

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE
ALIMENTO BALANCEADO PARA AVES DE CORRAL
UTILIZANDO PLC 1500 Y HMI.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: ALCÍVAR MACÍAS JOSÉ ALEJANDRO

GARCÍA AROCA AARÓN ALEXANDER

TUTOR: ING. LARCO TORRES VÍCTOR DAVID, MGTR

Guayaquil – Ecuador

2025 – 2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, José Alejandro Alcívar Macías con documento de identificación N° 0951832658 y Aarón Alexander García Aroca con documento de identificación N° 0954195418; manifestamos que: Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 27 de agosto del año 2025

Atentamente

Jose Alcivar

José Alejandro Alcívar Macías

0954195418

Aarón Alexander García Aroca

Aarón Alexander García Aroca

0954195418

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

Nosotros, José Alejandro Alcívar Macías con documento de identificación N° 0951832658 y Aarón Alexander García Aroca con documento de identificación N° 0954195418, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño y simulación del proceso de elaboración de alimento balanceado para aves de corral utilizando PLC 1500 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, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de agosto del año 2025.

Atentamente,



José Alejandro Alcívar Macías

0951832658



Aarón Alexander García Aroca

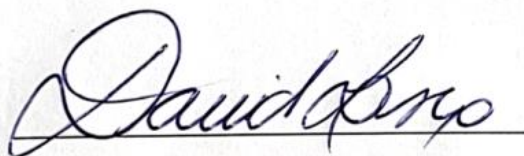
0954195418

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Larco Torres Víctor David, Mgtr con documento de identificación N° 0923270136, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño y simulación del proceso de elaboración de alimento balanceado para aves de corral utilizando PLC 1500 y HMI”, realizado por José Alejandro Alcívar Macías con documento de identificación N° 0951832658 y Aarón Alexander García Aroca con documento de identificación N° 0931066377, 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, 27 de agosto del año 2025.

Atentamente,



Ing. Larco Torres Víctor David, Mgtr

C.I. 0923270136

DEDICATORIA

Dedico a Dios, porque sin el esto no soy nada y sin su ayuda esto no hubiera sido posible, luego a Mi madre Celia Aroca, quien es mi motor y mi mayor inspiración por lo que nunca me rindo por el sacrificio que realizo por darme una buena educación, por enseñarme que los sueños se acaban cuando el soñador deja de soñar y formarme bajo el temor y dirección de Dios.

A mi ayuda idónea Kelly Solís la que por muchos años ha sido ese apoyo y esa persona que en todo momento me ha aguantado y siempre me da confianza y seguridad que todo lo que me proponga lo puedo conseguir.

A mi papá y a mi hermano que siempre han estado ante cualquier adversidad y me formaron como el hombre que soy por su amor incondicional y sus consejos. A mi Tía Sara Aroca, Mi Abuela Andrea Villamar, Juan Aroca, quien desde muy pequeño me cuidaron y han sido las personas que han estado apoyándome y más en estos momentos que no está mi cucha conmigo

Aarón Alexander Garcia Aroca

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi madre, quien ha sabido educarme con valores y principios que han forjado mi carácter y me han permitido avanzar incluso en medio de las adversidades.

A mi padre, cuya voz siempre me impulsó a seguir adelante, y cuyo ejemplo de perseverancia y búsqueda constante de soluciones ha sido mi guía en este camino.

A mi compañera de vida, Anny Vera, y a nuestro futuro hijo, quienes han sido mi mayor motivación para no rendirme. Ellos representan la razón por la cual me esfuerzo cada día, con el firme propósito de ser un ejemplo y construir un futuro digno para nuestra familia. Y a mi querido Club Deportivo El Nacional, que en estos años me ha regalado alegrías y enseñanzas. Su fidelidad a los principios, incluso en la derrota, ha sido un modelo de constancia y superación que también me ha inspirado a alcanzar mis metas.

José Alejandro Alcívar Macías

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiar mi camino para alcanzar las metas que me planteé y llegar hoy a ser un profesional.

A la Universidad Politécnica Salesiana que me permitió cursar por sus aulas para darme la mejor enseñanza y llevar con orgullo el título obtenido de esta prestigiosa institución. A mi Tutor, Ing. Víctor Larco también al Ing. Orlando Barcia que ha sido mi docente desde inicio de la carrera gran persona y profesional gran docente. Al Ing. Geovanny Garcia, Ing. Rafael Franco los conozco muy poco, pero han sido docente muy estricto que me han enseñado que cada sacrificio tiene su recompensa

Por último, a mi grupito de compañeros a mi compañero de Tesis hincha a muerte del Nacho por su amistad y por cada momento lindo que hemos pasado.

Aarón Alexander Garcia Aroca

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser la voz en mi conciencia que me ha recordado que todo sacrificio tiene sentido y que los obstáculos que se presentan son proporcionales a la fortaleza que Él ha depositado en mí. A mis padres, por su paciencia, amor incondicional y por no dejarme caer en los momentos más difíciles.

Este logro es, en gran medida, suyo, y no existen palabras suficientes para expresar cuánto los amo y lo agradecido que estoy por tenerlos. También quiero expresar mi agradecimiento al Club Deportivo El Nacional, institución que ha sido parte de mi vida y fuente constante de inspiración. Y finalmente, a mi esposa, Anny Vera, quien ha sido mi confidente, mi apoyo constante y mi fuente de sabiduría emocional. A ella le he compartido cada victoria y cada tropiezo, y con sus palabras precisas ha sabido impulsarme a continuar cuando más lo necesitaba.

José Alejandro Alcívar Macías

Resumen

En el presente proyecto técnica se documentan las fases de diseño, simulación y puesta en marcha de un sistema automatizado destinado a la formulación de compuestos alimenticios para avicultura, cuya operación es comandada por un autómata S7-1500 y cuya supervisión se lleva a cabo mediante un módulo HMI. La solución fue desarrollada empleando la plataforma TIA Portal versión 15.1. Gracias a la integración de estos entornos, se logró un ajuste fino de los tres parámetros del controlador proporcional, integral y derivativo, lo que a su vez aseguró un comportamiento dinámico estable en la sección de molienda del sistema.

El control PID se implantó para regular las variables de mayor incidencia en la calidad del proceso, tales como la velocidad de los motores de transporte, los niveles de las tolvas y el caudal de material a procesar. De esta manera se garantiza la consistencia y homogeneidad del alimento balanceado producido.

Palabras clave: Autómata S7-1500, TIA Portal, control PID, balanceado para aves.

Abstract

This technical report documents the design, simulation, and commissioning phases of an automated system for the formulation of feed compounds for poultry farming. The system is controlled by an S7-1500 controller and supervised by an HMI module. The solution was developed using the TIA Portal version 15.1 platform. Thanks to the integration of these environments, fine-tuning of the three parameters of the proportional, integral, and derivative controller was achieved, which in turn ensured stable dynamic behavior in the milling section of the system.

PID control was implemented to regulate the variables with the greatest impact on process quality, such as the speed of the conveyor motors, hopper levels, and the flow rate of the material to be processed. This ensures the consistency and homogeneity of the feed produced.

Keywords: S7-1500 PLC, TIA Portal, PID control, poultry balancing

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1. Alimentos balanceados	1
1.2. Proceso de elaboración de alimentos balanceados.....	1
1.3. Concepto de PLC	2
1.4. Concepto de HMI.....	4
1.5. Variador de frecuencia (VFD)	5
1.6. Controles PID	6
1.7. Software TIA Portal.....	7
2. METODOLOGÍA	7
2.1. Diseño de la interfaz	8
2.1.1. Acopio de materia prima	10
2.1.2. Molienda.....	11
2.1.3. Mezclado	14
2.1.4. Paletizado y extrusión.....	15
2.1.5. Enfriado y Secado:.....	16
2.1.6. Empaquetamiento	18
2.2. Programación del PLC.....	19
2.3. Segmentación de cada network para cada parte del proceso	20
2.3. PLC TAGS.....	34
2.4. Variables de Entrada	35
2.5. Variable de Salida	36
2.6. Implementación de la práctica en la etapa de molienda.	36
2.7. Control PID Para realizar el control PID	37
2.7.1. PID Compact	38
2.8. Implementación de la etapa de Molienda	40
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
3.7. Programación del sistema de gestión imitada versus análisis.....	42
3.3.1. Tiempos de reacción	43
3.3.2. Comportamiento del sistema:	43
3.4. Configuración y calibración:	43

3.4.1. Análisis del controlador Pregunta.....	43
3.4.2. Resultados de simulación	44
4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	45
5. PRESUPUESTO	46
6. CONCLUSIONES	47
7. RECOMENDACIONES	48
8. BIBLIOGRAFÍA.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Proceso para la elaboración de alimentos balanceados</i>	2
Figura 2 <i>Controlador lógico programable PLC</i>	3
Figura 3 <i>Pantallas HMI de Tamaki Controls</i>	5
Figura 4 <i>Variadores de frecuencia</i>	6
Figura 5 <i>Control PID</i>	7
Figura 6 <i>Presentación inicio del proyecto</i>	9
Figura 7 <i>Proceso general</i>	9
Figura 8 <i>Proceso con tolvas llenas</i>	10
Figura 9 <i>Proceso de recepción, pesaje y almacenamiento</i>	11
Figura 10 <i>Proceso de molienda de ingredientes</i>	13
Figura 11 <i>Venta de ingreso de datos</i>	13
Figura 12 <i>Proceso de paletizado</i>	16
Figura 13 <i>Enfriamiento</i>	17
Figura 14 <i>Empaquetamiento</i>	18
Figura 15 <i>Pantalla de carga de inicio de TIA PORTAL V18</i>	19
Figura 16 <i>Ventana para crear un nuevo proyecto</i>	20
Figura 17 <i>Condiciones de las variables de inicio</i>	21
Figura 18 <i>Inicio de la programación</i>	22
Figura 19 <i>Secuencia de control del proyecto</i>	22
Figura 20 <i>Proceso de la primera tolva</i>	23
Figura 21 <i>Temporizador de la primera tolva</i>	24
Figura 22 <i>Proceso de elaboración automatizado</i>	25
Figura 23 <i>Fase de dosificación</i>	26
Figura 24 <i>Válvulas de tolvas dosificado</i>	26
Figura 25 <i>Electroválvula</i>	27
Figura 26 <i>Proceso de mezclado</i>	28
Figura 27 <i>Motor de mezclador</i>	28
Figura 28 <i>Proceso de molienda</i>	29
Figura 29 <i>Motor del molino</i>	29
Figura 30 <i>Proceso de paletizado</i>	30
Figura 31 <i>Motor peletizador</i>	31
Figura 32 <i>Proceso de enfriado</i>	31

Figura 33 <i>Turbina de enfriado</i>	32
Figura 34 <i>Proceso de empaquetamiento</i>	32
Figura 35 <i>Válvula de llenado</i>	33
Figura 36 <i>Conteo de sacos completados</i>	34
Figura 37 <i>PLC tags</i>	34
Figura 38 <i>PLc tags</i>	35
Figura 39 <i>Variables de entrada</i>	35
Figura 40 <i>Variable de salida</i>	36
Figura 41 <i>Proceso de molienda</i>	37
Figura 42 <i>PID Compact</i>	38
Figura 43 <i>Bloque PID</i>	39
Figura 44 <i>Sintonización PID</i>	40
Figura 45 <i>Implementación física del programa</i>	41
Figura 46 <i>Implementación final del proyecto como se observa en la Figura 47</i>	41
Figura 47 <i>Simulación</i>	42

INTRODUCCIÓN

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Alimentos balanceados

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1643:2013 define alimento para animales como la “mezcla de nutrientes que cubren los requerimientos de cada especie, edad, condición o sistema de producción a que se destina el animal” (INEN, 2013, pág. 2). De acuerdo con su clasificación se encuentran los “alimentos simples de origen vegetal, animal, mineral; compuestos completos, balanceados o piensos, concentrados, medicados y funcionales” (INEN, 2013, pág. 11).

El alimento compuesto completo, balanceado o pienso, se denomina a la “mezcla de alimentos simples, de acuerdo con una fórmula específica, para ser suministrada como la única ración destinada al mantenimiento y/o producción, sin consumir ninguna otra sustancia, a excepción del agua” (INEN, 2013, pág. 3).

La norma es clara al especificar que estas mezclas deben cumplir con las características físicas, químicas y biológicas para proporcionar una dieta balanceada y que contenga todos los nutrientes necesarios, tanto en calidad como en cantidad.

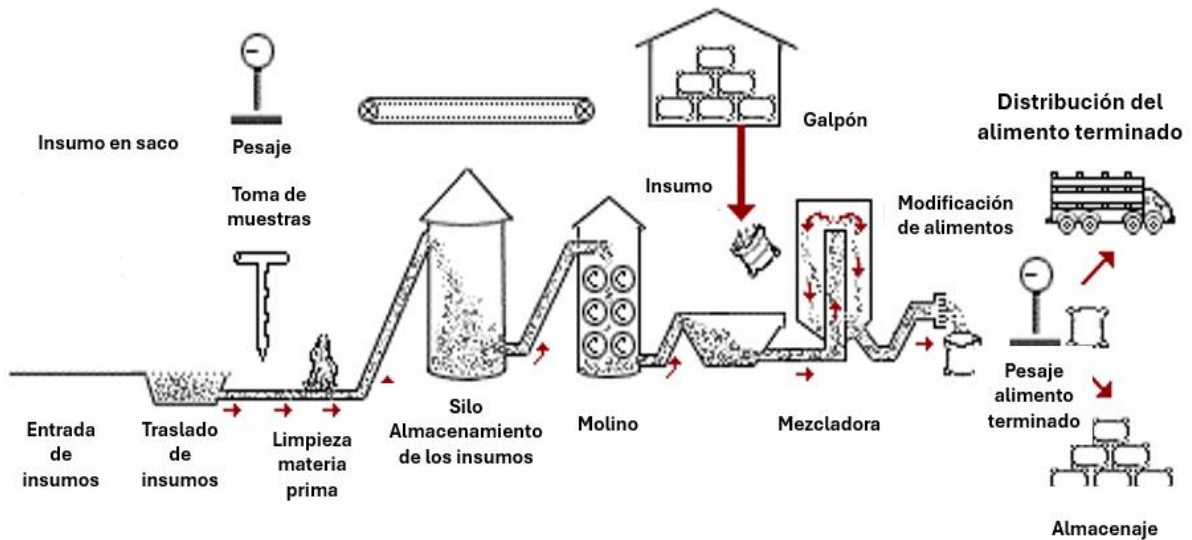
1.2. Proceso de elaboración de alimentos balanceados

La producción de alimentos balanceados en Ecuador ha ido en aumento, con una alta demanda de balanceado avícola con una producción del 54% (Avi Nexw, 2024). La producción de balanceado para aves de corral se concentra principalmente en las provincias de El Oro, Manabí, Guayas, sin embargo, en las otras provincias también se produce este alimento, aunque en menor proporción.

El proceso para la elaboración del alimento balanceado inicia con la recepción de materia prima, el pesaje y el control de calidad de esta. Los granos seleccionados deben estar libres de fungicidas y evitar la contaminación microbiológica al momento de la recepción. Seguido de esta primera fase pasa al molino, dosificación, mezcla, pesaje del alimento terminado, almacenaje y está listo para la distribución del alimento terminado como se ve en la Figura 1.

Figura 1

Proceso para la elaboración de alimentos balanceados



Nota: Tomado del Programa de Fundamentos de Producción – Fábrica de Alimentos, realizado por alumnos de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Pontificia Universidad Católica de Chile, 2020)

1.3. Concepto de PLC

Como una de las últimas novedades en las industriales se encuentra el PLC, o Controlador Lógico Programable; se trata de una computadora industrial que busca la automatización de las etapas de procesos en una línea de producción, motivo por el cual tiene bajo su control el manejo de los sistemas de las máquinas (SDI Industrial, 2024).

Conocidos como PLC, porque controlan las operaciones de las líneas de producción, efectúan el monitoreo de sistemas complejos y optimizan el desempeño. Los sistemas automatizados con PLC permiten la implementación de modernas tecnologías para la sustitución del trabajo manual por el control automático de procesos, lo cual incrementa la exactitud, rapidez y la homogeneidad de los productos que para su medición se requieren (SDI Industrial, 2024).

En la Figura 2 se aprecia varios modelos de PLC.

Figura 2

Controlador lógico programable PLC



Nota. Tomado de Automatización e Instrumentos ASOCIE, Controladores Lógicos programables (PLCs), (2021).

Los PLC están estructurados de la siguiente manera:

- Unidad central de proceso
- Módulos de entrada
- Módulos de salida
- Interfaces
- Fuente de alimentación

1.4. Concepto de HMI

Una interfaz hombre-máquina (HMI) se refiere a un control o interfaz de usuario que conecta a un usuario con una máquina, sistema o dispositivo particular. El término se aplica de manera más amplia que la HMI para procesos industriales, ya que es cualquier pantalla que permite la interacción del usuario con un dispositivo (Herrero, 2017).

En ciertos aspectos, las HMI son similares a las GUI y el primer término no implica que los dos sean análogos; el segundo término se utiliza al referirse a la incorporación de capacidades de visualización dentro de la HMI.

En contextos industriales, las HMI permiten realizar las siguientes funciones:

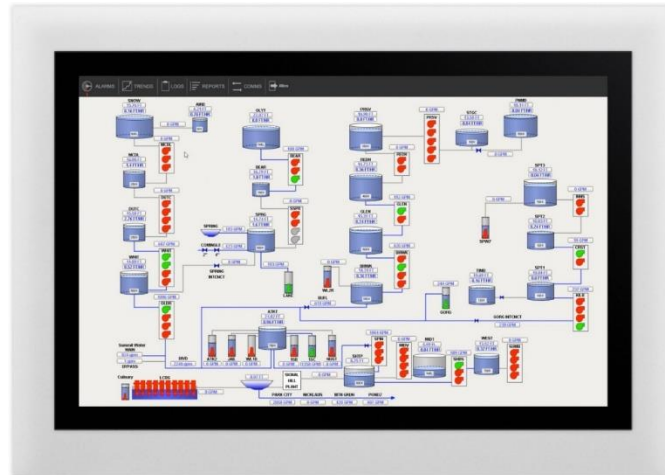
- Visualizar la información
- Realizar el seguimiento de producción, chequeo de etiquetas, y análisis de tendencias
- Medir el KPI correspondiente
- Controlar las entradas y salidas de la máquina

Los tipos más simples de HMI son: los monitores y tabletas, así como las pantallas en las máquinas. Sin embargo, independientemente de la forma que tomen o el nombre que se les asigne, cumplen la misma función: reportar el avance y desempeño de los componentes del sistema mecánico (Caballero & Muscará, 2018).

En la Figura 3 se puede observar algunas pantallas HMI de Tamaki Controls.

Figura 3

Pantallas HMI de Tamaki Controls



Nota. Tomado de Inductive Automatin, HMI: Human-Machine Interface, (2021).

1.5. Variador de frecuencia (VFD)

Un variador de frecuencia son sistemas aplicados tanto en electrónica como en mecánica para monitorear los movimientos rotacionales de los motores de corriente alterna. Un variador de frecuencia o alternador de velocidad actúa como un variador de velocidad porque controla la frecuencia y la alimentación de energía a través del motor.

Además, los conductores de corriente alternan se conocen como Controladores Ajustables de Frecuencia (CAF) o VVVF (convertidor de voltaje y frecuencia), mientras que algunos contratistas de suministro de energía auxiliar son microcontroladores o inversores, dependiendo del nivel de voltaje en el que operan (ACI Maser, 2014).

En la Figura 4 se aprecia los VFD.

Figura 4

Variadores de frecuencia



Nota. Tomado de Darwin Motino, Controladores lógicos programables (Controlador Logico (PLC) , 2024).

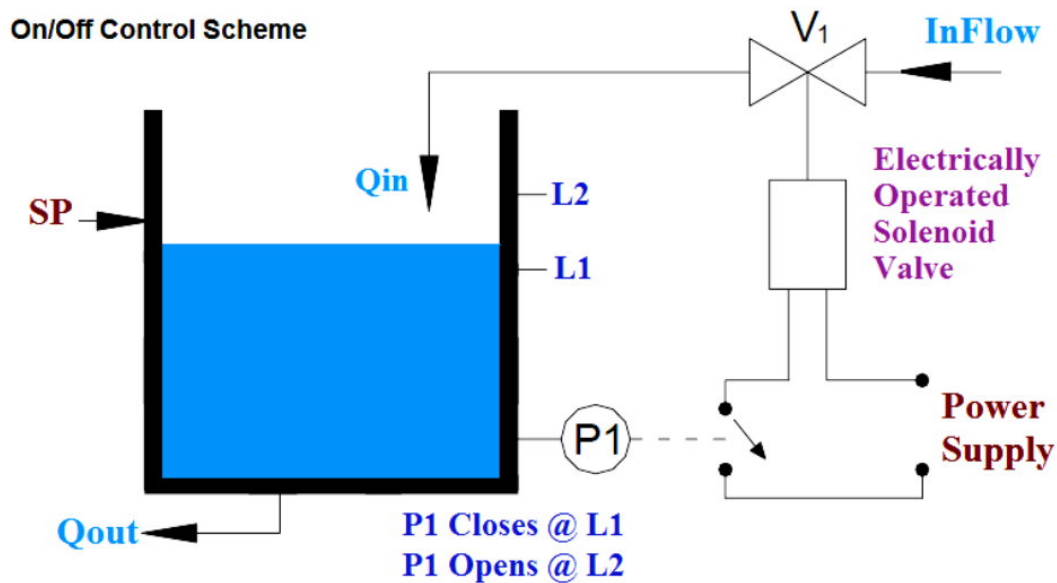
1.6. Controles PID

Los controladores PID (proporcional, integral y derivativo) son un componente fundamental de los sistemas modernos de control y automatización. Su operación se basa en un sistema de control de retroalimentación de bucle cerrado que modifica continuamente las salidas en función de la diferencia entre el valor medido y un punto de ajuste (Smith, 2024). Es el método de control principal que se requiere en muchas industrias, como el procesamiento de alimentos, extrusión de plástico, semiconductores, etc., estas industrias a menudo necesitan control de precisión y el exceso debe ser limitado (MaxWell, 2022).

En la Figura 5 se puede observar una demostración de on/off Control Scheme.

Figura 5

Control PID



Nota. Tomado de MaxWell, ¿Qué es el control PID y en qué se diferencia del control ON/OFF? (2022).

1.7. Software TIA Portal

Llamado así por sus siglas en inglés de Totally Integrated Automation Portal (TIA). Este software permite trabajar a los usuarios de manera más eficiente aplicando las múltiples ofertas en productos de la marca Siemens, lo que le hace factible configurar el hardware, crear nuevos programas lógicos, simulación de procesos, así como la gestión de proyectos.

Otro beneficio de TIA es la integración de datos de toda la institución lo que mejora la transparencia de la información, reduce el tiempo de comercialización y aumenta toda la productividad de la industrial (SIEMENS, 2020).

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo emplea simultáneamente un enfoque experimental y uno de simulación, con el objetivo de validar la formulación y manufactura de alimento balanceado para avicultura mediante la integración de tecnologías de automatización industrial. La metodología comienza con la construcción de un modelo funcional que

abarca las etapas críticas de molienda, mezcla, dosificación y envasado de la línea productiva.

El diseño del sistema de control se desarrolló en el entorno de ingeniería TIA Portal, utilizando la configuración y la programación del controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1500, con apoyo de la herramienta de simulación PLCSIM para la verificación previa de la lógica sin necesidad de hardware físico.

Los datos generados se sometieron a análisis comparativo, que permitió la identificación de patrones comunes y la verificación del comportamiento del sistema contra modelos teóricos. Se aporta así evidencia de la aplicabilidad de la solución en entornos industriales reales. Esta metodología asegura, además, la replicabilidad del modelo en escenarios de simulación y el entendimiento profundo de la dinámica de automatización en procesos agroindustriales.

2.1. Diseño de la interfaz

Para iniciar la fase de implementación, se procede a elaborar la interfaz de usuario HMI, la cual se desarrolla en un entorno simulado que replica una pantalla HMI física. Esta elección permite observar el proceso simulado de manera ordenada y en un formato más amplio, facilitando la validación del diseño inicial. La imagen de arranque se configura como una pantalla de presentación, que actúa como puente a la imagen principal del sistema y que se mostrará en la Figura 6.

Figura 6

Presentación inicio del proyecto



Luego de esto se procede a visualizar el proceso de cada elemento necesario para la simulación tal como se ve en la Figura 7

Figura 7

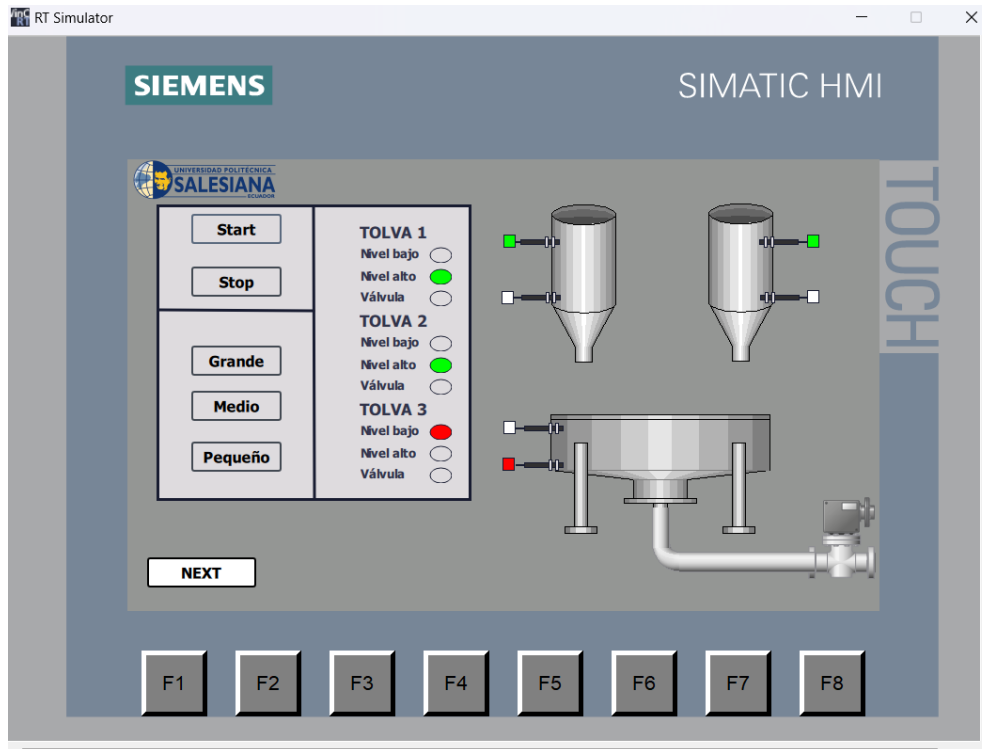
Proceso general



Se presenta a continuación la etapa durante la cual se examina la situación en la que los silos de materia prima se encuentran completamente abastecidos, tal como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Proceso con tolvas llenas

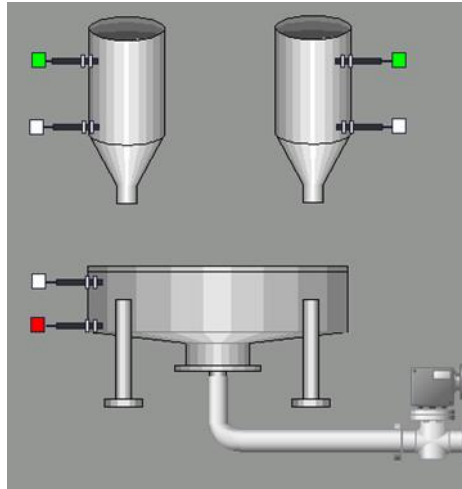


2.1.1. Acopio de materia prima

En el ámbito de acopio de materias primas, se ha identificado como desafío central la falta de una plataforma informática que organice de manera eficiente los flujos de información (Saransig, 2025) Las operaciones son, en esencia, manuales y se sustentan en aplicaciones ofimáticas rudimentarias, lo que restringe de manera notable tanto la productividad como la trazabilidad de los datos. Las etapas específicas que abarcan la recepción, el registro de peso y la posterior distribución en bodegas de captación en tolvas son representadas en la Figura 9.

Figura 9

Proceso de recepción, pesaje y almacenamiento



Secuencia del proceso

- Introducir el peso de carga de la materia prima.
- Pulsar el botón Set para visualizar el nivel de llenado de los depósitos primarios.
- A continuación, se establece el valor de la tolva principal, el cual se despliega para supervisar el llenado de la tolva principal, al tiempo que se observa el vaciado de los depósitos primarios conforme al peso previamente establecido.
- Registrar los límites de saturación.
- Si el nivel de cualquiera de los depósitos primarios o de la tolva principal se encuentra dentro del intervalo de 0 a 100 kg, se activa la señal luminosa de bajo nivel (LSB) en el panel de indicadores.
- En el caso en que el nivel alcance 100 kg, se activa la señal de alto nivel (HSB). Se procede seguidamente al ciclo de molienda.

2.1.2. Molienda

La fase de molienda se inicia con la correcta homogenización del pesaje de cada uno de los ingredientes, condición indispensable para limitar cualquier forma de variabilidad, maximizar el rendimiento y evitar una ineficiencia en el consumo de energía. En cada una de las tolvas dispuestas sobre el cuerpo del molino opera un sistema de extracción a patente, el cual aporta la materia prima desde la base a la parte superior, en concordancia con el principio de los mezcladores, a fin de que, una vez completada la homogenización de los pesos, el producto se traspase al alimentador que entrega una tasa

de alimentación ininterrumpida al molino, medida en kilogramos por hora (Cóndor & Franklin, 2021)

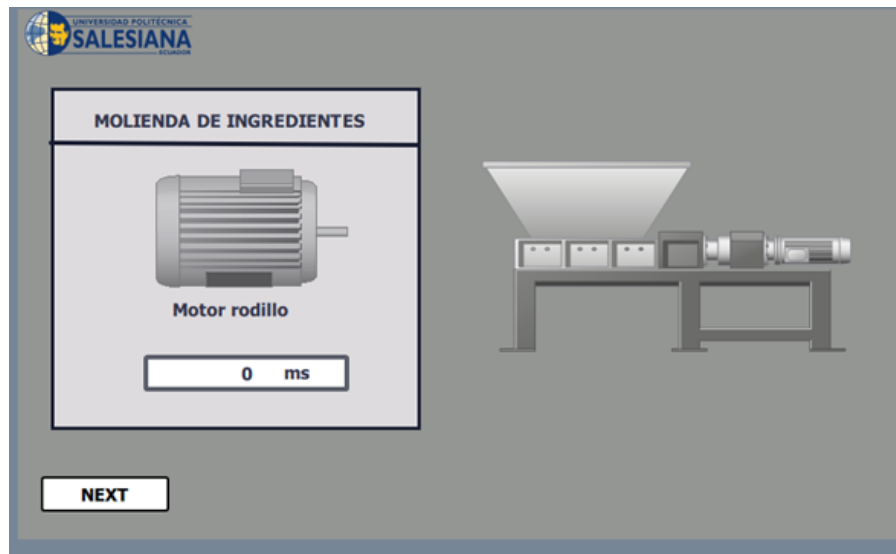
También, cuando la carga del molino regresa a las condiciones de operación nominal, la planta invierte automáticamente la secuencia de alimentación para prevenir sobrecalentamientos que comprometerían la integridad del motor coadyuvando, de forma igualmente efectiva, a la reducción de eventos de tapones en la cámara de molienda. Las materias sólidas, debidamente secas, son sometidas a un tostado mecánico en que la conmutación del brazo balancín de los martillos produce fragmentación controlada, logrando una distribución granulométrica homogénea que será, en etapas posteriores, objeto de un procesamiento. Cualitativamente, la filtración en la criba seguida de un táper persistente constituye la operación que define la textura efectiva para la alimentación, haciendo del calibrado una subvariable de control primordial.

El proceso de reducción de tamaño se basa en la acción de un número fijo de martillos que atraviesan la materia prima, forzando las partículas a pasar a través de la malla cuya abertura es menor que el diámetro impuesto por ella misma. Únicamente el material que alcanza la dimensión deseada se descarga, es decir, se expulsa por las aberturas de la criba, en línea con lo que se indicó anteriormente.

Con la finalidad de incrementar el rendimiento en la recuperación del producto, se incorporan unidades auxiliares que complementan la acción del molino. La descarga es iniciada por un ventilador de succión que establece una corriente de aire, cuya entrada se acopia en el alimentador del molino. La corriente de aire nutricional refresca el lecho de material y, a su vez, desplaza las partículas que se hallan próximas a la salida de la criba (Paredes, Cepeda, & Lozada, 2023). En la Figura 10 se presenta el proceso.

Figura 10

Proceso de molienda de ingredientes



Ventana de ingreso de datos para la molienda de ingrediente para que se active el motor. Ver Figura 11.

Figura 11

Venta de ingreso de datos



Secuencia del proceso

- Comienza con la automatizada de cada materia prima, asegurándose que cada componente se pese de manera uniforme.
- Las tolvas instaladas sobre el molino incorporan un sistema de doble leva que eleva la materia prima hacia el cuerpo del molino, pero, a la vez, evita la retroalimentación.
- Los sólidos se reducen de tamaño en un molino de martillo, el cual opera de acuerdo con variables de saturación preestablecidas que regulan el alimento.
- Un sensor de peso en la tolva primaria o en la tolva de acumulación principal genera un equipo que se encuentra en el intervalo de 0 a 100 kg, se acciona una luz piloto de estado nivel bajo en el tablero de mando.
- Si el peso en la misma tolva asciende a 100 kg, el sistema activa, asimismo, una luz piloto de estado nivel alto.

2.1.3. *Mezclado*

Durante el procedimiento de mezcla se incorporan todas las materias primas del alimento. Las fracciones sólidas, previamente reducidas a partículas finas ya sea de grano entero o de pasta, son unidas a las vitaminas, minerales y demás aditivos, así como a la sal, aceites, grasas y melazas. La adición de estos ingredientes se lleva a cabo mediante sistemas gravimétricos o de bombeo, los cuales permiten pesar cada componente a nivel de batch. El objetivo es producir una mezcla perfectamente homogénea, que se ajuste a la fórmula establecida y que, a su vez, satisfaga los requerimientos nutritivos de la especie durante la fase de crecimiento para la que está previsto, durante un tiempo de permanencia de 5 a 10 minutos.

Dicha permanencia se estudia para que todas las partículas del lote final mantengan la misma composición nutricional, asegurando que el alimento suministrado equilibre el requerimiento diario del alimento de aves. Para formular la mezcla se clasifican los ingredientes en fracciones de distinto grado de inclusión: los ingredientes de mayor aporte, como el trigo, el maíz y la harina de pescado, preceden a los de menor volumen, como las harinas refinadas y los afrechos. La misma lógica se aplica a los ingredientes menores, donde la mayoría de la tendera son minerales y los aditivos, que

actúan como aglutinantes, y los tratamientos farmacéuticos, que son de muy bajo nivel de inclusión (Celis, 2017).

Secuencia del proceso

- Se reúnen todas las materias primas sólidas que han sido trituradas en etapas previas al procesamiento.
- Acto seguido, se incorpora la dosis preestablecida de vitaminas y minerales, cuyo aporte es necesario para que el preparado final cumpla con el perfil nutricional especificado.
- Tanto las materias base como los aditivos ingresan al mezclador, que proporciona un ambiente cerrado y controlado para la siguiente etapa.
- Se activa el ciclo de mezcla programado, que ajusta la velocidad y el tiempo con el fin de asegurar una difusión homogénea de todos los ingredientes, monitorizando variables como la saturación del aire.
- Los sensores de control indican, mediante una luz piloto de nivel bajo en el panel, que el contenido en cualquiera de los silos primarios o en la tolva principal se encuentra en el intervalo de 0 a 100 Kg.
- Cuando un depósito supera los 700 Kg, se enciende la luz piloto de nivel alto, advirtiendo al operario sobre el estado de la carga

2.1.4. Paletizado y extrusión

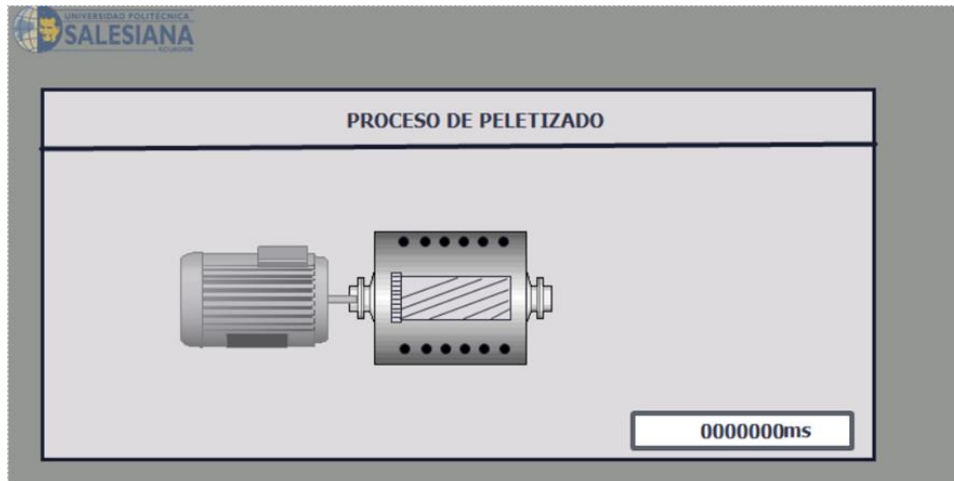
Macías (2025) señala que el procedimiento de paletización de alimentos para aves de corral se traduce en el 60% de la producción total, convirtiéndose en una etapa crítica para el crecimiento de la industria. Esta operación consiste en la compresión de mezclas previamente formuladas, que atraviesan una matriz circular que les confiere una geometría cilíndrica. Dicha fase es fundamental para lograr un alimento que, a la vez que se sumerge fácilmente, presenta una densidad específica y contiene la composición nutricional óptima exigida por la especie.

El siguiente es el proceso de extrusión, que consiste en forzar la mezcla a través de una matriz provista de orificios y así generar pellets de alta estabilidad en agua. El método confiere a los productos una calidad superior, ya que requiere tiempos de cocción más breves y, adicionalmente, minimiza la pérdida de nutrientes que son vulnerables a la

formulación térmica. Esta es el rasgo distintivo que diferenciado la extrusión de la técnica de paletización, ampliando la eficiencia industrial y los beneficios. Ver Figura 12.

Figura 12

Proceso de paletizado



Secuencia del proceso

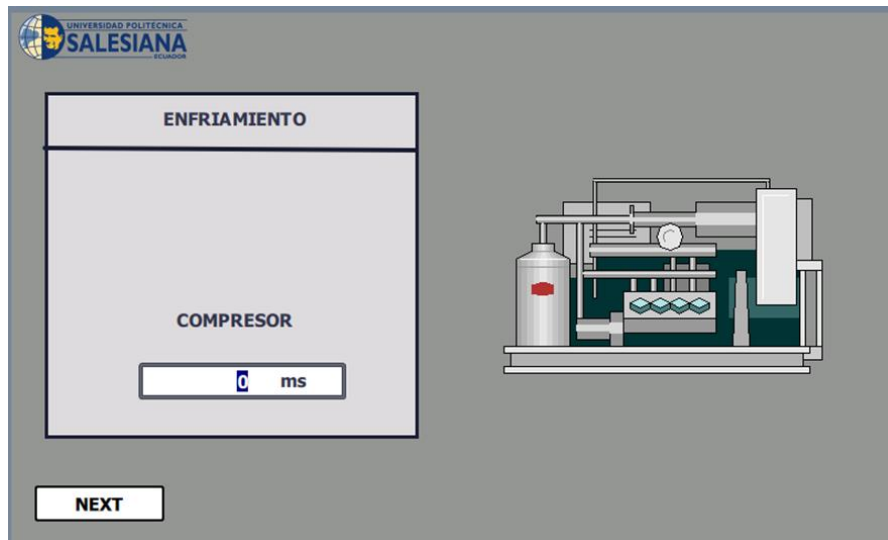
- Conformación de Pellets: La composición homogénea se alimenta a la unidad de peletización.
- Mediante un sistema de rodillos y moldes se compacta la mezcla hasta obtener pellets de diámetro y longitud estandarizados.
- Extrusión: Los pellets se trasladan a la extrusora de tornillo.
- En la cámara de extrusión se aplican calor y presión controlados, generando un producto cilíndrico, denso y régimen de estabilidad, adecuado para la nutrición de las aves de corral.

2.1.5. *Enfriado y Secado:*

Durante la fabricación de alimentos balanceados, la etapa de enfriamiento, juntamente con la extrusión y el secado, se identifica como un punto crítico para la estabilidad y calidad del producto terminado. En el sistema descrito, un enfriador de paso vertical se utiliza para permitir el desplazamiento gravitacional del alimento, mientras un ventilador induce el paso de aire a través de las columnas donde circula el producto. Esta operación permite un balance preciso de eliminación de vapor y un adecuado enfriamiento, de modo que la humedad residual se ajuste a las especificaciones previamente establecidas, como se documenta en Guerra y Reyes (2023). Ver Figura 13.

Figura 13

Enfriamiento



Secuencia del proceso

- **Enfriamiento Térmico:** Al finalizar el proceso de extrusión, los pellets presentan una elevada temperatura y requieren enfriamiento.
- En este sentido, enfriadores tipo lecho fluido o de corriente contracorriente distribuyen aire o agua, logrando una disminución gradual de la temperatura.
- **Deshidratación:** A continuación, los pellets ingresan a la zona de secado, donde se elimina la humedad residual. Un sistema de control PID ha sido programado para regular la temperatura, garantizando condiciones óptimas que eviten tanto un deficiente secado como una inadecuada conservación de la forma del producto.

VARIABLES DE SATURACIÓN

Para asegurar una reducción uniforme de la temperatura del pellet extrudido, el enfriador debe adicionar vapor de agua, llevando el producto desde un rango de 80-100 °C hasta un valor aproximado de 10 °C por encima de la temperatura ambiente (Concentrados Herrera S.A., 2010). Como parámetro crítico, la temperatura del agua de enfriamiento no debe superar los 30-32 °C, con el fin de prevenir daños térmicos del

pellet. La temperatura de secado, a su vez, se dictamina por la regulación del PID, que ajusta el perfil térmico en función de la humedad y la estabilidad requeridas del producto final.

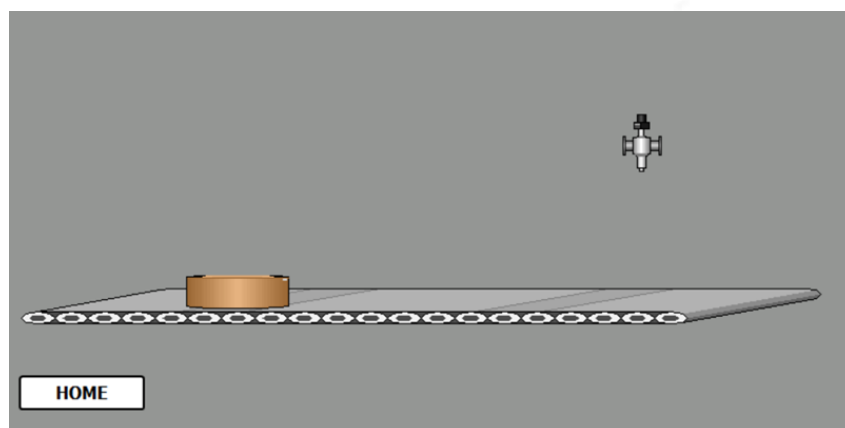
2.1.6. Empaquetamiento

La etapa final del proceso industrial de obtención de alimentos se centra en las operaciones de pesaje y ensacado, en las que el producto terminado se prepara con el fin primordial de preservar su estabilidad de forma que las características deseadas se mantengan desde la salida de la planta hasta el momento en que el consumidor lo utilice. En este punto, los criterios de calidad adquieren un carácter decisivo, puesto que se ha de garantizar en simultáneo el cumplimiento de las exigencias formales del cliente y la concordancia con las especificaciones oficiales del producto. De este modo, la proyección de la envoltura se convierte en el primer nivel de control visual para el consumidor, ya que la unidad de presentación que facilita la distribución brinda protección en los períodos de almacenamiento y otorga seguridad en la manipulación y el empleo.

El pesaje de la materia edulcorante representa, por ende, una de las operaciones centrales, para lo cual la calibración del sistema se convierte en condición sine qua non a fin de evitar variaciones que generen ni excedentes ni faltantes en la unidad de venta. Las bolsas empleadas en la línea suelen tener una capacidad estándar de 25 kg. También resulta imperativa la codificación, el registro documentado de cada transacción y, por último, el almacenamiento del producto terminado, que formaliza la conclusión del ciclo productivo. Ver Figura 14.

Figura 14

Empaquetamiento



2.2. Programación del PLC

Para la implementación del sistema se utilizó la plataforma de automatización TIA Portal.

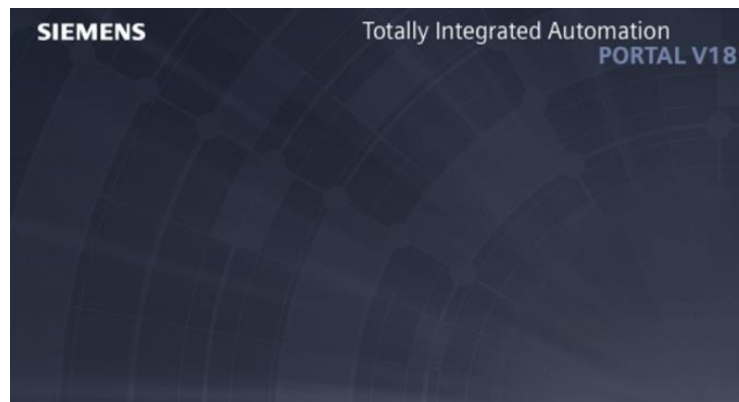
El procedimiento estándar seguido para la configuración del proyecto se resume de la siguiente manera: en primer término, se procede a iniciar la aplicación:

- Hacer clic en la opción Nuevo proyecto.
- Introducir la denominación del proyecto, la ubicación de almacenamiento, el nombre del autor y cualquier observación pertinente.
- Finalmente, confirmar la creación del proyecto presionando el botón de aceptación.

Para la implementación del sistema iniciamos el programa TIA Portal para el proyecto como observamos en la Figura 15.

Figura 15

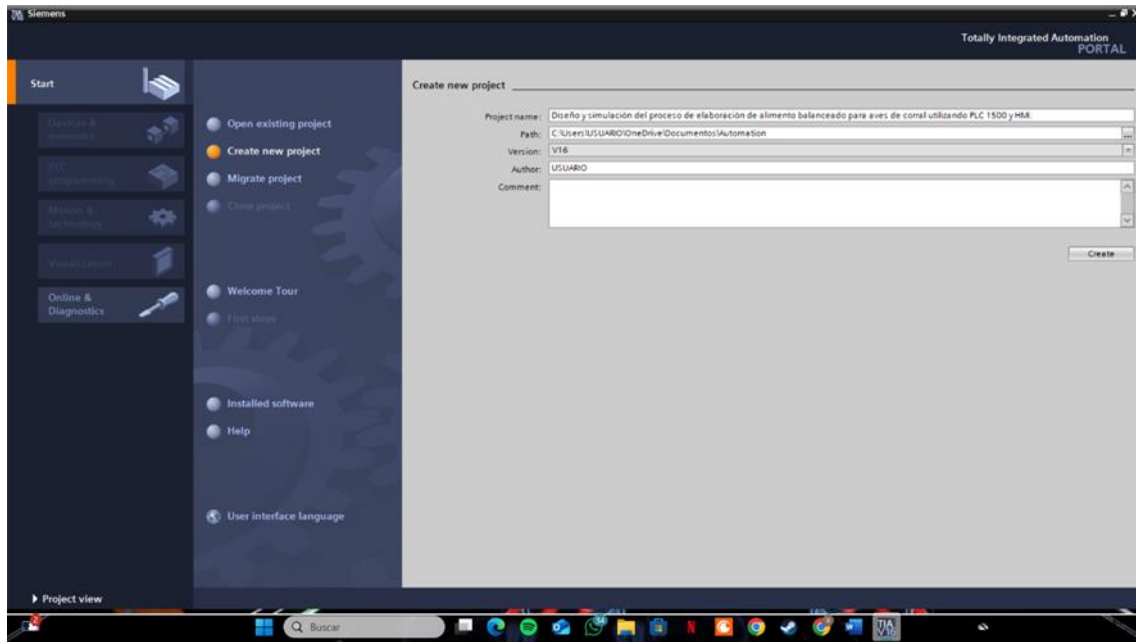
Pantalla de carga de inicio de TIA PORTAL V18



Se inicia un nuevo proyecto en el programa TIA Portal, para darle un nombre al proyecto se hace clic en el botón acceder o ingresar y se podrá ingresar como observa en la Figura 16.

Figura 16

Ventana para crear un nuevo proyecto



Después de la selección, puede visualizar la tabla con todo eso elementos que se pueden usar para comenzar a programar y pueden editar cada variable. Además, puede agregar una cantidad de bloques para comenzar a armar.

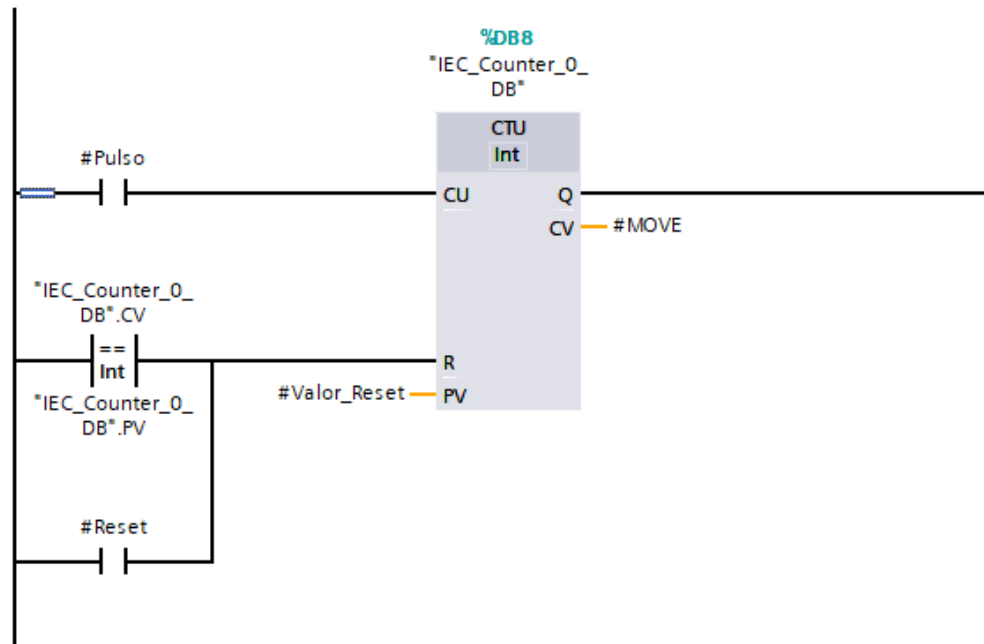
2.3. Segmentación de cada network para cada parte del proceso

Segmento 1

En el primer segmento se especifican las condiciones iniciales de las variables, facilitando así la reanudación del proceso de acuerdo con el diagrama presentado en la Figura 17.

Figura 17

Condiciones de las variables de inicio

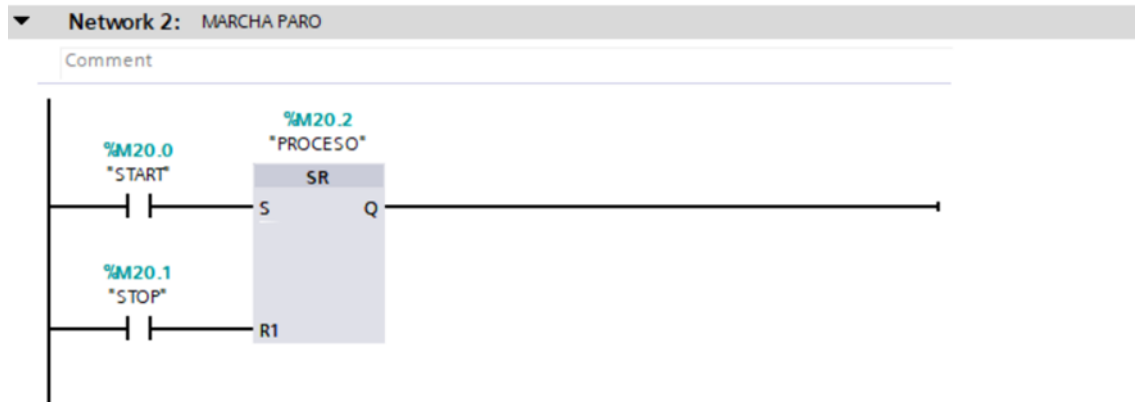


Segmento 2

La configuración de los bloques de programación se realiza mediante contadores y una serie de señales de entrada y salida, tal y como se ilustra en la Figura 19. Esta tarea se lleva a cabo en la herramienta TIA Portal, donde se localizan los elementos de programación. Se procede a seleccionar los componentes requeridos y a declarar las condiciones iniciales de las variables, mediante las cuales se establece la posibilidad de restablecer el proceso en los estados de partida de los datos (Miranda & Ruiz, 2023, pág. 45). Ver Figura 18.

Figura 18

Inicio de la programación

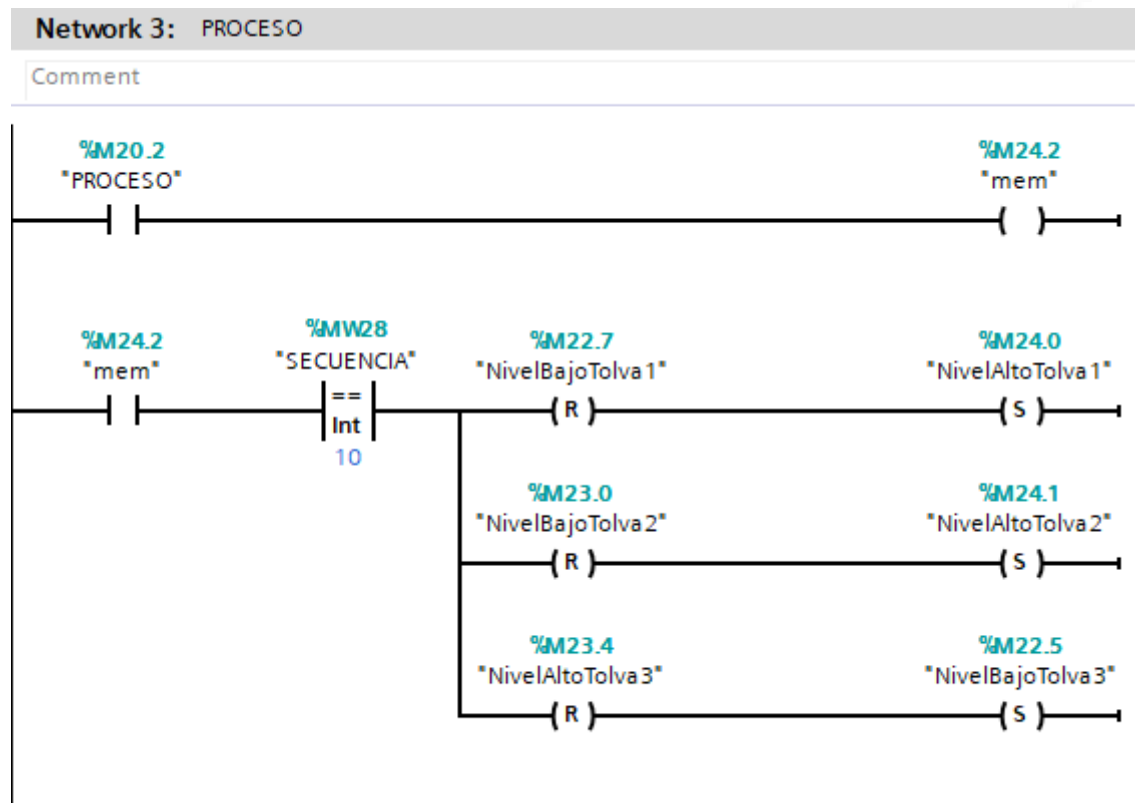


Segmento 3

Una vez terminado el primer bloque se dirige al segundo segmento ya que de ahí se realiza la secuencia de control del proyecto por etapas para el proceso, como en la Figura 19.

Figura 19

Secuencia de control del proyecto

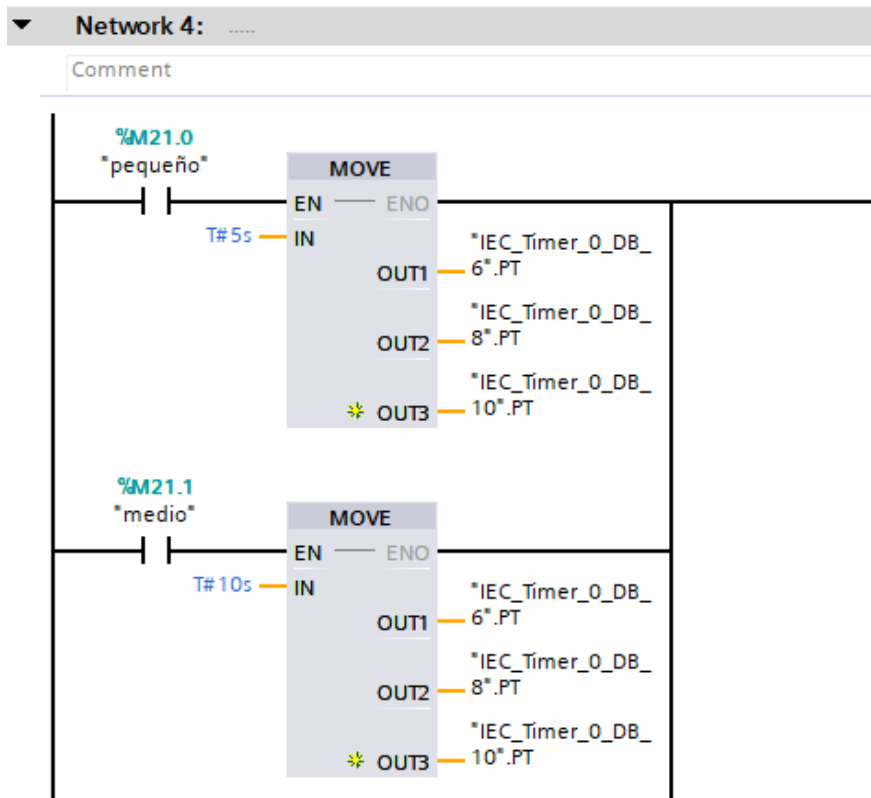


Segmento 4

En el cuarto segmento se desarrolla y detalla la programación referente a la primera etapa del proceso, la cual consiste en el llenado de las 3 tolvas de forma secuencial, se muestra el proceso de la primera tolva llamada la etapa de dosificación según la Figura 20.

Figura 20

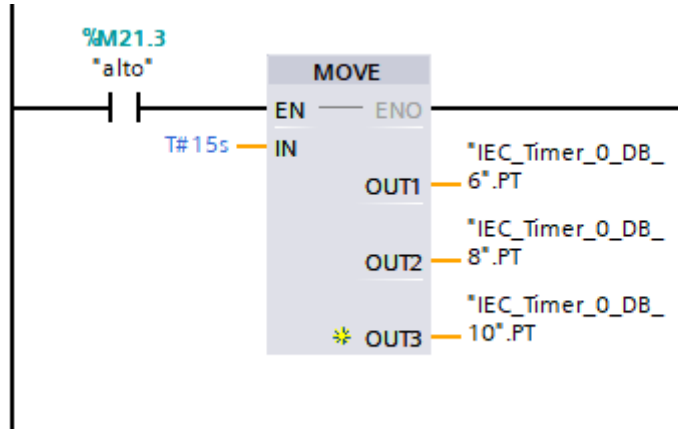
Proceso de la primera tolva



La continuación de los bloques anteriormente programado en el PLC que se observa en la figura anterior se presenta a continuación en la Figura 21.

Figura 21

Temporizador de la primera tolva

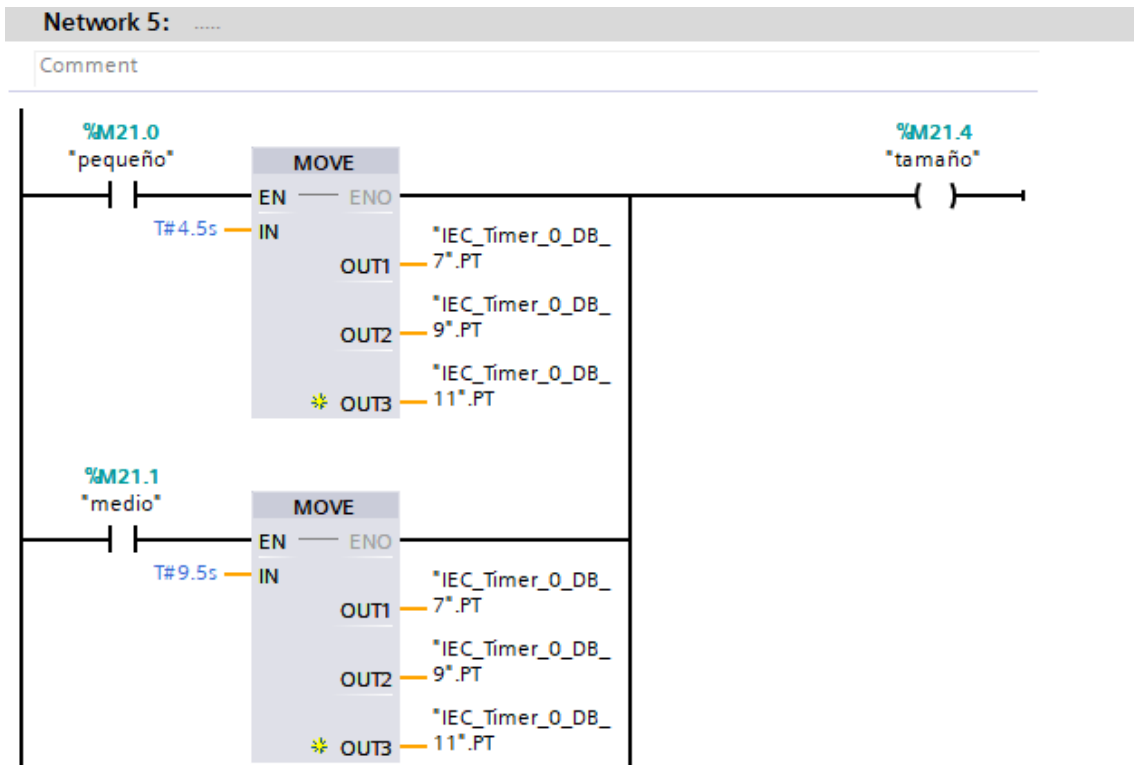


Segmento 5

A continuación, se procederá al llenado de la tolva principal con las materias primas harinas de diferentes tipos y otros componentes de modo que el sistema de elaboración automatizado inicie el ciclo de producción, como se puede observar en la Figura 22.

Figura 22

Proceso de elaboración automatizado

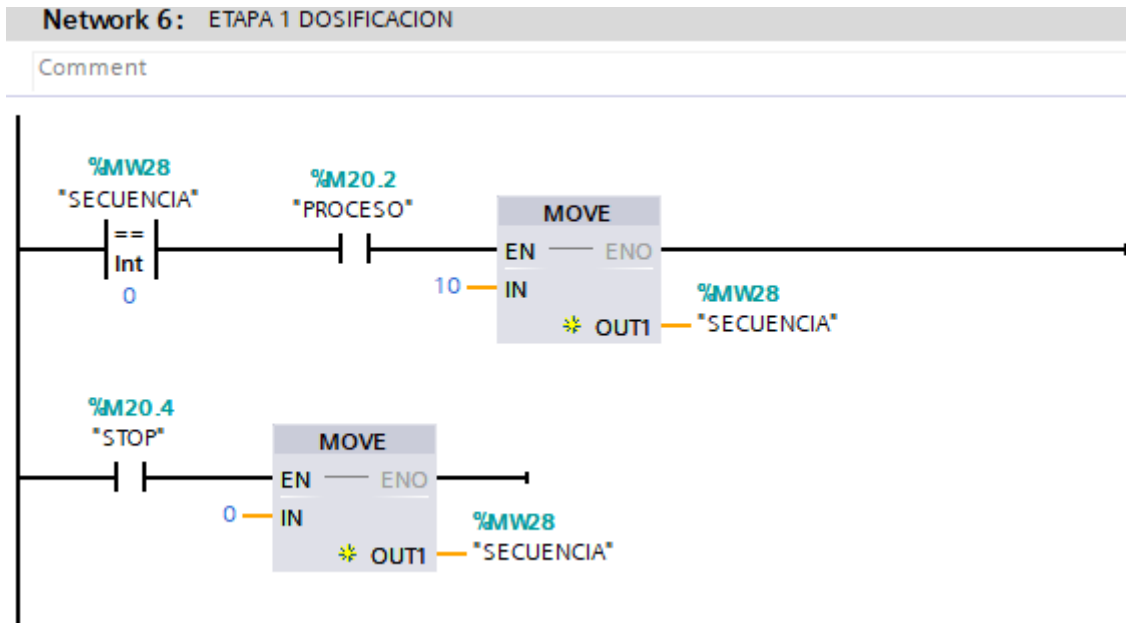


Segmento 6

La fase de dosificación es una fase crítica de los platos equilibrados en desarrollo de aves, ya que garantiza que los ingredientes se incluyan en las proporciones exactas determinadas por la fórmula nutricional. Así se aprecia en la Figura 23.

Figura 23

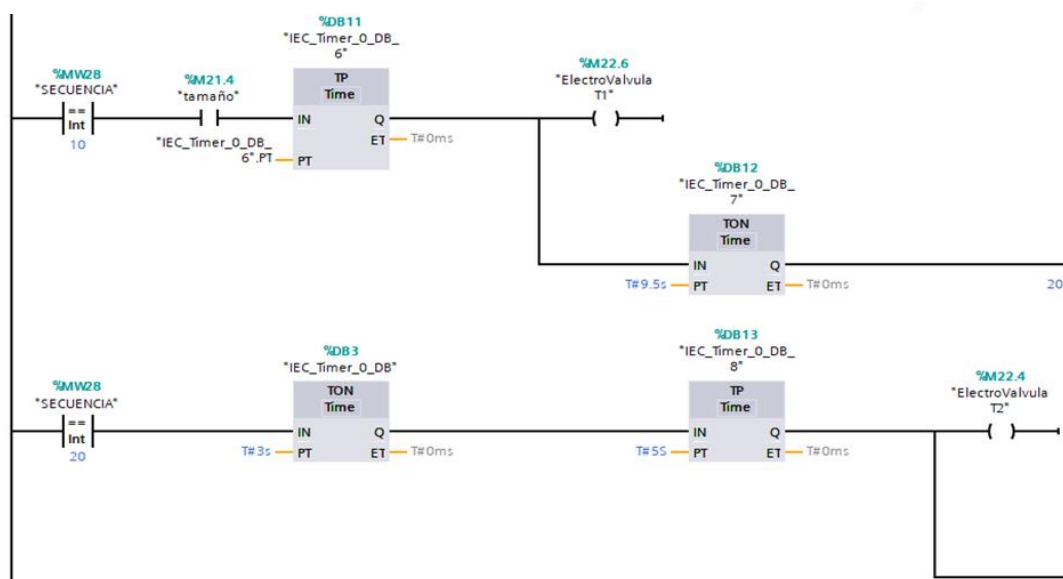
Fase de dosificación



La continuación de los bloques programado en el PLC del proceso de dosificación, la cual consiste en los temporizadores para que se active las electroválvulas como se observa en la Figura 24.

Figura 24

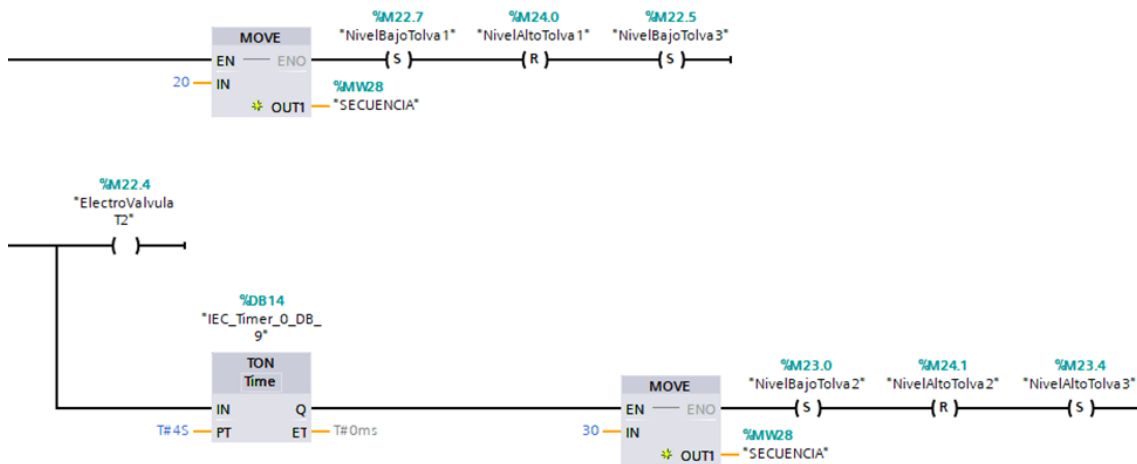
Válvulas de tolvas dosificado



Abre las electroválvulas nivel alto de la tolva como se observa en la Figura 25.

Figura 25

Electroválvula

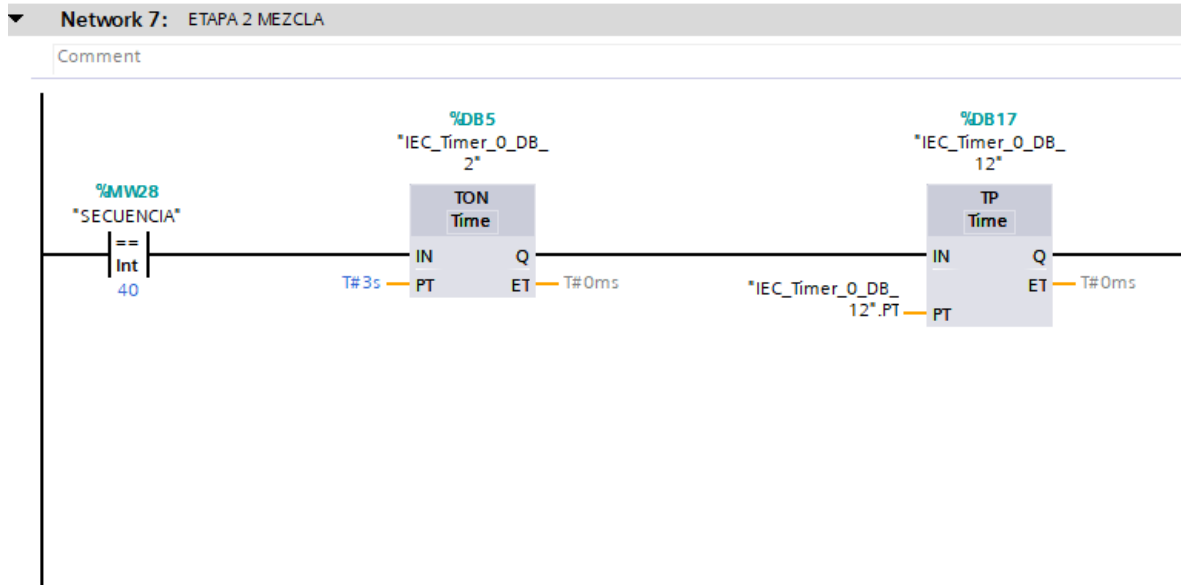


Segmento 7

El segmento 7 marca el arranque de la etapa de mezclado, momento en el que se pone en funcionamiento el ventilador de succión. Este dispositivo cumple la función de recoger el material crudo previamente molido, tal como se ilustra en la Figura 26.

Figura 26

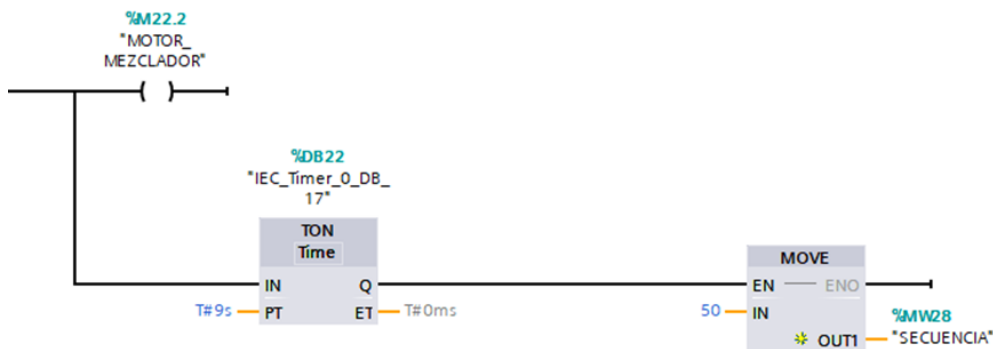
Proceso de mezclado



La continuación de los bloques programado en el PLC del proceso de la mezcla, la cual consiste en que se active el motor del mezclador como se observa en la Figura 27.

Figura 27

Motor de mezclador

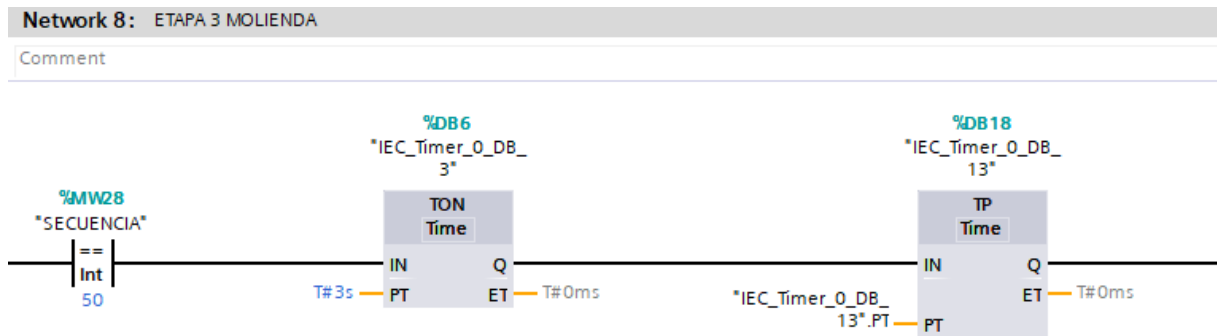


Segmento 8

Se prosigue con la etapa de molienda, la cual se inicia mediante la adecuada homogenización de los ingredientes. Posteriormente, se recurre a un mezclador de tipo Naulas, cuya operación evita la adhesión de la masa a las superficies del continente, garantizando de este modo que la materia prima fluya con la menor resistencia posible. Luego, se acciona el molino de martillos, cuya disposición se ilustra en la Figura 28, de forma que el material alcanza la molienda de partículas deseada antes de pasar a la siguiente sección del proceso.

Figura 28

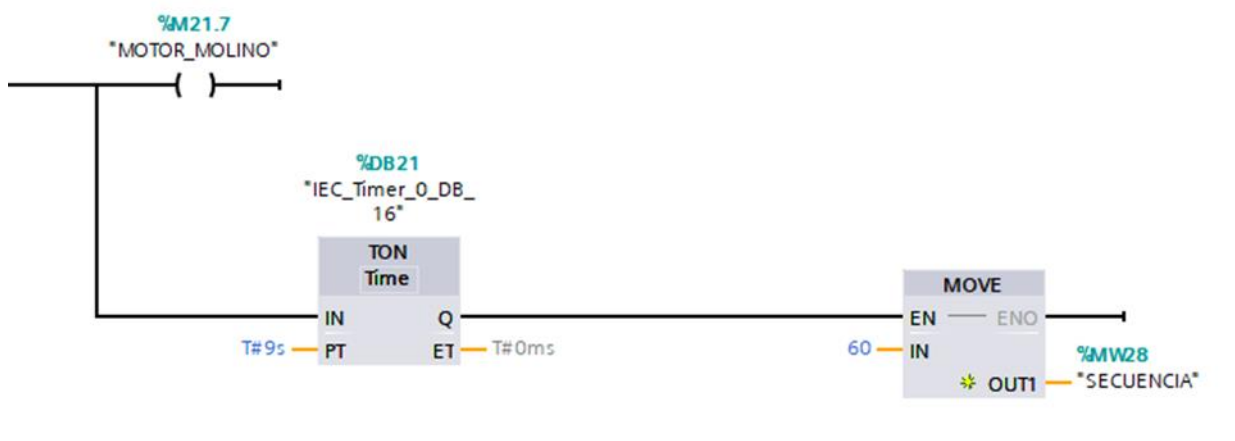
Proceso de molienda



La continuación de los bloques programado en el PLC del proceso de molienda, la cual consiste que el motor del molino se encienda como se observa en la Figura 29.

Figura 29

Motor del molino

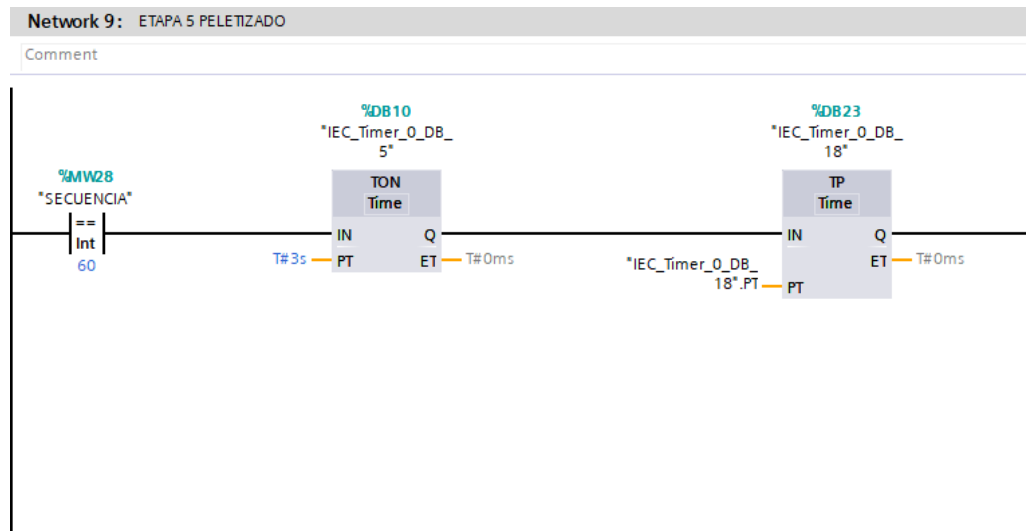


Segmento 9

Para esta fase de operación, tras la homogenización de la mezcla, se lleva a cabo el paso de paletizado, el cual consiste en la compactación de la mezcla mediante la utilización de una matriz que proporciona una geometría cilíndrica a las partículas. En este momento se induce una carga mecánica que debe ser cuidadosamente calibrada de modo que se logre el diámetro predeterminado y la densidad adecuada de los pellets. Una vez alcanzadas estas condiciones, el producto se transporta a la sección de extrusión donde se aplica calor y humedad, consolidando así la forma final y permitiendo una posterior desactivación de la matriz, según se observa en la Figura 30.

Figura 30

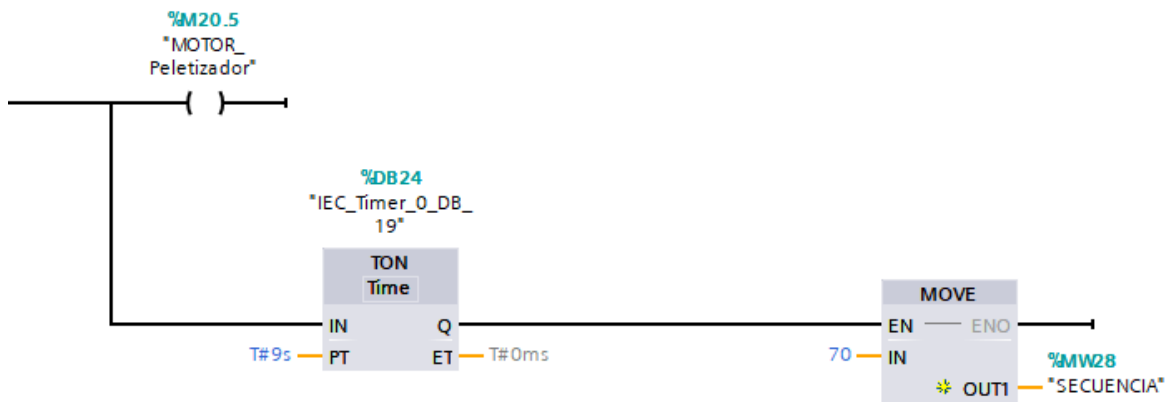
Proceso de paletizado



La continuación de los bloques programado en el PLC del proceso de la primera tolva, la cual consiste en el nivel alto como se observa en la Figura 31.

Figura 31

Motor peletizador

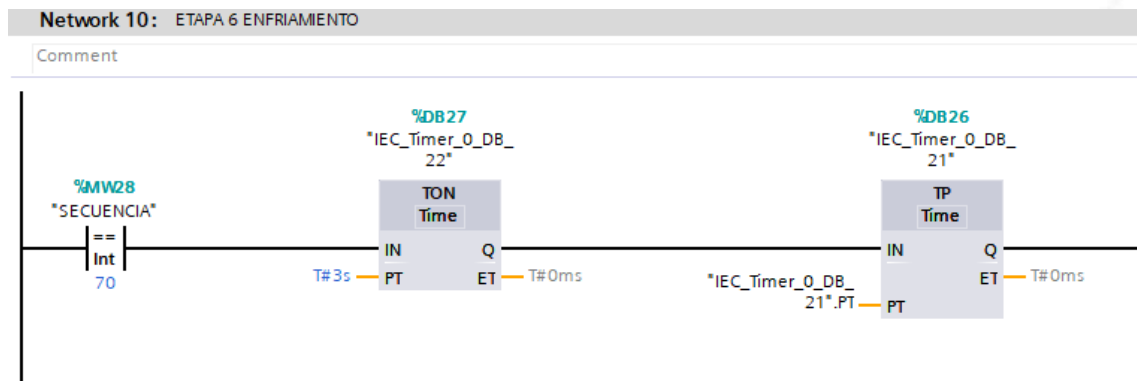


Segmento 10

En el segmento 10 se valida el procedimiento de enfriamiento que verifica el retorno a temperatura ambiente, conforme se expone en la Figura 32.

Figura 32

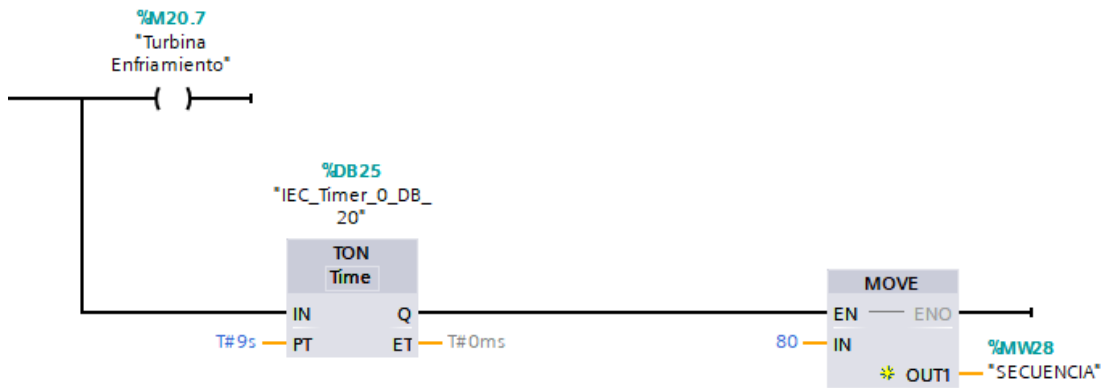
Proceso de enfriado



La continuación de los bloques programado en el PLC se enciende el motor y se activa la turbina de enfriado como en la Figura 33.

Figura 33

Turbina de enfriado

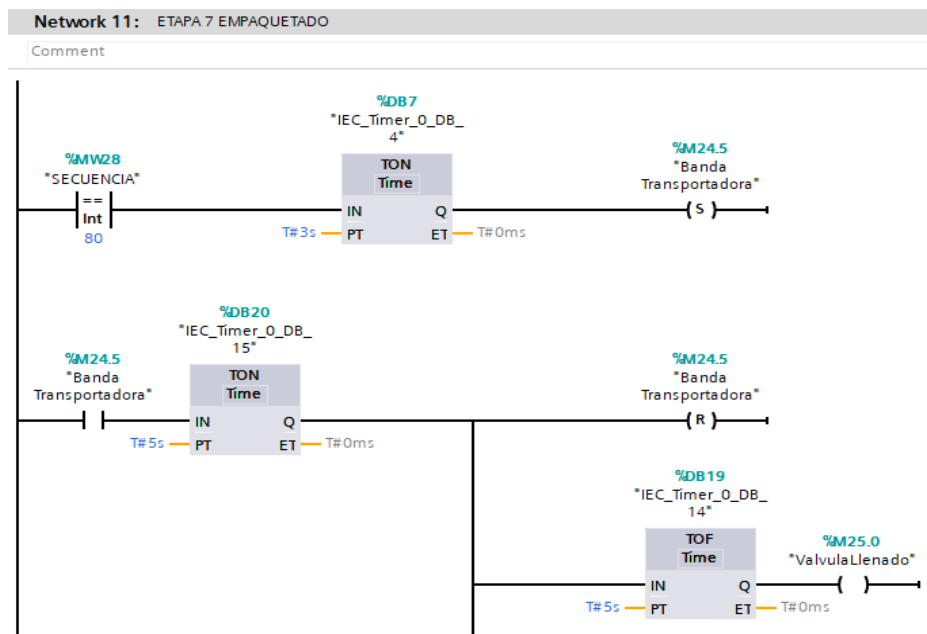


Segmento 11

Durante la operación de empaquetamiento se lleva a cabo el llenado automático de sacos, y la cantidad de materia prima que se introduce en cada uno de ellos está determinada por la masa de materia prima que se recibe, tal como se ilustra en la Figura 34.

Figura 34

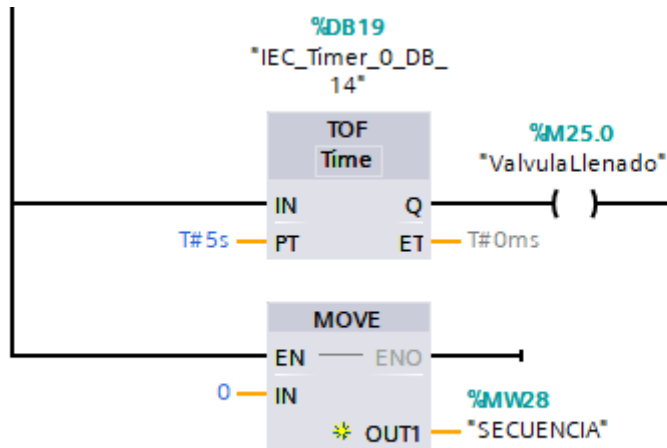
Proceso de empaquetamiento



La continuación de los bloque programado en el PLC del proceso del empaquetamiento, la cual consiste que la válvula de llenado está abierta como se observa en la Figura 35.

Figura 35

Válvula de llenado

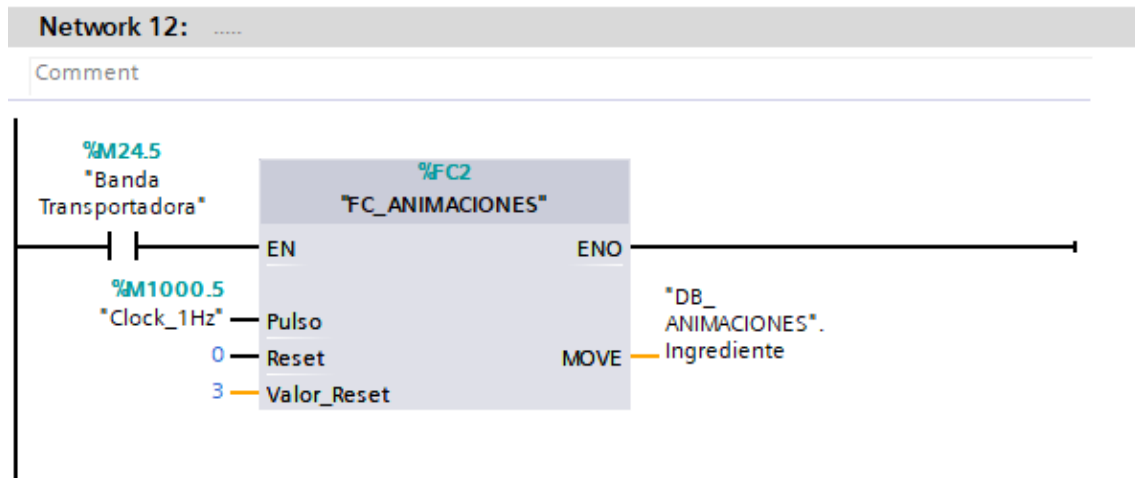


Segmento 12.

En el segmento 12 se procede a comparar la cantidad total de sacos que se han completado con el contador que se encarga de registrar el número acumulado de sacos a fin de detener la animación. Este procedimiento se ejemplifica gráficamente en la Figura 36.

Figura 36

Conteo de sacos completados

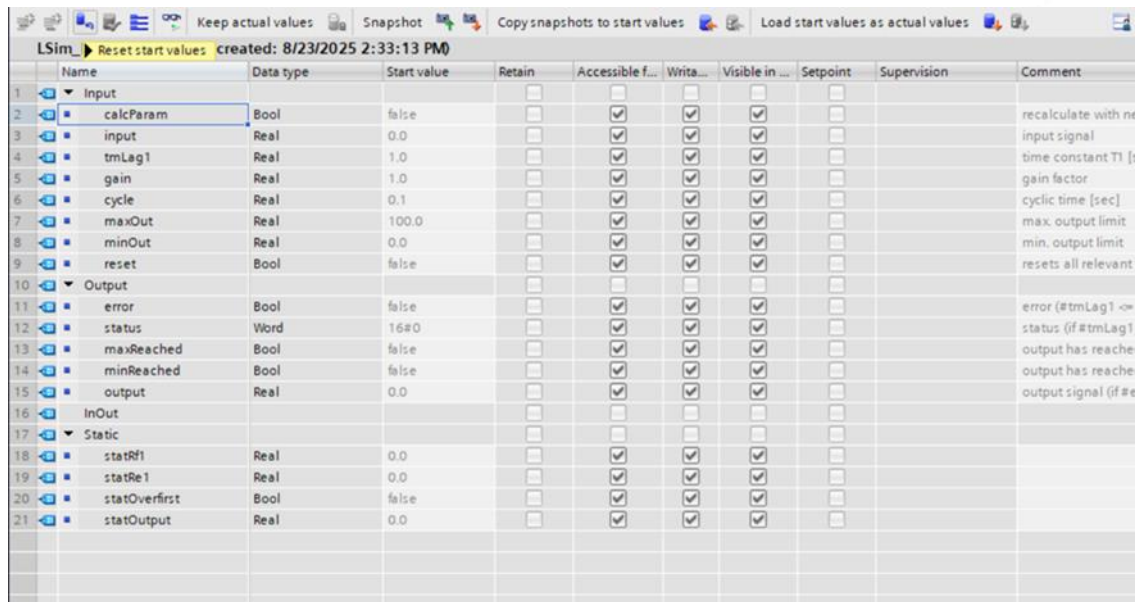


2.3. PLC TAGS

PLC tags, representado en la Figura 37, sirve para hacer un programa más organizado, seguro y fácil de entender. Son la base para que el proyecto de automatización del alimento balanceado funcione correctamente y sea fácil de mantener.

Figura 37

PLC tags

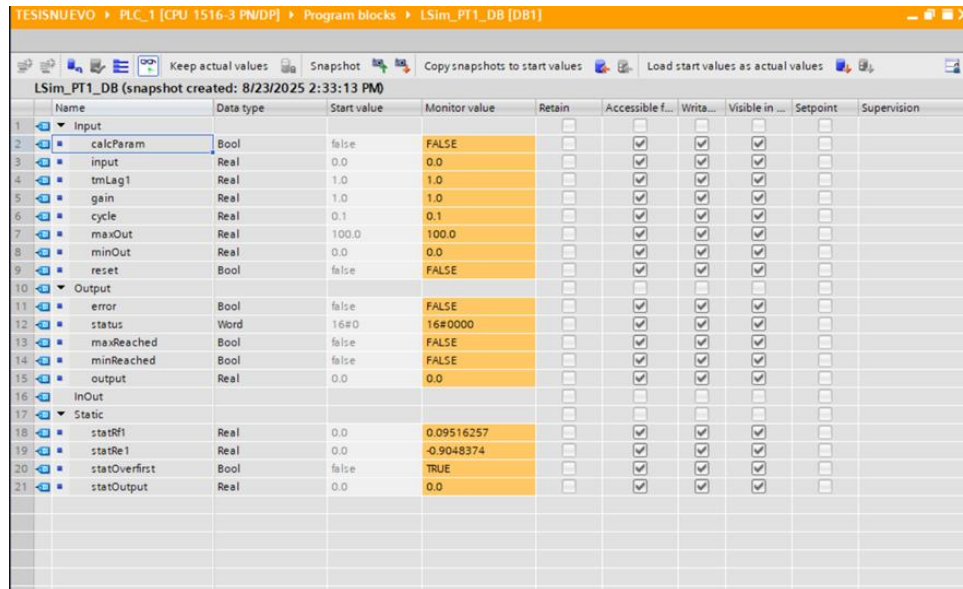


Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	Comment
1	Input								
2	calcParam	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	recalculate with nev
3	input	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	input signal
4	tmLag1	Real	1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	time constant T1 [se
5	gain	Real	1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	gain factor
6	cycle	Real	0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	cyclic time [sec]
7	maxOut	Real	100.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	max. output limit
8	minOut	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	min. output limit
9	reset	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	resets all relevant p
10	Output								
11	error	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	error (#tmLag1 >= 0
12	status	Word	16#0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	status (if #tmLag1 <
13	maxReached	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	output has reached
14	minReached	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	output has reached
15	output	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	output signal (if #en
16	InOut								
17	Static								
18	statRf1	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	statRe1	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	statOverfirst	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	statOutput	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

La continuación de los PLC tags encendido para la ejecutar del proceso de las variables de los bloques. Se programa el Plc tags como observamos en la Figura 38.

Figura 38

PLC tags



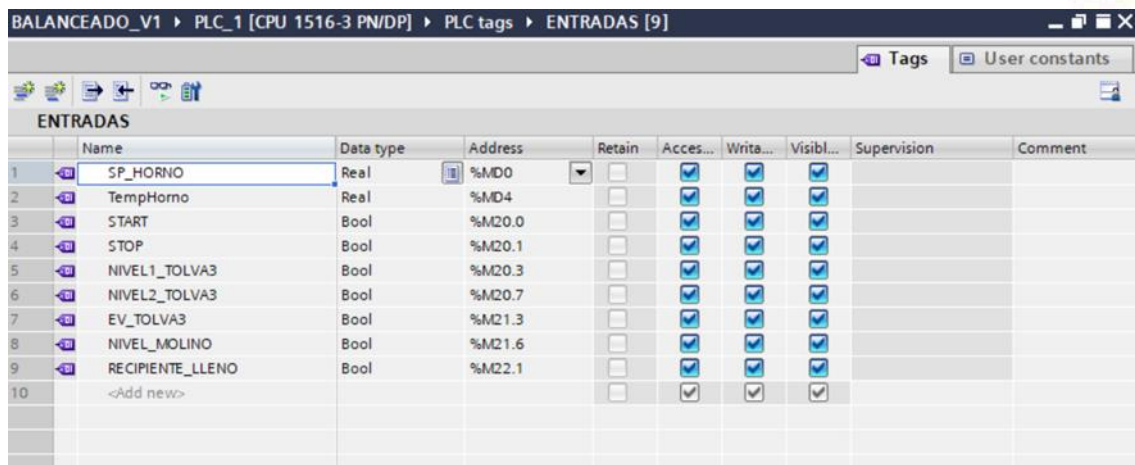
Name	Data type	Start value	Monitor value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision
Input									
calcParam	Bool	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
input	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
tmLag1	Real	1.0	1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
gain	Real	1.0	1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
cycle	Real	0.1	0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
maxOut	Real	100.0	100.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
minOut	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
reset	Bool	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Output									
error	Bool	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
status	Word	16#0	16#0000		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
maxReached	Bool	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
minReached	Bool	false	FALSE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
output	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
InOut									
Static									
statRf1	Real	0.0	0.09516257		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
statRe1	Real	0.0	-0.9048374		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
statOverfirst	Bool	false	TRUE		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
statOutput	Real	0.0	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

2.4. Variables de Entrada

En la variable de entrada, proviene del sensor y los demás dispositivos ya que ayudará con el sensor de nivel para saber si un silo o tolva está lleno o vacío, sensor de peso para medir la cantidad exacta, pulsadores y selectores, como se puede ver en la Figura 39.

Figura 39

Variables de entrada



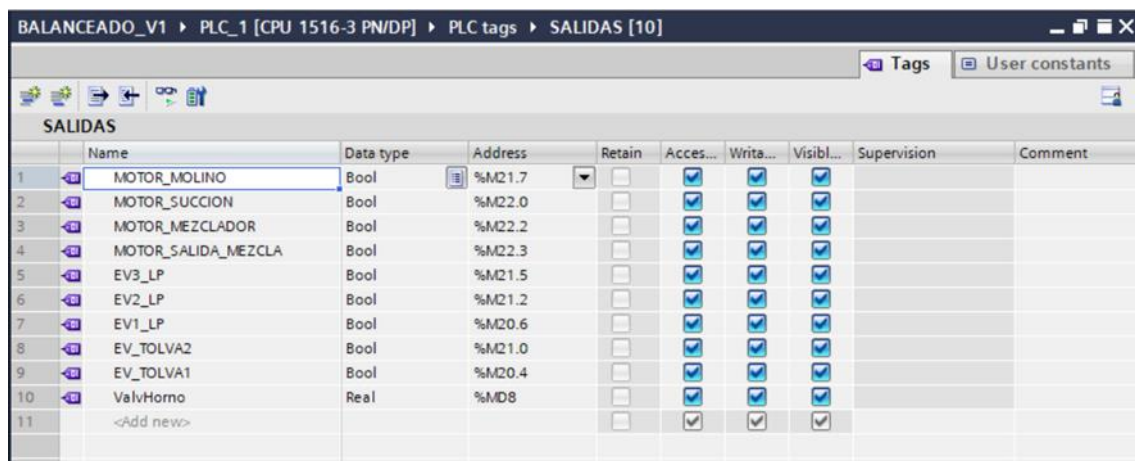
Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision	Comment
SP_HORNO	Real	%MD0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
TempHorno	Real	%MD4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
START	Bool	%M20.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
STOP	Bool	%M20.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
NIVEL1_TOLVA3	Bool	%M20.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
NIVEL2_TOLVA3	Bool	%M20.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
EV_TOLVA3	Bool	%M21.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
NIVEL_MOLINO	Bool	%M21.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
RECIPIENTE_LLENO	Bool	%M22.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

2.5. Variable de Salida

Debido a la naturaleza de la simulación dispuesta, la cual integra exclusivamente señales digitales, a continuación, se presentan las correspondientes variables de salida. Éstas están orientadas a activar los actuadores que se interconectarían con el sistema, dado que constituyen asignaciones directas definidas en el programa. Tal diseño responde a la necesidad de facilitar la visualización en la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), permitiendo un seguimiento gráfico de las condiciones de control presentes, ver en la Figura 40.

Figura 40

Variable de salida



	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision	Comment
1	MOTOR_MOLINO	Bool	%M21.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	MOTOR_SUCCION	Bool	%M22.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	MOTOR_MEZCLADOR	Bool	%M22.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	MOTOR_SALIDA_MEZCLA	Bool	%M22.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	EV3_LP	Bool	%M21.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	EV2_LP	Bool	%M21.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	EV1_LP	Bool	%M20.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	EV_TOLVA2	Bool	%M21.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	EV_TOLVA1	Bool	%M20.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	ValvHorno	Real	%MD8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

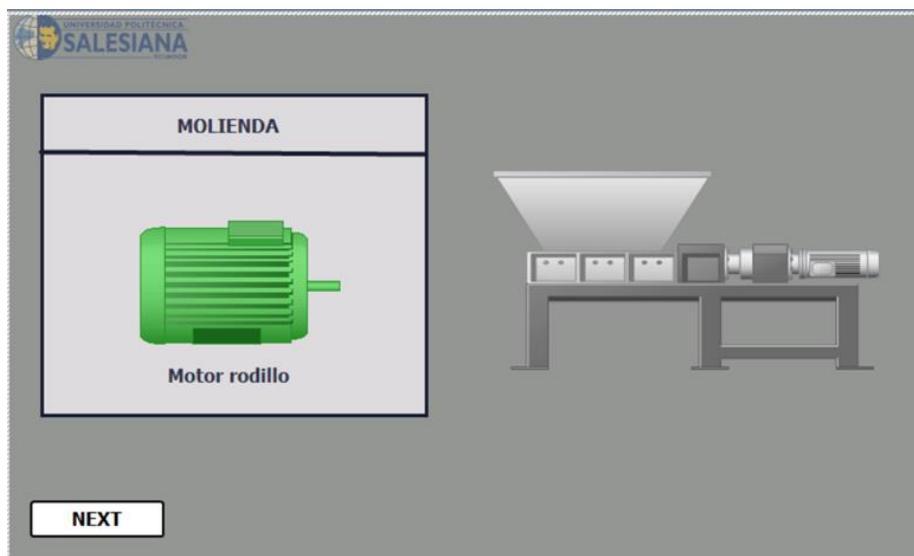
2.6. Implementación de la práctica en la etapa de molienda.

Para la ejecución del sistema, introducir variables de tipo analógico y variable. Inicia en el equivalente del total de existencias de materia prima previsto para el proceso de molienda, dentro de la escala de 0 a 100 kg. A continuación, la fase de homogeneización del pesaje de los componentes inicia la sucesión de lecturas, donde cada componente recibe un pesaje separado y la salida digital con luz avisadora indica el estado del proceso. Al concluir la homogeneización, el sistema habilita el mecanismo de elevación en el circuito de alimentación del molino. La correspondiente señal digital genera el actuador del elevador en el mezclador, asegurando el transporte de materia prima hacia el molino.

A lo largo del procedimiento se lleva a cabo un control continuo mediante sensores de nivel ubicados en el alimentador, uno de nivel bajo y otro de nivel alto, a fin de gestionar el aporte de sólidos. Los materiales sólidos son enseguida dirigidos a un molino de martillos, cuya trituración se inicia mediante la salida digital correspondiente. A continuación, se activa una electroválvula que permite la descarga del material reducido a un colector. Para completar la transferencia y garantizar la separación del residuo en el ciclo, el motor de un ventilador de succión se pone en marcha, lo que permite el desplazamiento y la posterior sedimentación del material en la zona de recepción, tal como se ilustra en la Figura 41.

Figura 41

Proceso de molienda



2.7. Control PID Para realizar el control PID

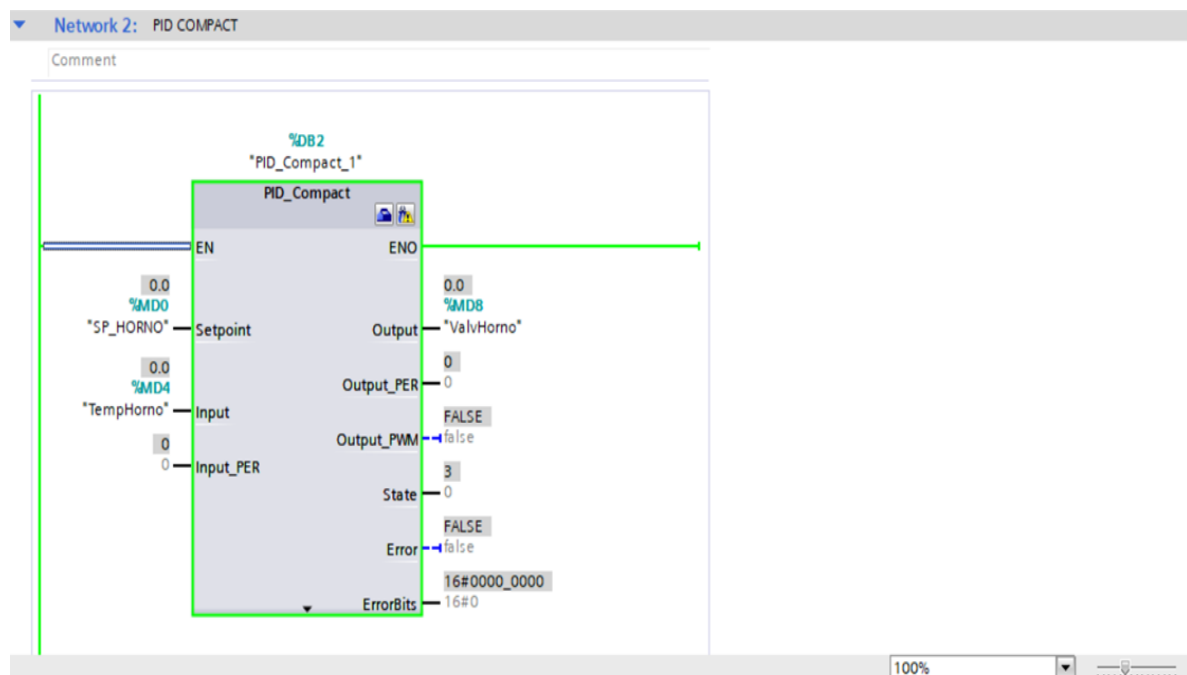
Se define una variable a controlar, en el proceso de secado de alimento de balanceado para aves, que en este caso son el producto final de este proceso industrial.

2.7.1. PID Compact

Para implementar el controlador PID se incorpora el bloque PID Compact, el cual ofrece una función de auto-sintonizado que permite determinar automáticamente los parámetros del controlador. La ventaja principal de la aplicación de este bloque PID Compact radica en su auto-tuning, también denominado auto-sintonización. Esta propiedad es especialmente relevante en procesos dinámicos y complejos, como el de molienda, donde las condiciones de operación varían y los márgenes de ajuste de los parámetros no son evidentes a priori. La función de auto-tuning facilita la calibración del sistema, dado que los coeficientes proporcionales (P), integral (I) y derivativo (D) son calculados y optimizados de forma automatizada a partir de la respuesta dinámica del proceso. La implementación del bloque y el procedimiento de auto-sintonizado se ilustran gráficamente en las Figuras 42 y 43.

Figura 42

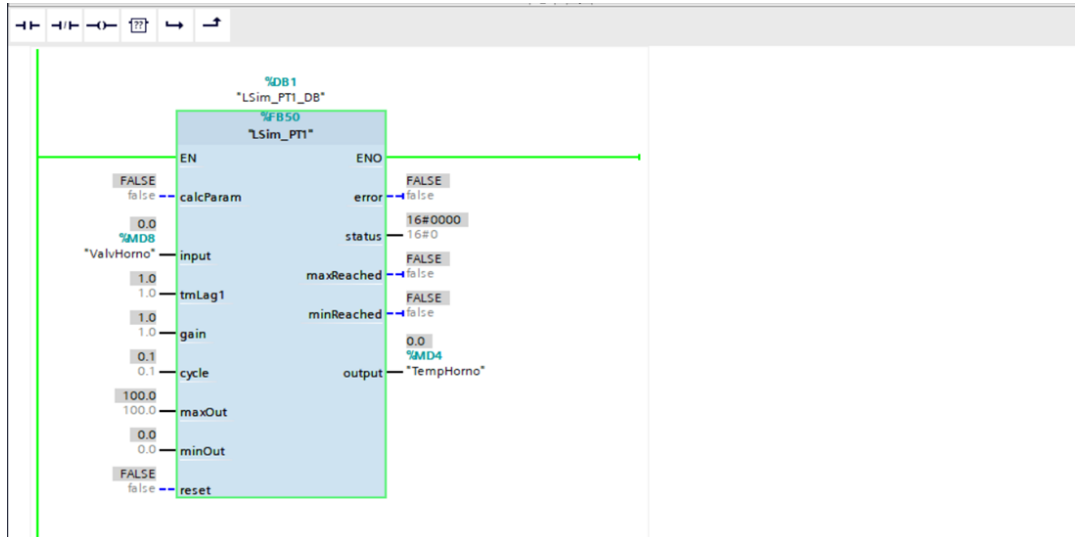
PID Compact



Segundo bloque del PID encendido para poder ejecutar la sintonización y las gráficas del PID los observa en la Figura 43.

Figura 43

Bloque PID

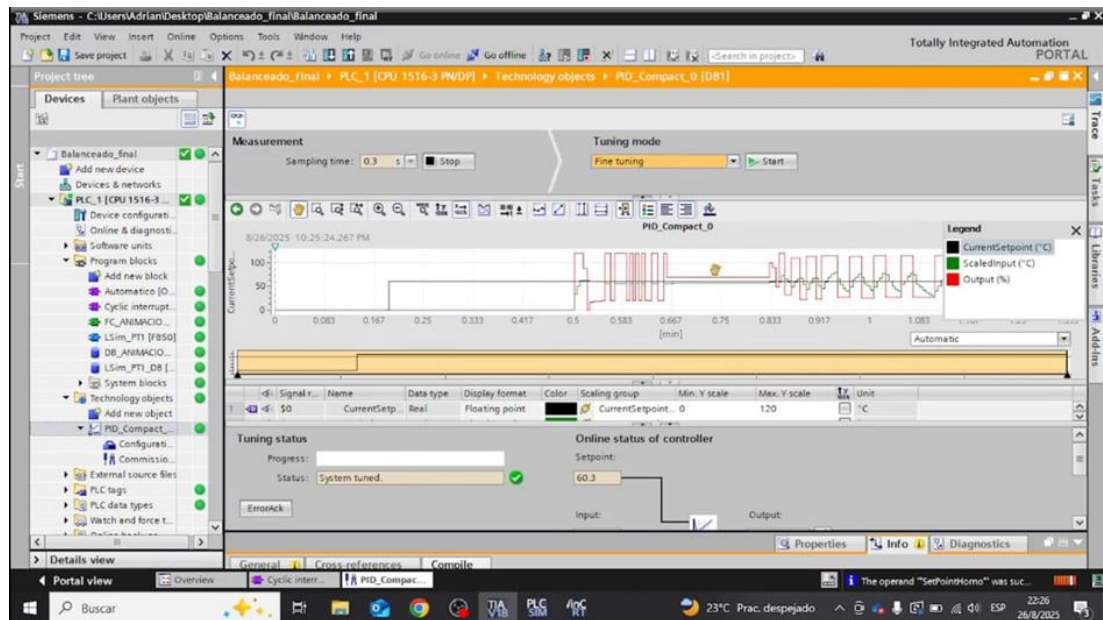


Además, PID Compact Bloques ofrece más características principales:

- Configuración intuitiva: la interfaz gráfica permite a los usuarios establecer de manera ágil los parámetros PID, como el tiempo de muestreo, las restricciones de operación y los modos, todo de forma visible y directa.
- Seleccionable: la funcionalidad de conmutación entre los modos Manual y Automático facilita el control por parte de un operador y permite un ajuste ágil en el arranque o en incidentes que requieran supervisión.
- Alarmas programables: el sistema incluye módulos de alarma que el usuario puede parametrizar para que se activen ante condiciones como el sobrepase de la consigna o el diagnóstico de fallos.
- Filtrado digital: incorpora algoritmos de filtrado en las entradas y en las salidas para mitigar el ruido, eliminando oscilaciones espurias y, por tanto, aumentando la convergencia y la robustez del control.
- Regulación en línea: dispone de algoritmos que modifican los parámetros PID en tiempo real, garantizando una adaptación dinámica ante cambios en la planta y preservando el rendimiento del sistema. Ver Figura 44.

Figura 44

Sintonización PID



2.8. Implementación de la etapa de Molienda

La realización del proceso de molienda tuvo lugar en el Laboratorio de Automatización Industrial II, ubicado en el edificio E de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil.

Componentes empleados en la demostración:

- Unidad PLC Siemens S7-1500.
- Módulo de fuente de alimentación.
- Pantalla HMI KTP-700.
- Módulos de mando y señalización.
- Cables de interconexión.

A continuación, se presenta la configuración física del programa en la Figura 45, ajustado a los requisitos específicos del Laboratorio de Automatización Industrial II.

Figura 45

Implementación física del programa



Programación del proceso y resultados del proyecto de titulación ya culminado tal como se ilustra en la Figura 46.

Figura 46

Implementación final del proyecto como se observa en la Figura 47



3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.7. Programación del sistema de gestión imitada versus análisis

El análisis de la realidad entre la simulación y la situación del sistema de control del proceso de elaboración de alimento balanceado para aves de corral debe tener en cuenta los cambios necesarios para coincidir con el sistema modelado en el entorno físico.

Dentro del entorno simulado, las variables de entrada y salida son materializadas como bits en memoria o etiquetas, susceptibles de alternar bajo condiciones del flujo de control, sin generar efectos sobre el hardware físico. Cuando se desplaza esta lógica al ámbito físico, cada entrada y salida asociada a actuadores debe traducirse a niveles de señal, lo cual exige que el desarrollo de firmware incluya mecanismos de acondicionamiento que interpreten voltajes, variaciones de resistencia y otras magnitudes eléctricas, convirtiéndolas a formato digital compatible con las normas de operación del PLC. Este proceso se halla esquematizado en el Figura 47.

Figura 47

Simulación



3.3.1. *Tiempos de reacción*

La simulación, al operar en un entorno virtual, puede ejecutarse a velocidades superiores a la de los procesos físicos, ya que no se ve limitada por las restricciones de tiempo de las estructuras de hardware que se emplean en un prototipo físico. Por ejemplo, en un prototipo cuyo tiempo de respuesta de las placas de circuito de prueba es constante, la dinámica temporal de la simulación se mantiene por encima del que prototipo. Sin embargo, dicha ventaja de rapidez es condicional a la interconexión de los periféricos de la simulación a la secuencia de control, de modo que la secuencia interrumpe la ejecución hasta que un sensor registra un valor que satisface un criterio propio.

3.3.2. *Comportamiento del sistema:*

Configuración inicial, es decir, conexiones físicas entre PLC, HMI y PC pueden causar demora o confusión como si no estuvieran relacionados con el módulo correcto no se puede encender o peor si está mal conectado.

3.4. *Configuración y calibración:*

- En caso de simulación, los valores de las constantes del PID se pueden configurar o ajustar con ligereza en el software ya sea de manera manual o con la función de ajuste automático (autotuning) que ofrece PID compact en el software TIA PORTAL V18 y obtener una mejor respuesta del sistema.
- En un sistema real es necesario calibrar los sensores y ajustar los actuadores físicos para garantizar la salida del PLC

3.4.1. *Análisis del controlador Pregunta*

El proceso de molienda involucra múltiples variables operativas, tales como temperatura, presión, humedad y velocidad de flujo de los materiales, cuyo control debe ser meticuloso para garantizar la calidad del producto. En este contexto, la estrategia de control se centra en regular la temperatura del sistema de secado mediante controladores PID, los cuales están programados para ajustar dicha temperatura a un punto específico de consigna, conocido como set-point. Durante la fase de secado acoplada a la molienda, los controladores PID operan manteniendo la temperatura dentro de un intervalo predeterminado, de manera que el material molido alcance la temperatura ideal. Este control térmico resulta crítico para la posterior aplicación del producto, como en los tanques de cocimiento de cebada para la elaboración de cerveza, es importante mantener

una temperatura específica en el proceso de alrededor de 80 a 85 grados centígrados, asegurando que las propiedades del material final respondan a las especificaciones técnicas requeridas.

El término proporcional del controlador PID ajusta la salida proporcional a la desviación actual, que se define como la diferencia entre el set-point y el valor medido del proceso. El término integral acumula el error a lo largo del tiempo y lo integra en la salida, de manera que se corrige cualquier error permanente que, de otro modo, persistiría y se compensan desviaciones sostenidas. Por su parte, el término derivado anticipa la tendencia del error en la medición y cuantifica su tasa de cambio, de modo que se introduce un ajuste proporcional a la anticipación, lo que amortigua respuestas oscilatorias y mejora la estabilidad global del sistema.

La acción proporcional, integral y derivativa que coexiste en un regulador PID posibilita una corrección inmediata, veloz y exacta ante desviaciones en la dinámica del circuito de molienda, induciendo la disminución del sobre impulso y de la oscilación, y mostrando resiliencia ante alteraciones en la posición del punto de ajuste o frente a modificaciones en las características dinámicas del proceso mismo.

3.4.2. Resultados de simulación

El análisis dinámico del sistema se representa mediante la comparación de la señal de temperatura deseada con la temperatura real del proceso. En el trazado, la curva negra ilustra el set point de temperatura, establecido en 65 °C, mientras que la curva roja corresponde a la medición de temperatura real. A partir de la curva de reacción, el controlador adapta la señal de control con el objetivo de mantener el proceso alrededor del valor de referencia. Este control se halla operativo, como se observa en la condición estable actual, donde la medición real se aproxima a 65.01 °C. Tal diferencia marginal entre la consigna y la medición confirma que el sistema se encuentra en close tolerancia y que el controlador se ajusta correctamente mediante la integral del conjunto. En consecuencia, la salida, señalada en 0 %, indica que el elemento final de control está funcionando a su mínimo nivel, el cuál corresponde a la condición donde la acción de calentamiento es equilibrada. Esto sugiere que la operación se posiciona en el nivel óptimo, evitando el sobrecalentamiento y garantizando una respuesta estable.

4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la tabla 1 se presenta el cronograma de actividades que se siguió para el cumplimiento total del proyecto.

Tabla 1

Cronograma de actividades

Actividades	Meses Semanas	Tiempo								
		Mayo				Junio				
		1	2	3	4	1	2	3	4	
Elección de tema de proyecto de titulación.		✓								
Definición de objetivos generales y específicos.		✓								
Búsqueda de elementos mecánicos y electrónicos para el mini robot.			✓							
Redacción de justificación, marco teórico, metodología y presupuesto.					✓	✓				
Fase 1: Identificación de variables y etapas							✓			
Fase 2: Programación del PLC en TIA Portal								✓		
Fase 3: Diseño de pantallas HMI								✓		
Fase 4: Asignación de variables PLC ↔ HMI								✓		
Fase 5: Carga del programa al PLC y HMI									✓	
Fase 6: Conexión de dispositivos reales									✓	
Fase 7: Simulación del sistema										✓
Fase 8: Pruebas de laboratorio y ajustes finales										✓

5. PRESUPUESTO

En la tabla 2 se detalla el costo de los materiales a utilizar para el desarrollo de la simulación del proyecto a realizar.

Tabla 2

Presupuesto del proyecto

Descripción de materiales	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tiempo de Ingeniería (Horas)	240	2,79	669,6
Total			669,6

6. CONCLUSIONES

Se desarrolló la programación del proceso de elaboración de alimento balanceado para aves en computadora con el software TIA PORTAL V18. Logrando estructurar la lógica de control de proceso. Esta programación permitió representar de forma clara cada etapa del sistema, desde la dosificación hasta el despacho, asegurando una operación coherente y funcional dentro del entorno de simulación.

Se diseñó la interfaz gráfica las cuales al inicio se estimaba que sean 5 pantallas, pero acorde al desarrollo del proyecto se logró evidenciar que para concluir de manera correcta el proceso de elaboración de alimento balanceado para aves fue necesario agregar 5 pantallas más, detallando con mayor exactitud el proceso, permitiendo visualizar variables clave, activar funciones específicas y recibir alertas. Este diseño no solo mejora la comprensión del proceso, sino que también aporta a la seguridad y eficiencia operativa.

La integración de la programación del PLC y el diseño del HMI en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial II, fue implementada en el módulo 2, se realizó el cableado y conexiones físicas, tanto de botoneras como PLC y HMI. Y configuración de direcciones IP de PLC Y HMI. Esta etapa fue clave para ajustar detalles técnicos, comprobar la lógica implementada y fortalecer habilidades prácticas en automatización industrial.

7. RECOMENDACIONES

Dentro del ámbito de este proyecto, es recomendable extender la simulación a otras etapas del diseño asistido por computadora del alimento balanceado para animales, como dosificación, mezcla y empaque, para obtener una perspectiva integral de todo el sistema de producción.

También se recomienda proporcionar alarmas y otras métricas que permitan una comprensión más profunda de los procesos, mejorando la interfaz de usuario para la mejora continua del usuario. Es vital abogar activamente por programas de capacitación continua para los estudiantes y operadores sobre el uso de PLC y HMI para mejorar sus habilidades prácticas y adaptabilidad a nuevas tecnologías.

Igualmente, se justifica investigar la aplicación de herramientas de IoT y de la Industria 4.0 para el monitoreo remoto y la optimización en tiempo real, así como realizar pruebas piloto en entornos industriales para evaluar y refinar la resiliencia del sistema para un despliegue robusto y a gran escala.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ACI Maser. (2014). *PLC Variadores*. Recuperado de <https://acimaser.com/plc-variadores/>
- Controladores Lógicos programables (PLCs) – Instrumentos y sensores*. (s/f). Asocieperu.com. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://asocieperu.com/producto/controladores-logicos-programables-plcs/>
- Caballero, O., & Muscará, j. (2018). Automatización industrial. *Manual prácticas de laboratorio*, (pág. 22). Javeriana.
- Carpio Villamar, D. S., & González Arreaga, L. X. (2024). *Diseño y simulación del proceso de empaquetado de camarón mediante PLC S7-1200 Y HMI* (Bachelor's thesis).
- Cruz, M. C. (2014). *Proyectos de Automatización*. Valencia: Introducción al proyecto y documentos del proyecto.
- Ensuring safety with variable frequency drives (VFDs)*. (s/f). Darwinmotion.com. Recuperado el 31 de mayo de 2025, de <https://darwinmotion.com/blogs/ensuring-safety-with-variable-frequency-drives-vfds>
- Exorint. (2021). *¿Qué es HMI o Inetrfaz Hombre-Máquina*. Recuperado de <https://www.exorint.com/exor-innovation-blog/what-is-hmi-human-machine-interface-and-do-you-make-or-buy-it>
- Faiza, M., Ijaz, A., & Abdul, B. (2023). *Una revisión sobre sistemas eficaces de gestión de alarmas para el control de procesos industriales: Barreras y oportunidades*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874548223000124>
- Herrero, J. (2017). Apuntes de la asignatura laboratorio de automatización y control. En J. Herrero, *Apuntes de la asignatura laboratorio de automatización y control* (pág. 45). Valencia: Identificación y control con LabVIEW.
- Inductive Automation. (2021). *HMI: Interfaz hombre-máquina*. Recuperado de <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>

MaxWell. (2022). *¿Qué es el control PID y en qué se diferencia del control ON/OFF?*

Obtenido de https://es.maxwell-fa.com/blog/what-is-pid-control-and-how-is-it-different-from-on-off-control_b2

Miranda, A., & Ruiz, Q. (2023). *Diseño e implementación de un módulo educativo controlado mediante PLC S7-1200 con interfaz HMI, para simulación de procesos industriales neumáticos y electroneumáticos*. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24091>

SDI Industrial. (2024). *¿Qué es un PLC?* Recuperado de <https://sdindustrial.com.mx/blog/que-es-un-plc/>

Smith, G. (2024). *¿Qué es un controlador PID?* Recuperado de <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-controlador-pid>