión

En el último segmento se coloca el reinicio una vez culminado la etapa enviando los valores a 0 tal como se muestra en la siguiente Figura 40.

Figura 40
Segmento 10 etapa combustión

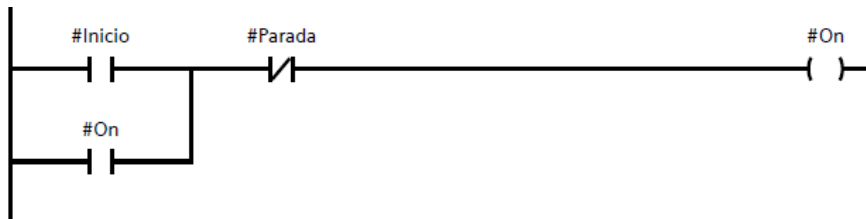


Nota. Segmento 10 Parada y reinicio de valores de temperatura etapa combustión.

Etapa de descarga:

En el primer segmento se coloca el enclavamiento para iniciar tal como se muestra en la siguiente Figura 41.

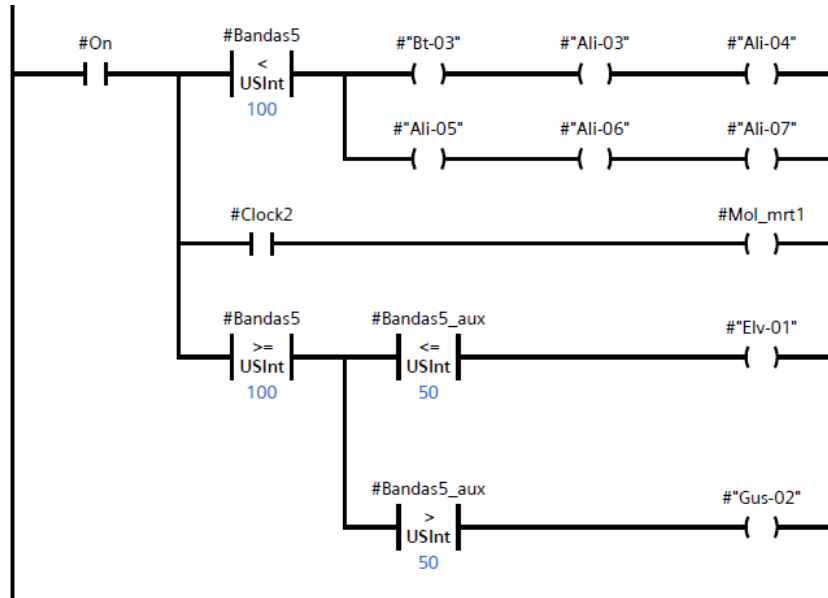
Figura 41
Segmento 1 etapa descarga



Nota. Segmento 1 control de encendido etapa de descarga

En el segmento 2 se activan los actuadores en la etapa tales como Bandas transportadoras (Bt-01), Alimentador y una vez precalentado el horno se activa el ventilador recirculador y el ventilador exhaustor tal como se muestra en la siguiente Figura 42.

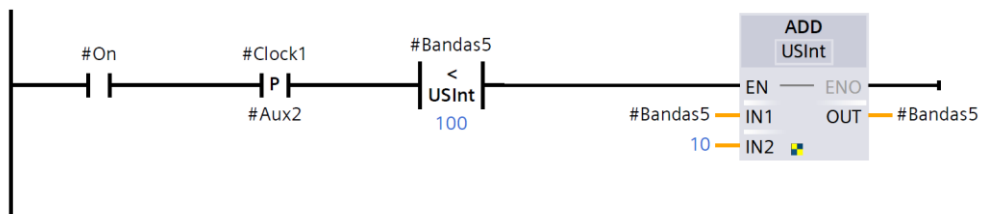
Figura 42
Segmento 2 etapa descarga



Nota. Segmento 2 control de actuadores etapa de descarga.

En el siguiente segmento se mantiene en movimiento la banda transportadora permitiendo la transportación de la cal viva al molino tal como se visualiza en la siguiente Figura 43.

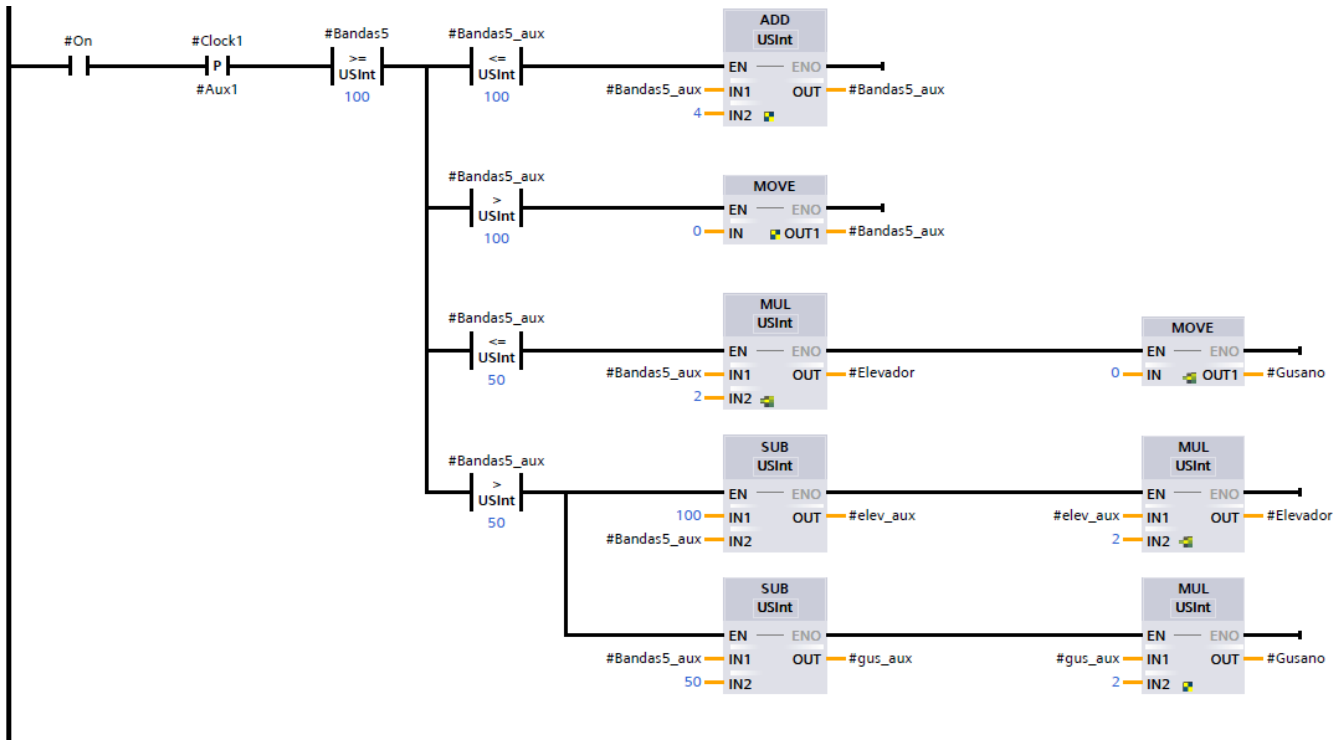
Figura 43
Segmento 3 etapa descarga



Nota. Segmento 3 Inicio de banda 3 etapa descarga.

En el siguiente segmento se controla el movimiento del material a través de las bandas transportadoras y el gusano tal como se muestra en la siguiente Figura 44.

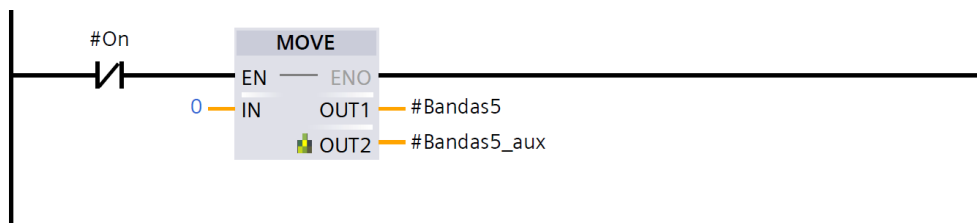
Figura 44
Segmento 4 etapa descarga



Nota. Segmento 4 control de bandas transportadoras, elevador y gusano etapa descarga.

En el segmento 5 se coloca el reinicio una vez culminado la etapa enviando los valores a 0 tal como se muestra en la siguiente Figura 45.

Figura 45
Segmento 5 etapa descarga

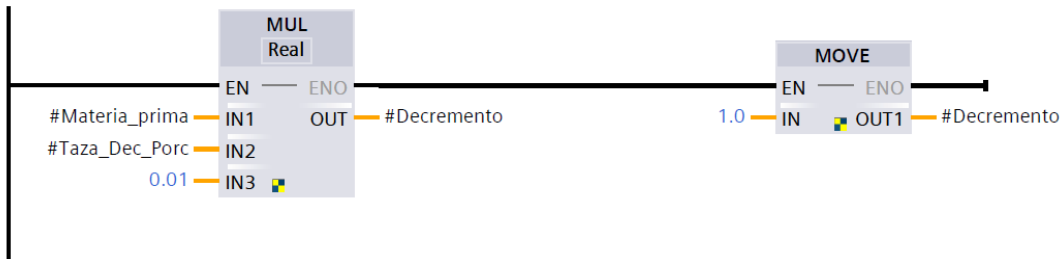


Nota. Segmento 5 reinicio etapa descarga.

Materia prima:

En el primer segmento se multiplica el valor ingresado de la materia prima con la tasa de incremento y el resultado decrece 1 tonelada tal como se muestra en la Figura 46.

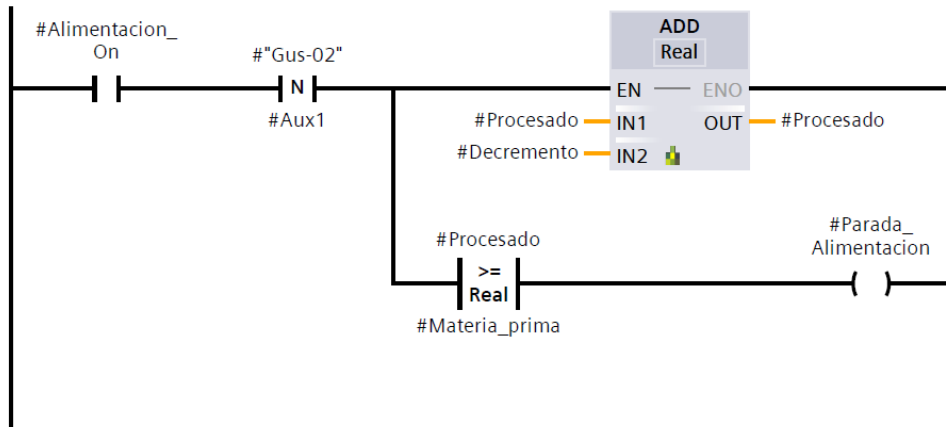
Figura 46
Segmento 1 materia prima



Nota. Segmento 1 decremento de material etapa materia prima.

En el siguiente segmento se utiliza el flanco negativo del gusano 2 de la etapa de descarga para incrementar la variable #Procesado brindando el valor del material procesado o el producto final tal como se muestra en la siguiente Figura 47.

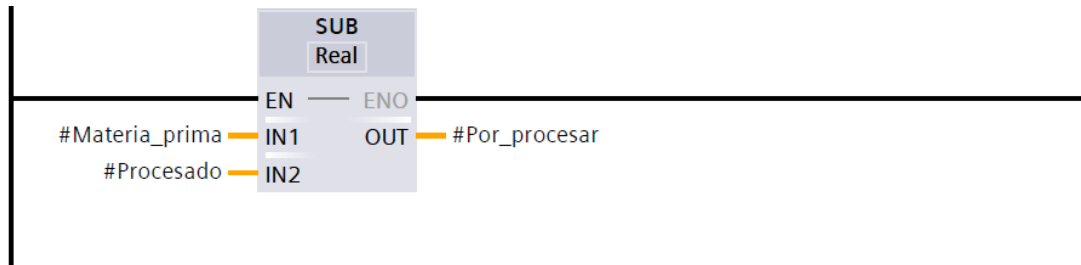
Figura 47
Segmento 2 materia prima



Nota. Segmento 2 determinación de material procesado.

En el siguiente segmento se encuentra una resta para determinar el valor faltante para procesar tal como se muestra en la siguiente Figura 48.

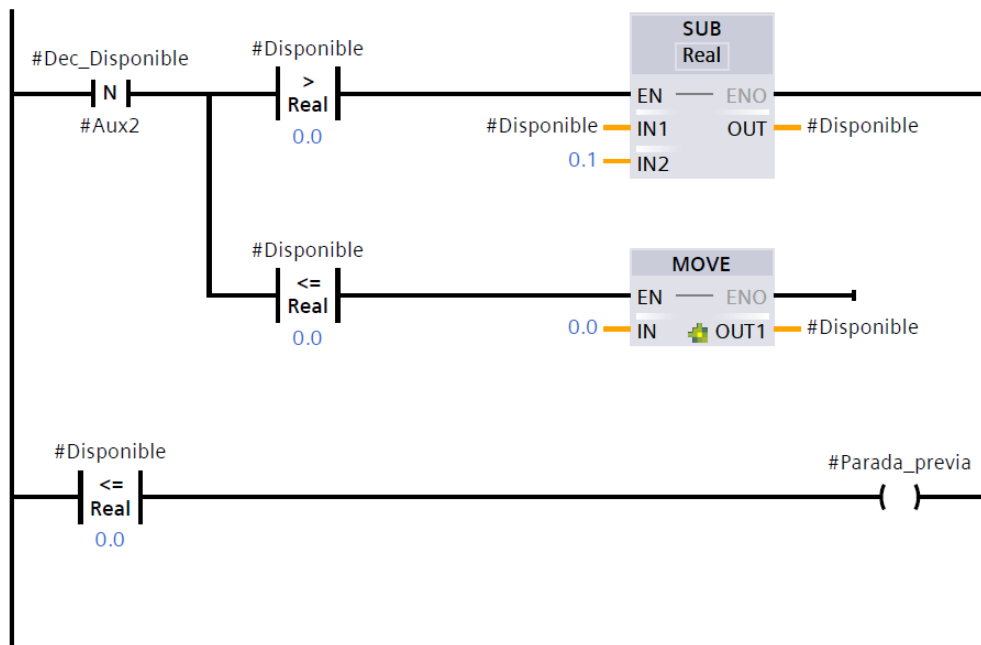
Figura 48
Segmento 3 materia prima



Nota. Segmento 3 determinación de valor faltante por procesar.

En el siguiente segmento verifico la disponibilidad del material en caso de no tener material por procesar se paraliza la etapa de alimentación tal como se muestra en la siguiente Figura 49.

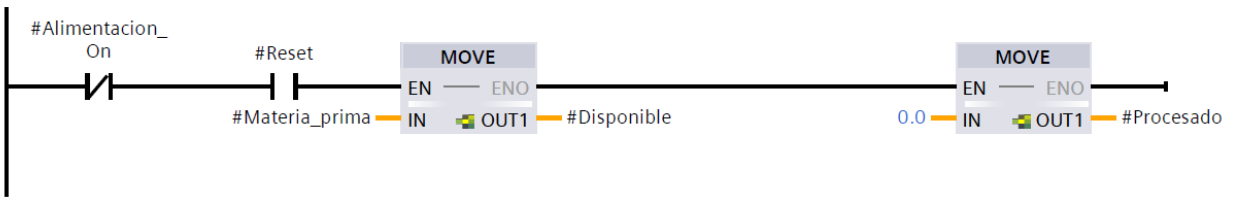
Figura 49
Segmento 4 materia prima



Nota. Segmento 4 Verificación de disponibilidad de material.

En el siguiente segmento indica que si la etapa de alimentación no está activa al pulsar reinicio de simulación traspassa el valor de materia prima a disponible y en procesado a cero para reiniciar a las condiciones iniciales de simulación tal como se muestra en la siguiente Figura 50.

Figura 50
Segmento 5 materia prima



Nota. Segmento 5 reinicio de simulación.

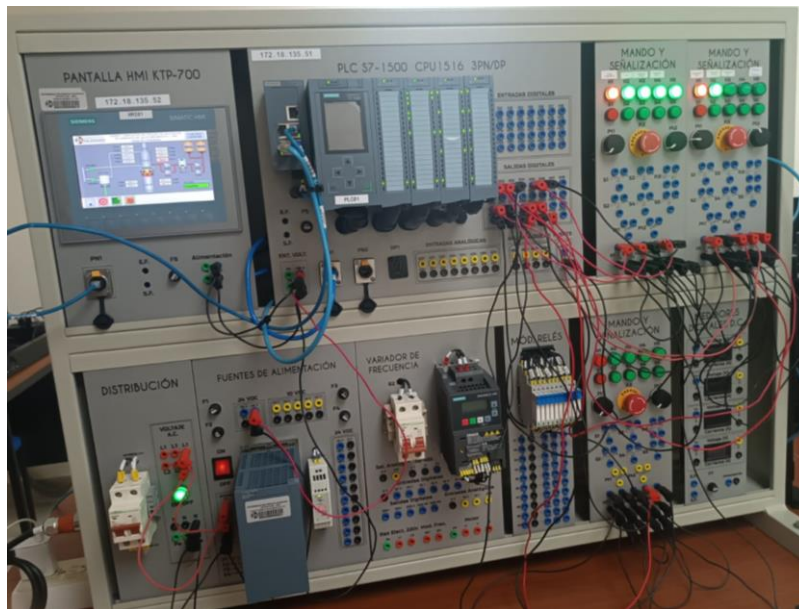
5. RESULTADOS

5.1. Resultados

Se obtuvo el proceso deseado desde la programación del PLC S7-1500 y las pantallas proyectadas en el HMI tal como se muestra en la siguiente Figura 51.

Figura 51

Funcionamiento de programación en módulo de conexión



Nota. Funcionamiento PLC S7-1500 y HMI en módulo de conexión

Se desarrolló en el programa TIA PORTAL con pantallas secuenciales en el HMI, como se puede visualizar en la Figura 52, teniendo como pantalla principal el tema del proyecto, seguido del autor y el tutor de titulación.

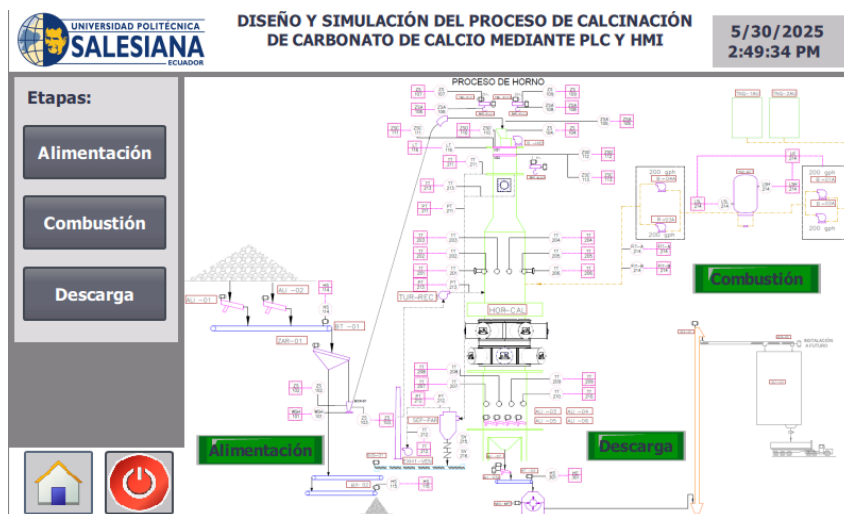
Figura 52
Pantalla inicial HMI



Nota. Pantalla inicial

Pulsando la tecla home se dirige a una pantalla donde se visualiza un esquema PID del proceso general permitiendo desplazarme a las distintas etapas del proceso de calcinación de carbonato de calcio tal como se muestra en la siguiente Figura 53.

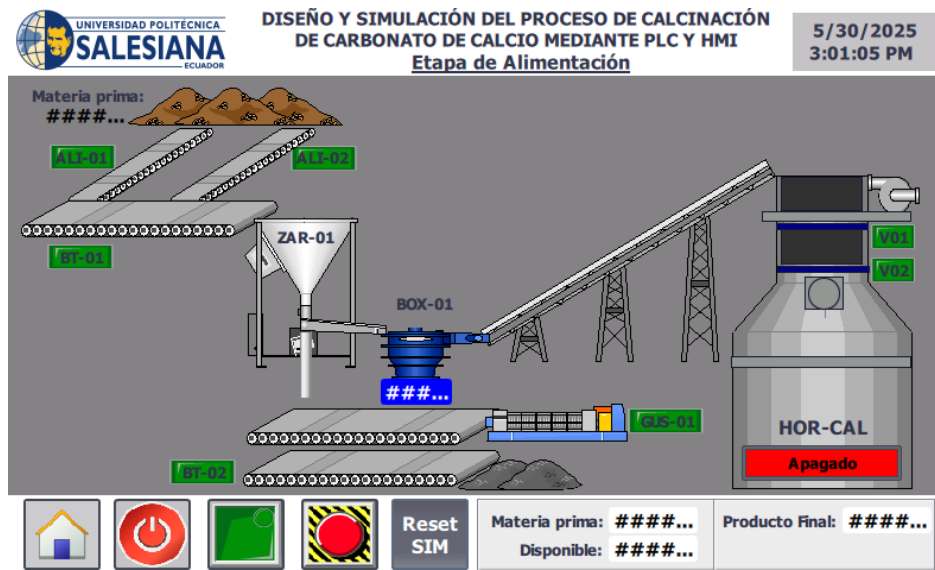
Figura 53
Pantalla del proceso general



Nota. Esquema PID general del proceso

En esta pantalla se visualiza la etapa de alimentación, se encuentra el ingreso de materia prima, bandas transportadoras la cual ayuda a transportar la materia prima a la zaranda filtrando el diámetro del producto para llenar la caja para llenar las compuertas 1 y 2, adicional se visualiza el producto disponible y el producto final en toneladas, la cual puede dar inicio una vez precalentado el horno tal como se muestra en la siguiente Figura 54.

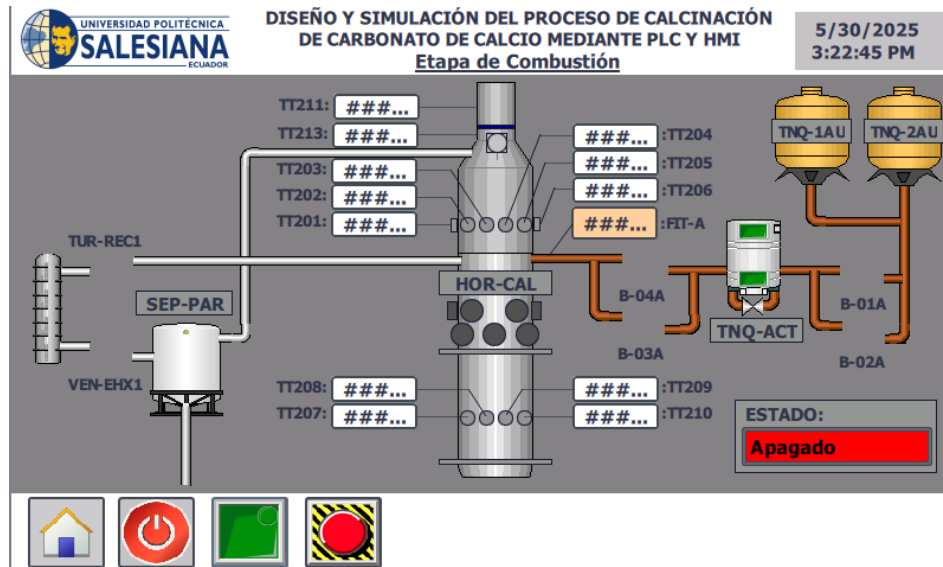
Figura 54
Pantalla etapa de alimentación



Nota. Pantalla HMI etapa de alimentación

En esta pantalla se visualiza la etapa de combustión se encuentra el botón de inicio para dar arranque al encendido del horno la cual incrementará la temperatura hasta alcanzar el valor de 1000°C y se controlará la temperatura por medio del ventilador exhaustor tal como se muestra en la siguiente Figura 55.

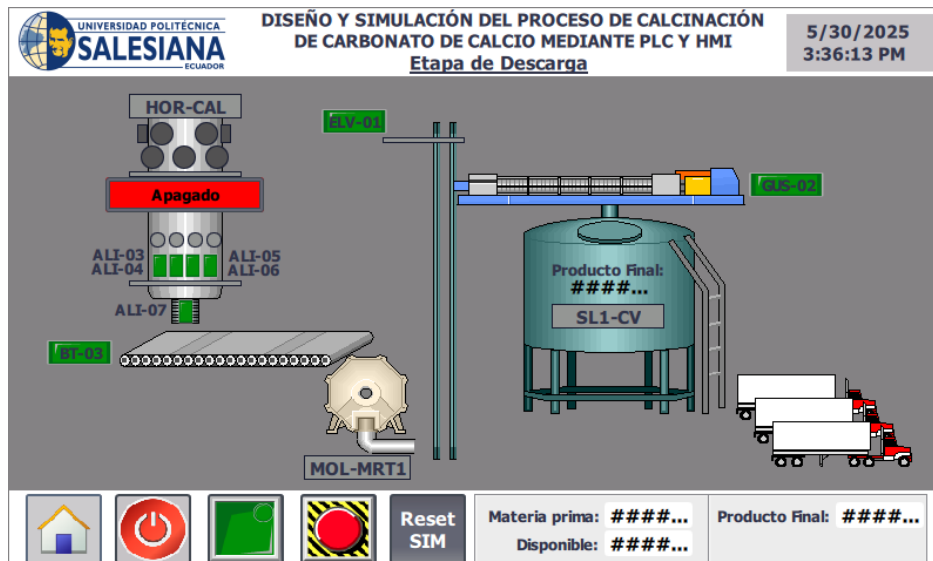
Figura 55
Pantalla etapa de combustión



Nota. Pantalla HMI etapa combustión

Finalmente, en esta pantalla se visualiza la etapa de descarga la cual cae el material procesado de forma automática transportando la cal viva por medio de la banda transportadora hasta el molino colocando en el elevador para llenar el silo por medio de un gusano transportador tal como se muestra en la siguiente Figura 56.

Figura 56
Pantalla etapa de combustión



Nota. Pantalla HMI etapa de descarga

6. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta la propuesta del cronograma de actividades dispuesto por semanas, haciendo un total de 16 semanas de trabajo tal como se muestra en la siguiente Tabla 1, para el desarrollo del Proyecto de Titulación en los meses de diciembre a marzo.

Tabla 1.
Cronograma de actividades.

<i>Actividades</i>	<i>Tiempo de duración</i>																
	<i>Meses</i>	<i>Diciembre</i>				<i>Enero</i>				<i>Febrero</i>				<i>Marzo</i>			
	<i>Semanas</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Revisión de tutor temas y objetivos		X	X														
Aprobación anteproyecto				X	X												
Ejecución de diseño preliminar				X	X	X	X										
Programación de bloques y definición de variables								X	X								
Pruebas y simulación del control								X	X								
Primera revisión de avances al tutor										X	X						
Asignación de variables para el HMI					X	X			X								
Avance del libro				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Segunda revisión de avance al tutor															X	X	
Finalización del libro de titulación																X	X

Nota. Cronograma de actividades

7. PRESUPUESTO

Para definir el presupuesto del proyecto se parte sabiendo que fue desarrollado en simulación, y por ello se ha considerado las horas de trabajo de ingeniería invertidas en el desarrollo de esta investigación, así como útiles de trabajo requerido para la culminación del proyecto. La Tabla # muestra un valor estimado de \$ 200,00 valor el cual se invirtió para poder finalizar el trabajo de titulación.

Tabla 2.

Presupuesto del proyecto de titulación

Cant.	Detalle	Valor unit	Valor total
240	Horas de trabajo por semana	2,81	\$669,00
Valor total			\$669,00

Nota. Presupuesto estimado para el desarrollo del proyecto de titulación

Nota: El módulo de conexión con el PLC S7-1500 y la pantalla HMI lo proporciona la Universidad Politécnica Salesiana.

8. CONCLUSIONES

Acorde a la programación del proceso industrial de la calcinación de carbonato de calcio en el PLC S7-1500, cuenta con 3 etapas cada una enfocada a las etapas necesarias para la calcinación del carbonato de calcio, las cuales las etapas de alimentación y combustión cuenta con 10 segmentos de programación y las etapas de descarga y materia prima cuentan con 5 segmentos.

El diseño del proceso industrial de calcinación de carbonato de calcio en la interfaz HMI permite mejorar la comprensión al ofrecer una visualización clara y accesible del estado del sistema. Esta práctica cuenta con cinco pantallas las cuales se visualiza de forma clara las tres etapas del proceso de calcinación las cuales ayuda a desarrollar habilidades para tomar decisiones y responder rápidamente ante alguna situación.

La implementación de una guía de práctica para integrar el PLC y HMI en el proceso de carbonato de calcio ofrece a los estudiantes de la carrera Electrónica y Automatización un modelo claro para agilizar los distintos procesos operativos de la industria asegurando una comprensión coherente del sistema automatizado. Esta práctica permite la transferencia de conocimientos y destreza, ayudando a los estudiantes de la carrera Electrónica y Automatización a comprender de la estabilidad de los procesos industriales.

9. RECOMENDACIONES

Para empezar la programación se recomienda verificar de forma correcta la comunicación entre el PLC y HMI al computador para poder cargar de forma correcta la programación a los equipos, tanto como los cables de red y de energía asegurando la conectividad entre ellos.

Se recomienda a los estudiantes de la carrera Electrónica y Automatización conectar diferentes tipos de dirección IP del PLC S7-1500 para ir mejorando las habilidades en futuros campos industriales.

Es aconsejable que los estudiantes verifiquen la conexión de salida digital del PLC en el módulo de conexión de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil para evitar confusión al conectar las luces piloto debido a que no están en un orden respectivo.

10. REFERENCIAS

- [1] K. S. P. Karunadasa, C. H. Manoratne, H. M. T. G. A. Pitawala, and R. M. G. Rajapakse, “Thermal decomposition of calcium carbonate (calcite polymorph) as examined by in-situ high-temperature X-ray powder diffraction,” *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 134, pp. 21–28, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.jpccs.2019.05.023.
- [2] A. R. García Escobar, “LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL APLICADA AL PROCESO DE CAL VIVA, PARA EL HORNO VERTICAL No. 1 EN CEMENTOS PROGRESO, PLANTA LA PEDRERA,” Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, San Carlos, 2005. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0554_EA.pdf
- [3] Omari, M. A., Rashid, I., Qinna, N., Jaber, A., & Badwan, A. (2016). Calcium carbonate. Profiles Of Drug Substances, Excipients, And Related Methodology, 31-132. <https://doi.org/10.1016/bs.podrm.2015.11.003>
- [4] J. J. Játiva Mafla, “Diseño de un proceso industrial para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo,” Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2024. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/22805>
- [5] RTENG, “PLC vs. HMI: A Comprehensive Comparison.” [Online]. Available: <https://www.rteng.com/blog/plc-vs-hmi>
- [6] C. Ingeniería Química, “Estudio de factibilidad para la creación de una empresa para el proceso de cal en la parroquia San Luis del cantón Riobamba,” Tesis de Grado, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, 2022. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9620>

- [7] H. A. Gálvez Barrera, “Evaluación del comportamiento de la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de magnesio ($MgCO_3$) a través del proceso de calcinación a 850°C y 640 mm Hg en la obtención de cal viva mediante la determinación de la densidad aparente (AST 188-95),” Tesis de Grado, San Carlos, 2003. Accessed: Feb. 26, 2025. [Online]. Available: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/3992>
- [8] E. Lavandaio, “La extraña y valiosa piedra caliza (primera parte).” [Online]. Available: <https://www.memo.com.ar/opinion/piedras-calizas/>
- [9] G. A. Gómez Escalante and V. F. Ponguillo Tagle, “Diseño e implementación de un sistema fundamentado en un autómata programable PLC S7-1500 para el control de posición de un levitador neumático aplicando controladores proporcional, integral, derivativo (PID) y difuso,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021. Accessed: Feb. 26, 2025. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22400>
- [10] Admin. (2025b, mayo 7). ¿Qué es un PLC y cómo funciona? Industrias GSL. <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona?srsId=AfmBOorsmAnwNKK-hlBxVSxz-dcL45m6IfNy8z4xFXIatpj>
- [11] Sicma. (2023, 15 junio). Qué es un sistema HMI, para qué sirve y cómo funciona. Soluciones Integrales para la Industria 4.0. <https://www.sicma21.com/que-es-un-hmi-y-como-funciona/>
- [12] E. A&G, “BANDAS TRANSPORTADORAS Y SISTEMAS INDUSTRIALES.” [Online]. Available: <https://www.agenvironment.com/post/715629783524966400/bandas-transportadoras-y-sistemas-de-cribado>
- [13] MAAMSA, “Criba vibratoria.” Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.maamsamcg.com/productos/criba-vibratoria/>

- [14] FIDESCO, “MALACATES.” Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.fidescsa.com/malacates>
- [15] V. V. Guevara *et al.*, “Producción de carbonato de calcio precipitado a partir de piedra caliza Production of precipitated calcium carbonate from limestone,” *www.ceba.org.ec*, vol. 1, p. 2018, Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: www.ceba.org.ec
- [16] AGICO CEMENT, “Horno vertical de cal.” [Online]. Available: <https://cementplants.es/rotary-kiln-for-sale/vertical-lime-kiln/>
- [17] VENTDEPOT, “Ciclones Industriales.” Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.ventdepot.com/p/Ciclones-Industriales/CycloTwist/1/~CID-CYW-1.html>
- [18] CTECH, “Sistemas de deshidratación con filtro de banda.” [Online]. Available: <https://www.ctech-europe.com/es/sistemas/sistemas-de-deshidratacion-con-filtro-de-banda/>

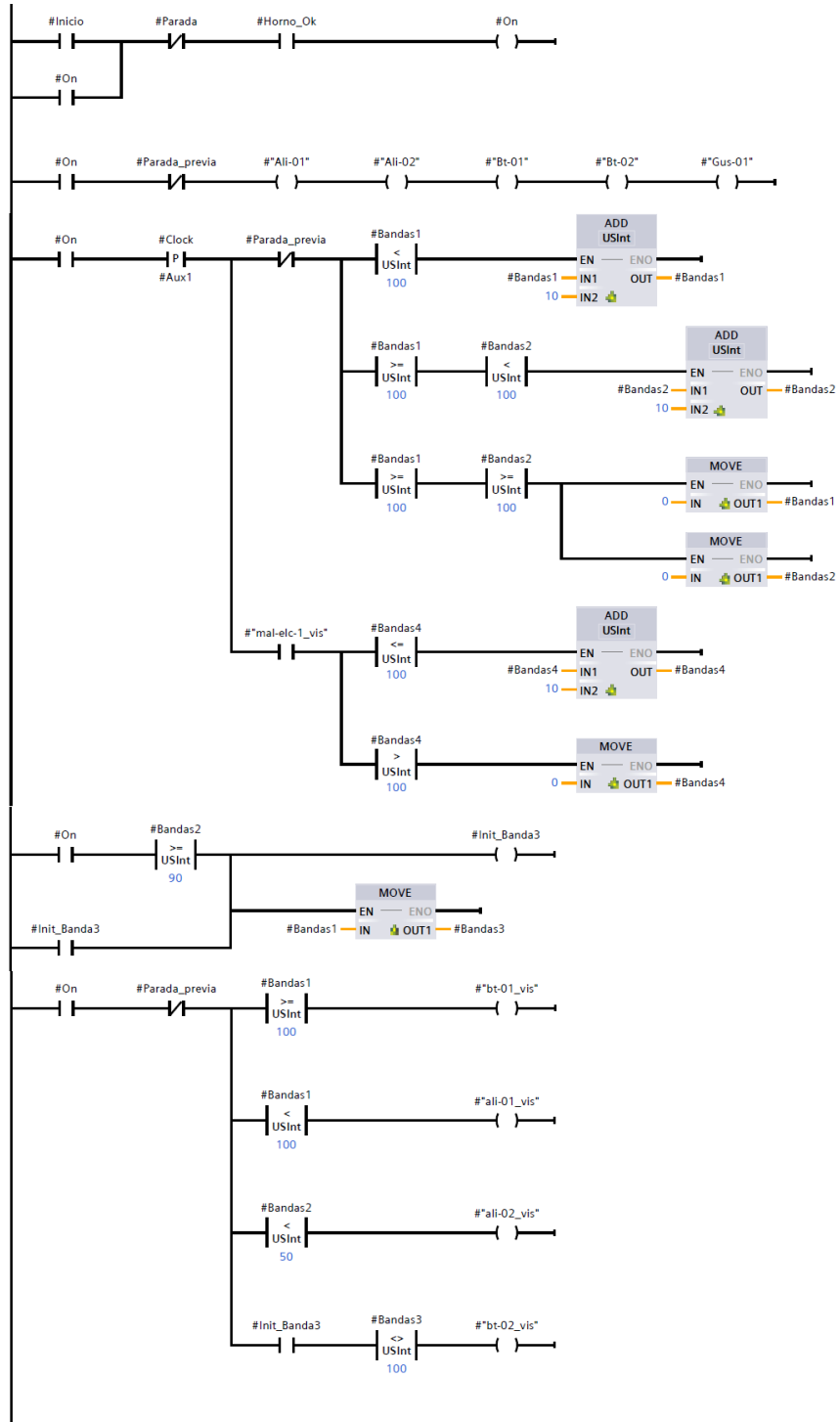
11. ANEXO

11.1. Programación de TIA PORTAL

A continuation, se presenta la programación en el PLC S7-1500:

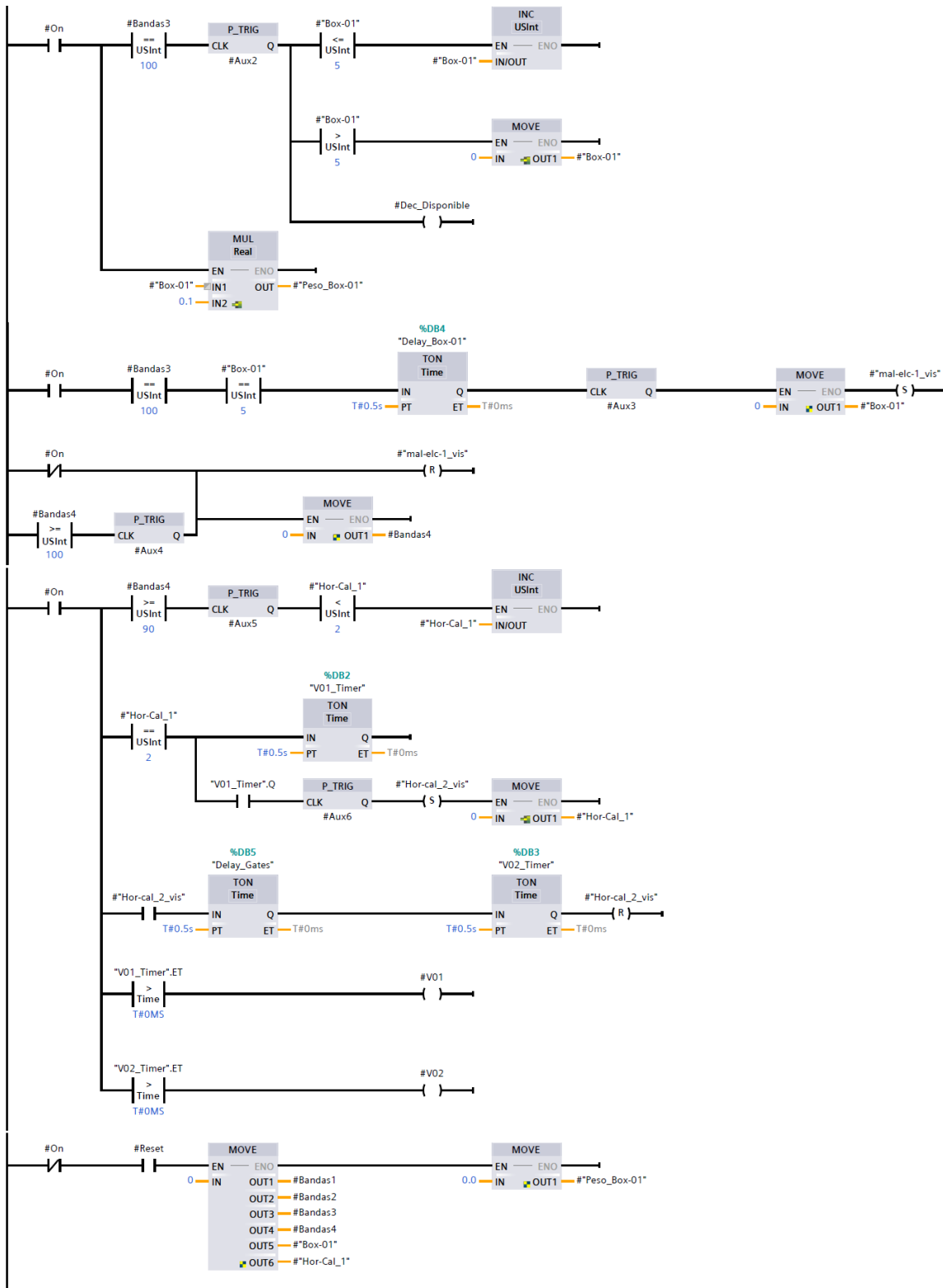
Etapa alimentación:

Figura A 1
Programación etapa de alimentación 1-2



Nota. Programación etapa de alimentación 1-2

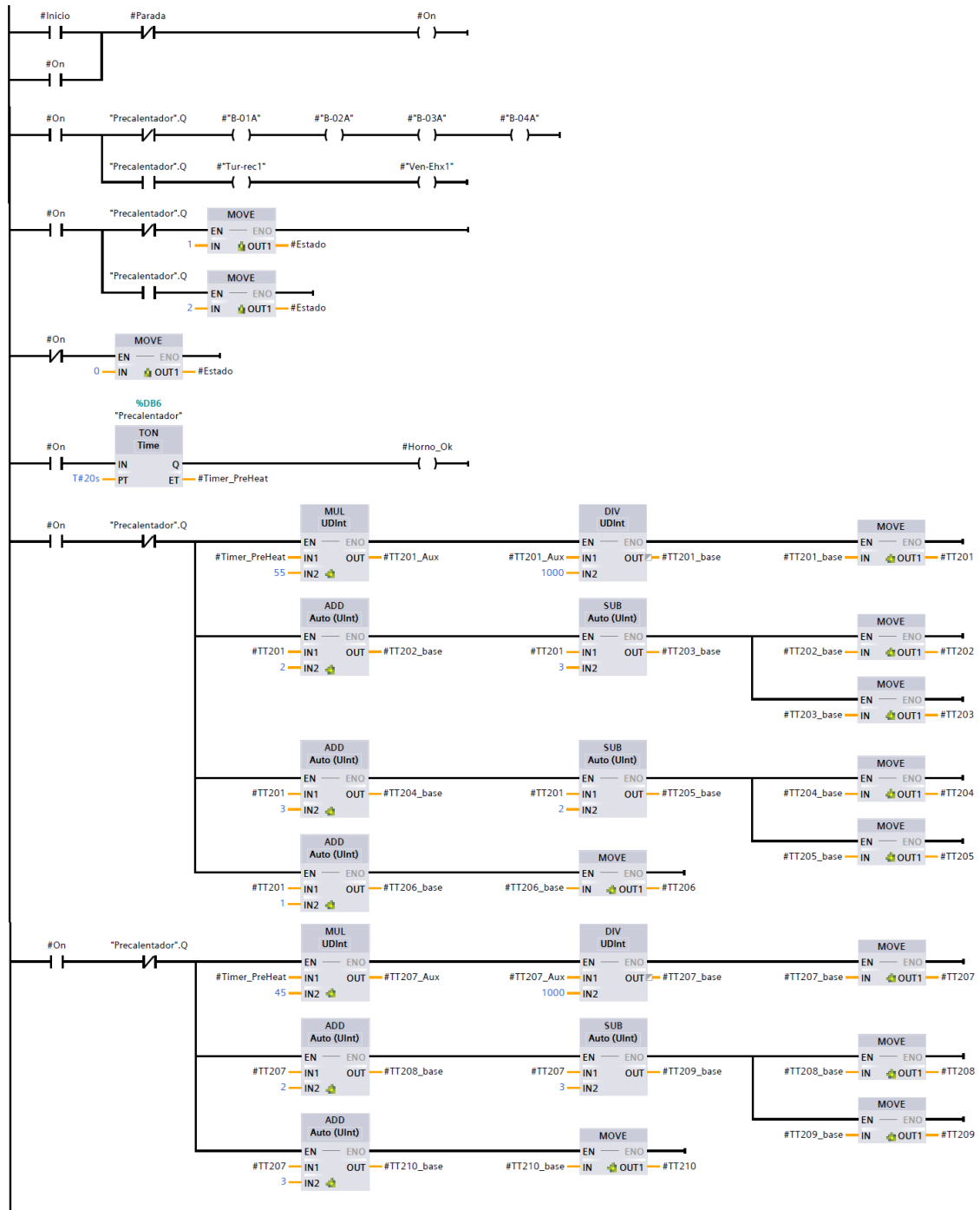
Figura A 2
Programación etapa de alimentación 2-2



Nota. Programación etapa de alimentación 2-2

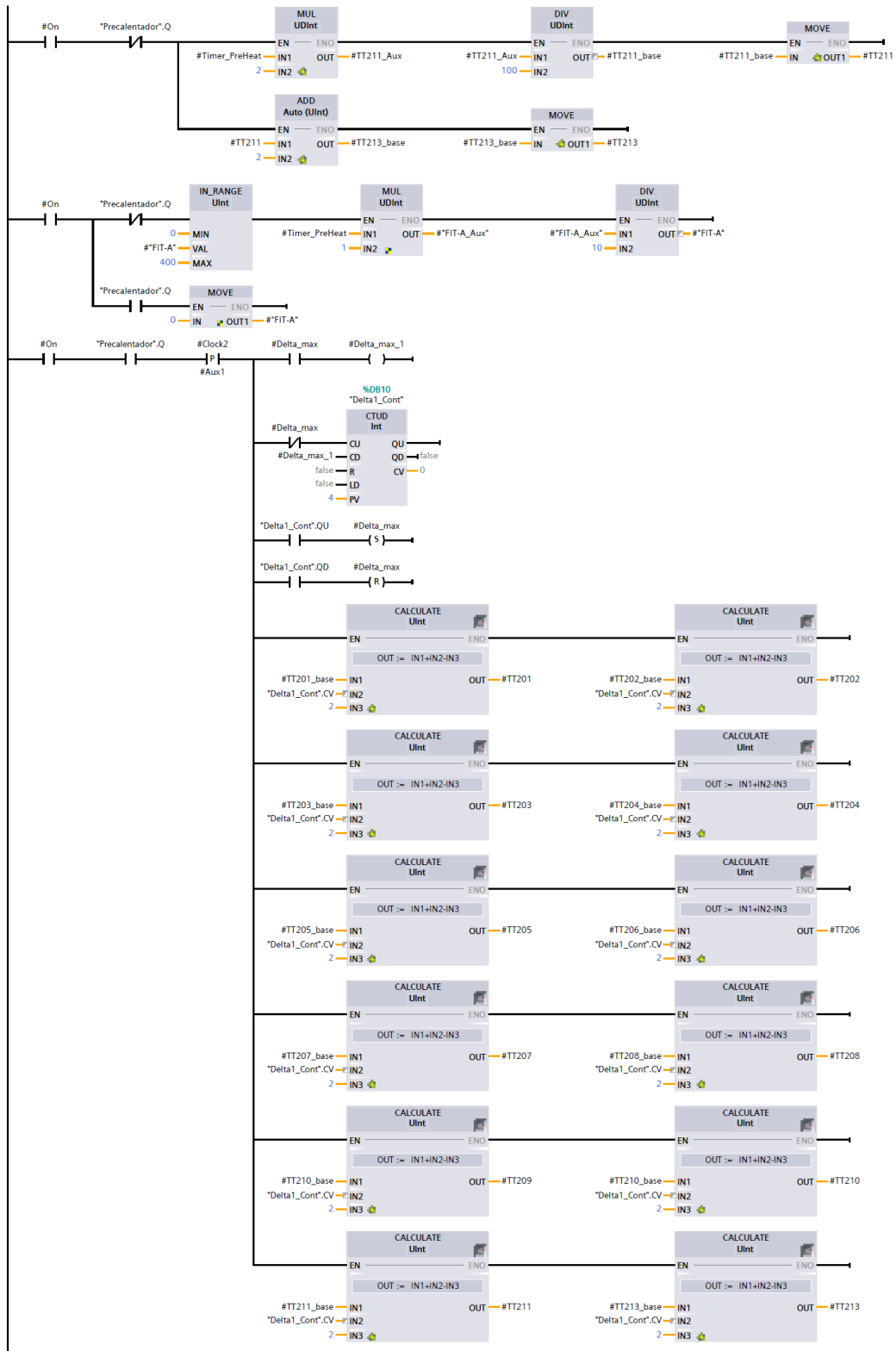
Etapa combustión:

Figura A 3
Programación etapa de combustión 1-3



Nota. Programación etapa de combustión 1-3

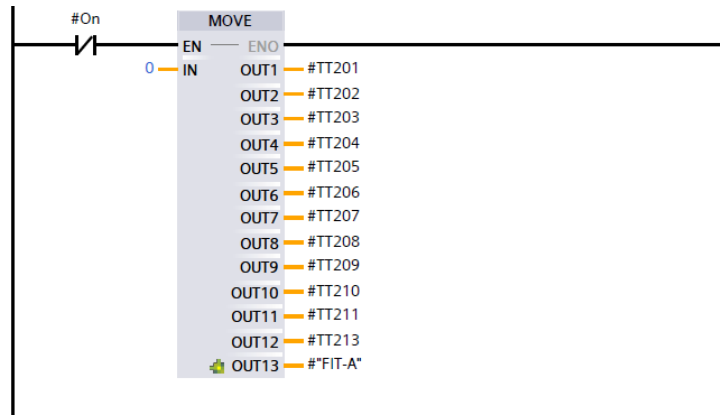
Figura A 4
Programación etapa de combustión 2-3



Nota. Programación etapa de combustión 2-3

Figura A 5

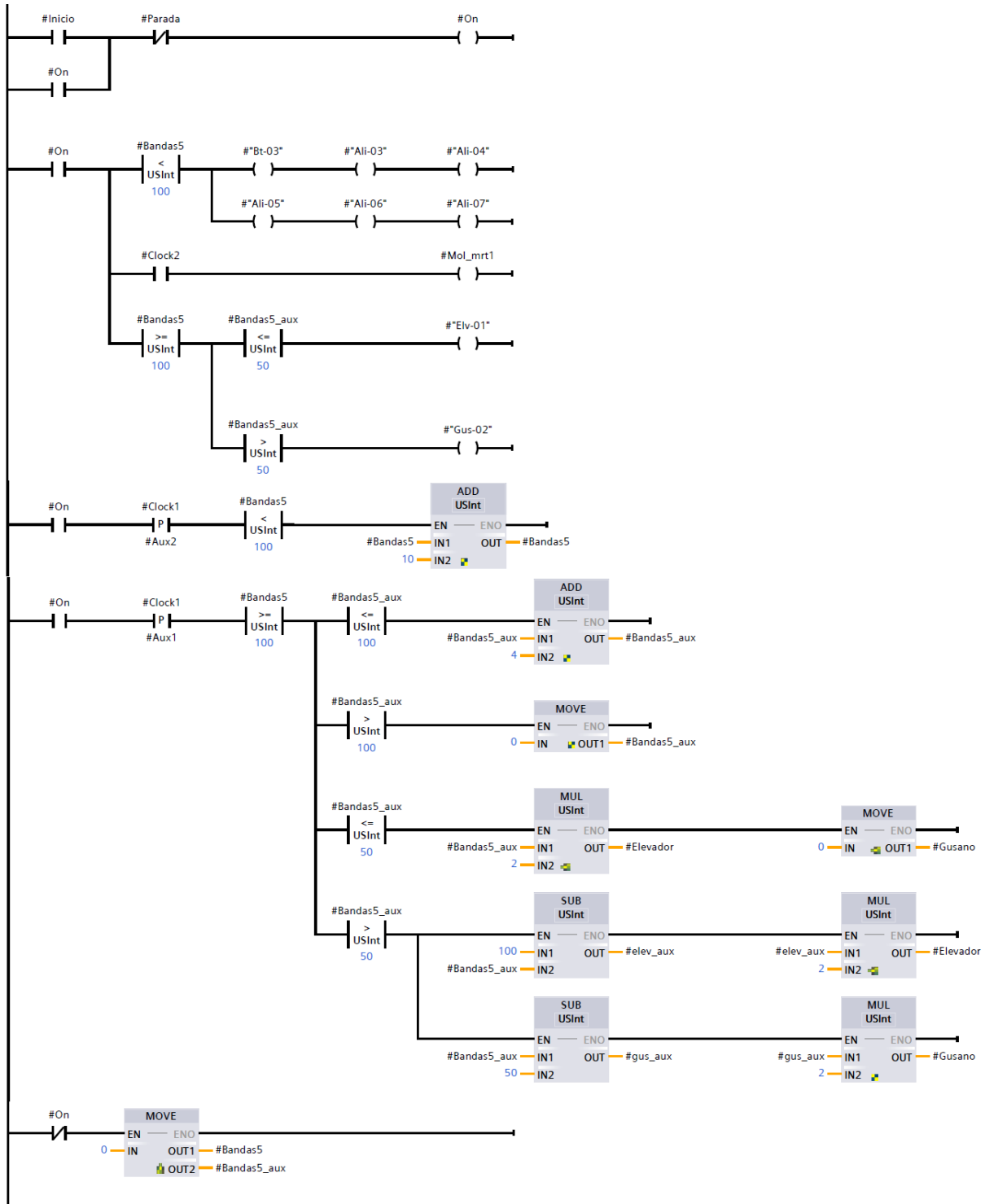
Programación etapa de combustión 3-3



Nota. Programación etapa de combustión 3-3

Etapa descarga

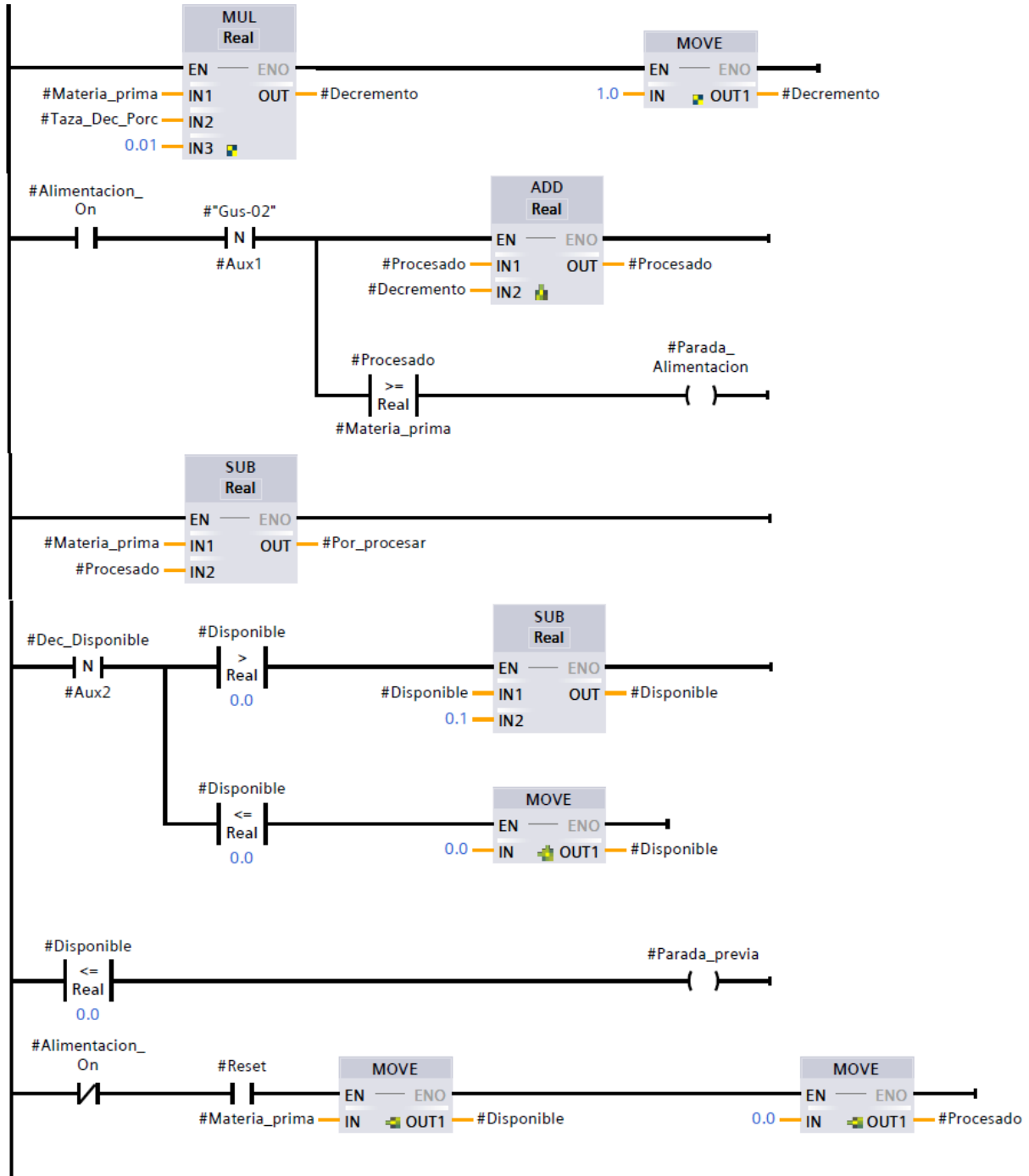
Figura A 6
Programación etapa de descarga



Nota. Programación etapa de descarga

Materia prima

Figura A 7
Programación materia prima



Nota. Programación materia prima

11.2. Pantallas de HMI

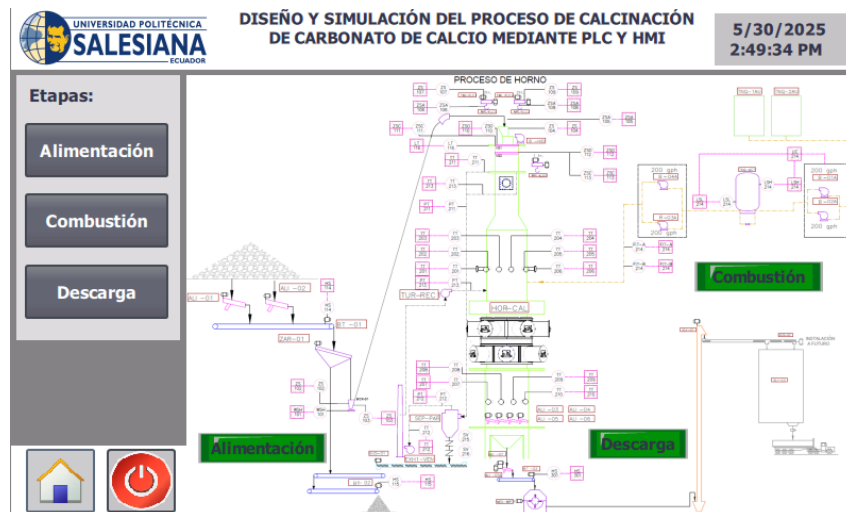
A continuation, se presenta las distintas pantallas en HMI:

Figura A 8
Pantalla de inicio



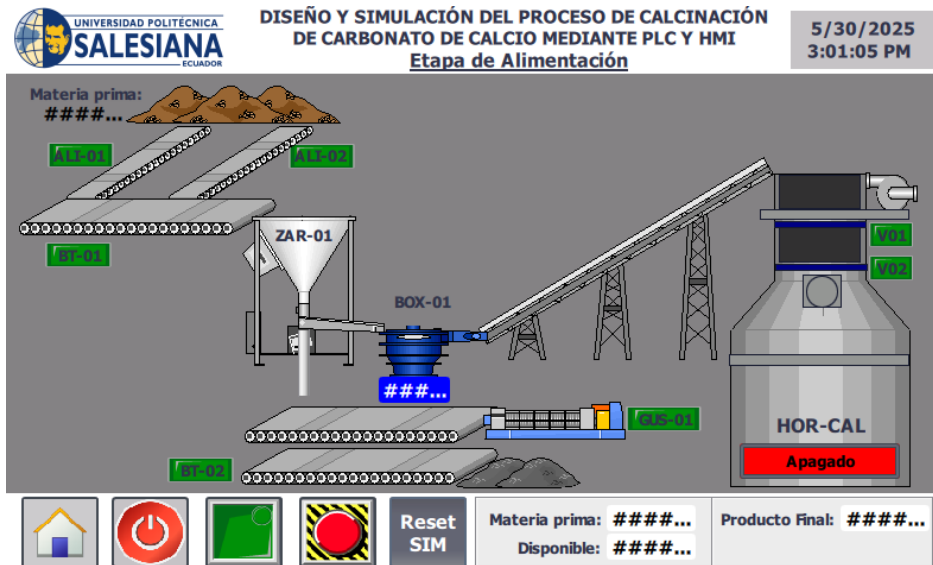
Nota. Programación materia prima

Figura A 9
Pantalla de proceso general



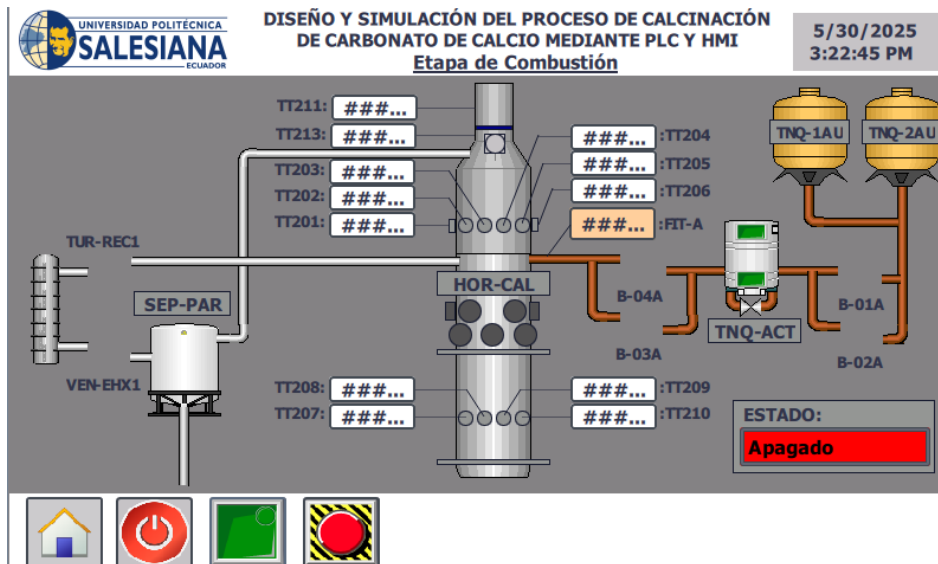
Nota. Programación materia prima

Figura A 10
Pantalla etapa de alimentación



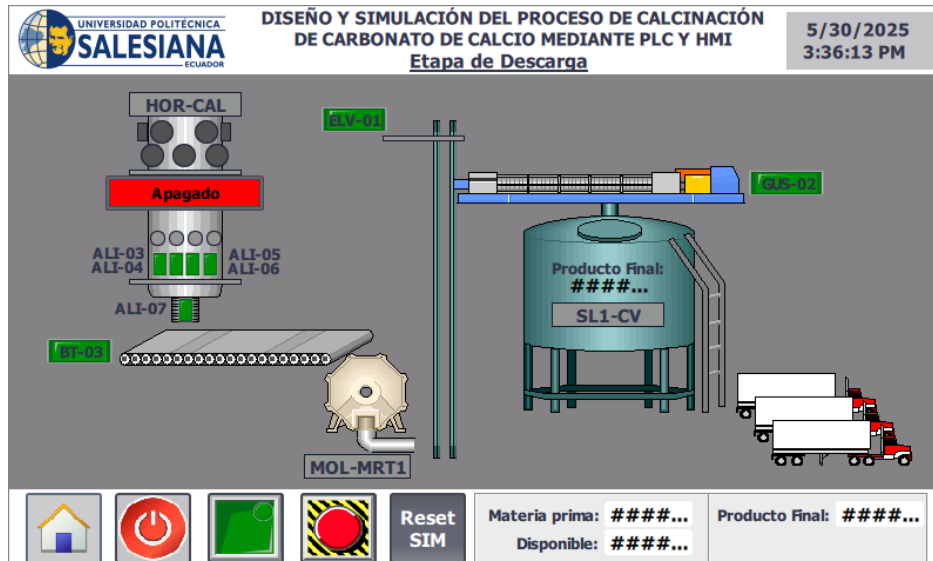
Nota. Pantalla HMI etapa de alimentación

Figura A 11
Pantalla etapa de combustión



Nota. Pantalla HMI etapa combustión

Figura A 12
Pantalla etapa de descarga



Nota. Pantalla HMI etapa de descarga