



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“SISTEMA AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y
PESADO DE CUBOS DE HIELO DE MANGO EN AGROINDUSTRIAS DE
LAMBAYEQUE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR
COSTOS OPERATIVOS”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Investigadores:

Bach. Victor Hugo Rodriguez Bances

Bach. Edinson Alexandro Suárez Delgado

Asesor:

Mtro. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo

LAMBAYEQUE – PERÚ

2025

TESIS

“SISTEMA AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y PESADO DE CUBOS DE HIELO DE MANGO EN AGROINDUSTRIAS DE LAMBAYEQUE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR COSTOS OPERATIVOS”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Presentada por:

AUTOR:



BACH. VICTOR HUGO RODRIGUEZ BANCES



BACH. EDINSON ALEXANDRO SUÁREZ DELGADO

ASESOR:



MTRO. ING. OBLITAS VERA CARLOS LEONARDO

TESIS

“SISTEMA AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y PESADO DE CUBOS DE HIELO DE MANGO EN AGROINDUSTRIAS DE LAMBAYEQUE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR COSTOS OPERATIVOS”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Aprobada por el jurado siguiente:



Dr. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
PRESIDENTE



MG. ING. MANUEL JAVIER RAMÍREZ CASTRO
SECRETARIO



Dr. ING. SANDRA LISETTE AZNARÁN GUEVARA
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO

Ciudad Universitaria - Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCION DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 - 2023-SUNEDU / CD



0086



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 48-2026-D/FACFyM

Siendo las 11:00 am del día 09 Junio del 2026 se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

"SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y PESADO DE CUBOS DE NIELO DE MANGO EN AGROINDUSTRIAS DE LAMBAYEQUE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR COSTOS OPERATIVOS"

Designados por Resolución N° 424 - 2025 D/FACFyM de fecha 14 Mayo 2025

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

DR. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS

Presidente

MG. MANUEL JAVIER RAMIREZ CASTRO

Secretario

DRA. SANDRA LISETTE ARZURAN GUEVARA

Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) Mtro. Ing. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA, nombrado por Resolución N° 424 - 2025 D/FACFyM de fecha 14 Mayo 2025

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 424 - 2026 D/FACFyM de fecha 29 Mayo 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): RODRIGUEZ BANCES VICTOR HUGO y SUAREZ DELGADO EDINSON ALEXANDRO y tuvo una duración de 35 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de DIECISEIS (16) en la escala vigesimal, mención (BUENO).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de INGENIERO ELECTRONICO, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Fisicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:15 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
Presidente

MG. ING. MANUEL JAVIER RAMIREZ CASTRO
Secretario

DRA. SANDRA LISETTE ARZURAN GUEVARA
Vocal

DR. ING. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA
Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Rodriguez Bances Victor Hugo / Suárez Delgado Edinson Alexa...
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: SISTEMA AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y PES...
Nombre del archivo: O_DE_CUBOS_DE_HIELO_DE_MANGO_EN_AGROINDUSTRIAS_D...
Tamaño del archivo: 2.16M
Total páginas: 111
Total de palabras: 12,974
Total de caracteres: 82,169
Fecha de entrega: 12-may-2026 08:22p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2959815633



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"SISTEMA AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y
PESADO DE CUBOS DE HIELO DE MANGO EN AGROINDUSTRIAS DE
LAMBAYEQUE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR
COSTOS OPERATIVOS"

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Investigadores:

Bach. Victor Hugo Rodriguez Bances

Bach. Edinson Alexandro Suárez Delgado

Asesor:

Mtro. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo

LAMBAYEQUE – PERÚ
2025


Dr. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Asesor
DNI 03701836

SISTEMA AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y PESADO DE CUBOS DE HIELO DE MANGO EN AGROINDUSTRIAS DE LAMBAYEQUE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR COSTOS OPERATIVOS

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	emergentcoldlatam.com Fuente de Internet	2%
4	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	es.readkong.com Fuente de Internet	1%
6	revistas.uasb.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1%

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, **Victor Hugo Rodriguez Bances y Edinson Alejandro Suárez Delgado**, investigadores principales, y el **Mg. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo** asesor de nuestro trabajo de investigación denominado **“SISTEMA AUTOMATICO PARA EL PROCESO DE LLENADO Y PESADO DE CUBOS DE HIELO DE MANGO EN AGROINDUSTRIAS DE LAMBAYEQUE PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD Y REDUCIR COSTOS OPERATIVOS”**, declaramos que este trabajo no está plagado y no contiene información falsa. Si se determina lo contrario, responsablemente cancelaremos este informe y procederemos a los trámites administrativos necesarios. Esto podrá dar lugar a la revocación de cualquier título o grado obtenido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 14 de setiembre del 2025.

AUTOR:

BACH. VICTOR HUGO RODRIGUEZ BANCES

BACH. EDINSON ALEXANDRO SUÁREZ DELGADO

ASESOR:

MTRO. ING. OBLITAS VERA CARLOS LEONARDO

DEDICATORIA

A Dios, por ser el ingeniero en mi vida, que puso en mi trayecto las oportunidades, la calma en los momentos difíciles y la fuerza necesaria para completar este tramo incluso cuando mis energías se agotaban. A todas aquellas personas que me motivaron a no rendirme en el proceso e incluso aquellas que hoy no están conmigo pero que sus consejos resuenan siempre en mi mente. A mí mismo, porque a pesar el sueño y la fatiga, solo daba un respiro, tomaba un energizante y me ponía a repasar para los parciales. Y aunque este sea el inicio del camino, puedo decir orgulloso que empezamos avanzar.

Bach. Victor Hugo Rodriguez Bances

Primeramente, a Dios por ser mi guía y estar presente en cada día de mi vida, a mis padres Julián y Yolanda que siempre han estado presentes como dos pilares inquebrantables y mi mayor sustento frente a cada desafío, a mi hermano Jhan Franco que ha sido mi orgullo desde pequeño, a Karen Yesabela, mi chica, que siempre ha confiado en mis capacidades y ha sabido llenar los vacíos de mi corazón por más de 10 años, Finalmente a mí por el logro de mis objetivos porque comprendí que los grandes profesionales buscan su lugar entre las estrellas.

Bach. Edinson Alexandro Suárez Delgado

ÍNDICE GENERAL

INFORMACIÓN GENERAL	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Síntesis de la situación problemática.	16
1.2 Formulación del problema de investigación.	17
1.3 Hipótesis.	17
1.4 Objetivos.	17
1.4.1 Objetivo general.....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
CAPITULO II: DISEÑO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes.....	19
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	19
2.1.2 Antecedentes Nacionales.	20
2.1.3 Antecedentes Locales	22
2.2 Bases teóricas.....	23
2.2.1 Automatización Industriales.....	23
2.2.2 Procesamiento y Congelación de Frutas IQF.....	24
2.2.3 Control y Monitoreo de Procesos en la Industria 4.0.	26
2.2.4 Frutas Congeladas.....	27
2.3 Bases Conceptuales	28
2.3.1 Operacionalización de variables.....	28
CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....	31
3.1 Procedimiento para seguir en la investigación para probar hipótesis	31
3.2 Población y muestra.....	32

3.3	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.....	32
CAPITULO IV: RESULTADO.....		34
4.1	Analizar el proceso actual de llenado y pesado de cubos de hielo de mango.....	34
4.2	Análisis cuantitativo del proceso actual de llenado y pesado de mango congelado	43
4.2.1	Análisis del tiempo de ciclo del proceso	44
4.2.2	Variabilidad del peso en el llenado inicial.....	44
4.2.3	Análisis del uso de mano de obra	45
4.2.4	Impacto en la productividad de la línea	45
4.2.5	Falta de registro y control del proceso	46
4.3	Selección de tecnologías sobre máquinas y sistemas de automatización para el proceso de llenado y pesado	46
4.4	Diseñar el sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango.	49
4.4.1	Propuestas de solución.....	49
4.4.2	Descripción del funcionamiento de los equipos.	56
4.4.3	Definición de Variables.....	57
4.4.4	Diagramas Eléctricos	58
4.4.5	Filosofía de Control.....	61
4.4.6	Código de Programación.....	63
4.5	Simular el sistema automatizado desarrollado.....	73
4.6	Evaluación de los resultados	81
CONCLUSIONES		88
RECOMENDACIONES.....		89
REFERENCIAS.....		90
ANEXOS.....		92
ANEXO 1.....		93
1.1	Imágenes de campo del equipo.....	93
ANEXO 2.....		94

2.1 Diagramas Eléctricos de Fuerza y Control.....	94
ANEXO 3.....	104
3.1 Código de Programación.	104
ANEXO 4.....	108
4.1 Simulación del diseño.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Alimentos Congelados en el IQF.....	25
Figura 2 - Pirámide de la automatización.	27
Figura 3 - Mango congelado en cubos.	28
Figura 4 - Diseño de contrastación de hipótesis.	31
Figura 5 - Vista exterior del equipo IQF.....	35
Figura 6 - Maquina IQF interior del equipo con cubos de hielo.....	36
Figura 7 - Biombo giratorio.	37
Figura 8 - Equipo de selección manual.	38
Figura 9 - Elevador de paletas.	39
Figura 10 - Llenado manual de cajas.	40
Figura 11 - Pesado manual de cajas.	41
Figura 12 - Ingreso y salida de cajas.....	42
Figura 13 - Mesa de Selección.....	50
Figura 14 - Elevador de paletas.	51
Figura 15 - Tolva de Pesado.	51
Figura 16 - Plataforma de pesaje.....	52
Figura 17 - Mesa de Polines.....	52
Figura 18 - Sistema de Control y supervisión.....	53
Figura 19 - Vista isométrica de los equipos.	54
Figura 20 - línea de Proceso Complementaria	55
Figura 21 - Línea de Proceso Complementaria	56
Figura 22 - Software Eplan pro panel.	59

Figura 23 - software Eplan Pro panel – diagrama de acometida.....	60
Figura 24 - software Eplan Pro panel – diagrama de fuerza.....	60
Figura 25 - Software Expert Logic Builder V2.1.....	64
Figura 26 - Interfaz Bloque de Funciones.....	65
Figura 27 - Bloque Manual	65
Figura 28 - Bloque Automático.....	66
Figura 29 - Bloque Función Celda.....	67
Figura 30 - Software SWIFT PC.....	67
Figura 31 - Dirección IP del PLC y HMI.....	71
Figura 32 - Configuración de Parámetros HMI.....	72
Figura 33 - Insertar variables HMI.....	72
Figura 34 - Lectura del sensor de Inicio.....	74
Figura 35 - Lectura del peso real.....	75
Figura 36 - Valor de Peso - Software de Celda.....	75
Figura 37 - Conexión online con celda de carga.....	76
Figura 38 - Valor de Peso HMI.....	76
Figura 39 - Equipos para las pruebas de pesado.	77
Figura 40 - Conexionado del controlador de pesado.....	78
Figura 41 - Valor Cero del controlador.....	79
Figura 42 - Comunicación serial de datos con el controlador.....	79
Figura 43 - Pruebas del controlador a 10 Kg.....	80
Figura 44 - Valor de 10 Kg	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Definición de Variables.	29
Tabla 2 - Técnicas, instrumentos e equipos y materiales.	32
Tabla 3 - Selección de máquinas para el proceso de llenado y pesado.....	48
Tabla 4 - Selección de equipos de automatización y control.	48
Tabla 5 - selección de variables	57
Tabla 6 - Características del Indicador.	69

INFORMACIÓN GENERAL

- ***Título***

Sistema automático para el proceso de llenado y pesado de cubos de hielo de mango en agroindustrias de Lambayeque para mejorar la productividad y reducir costos operativos.

- ***Autores***

Bach. Victor Hugo Rodriguez Bances.

Bach. Edinson Alexandro Suárez Delgado.

- ***Asesor de especialidad***

Mtro. Ing. Oblitas Vera Carlos Leonardo.

- ***Línea de investigación***

Ingenierías y tecnologías.

- ***Lugar***

Agroindustria Lambayeque.

- ***Duración estimada del proyecto***

Fecha de inicio: martes 01 de abril 2025.

Fecha de finalización: miércoles 10 de diciembre 2025.

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo el diseño de un sistema automatizado de dosificación y pesado para el proceso de envasado de mango congelado en cubos mediante tecnología IQF, con la finalidad de mejorar la productividad, la uniformidad del peso y las condiciones de seguridad laboral en agroindustrias de la región Lambayeque.

Para el desarrollo del estudio se realizó un diagnóstico de la situación actual a través de visitas técnicas a campo, observación directa del proceso productivo y levantamiento de información operativa. El análisis se centró en la segunda etapa del proceso IQF, específicamente en el llenado y pesado de las cajas, donde se identificó que las operaciones se realizan de forma manual o semiautomatizada, generando variabilidad en el peso final, uso intensivo de mano de obra, reprocesos, baja productividad y riesgos ergonómicos para los operarios.

Posteriormente, se efectuó un análisis cuantitativo del proceso, evaluando tiempos de ciclo, variación del peso y distribución de tareas, evidenciándose que la etapa de envasado constituye un cuello de botella frente a la capacidad del equipo IQF.

Como solución, se propone el diseño de un sistema automatizado compuesto por un sistema de dosificación controlada, celdas de carga, un controlador lógico programable (PLC) y una interfaz hombre-máquina (HMI), permitiendo un llenado preciso de cajas de 10 kg y el registro digital del proceso. Los resultados esperados indican mejoras en productividad, estandarización del peso, reducción de la intervención manual y mayor seguridad laboral.

Palabras claves: Congelado IQF, Mango congelado, Automatización industrial.

ABSTRACT

This thesis aims to design an automated dosing and weighing system for the **packaging process of frozen mango cubes using IQF (Individually Quick Freezing) technology**, in order to improve productivity, weight uniformity, and occupational safety conditions in agro-industrial companies located in the Lambayeque region.

To develop the study, a **diagnosis of the current situation was carried out through on-site technical visits**, direct observation of the production process, and collection of operational data. The analysis focused on the second stage of the IQF process, specifically on the filling and weighing of boxes. It was identified that these operations are performed manually or semi-automatically, resulting in weight variability, intensive labor usage, reprocessing, low productivity, and ergonomic risks for operators.

Subsequently, a **quantitative analysis of the process** was conducted, evaluating cycle times, weight variation, and task distribution. The results showed that the packaging stage represents a bottleneck compared to the capacity of the IQF equipment.

As a solution, the **design of an automated system** composed of a controlled dosing mechanism, load cells, a programmable logic controller (PLC), and a human-machine interface (HMI) is proposed. This system enables precise filling of 10 kg boxes and digital recording of process data. The expected results include increased productivity, standardized weight, reduced manual intervention, and improved workplace safety.

Keywords: IQF Frozen, Frozen mango, Industrial automation.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Síntesis de la situación problemática.

Actualmente, en las agroindustrias de procesamiento de mango en Lambayeque, la eficiencia en la producción de cubos de hielo de mango es crucial para mantener la calidad del producto y la competitividad en el mercado. Empresas del sector, como VIRU S.A., destacan por utilizar tecnología avanzada, como el sistema de congelación IQF (Individually Quick Freezing), que preserva el sabor, los nutrientes y la frescura de sus productos, garantizando estándares de alta calidad. Este enfoque resalta la importancia de la innovación tecnológica en el procesamiento de frutas y verduras congeladas.

Sin embargo, muchas plantas agroindustriales aún dependen de procesos manuales o semiautomáticos en el llenado y pesado de cubos de hielo de mango, lo que genera ineficiencias operativas, mayores tiempos de producción y errores en el pesaje. Estas deficiencias impactan directamente en la calidad del producto y aumentan los costos operativos, afectando la competitividad de las empresas del sector.

A pesar de los avances tecnológicos en la industria, la ausencia de un sistema automatizado en este proceso limita el aprovechamiento total de la capacidad productiva y reduce la eficiencia. La implementación de un sistema automatizado permitiría optimizar la producción, reducir costos y garantizar la uniformidad en la calidad del producto, alineándose con los estándares exigidos en el mercado y promovidos por empresas líderes como VIRU S.A. (**VIRU S.A, 2025**).

1.2 Formulación del problema de investigación.

¿Cómo puede un sistema automático para el proceso de llenado y pesado de cubos de hielo de mango mejorar la productividad y reducir los costos operativos en las agroindustrias de Lambayeque?

1.3 Hipótesis.

El diseño de un sistema automático para el proceso de llenado y pesado de cubos de mango congelado permitirá mejorar potencialmente la productividad y reducir los costos operativos, mediante la optimización del tiempo de operación y la disminución de errores humanos.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado para el proceso de llenado y pesado de cubos de hielo de mango en las agroindustrias de Lambayeque, con el fin de optimizar la productividad, reducir los costos operativos y garantizar la calidad del producto.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el proceso actual de llenado y pesado de cubos de hielo de mango para identificar las ineficiencias y áreas de mejora que podrían beneficiarse de la automatización.
- Revisar las tecnologías de máquinas y sistemas de automatización para el proceso de llenado y pesado, con el objetivo de seleccionar las opciones más adecuadas en

términos de viabilidad técnica, costos y beneficios para la implementación del sistema automatizado.

- Diseñar el sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango utilizando software especializado como SolidWorks, Machine Expert y EPLAN Electric.
- Evaluar los resultados del diseño automatizado mediante simulaciones, utilizando herramientas de software para analizar la eficiencia del sistema propuesto en términos de productividad, costos operativos y calidad del producto antes de su implementación real.

CAPITULO II: DISEÑO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales.

A nivel internacional, **(Castro, 2021)** desarrollo esta investigación sobre "Diseño de un sistema productivo para el procesamiento de pulpa de mango en una hacienda agrícola de Guayaquil" analiza la implementación de un proceso eficiente para reducir el desperdicio de fruta y mejorar la productividad. Se diseñó un sistema productivo con capacidad para procesar 250 kg/hora, respaldado por una cámara frigorífica de 12 toneladas y operado por un equipo de tres personas, con el objetivo de recuperar el 60% del mango desechado por no cumplir estándares de exportación. Los resultados evidenciaron que el 17% del mango cosechado se desperdicia debido a defectos como podredumbre/maduración (60%), picaduras (16%) y aporreamiento (11%). Con la implementación del sistema productivo, se alcanzó una eficiencia del 73,28%, optimizando el uso de la materia prima. Además, el análisis financiero mostró una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 61,89%, un Valor Actual Neto (VAN) de \$3.721.155,12, y un período de recuperación de la inversión en dos años, con un coeficiente beneficio/costo de 2,49.

Así mismo a nivel internacional, **(Hurtado & Daza, 2017)** realizo una investigación sobre la "Automatización del proceso de dosificación, molienda y gestión de materias primas de alimentos balanceados" se analizó el diseño e implementación de un sistema automatizado para mejorar la productividad y optimizar los costos de producción en la empresa Alimentos Concentrados. Como parte de una pasantía institucional para la facultad de ingeniería del programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Occidente, el proyecto se enfocó en la

automatización de los procesos de dosificación, molienda y gestión de materias primas en las líneas acuícola y pecuaria. Para el desarrollo del diseño, se recopiló información a partir de un pliego de cargos proporcionado por la empresa, lo que permitió identificar las principales necesidades del sistema mediante el método de análisis QFD (Quality Function Deployment). A partir de estos requerimientos, se evaluaron diversas alternativas y, mediante matrices de tamizaje, se seleccionó la opción óptima para cada función clave del proceso. El diseño final incluyó la justificación técnica de los equipos y software seleccionados, asegurando su compatibilidad con los parámetros definidos en la fase conceptual. Además, se desarrolló una estrategia de control basada en el controlador elegido y se elaboró una cotización detallada de los materiales necesarios para la implementación.).

2.1.2 Antecedentes Nacionales.

A nivel nacional, **(Arica Rivas, 2016)** en este estudio de "Propuesta de mejora en el área de producción mediante la automatización del área de llenado y pesado de la línea de alimentos balanceados para reducir los costos operacionales de la empresa Molino El Cortijo S.A.C." analiza la implementación de tecnología para optimizar los procesos productivos y minimizar pérdidas económicas en la empresa. El estudio inició con un análisis de la situación actual de la empresa, identificando los niveles de pérdida en las áreas de llenado y pesado dentro de la línea de producción de alimentos balanceados para pollos. Para priorizar las principales causas de estas pérdidas, se utilizó la herramienta de Pareto, determinando los factores con mayor impacto económico. A partir de este diagnóstico, se propusieron diversas estrategias de mejora, incluyendo la implementación del sistema MRP I, la metodología 5S, un Manual de Procesos y la Automatización Industrial del área de llenado y pesado. Los resultados demostraron que la automatización permitió una reducción significativa en los costos operacionales, de S/. 94,365.21

a S/. 36,596.13 anuales, generando un ahorro de S/. 57,769.08 al año (61.22%). Asimismo, los indicadores económicos confirmaron la viabilidad de la propuesta, obteniendo un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 110,381.99, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 82.19% y un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 2.7 años, con un Beneficio-Costo (B/C) de 2.2.

A nivel nacional, **(Corpus y Portugal, 2021.)** en este estudio se revisó un "Diseño de una red inalámbrica para el servicio de pesaje en el sector agroindustrial utilizando balanzas SUPER SS mediante protocolo SPI basado en microcontrolador ESP32" analiza la implementación de un sistema automatizado para optimizar los procesos de pesaje en el sector agroindustrial. El estudio tuvo como objetivo diseñar una red inalámbrica de pesaje utilizando balanzas SUPER SS y el protocolo SPI, basándose en el microcontrolador ESP32. La finalidad de este sistema es mejorar la eficiencia operativa, reducir el error humano y disminuir los tiempos de gestión en el control de peso de los productos agroindustriales. Para el desarrollo del sistema, se trabajó en tres etapas principales: diagrama de conectividad, diseño electrónico y desarrollo de un aplicativo, utilizando herramientas tecnológicas como ESP32 y LABVIEW. En la parte electrónica, el ESP32 fue seleccionado debido a su tarjeta Wifi-incorporada, lo que permitió reducir costos, minimizar márgenes de error y optimizar el espacio en la tarjeta de control. Además, se desarrolló un programa en LABVIEW para el HMI, proporcionando una interfaz amigable e interactiva para el usuario en la supervisión del proceso de pesaje. Los resultados demostraron que la automatización del pesaje permitió disminuir significativamente los tiempos de conteo, reduciendo los errores humanos en el ingreso de datos y mejorando la gestión de información al transmitir los datos en tiempo real a un servidor SQL. Esto evidencia que la integración de tecnología inalámbrica en los

procesos de pesaje agroindustrial no solo optimiza la productividad, sino que también garantiza mayor precisión y eficiencia operativa en la industria.

2.1.3 Antecedentes Locales.

A nivel local, **(Bonilla Neyra, 2020)** llevó a cabo un estudio titulado "Propuesta de un sistema de automatización para mejorar la productividad en el área de abastecimiento y movimiento de materia prima en la empresa agroexportadora" analiza el impacto de la automatización en la eficiencia operativa de una empresa agroexportadora de quinua. El estudio se centró en las áreas de recepción y almacenamiento de materia prima, donde se identificaron oportunidades de mejora en la gestión y traslado de insumos. La metodología aplicada incluyó un análisis productivo de la empresa mediante diagramas de flujo, diagramas de análisis de proceso y la herramienta Ishikawa, lo que permitió detectar tiempos elevados en el sistema productivo y riesgos ergonómicos en los métodos de trabajo empleados. Como solución, se propuso el uso de Big Bags en reemplazo de los sacos tradicionales, facilitando el manejo y transporte de la quinua. Además, se diseñó un sistema de abastecimiento y movimiento de materia prima automatizado, complementado con el uso de montacargas para optimizar el traslado del producto.

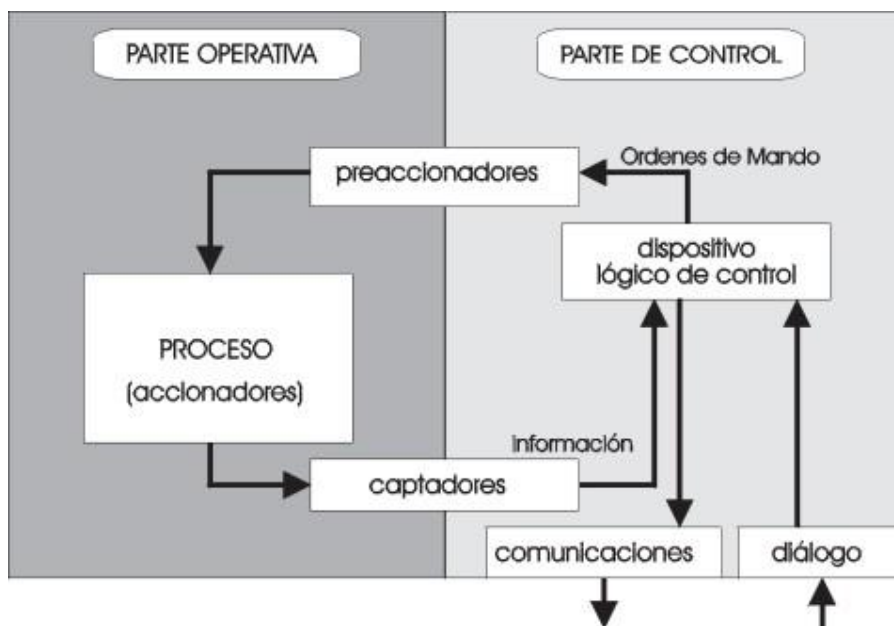
Así mismo a nivel local, **(Vasquez Valderrama, 2021)** realizó un estudio titulado "Diseño de un sistema automatizado para la descarga y control de peso en la pesca artesanal del Puerto San José" analiza la implementación de un sistema tecnológico que optimice el proceso de descarga y pesaje de productos marinos en embarcaciones artesanales. El estudio tiene un enfoque descriptivo-cuantitativo, con un diseño pre-experimental y una aplicación tecnológica, centrado en mejorar la eficiencia operativa en el puerto pesquero de San José. Para el desarrollo del estudio, se recopilaron datos mediante encuestas dirigidas a trabajadores del sector, permitiendo identificar

los tiempos de descarga y los costos asociados a la jornada laboral. A partir de esta información, se propuso la automatización del proceso mediante el uso de fajas transportadoras, reduciendo demoras en la descarga y mejorando el control de peso de los productos marinos. Los resultados evidenciaron que la implementación del sistema automatizado en el puerto pesquero aumentaría la eficiencia del proceso, reduciría la fatiga e incidentes laborales y optimizaría el uso de la mano de obra. Además, la automatización permitiría un mayor control sobre el peso del producto, asegurando mayor precisión y transparencia en las transacciones comerciales. Este estudio demuestra que la aplicación de tecnología en la pesca artesanal no solo mejora la productividad, sino que también fortalece la seguridad y competitividad del sector pesquero.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Automatización Industriales.

La automatización industrial se refiere al uso de tecnologías avanzadas, como sistemas de control computarizados, sensores y actuadores, para optimizar procesos de producción en diferentes industrias. En el contexto agroindustrial, la automatización es clave para incrementar la eficiencia operativa y reducir costos, garantizando un mayor control de calidad en productos procesados. (Moreno, 1999).



Estructura de un sistema automatizado.

2.2.2 Procesamiento y Congelación de Frutas IQF.

En el ajetreado mundo actual, la demanda de soluciones que combinen conveniencia y calidad en la industria alimentaria está en aumento. En respuesta a esto, destacamos el IQF – Individually Quick Frozen, una técnica de congelamiento rápido que ha transformado la manera en que los alimentos se preservan. La congelación IQF (Individually Quick Frozen o Congelación Rápida Individual) consiste en una tecnología de congelamiento que separa y congela cada pieza de alimento rápidamente a temperaturas que pueden superar los -30°C .

Se utilizan túneles o congeladores IQF, equipos diseñados para crear un ambiente de alto flujo de aire frío que permite un congelamiento ágil y homogéneo. Los tipos más comunes de congeladores utilizados son:

- **Congeladores de cinta:** donde los productos se esparcen en una cinta continua que los conduce por el ambiente refrigerado.

- **Congeladores en espiral:** similares a los de cinta, pero configurados en espiral para optimizar el espacio y el tiempo de congelamiento.
- **Congeladores de inmersión:** en los que se sumergen los productos en nitrógeno líquido o dióxido de carbono.

Los equipamientos controlan la temperatura, la velocidad del aire y el tiempo de congelamiento para asegurar que cada pieza se congele efectivamente, manteniendo sus propiedades individuales. **(Emergent Cold, 2024).**

Figura 1 - Alimentos Congelados en el IQF.



Fuente: Pagina Web Emergent Cold.

El proceso de congelación individual rápida (IQF, Individually Quick Freezing) es un método ampliamente utilizado en la industria agroindustrial para preservar la textura, sabor y valor nutricional de frutas y verduras congeladas.

2.2.3 Control y Monitoreo de Procesos en la Industria 4.0.

La Industria 4.0 ha impulsado el desarrollo de sistemas inteligentes de control y monitoreo en la agroindustria. Tecnologías como Internet de las Cosas (IoT), permiten recopilar y analizar datos en tiempo real, optimizando la toma de decisiones en la producción. La cuarta revolución industrial que logra la interconexión de los sistemas productivos industriales con la sociedad digital para satisfacer las demandas de consumo de las personas, a un nivel acelerado de extracción y procesamiento de las materias prima de la tierra, utilizando tecnologías como big data, comunicación de la nube, robótica avanzada, inteligencia artificial, blockchain, internet de las cosas, internet del todo, computación cuántica y en la nube, impresión 3D, sistemas ciberfísicos, ciberseguridad, automatización industrial Wireless, redes industriales, redes cognitivas, virtualización de redes, 6G, comunicación molecular, comunicaciones verdes, realidad aumentada, nanotecnología, TICs, entre otras, todo esto mediante estrategias innovadoras, creativas y eficientes que logren minimizar el impacto ambiental en beneficio de la sostenibilidad económica y ambiental del planeta.

Cabe señalar que el sistema desarrollado se alinea parcialmente con los principios de la Industria 4.0, principalmente en los aspectos de automatización del proceso, monitoreo de variables operativas y visualización de datos en tiempo real mediante una interfaz HMI, sin contemplar tecnologías avanzadas como inteligencia artificial, análisis masivo de datos o conectividad en la nube

Figura 2 - Pirámide de la automatización.



Fuente: Pagina Web Automatización.

La metodología utilizada es una investigación exploratoria, en la que se busca realizar un primer contacto con el paradigma llamado I4.0 y su relación con las organizaciones, conocer y familiarizarse con este tema de estudio aún desconocido, y así lograr tener un horizonte superficial que permita ofrecer una primera aproximación a la realidad actual y de lo que les espera a las organizaciones. La exploración responde a una contribución sobre los desarrollos recientes en el ámbito de la cuarta revolución industrial y su impacto en las organizaciones, teniendo en cuenta sus beneficios, riesgos y desafíos a los que se enfrentan. **(Sánchez y Marín, 2020).**

2.2.4 Frutas Congeladas.

Perú ha ido incrementando año tras año el porcentaje de ventas en la exportación de mango congelado, específicamente entre un 15 a 20%. En cuanto a berries, destacan la fresa y el arándano. El ministro de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), Ángel Manero, anunció recientemente que el Perú se está preparando para exportar fruta congelada al mercado chino. Esta oferta incluirá productos como paltas, arándanos y mangos, dirigidos principalmente a restaurantes, hoteles y

supermercados en lugar del mercado tradicional de los hogares. En cuanto a la situación de la industria de frutas congeladas en el país, Johanna Mateo, jefa comercial de congelados de Dominus, señaló que el sector ha experimentado una reducción significativa en el volumen de producción, en gran parte debido a los efectos del fenómeno de El Niño. Sin embargo, destacó que, tras la pandemia, la demanda de productos congelados ha ido en aumento, impulsada por su mayor durabilidad y la expansión de nuevos mercados. (agraria.pe, 2025).

Figura 3 - Mango congelado en cubos.



Fuente: Elaboración propia.

2.3 Bases Conceptuales

2.3.1 Operacionalización de variables

En el proyecto se presentan las siguientes variables:

Variable Independiente: Diseño de un sistema automatizado para el proceso de llenado y pesado de cubos de hielo de mango.

Variable dependiente: Productividad, costos operativos y calidad del producto en las agroindustrias de Lambayeque.

Tabla 1 - Definición de Variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Instrumento
Diseño de un sistema automatizado para el proceso de llenado y pesado de cubos de hielo de mango. (Independiente).	Se refiere a un diseño de un sistema tecnológico basado en sensores, controladores y mecanismos automatizados que optimizan el proceso de llenado y pesado en la producción de cubos de hielo de mango.	Se medirá a través de un diseño automatizado compuesto por sensores de pesaje, controladores lógicos programables y una interfaz, evaluando su impacto en la precisión del pesaje, la velocidad del llenado y el control del proceso mediante monitoreo en tiempo real	Tecnología de automatización.	PLC, sensores, actuadores
			Precisión del sistema de pesado.	Análisis de datos y pruebas de pesaje
			Eficiencia del llenado.	Capacidad de producción (kg/hora)
			Control y monitoreo del proceso.	HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

Productividad, costos operativos y calidad del producto en las agroindustrias de Lambayeque. (Dependiente).	Hace referencia a la mejora en la eficiencia del proceso productivo, medida en términos de reducción de tiempos de producción, optimización de recursos y disminución de costos operativos	Se medirá analizando la reducción de tiempos en el proceso de llenado y pesado, la disminución del desperdicio de materia prima, la comparación de costos antes y después de la automatización, y el impacto en la calidad del producto final a través de pruebas de control de peso y eficiencia del sistema	Productividad del proceso.	Cronometría y observación directa.
			Optimización de recursos.	Registros de producción.
			Reducción de costos operativos	Análisis financiero.

Fuente elaboración propia.

CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Procedimiento para seguir en la investigación para probar hipótesis

Establecer un plan para evaluar y validar las hipótesis formuladas mediante un enfoque en bloques que representa las principales etapas del sistema automatizado.

Figura 4 - Diseño de contrastación de hipótesis.



Fuente elaboración propia.

3.2 Población y muestra

- Población:

La población de estudio está conformada por todas las agroindustrias ubicadas en la región de Lambayeque que se dedican al procesamiento de mango congelado, específicamente aquellas que producen cubos de hielo de mango para la exportación.

- Muestra:

Empresas agroindustriales que procesan mango congelado en Lambayeque, empresas que actualmente utilizan procesos manuales o semiautomáticos en el llenado y pesado de cubos de hielo de mango u otras frutas, empresas dispuestas a participar en la implementación y evaluación del sistema automatizado. La muestra se limita a una agroindustria representativa utilizada como referencia técnica.

La población y muestra definidas en el presente estudio tienen un carácter referencial y descriptivo, utilizadas únicamente como contexto técnico para el diseño del sistema automatizado. El trabajo se desarrolla como un estudio aplicado de tipo tecnológico, enfocado en el diseño y simulación de una solución automatizada, sin realizar análisis estadísticos ni muestreos experimentales

3.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

Tabla 2 - Técnicas, instrumentos e equipos y materiales.

Categoría	Descripción
Técnicas	- Observación directa: Permite identificar ineficiencias en el proceso de llenado y pesado.

	- Entrevistas: Consultas a supervisores y operarios para conocer su percepción sobre la automatización. - Análisis: Revisión de informes técnicos y registros de producción para analizar costos operativos y estándares de calidad.
Instrumentos	- Documentación: Documento estructurado para registrar datos clave del proceso. - Fichas de recolección de datos: Permiten documentar las especificaciones técnicas del sistema automatizado.
Equipos	- Balanza industrial: Para el control de peso automatizado. - Sensores de peso: Para la optimización del proceso de llenado. - PLC (Controlador Lógico Programable): Para la automatización del proceso. - Softwares: Uso de SolidWorks, Machine Expert y EPLAN Electric para el diseño y simulación del sistema.
Materiales	- Documentación técnica: Información sobre normativas y estándares de calidad en la exportación de mango congelado. - Datos históricos: Registros de producción y costos operativos de las agroindustrias.

Fuente elaboración propia.

CAPITULO IV: RESULTADO

4.1 Analizar el proceso actual de llenado y pesado de cubos de hielo de mango.

Con la finalidad de obtener un diagnóstico real y confiable de la situación actual, se realizaron visitas técnicas a campo en una agroindustria de la región Lambayeque dedicadas al procesamiento y exportación de mango congelado. Durante estas visitas se llevó a cabo la observación directa del proceso productivo, así como el levantamiento de información operativa relacionada con el congelado IQF, el llenado y el pesado del producto final.

La información recopilada permitió identificar las condiciones reales de operación, el nivel de automatización existente y los puntos críticos del proceso, constituyéndose en la base para el análisis de resultados del presente proyecto.

El proceso productivo evaluado se divide en dos etapas principales:

- **Primera etapa:** Pelado, corte y conformación del mango en cubos.
- **Segunda etapa:** Congelado rápido IQF del mango en cubitos y su posterior manipulación hasta el envasado final.

El presente análisis se enfoca en la segunda etapa, específicamente en el proceso de llenado y pesado de los cubos de mango congelado, el cual fue identificado durante la visita a campo como uno de los principales cuellos de botella de la línea productiva. A partir de la observación directa realizada en planta, se evidenció que, en las agroindustrias de Lambayeque que procesan mango congelado, la etapa de llenado y pesado constituye un punto crítico, ya que de esta depende la uniformidad del peso, la presentación del producto y el cumplimiento de los estándares de exportación. No obstante, este proceso se realiza de forma manual o semiautomatizada, lo que limita la eficiencia operativa e incrementa los costos de producción.

Descripción del proceso observado en planta

En las agroindustrias de Lambayeque que procesan mango congelado, la etapa de llenado y pesado de los cubos congelados constituye un punto crítico dentro de la línea productiva, debido a que de esta depende la uniformidad del peso, la presentación del producto y el cumplimiento de los estándares exigidos para la exportación. Sin embargo, se evidenció que este proceso se realiza mayormente de manera manual o semiautomatizada, lo que limita la eficiencia operativa e incrementa los costos de producción.

A. Producción de cubos de mango congelado en el equipo IQF

El mango previamente pelado y cortado en cubos ingresa al equipo IQF (Individually Quick Freezing), donde es sometido a un proceso de congelamiento rápido individual. Este sistema permite que cada cubo se congele de forma independiente, evitando la formación de bloques compactos y conservando las características organolépticas, textura y valor nutricional del producto.

Figura 5 - Vista exterior del equipo IQF.



Fuente elaboración propia.

Figura 6 - Maquina IQF interior del equipo con cubos de hielo.



Fuente elaboración propia.

B. Biombo giratorio para separación del producto

Al salir del equipo IQF, los cubos congelados atraviesan un biombo giratorio cuya función principal es evitar la adherencia entre cubos causada por las bajas temperaturas. Este mecanismo permite que el producto fluya de manera continua y uniforme hacia la siguiente etapa del proceso.

Figura 7 - Biombo giratorio.



Fuente elaboración propia.

C. Mesa de selección sanitaria

Posteriormente, los cubos de mango son transportados mediante una banda transportadora sanitaria hacia la mesa de selección. Este equipo garantiza la inocuidad del producto al estar fabricado con materiales aptos para la industria alimentaria y de fácil limpieza. No obstante, a partir de esta etapa, se evidenció una alta dependencia de la intervención manual.

Figura 8 - Equipo de selección manual.



Fuente elaboración propia.

D. Elevador de paletas

Al final de la banda transportadora, el producto es conducido a un elevador de paletas, el cual eleva los cubos hasta la altura requerida para el llenado de las cajas. Durante la visita a campo se constató que este equipo no dispone de un sistema de dosificación controlada, lo que genera variabilidad en la cantidad de producto descargado.

Figura 9 - Elevador de paletas.



Fuente elaboración propia.

E. Llenado manual de las cajas

Las cajas de cartón, previamente forradas con fundas plásticas, son colocadas manualmente debajo de la descarga del elevador. Un operario supervisa visualmente el llenado y detiene el flujo cuando la caja alcanza aproximadamente las tres cuartas partes de su capacidad, equivalente a cerca de 7 kg. Este procedimiento se basa exclusivamente en la experiencia del trabajador, sin un control preciso del peso.

Este procedimiento no tiene un control exacto de peso, pues depende exclusivamente de la apreciación del trabajador.

Figura 10 - Llenado manual de cajas.



Fuente elaboración propia.

F. Ajuste final de peso en balanza de mesa

Luego del llenado inicial, las cajas son trasladadas a una balanza de mesa para verificar el peso final requerido de 10 kg. En caso de peso insuficiente, el operario añade manualmente cubos utilizando jarras; si existe sobrellenado, se retira el excedente de producto. Este proceso de corrección genera tiempos adicionales, mayor manipulación del producto y disminución de la productividad de la línea.

Figura 11 - Pesado manual de cajas.



Fuente elaboración propia.

G. Ingreso y salida de cajas

De manera paralela, otros operarios se encargan del ingreso de cajas vacías y la retirada de cajas llenas de la línea, lo que incrementa la cantidad de personal requerido y refuerza la dependencia del proceso en la mano de obra.

Figura 12 - Ingreso y salida de cajas.



Fuente elaboración propia.

Limitaciones y problemáticas detectadas

A partir de la observación directa realizada durante la visita a campo, se identificaron las siguientes limitaciones del proceso actual:

- Variabilidad en el peso inicial: Al depender del criterio visual del operario, muchas cajas presentan sobrellenado o subllenado, lo que ocasiona pérdidas económicas o rechazos en control de calidad.

- Uso intensivo de mano de obra: El proceso requiere la intervención de varios trabajadores (alimentación de cajas, llenado inicial, pesaje y ajuste, traslado), lo que eleva los costos operativos.
- Baja productividad: La necesidad de correcciones manuales en cada caja prolonga los tiempos de producción y disminuye la capacidad de respuesta ante altos volúmenes de exportación.
- Falta de estandarización: No existe un sistema automático que garantice uniformidad en cada caja, lo que afecta la competitividad frente a empresas que sí cuentan con procesos automatizados.
- Problemas ergonómicos y de seguridad: Los operarios realizan movimientos repetitivos en condiciones de frío, utilizando fuerza física para manipular cajas de 10 kg, lo que incrementa el riesgo de lesiones y fatiga laboral.
- Ausencia de trazabilidad digital: El registro de pesos se realiza de forma manual, sin conexión a sistemas de monitoreo en tiempo real, lo que limita la capacidad de control estadístico del proceso.

4.2 Análisis cuantitativo del proceso actual de llenado y pesado de mango congelado

A partir del diagnóstico obtenido mediante la visita a campo y observación directa del proceso, se realizó un análisis cuantitativo del desempeño actual de la etapa de llenado y pesado de mango congelado en cubos. Este análisis permitió evaluar de manera objetiva los tiempos de operación, la variabilidad del peso y el uso de mano de obra, con el fin de identificar oportunidades de mejora y sustentar la necesidad de automatización.

La información cuantitativa fue recopilada mediante mediciones directas en planta, registros visuales y consulta al personal operativo, considerando condiciones normales de producción.

4.2.1 Análisis del tiempo de ciclo del proceso

Durante la operación observada, el proceso de llenado y pesado de cada caja comprende las siguientes actividades:

- Posicionamiento manual de la caja vacía.
- Llenado visual inicial del producto.
- Traslado de la caja a la balanza.
- Verificación del peso.
- Corrección del peso (adicción o retiro de cubos).
- Retiro de la caja llena y colocación de una nueva.

El tiempo promedio total por caja se encuentra incrementado debido a la necesidad de realizar ajustes manuales de peso en prácticamente todas las unidades procesadas. Esta situación reduce la capacidad productiva de la línea y genera cuellos de botella en la etapa de envasado, especialmente en periodos de alta demanda para exportación.

4.2.2 Variabilidad del peso en el llenado inicial

Uno de los principales problemas identificados es la alta variabilidad del peso inicial durante el llenado manual. Al depender del criterio visual del operario, las cajas presentan diferencias significativas respecto al peso objetivo de 10 kg.

Durante la observación en planta se evidenció que:

- El llenado inicial promedio alcanza aproximadamente 7 kg por caja.

- La diferencia restante debe ser corregida manualmente en la balanza.
- En algunos casos se detecta sobrellenado, lo que obliga a retirar producto y genera reprocesos.

Esta variabilidad impacta directamente en:

- La uniformidad del producto final.
- El tiempo de operación por caja.
- Las pérdidas de producto por manipulación excesiva.

4.2.3 Análisis del uso de mano de obra

El proceso actual requiere la participación simultánea de varios operarios para una sola etapa del proceso:

- Operario para el posicionamiento de cajas vacías.
- Operario para el llenado visual.
- Operario para el pesado y ajuste final.
- Operario para el retiro de cajas llenas.

Este uso intensivo de mano de obra incrementa los costos operativos y limita la escalabilidad del proceso. Además, durante la visita a campo se observó que los operarios realizan movimientos repetitivos y manipulan cargas de aproximadamente 10 kg en ambientes de baja temperatura, lo que incrementa la fatiga y el riesgo de lesiones musculoesqueléticas.

4.2.4 Impacto en la productividad de la línea

Como resultado de los factores analizados (variabilidad de peso, ajustes manuales y dependencia de la mano de obra), la productividad de la línea se ve comprometida. El proceso de

llenado y pesado se convierte en un cuello de botella frente a la capacidad del equipo IQF, el cual puede procesar mayores volúmenes de producto de los que la etapa manual de envasado es capaz de manejar.

Esta desalineación entre la capacidad de congelado y la capacidad de envasado genera:

- Acumulación de producto.
- Esperas innecesarias.
- Ineficiencia global del sistema productivo.

4.2.5 Falta de registro y control del proceso

Finalmente, se evidenció que el proceso actual no cuenta con un sistema de registro digital de los pesos por caja. El control se realiza de forma manual y no se dispone de información histórica para análisis estadístico, lo que limita la toma de decisiones basada en datos y dificulta la mejora continua del proceso.

4.3 Selección de tecnologías sobre máquinas y sistemas de automatización para el proceso de llenado y pesado.

El análisis La selección adecuada de máquinas y equipos de automatización es un aspecto crítico para garantizar que el sistema diseñado cumpla con los objetivos de productividad, reducción de costos operativos y mejora en la calidad del producto. Para ello, es necesario analizar tanto los equipos mecánicos involucrados en el proceso (máquinas de transporte, dosificación y pesaje), como los elementos de automatización y control (sensores, actuadores, PLC, HMI, entre otros).

El proceso de selección debe realizarse en función de criterios técnicos, operativos y económicos, tales como:

- Compatibilidad con procesos existentes: las nuevas máquinas deben integrarse al sistema actual (IQF, biombo giratorio, elevador de paletas) sin alterar la cadena productiva.
- Normativas de higiene y sanidad: al tratarse de productos agroindustriales, todos los equipos en contacto con el mango deben cumplir con estándares internacionales de inocuidad alimentaria (materiales inoxidables, bandas sanitarias, facilidad de limpieza).
- Precisión y confiabilidad: el sistema de pesado debe asegurar exactitud en la dosificación, minimizando el error humano y evitando sobrepeso o faltantes que impacten en los costos.
- Automatización y monitoreo: los equipos seleccionados deben permitir un control automático y en tiempo real del proceso, con registros de datos y alarmas.
- Eficiencia operativa: las máquinas deben optimizar tiempos de producción, reduciendo la manipulación manual y los riesgos laborales asociados.
- Costo-beneficio: la inversión en tecnologías debe justificarse en relación con el ahorro de mano de obra, reducción de pérdidas y aumento de productividad.
- Facilidad de integración y mantenimiento: los equipos deben ser compatibles con el sistema eléctrico y de control disponible en planta, además de permitir un mantenimiento ágil y económico.

Bajo estos criterios, se proponen dos grupos de selección tecnológica:

1. Máquinas principales del proceso de llenado y pesado.
2. Equipos de automatización y control para la gestión del sistema.

Tabla 3 - Selección de máquinas para el proceso de llenado y pesado.

Máquina / Equipo	Función en el proceso	Ventajas	Limitaciones
Banda transportadora sanitaria	Traslada los cubos de mango desde el biombo hasta el elevador.	Flujo continuo, materiales aptos para alimentos.	No regula cantidad descargada.
Elevador de paletas	Eleva el producto hasta la altura de llenado en cajas.	Aprovecha equipo existente, reduce manipulación manual.	Carece de dosificación precisa.
Tolva dosificadora con compuerta automática	Recibe cubos del elevador y dosifica el llenado hacia las cajas.	Permite control automático del flujo.	Requiere instalación adicional.
Báscula electrónica fija (plataforma)	Pesa la caja durante el llenado en tiempo real.	Control preciso del peso, elimina corrección manual.	Inversión inicial y calibración periódica.

Fuente elaboración propia.

Tabla 4 - Selección de equipos de automatización y control.

Equipo de automatización	Función	Ventajas	Limitaciones
PLC Schneider TM241	Control central de celdas de carga, compuerta y variadores.	Confiable, programable, escalable.	Requiere programación especializada.
HMI Weintek	Interfaz para monitoreo de peso, alarmas y parámetros.	Visualización en tiempo real, amigable para operarios.	Necesita capacitación básica.
Celdas de carga	Miden el peso de cada caja y envían señal al PLC.	Alta precisión, control automático del llenado.	Sensibles a sobrecargas, requieren calibración.
Sensores fotoeléctricos	Detectan presencia y posición de la caja en estación de llenado.	Evitan derrames, sincronizan proceso.	Pueden fallar por suciedad o humedad.
Variador de velocidad	Regula la velocidad del elevador y/o transportador.	Ajusta flujo del proceso, optimiza llenado.	Inversión adicional y mantenimiento.

Compuerta neumática/motorizada	Controla apertura/cierre del flujo en tolva.	Dosificación rápida y precisa.	Requiere aire comprimido o motor dedicado.
---------------------------------------	--	--------------------------------	--

Fuente elaboración propia.

4.4 Diseñar el sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango.

El diseño del sistema automatizado se plantea como una solución integral que permita eliminar la variabilidad del proceso manual, reducir la intervención humana y garantizar un llenado y pesado preciso de los cubos de hielo de mango. El sistema propuesto se integra a la línea existente de producción (IQF, mesa de selección y elevador), incorporando nuevos equipos de dosificación, pesaje y control automático.

El enfoque del diseño considera criterios de higiene alimentaria, confiabilidad industrial, facilidad de operación y escalabilidad futura, alineándose con las necesidades de las agroindustrias de Lambayeque

4.4.1 Propuestas de solución.

La propuesta consiste en implementar una estación automatizada de llenado y pesado, ubicada a la salida del elevador de paletas, que permita realizar el llenado directo de las cajas hasta alcanzar el peso objetivo sin necesidad de correcciones manuales.

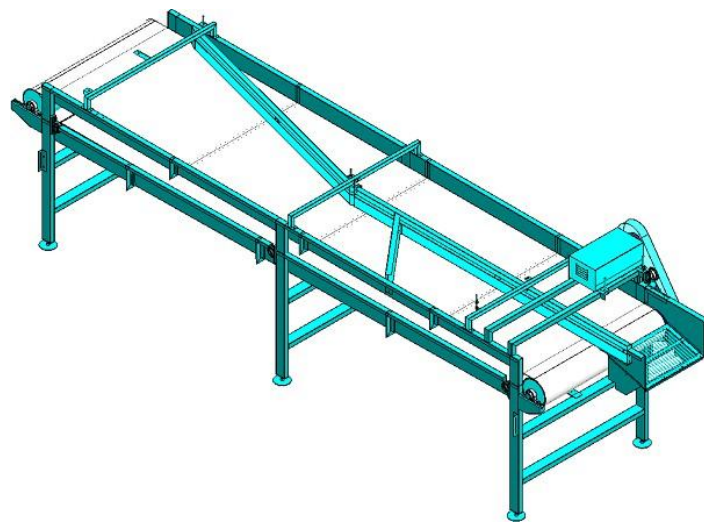
Esta configuración permite que el llenado y pesado se realicen en una sola estación, eliminando la balanza manual y las correcciones posteriores

a) Estructura general del sistema

La solución se compone de los siguientes equipos principales:

1. **Mesa de selección sanitaria (existente).** Permite la inspección visual del producto antes del llenado, garantizando que solo cubos de mango que cumplan con los estándares de calidad continúen en el proceso.

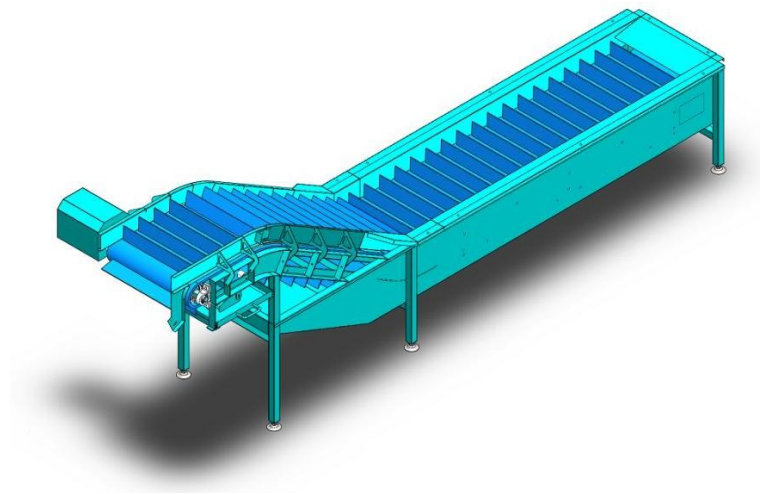
Figura 13 - Mesa de Selección.



Fuente elaboración propia.

2. **Elevador de paletas (existente).** Transporta los cubos de hielo de mango desde la mesa de selección hasta la zona de dosificación, asegurando un flujo continuo y ordenado del producto.

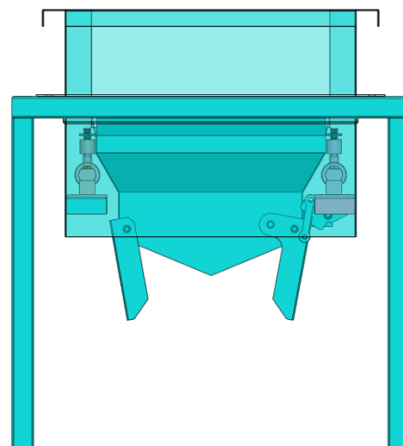
Figura 14 - Elevador de paletas.



Fuente elaboración propia.

3. **Tolva de pesado con compuerta automática (nuevo).** Recibe el producto desde el elevador y regula la descarga hacia la caja mediante una compuerta motorizada o neumática. Este equipo es clave para controlar la cantidad de producto dispensado.

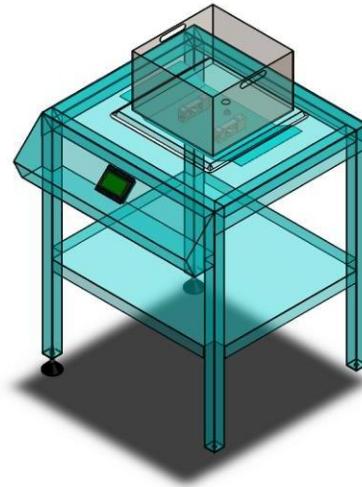
Figura 15 - Tolva de Pesado.



Fuente elaboración propia.

4. **Plataforma de pesaje con celdas de carga (nuevo).** Soporta la caja durante el llenado y permite medir el peso en tiempo real, enviando la señal al PLC para el control preciso del proceso.

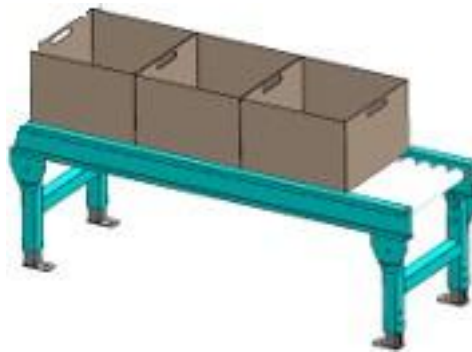
Figura 16 - Plataforma de pesaje.



Fuente elaboración propia.

5. **Mesa de polines o sistema de salida de cajas (nuevo).** Facilita el retiro de las cajas llenas y el ingreso de nuevas cajas vacías, reduciendo el esfuerzo físico del operario.

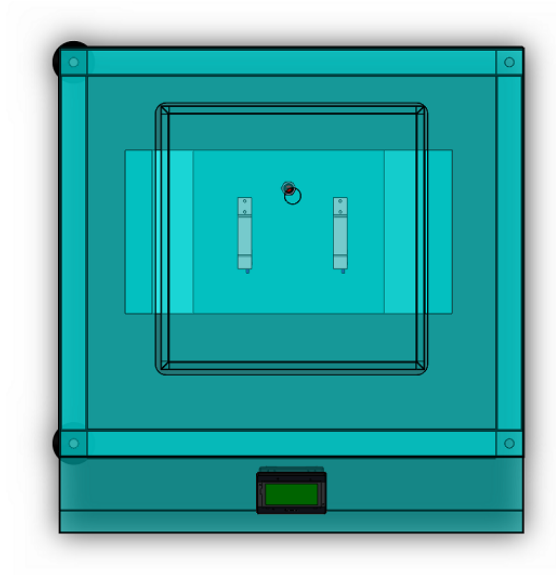
Figura 17 - Mesa de Polines.



Fuente elaboración propia.

- 6. Sistema de control y supervisión.** Compuesto por un PLC Schneider Electric TM241 y una HMI Weintek, encargados de la automatización, monitoreo y configuración del proceso.

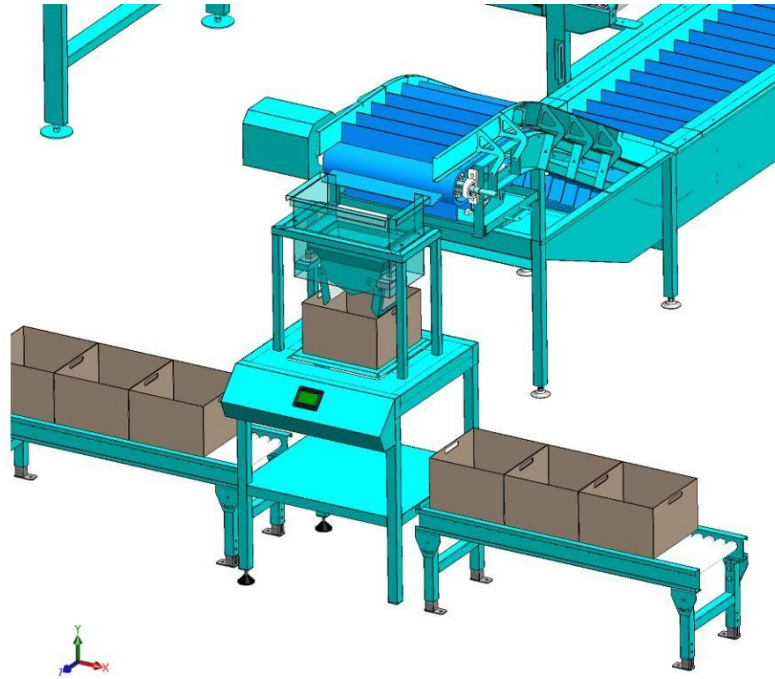
Figura 18 - Sistema de Control y supervisión.



Fuente elaboración propia.

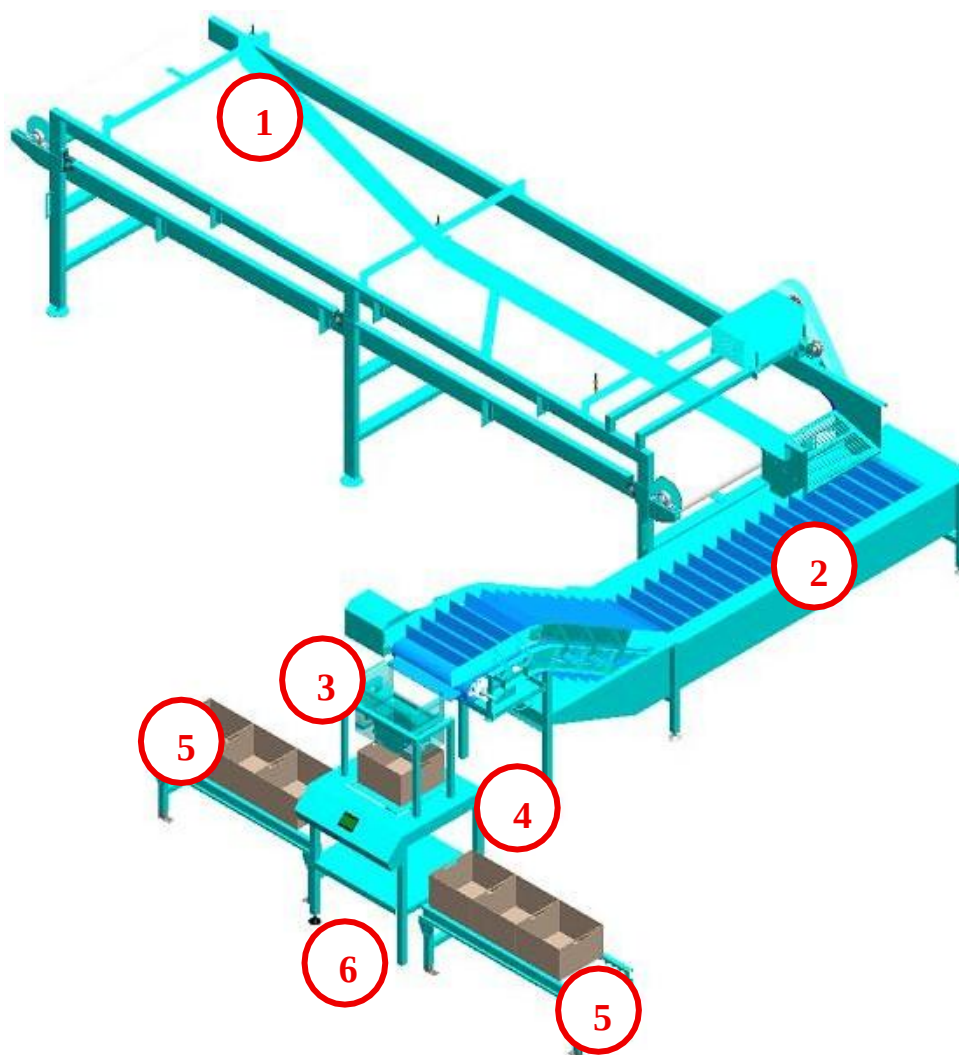
Línea de Proceso complementaria a la actualidad

Figura 19 - Vista isométrica de los equipos.



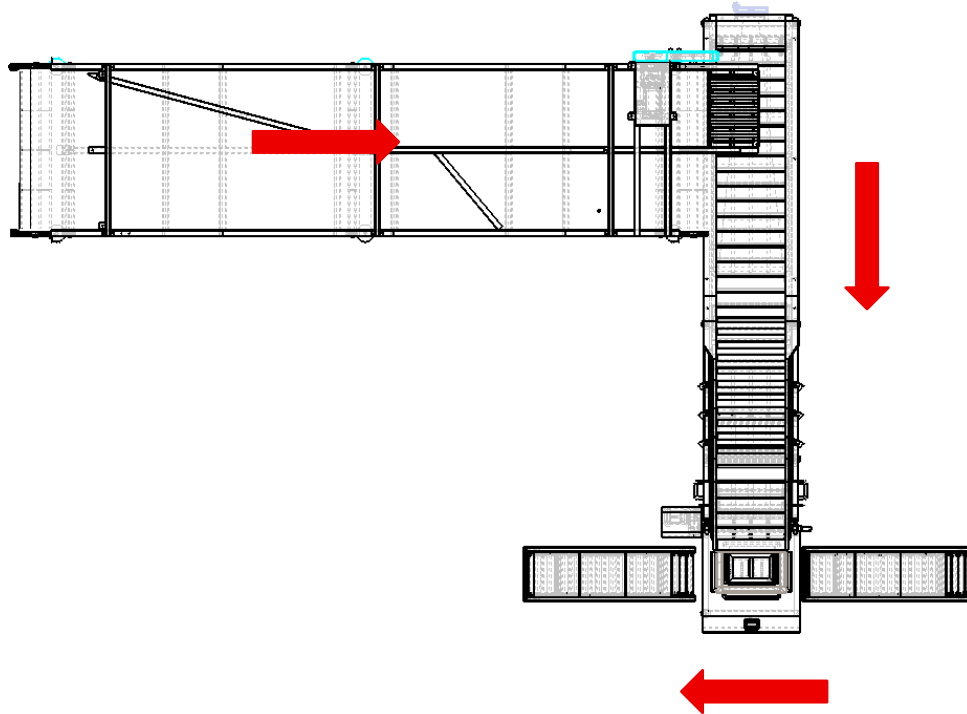
Fuente elaboración propia.

Figura 20 - línea de Proceso Complementaria.



Fuente elaboración propia.

Figura 21 - Línea de Proceso Complementaria



Fuente elaboración propia.

4.4.2 Descripción del funcionamiento de los equipos.

El funcionamiento del sistema automatizado se desarrolla de la siguiente manera:

1. El operario coloca una caja vacía sobre la plataforma de pesaje.
2. Un sensor fotoeléctrico detecta la presencia y correcta posición de la caja.
3. El PLC valida que exista producto en la tolva mediante un sensor de nivel.
4. Al iniciar el ciclo, la compuerta de la tolva se abre y los cubos de hielo de mango caen dentro de la caja.
5. Las celdas de carga miden el peso de forma continua y envían la señal analógica al PLC.

6. Al aproximarse al peso objetivo, el sistema reduce el flujo (llenado fino).
7. Al alcanzar el peso programado ($10 \text{ kg} \pm \text{tolerancia}$), la compuerta se cierra automáticamente.
8. La HMI indica que la caja está lista y el sistema permite su retiro.
9. El ciclo se reinicia con la siguiente caja.

Este funcionamiento asegura uniformidad en el peso, menor manipulación del producto y mayor velocidad de producción.

4.4.3 Definición de Variables.

Para el diseño del sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango es necesario identificar las variables que intervienen en el proceso, las cuales se clasifican en entradas, salidas y variables internas de control.

Tabla 5 - selección de variables

N.º	Tipo	Señal	Descripción	Entrada/Salida PLC
1	DI	Sensor caja en estación	Fotoeléctrico detecta caja en zona de llenado	Entrada digital
2	DI	Sensor caja en plataforma	Confirma posición sobre báscula	Entrada digital
3	AI	Señal celdas de carga	Peso bruto (mV o 4–20 mA/0–10V según montaje)	Entrada analógica
4	DI	Sensor nivel tolva	Evita vaciado si tolva vacía	Entrada digital
5	DI	Final carrera compuerta (opcional)	Posición compuerta abierta/cerrada	Entrada digital
6	DI	Pulsador START línea	Inicio ciclo manual/auto	Entrada digital
7	DI	Paro emergencia	Paro general de la máquina	Entrada digital
8	DO	Actuador compuerta (motor o solenoide)	Abre/cierra flujo hacia caja	Salida digital / Relay
9	DO	Señal VFD banda/elevador START	Control arranque/detención	Salida digital / PLC a VFD
10	AO/DO	Señal VFD velocidad	Control proporcional de velocidad (0–10V/4–20mA)	Salida analógica

11	DO	Luz indicadora/alarma	Indica estado error/OK	Salida digital
12	DO	Señal de liberar caja / expulsor	Activo sistema de salida/transportador	Salida digital

Fuente elaboración propia.

De esta manera, la correcta definición de las variables garantiza la integración adecuada de sensores, actuadores y lógica de control, permitiendo alcanzar la precisión y eficiencia esperada en el proceso automatizado.

4.4.4 Diagramas Eléctricos.

Los diagramas eléctricos son fundamentales para el diseño, instalación y mantenimiento del sistema automatizado, ya que permiten representar de manera clara la arquitectura de potencia y control. En este proyecto se elaboraron utilizando el software EPLAN Electric, herramienta especializada en ingeniería eléctrica que facilita la creación de esquemas normalizados, listas de materiales y planos de conexión.

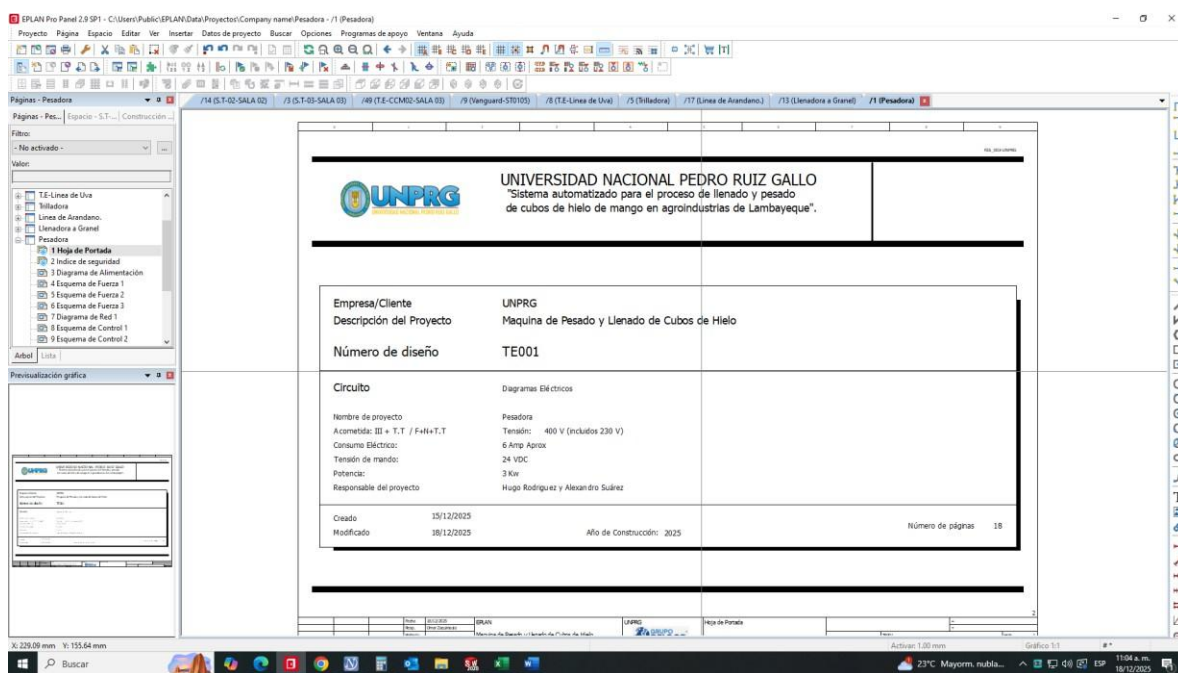
En dichos diagramas se incluyen:

- **Diagrama unifilar de potencia**, que muestra la alimentación trifásica general, protecciones, variadores de frecuencia, motores y la distribución de energía hacia los distintos actuadores.
- **Esquema de control**, donde se representan las conexiones entre el PLC Schneider TM241, los sensores fotoeléctricos, la plataforma de pesaje (celdas de carga con acondicionador), la compuerta motorizada o actuador neumático, así como las salidas de control hacia contactores, electroválvulas y alarmas.

- **Plano de entradas y salidas (I/O)** del PLC, detallando las asignaciones de cada señal digital y analógica con sus respectivos bornes.
- **Plano del tablero eléctrico**, en el que se ubican la fuente de alimentación de 24 Vdc, protecciones, bornes, relés y módulos, asegurando una distribución ordenada y de fácil mantenimiento.

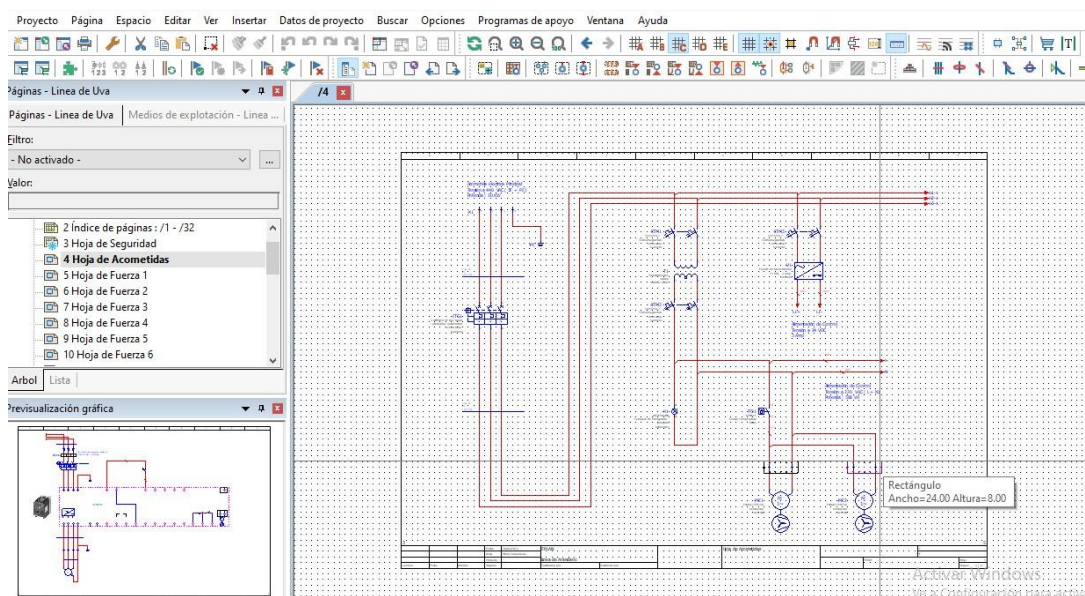
El uso de **EPLAN Electric** permitió generar automáticamente la lista de materiales eléctricos (contactores, protecciones, borneras, cables y accesorios), además de garantizar la trazabilidad del cableado mediante numeración normalizada. Asimismo, se contempló la inclusión de los circuitos de seguridad, como el paro de emergencia y la protección de las señales de pesaje con cables apantallados y conexión a tierra.

Figura 22 - Software Eplan pro panel.



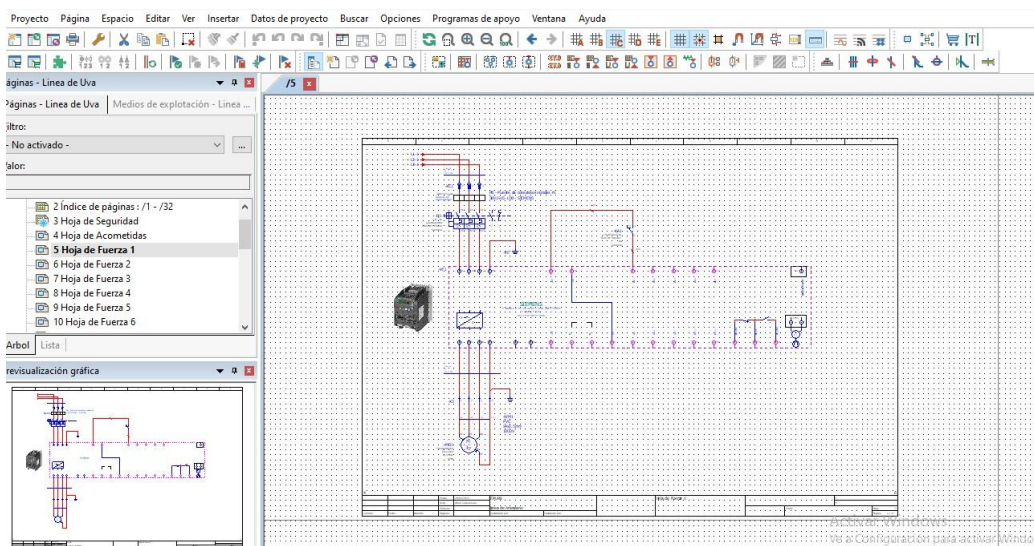
Fuente elaboración propia.

Figura 23 - software Eplan Pro panel – diagrama de acometida.



Fuente elaboración propia.

Figura 24 - software Eplan Pro panel – diagrama de fuerza.



Fuente elaboración propia.

Para mas detalle de los diagramas eléctricos Revisar el anexo 3.

4.4.5 Filosofía de Control.

El sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango estará gobernado por un PLC Schneider TM241, que recibirá las señales de entrada provenientes de sensores digitales y analógicos, procesará la lógica de control definida en el programa, y enviará órdenes a los actuadores para ejecutar cada fase del proceso. La interfaz de operación y supervisión se realizará a través de una HMI Weintek, la cual permitirá al operador visualizar, configurar parámetros y actuar sobre el sistema en caso necesario.

El control se estructura bajo una filosofía secuencial con validaciones permanentes y condiciones de seguridad. A continuación, se describen los principales pasos y consideraciones técnicas:

➤ **Condiciones iniciales**

- El sensor de presencia confirma que una caja vacía se encuentra correctamente posicionada sobre la plataforma de pesaje (equipada con cuatro celdas de carga de precisión industrial con grado de protección IP65).
- El sensor de nivel en la tolva asegura la disponibilidad de producto; de lo contrario, se genera una alarma en la HMI y no se inicia el ciclo.
- El operador activa el ciclo mediante un pulsador físico o desde la HMI.

➤ **Etapas de llenado inicial**

- El PLC envía la orden de apertura completa de la compuerta motorizada o válvula neumática de la tolva.
- El flujo de cubos de hielo de mango comienza a depositarse en la caja mientras la señal analógica de las celdas de carga es monitoreada en tiempo real.

- El PLC compara continuamente el valor medido con un set point intermedio (≈ 9.5 kg).
- Al alcanzar este umbral, la compuerta se cierra parcialmente o se activa en modo pulsante, dando inicio al llenado fino.

➤ **Etapas Fino**

- En esta fase, el control de la compuerta se realiza en modo proporcional o por pulsos cortos para garantizar una dosificación precisa.
- El PLC sigue recibiendo la señal analógica de las celdas de carga y ejecuta un algoritmo de control que detiene el flujo de producto exactamente en el peso objetivo configurado en la HMI ($10.0 \text{ kg} \pm \text{tolerancia}$).
- Si el peso excede la tolerancia establecida, el sistema genera una alarma de sobrepeso y bloquea la caja para revisión manual.
- El sistema queda en espera de que se retire la caja y se coloque una nueva para reiniciar el ciclo.

➤ **Supervisión y control mediante HMI**

La HMI cumple un rol crítico en la operación del sistema:

- Muestra en tiempo real el peso actual de la caja, el estado de la compuerta y el conteo de cajas procesadas.
- Permite configurar parámetros como peso objetivo, umbral de llenado grueso, tiempos de apertura parcial y número de cajas a procesar por lote.

- Registra y muestra alarmas activas (tolva vacía, sobrepeso, ausencia de caja, emergencia).
- Facilita modos de operación: automático (secuencia completa gobernada por el PLC) y manual (control directo de actuadores desde la HMI para pruebas o mantenimiento).

➤ **Condiciones de seguridad y fallas**

- Parada de emergencia (E-Stop): desactiva inmediatamente todos los actuadores y detiene el ciclo.
- Fallo en celdas de carga: si no se recibe señal o se detecta lectura fuera de rango, se genera alarma y el sistema se bloquea.
- Caja ausente o mal posicionada: evita la apertura de la compuerta.
- Tolva vacía: el ciclo se interrumpe y se notifica al operador.
- Modo seguro tras corte de energía: al restablecer la energía, el sistema inicia en estado detenido, requiriendo confirmación del operador.

4.4.6 Código de Programación.

Después de completar el diseño de los diagramas eléctricos que describen la estructura del tablero, procedemos a desarrollar el código de programación. Este código será fundamental para el correcto funcionamiento de la secuencia de la máquina, estableciendo las instrucciones y lógica necesarias en el proceso. Para revisar el código de programación completa revisamos el anexo 4.

Para el desarrollo del código de programación sobre el PLC Schneider se usa el software Machine Expert Logic Builder V2.1.

PLC para programar.

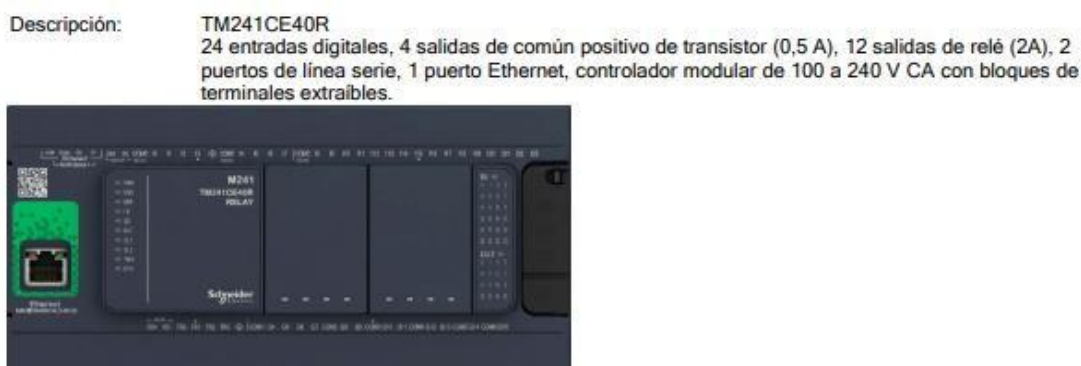
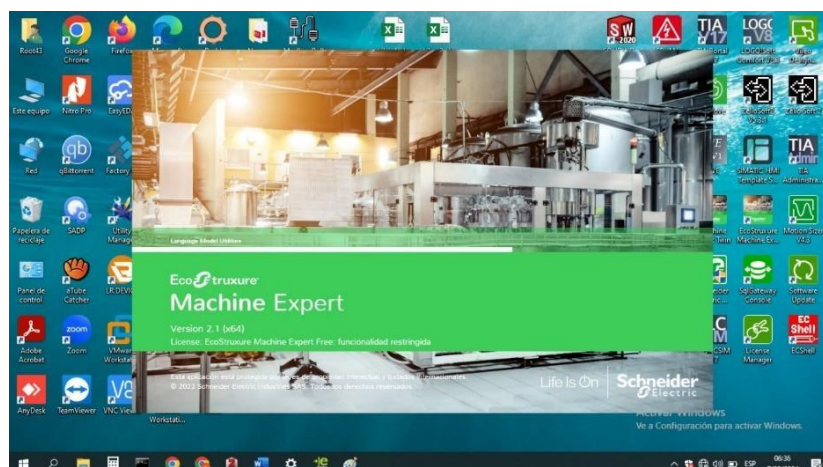
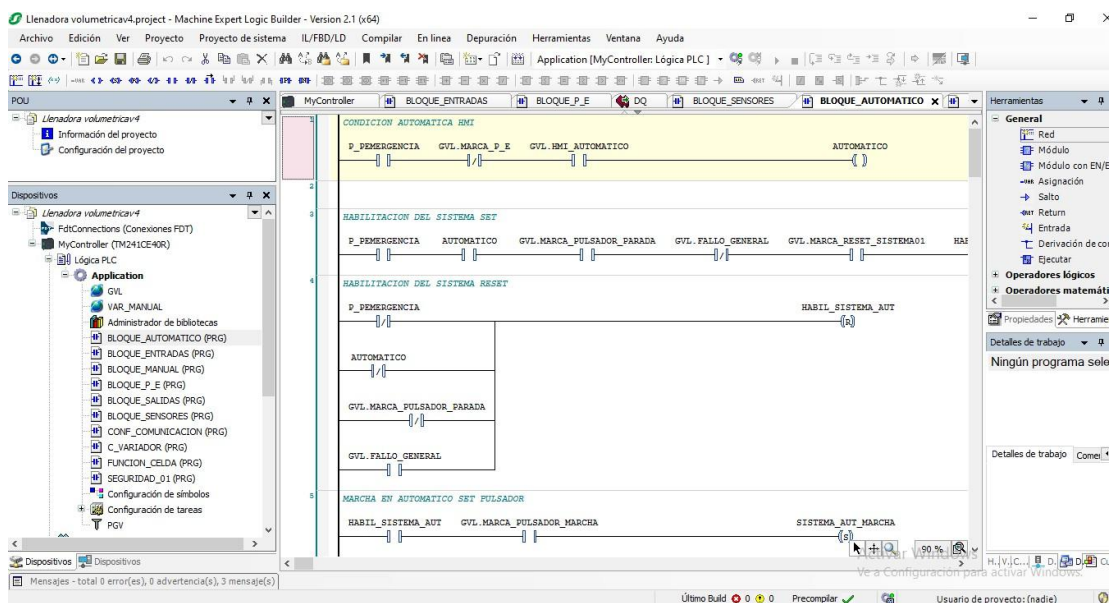


Figura 25 - Software Expert Logic Builder V2.1.



Fuente elaboración propia.

Figura 26 - Interfaz Bloque de Funciones.

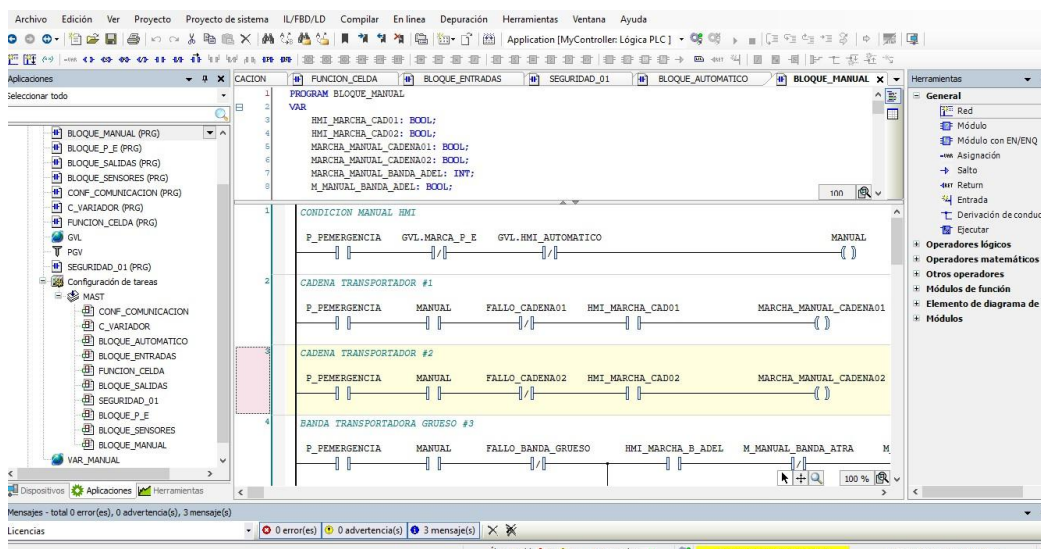


Fuente elaboración propia.

POU: Bloque Manual

Aquí se detalla las variables de memorias y el código de programación por bloques.

Figura 27 - Bloque Manual.

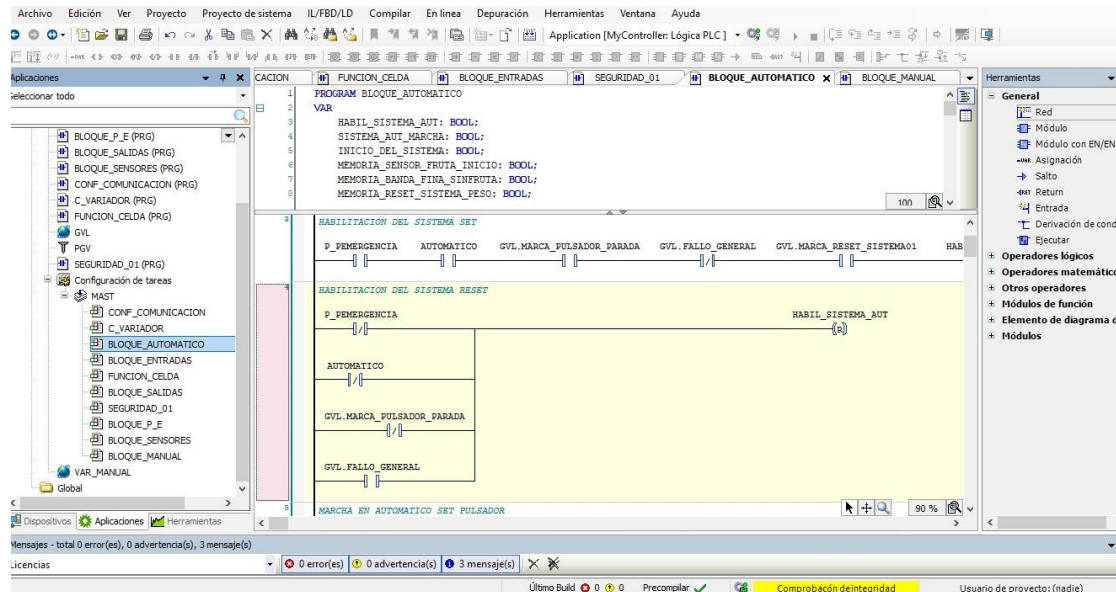


Fuente elaboración propia.

POU: Bloque Automático

Aquí se detalla las variables y la secuencia de funcionamiento en automático del sistema.

Figura 28 - Bloque Automático.

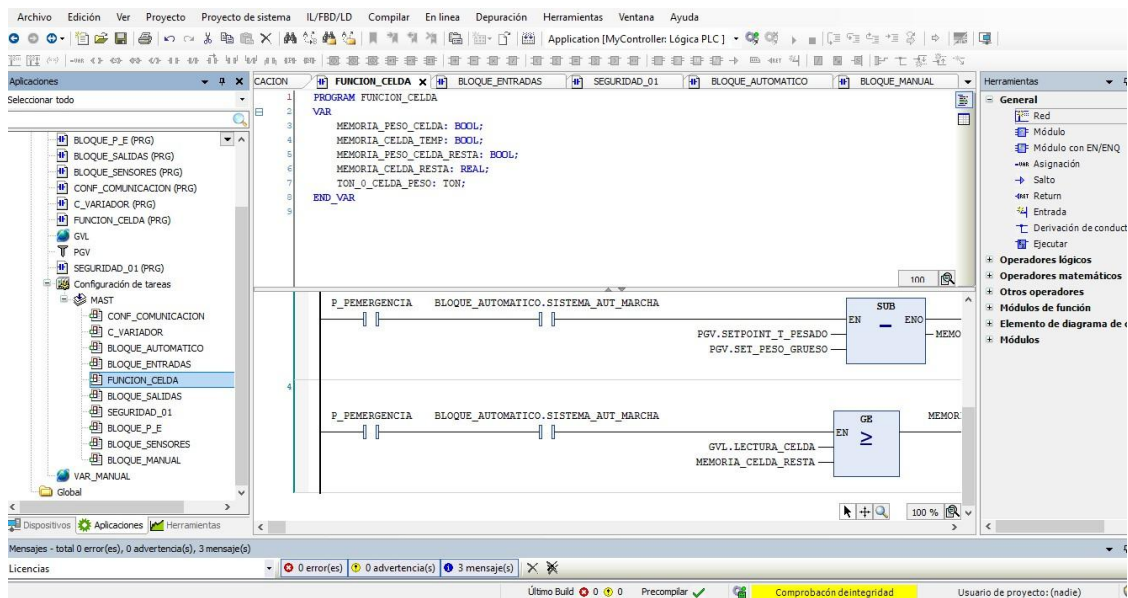


Fuente elaboración propia.

POU: Bloque Función Celda

Aquí se detalla las variables y la secuencia de funcionamiento en automático del sistema.

Figura 29 - Bloque Función Celda.



Fuente elaboración propia.

Integración del software SWIFT PC para el control de celdas de carga

Figura 30 - Software SWIFT PC.



Fuente elaboración propia.

Para garantizar la precisión y confiabilidad del proceso de pesado dentro del sistema automatizado de llenado de cubos de hielo de mango, se incorpora el software SWIFT PC como herramienta de configuración, calibración y monitoreo de las celdas de carga instaladas en la plataforma de pesaje.

El software SWIFT PC permite realizar la calibración exacta de las celdas de carga, asegurando que la señal generada por estas represente fielmente el peso real de las cajas durante el llenado. Esta calibración es fundamental para cumplir con el peso objetivo establecido ($10\text{ kg} \pm$ tolerancia), reduciendo errores de medición y evitando sobrellenados o subllenados que generan pérdidas económicas.

Asimismo, SWIFT PC facilita la configuración de parámetros avanzados de pesaje, tales como ajuste de cero, filtros digitales, estabilidad de lectura y compensación de vibraciones mecánicas. Estas funciones resultan especialmente relevantes en ambientes agroindustriales, donde existen movimientos constantes del sistema, vibraciones del elevador y condiciones de baja temperatura propias del proceso de congelación.

Durante la operación, el software permite la visualización en tiempo real del peso registrado por las celdas de carga, lo que es de gran utilidad durante las etapas de puesta en marcha, pruebas del sistema y mantenimiento preventivo. Esta visualización facilita la detección temprana de fallas, descalibraciones o sobrecargas en el sistema de pesaje.

La señal procesada por el controlador de celdas de carga configurado mediante SWIFT PC es enviada al PLC del sistema automatizado, el cual utiliza esta información como variable principal de control. De esta manera, el PLC regula la apertura y cierre de la compuerta de la tolva, gestionando las etapas de llenado grueso y fino de forma automática y precisa. En conjunto, la

integración de SWIFT PC fortalece la exactitud del sistema de pesaje, mejora la eficiencia del proceso y elimina la dependencia de correcciones manuales, contribuyendo directamente al incremento de la productividad y a la estandarización del producto final.

Características del indicador



Tabla 6 - Características del Indicador.

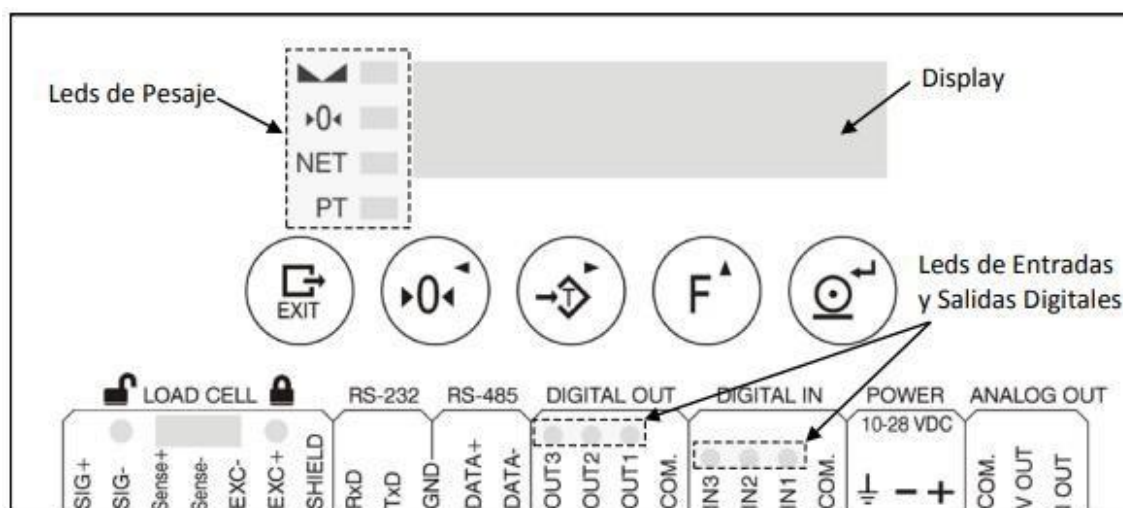
Máxima señal de entrada:	$\pm 3,9 \text{ mV/V}$.
Impedancia de entrada:	200 M Ω (típico).
Comunicación serie COM1:	RS-232 bidireccional (Dist. Máx. de hasta 15m). Protocolo propio y Modbus (RTU y ASCII).
Comunicación serie COM2:	RS-485, half-duplex (Dist. Máx. 1.200m y Máx. 32 equipos) Protocolo propio y Modbus (RTU y ASCII).
Velocidad de transmisión:	115200, 57600, 38400, 19200, 9600 y 4800 bauds.
Número de bits y paridad:	8 bits sin paridad, 8 bits paridad “even” y 8 bits paridad “odd”.
Alimentación Tensión:	10V a 28V DC.
Alimentación Consumo:	4W (máx.) – Versión Profibus/Profinet: 6W (máx.).
Rango de temperatura de servicio:	0°C a 50°C.
Grado de protección	IP40.

Fuente elaboración propia.

El teclado, situado en la parte frontal del equipo consta de 5 teclas con detección de pulsación simultánea en más de una tecla. El ID del teclado de ingreso de los parámetros es el 2802

Tecla	Modo Normal	Modo Setup
	Salida de cualquier operación	Subir un nivel / salir de la calibración
	Adquirir Cero	Mover a la izquierda / cambiar opción
	Tarar	Mover a la derecha / cambiar opción
	Programación setpoints	Incremento dígito
	Imprimir	Selección / Bajar nivel / Confirmar

El indicador consta de un display, cuatro indicadores luminosos de pesaje y 6 indicadores de estado de las entradas/salidas digitales. La disposición se puede ver en la figura1



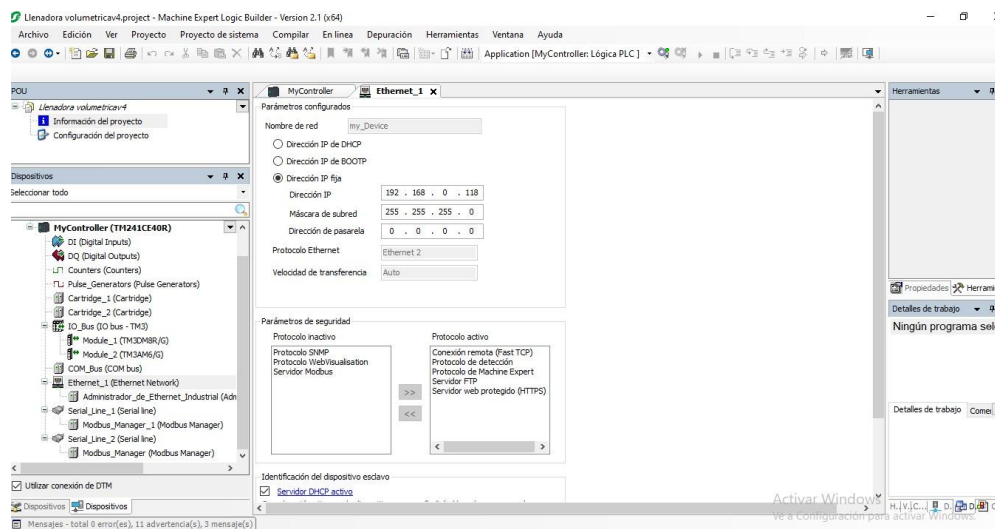
Comunicación PLC - HMI

Configuración de la Pantalla HMI Weintek software de desarrollo EasyBuilder pro.

Paso 1.

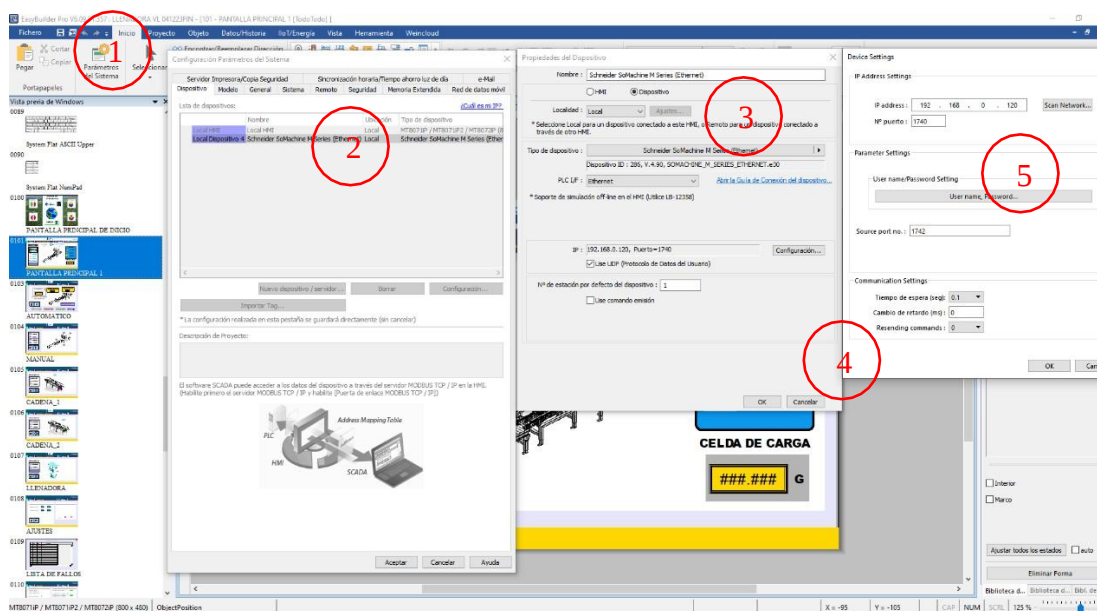
1. Ingresamos a los parámetros del proceso ahí se realizar la configuración para la lectura de variables desde el PLC a leer y escribir.
2. Configuración direccionamiento de PLC y IP.
3. Selección del PLC a tomar datos.
4. Configuración de la IP.
5. Ingreso de la IP 192.168.0.118. (dirección IP del PLC).
6. Importar Tag, datos del PLC.
7. Archivo con formato del PLC.

Figura 31 - Dirección IP del PLC y HMI.



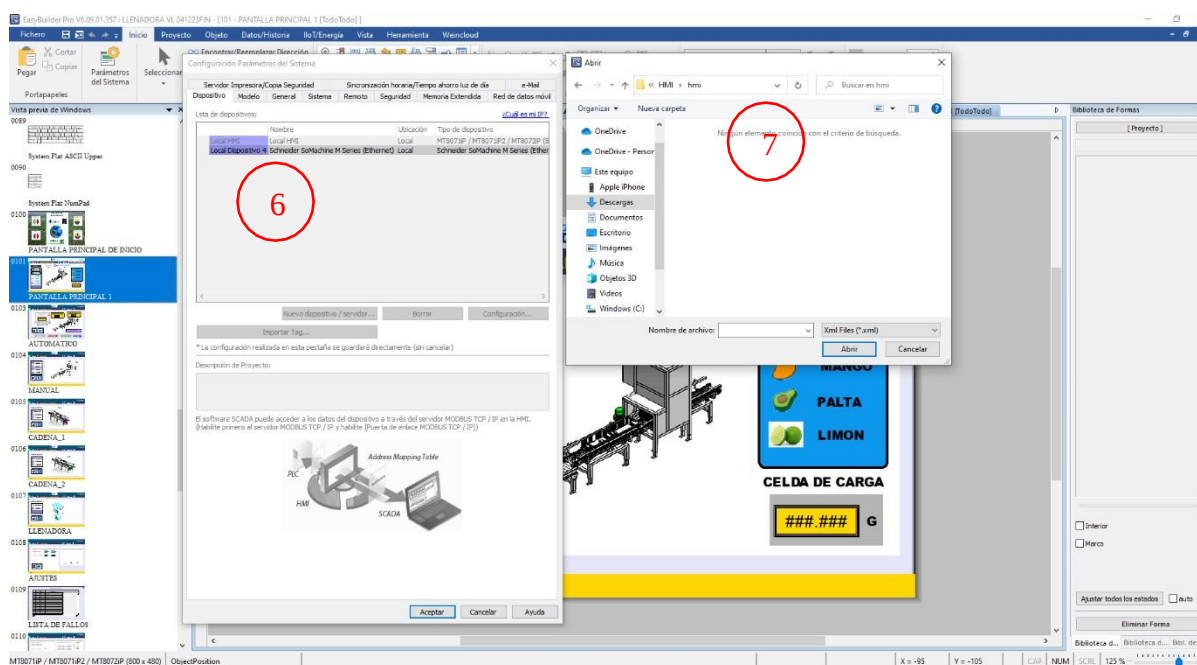
Fuente elaboración propia.

Figura 32 - Configuración de Parámetros HMI.



Fuente elaboración propia.

Figura 33 - Insertar variables HMI.



Fuente elaboración propia.

4.5 Simular el sistema automatizado desarrollado.

La simulación del sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango se realizó con el objetivo de validar el correcto funcionamiento de la lógica de control, la interacción entre sensores, actuadores y el PLC, así como comprobar que el sistema cumple con los requerimientos de precisión, seguridad y eficiencia establecidos en el diseño.

Esta etapa permite evaluar el comportamiento del sistema antes de su implementación física, reduciendo riesgos técnicos y garantizando que la secuencia de operación definida responda adecuadamente a las condiciones reales del proceso agroindustrial.

Para la simulación del sistema se emplearon las siguientes herramientas:

- **Software Machine Expert – Logic Builder**, para la simulación del programa del PLC Schneider Electric TM241.
- **Software SWIFT PC**, para la simulación y verificación de la lectura de peso proveniente de las celdas de carga.
- **HMI Weintek (EasyBuilder Pro)**, para la simulación de la interfaz de usuario y visualización de variables del proceso.

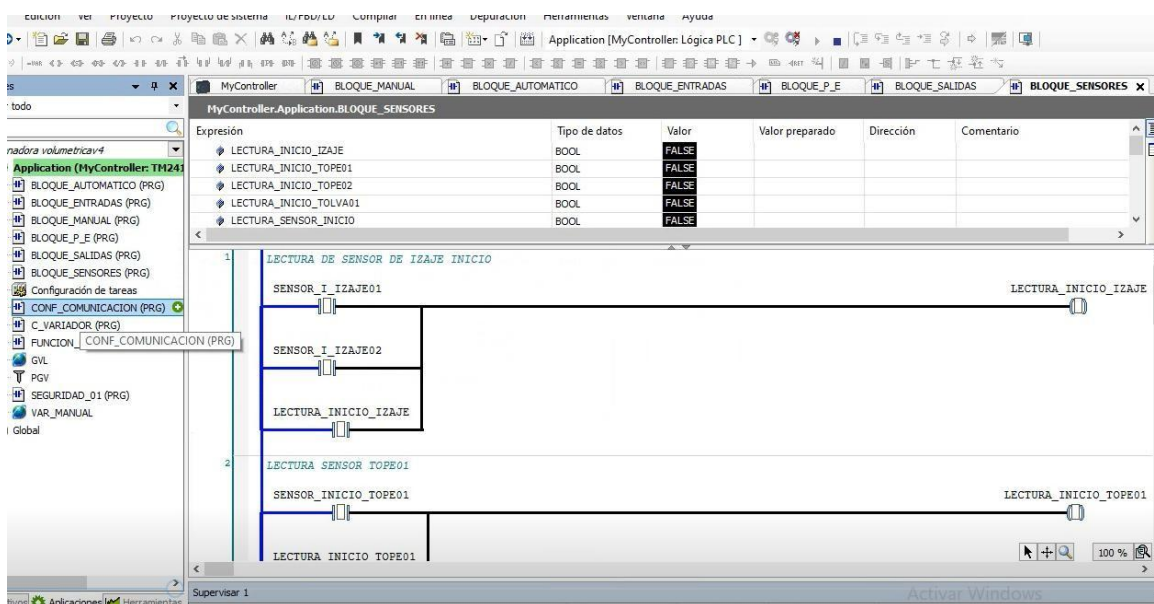
Estas herramientas permitieron simular tanto el comportamiento lógico del sistema como la supervisión del proceso en tiempo real.

✓ Simulación de detección de caja

En la primera etapa, se simuló la activación del sensor fotoeléctrico de presencia de caja en la plataforma de pesaje.

Cuando el sensor detecta la caja correctamente posicionada, el PLC habilita el inicio del ciclo automático.

Figura 34 - Lectura del sensor de Inicio.



Fuente elaboración propia.

✓ Simulación de lectura de peso mediante celdas de carga

Posteriormente, se simuló la señal analógica proveniente de las celdas de carga, procesada y calibrada mediante el software SWIFT PC.

Durante esta etapa, el valor de peso aumenta progresivamente conforme se simula la caída del producto en la caja.

✓ Simulación de alcance del peso objetivo

Cuando el peso simulado alcanza el valor configurado (10 kg), el PLC ordena el cierre total de la compuerta, finalizando el ciclo de llenado.

Figura 37 - Conexión online con celda de carga.



Fuente elaboración propia.

Figura 38 - Valor de Peso HMI.



Fuente elaboración propia.

Pruebas físicas del sistema de pesado

Con el fin de validar el correcto funcionamiento del sistema automatizado más allá del entorno de simulación, se realizaron pruebas físicas reales utilizando una celda de carga industrial y su controlador, las cuales permitieron obtener datos reales de pesaje y comprobar la confiabilidad del sistema de medición propuesto.

Estas pruebas se desarrollaron como una etapa complementaria a la simulación, con el objetivo de verificar el comportamiento de la señal de peso, la estabilidad de la lectura y la correcta respuesta del sistema ante variaciones de carga.

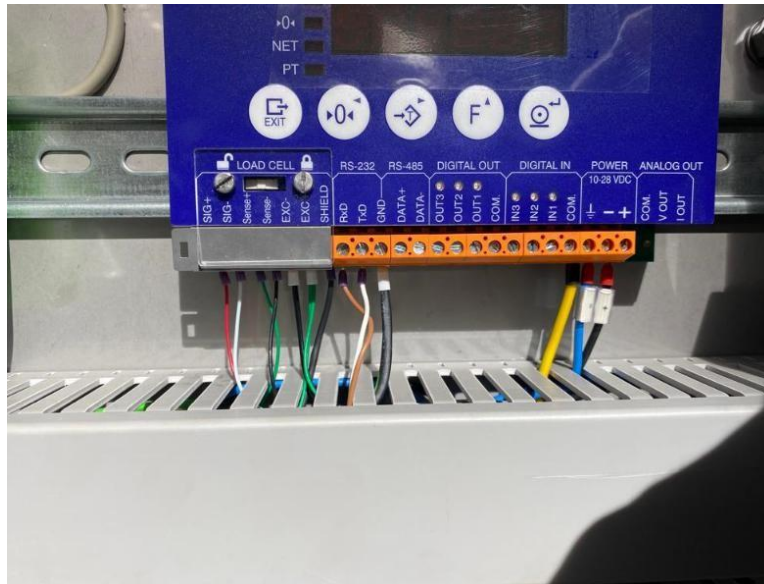
A. Conexión de la celda y controlador

Figura 39 - Equipos para las pruebas de pesado.



Fuente elaboración propia.

Figura 40 - Conexión del controlador de pesado.



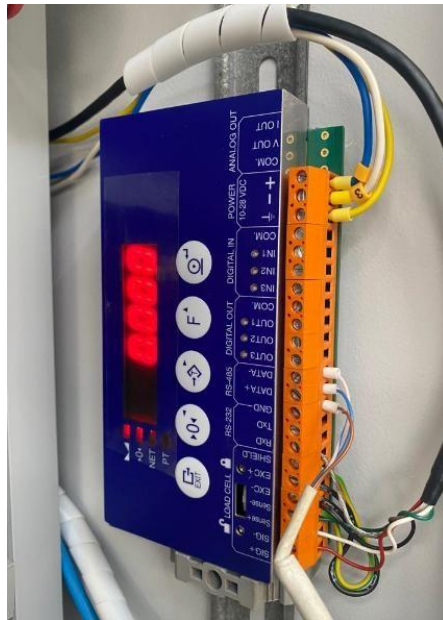
Fuente elaboración propia.

B. Procedimiento de las pruebas

Las pruebas físicas se realizaron siguiendo los siguientes pasos:

1. Calibración inicial de la celda de carga mediante el software SWIFT PC, estableciendo el punto cero y el factor de conversión peso–señal.

Figura 41 - Valor Cero del controlador.



Fuente elaboración propia.

2. Verificación de estabilidad de lectura, manteniendo cargas constantes durante intervalos de tiempo definidos. Comunicación serial constante con el controlador.

Figura 42 - Comunicación serial de datos con el controlador.



Fuente elaboración propia.

3. Retiro y reaplicación de carga, para evaluar la repetibilidad del sistema.

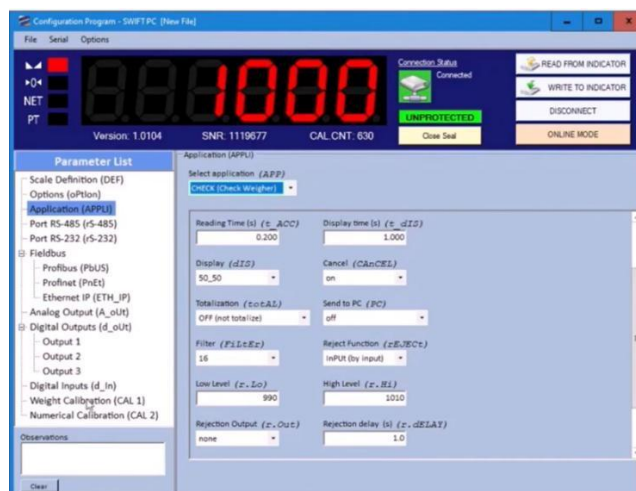
Figura 43 - Pruebas del controlador a 10 Kg.



Fuente elaboración propia.

4. Comparación entre el peso real aplicado y el valor medido, evaluando el error de medición 10 Kg.

Figura 44 - Valor de 10 Kg.



Fuente elaboración propia.

Durante las pruebas realizadas, se observó que:

- La lectura de peso fue estable y consistente para cargas constantes.
- El sistema presentó una respuesta lineal ante incrementos progresivos de carga.
- El error de medición se mantuvo dentro de márgenes aceptables para aplicaciones industriales.
- El controlador respondió adecuadamente ante cambios bruscos de carga, sin presentar lecturas erráticas.

Estos resultados confirman que el sistema de pesaje seleccionado es apto para su integración con el PLC y para su uso en el proceso automatizado de llenado y pesado.

4.6 Evaluación de los resultados

La evaluación de los resultados obtenidos en el presente proyecto se realiza a partir del análisis integral de cada una de las etapas desarrolladas en el Capítulo IV, las cuales están directamente relacionadas con los objetivos específicos planteados en la investigación. Esta evaluación permite verificar el cumplimiento de los objetivos propuestos y sustentar la viabilidad técnica del sistema automatizado diseñado.

Análisis.

- **Con el primer resultado**

4.1 Analizar el proceso actual de llenado y pesado de cubos de hielo de mango.

Se llevó a cabo un análisis bastante detallado del proceso actual que se utiliza para el llenado y pesado de cubos de hielo de mango, donde se pudo identificar que este proceso se viene desarrollando de forma manual o en algunos casos semiautomatizada. A través de este análisis se logró evidenciar varias deficiencias importantes, como por ejemplo la variabilidad que existe en el peso final de las cajas, el uso bastante intensivo de mano de obra, tiempos de operación que resultan elevados y también riesgos de tipo ergonómico para los operarios que realizan estas tareas.

La evaluación de este resultado nos confirma que el proceso que se tiene actualmente no está garantizando la uniformidad que se requiere en el producto final, ni tampoco la eficiencia operativa necesaria, lo cual justifica claramente la necesidad de que se implemente un sistema automatizado que pueda permitir mejorar la productividad y a la vez reducir los costos operativos. De igual manera, este diagnóstico inicial que se realizó sirvió como una base importante para poder definir los requerimientos de tipo técnico del sistema que se está proponiendo.

- **Con el segundo resultado**

4.2 Selección de tecnologías sobre máquinas y sistemas de automatización para el proceso de llenado y pesado.

En esta etapa se realizó la evaluación y selección de las tecnologías que resultaban más adecuadas para poder automatizar el proceso de llenado y pesado, tomando en cuenta diversos criterios de tipo técnico, operativo y también económico. Se hizo un análisis tanto de los equipos mecánicos como de los diferentes dispositivos de automatización y control que existen, dándole prioridad a la compatibilidad que estos pudieran tener con la línea de producción que ya existe actualmente y además al cumplimiento de las normas de higiene industrial que se requieren.

La evaluación que se hizo de este resultado nos demuestra que la selección de tecnologías que se realizó, tales como las celdas de carga, el controlador de pesaje, PLC, HMI y los actuadores

automáticos, resulta coherente y está alineada con los objetivos que tiene el proyecto. Estas tecnologías van a permitir eliminar la dependencia del criterio humano que existe en el pesaje y además proporcionan una base bastante sólida para lograr el control automático del proceso que se busca implementar.

- **Con el tercer resultado**

4.3 Diseñar el sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango.

Este resultado corresponde al diseño del sistema automatizado que se propone para el llenado y pesado de cubos de hielo de mango. En esta etapa del proyecto se definió la arquitectura que tendría el sistema, la disposición en la que estarían ubicados los equipos, la filosofía de control que se aplicaría y también las variables tanto de entrada como de salida del PLC que se utilizaría.

La evaluación que se realizó de este resultado nos evidencia que el diseño que se está proponiendo logra integrar de manera bastante eficiente los equipos que ya existen con los nuevos componentes automatizados que se van a incorporar, lo que va a permitir realizar tanto el llenado como el pesado en una sola estación de trabajo. Asimismo, el diseño que se planteó garantiza la precisión necesaria en el control del peso, también la reducción de los tiempos de operación y una mejora importante en las condiciones de seguridad y ergonomía para el personal que trabaja en esta área.

Este resultado obtenido cumple con el objetivo específico que se tenía de diseñar un sistema automatizado que sea funcional y que además pueda adaptarse a las condiciones reales que se tienen en una agroindustria como la nuestra.

- **Con el cuarto resultado**

4.4 Simular el sistema automatizado desarrollado.

En esta parte del trabajo se realizó la simulación del sistema automatizado que se desarrolló, para lo cual se utilizaron herramientas de software y también se hicieron pruebas de tipo físico con una celda de carga y su respectivo controlador. Esta etapa del proceso permitió validar la lógica de control que se programó, el comportamiento que tendría el sistema ante distintas condiciones de operación que se pudieran presentar y además la correcta adquisición de la señal de peso que se necesita.

La evaluación que se hizo de este resultado nos confirma que el sistema está respondiendo de manera adecuada y correcta durante las etapas tanto de llenado grueso como de llenado fino, logrando alcanzar el peso objetivo que se estableció con una alta precisión y también con buena estabilidad. Además de esto, las pruebas físicas que se realizaron respaldan de manera experimental los resultados que se obtuvieron en la simulación que se hizo, lo que demuestra que el sistema resulta técnicamente viable y confiable para que pueda hacerse su implementación de forma real en la planta.

Síntesis

De manera general, la evaluación de los resultados que se obtuvieron demuestra que el sistema automatizado que se está proponiendo cumple con los objetivos que se plantearon al inicio de esta investigación. El análisis que se hizo del proceso actual permitió ir identificando las deficiencias que existen, la selección de tecnologías que se realizó aseguró que el proyecto tenga viabilidad técnica, el diseño del sistema logró integrar de forma adecuada los diferentes componentes y finalmente la simulación que se llevó a cabo validó su correcto funcionamiento.

En conjunto, los resultados que se han obtenido evidencian que la implementación de este sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango va a contribuir de manera significativa a mejorar la productividad que se tiene, reducir los costos operativos que actualmente

se manejan y también garantizar la calidad del producto en las agroindustrias que operan en Lambayeque.

Las mejoras que se esperan en productividad y la reducción de costos operativos se han estimado de manera técnica, considerando aspectos como la disminución del tiempo que toma el llenado, la eliminación de reprocesos que ocurren por errores de pesado y también la reducción de la intervención manual que actualmente se requiere. Estos resultados que se presentan corresponden a una evaluación de tipo teórica que está basada en el diseño y en la simulación del sistema que se hizo, y no a mediciones de tipo directo que se hayan realizado en una planta que esté en operación.

Discusión de los resultados.

La discusión de los resultados obtenidos en el presente estudio se realiza comparando los hallazgos del sistema automatizado propuesto con los antecedentes investigados a nivel internacional, nacional y local, permitiendo analizar las similitudes, diferencias y aportes del proyecto en el contexto de la automatización de procesos agroindustriales.

En relación con los antecedentes de tipo internacional que se revisaron, el estudio que desarrolló Castro (2021) sobre el diseño de un sistema productivo para el procesamiento de pulpa de mango evidenció que cuando se implementan sistemas automatizados esto permite mejorar de manera significativa la eficiencia que tiene el proceso y también reducir el desperdicio de materia prima que se genera. De manera bastante similar, los resultados que se obtuvieron en el presente proyecto demuestran que al automatizar el proceso de llenado y pesado de cubos de hielo de mango se logra eliminar la variabilidad que existe en el pesaje manual y se reducen las pérdidas que están asociadas al sobrellenado y al subllenado de las cajas, lo que contribuye a lograr una mayor eficiencia a nivel operativo.

Asimismo, el trabajo que realizaron Hurtado y Daza (2017) sobre la automatización de procesos de dosificación en alimentos balanceados resalta y destaca la importancia que tiene el uso de controladores y sensores para poder garantizar la precisión y repetitividad que se necesita en los procesos productivos. En concordancia con estos resultados que ellos obtuvieron, el sistema que se propone en esta investigación incorpora elementos como celdas de carga, un controlador de pesaje y también un PLC, logrando de esta manera un control bastante preciso del peso y una dosificación de tipo automática del producto, lo cual valida la efectividad que tiene la automatización cuando se aplica al sector agroindustrial.

En cuanto a los antecedentes de tipo nacional que se revisaron, el estudio que realizó Arica Rivas (2016) evidenció que al automatizar el área de llenado y pesado se logró reducir de manera significativa los costos operativos que se tenían y también mejorar la productividad en una línea de producción de alimentos balanceados. Los resultados que se obtuvieron en el presente proyecto coinciden bastante con dicho antecedente que se menciona, ya que el sistema automatizado que se diseñó reduce la necesidad de mano de obra que se requiere, disminuye los tiempos de operación que se manejan y también elimina las correcciones de tipo manual que antes se hacían, siendo estos factores que impactan de forma directa en la reducción de los costos operativos.

De igual forma, la investigación que realizaron Corpus y Portugal (2021) sobre sistemas de pesaje automatizados destaca y resalta la importancia que tiene la precisión y también la transmisión confiable de datos en tiempo real para poder gestionar de manera adecuada el proceso productivo. En este sentido, el uso que se hace de celdas de carga y de software especializado como el SWIFT PC en el presente proyecto permite obtener datos de peso que son estables y confiables, los cuales son utilizados de forma directa por el PLC para realizar el control del proceso, lo que fortalece la trazabilidad y el control que se tiene del sistema.

A nivel local, el estudio que desarrolló Bonilla Neyra (2020) señala que cuando se automatiza procesos en agroindustrias esto contribuye a reducir los tiempos improductivos que existen y también los riesgos laborales que están asociados a la manipulación manual de cargas. Los resultados del sistema que se propone concuerdan bastante con este antecedente que se menciona, ya que al automatizar el proceso de llenado y pesado de cajas de 10 kg se logra disminuir la carga física que recae sobre los operarios, lo que mejora las condiciones ergonómicas que tienen y también la seguridad laboral en el área de trabajo.

Asimismo, la investigación que realizó Vásquez Valderrama (2021) sobre la automatización del control de peso en procesos productivos demuestra que cuando se implementa sistemas automatizados esto mejora la eficiencia operativa que se tiene y también la precisión del pesaje que se realiza. De manera bastante consistente, los resultados que se obtuvieron en este proyecto evidencian que el sistema automatizado que se desarrolló alcanza el peso objetivo que se estableció con una alta precisión y estabilidad, lo que valida la pertinencia que tiene la solución que se propone para el contexto agroindustrial que existe en Lambayeque.

En síntesis, la comparación que se hizo de los resultados obtenidos con los antecedentes que se revisaron permite afirmar que el sistema automatizado de llenado y pesado de cubos de hielo de mango presenta resultados que son coherentes con los estudios previos que se han realizado y además aporta una solución específica y adaptada a las necesidades que tienen las agroindustrias locales. El proyecto no solo confirma los beneficios de la automatización que han sido reportados en la literatura que existe, sino que también contribuye con un diseño que es aplicado y que ha sido validado mediante la simulación y las pruebas físicas que se realizaron, fortaleciendo de esta manera su viabilidad técnica y también su potencial de implementación de forma real.

CONCLUSIONES

1. El proceso actual de llenado y pesado de cubos de hielo de mango presenta variabilidad en el peso, alto uso de mano de obra y riesgos ergonómicos, lo que justifica la implementación de un sistema automatizado.
2. Las tecnologías de automatización seleccionadas (celdas de carga, controlador de pesaje, PLC, HMI y actuadores) son adecuadas y compatibles con el proceso agroindustrial, garantizando precisión y confiabilidad.
3. El sistema automatizado diseñado permite integrar el llenado y pesado en una sola estación, reduciendo tiempos de operación, eliminando correcciones manuales y mejorando la productividad.
4. La simulación y las pruebas físicas realizadas validan la viabilidad técnica del sistema, demostrando un control preciso del peso y un funcionamiento confiable para su aplicación en agroindustrias de Lambayeque.
5. El desarrollo del presente proyecto demuestra la viabilidad técnica del diseño de un sistema automatizado para el llenado y pesado de cubos de mango congelado, evidenciando que su implementación es factible desde el punto de vista del control, la instrumentación y la automatización industrial

RECOMENDACIONES

1. Implementar el sistema automatizado propuesto en una etapa piloto antes de su puesta en operación total, con el fin de ajustar parámetros de pesaje y tiempos de llenado según las condiciones reales de planta.
2. Capacitar al personal operativo y de mantenimiento en el uso del sistema automatizado, la HMI y el controlador de celdas de carga, para asegurar una operación segura y eficiente.
3. Realizar calibraciones periódicas de las celdas de carga y mantenimiento preventivo de los equipos, con el objetivo de garantizar la precisión del pesaje y la confiabilidad del sistema.
4. Considerar la integración futura del sistema con plataformas de monitoreo y trazabilidad (SCADA o registro de datos), que permitan analizar la producción y optimizar la gestión del proceso.

REFERENCIAS

- agraria.pe. (2025). *Fruta congelada con proyección de crecimiento*. Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias. <https://agraria.pe/noticias/fruta-congelada-con-proyeccion-de-crecimiento-36429>
- Arica Rivas, A. H. (2016). *Propuesta de mejora en el área de producción mediante la automatización del área de llenado y pesado de la línea de alimentos balanceados para reducir los costos operacionales de la empresa Molino El Cortijo S.A.C.*
- Bonilla Neyra. (2020). *INGENIERO INDUSTRIAL*.
- Castro. (2021). *Diseño del sistema productivo para procesar la pulpa de mango en una hacienda agrícola en la ciudad de Guayaquil*.
- Corpus y Portugal. (s. f.). Recuperado 27 de marzo de 2025, de <https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/32e60a4d-2969-48e7-ac6b-7f0b8c507470/content>
- DOOR3. (2023). *Diseño de sistemas automatizados: Agilizar la eficiencia y la innovación*. DOOR3. <https://www.door3.com/blog/automated-systems-design>
- Emergent Cold. (2024, octubre 11). *IQF: Cómo funciona y cuáles son los beneficios de la congelación rápida*. <https://emergentcoldlatam.com/logistica/sistema-iqf/>, <https://emergentcoldlatam.com/logistica/sistema-iqf/>
- Hurtado, A. M. L., & Daza, J. H. O. (2017). *AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN, MOLIENDA Y GESTIÓN DE MATERIAS PRIMAS DE ALIMENTOS BALANCEADOS*.
- Intagri. (2017). *El Cultivo de Arándano o Blueberry | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/El-Cultivo-de-Arándano-o-Blueberry>

- Maf Roda. (2023). *La automatización, herramienta clave en el desarrollo del sector del arándano*. <https://www.poscosecha.com/maf-roda/la-automatizacion-herramienta-clave-en-el-desarrollo-del-sector-del-arandano>
- Moreno, E. G. (1999). *AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES*.
- Sánchez y Marín. (2020). Industria 4.0: El reto en la ruta hacia las organizaciones digitales. *Estudios de la Gestión. Revista Internacional de Administración*.
<https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.7>
- Vasquez Valderrama. (2021). *Dra. Silvia Yvone Gastiaburú Morales Presidente del jurado de tesis*.
- VIRU S.A. (2025). <https://virugroup.com/>

ANEXOS

ANEXO 1

1.1 Imágenes de campo del equipo.

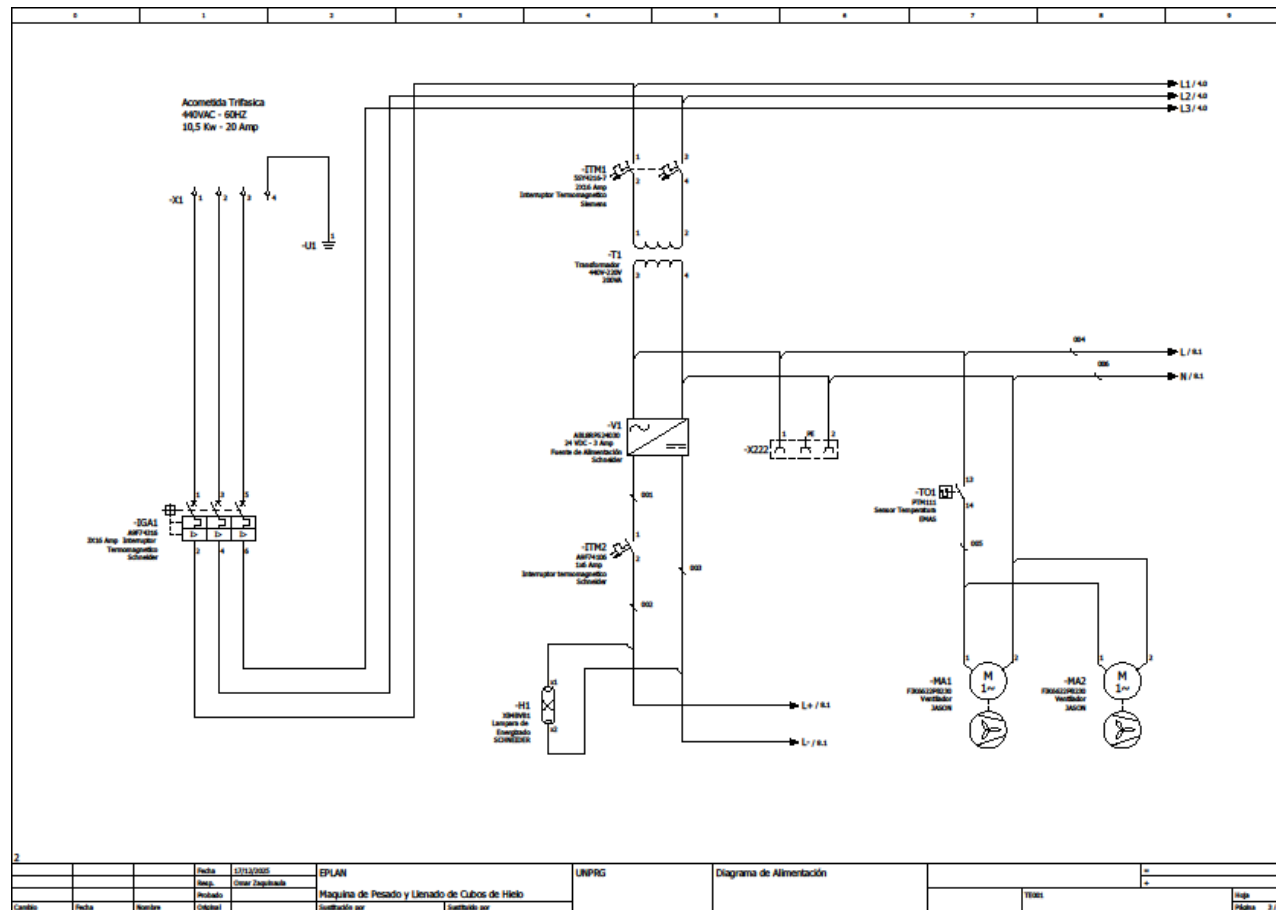
a. Llenado de cubos de hielo manual.

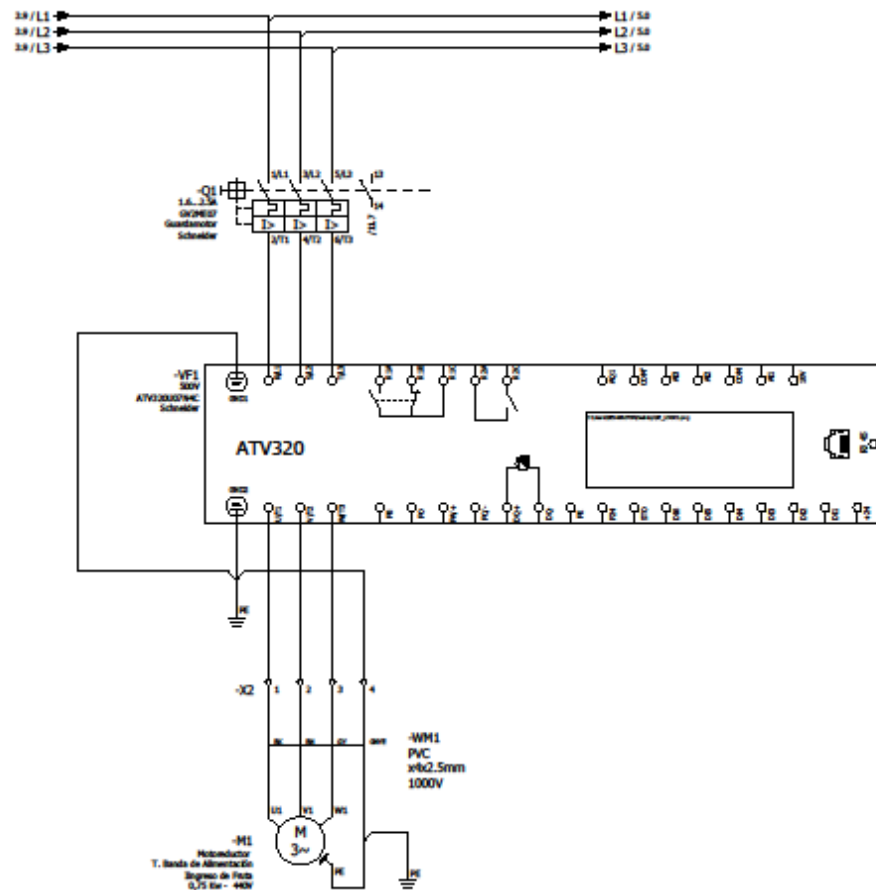


ANEXO 2

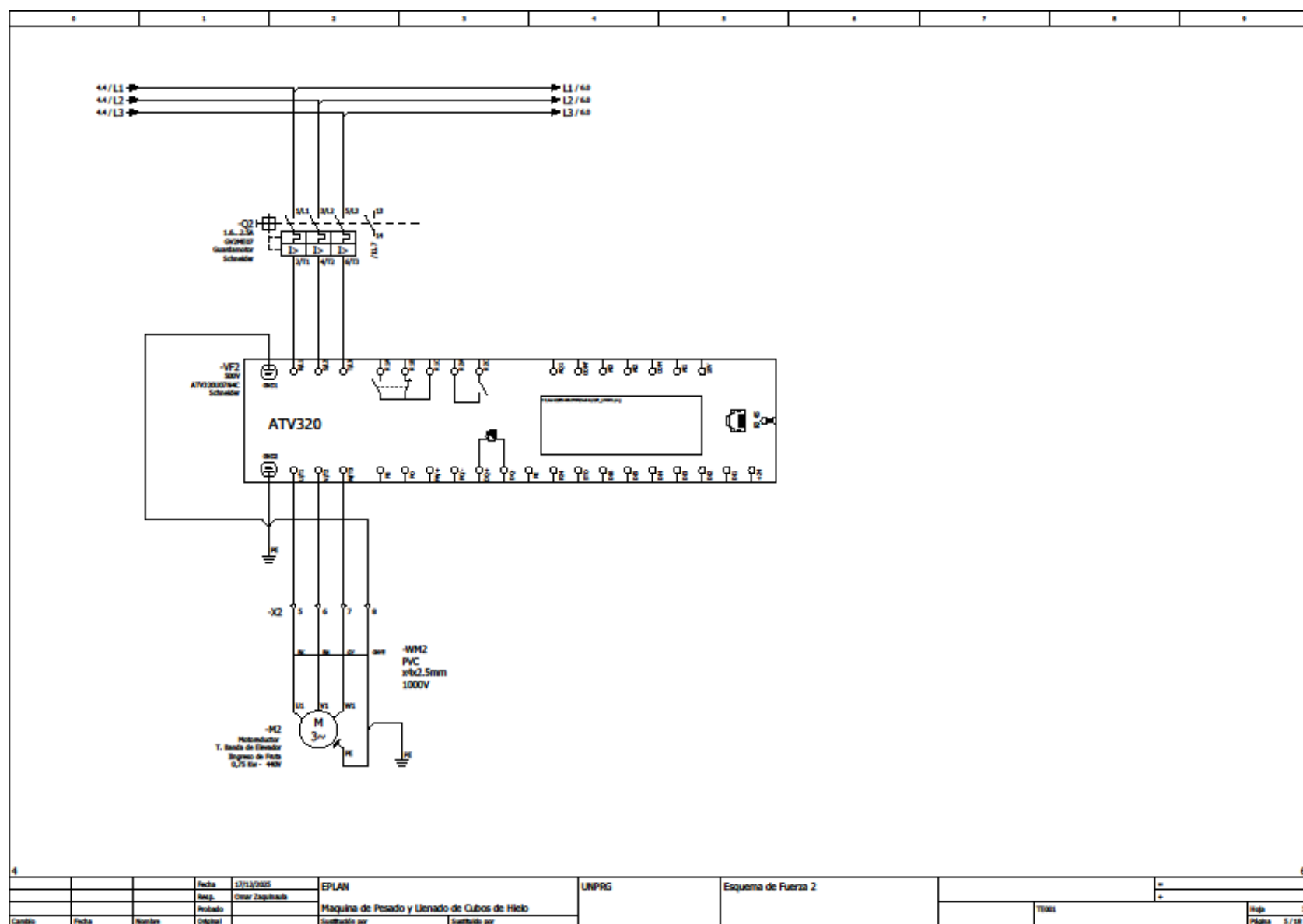
2.1 Diagramas Eléctricos de Fuerza y Control.

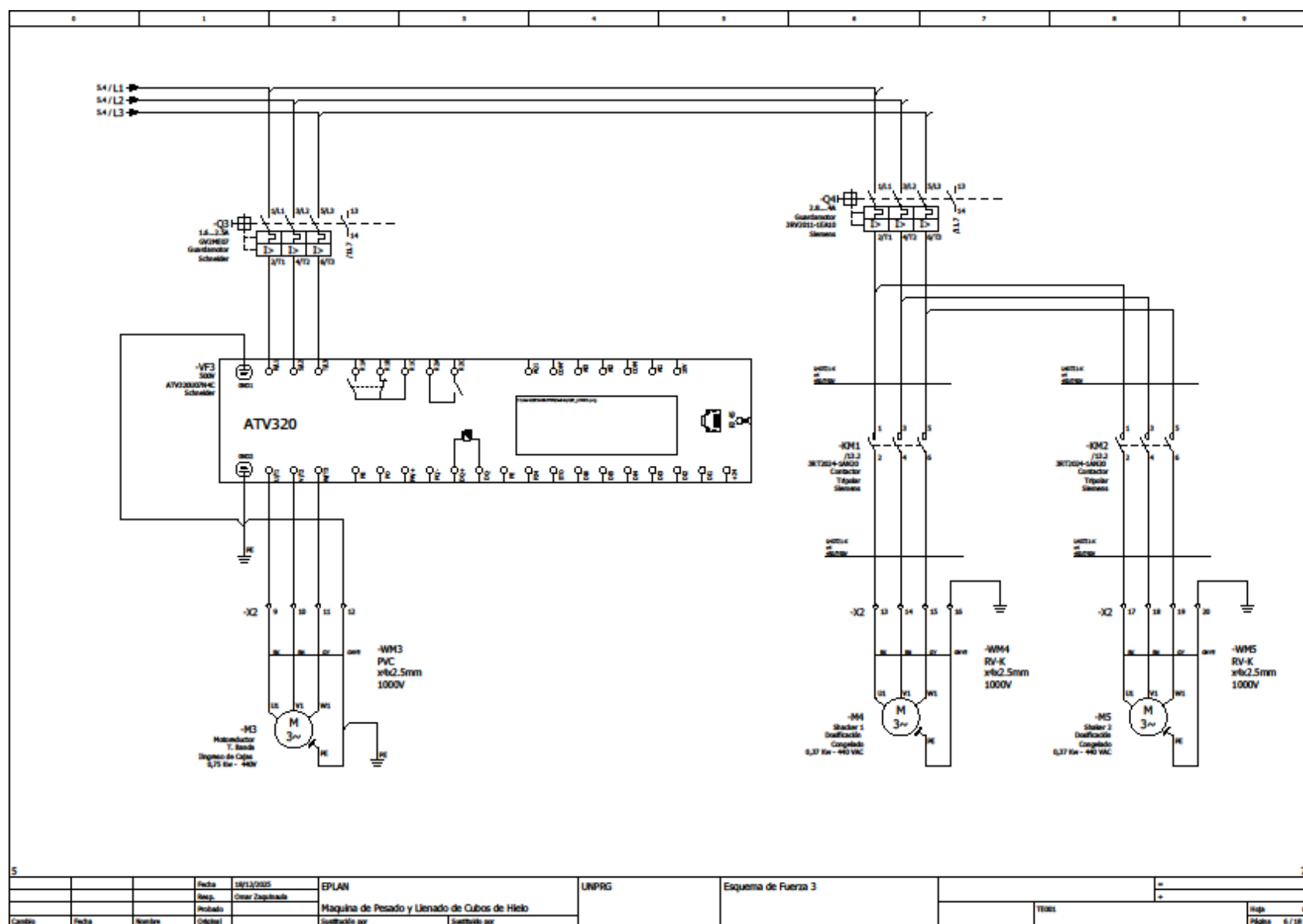
a. Diagramas Eléctrico de fuerza alimentación trifásica 440 VAC.



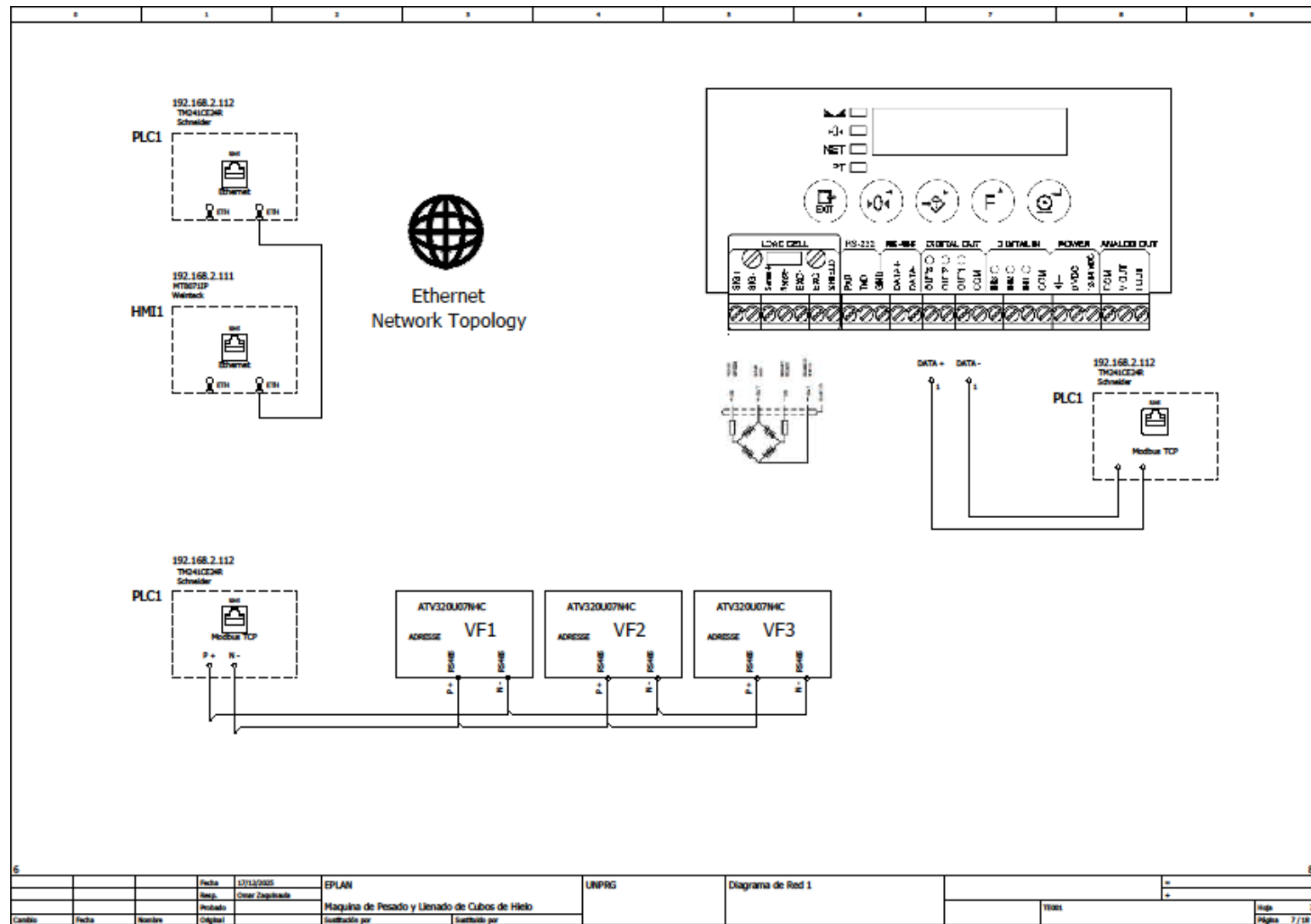


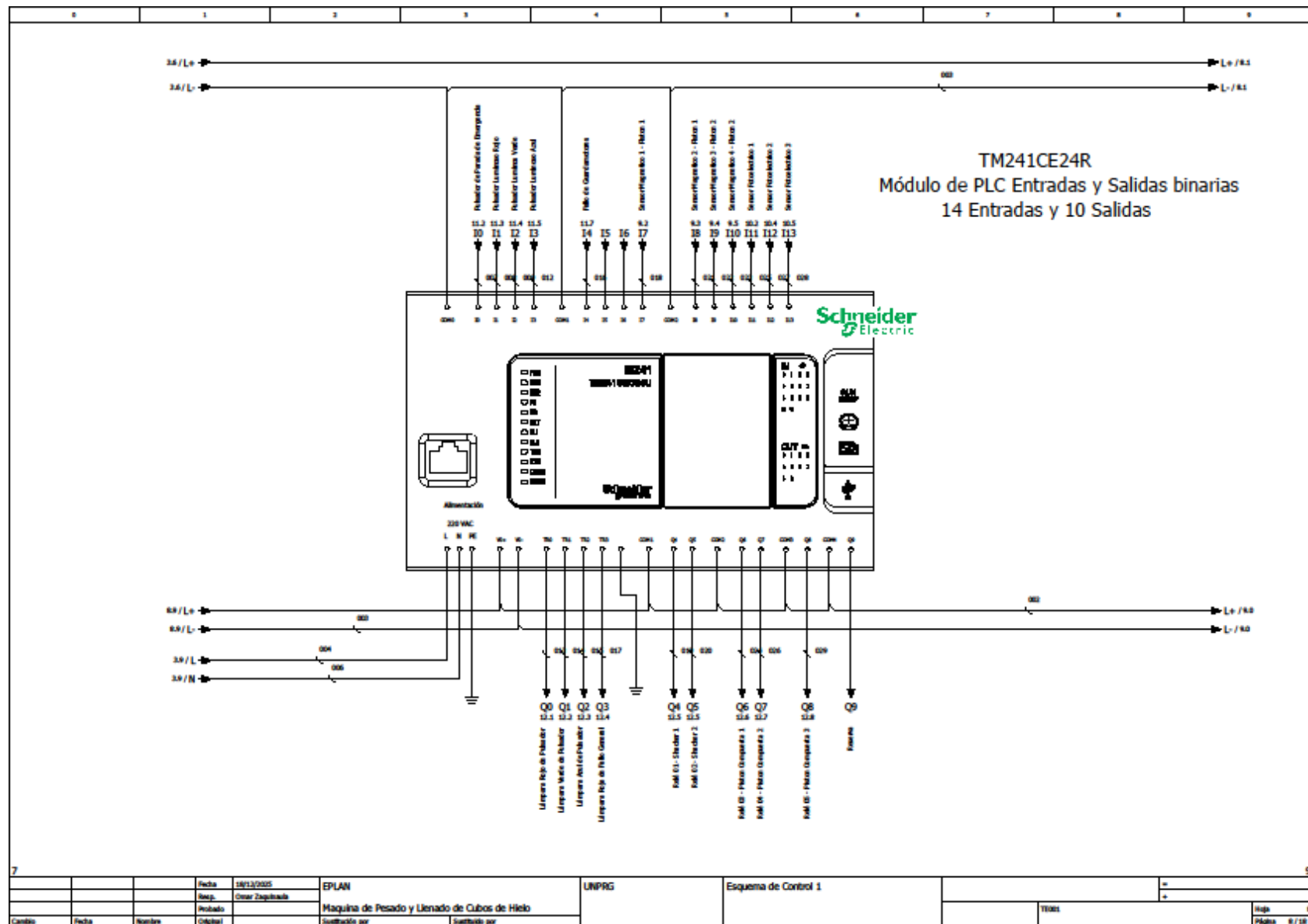
						5
		Fecha:	17/11/2025	EPLAN	UNPRG	Esquema de Fuerza 1
		Resp.	Oscar Zapata			=
		Probado		Máquina de Pesado y Llenado de Cubos de Hielo		+ =
Caudal	Fecha	Nombre	Original	Sustituido por		TÍTULO
				Sustituido por		Página 4 / 18

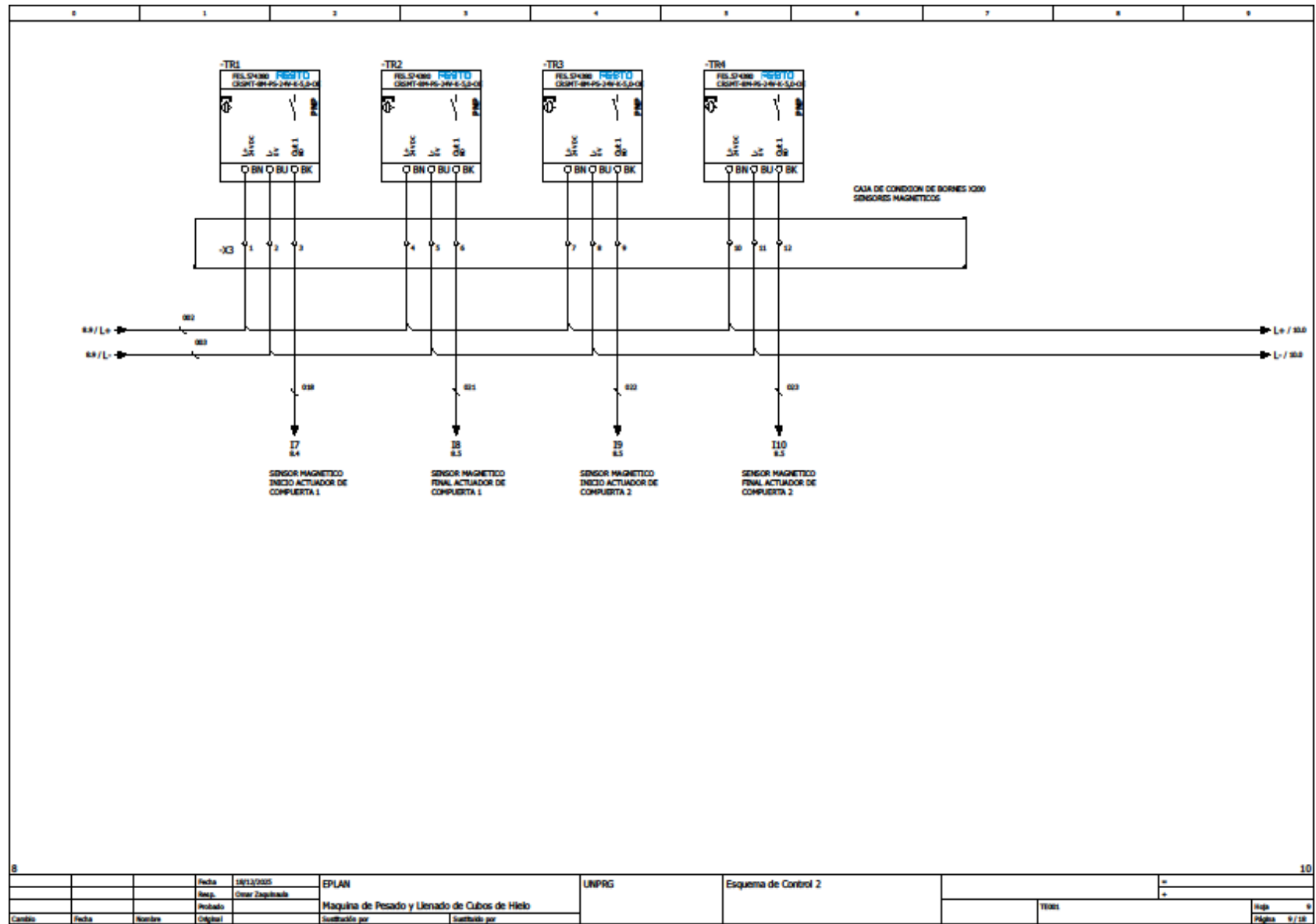


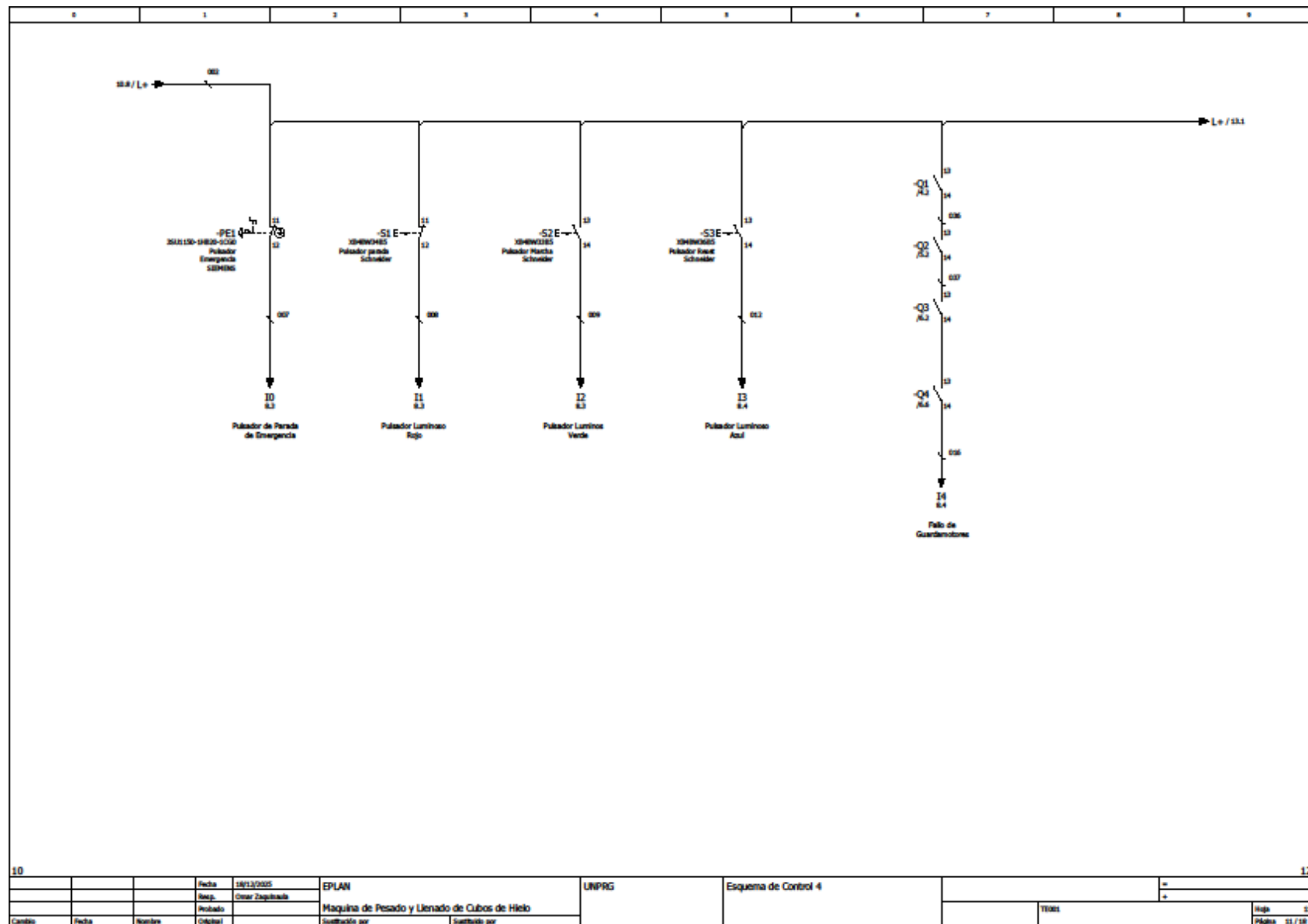


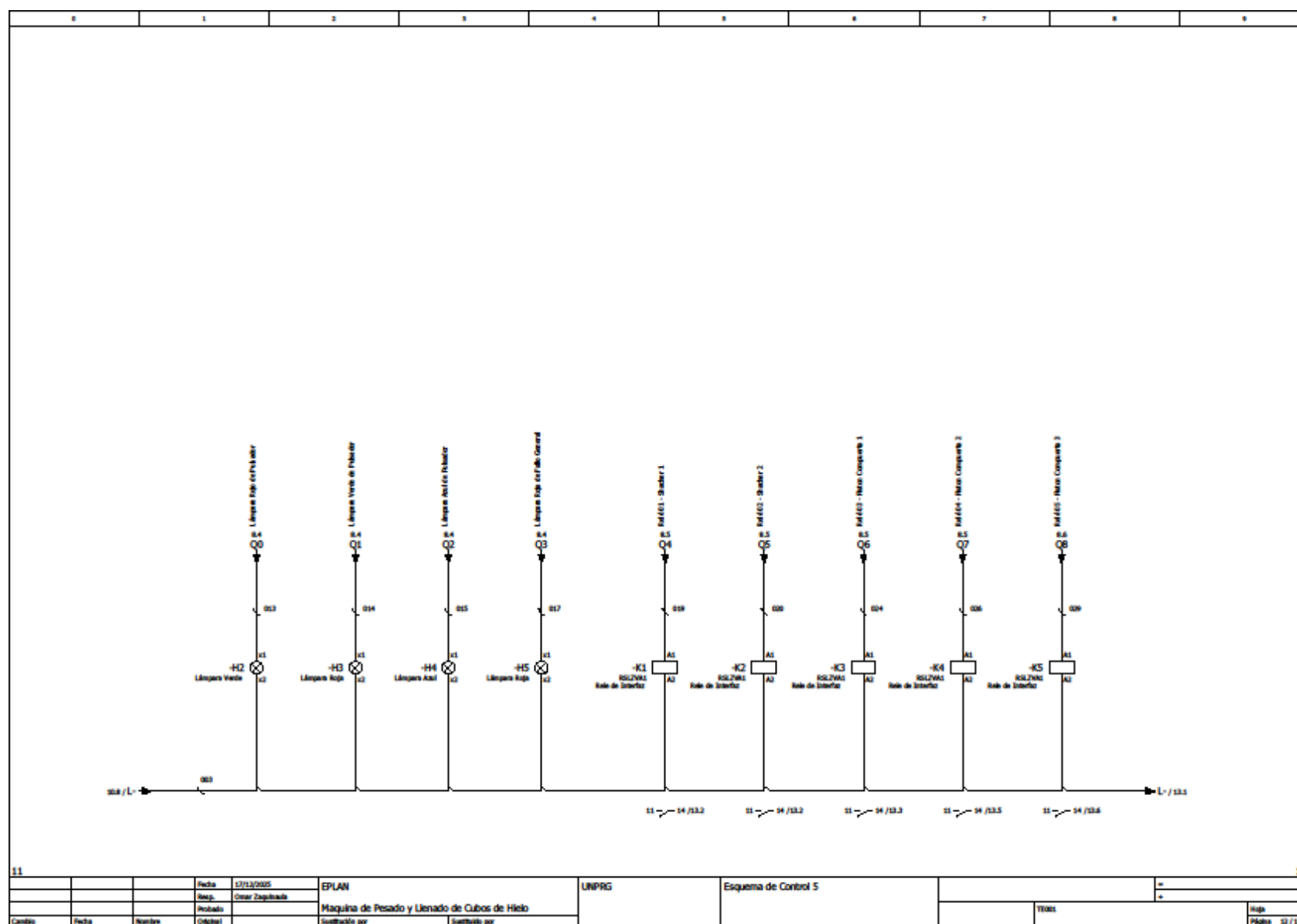
b. Diagramas Eléctrico de control.







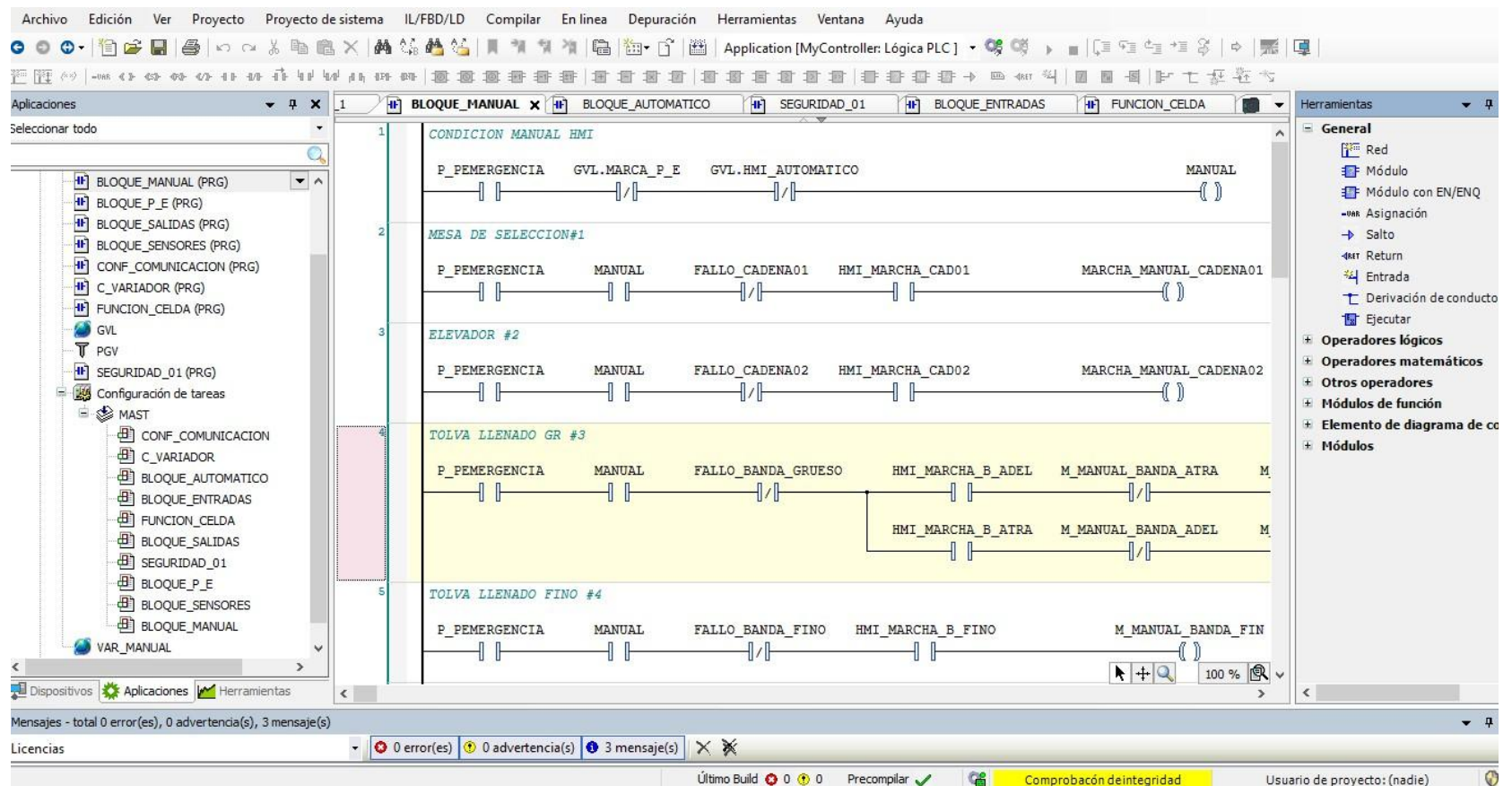




ANEXO 3

3.1 Código de Programación.

a. Código de programación



Archivo Edición Ver Proyecto Proyecto de sistema IL/FBD/LD Compilar En línea Depuración Herramientas Ventana Ayuda

Application [MyController: Lógica PLC]

Aplicaciones

Seleccionar todo

- BLOQUE_AUTOMATICO (PRG)
- BLOQUE_ENTRADAS (PRG)
- BLOQUE_MANUAL (PRG)
- BLOQUE_P_E (PRG)
- BLOQUE_SALIDAS (PRG)
- BLOQUE_SENSORES (PRG)
- CONF_COMUNICACION (PRG)
- C_VARIADOR (PRG)
- FUNCION_CELDA (PRG)
- GVL
- PGV
- SEGURIDAD_01 (PRG)
- Configuración de tareas
 - MAST
 - CONF_COMUNICACION
 - C_VARIADOR
 - BLOQUE_AUTOMATICO
 - BLOQUE_ENTRADAS
 - FUNCION_CELDA
 - BLOQUE_SALIDAS
 - SEGURIDAD_01
 - BLOQUE_P_E
 - BLOQUE_SENSORES

Dispositivos Aplicaciones Herramientas

Mensajes - total 0 error(es), 0 advertencia(s), 3 mensaje(s)

Licencias

0 error(es) 0 advertencia(s) 3 mensaje(s)

Último Build 0 0 Precompilar Comprobación de integridad Usuario de proyecto: (nadie) INS Ln 1 Col 1 Ch 1

Herramientas

General

- Red
- Módulo
- Módulo con EN/ENQ
- Asignación
- Salto
- Return
- Entrada
- Derivación de condu
- Ejecutar
- Operadores lógicos
- Operadores matemáticos
- Otros operadores
- Módulos de función
- Elemento de diagrama de
- Módulos

1 BLOQUE_MANUAL BLOQUE_AUTOMATICO x SEGURIDAD_01 BLOQUE_ENTRADAS FUNCION_CELDA

3 HABILITACION DEL SISTEMA SET

P_PEMERGENCIA AUTOMATICO GVL.MARCA_PULSADOR_PARADA GVL.FALLO_GENERAL GVL.MARCA_RESET_SISTEMA01 HAB

4 HABILITACION DEL SISTEMA RESET

P_PEMERGENCIA HABIL_SISTEMA_AUT

AUTOMATICO

GVL.MARCA_PULSADOR_PARADA

GVL.FALLO_GENERAL

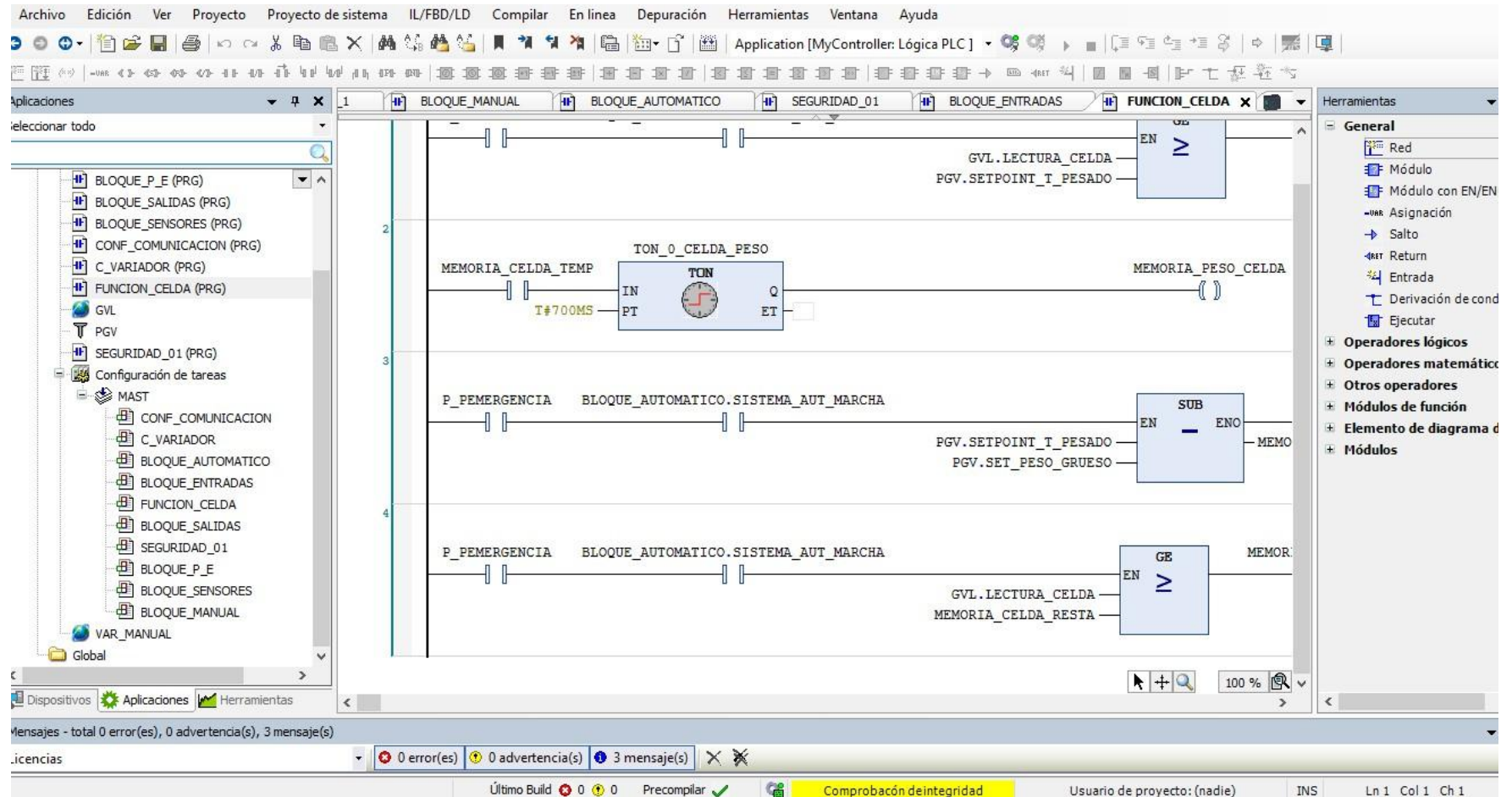
5 MARCHA EN AUTOMATICO SET PULSADOR

HABIL_SISTEMA_AUT GVL.MARCA_PULSADOR_MARCHA SISTEMA_AUT_MARCHA

6 MARCHA EN AUTOMATICO RESET PULSADOR

GVL.MARCA_PULSADOR_PARADA SISTEMA_AUT_MARCHA

90 %



Archivo Edición Ver Proyecto Proyecto de sistema IL/FBD/LD Compilar En línea Depuración Herramientas Ventana Ayuda

Application [MyController: Lógica PLC]

Aplicaciones

Seleccionar todo

Llenadora volumetricav1.0

Application (MyController: TM241CE4)

- BLOQUE_AUTOMATICO (PRG)
- BLOQUE_ENTRADAS (PRG)
- BLOQUE_MANUAL (PRG)
- BLOQUE_P_E (PRG)
- BLOQUE_SALIDAS (PRG)
- BLOQUE_SENSORES (PRG)
- CONF_COMUNICACION (PRG)
- C_VARIADOR (PRG)
- FUNCION_CELDA (PRG)
- GVL
- PGV
- SEGURIDAD_01 (PRG)
- Configuración de tareas
- MAST
 - CONF_COMUNICACION
 - C_VARIADOR
 - BLOQUE_AUTOMATICO
 - BLOQUE_ENTRADAS
 - FUNCION_CELDA
 - BLOQUE_SALIDAS
 - SEGURIDAD_01

Dispositivos Aplicaciones Herramientas

Mensajes - total 0 error(es), 0 advertencia(s), 3 mensaje(s)

Licencias 0 error(es) 0 advertencia(s) 3 mensaje(s)

Último Build 0 0 Precompilar Comprobación de integridad Usuario de proyecto: (nadie) INS Ln 1 Col 1 Ch 1

CONF_COMUNICACION Serial_Line_1 BLOQUE_MANUAL BLOQUE_AUTOMATICO SEGURIDAD_01 BLOQUE

COM_SERIAL AddrTable Done Error Error0 CommError Cerror0

L_START Execute '1.2' Addr

3

/////////LEER VARIABLES DE COMUNICACION/////////

COM_OK WRITE_OK F_LEER_CELDA

READ_VAR Done Bs1 Busy Aborted Ab1 Error Error2 CommError Cerror2 OperError Cerror2

ERROR_C Abort COM_SERIAL Addr Timeout 2 ObjType IW ObjType 9 FirstObj 2 Quantity ADR (TABLA_READ) Buffer

4

DONE_R MOVE EN ENO GVL. LECTURA_CELDA

TABLA_READ[1]

5

/////////ESCRIBIR VARIABLES DE COMUNICACION CELDA/////////

COM_OK READ_OK F_ESCRIBIR_CELDA

WRITE_VAR Done Bs1 Busy Aborted Ab1

DONE_W

80 %

Herramientas

General

- Red
- Módulo
- Módulo con EN/ENQ
- Asignación
- Salto
- Return
- Entrada
- Derivación de conducto
- Ejecutar
- Operadores lógicos
- Operadores matemáticos
- Otros operadores
- Módulos de función
- Elemento de diagrama de conexión
- Módulos

Módulos definidos en el proyecto

