



TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al Título de Ingeniero en Automática

Autor

Wilber Augusto Miranda Batista

Tutores

Ing. Ksenia Arias Granda

Ing. Viel Lorenzo Pavón Zaldívar

Ing. Julio Ramírez Bientz

Noviembre, 2023

TRABAJO DE DIPLOMA

Título

**Integración del subproceso de ensacadora al SCADA de la
Fábrica de Piense “Omar de la Peña Peña”**

Autor

Wilber Augusto Miranda Batista

Tutores

Ing. Ksenia Arias Granda

Ing. Viel Lorenzo Pavón Zaldívar

Ing. Julio Ramírez Bientz

Noviembre, 2023



Hago constar que el presente Trabajo de Diploma fue realizado en la Universidad de Oriente como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Automática, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución para los fines que estime convenientes, tanto de forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Nombre y firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Nombre y firma del autor

Nombre y firma del Tutor

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Carrera

Fecha

Nombre y firma del Jefe de Departamento

Fecha

Dedicatoria

A mis padres Ana y William por darme todo el apoyo y lo necesario para hacer posible lo que he logrado hasta hoy. A mi hermano Willy por su cariño y motivación. A mi abuela por sus rezos y bendiciones. Y por último a mi novia por darme la posibilidad de contar con ella y estar conmigo en momentos tan cruciales como este.

Agradecimientos

A mis padres.

A mi hermano.

A mi novia.

Al personal del CEDAI por su ayuda incondicional, en especial a Julio Ramírez por brindarme sus conocimientos y ser un padre más.

A mi Tutora Ksenia Arias por sobrellevarme y brindarme toda su ayuda para lograr realizar este trabajo.

Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas

CRC	Comprobación de Redundancia Cíclica
MAP	Modulación Alternada de Pulso
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
TIA Portal	<i>Totally Integrated Automation Portal</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>

Listado de imágenes

Figura 1. Diagrama de flujo de la Fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña” ..	7
Figura 2. Carga Rápida	9
Figura 3. Carga de afino	9
Figura 4. Final de Pesada	9
Figura 5. Chasis PN-25-CT	10
Figura 6. Cubeta PN-25	10
Figura 7. Boca ensaque 180 PN-25	11
Figura 8. Cosedora de sacos 80800CN	11
Figura 9. Arquitectura de comunicación.	16
Figura 10. Visualización y control del proceso en el SCADA (Recepción)	21
Figura 11. PLC M221CE16R.....	23
Figura 12. Módulo de Entradas Digitales TM3DI16	24
Figura 13. Módulo de Salidas Digitales TM3DQ8R	25
Figura 14. Programación del PLC	29
Figura 15 GRAFCET del proceso.....	29
Figura 16. Comunicación Ensacadora-SCADA	30
Figura 17. Pestaña de productos terminados (SCADA) rediseñada.	31

Listado de tablas

Tabla 1. Control Automático-Manual	21
Tabla 2. Señales de Entrada del PLC	26
Tabla 3. Señales de Salida del PLC	27
Tabla 4. Gasto Material de la propuesta.....	31
Tabla 5. Costo de mano de obra	31

Resumen

Durante la automatización de los procesos productivos de la fábrica de pienso “Omar de la Peña Peña” en Holguín, se presentó un inconveniente en la integración del subproceso de envasado. Esto se debió a que la ensacadora adquirida, cuyo objetivo era optimizar el empaquetado a granel, contaba con un sistema operativo y lenguaje de programación no compatibles con el *software* de gestión y control del resto de la planta. Debido al inconveniente presentado el siguiente proyecto de investigación desarrolla una propuesta de integración del subproceso de ensacado al sistema de automatización de la Fábrica de Pienso “Omar Peña de la Peña” mediante una solución automatizada basada en PLC. El objetivo general constituye en el diseño de un sistema automatizado de ensacado con la incorporación del PLC M221 de Schneider, permitiendo integrar dicho subproceso al SCADA de la fábrica utilizando protocolo MODBUS TCP-IP, mejorando la productividad, calidad y trazabilidad de la producción. Se espera como resultado final contar con una línea de ensacado totalmente automatizada bajo parámetros programables que cumpla con los estándares de calidad exigidos y se acople de forma armoniosa al resto de las operaciones de la planta.

Palabras claves: automatización, ensacadora, PLC M221, protocolos de comunicación

Abstract

During the automation of the production processes of the “Omar de la Peña Peña” feed factory in Holguín, a problem arose in the integration of the packaging subprocess. This was due to the fact that the acquired bagging machine, whose objective was to optimize bulk packaging, had an operating system and programming language that were not compatible with the management and control software of the rest of the plant. Due to the problem presented, the following research project develops a proposal for integrating the bagging subprocess into the automation system of the “Omar Peña de la Peña” Feed Factory through an automated solution based on PLC. The general objective is the design of an automated bagging system with the incorporation of the Schneider M221 PLC, allowing said subprocess to be integrated into the factory's SCADA using MODBUS TCP-IP protocol, improving productivity, quality and traceability of production. The final result is expected to have a fully automated bagging line under programmable parameters that meets the required quality standards and is harmoniously coupled to the rest of the plant's operations.

Key-words: automation, bagging, PLC M221, communications protocols.

ÍNDICE

Listado de símbolos, términos especiales y abreviaturas no normalizadas	I
Listado de imágenes	II
Listado de tablas	III
Resumen	IV
<i>Abstract</i>	V
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
Introducción	5
1.1 Breve historia de la Fabricación del Pienso	5
1.2 Proceso productivo de pienso	6
1.2.1 Flujo Tecnológico de la Fábrica “Omar de la Peña Peña”	6
1.3 Ensacadora PN-25-CT-MCB+	8
1.3.1 Funcionamiento de la ensacadora	12
1.3.2 Deficiencias	12
1.4 Descripción tecnológica de la automatización de la fábrica.....	14
1.5 Protocolos de comunicación de la Fábrica	16
1.5.1 Red PROFIBUS	16
1.5.2 Red AS-I (Interface-Sensor Actuador)	17
1.5.3 Red Modbus	18
1.5.4 Ethernet	19
1.6 Sistemas informáticos usados en la supervisión	20
1.7 Conclusiones Parciales.....	21
CAPITULO 2. PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA ENSACADORA PN-25-CT-MCB+	23
2.1 Propuesta de Control	23
2.1.1 Módulos de entradas y salidas.....	23
2.1.2 Señales de entradas del PLC	25

2.1.3 Señales de salidas del PLC	26
2.2 Programación del PLC M221CE16R.....	27
2.3 Algoritmo de Trabajo.....	29
2.4 Comunicación	29
2.5 Integración al SCADA	30
2.6 Valoración Económica	31
2.7 Conclusiones parciales	32
CONCLUSIONES GENERALES.....	33
RECOMENDACIONES	34
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	35
ANEXOS	37

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de productos agropecuarios y la necesidad de eficiencia en la producción animal han llevado a la evolución y expansión de la industria de fabricación de piensos. Las fábricas de piensos, como cualquier otra industria de producción, requieren una gestión eficiente de sus operaciones para garantizar la calidad del producto y la satisfacción del cliente.

Las fábricas de pienso tuvieron sus orígenes en mediados del siglo XIX, cuando surgieron las primeras industrias dedicadas a la molienda y mezcla de granos para la alimentación animal. Estas primitivas fábricas se centraban en moler cereales de forma artesanal como maíz, trigo y centeno, aprovechando los subproductos para mejorar la nutrición del ganado.

A lo largo del siglo XX, con la intensificación de la agricultura y la ganadería, la industria del pienso experimentó un importante crecimiento y se fue industrializando paulatinamente. Surgieron grandes compañías que mecanizaron y automatizaron los procesos productivos, incorporando nuevos ingredientes para enriquecer la calidad proteica y energética de los alimentos balanceados.

El desarrollo de la industria fabril de piensos en Cuba se originó en la década de 1950, cuando se establecieron las primeras plantas de pequeña escala enfocadas en la molienda artesanal de granos como el maíz, con el objetivo de abastecer las necesidades alimenticias de las explotaciones ganaderas en formación. No obstante, fue en las décadas posteriores cuando esta actividad productiva tomó un carácter más industrial, mediante la construcción de fábricas equipadas con maquinaria y procesos semi-automatizados. De esta forma, a finales de los años 1970, Cuba logró alcanzar la autosuficiencia en la producción de pienso compuesto, abasteciendo a las crecientes granjas avícolas, porcinas y lecheras del país.

Sin embargo, la escasez de materias primas durante la crisis económica de los 90 provocó dificultades, que aún persisten pese a los esfuerzos gubernamentales por ampliar la oferta productiva y la eficiencia de estas instalaciones estratégicas para la seguridad alimentaria nacional.

La Fábrica de Piensos "Omar de la Peña Peña" ubicada en la ciudad de Holguín, es una entidad destinada a la producción y comercialización de piensos en CUP, abasteciendo las provincias de Holguín y Las Tunas.

La fábrica fue fundada en el año 1975, con equipamiento tecnológico inicial comprada en España, y que se mantuvo durante 17 años. Debido al tiempo de explotación al que fue sometida la planta, se deterioraron componentes mecánicos, díganse elevadores, molinos, transportadores entre otros y de esta manera el sistema de control sufrió pérdidas en toda la instrumentación de campo adoleciendo en muchos casos de pistones, accesorios neumáticos, electroválvulas; además, la mayoría de los componentes eléctricos se encontraban en mal estado técnico y de obsolescencia.

Por esto y otras situaciones en el año 2013, se realizó un proceso de reconversión tecnológica financiado por la firma española Rosal, a un costo superior de los dos millones 400 mil CUP. El diseño, montaje y puesta en marcha del sistema eléctrico y el sistema automático se realizó por la Empresa de Automatización Integral (CEDAI) de Holguín.

Durante la integración de todos los procesos productivos de la fábrica de pienso, uno de ellos no pudo ser ejecutado según lo planificado originalmente debido a problemas de compatibilidad tecnológica. Se trataba del proceso de envasado automatizado, llevado a cabo mediante una ensacadora PN-25/CT. Si bien esta máquina había sido adquirida pensando en optimizar la etapa final de empaquetado a granel de los piensos fabricados, una vez instalada los técnicos detectaron que su sistema operativo y lenguaje de programación no eran compatibles con el *software* de gestión y control del resto de la planta.

Esto trajo consigo que no se pudiera integrar la ensacadora al SCADA y quedara este subproceso sin supervisión. Esta situación evidenció la importancia de validar previamente la interoperabilidad de la tecnología incorporada a las distintas etapas de un proceso productivo automatizado, a fin de garantizar la correcta secuencia y flujo de datos entre cada uno de sus componentes.

La integración de una ensacadora en la línea de producción de una fábrica de piensos brindaría múltiples beneficios. Por un lado, permite incrementar significativamente la productividad al automatizar el empaque final del producto terminado, reduciendo el tiempo de ensacado manual y la intervención de operarios.

Con una ensacadora automatizada se logra también incrementar la capacidad general de producción, ensacando mayores volúmenes de pienso en el mismo período de tiempo. También se cuenta con mayor flexibilidad al poder empacar

en bolsas de diferentes tamaños y características, satisfaciendo así requerimientos particulares de diferentes clientes.

Además, al conectarse la ensacadora a un sistema SCADA existente, se podrá llevar un control y registro electrónico de cada saco, lo que permitirá asegurar la trazabilidad completa del proceso de la producción de pienso de la fábrica.

Por la situación antes expuesta se plantea el siguiente **problema de investigación** ¿Cómo integrar el subproceso de ensacado al sistema de automatización de la Fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña” de Holguín?

El **objeto de estudio** lo constituye el subproceso de ensacado de la Fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña”.

En correspondencia con el objeto se define como **campo de acción** el *software* de control de la ensacadora.

Objetivo General: Incorporar el subproceso de ensacado al sistema de automatización de la fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña” de Holguín.

Tareas de la investigación:

1. Analizar desde el punto de vista gnoseológico e histórico el proceso de ensacado de la Fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña”.
2. Analizar desde el punto de vista gnoseológico la integración de la ensacadora con el sistema de automatización de la fábrica de pienso.
3. Diseñar el sistema de automatización de la ensacadora compatible con el sistema SCADA del resto de la planta.
4. Verificar mediante simulación el funcionamiento del sistema de automatización de la ensacadora propuesto.

Para el desarrollo de este estudio se utilizaron diversos **métodos y técnicas de investigación** como el histórico-lógico, inducción-deducción y análisis-síntesis para la elaboración y redacción del informe final.

El trabajo de diploma se estructura de la siguiente forma: introducción, dos capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el capítulo 1 se aborda acerca de los antecedentes históricos de la fabricación de pienso y el flujo tecnológico del proceso general de elaboración de este, así como las características principales y situación actual de la ensacadora, quedando establecido el marco teórico de la investigación.

En el capítulo 2 se realiza una propuesta de modernización e integración de la automatización en la ensacadora de la Fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña” de Holguín.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Introducción

El presente capítulo describe el flujo general de producción de la línea de fabricación de pienso “Omar de la Peña Peña” de Holguín. Inicialmente, se expone una breve historia de la fabricación del pienso. Posteriormente, se muestra de manera gráfica el diagrama de flujo general que representa la secuencia lógica de operaciones que se desarrollan continuamente en la línea de fabricación para la producción de pienso.

Las características de la ensacadora existente son detalladas, así como los diferentes medios técnicos que conforman el sistema de automatización de dicha área productiva y del sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA). De esta forma, se proporciona una visión global del entorno tecnológico disponible para alcanzar los requerimientos de calidad, rendimiento y trazabilidad exigidos por la empresa.

1.1 Breve historia de la Fabricación del Pienso

La industria de fabricación de piensos tiene sus orígenes a mediados del siglo XIX, cuando la agricultura empezó a industrializarse y especializarse en la producción de ganado. Esto creó la necesidad de suministrar alimentos concentrados a los animales, dado que ya no podían alimentarse directamente de pastos y residuos agrícolas. Uno de los primeros hitos fue el desarrollo de los molinos de harina en los Estados Unidos en la década de 1840, los cuales permitieron procesar granos como el maíz y producir subproductos como salvado y bráns¹ que se utilizaron como los primeros piensos en las granjas.

Sin embargo, no fue hasta la década de 1860 cuando surgieron las primeras fábricas dedicadas en exclusiva a la producción de piensos compuestos, las cuales mezclaban granos, subproductos agrícolas y minerales, marcando el inicio de esta industria tal y como se conoce hoy. A partir de ahí, se sucedieron importantes avances en el conocimiento nutricional de los ingredientes, la formulación de las raciones y la mecanización de los procesos, lo que permitió una producción masiva de piensos tras la Segunda Guerra Mundial.

¹ Es la parte externa de la cáscara del grano de maíz después del proceso de molienda. Se caracteriza por ser rico en fibra dietética, vitaminas del grupo B y minerales como fósforo, magnesio y potasio

Actualmente, la fabricación de piensos es una industria global muy tecnificada, basada en el uso intensivo de la ciencia nutricional, los aditivos y las formulaciones precisas para cubrir los requerimientos de cada especie ganadera.

1.2 Proceso productivo de pienso

El proceso general de elaboración de piensos compuestos cuenta con las siguientes etapas clave:

1. Recepción y almacenamiento de materias primas: Se reciben los ingredientes como cereales, subproductos de la industria alimentaria, aceites y grasas, minerales y aditivos. Se almacenan en silos.
2. Pesado y dosificado: Mediante balanzas se pesa y dosifica la cantidad requerida de cada ingrediente según la fórmula.
3. Molienda: Se reducen las partículas mediante molinos de martillos o cuchillas. En algunos casos se aplica un proceso de micronización para granular los alimentos.
4. Mezclado: En mezcladoras se logra una mezcla homogénea de todos los productos que lleva su elaboración. Primero se realiza una mezcla gruesa y luego una mezcla fina.
5. Envasado: Esta etapa se lleva a cabo mediante envasadoras volumétricas o gravimétricas automatizadas.
6. Almacenamiento final: Luego del envasado, el pienso es almacenado en una bodega para asegurar su conservación hasta la expedición.

1.2.1 Flujo Tecnológico de la Fábrica “Omar de la Peña Peña”

El flujo productivo de la fábrica para la elaboración del pienso se puede observar en la Figura 1.

Comienza con la recepción de materias primas, la cual se obtiene fundamentalmente por dos vías, a través de transporte ferroviario y por medio de camiones. Ambos vierten la soya, el maíz o el trigo en un depósito provisional para posteriormente ser conducidos en un sinfín hasta un elevador que envía los granos hacia otro dispositivo conocido como “criba” donde son expulsadas partículas no deseadas.

Seguidamente los granos son conducidos por transportadores hacia 16 silos de almacenamiento donde permanecen hasta su posterior procesamiento.

Una vez que se pretende elaborar el producto, los silos son abiertos para depositar la materia prima en transportadores, que a su vez dejan los diferentes granos en 4 silos. Existe una tolva montada sobre celdas de carga que permite pesar la cantidad necesaria de los diferentes granos según las indicaciones de la receta a elaborar.

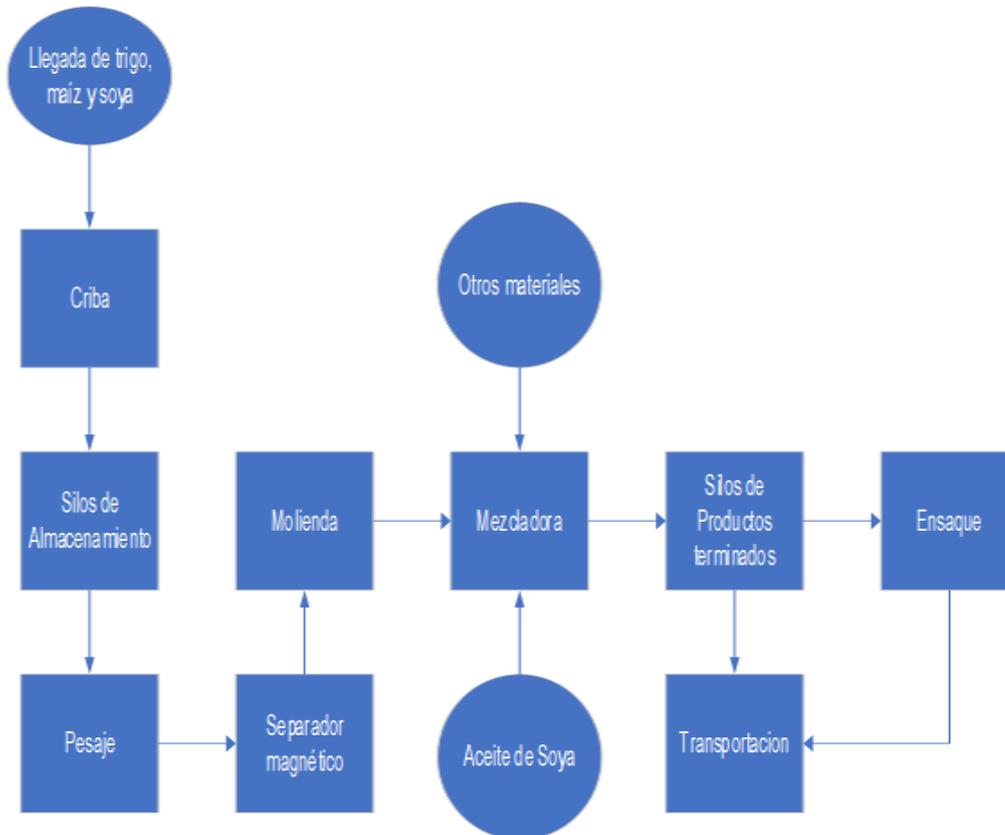


Figura 1. Diagrama de flujo de la Fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña”

Una vez pesado el producto es conducido por un sinfín hasta otro elevador y pasados los granos a través de un separador magnético para eliminar los materiales ferrosos que puedan contener. Finalmente son vertidos en 2 tanques, que, una vez indicada la orden de moler, son depositados en una tolva que, en función de la capacidad del molino, dejará pasar la cantidad adecuada de granos para ser triturados.

El producto obtenido, es nuevamente elevado y depositado en tolvas de premezclado para pasar a dos mezcladoras que reciben materiales adicionales como vitaminas, calcio, entre otros y se vierte en ellos aceite de soya dosificado según la receta. Una vez lograda la mezcla, es transportado hacia silos que almacenan el producto terminado.

El pienso obtenido es enviado a su destino final en sacos o a granel, utilizando para este fin camiones.

El proceso general de la planta se puede supervisar y controlar, desde el sistema SCADA diseñado en TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*).

1.3 Ensacadora PN-25-CT-MCB+

La ensacadora de la fábrica de pienso es un equipo modelo Inst. PN-25-CT-MCB+ y tiene las siguientes características técnicas [1]:

- Modelo: Inst. PN-25-CT-MCB+
- Fabricante: PAYPER
- País de fabricación: España
- Año de fabricación: 2013
- Número de serie: 600344080001
- Peso: 405 kg
- Frecuencia eléctrica: 60 Hz
- Tensión de alimentación: 440 V
- Presión de trabajo: 6 Bar

Esta ensacadora está compuesta por diferentes partes, las cuales son [1]:

- Alimentación CT
- Chasis PN-25-CT
- Cubeta PN-25
- Boca ensaque 180 PN-25:
- Máquina Cosedora

Alimentación CT: Sistema dosificador de producto, mediante dos caudales de producto:

- Carga rápida: La carga rápida (ver Figura 2) se realiza mediante la apertura total de la compuerta (1) que es accionada por un cilindro neumático o por un motor reductor (según modelo de pesadora) y por una tapa que es accionada por el cilindro (2).

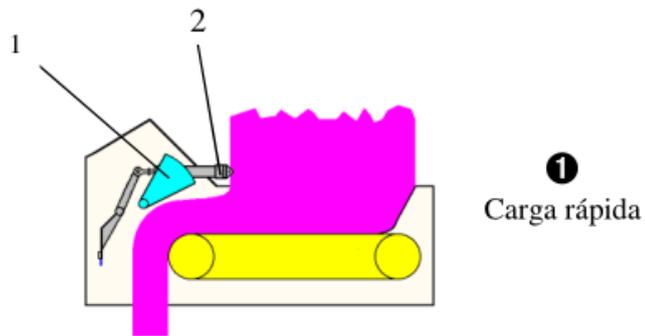


Figura 2. Carga Rápida

- Carga de afino: La carga de afino (ver Figura 3) se realiza mediante la apertura parcial de la compuerta (1).

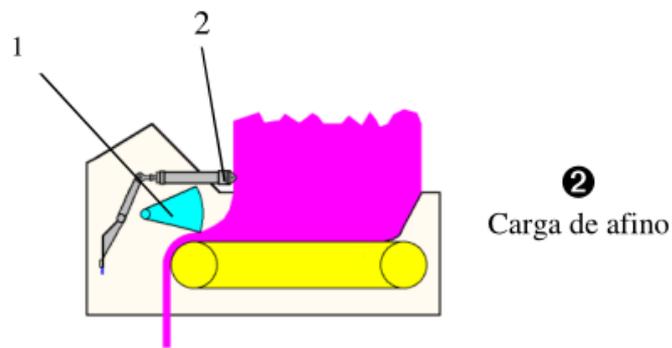


Figura 3. Carga de afino

- Final de pesada: El final de pesada (ver Figura 4) se realiza mediante el cierre total de la tapa (1) que es accionada por el cilindro (2).

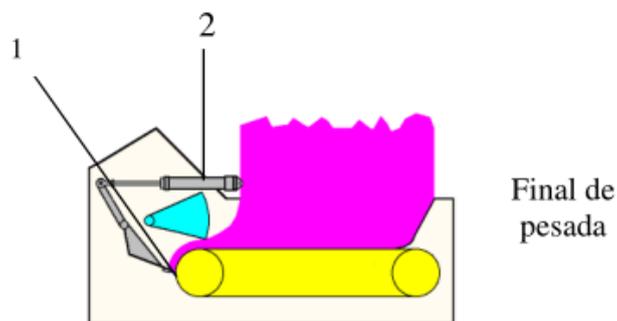


Figura 4. Final de Pesada

Chasis PN-25-CT: Dispositivo cuya función es soportar y proteger la cubeta y las células de carga. Además, soporta la cinta transportadora (ver Figura 5).

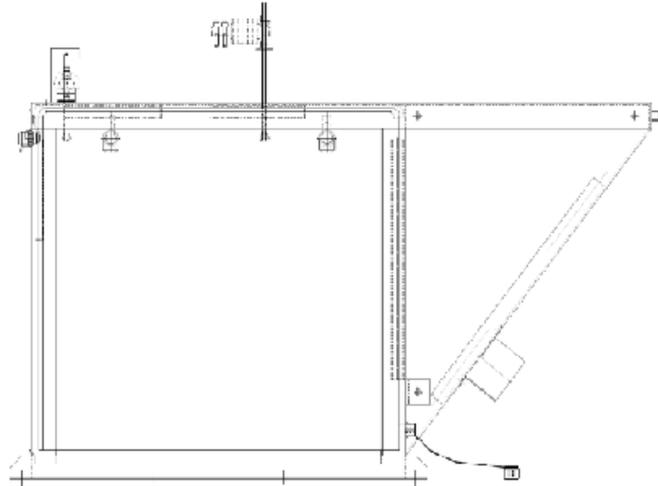


Figura 5. Chasis PN-25-CT

Cubeta PN-25: Dispositivo que recibe el producto de la alimentación. Su función es realizar la pesada junto con las células de carga. Está conectado a las células mediante espárragos de fijación. Cuando se llega al peso prefijado la alimentación se cierra y la cubeta deja de recibir producto. Posteriormente se descarga abriendo las compuertas accionadas mediante un cilindro neumático (ver Figura 6).

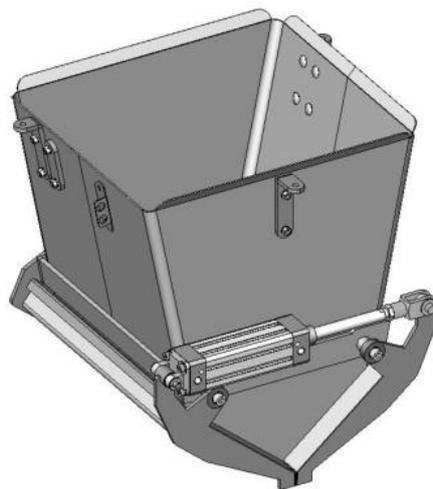


Figura 6. Cubeta PN-25

Boca ensaque 180 PN-25: La boca de ensaque (ver Figura 7), esta provista de dos mordazas sujetas-sacos (1) accionados mediante dos cilindros neumáticos (2), cuyo objetivo es el de sujetar el saco en la boca de ensaque de forma estanca mediante las correas y topes de goma en los extremos (3). Estas mordazas, el

movimiento lo realiza a baja presión, pasando a alta presión en el momento de iniciar la pesada.

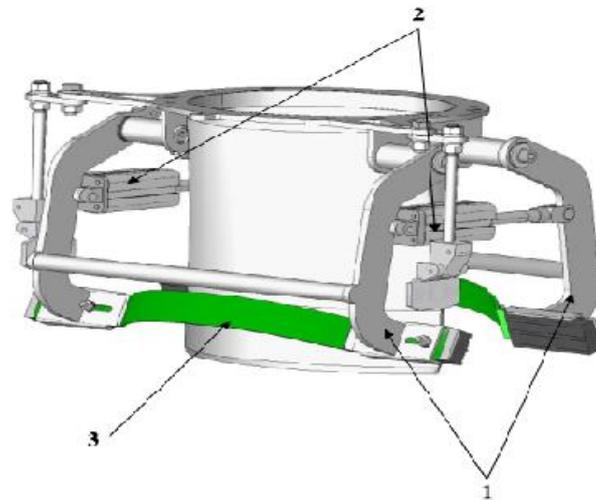


Figura 7. Boca ensaque 180 PN-25

Cosedora de sacos: La máquina de costura industrial 80800CN de Union Special² utilizada para coser sacos detecta automáticamente cada saco que pasa a través de su sistema mediante el uso de un sensor fotocélula. Una vez detectado el saco, la maquinaria cosedora inicia de manera autónoma el proceso de costura requerido para sellar el saco. (ver Figura 8).



Figura 8. Cosedora de sacos 80800CN

En el Anexo 1 se puede observar un plano detallado de la instalación. En dicha ficha se especifican las características del equipo y se detallan parámetros como

² <https://unionspecial.com/>

la acometida eléctrica. Asimismo, se describen aspectos constructivos clave como las tolvas y cintas transportadoras, los cabezales dosificadores, el mecanismo de sellado y la rutina de empaclado.

1.3.1 Funcionamiento de la ensacadora

El funcionamiento de una ensacadora automatizada para piensos comprende una secuencia de procesos clave, los cuales se desarrollan de manera continua y sincronizada, a continuación, se detallan los procesos que intervienen en la misma:

1. Alimentación de material: El material a granel (pienso) es depositado en una tolva de alimentación. Desde ahí pasa mediante transporte mecánico a la tolva de dosificación.
2. Dosificación: La tolva de dosificación mide y libera una cantidad predeterminada de material a través de una compuerta accionada por un pistón neumático. Este mecanismo es controlado por un módulo de pesaje MCB+ asegura que cada saco tenga el peso correcto.
3. Formación del saco: Los sacos vacíos son colocados en la boquilla de llenado de forma manual por un operador. Una vez en posición, la boquilla se abre y se llena el saco con el material dosificado.
4. Sellado del saco: Una vez lleno, se traslada el saco mediante una estera que es accionada por un operador de forma manual hacia el sistema de sellado donde las bolsas son cosidas por una cosedora de sacos manipulada a su vez por el mismo operador.
5. Desalojo de sacos: Los sacos llenos y sellados se transportan mediante una estera fuera de la máquina para ser paletizados o embarcados.

La operación de la ensacadora es controlada por un PLC VIPA CPU 114-6BJ02 y un módulo de pesaje con HMI MCB+.

1.3.2 Deficiencias

Los equipos de envasado automático constituyen un eslabón crítico en la línea de producción de piensos compuestos, pues garantizan el llenado eficiente y controlado de los envases de salida. Sin embargo, al tratarse de maquinaria compleja que opera de forma continua en condiciones exigentes de higiene y calidad, surgen distintos tipos de problemas y deficiencias ocasionales en su funcionamiento.

Estas fallas en la ensacadora, al presentarse con cierta frecuencia o gravedad, afectan negativamente la productividad general de la planta, la inocuidad del producto y el cumplimiento de especificaciones. Por este motivo, es importante diagnosticar a tiempo las potenciales causas de deterioro o subutilización de esta máquina, de manera que se puedan implementar las acciones correctivas oportunas.

A continuación, se describen las deficiencias existentes en la ensacadora:

- Baja en el ritmo productivo: Al requerir intervención manual en algunas etapas como en el caso del posicionamiento del saco y el traslado del mismo en la estera transportadora se ralentiza el proceso.
- Errores humanos: Mayor probabilidad de sacos mal sellados, rotos, con sobrantes o faltantes, esto es producto a que la máquina de coser se acciona manualmente y se realiza a ojo humano.

Otra de las deficiencias existentes y más importantes de la ensacadora es que cuenta con un PLC VIPA CPU 114 – 6BJ02 (Anexo 2) que se encuentra obsoleto.

Algunas de sus características técnicas son las siguientes [2]:

- Fuente de Alimentación: 24 V
- Numero de Entrada Digitales (DC 24 V): 16
- Número de Salidas Digitales (DC 24 V, 0.5 A): 8
- Comunicación: MPI
- Interface: RS485
- Fabricante: VIPA
- País: Alemania

El PLC VIPA CPU 114 ya se considera un equipo obsoleto que limita el rendimiento de la ensacadora, siendo recomendable su cambio por un controlador más moderno. Con más de 15 años en el mercado, este PLC presenta *hardware* anticuado con memorias y procesadores poco potentes, además de estar discontinuado y no presentar soporte técnico.

Su capacidad de entradas/salidas es reducida y no permite expansión, su interface de comunicación RS485 dificulta la integración con la red industrial existente en la fábrica. Esto restringe significativamente las posibilidades de automatización e implementación de funciones avanzadas.

Un PLC más reciente permitiría contar con *hardware* más potente, conectividad nativa a Ethernet y una plataforma abierta a las aplicaciones del presente y futuro, logrando mayores niveles de productividad de forma sostenible. De no realizarse el cambio, la operatividad de la ensacadora continuará limitada por la obsolescencia del VIPA CPU 114.

Por último, este PLC presenta problemas de incompatibilidad con el *software* SCADA TIA Portal V13, restringiendo la comunicación entre ambos sistemas. Esto se debe a que posee un *firmware* que es incompatible (sin posibilidades de actualización) con las plataformas industriales actuales requeridas por TIA Portal V13.

Finalmente, el *driver* de comunicación específico para el CPU 114 ya no está disponible en TIA Portal V13. Todos estos factores impiden materializar la supervisión y control remoto desde el SCADA, limitando las funcionalidades de la ensacadora.

1.4 Descripción tecnológica de la automatización de la fábrica

La fábrica cuenta con varios niveles de automatización, desde el almacenamiento de materias primas hasta el empaquetado final del producto. Utiliza tecnologías como autómatas programables, instrumentación inteligente, buses de campo y un sistema SCADA para posibilitar la operación integrada y optimización de recursos.

A continuación, se detalla la instrumentación y los equipos automatizados más relevantes en las distintas etapas de elaboración del pienso.

El PLC principal de la fábrica es un S7-400 CPU 414-2 que pertenece a la gama clásica de PLC industriales de Siemens, siendo una solución robusta y fiable probada en miles de aplicaciones similares a lo largo de decenas de años. Sus principales características que lo hacen adecuado para este propósito son su elevado rendimiento, versatilidad de comunicaciones, programación estructurada en lenguaje *Ladder* y capacidad para integrar cientos de señales de E/S [3].

Este PLC controla y coordina de forma centralizada todos los procesos asociados a fabricación de pienso, como dosificación, mezclado, molienda, formado, envasado y almacenamiento de producto terminado. Su implementación ha permitido automatizar complejas secuencias y lograr altos estándares de calidad, trazabilidad y productividad en la planta.

Otro de los componentes clave de la automatización de procesos es el equipo de arranque y control de motores eléctricos. En las diferentes etapas del proceso de fabricación de piensos se requiere el accionamiento preciso y controlado de motores de molinos, transportadores, mezcladores y otros equipos.

Para este fin, la planta ha implementado arrancadores inteligentes del modelo Tesys U fabricados por Schneider Electric [4], que es un arrancador vectorial avanzado, ideal para aplicaciones industriales exigentes donde se precisa control fino del par y velocidad del motor. Dentro de sus funcionalidades se encuentran: arranque suave, protección contra sobrecargas, frenado dinámico y comunicaciones de red.

Gracias al uso de este equipo, se logra el arranque y frenado controlado de los motores eléctricos, mejorando la precisión y suavidad de los procesos productivos. Además, proporciona información valiosa al PLC principal para la supervisión y trazabilidad de las operaciones unitarias.

Existe otro PLC en la fábrica, es un M221CE16R de Schneider Electric [5] y se encuentra siendo utilizado únicamente para contar la cantidad de litros de aceite que se utiliza en el subproceso de mezclado y enviarlos al SCADA.

Este PLC permite programar secuencias más complejas, cuenta con capacidades para reducir procesos de selección, presenta protocolos de comunicación como Modbus TCP, Ethernet I/O y Modbus Serial. Su programación se puede realizar por medio de un puerto USB sin necesidad de que el PLC esté energizado y Su capacidad de módulos de expansión alcanza los 14 módulos (7 directos + 7 con expansión).

Sin embargo, en línea con el objetivo de resolver los problemas de automatización de la planta, se tiene contemplado sustituir el PLC que actualmente controla el subproceso de ensacado por el PLC M221 de Schneider Electric. Dada la naturaleza más exigente de las operaciones de llenado y su necesidad de comunicarse con SCADA, se considera que el modelo M221CE16R es el más adecuado para implementar un sistema de control integral que optimice las funciones automatizadas del ensacado de manera eficiente y trazable.

1.5 Protocolos de comunicación de la Fábrica

La fábrica cuenta con un sistema de comunicación entre sensores, actuadores y el controlador principal (PLC S7-400 CPU 414-2). Se emplea una red PROFIBUS y pasarelas Modbus para el intercambio de datos con los actuadores y componentes eléctricos, y AS-I para la instrumentación de campo (Ver Figura 9).

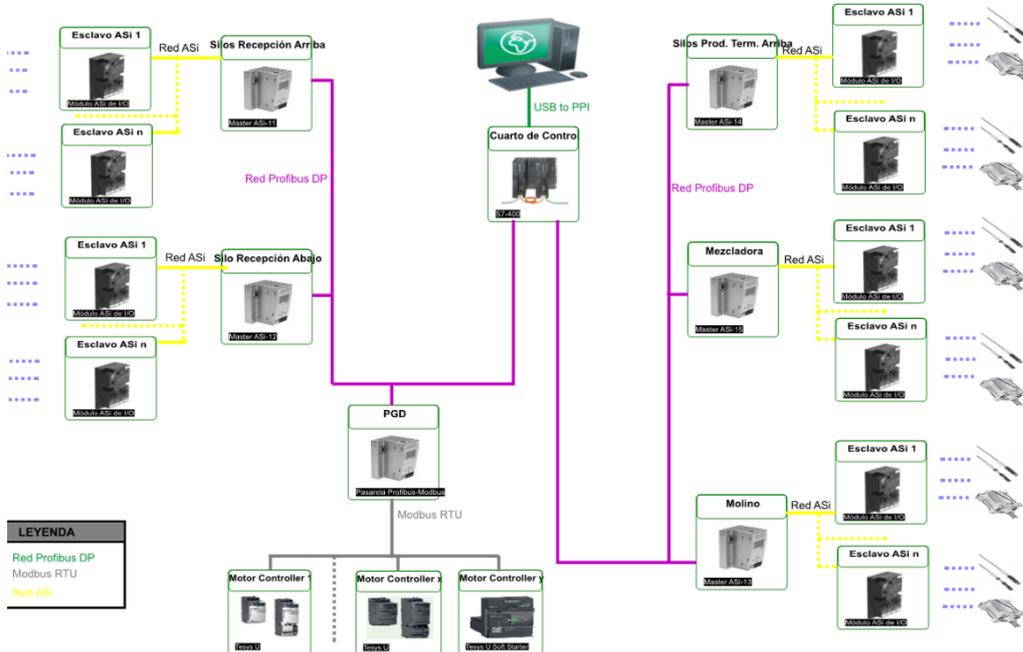


Figura 9. Arquitectura de comunicación.

1.5.1 Red PROFIBUS

PROFIBUS es actualmente el líder de los sistemas basados en buses de campo en Europa y goza de una aceptación mundial. Sus áreas de aplicación incluyen manufacturación, automatización y generación de procesos. Es un bus de campo normalizado internacional que fue estandarizado bajo la norma EN 50 170. Esto asegura una protección óptima tanto a los clientes como a los vendedores y asegura la independencia de estos últimos [6].

Datos técnicos [7]:

- Velocidad de transmisión 9.6 kbit/s - 12 Mbit/s
- Medio de transmisión:
 - eléctrico: cable de dos hilos apantallado.
 - óptico: cables de Fibra óptica (cristal y plástico).
 - sin hilos: infrarrojos.
- Número máximo de nodos: 127

- Tamaño de la red:
 - eléctrica: máx. 9.6 km (depende de velocidad).
 - óptica: 150 km (depende de velocidad).
- Aplicaciones: Comunicación de proceso, campo o datos.

Características de PROFIBUS-DP:

- Orientado a sustituir de manera económica el cableado entre diferentes PLC y elementos de entrada/salida.
- Muy rápido, transmite 1 Kbyte de datos de entrada y salida en menos de 2 ms.
- Herramientas potentes que reducen el trabajo de configuración y mantenimiento.
- La mayoría de fabricantes de PLC soportan PROFIBUS.
- Amplia gama de productos disponibles: PLC, PC, I/O, *drivers*, válvulas, encoder.
- Transferencia cíclica y acíclica permitida.
- Redes Mono y multi maestro.
- Hasta 244 bytes de entrada y salida por estación.

La tecnología de transmisión más usada es la RS-485, conocida habitualmente como H2. Se usa un par diferencial con cable trenzado, previsto para comunicación semidúplex, aunque también puede implementarse con fibra óptica y enlaces con estaciones remotas vía módem o vía radio.

1.5.2 Red AS-I (Interface-Sensor Actuator)

AS-Interface o AS-i es un Bus de Sensores y Actuadores, estándar internacional IEC62026-2 y europeo EN 50295 para el nivel de campo más bajo desde 1999 [8]. Las especificaciones de AS-i se encuentran actualmente en su versión 3.0.

Sus características se resumen a continuación [9]:

- Permite la conexión de sensores y actuadores "No AS-i" mediante módulos activos.
- Ideal para la interconexión de sensores y actuadores binarios. A través del cable AS-I se transmiten tanto los datos como la alimentación.
- Cableado sencillo y económico.
- Fácil montaje, con perforación de aislamiento.

- Reacción rápida: máximo 5 ms para intercambiar datos con hasta 31 esclavos.
- Velocidad de transferencia de datos de 167 Kbit/s.
- Máximo 100 m por segmento, con posibilidad de extensión hasta 3 segmentos (300 m).
- Permite conectar hasta 124 sensores y 186 actuadores con módulos estándar.
- Cumple con los requerimientos IP-65/HIP- 6 (idóneos para ambientes exigentes) e IP- 20 (aplicaciones en cuadro).
- Temperatura de funcionamiento entre -25 °C y +85 °C.
- Transmisión por modulación de corriente (Modulación Alternada de Pulso, MAP), lo cual garantiza un alto grado de seguridad.
- Algunos estudios sugieren que se puede ahorrar mediante una red AS-I entre un 15% y 30% del coste total.

Las pasarelas PROFIBUS DP-ASI están distribuidas en diferentes áreas de la fábrica, concentrando así en un bus de campo las señales de entrada y salida que posibilitan el manejo y control de los dispositivos primarios de control y actuadores, ya sean detectores de giro, atasco, niveles o accionamiento de electroválvulas y señales de alarma.

El uso de una red AS-I supone un ahorro considerable en la instalación, planificación y en el mantenimiento de máquinas e instalaciones, principalmente en los costes relacionados con los tiempos y materiales de cableado. La eliminación del mazo de cables facilita la inspección de la instalación y el mantenimiento se facilita, teniendo en cuenta que el maestro detecta fallos en los esclavos y defectos de alimentación. También se reduce el riesgo de incendio por la utilización de un único cable de alimentación, y se ahorra espacio en los armarios por prescindir de gran cantidad de módulos de E/S y sus cables asociados.

1.5.3 Red Modbus

El protocolo Modbus fue desarrollado por la empresa Modicon, parte de la Schneider Automation en 1979. En el protocolo están definidos el formato de los mensajes utilizado por los elementos que hacen parte de la red Modbus, los

servicios (o funciones) que pueden ser ofrecidos vía red, y también como estos elementos intercambian datos en la red.

Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria, es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales [10].

Las principales razones por las cuales el uso de Modbus en el entorno industrial se ha impuesto a otros protocolos de comunicaciones son [10], [11]:

- Se diseñó teniendo en cuenta su uso para aplicaciones industriales
- Es público y gratuito
- Es fácil de implementar y requiere poco desarrollo
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones

Modbus-RTU es la implementación más común disponible para Modbus [12]. Se utiliza en la comunicación serie y hace uso de una representación binaria compacta de los datos para el protocolo de comunicación. El formato RTU sigue a los comandos/datos con una suma de comprobación de redundancia cíclica (CRC) como un mecanismo de comprobación de errores para garantizar la fiabilidad de los datos. Un mensaje Modbus-RTU debe transmitirse continuamente sin vacilaciones entre caracteres. Los mensajes Modbus son entramados (separados) por períodos inactivos (silenciosos).

La red Modbus-RTU utiliza el sistema maestro-esclavo para el intercambio de mensajes. Permite hasta 247 esclavos, más solamente un maestro. Toda comunicación inicia con el maestro haciendo una solicitud a un esclavo, y contesta al maestro el que fue solicitado.

MODBUS no especifica cuál ha de ser la capa física, aunque la más usada es el soporte metálico y su velocidad de transmisión va desde los 75 a los 19200 baudios recomendados por el estándar, aunque en condiciones adecuadas se pueden configurar velocidades mayores.

Este protocolo se utiliza en la sección de los arrancadores inteligentes (Tesy U).

1.5.4 Ethernet

La definición del protocolo Ethernet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) es la de un estándar de red de comunicación capaz de manejar grandes cantidades de datos a velocidades de 10 Mbps o 100 Mbps, y hasta 1500 bytes por paquete. La

especificación utiliza un protocolo abierto en la capa de aplicación. Ethernet funciona enviando paquetes de datos a la red. Estos paquetes son enviados usando *frames*, que incluyen los datos y la dirección de donde viene y se está enviando, etiquetado VLAN, información de corrección de errores y calidad de servicio de información [13].

Este protocolo solo es utilizado en la fábrica para comunicar el PLC M221 que se encuentra en el subproceso de mezclado con el SCADA.

1.6 Sistemas informáticos usados en la supervisión

A través de la red, el autómatas se comunica con todos los sensores y actuadores en el campo, tomando en consecuencia las decisiones principales. El PLC (S7-400 CPU 414-2) está comunicando al PC con sistema supervisor WINCC, que es un componente de la plataforma TIA PORTAL V13 de Siemens [14].

SIMATIC WinCC es un sistema de visualización de procesos escalonado y dotado de potentes funciones para la supervisión de procesos automatizados. Este aporta funcionalidad SCADA completa en Windows para todos los sectores, desde sistemas mono-puesto hasta sistemas multi-puesto distribuidos con servidores redundantes y soluciones para todos los lugares de instalación con clientes Web [15].

Se caracteriza sobre todo por su carácter abierto, su rendimiento, puede combinarse fácilmente con programas estándar y de usuario, a fin de poder conseguir soluciones HMI que cumplen exactamente los requisitos de la práctica. A través de interfaces de dominio público, las empresas de sistemas informáticos pueden desarrollar sus propias aplicaciones para complementarlo. WinCC es un sistema moderno con interfaz de usuario de fácil manejo, que se utiliza tanto en oficinas como en producción, con funciones perfeccionadas y fiables, configurable con eficacia y escalable para tareas sencillas y complejas.

Por otro lado, las funciones de diagnóstico integradas ayudan a mantener el sistema durante su funcionamiento.

En este caso particular, se cuenta con una interfaz gráfica desde la cual los operadores pueden controlar y monitorizar todas las variables de la fábrica, a través de pantallas sinópticas que muestran el proceso (Figura 10). Desde el sistema de supervisión es posible generar alarmas, reportes, gráficos, variables o parámetros eléctricos de interés, así como la operación general de la planta.

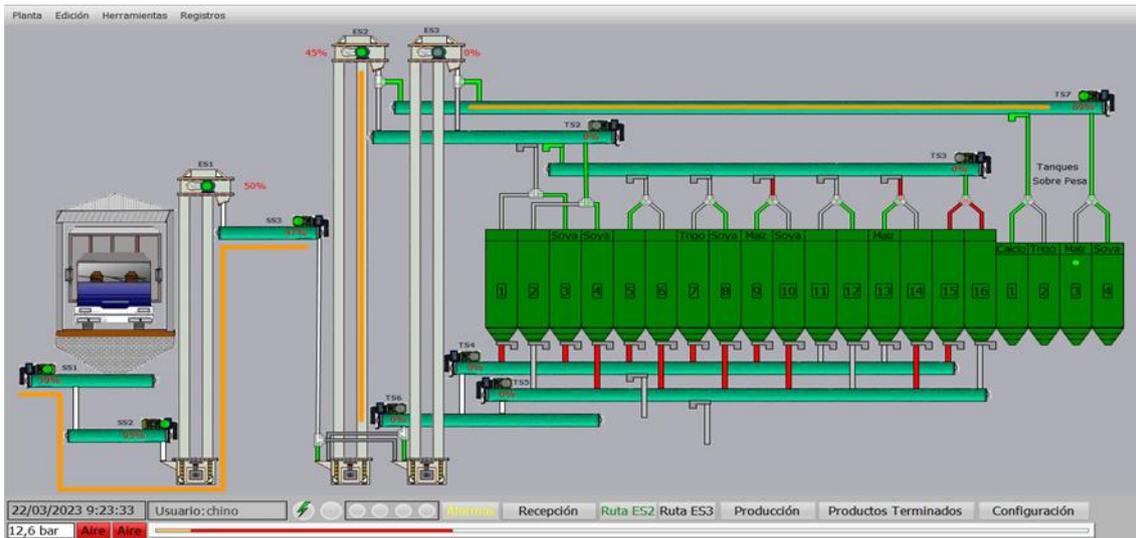


Figura 10. Visualización y control del proceso en el SCADA (Recepción)

Para el óptimo funcionamiento del sistema de supervisión, se dispone de una computadora personal (PC) con procesador, Intel Core i7, 3,00GHz, 4GB RAM con un monitor de 25 pulgadas, que contribuye a la amplia visualización del proceso.

Otras capturas de pantalla del software SCADA de la planta de fabricación de pienso como lo son Producción y Productos Terminados se encuentran en los Anexo 3 y Anexo 4.

El sistema permite el control automático, manual y local de los motores y actuadores (cilindros y válvulas) de la planta.

El control automático se realiza de forma remota mediante el PLC y los sensores/actuadores del proceso. El control manual otorga la posibilidad de accionar los equipos de forma individual desde un puesto de operador. Finalmente, el control local permite el funcionamiento autónomo de algún componente mecánico en caso de una desconexión del PLC central.

Tabla 1. Control Automático-Manual

Automático	Desde SCADA
Manual	Desde SCADA
Local	Arrancador <i>Tesys U</i> / Pulsador <i>Overdrive</i>

1.7 Conclusiones Parciales

En este capítulo se llevó a cabo un estudio del estado de la automatización actual de la Fábrica de Pienso “Omar de la Peña Peña”, así como sus características,

antecedentes y producción del pienso. Asimismo, se llevó a cabo un análisis técnico de la ensacadora, en el cual se detallaron sus principales especificaciones, componentes y áreas de oportunidad detectadas.

El análisis de la documentación técnica referente a la automatización industrial de la fábrica permitió evaluar además los procesos, equipos y componentes automatizados, así como sus respectivas especificaciones y firmas digitales. Del mismo modo, se comprobó la compatibilidad de dicha infraestructura con los diferentes protocolos y estándares de comunicación empleados. Finalmente, fue revisado el software de monitoreo del proceso industrial (SCADA), con el fin de diagnosticar su funcionamiento y determinar la posibilidad de integrar el subproceso de ensacado permitiendo un control más eficiente de esta operación.

CAPITULO 2. PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN EN LA ENSACADORA PN-25-CT-MCB+

En este capítulo se realizará una propuesta de integración en la cual se utilizarán diferentes medios de automatización, en función de garantizar una óptima calidad en el proceso de obtención de la línea de ensacado, así como su supervisión.

2.1 Propuesta de Control

La planta cuenta con un PLC M221CE16R (ver Figura 11) de Schneider Electric que se encuentra subutilizado en otro subproceso como se describe anteriormente, se propone utilizar este controlador en el sistema de ensacado. Este PLC es una opción adecuada para automatizar la ensacadora, ya que ofrece las especificaciones técnicas requeridas para este propósito. Posee memoria, velocidad de procesos suficientes para programar y controlar todos los procesos de llenado, sellado y empaclado de forma óptima.



Figura 11. PLC M221CE16R

Este controlador tiene 9 entradas digitales y 7 salidas a relé, por lo que se agregarán dos módulos expansibles adicionales para ampliar estas capacidades.

2.1.1 Módulos de entradas y salidas

Como parte de la propuesta de integración del sistema de automatización, se propone la incorporación de un módulo de entradas digitales **TM3DI16** de Schneider Electric (ver Figura 12). Este módulo contará con 16 entradas que permitirán satisfacer los requerimientos de adquisición de señales digitales

generadas por los distintos sensores y dispositivos de campo a integrar en la línea de ensacado.



Figura 12. Módulo de Entradas Digitales TM3DI16

El TM3DI16 ofrece características técnicas robustas y compatibilidad con los PLC TM3, siendo una solución compacta, confiable y económica para gestionar este tipo de señales dentro de la arquitectura de control propuesta.

Especificaciones [16]:

- Gama de producto: Modicon TM3
- Tipo de producto o componente: Módulo de entrada discreta
- Compatibilidad de gama: Modicon M241, M251, M221, M340
- Tensión de entrada digital: 24 V
- número de entradas digitales: 16

Del mismo modo, se plantea incorporar un módulo de salidas digitales **TM3DQ8R** (ver Figura 13) de Schneider Electric, el cual brindará 8 salidas a relé. Estas salidas resultan fundamentales para permitir el control y gestión de diversos componentes y equipos del sistema de automatización, tales como (electroválvulas, temporizadores y Relés). Este módulo ofrece una solución compacta e industrial para la salida de señales digitales hacia dispositivos de campo que requieran interfaz a relé. Gracias a su robustez y capacidad de pilotar cargas resistivas o inductivas, será una pieza clave en la comunicación bidireccional entre la parte lógica programable y los equipos a automatizar.

Sus características técnicas incluyen aislamiento óptico de las salidas, protección contra sobrecarga, LED de estado por salida y dimensiones compactas (45 x 100 x 75 mm) ideales para su montaje sobre carril DIN. El formato de bornes o conector provee flexibilidad a la hora de realizar el cableado. Además, equipado con 8 salidas a relé (forma C), este módulo permite gestionar cargas de hasta 5 Amperes y 250 VCA/CC y plena compatibilidad con PLC de la serie TM3 de Schneider [17].



Figura 13. Módulo de Salidas Digitales TM3DQ8R

Especificaciones [17]:

- Gama de producto: Modicon TM3
- Tipo de producto o componente: Módulo de salida discreta
- Compatibilidad de gama: Modicon M241, M251, M221, M340
- Tipo de salida digital: Relé normalmente abierto
- Número de salidas discretas: 8
- Lógica de salida discreta: Lógica positiva o lógica negativa
- Tensión de salida: 24 V CC para salida del relé, 240 V CA

2.1.2 Señales de entradas del PLC

Para concretar la automatización propuesta, es necesario asignar las señales de campo que serán recolectadas por el PLC para la supervisión y control remoto de los equipos, algunas de las cuales provienen de dispositivos existentes que deberán integrarse, mientras que otras requerirán de nueva instrumentación. En la Tabla 2 se muestra un listado organizado de las mismas en conjunto con el direccionamiento correspondiente para el PLC propuesto.

Gestionando todas estas señales a través de un nuevo PLC, el operador podrá supervisar de manera remota y automatizada el estado y funcionamiento de cada uno de los equipos involucrados en el proceso de ensaque.

Tabla 2. Señales de Entrada del PLC

#	Entradas Discretas	Direccionamiento
1	Relé Emergencia	I0.0
2	Abrir/Cerrar pinza	I0.1
3	Relé de descarga pesadora	I0.2
4	Temporizador descarga	I0.3
5	Entrada Optimización	I0.4
6	Selector de Descarga Automático/Manual	I0.5
7	Alarma fallo variador pesadora	I0.6
8	Fotocélula cosedora	I0.7
9	Selector marcha cinta	I0.8
10	Detector Giro sinfín carga afino	I1.0
11	Nivel Mínimo	I1.1
12	Nivel Máximo	I1.2
13	Cosedora Cosiendo	I1.3
14	Cosedora en marcha	I1.4
15	Reset protección anti-explosión	I1.5
16	Contacto Auxiliar carga rápida	I1.6
17	Contacto Auxiliar carga afino	I1.7
18	Fallo térmico	I1.8
19	Detector giro sinfín carga rápida	I1.9
20	Termostato motor afino pesadora	I1.10
21	Validación alarma	I1.11

2.1.3 Señales de salidas del PLC

Por otro lado, el PLC también generará señales de salida necesarias para controlar de manera automática los distintos equipos de la línea de ensaque. Algunos de los principales comandos de salida lo constituyen señales de apertura y cierre de válvulas neumáticas en la dosificación de sacos, el encendido y apagado secuencial de bandas transportadoras, tolvas y pesadoras, entre otras como se puede observar en la Tabla 3.

Del mismo modo, el PLC emitirá señales para el encendido de alarmas visuales y sonoras en caso de detectar paradas no programadas u otras fallas en la línea. De esta forma, el sistema automatizado gestionado por el PLC brindará un control centralizado, coordinado y trazable de todos los activos de producción involucrados en el proceso de despacho a granel.

Tabla 3. Señales de Salida del PLC

#	Salidas Discretas	Direccionamiento
1	Electroválvulas Mordazas	Q0.0
2	Electroválvulas Mordazas Alta Presión	Q0.1
3	Relé Auxiliar Descarga	Q0.2
4	Temporizador Descarga	Q0.3
5	Testigo Fin de Ciclo	Q0.4
6	Relé Auxiliar Aportación Producto	Q0.5
7	Accionamiento Cosedora	Q0.6
8	Relé Auxiliar mínimo pesadora	Q2.0
9	Relé Auxiliar marcha cinta	Q2.1
10	Permiso marcha alimentación	Q2.2
11	Fallo de térmico del motor de afino	Q2.3
12	Relé Auxiliar aviso luminoso alarma	Q2.4
13	Relé Auxiliar aviso sonoro alarma	Q2.5

2.2 Programación del PLC M221CE16R

El PLC se programará mediante el lenguaje de contactos *Ladder*, el cual permitirá representar gráficamente la lógica del proceso de ensacado de manera similar al controlador anterior. No obstante, se añadirán nuevas funcionalidades que optimicen las operaciones, como por ejemplo el control de la máquina cosedora de sacos y el conteo automático de bolsas producidas. El objetivo es implementar estrategias de programación que permitan realizar el proceso de ensacado de forma más eficiente, flexible y con monitoreo en tiempo real de los principales indicadores productivos.

La secuencia de control a programar se describe en los pasos siguientes:

1. Inicio del ensacado
2. Esperando saco: espera a que el operador coloque un saco vacío en la boquilla de llenado

3. Llenado de cubeta: Si el saco está en posición se inicia el pesaje activando el módulo MCB+ que se encarga de dosificar y llenar la cubeta con el producto hasta alcanzar el valor fijado.
4. Llenado de saco: Una vez que esta la cantidad de producto, según valor predeterminado, se abren las compuertas y cae el producto en el saco.
5. Retirar saco lleno: Transcurridos 5 segundos, el saco es liberado sobre la estera y se dirige a la cosedora.
6. Sellar saco: Cuando la cosedora detecta el saco, comienza el sellado de la abertura del mismo.
7. Evacuar saco: El saco continúa en la estera hasta que sale de la máquina para su almacenamiento.

La programación se desarrolló en el *software* EcoStruxure Machine Expert v1.2, este programa presenta una potente herramienta de programación gráfica para autómatas programables industriales de la marca Schneider Electric [18].

Posee una interfaz intuitiva que permite editar y depurar programas de control utilizando símbolos normalizados como contactos, bobinas y bloques funcionales. Es compatible con diferentes plataformas *hardware* porque genera código nativo para cada una. Ofrece funciones de simulación para probar la lógica antes de cargarla al PLC. Además, facilita la auto-documentación a través de descriptores de rutinas y variables.

Sus programas se estructuran en unidades de organización de programas (*Program Organization Unit*, POU) orientados a tareas, lo que mejora la legibilidad y mantenimiento.

Su interfaz gráfica amigable lo convierte en una herramienta valiosa tanto para ingeniería como para mantenimiento de sistemas automatizados industriales. Su amplia adopción se debe a que optimiza procesos de programación, puesta en marcha y resolución de fallas.

En la Figura 14, se muestra una de las principales rutinas (secciones de la programación) que se utilizaron en el programa.

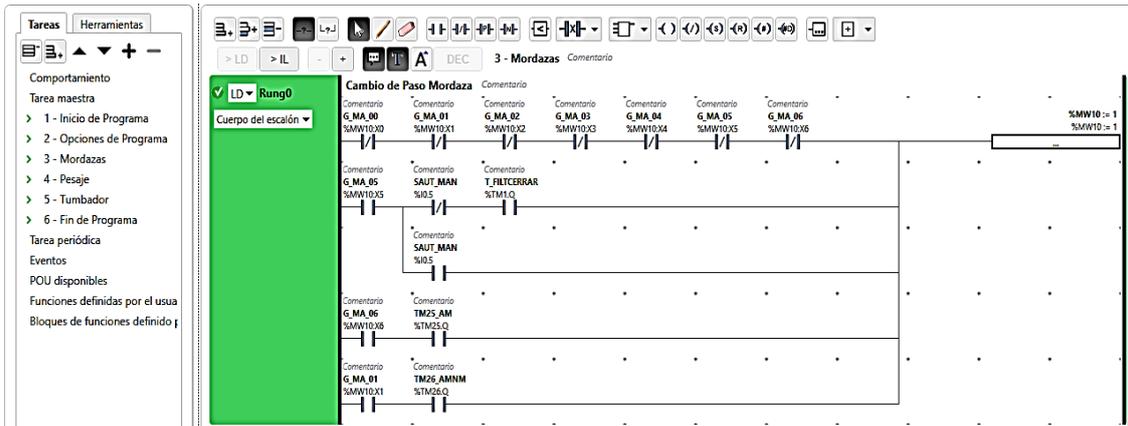


Figura 14. Programación del PLC

2.3 Algoritmo de Trabajo.

Partiendo del funcionamiento de la ensacadora descrita en el epígrafe 1.3.1, se diseñó el siguiente modelo en GRAFCET del proceso a automatizar:

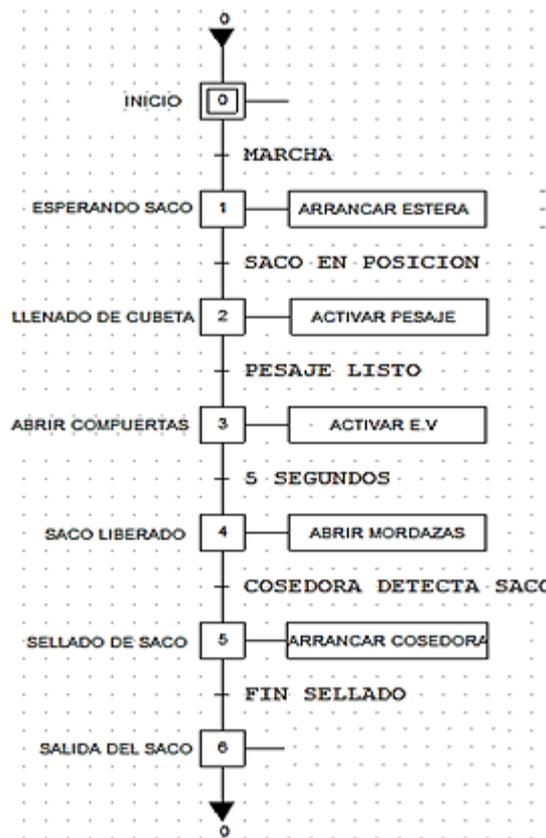


Figura 15 GRAFCET del proceso

2.4 Comunicación

El protocolo de comunicación empleado para la integración fue MODBUS TCP/IP, utilizando la interfaz Ethernet. Se configuró asignándole la IP

192.168.1.2, en la Figura 17 se puede observar una representación de cómo quedaría conformada la red.

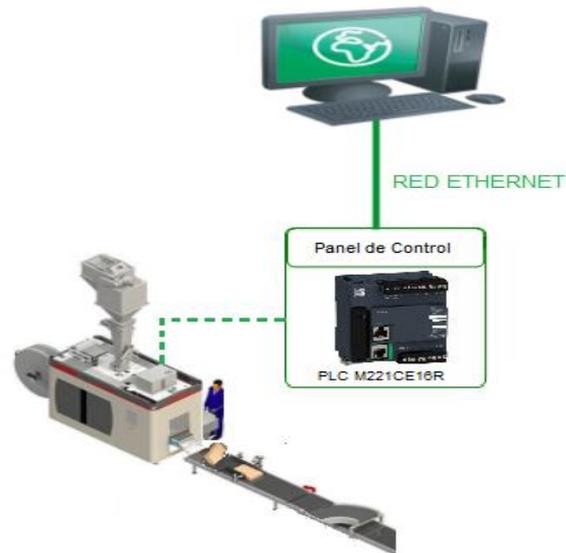


Figura 16. Comunicación Ensambladora-SCADA

2.5 Integración al SCADA

El *software* SCADA implementado para la supervisión y control del sistema de automatización de la planta de fabricación de piensos fue desarrollado en la plataforma de ingeniería TIA PORTAL V13 de Siemens. En particular, se utilizó el módulo WinCC de dicha suite de programación, el cual permite generar de manera intuitiva proyectos SCADA avanzados capaces de integrarse de manera nativa con los PLC.

Se implementaron las adaptaciones necesarias para mostrar la cantidad de sacos que se producen mediante la programación del PLC y que el SCADA pueda recopilar y monitorear en tiempo real la información relacionada con la producción de sacos.

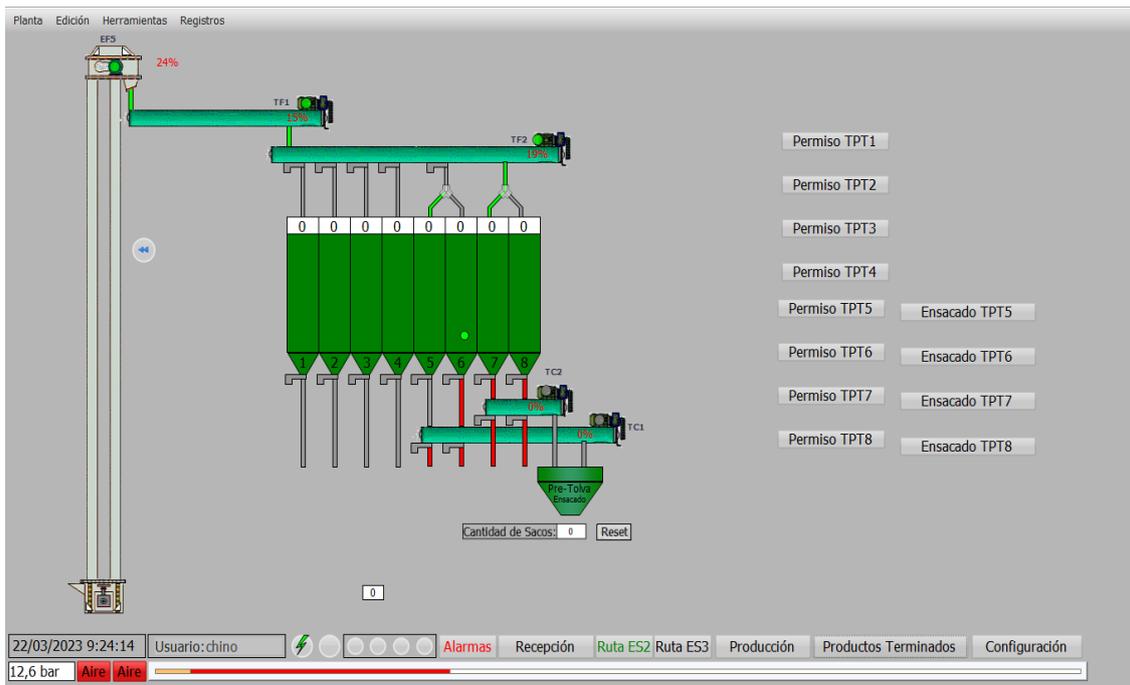


Figura 17. Pestaña de productos terminados (SCADA) rediseñada.

En particular, se agregó una visualización gráfica y un indicador numérico que permite conocer la cantidad de sacos producidos como se puede observar en la Figura 17. De esta forma, el personal supervisor podrá llevar un control sobre esta etapa productiva y tomar acciones correctivas de manera ágil ante cualquier desviación en el rendimiento esperado.

2.6 Valoración Económica

Se valora el costo de la propuesta del sistema teniendo en cuenta el gasto material.

Tabla 4. Gasto Material de la propuesta

No	Dispositivos	Ctdad	Precio (MLC)	Precio (CUP)
1	TM3DI16	1	206,52	24.782,4
2	TM3DQ8R	1	146,44	17.572,8
	TOTAL		352,96	42.355,2

Tabla 5. Costo de mano de obra

No	Capital Humano	Ctdad	Valor H/H	Horas a Trabajar	Precio (CUP)
1	Ingeniero en Automática	1	139,8325	120	16.779,9
2	Técnico Eléctrico	1	139,8325	120	16.779,9
	TOTAL			240	33.559,8

Según la estimación realizada utilizando la ficha de costos de la empresa CEDAI el importe total requerido para la implementación del presente proyecto de modernización del sistema de control ascendería a aproximadamente 75.915 pesos cubanos (CUP). Dicho cálculo se realizó en base a la ficha de costos empleada por CEDAI para proyectos de automatización industrial, la cual incluye los distintos insumos, equipos y servicios necesarios para este tipo de implementaciones.

Debido a que la Fábrica de Pienso funciona como Unidad Económica de Base (UEB) y vende el pienso producido de manera subsidiada por el Estado, no dispone de un presupuesto propio de inversión. No obstante, el presente proyecto de mejora del sistema de control será evaluado por las autoridades competentes para determinar su viabilidad técnica y financiera. De resultar aprobado, se gestionaría el financiamiento requerido a través de las diferentes vías de fondos disponibles para este tipo de iniciativas en una UEB.

2.7 Conclusiones parciales

En el capítulo se realizó una descripción del proceso de automatización que se pretende implementar en la Fábrica de pienso “Omar de la Peña Peña”. Se describe y se caracteriza el controlador y el sistema de visualización propuesto. También se da a conocer el *software* que se utiliza para programar la familia M221 al cual pertenece el controlador propuesto. Se visualiza la programación del PLC y la representación del proceso en GRAFCET. Se muestra cómo quedaría integrada al SCADA y por último, se da una valoración económica correspondiente a la solución propuesta tomando en consideración el costo de los materiales necesarios, así como la mano de obra.

CONCLUSIONES GENERALES

La propuesta presentada está orientada al cumplimiento de los objetivos definidos, por lo que se puede concluir que:

- Se espera que el proyecto logre resolver el inconveniente inicial de incompatibilidad de *software* entre la ensacadora adquirida y el sistema de supervisión de la fábrica, diseñando un sistema automatizado para el subproceso de envasado basado en un PLC.
- La solución propuesta, que incorporó el PLC M221 de Schneider y comunicación vía MODBUS TCP/IP, permitió integrar de forma armónica este subsistema crítico al SCADA de gestión y control de toda la planta.
- Se espera una línea de ensacado totalmente automatizada bajo parámetros programables en el PLC, una mejora considerable en la eficiencia al reducir el tiempo de accionamientos manuales, la disminución de los niveles de peligrosidad y la generación de errores humanos, y aumento de la comercialización de pienso envasado en menos tiempo.
- Se podrá además almacenar los históricos de producción, ventas y disponibilidad del equipamiento para análisis futuros (económicos, energéticos, de fiabilidad, etc.).

RECOMENDACIONES

Se recomienda:

- Implementar la propuesta en la fábrica.
- Evaluar la incorporación de un sistema automatizado de pinzas que guíen un saco antes de la etapa de costura, con el objetivo de reducir la intervención manual del operador encargado de esta tarea y optimizar la productividad.

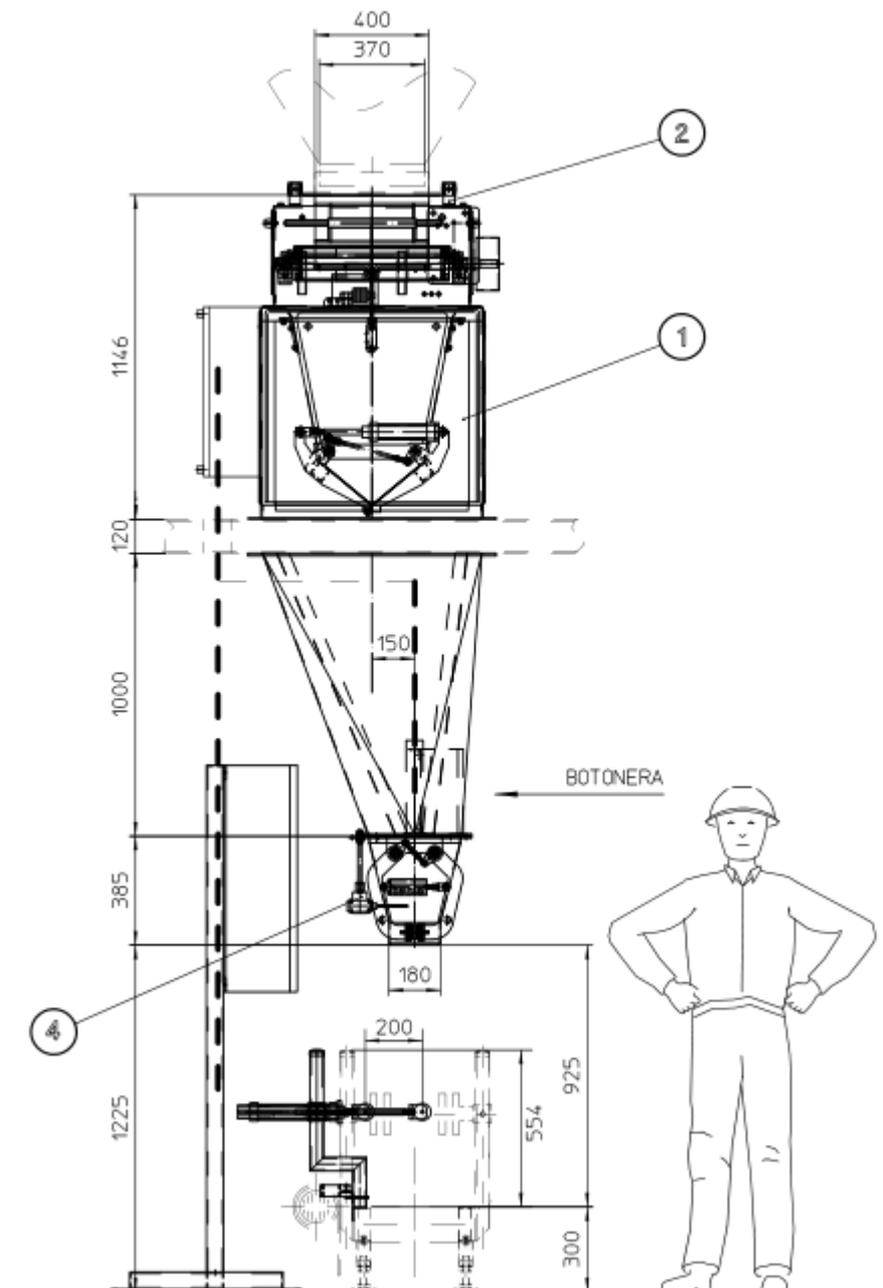
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

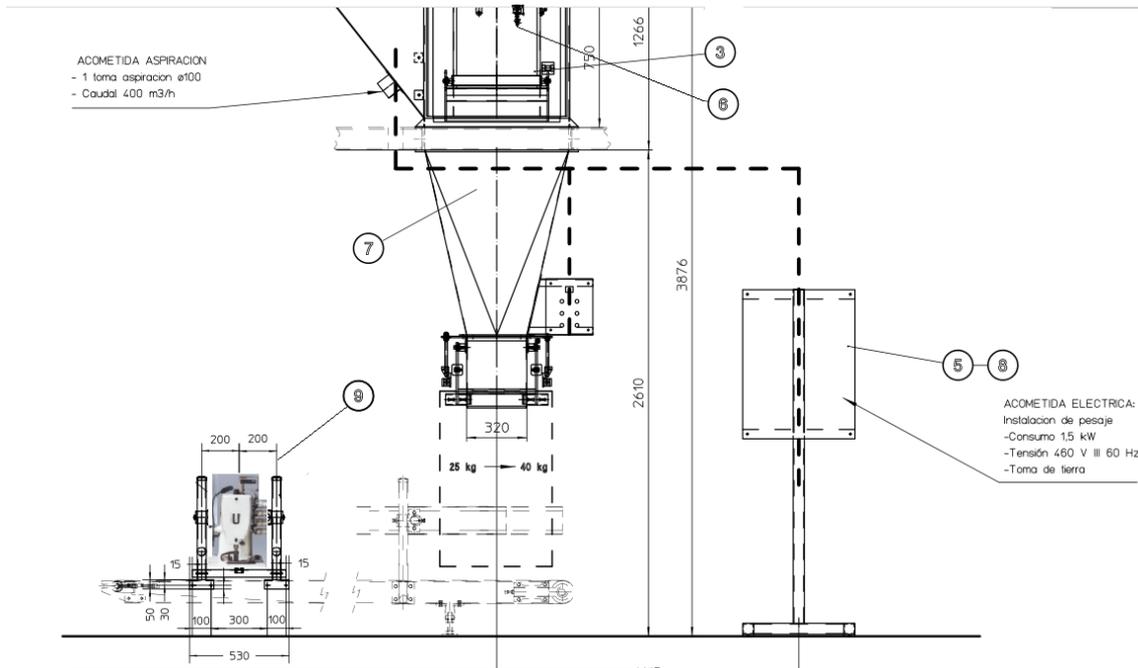
- [1] Rosal Instalaciones Agroindustriales, «Manual de Instalación, Funcionamiento y Mantenimiento». 2013.
- [2] «VIPA 114-6BJ02 | CPU 114 - Micro PLC». [En línea]. Disponible en: <https://vipausa.com/products/114-6bj02-cpu114-16kb-16di-4do-4dio-50khz-pwm-obsolete.html>
- [3] «CPU 414». [En línea]. Disponible en: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7414-2XL07-0AB0>
- [4] «TeSys Ultra / Tesys U | Schneider Electric España». [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product-range/682-tesys-ultra-tesys-u/>
- [5] «TM221CE16R - M221 PLC 16 ES RELE ETH COMPACT | Schneider Electric Argentina». [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/ar/es/product/TM221CE16R/m221-plc-16-es-rele-eth-compact/>
- [6] «PROFIUS Overview». [En línea]. Disponible en: <https://www.profibus.com/technology/profibus/overview>
- [7] «PROFIBUS según IEC 61158/EN 50170». Siemens Catálogo IK PI, 2004.
- [8] «AS-Interface | Safety at Work». [En línea]. Disponible en: <https://www.as-interface.net/en/technology/safety-at-work>
- [9] C. A. Victoria Cardona, «Guía de aprendizaje para la actividad: aplicación de la tecnología AS-I para implementar una red de sensores y actuadores», 2008.
- [10] A. F. R. Olaya, A. B. López, y F. G. G. Moreno, «Implementación de una Red MODBUS/TCP», *Ing. Compet.*, vol. 6, n.º 2, pp. 35-44, 2004.
- [11] S. Jaloudi, «Communication protocols of an industrial internet of things environment: A comparative study», *Future Internet*, vol. 11, n.º 3, p. 66, 2019.
- [12] H. Herath, S. Ariyathunge, y H. Priyankara, «Development of a data acquisition and monitoring system based on MODBUS RTU communication protocol», *Development*, vol. 5, n.º 6, 2020.
- [13] T. E. Budne, «Ethernet industrial: protocolo ethernet no ambiente industrial», 2019.

- [14] «TIA Portal», siemens.com Global Website. [En línea]. Disponible en: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>
- [15] «SIMATIC WinCC RT Professional», siemens.com Global Website. [En línea]. Disponible en: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-professional-rt.html>
- [16] «TM3DI16 - Modicon TM3 - Módulo TM3 - 16 entradas | Schneider Electric España». [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/TM3DI16/modicon-tm3-m%C3%B3dulo-tm3-16-entradas/>
- [17] «TM3DQ8R - Modicon TM3 - Módulo TM3 - 8 salidas de tipo Relé | Schneider Electric España». [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/TM3DQ8R/modicon-tm3-m%C3%B3dulo-tm3-8-sa%C3%ADdas-de-tipo-rel%C3%A9/>
- [18] «EcoStruxure Machine Expert (SoMachine) | Schneider Electric España». [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product-range/2226-ecostruxure-machine-expert-somachine/#overview>

ANEXOS

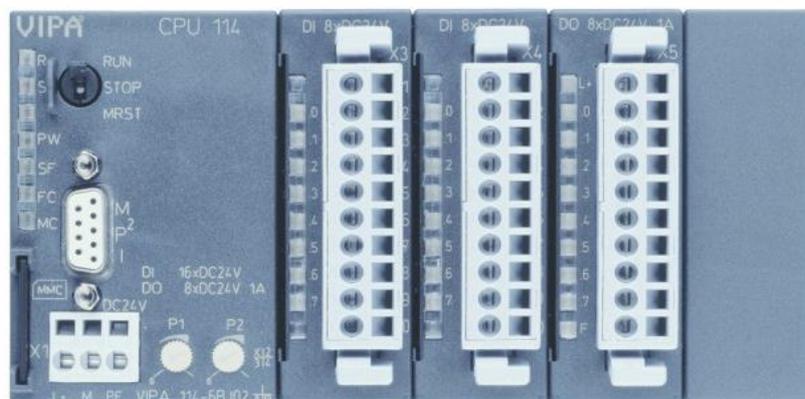
Anexo 1. Plano de Instalación.



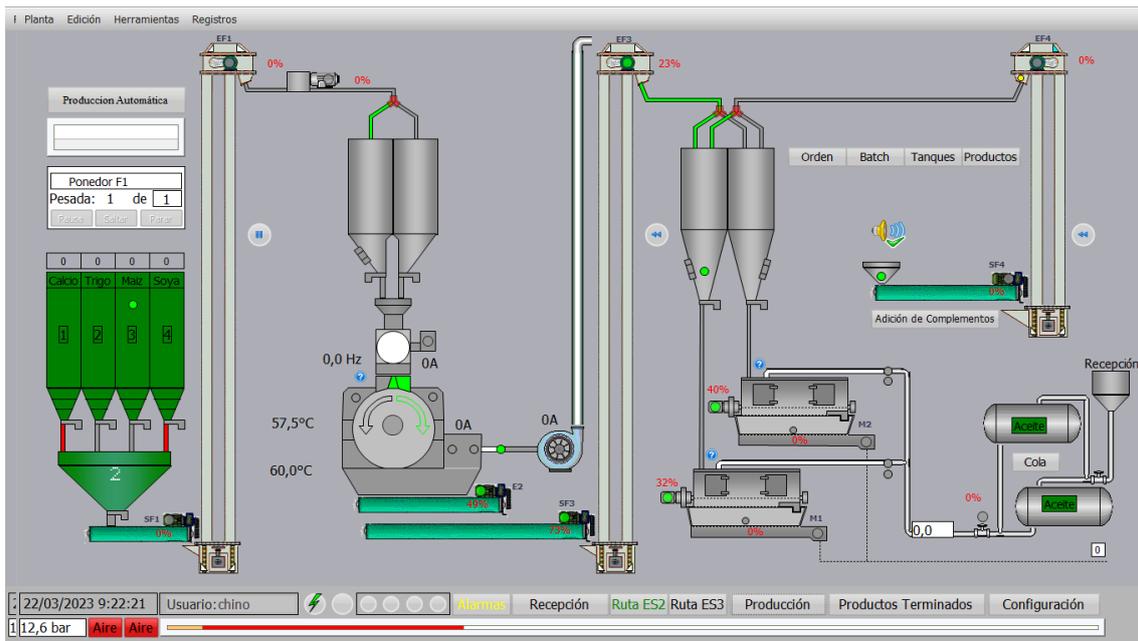


9	0016003-001	E1	1	MAQUINA COSEDORA DE SACOS 80800CN	
8	0013048-107	A1	1	SOPORTE PIE RACK MCB+	
7	0099600-792	A1	1	ACCESORIOS INSTALACION ROSAL 44080013	
6	0099702-006	A1	1	CONJUNTO DE 3 CELULAS PN-20/CT 6460-LB2-50 + PLACA MID	
5	0099701-037	A1	1	ELEMENTOS PESAJE 1 MCB PLUS COMPLETO	
4	0005062-027	A1	1	BOCA ENSAJE 180 PN-25-CG/CT (FESTO/F-1110)	
3	0004023-007	C1	1	CUBETA PN-25 120 LITROS 3 CEL. (F-1110) -CT-	
2	0001110-007	H1	1	ALIMENTACION PN-25/30-CT B-500 VAR.H.396 F-1110	
1	0002091-003	J1	1	CHASIS PN-25-CT 120 L BANDA 500	
Pos	CODIGO	Rv	Cant	DENOMINACION	OBSERVACIONES

Anexo 2. PLC VIPA CPU 114 – 6BJ02



Anexo 3. SCADA de la Fábrica (Producción).



Anexo 4. SCADA de la Fábrica (Productos Terminados).

