



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO MECATRÓNICO DE UN
SISTEMA DE LLENADO DE ENVASES GALONEROS CON
CONTROL DE FLUJO MEDIANTE PLC Y SIMULACIÓN HMI**

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

AUTORES: Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez
Abraham Federico Valarezo Sánchez
TUTOR: Ing. Gabriel Santiago García Vásquez, MSc.

Guayaquil - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez** con documento de identificación N° **0927532036** y **Abraham Federico Valarezo Sánchez** con documento de identificación N° **0955667225**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 05 de marzo del año 2024

Atentamente,



Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez
0927532036



Abraham Federico Valarezo Sánchez
0955667225

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

Nosotros, **Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez** con documento de identificación N° **0927532036** y **Abraham Federico Valarezo Sánchez** con documento de identificación N° **0955667225**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO MECATRÓNICO DE UN SISTEMA DE LLENADO DE ENVASES GALONEROS CON CONTROL DE FLUJO MEDIANTE PLC Y SIMULACIÓN HMI**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

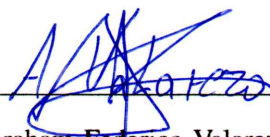
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 05 de marzo del año 2024

Atentamente,



Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez
0927532036



Abraham Federico Valarezo Sánchez
0955667225

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Gabriel Santiago García Vásquez**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO MECATRÓNICO DE UN SISTEMA DE LLENADO DE ENVASES GALONEROS CON CONTROL DE FLUJO MEDIANTE PLC Y SIMULACIÓN HMI**, realizado por **Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez** con documento de identificación N° **0927532036** y por **Abraham Federico Valarezo Sánchez** con documento de identificación N° **0955667225**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 01 de marzo del 2024

Atentamente,



Ing. Gabriel Santiago García Vásquez, MSc.
0920256500

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación con profundo cariño y gratitud. En primer lugar, a mi abuela Clara Piedad, cuya memoria y amor han sido una fuente inagotable de inspiración para alcanzar este logro. Agradezco infinitamente a mis padres, Henry Izquierdo y Francisca Sánchez, quienes con su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica y profesional han sido mi roca y mi guía.

Además, deseo expresar mi sincero agradecimiento a tres destacados ingenieros cuyas valiosas enseñanzas han sido pilares fundamentales durante mis primeros pasos en el ámbito profesional. Al Ingeniero Fabio Duarte, al Ingeniero Miguel Gómez y al Ingeniero Daniel León, les debo un profundo reconocimiento por haber encendido en mí la chispa de la pasión por el crecimiento profesional y el constante mejoramiento personal. Su orientación y ejemplo han sido fundamentales para mi desarrollo, tanto en lo profesional como en lo humano.

También quiero expresar mi reconocimiento a todas aquellas personas que han cruzado mi camino y han compartido conmigo valiosas enseñanzas que han enriquecido mi vida y me han ayudado a crecer personal y profesionalmente. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez

Dedico mi tesis principalmente a mis padres, Federico Valarezo y Gladys Sánchez por apoyarme en todo lo que estado recorriendo en todos estos años para ser una mejor persona y un buen profesional. También se la dedico a mis abuelos, aunque ya no están a mi lado siempre los recordare como las únicas personas que reconocieron mi práctica diaria y a mis hermanas, aunque ya pasaron por esto, fueron mi ejemplo a seguir para completar el trabajo de titulación.

Además, desea expresa mi sincero agradecimiento al Ing. Jonny Gonzabai cuyas enseñanzas me ayudaron a apreciar todo el sacrificio que realizan mis padres para que yo pueda continuar estudiando y las enseñanzas que me llevo a una realización por ampliar mi conocimiento profesional y buscar el constante mejoramiento personal. Su orientación ha sido fundamental para mi camino a seguir, tanto como profesional como ser humano.

También agradezco a todas las personas que se cruzaron conmigo, impartiendo conocimiento y enseñanzas que me ayudaron a seguir adelante durante todo el trayecto de la carrera. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Abraham Federico Valarezo Sánchez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana, a sus respetados docentes, quienes con su conocimiento y su apoyo brindaron las herramientas para un futuro exitoso como un ingeniero mecatrónico..

Asimismo, deseo extender mi más sincero agradecimiento a mi compañero de tesis Abraham Valarezo, a quien considero más que un colega, como un hermano. Su apoyo y colaboración han sido invaluableles durante todo este proceso.

Por último, pero no menos importante, deseo agradecer a la Compañía de transporte Urbano "M & M TRANS-URBAN EXPRESS C.A", ubicada en la Ciudadela Martha de Roldós. Esta compañía fue financista parcial de este proyecto, además, quiero destacar la admirable comprensión mostrada por su gerente Carlos Morales, hacia la importancia y el valor de este trabajo de titulación. Agradezco sinceramente a todo el equipo que conforma esta compañía por su contribución y apoyo.

Roberto Alejandro Izquierdo Sánchez

Mi profundo agradecimiento a los educadores, catedráticos y personal humano que forma parte de la "Universidad Politécnica Salesiana", por todos sus conocimientos y valores adquiridos durante toda la vida universitaria, que me brindaron las herramientas para seguir hacia adelante como un ingeniero mecatrónico.

Asimismo, desea expresar mi más sincero agradecimiento a mi compañero de tesis Roberto Izquierdo, a quien lo considero como hermano. Su apoyo y colaboración han sido irremplazables para la realización de todo este proceso.

Un agradecimiento a mis padres que han me inculcado con sus valores y consejos para seguir adelante en la vida que me espera como profesional y como persona. Agradezco sinceramente por todo ese granito de arena por parte las personas durante este proceso para realizar este trabajo de titulación.

Abraham Federico Valarezo Sánchez

RESUMEN

Este proyecto tiene como propósito principal la introducción de un módulo mecatrónico diseñado para el llenado de envases galoneros, destinado específicamente para pequeños emprendimientos involucrados en la comercialización de agua embotellada. La innovación radica en la aplicación de un sistema de llenado convencional adaptado a envases galoneros, con el objetivo de prevenir la pérdida de agua debido a descuidos comunes en procesos manuales de llenado.

La ejecución de este prototipo se realiza mediante la utilización de una banda transportadora que inicia su movimiento al recibir la orden a través del botón de marcha. Cuando la botella alcanza una posición predeterminada, lo cual dicha información se obtiene mediante un sensor capacitivo, este procede, mediante parámetros establecidos en la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), activar la bomba y conforme a la cantidad predefinida llenar el envase, o en su lugar, la cantidad exacta para llenar un galón. Es esencial resaltar que el sistema mecatrónico está dotado de un sensor de nivel en el recipiente principal, lo que posibilita la detención del sistema en ausencia de detección de agua. Además, se ha integrado un avisador acústico (buzzer) conectado al paro de emergencia, alertando sobre posibles riesgos durante el desarrollo del proceso.

Palabras claves: Implementación, PLC, Sistema Mecatrónico, Control de flujo, llenado de envases, HMI, Variador de frecuencia.

ABSTRACT

The main purpose of this project is the introduction of a mechatronic module designed for filling gallon containers, specifically intended for small ventures involved in the marketing of bottled water. The innovation lies in the application of a conventional filling system adapted for gallon containers, aiming to prevent water loss due to common oversights in manual filling processes.

The execution of this prototype is carried out through the use of a conveyor belt that initiates its movement upon receiving the command through the start button. When the bottle reaches a predetermined position, information obtained through a capacitive sensor, it proceeds, through parameters set in the Human-Machine Interface (HMI), to activate the pump and fill the container according to the predefined quantity, or alternatively, the exact amount to fill a gallon. It is essential to highlight that the mechatronic system is equipped with a level sensor in the main container, allowing the system to halt in the absence of water detection. Additionally, an acoustic alarm (buzzer) connected to the emergency stop has been integrated, alerting of potential risks during the process.

Keywords: Implementation, PLC , Mechatronic System, Flow Control, Container Filling, HMI, Variable Frequency Drive

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	14
II.	PROBLEMA	15
III.	JUSTIFICACIÓN	17
IV.	OBJETIVOS	19
IV-A.	Objetivo general	19
IV-B.	Objetivos específicos	19
V.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	20
V-A.	Manufactura por línea de producción	20
V-B.	Implementación de industrias 4.0	20
V-C.	Comunicaciones industriales	21
V-D.	Automatización Industrial	21
V-E.	Tipos de sensores	22
V-E1.	Sensor capacitivo NPN	22
V-E2.	Sensor de nivel	22
V-E3.	Sensor de presión diferencial MPX5010DP	23
V-F.	Sistemas y Productos Mecatrónicos	23
V-F1.	Banda Transportadora	24
V-F2.	Relé	24
V-F3.	Electroválvula	24
V-F4.	Bomba Trifásica	25
V-F5.	Variador de frecuencia CHINT NVF3M Series Inverter	25
V-G.	Controlador Logico Programable	26
V-G1.	PLC SIMATIC S7-1200	26
V-G2.	HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	26
VI.	MARCO METODOLÓGICO	27
VI-A.	Diseño y fabricación de la estructura metálica	27
VI-B.	Dimensionamiento estructural	29
VI-B1.	Dimensionamiento y selección de perfiles de ángulos	29
VI-B2.	Cálculo y diseño de los elementos de soporte para la mesa	34
VI-B3.	Simulaciones de la estructura	36
VI-C.	Diseño e implementación del circuito eléctrico	38
VI-D.	Diseño e implementación del sistema de conexiones de los componentes al PLC S7-1200	39
VI-D1.	Conexión de entradas digitales	40
VI-D2.	Conexión de Salidas tipo Relé	40
VI-D3.	Conexión y calibración de la entrada analógica proporcionada por el sensor de presión MPX5050DP	41
VI-E.	Programación en lenguaje ladder direccionado al PLC S7-1200	46
VI-F.	Desarrollo y programación de HMI direccionado al PLC S7-1200	59
VI-F1.	Configuración de los estados encendido y apagado de los actuadores involucrados en el proceso dentro de la interfaz	60
VI-F2.	Asignación de la variable Real proporcionada en mililitros	63
VI-G.	Colocación y configuración de los componentes involucrados en el proceso de llenado	66

VII. RESULTADOS	71
VII-A. Validación del desarrollo del modo normal	73
VII-B. Validación del desarrollo del modo set	76
VIII. CRONOGRAMA	78
IX. PRESUPUESTO	79
X. CONCLUSIONES	80
XI. RECOMENDACIONES	80
Apéndice A: Planos	85
Apéndice B: Construcción del módulo	92

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Sensor Capacitivo NPN, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	22
2.	Sensor de nivel, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	23
3.	Sensor de nivel, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	23
4.	Banda Transportadora, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	24
5.	Relé 250vAC-30vDC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	24
6.	Electroválvula 120vAC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	25
7.	Bomba Trifásica acoplada, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	25
8.	Variador de frecuencia CHINT NVF3M-1.5, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	26
9.	PLC SIMATIC S7-1200 1212C AC/DC/RLY, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	26
10.	Plano de ejes X,Y,Z para bocetos de piezas, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	27
11.	Diseño en 3D de la banda transportadora adquirida, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	28
12.	Fase temprana de diseño de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	28
13.	Fase temprana de diseño de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	29
14.	Fase temprana del diseño de la caja de distribución, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	29
15.	Catálogo de Perfiles angulares DIPAC [5].	30
16.	Perfil angular, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	30
17.	Diagrama de cuerpo libre del perfil angular, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	31
18.	Diagrama, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	32
19.	Diagrama de esfuerzo cortante, por A. Valarezo y R. Izquierdo	32
20.	Diagrama de momento flector, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	33
21.	Catálogo tubo estructural cuadrado DIPAC [6].	35
22.	Material seleccionado para la simulación, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	36
23.	Primera tensión de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	37
24.	Tercera tensión de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	37
25.	Resultados de desplazamiento de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	38
26.	Factor de seguridad de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	38
27.	Diagrama Eléctrico de 120v AC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	39
28.	Diagrama Eléctrico de 220v AC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	39
29.	Diagrama de Conexiones de las entradas digitales dentro del proceso, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	40
30.	Diagrama de Conexiones de las salidas tipo Relé dentro del proceso, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	41
31.	Placa Reductora de voltaje CC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	42
32.	Diagrama de conexiones de entradas analógicas dentro del proceso, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	42
33.	Segmento 1 y 2 de la programación Ladder para el promedio de la señal analogica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	43
34.	Segmento 3 y 4 de la programación Ladder para el promedio de la señal analogica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	44
35.	Segmento 5,6 y 7 de la programación Ladder para el promedio de la señal analogica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	45
36.	Segmento 8 y 9 de la programación Ladder para el promedio de la señal analogica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	46
37.	Activación del uso de memorias de tiempo, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	47
38.	Segmento 1 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	48
39.	Segmento 2 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	48
40.	Tabla de lógica de arranque del variador de frecuencia CHINT [7].	49
41.	Segmento 3 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	49
42.	Salida versus Presion diferencial del sensor de presión MPX5050DP [1].	50
43.	Pinout Sensor MPX5050DP [1].	50
44.	Diagrama del sensor de presión sobre el nivel de tanque [2].	51
45.	Segmento 4 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	52

46.	Segmento 4.1 SCL FIJO.JPG, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	53
47.	Segmento 4.2 SCL Variable.JPG, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	53
48.	Comparativa establecida para ambos modos, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	54
49.	Segmento 5 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	55
50.	Segmento 6 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	55
51.	Segmento 7 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	56
52.	Segmento 8.1 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	56
53.	Segmento 8.2 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	57
54.	Segmento 9 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	57
55.	Segmento 10 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	58
56.	Segmento 11 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	58
57.	Segmento 12 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	58
58.	Segmento 13 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	59
59.	Configuración de pulsadores simulados dentro del HMI, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	59
60.	Configuración del estado encendido de la bomba, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	60
61.	Configuración del estado apagado de la bomba, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	60
62.	Configuración del estado encendido de la Electrovalvula, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	61
63.	Configuración del estado apagado del sensor de nivel tipo boya, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	62
64.	Configuración de los estados de la banda transportadora y Sensor Capacitivo, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	63
65.	Asignación de la variable Real en mililitros introducida mediante el HMI, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	64
66.	Asignación de la variable conversora de datos reales de mililitros a litros, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	65
67.	Diseño Final de interfaz hombre-maquina, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	66
68.	Prueba Piloto para verificar el correcto funcionamiento del PLC dentro de la caja de distribución, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	67
69.	Cableado estructural en fase temprana de la distribución, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	68
70.	Colocación de pulsadores Marcha, paro y Boton de emergencia, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	68
71.	Conexión de variador de frecuencia 220v a la bomba trifásica para pruebas independientes, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	69
72.	Panel del inversor [15].	70
73.	Configuración de arranque directo desde el panel del inversor [15].	70
74.	Configuración de arranque directo desde el PLC [15].	71
75.	Soporte de la estructura metálica acoplada a la caja de distribución.	71
76.	Verificación de HMI, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	72
77.	Colocación de regla dentro del reservorio para la medición del nivel en centímetros, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	73
78.	Valores en tiempo real de las operaciones para el nivel, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	73
79.	Parametrización del variador de frecuencia, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	74
80.	Prueba piloto del modo normal en reservorio externo, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	74
81.	Llenado de envase galonero, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	75
82.	Comparativa para activación de modo galón completado, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	75
83.	Llenado erroneo en el modo normal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	76
84.	Introducción de parametros en el modo set, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	76
85.	Comparativa para activación de modo set completado, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	77
86.	llenado de galón a 2 litros establecidos, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	77
87.	Cronograma de actividades, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	78
88.	Error de prueba en el variador de frecuencia por tiempo de aceleración corto, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	81

89.	Error de prueba en el variador de frecuencia por mala conexión de las líneas, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	81
90.	Prueba Piloto del variador de frecuencia junto al motor trifásico, por A. Valarezo y R. Izquierdo. . .	82
91.	Em, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	85
92.	Lámina acotada de la mesa de soporte, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	86
93.	Lámina acotada del soporte angular, por A. Valarezo y R. Izquierdo, Autodesk Inventor	87
94.	Lámina acotada de la jaula de banda transportadora, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	88
95.	Lámina acotada del tablón primario, A. Valarezo y R. Izquierdo.	89
96.	Lámina acotada del soporte del servomotor, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	90
97.	Lámina acotada del tablón de la jaula, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	91
98.	Soporte de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	92
99.	Montaje de banda transportadora junto con la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo. .	93
100.	Incorporación de la jaula para el soporte de la banda transportadora, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	94
101.	Caja de distribución acoplado al soporte mecánico, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	95
102.	Incorporación de las ruedas, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	96
103.	Instalación de bomba Trifásica al soporte de madera de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	97
104.	Colocación de tuberías para el traslado de agua desde el reservorio principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.	98

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como objetivo la creación de un módulo mecatrónico especializado en el llenado de envases, específicamente diseñado para envases galoneros. Este módulo ofrece la capacidad única de llenar el envase de manera arbitraria, permitiendo al usuario establecer la medida deseada a través de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), o, alternativamente, seleccionar la opción de llenar exactamente un galón.

Para el funcionamiento del módulo, se emplearán diversos actuadores, como un motor monofásico para la banda transportadora, una bomba y electroválvulas. Estos trabajan en conjunto con sensores capacitivos, de nivel y de flujo, los cuales emiten las señales necesarias para garantizar que el proceso se desarrolle de manera precisa y eficiente.

Además de la implementación de estos actuadores y sensores, el módulo incluye un recipiente principal desde el cual la bomba succiona el agua para su posterior traslado a los envases galoneros. Este diseño integral busca proporcionar un sistema completo y funcional para el llenado automatizado de envases, ofreciendo versatilidad y eficacia en su operación.

El control del flujo se logra mediante un sensor de presión instalado en el reservorio principal, cuya aplicación consiste en describir en tiempo real cuántos litros hay dentro y, mediante una resta equivalente a un galón, reflejarlo en el envase galonero. La presión del agua se regula mediante un variador de frecuencia conectado directamente a la bomba trifásica. Esto posibilita la modulación de la velocidad del proceso según las preferencias del usuario.

II. PROBLEMA

La calidad del agua puede variar significativamente en diferentes partes del mundo debido a factores como la contaminación, la infraestructura de tratamiento y las prácticas de gestión del agua. Esto es impulsado por niveles de ingresos crecientes y el crecimiento de la población [20]. La escasez de agua y el deterioro de la calidad se están convirtiendo en preocupaciones importantes en algunas partes del mundo, especialmente en los países en desarrollo [13].

En Ecuador, se observa una dinámica particular en la industria del envasado de agua, donde las grandes empresas dominantes en el sector ejercen un control significativo sobre el mercado. Estas empresas líderes no solo tienen altos volúmenes de producción, sino que también influyen en la limitación de oportunidades para el surgimiento de nuevas microempresas en el mismo campo [8]. Esta tendencia se sustenta en el hecho de que los consumidores tienden a favorecer la compra de agua embotellada proveniente de estas grandes marcas establecidas, atribuyendo una percepción de calidad y confiabilidad a sus productos [21].

De acuerdo con datos estadísticos proporcionados por la Superintendencia de Compañías de Ecuador, se puede evidenciar una marcada diferencia en términos de producción entre las grandes empresas de envasado de agua y las microempresas emergentes [23]. Para investigar a la competencia, es necesario llevar a cabo un estudio minucioso que involucre un análisis detallado de su relevancia y desempeño [11]. Este proceso, conocido como evaluación de importancia y rendimiento, consiste en un enfoque destinado a valorar las tácticas, puntos fuertes, debilidades y proyectos a futuro de los competidores [11]. Las grandes compañías alcanzan volúmenes de producción que superan significativamente a las microempresas en varias veces.

Un aspecto importante que se resalta en este contexto es que muchas de estas microempresas de envasado de agua operan de manera manual en lugar de automatizada. La producción manual conlleva limitaciones en términos de eficiencia, capacidad de respuesta y control de calidad en comparación con los procesos automatizados. Es en este punto donde surge la necesidad de plantear un proyecto que promueva la modernización y automatización de estas microempresas, permitiéndoles competir en igualdad de condiciones con las grandes empresas en el mercado.

En estas microempresas, la tecnología empleada en el proceso de producción varía significativamente según la naturaleza específica del agua que se está envasando. Desde aguas minerales hasta aguas purificadas, cada categoría requiere métodos distintos para garantizar que el producto final cumpla con los estándares de calidad y seguridad exigidos. El consumo de agua de lugares que carecen de las instalaciones de saneamiento apropiadas puede provocar que las enfermedades transmitidas por el agua puedan propagarse con gran rapidez [10]. Los procesos de tratamiento y purificación se adaptan a las características inherentes del agua en cuestión, abordando tanto la eliminación de impurezas como la preservación de los minerales y compuestos beneficiosos presentes de forma natural [17].

Sin embargo, durante el proceso de envasado de agua, tomando en cuenta las microempresas, surgen desafíos que impactan la eficiencia y objetividad de la producción. Por un lado, se presentan tiempos muertos al esperar la limpieza del botellón y al realizar el enjuague en un área distinta de la planta después de aplicar desinfectantes. Además, el proceso de llenado se ve afectado por la operación manual de las válvulas, lo que resulta en una producción que carece de total objetividad [14].

La regulación del agua embotellada es una cuestión globalmente gestionada, con organismos como la Food and Drug Administration (FDA) de Estados Unidos desempeñando un papel significativo como guía para otras agencias reguladoras. En el contexto de Ecuador, la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) desempeña un papel similar en la supervisión y control de la calidad del agua embotellada [16].

Sin embargo, esta regulación y control se relaciona directamente con el problema de desequilibrio en el mercado del envasado de agua. A medida que las grandes empresas ya establecidas ejercen un control significativo sobre

el mercado, las microempresas emergentes se enfrentan a obstáculos para competir en igualdad de condiciones. Esto conduce a una falta de diversidad en el mercado y limita la capacidad de nuevas empresas para ingresar y prosperar. La concentración de poder en manos de unas pocas empresas puede restringir la innovación y la variedad de productos y servicios disponibles, lo que a su vez podría tener un impacto en la calidad y las opciones disponibles para los consumidores. En este sentido, la regulación y la competencia en la industria del envasado de agua están estrechamente relacionadas y tienen implicaciones directas en la oferta y la calidad del producto para los consumidores.

En resumen, el problema identificado en este contexto ecuatoriano está relacionado con la desigualdad en la industria del envasado de agua, donde las grandes empresas ejercen un control significativo sobre el mercado, dificultando la entrada de nuevas microempresas. Esta problemática se traduce en limitaciones de producción, falta de automatización y desafíos en el proceso de envasado que afectan la calidad y la eficiencia. En conclusión, la necesidad de equilibrar la competencia y mejorar los procesos de producción se presenta como una preocupación crucial en el sector del envasado de agua dentro de las microempresas en el Ecuador.

III. JUSTIFICACIÓN

Para superar estas dificultades, la incorporación de tecnologías automatizadas y la colaboración estrecha con entidades reguladoras, como ARCSA, se perfilan como estrategias clave. Estas acciones no solo optimizarían el proceso de envasado, sino que también elevarían la confiabilidad y seguridad del agua embotellada, contribuyendo a la salud pública y la satisfacción del consumidor.

Se ha establecido una estrecha relación entre la calidad del agua y el proceso de envasado que acompaña la producción de agua embotellada. A lo largo de este análisis, se han identificado diversos desafíos y problemáticas que demandan enfoques innovadores en la producción. Para abordar eficazmente estas cuestiones, resulta fundamental adoptar métodos de producción que reduzcan los tiempos muertos en la línea de ensamblaje, preserven la pureza del agua, reduzcan la dependencia de intervenciones manuales mediante válvulas y, al mismo tiempo, incrementen la eficiencia de producción y mitiguen los riesgos para los trabajadores involucrados.

En este contexto, la aplicación de sistemas mecatrónicos se configura como la respuesta fundamental para automatizar el proceso de llenado de envases galoneros. Al incorporar tecnologías avanzadas a lo largo de la cadena de producción, se logrará una optimización integral de la eficacia, precisión y uniformidad del proceso, en estricta conformidad con los estándares de calidad requeridos por la industria. Esto resultará en un producto final confiable y seguro. Este enfoque no solo aborda las demandas actuales de producción, sino que también establece las bases para un porvenir más eficiente y competitivo en el ámbito del agua embotellada.

Para abordar estas problemáticas sobre la falta de automatización en las microempresas, resulta esencial introducir maquinaria automatizada, con lo cual se propone implementar una máquina automatizada que mediante un control de flujo y una simulación HMI, me permita supervisar y realizar el llenado de envases galoneros, el cual se ajuste a las regulaciones establecidas y asegure la integridad del producto al evitar la exposición a la contaminación. Además, se busca agilizar el proceso para minimizar los riesgos laborales a través de la automatización. Mediante esta estrategia se aspira a mejorar la calidad del agua envasada y a cumplir con las normativas establecidas por ARCSA, considerando tanto el aspecto económico relacionado con el costo de producción y la capacidad de manufactura, como la prevención de riesgos laborales a través de la automatización.

Mediante la implementación de un módulo mecatrónico destinado al sistema de llenado de envases galoneros, con un control de flujo precisamente gestionado a través de un PLC y una interfaz de simulación HMI, se abre la puerta a una serie de posibilidades fundamentales para la optimización y eficiencia de procesos industriales. En este contexto, la realización de pruebas exhaustivas del sistema de control de flujo emerge como un elemento esencial. Estas pruebas no solo permiten ajustar y calibrar el sistema para adaptarse a diferentes volúmenes de llenado requeridos, sino que también aseguran la fiabilidad y precisión del proceso en escenarios variables. El módulo en sí se configura como una herramienta dedicada a la realización de pruebas, sirviendo como plataforma de experimentación para evaluar el desarrollo y rendimiento del sistema automatizado en entornos controlados. Al enfocarse en realizar pruebas de llenado, se busca verificar la solidez y consistencia de la implementación, reafirmando el principio de que la automatización apunta a la reducción de la mano de obra, al tiempo que agiliza y optimiza los procesos industriales. En última instancia, este enfoque no solo persigue la mejora de la eficiencia, sino también el aseguramiento de estándares de calidad en la producción, estableciendo así un sólido fundamento para la modernización y competitividad en el ámbito industrial.

En el contexto de este proyecto, se revelan diversas ventajas de gran envergadura. En primer término, se vislumbra una notable reducción en el consumo excesivo de agua, una problemática que a menudo deriva de pérdidas durante el llenado manual de envases. Al introducir la automatización en la fase de llenado previa al sellado, se consigue una gestión temporal mucho más eficaz. Los intervalos anteriormente dedicados a esta tarea pueden ser reasignados a una supervisión minuciosa y precisa. En esta reestructuración se cifra no solamente un rendimiento mejorado del proceso, sino también una considerable disminución en los riesgos laborales al reducir al mínimo la exposición a

operaciones manuales. Un aspecto crucial de esta transformación es la implementación de pruebas rigurosas, las cuales desempeñan un papel fundamental en la adaptación del sistema a diversos volúmenes de llenado necesarios. Al llevar a cabo estas pruebas en entornos controlados, se logra la afinación y calibración requerida para asegurar que el sistema se ajuste de manera óptima a los requisitos específicos. Esta perspicaz estrategia no solo propicia una mayor eficiencia en la administración del agua, sino que también sienta las bases para un proceso más confiable y eficaz en la gestión de envases galoneros.

Además, una consecuencia directa de la automatización es una notoria ampliación en la producción, todo ello sin la necesidad de un incremento proporcional en la mano de obra. La implementación de tecnología de avanzada permite realizar tareas en un tiempo significativamente menor, lo que resulta en un aumento en la capacidad de producción. Esta mejora se traduce en un impacto positivo tanto en la eficiencia general como en la reducción de costos.

En conclusión, el objetivo de implantar un módulo mecatrónico para el sistema de llenado de envases galoneros, con control de flujo a través de un PLC y simulación HMI, aborda directamente los desafíos detectados en la etapa de embotellado de agua en microempresas. Esta solución tecnológica integrada, que se propone, tiene el potencial de potenciar la eficiencia, uniformidad y calidad de la producción, al mismo tiempo que reduce los riesgos laborales y asegura la adhesión a las regulaciones. La automatización se alza como un pilar esencial para el mejoramiento de la industria de agua embotellada, garantizando la salud pública y la satisfacción del consumidor.

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Implementar un módulo mecatrónico de un sistema de llenado de envases galoneros con control de flujo mediante plc y simulación HMI.

IV-B. Objetivos específicos

- Diseñar el sistema mecánico de la máquina llenadora automatizada de envases galoneros..
- Fabricar la máquina llenadora automatizada de envases galoneros considerando el sistema mecánico propuesto.
- Validar la viabilidad del control de flujo al ingresar un valor predeterminado en mililitros a través de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), junto con la alternativa predeterminada de llenar completamente el envase galonero sin necesidad de especificar un valor de ajuste.

V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

V-A. *Manufactura por línea de producción*

La línea de producción se concibe como una representación de sistemas mecánicos avanzados, donde se integran de manera armoniosa el sistema de transporte, los componentes asociados, las máquinas especializadas en la línea y los dispositivos de verificación para cumplir con las demandas de transporte de diversos productos [25].

Los transportadores son componentes esenciales en el sistema de manejo de materiales, diseñados para disminuir o eliminar la necesidad de manipulación manual de los objetos. Con el progreso de la tecnología, han surgido variados métodos de operación y mecanismos para los transportadores. En general, los transportadores emplean un motor eléctrico para propulsar un eje que consta de un tambor, y este tambor, a su vez, hace que se mueva una banda unida a él a través de fricción. Además, existen transportadores que emplean un tambor móvil, el cual crea un bucle que puede desplazarse de una ubicación a otra para llevar objetos o materiales [4].

V-B. *Implementación de industrias 4.0*

La Industria 4.0 se refiere a la digitalización de los sistemas y procedimientos industriales, junto con su conectividad por medio del Internet de las Cosas y el Internet de los Servicios, con el propósito de lograr una mayor adaptabilidad y personalización en los procesos de producción. Esta era se compone de tecnologías avanzadas, lo cual conduce a soluciones que son flexibles, inteligentes y completamente autónomas. También puede ser concebida como una nueva concepción de la fábrica del futuro o fábrica inteligente. Esto implica la transformación digital de la industria y las empresas mediante la incorporación de las disruptivas tecnologías emergentes [12].

La Industria 4.0 se caracteriza por la integración de tecnologías digitales, la inteligencia artificial, la automatización avanzada y la analítica de datos en todos los aspectos de la industria. Este paradigma impulsa la creación de fábricas inteligentes, donde los sistemas ciberfísicos cooperan y se comunican entre sí y con los humanos en la supervisión en tiempo real. La automatización flexible, la producción bajo demanda y la personalización masiva son solo algunos de los resultados de esta revolución industrial. Sin embargo, la verdadera magnitud de la Industria 4.0 se desvela cuando se combina con el Internet de las Cosas.

El término Internet de las Cosas, abreviado como IoT, hace referencia a una red mundial de dispositivos que están conectados entre sí y tienen la capacidad de comunicarse y compartir información de manera automática. Estos dispositivos están equipados con sensores y actuadores, pueden ser elementos tan diversos como sensores en maquinaria industrial, vehículos autónomos, electrodomésticos inteligentes o incluso prendas de vestir conectadas. El IoT proporciona la base necesaria para la recopilación y el intercambio masivo de datos en tiempo real, permitiendo a las empresas tomar decisiones informadas y anticipar problemas.

La conjunción de la Industria 4.0 con el IoT crea un ecosistema poderoso y sinérgico, también llamado “Tecnología Convergentes”. La información en tiempo real proveniente de sensores y dispositivos IoT puede ser aprovechada por sistemas de análisis avanzados para optimizar la producción, prever mantenimientos y mejorar la toma de decisiones. La automatización inteligente permite una respuesta instantánea ante cambios en la demanda o condiciones de producción. Las fábricas, los procesos y los productos se vuelven conectados y adaptables, lo que resulta en una producción más ágil y eficiente.

Por otra parte, las “tecnologías convergentes” son aquellas que pueden colaborar con otras tecnologías, generando sinergias que dan lugar a nuevas tecnologías capaces de remodelar los modelos preexistentes. Por otro lado, las “tecnologías habilitadoras” hacen referencia a aquellas que tienen el potencial de promover o posibilitar la evolución y transformación en diferentes contextos [12]

V-C. Comunicaciones industriales

Las comunicaciones industriales se refieren al campo tecnológico que se dedica al estudio de la comunicación de datos entre los componentes electrónicos empleados en el control y supervisión de todas las etapas del desarrollo de productos industriales. En la década de 1980, la tecnología de comunicaciones en el ámbito industrial adoptó inicialmente el enfoque de comunicación digital punto a punto, pero con el tiempo evolucionaron hacia la implementación de redes multipunto. La revolución en las comunicaciones industriales ha demostrado un enorme potencial en la mejora de los sistemas de control de procesos, y su aplicación ha contribuido significativamente a la optimización de los servicios al permitir funciones como el control de maquinaria y la supervisión de las líneas de producción [9].

Por otro lado, el concepto de "Bus de campo", se refiere a un conjunto de protocolos de redes industriales que se emplean para un procedimiento en tiempo real de sistemas de control distribuido. Estos protocolos están estandarizados bajo el código IEC 61158. En la operación de sistemas industriales complejos y automatizados, como las líneas de ensamblaje, es comúnmente necesario contar con un sistema de control distribuido que organice jerárquicamente los controladores para su funcionamiento eficaz. La cúspide de esta jerarquía es ocupada por una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), a través de esta, el operador tiene la capacidad de supervisar y operar el sistema en cuestión. Esta HMI se encuentra conectada, por lo general, a una capa intermedia dentro de la jerarquía, conformada por Controladores Lógicos Programables (PLC), se establece un sistema de comunicación que no opera en un tiempo crítico, como es el caso de Ethernet. El nivel más bajo de esta cadena de control está constituido por el bus de campo, el cual establece la conexión entre los PLCs y los elementos que llevan a cabo tareas específicas, como sensores, actuadores, motores eléctricos, indicadores luminosos, interruptores, válvulas y relés. La función primordial de un bus de campo es reemplazar las conexiones individuales punto a punto que solían emplearse entre los elementos de campo y los equipos de control, como el tradicional lazo de corriente de 4-20 mA [19].

Dentro de las comunicaciones industriales, se define una red industrial como una serie de estaciones o dispositivos conectados entre sí, con el propósito de compartir información de manera más accesible en uno, varios o todos los componentes de la red. En este contexto, las redes industriales consisten en una serie de nodos compuestos por equipos de control, los cuales abarcan elementos como PC industriales, controladores, sistemas de control distribuido, transductores, actuadores, módulos inteligentes, interfaces de operador y otras herramientas [19].

Las redes industriales tienen como objetivo principal facilitar la comunicación entre autómatas programables o PLCs en diversas topologías como bus, estrella, árbol o anillo. Esta diversidad de configuraciones ofrece una amplia gama de opciones y protocolos, incluyendo opciones como Controlnet, Profibus DP, Data Highway + e Industrial Ethernet, entre otros. Sin embargo, es fundamental considerar que, con el avance constante de la tecnología y la rápida adopción de las tecnologías de la información en el ámbito industrial, especialmente en el contexto de la Industria 4.0, los buses que se basan en sistemas de comunicación serial y protocolos como RS485 están siendo gradualmente reemplazados por las redes que se sustentan en el industrial Ethernet [24].

La tendencia hacia el industrial Ethernet se debe a su capacidad para ofrecer mayores velocidades de comunicación, una mayor capacidad de transmisión de datos y la habilidad para manejar una gran cantidad de dispositivos conectados simultáneamente. La Industrial Ethernet ha demostrado ser más apta para responder a las necesidades de la automatización avanzada y la recopilación de datos en tiempo real, lo que es esencial para la implementación exitosa de la Industria 4.0. La robustez, flexibilidad y confiabilidad que ofrece el industrial Ethernet lo convierten en una opción atractiva para empresas que buscan optimizar sus operaciones y prepararse para los desafíos de la transformación digital en la industria.

V-D. Automatización Industrial

Un Sistema Automatizado puede clasificarse en dos partes claramente diferenciadas: por un lado lo que denominaremos Parte Operativa, formada por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, diseñados para la realización de determinadas funciones de fabricación. Por otro lado se tiene la Parte de Control o Mando, que,

independientemente de su implementación tecnológica electrónica, neumática, hidráulica etc., es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener a la parte operativa bajo control[18].

La automatización de un proceso industrial, (máquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento[18].

V-E. Tipos de sensores

El módulo mecatrónico cuenta con varios sensores incorporados, los cuales se describen a continuación en el contexto de este proyecto.

V-E1. *Sensor capacitivo NPN*: En el contexto del presente módulo mecatrónico, un sensor capacitivo, siendo un dispositivo electrónico que detecta cambios en la capacitancia eléctrica para identificar la presencia o variaciones en la proximidad de objetos, cumple la función de detectar la presencia de los envases galoneros cuando se encuentran ubicados debajo de la tubería que expulsa el líquido para luego proceder al llenado de agua del envase.



Figura 1. Sensor Capacitivo NPN, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-E2. *Sensor de nivel*: Es un dispositivo electrónico diseñado para medir la altura de líquido en un tanque u otro recipiente. Hay dos tipos: los de punto, que señalan niveles específicos como alarmas de sobrellenado o bajo nivel, y los continuos, más avanzados, que monitorean todo un sistema, proporcionando una salida analógica que refleja directamente el nivel en el recipiente.



Figura 2. Sensor de nivel, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-E3. Sensor de presión diferencial MPX5010DP: El sensor de presión MPX5010DP es un componente crucial dentro del proyecto, ya que desempeña un papel fundamental como medidor de nivel en centímetros/litros, lo que permite garantizar un llenado eficiente del envase galonero. Este sensor se caracteriza por ser un transductor piezorresistivo de silicio integrado de doble puerto, contenido en un encapsulado SIP de 6 pines. Entre las especificaciones más relevantes del MPX5010DP se encuentra su capacidad para medir presiones en un rango que va desde 0 kPa hasta 10 kPa. Para su correcto funcionamiento, requiere una tensión de alimentación que oscile entre 4.75 VDC y 5.25 VDC. Es importante destacar que esta tensión de alimentación se obtiene mediante una placa reductora de voltaje, la cual convierte los 24V proporcionados por la fuente de alimentación del PLC a los 5V necesarios para el sensor. Dentro de su rango de medición, es crucial considerar el margen de error del sensor, el cual debe ser calculado en función de la aplicación específica. En este caso, dado que se utilizará como medidor de nivel, es fundamental determinar con precisión el margen de error para garantizar mediciones exactas y un llenado preciso del envase galonero.



Figura 3. Sensor de nivel, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-F. Sistemas y Productos Mecatrónicos

Un sistema mecatrónico típico consta de un esqueleto mecánico, actuadores, sensores, controladores, dispositivos de acondicionamiento/modificación de señales, hardware y software de computadora/digital, dispositivos de

interfaz y fuentes de alimentación. Diferentes tipos de percepción, adquisición de información y transferencia están involucrados entre todos estos diversos tipos de componentes. Por ejemplo, un servomotor, que es un motor con la capacidad de retroalimentación sensorial para la generación precisa de movimientos complejos, consta de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos[22].

V-F1. Banda Transportadora: Una banda transportadora es un dispositivo mecánico diseñado para el desplazamiento continuo y eficiente de materiales a lo largo de una trayectoria específica. Este sistema consta de una cinta flexible que se mueve de manera continua, impulsada por elementos motorizados, con el propósito de facilitar el transporte de diversos objetos o materiales en procesos industriales, logísticos o de producción. Su diseño y configuración permiten optimizar la eficiencia y la automatización en la manipulación de cargas, contribuyendo así al mejoramiento de los procesos en los cuales se integra.



Figura 4. Banda Transportadora, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-F2. Relé: Un relé es un interruptor electromagnético que opera mediante la aplicación de una corriente eléctrica. Consiste en una bobina y un conjunto de contactos, donde la bobina, cuando se energiza, genera un campo magnético que atrae o libera los contactos para abrir o cerrar un circuito eléctrico. Los contactos empleados en el relé dentro del módulo mecatrónico desempeñan la función de establecer la conexión necesaria para energizar tanto la banda transportadora como la bomba trifásica.



Figura 5. Relé 250vAC-30vDC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-F3. Electroválvula: Las electroválvulas, o válvulas electromagnéticas, son elementos híbridos que realizan funciones de válvulas distribuidoras neumáticas mediante una señal eléctrica externa. La parte central es un electroimán que controla directamente el distribuidor. En el caso de electroválvulas de mando indirecto, la bobina activa el núcleo para permitir el flujo de aire al elemento neumático. Al cesar la tensión, el resorte devuelve el núcleo a su posición inicial, purgando los émbolos.



Figura 6. Electroválvula 120vAC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-F4. Bomba Trifásica: Una bomba trifásica es un dispositivo electromecánico diseñado para la transferencia eficiente de fluidos, dentro de este modulo mecatrónico la función que cumple es la de transportar el agua del recipiente principal hacia los envases galoneros. La integración de tres fases en la alimentación eléctrica permite un funcionamiento más equilibrado y eficiente de la bomba, mejorando su rendimiento en términos de potencia y capacidad de bombeo. Estas bombas son ampliamente empleadas en diversas aplicaciones industriales, agrícolas y de abastecimiento de agua, contribuyendo significativamente a la optimización de procesos que involucran el transporte de líquidos.

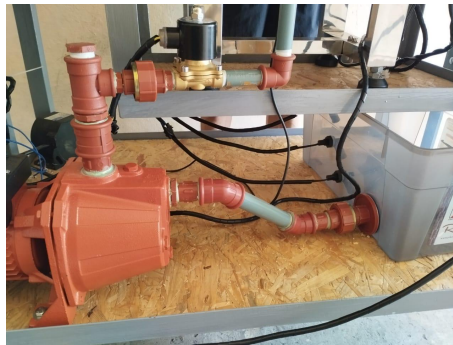


Figura 7. Bomba Trifásica acoplada, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-F5. Variador de frecuencia CHINT NVF3M Series Inverter: Un variador de frecuencia, también llamado inversor de frecuencia o drive de velocidad variable, es un dispositivo electrónico utilizado en sistemas de control de motores eléctricos para ajustar la velocidad y el par mediante la variación de la frecuencia y tensión suministradas al motor. Convierte la energía eléctrica de corriente alterna (CA) en corriente continua (CC) y genera una corriente alterna variable en frecuencia y voltaje que alimenta el motor. En este módulo mecatrónico, se emplea el variador de frecuencia para controlar la velocidad de la bomba trifásica, ajustando el flujo en el sistema de tuberías según los parámetros deseados por el usuario, permitiendo así procesos rápidos o lentos según la configuración seleccionada.



Figura 8. Variador de frecuencia CHINT NVF3M-1.5, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-G. Controlador Logico Programable

Un controlador lógico programable (PLC) es una forma especial de controlador basado en procesador que usa una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones tales como: lógica, secuenciamiento, temporizaciones, conteo y aritmética; con el objetivo de controlar máquinas y procesos, son diseñados para operar por ingenieros con un conocimiento limitado de computadores y lenguajes de computación [3]. En el marco de este proyecto, su función principal es llevar a cabo los parámetros establecidos y ejecutar las órdenes asignadas conforme a las directrices definidas.

V-G1. PLC SIMATIC S7-1200: Este controlador se compone de entradas y salidas digitales, estas ultimas pueden ser salidas de relé tanto en corriente alterna como en corriente directa. Dependiendo del modelo contará adicionalmente con entradas o salidas analogicas.



Figura 9. PLC SIMATIC S7-1200 1212C AC/DC/RLY, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

V-G2. HMI (Interfaz Hombre-Máquina): HMI, o Interfaz Hombre-Máquina por sus siglas en inglés (Human-Machine Interface), se refiere a un sistema que permite la interacción entre usuarios y máquinas. La aplicación de esta interfaz dentro del presente módulo mecatrónico es facilitar la comunicación y control de dispositivos mediante representaciones gráficas intuitivas y elementos de control visual.

VI. MARCO METODOLÓGICO

En primera estancia se procede a una revisión de la literatura, esto se lleva a cabo mediante una minuciosa investigación de documentos científicos y fuentes pertinentes en bases de datos como Scopus, Science Direct y Google Scholar, con el propósito de adquirir conocimientos sobre la aplicación de sistemas mecatrónicos en la automatización de procedimientos de llenado dentro del ámbito industrial. Se procede a examinar distintas investigaciones y avances tecnológicos vinculados con la instauración de transportadores de banda, sistemas de control basados en PLC, Controladores de flujo e implementación de HMI para supervisiones de procesos industriales.

VI-A. Diseño y fabricación de la estructura metálica

Para la concepción de la estructura metálica, se emplea el software de modelado en 3D como plataforma principal. A través de este software, se establecen las dimensiones, el espesor, la altura y otros elementos cruciales de la estructura metálica. Simultáneamente, se inicia el esbozo de la pieza en la sección 2D, y mediante las diversas vistas disponibles, se procede a modular las distintas caras de la pieza. Este proceso integrado permite tanto la conceptualización tridimensional como la modificación detallada de cada componente de la estructura, garantizando un diseño preciso y ajustado a los requisitos establecidos.

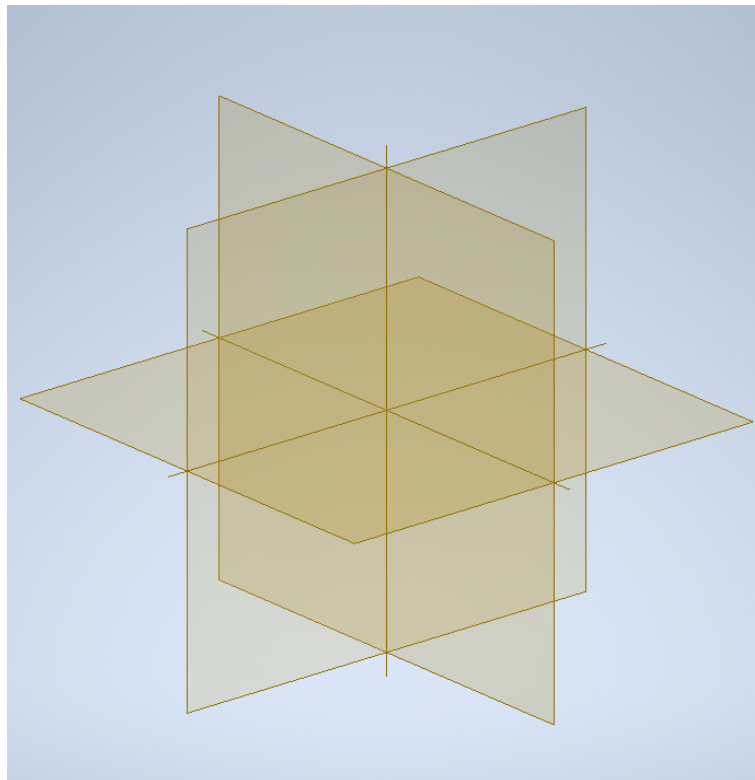


Figura 10. Plano de ejes X,Y,Z para bocetos de piezas, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

La idea fundamental detrás del diseño de la estructura metálica se origina desde la banda transportadora, puesto que se utiliza las medidas de la misma para realizar los primeros bocetos. La idea principal es comenzar desde este punto, integrando las distintas piezas necesarias en la estructura. A partir de este punto, se elaboran los primeros esbozos de todas las piezas involucradas, que nos permiten visualizar cómo podríamos incorporar elementos como una bomba, una caja de alimentación, un recipiente principal y sensores. Estos componentes son esenciales para llevar a cabo la automatización de todo el sistema.

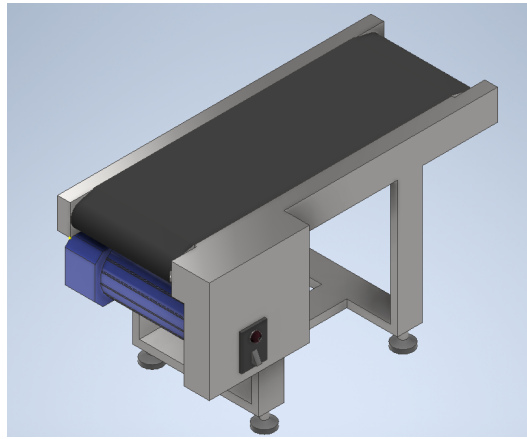


Figura 11. Diseño en 3D de la banda transportadora adquirida, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

El desarrollo de la estructura para la banda transportadora se lleva a cabo mediante un enfoque sistemático que comienza con la obtención precisa de las medidas de la banda. Con el objetivo de crear un marco eficiente y económico, se diseñó una estructura utilizando ángulos de 40x40x3 mm para el marco de la mesa y la jaula de la banda, junto con tubos cuadrados de 40mm x 3mm de espesor de hierro dúctil para asentar el marco de la mesa y jaula. La selección de este material se realizó estratégicamente para aligerar costos sin sacrificar resistencia y durabilidad.

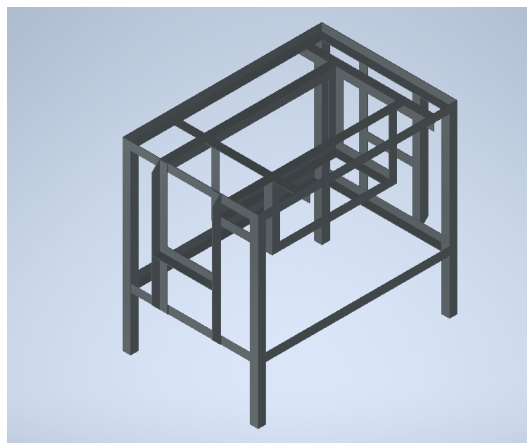


Figura 12. Fase temprana de diseño de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Se considera la disposición de los componentes de control, tales como PLC, disyuntores, borneras y relés, los cuales se utilizan en la caja de distribución. La función principal de esta caja es garantizar el espacio necesario para que los distintos componentes encajen adecuadamente en su compartimento correspondiente.

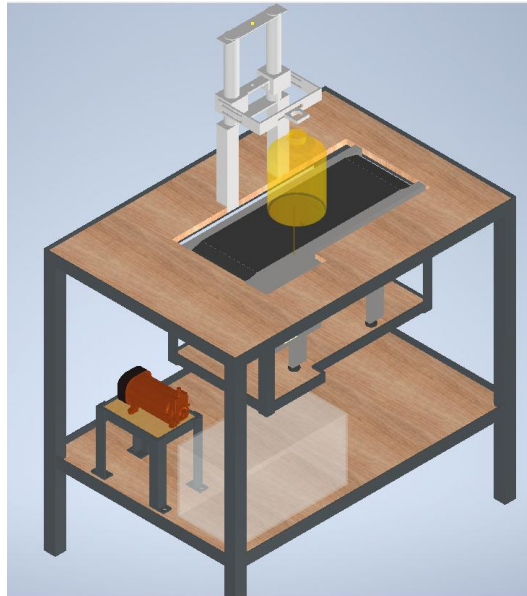


Figura 13. Fase temprana de diseño de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

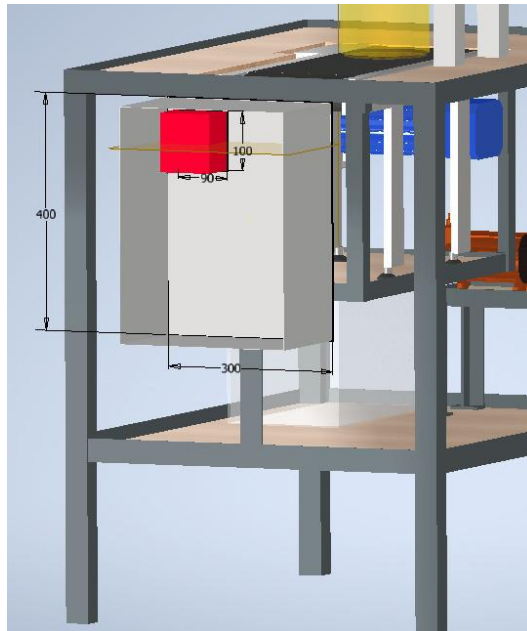


Figura 14. Fase temprana del diseño de la caja de distribución, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-B. Dimensionamiento estructural

VI-B1. Dimensionamiento y selección de perfiles de ángulos: En términos generales, un perfil angular es un elemento estructural con una sección transversal en forma de “L” o “ángulo”. Los perfiles angulares permiten distribuir eficientemente las cargas en ambas direcciones, proporcionando resistencias tanto a fuerzas de compresión como tracción.

Descripción	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo α	Ángulos de alas iguales											
									Eje X - X			Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									lx	Wx	rx	ly	Wy	ry	lu	Wu	ru	lv	Wv	rv
mm	mm	mm	Kg/m	cm ²	cm	cm	(°)	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm				
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,28	2,44	0,84	1,28	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78
L 40x 3	40	40	3	1,75	2,23	1,15	1,15	45,00	3,49	1,22	1,25	3,49	1,22	1,25	5,71	2,02	1,60	1,27	0,90	0,75
L 40x 4	40	40	4	2,28	2,90	1,20	1,20	45,00	4,44	1,59	1,24	4,44	1,59	1,24	7,23	2,59	1,59	1,55	1,10	0,73
L 40x 5	40	40	5	2,77	3,54	1,25	1,25	45,00	5,29	1,92	1,22	5,29	1,92	1,22	8,80	3,11	1,58	1,77	1,25	0,71
L 50x 2	50	50	2	1,51	1,93	1,35	1,35	45,00	4,85	1,33	1,59	4,85	1,33	1,59	7,85	2,22	2,02	1,85	1,05	0,98
L 50x 3	50	50	3	2,22	2,83	1,40	1,40	45,00	7,01	1,95	1,57	7,01	1,95	1,57	11,42	3,23	2,01	2,61	1,47	0,96

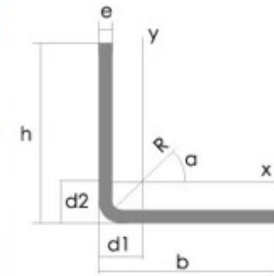


Figura 15. Catálogo de Perfiles angulares DIPAC [5].

Reacciones de apoyo del perfil angular:

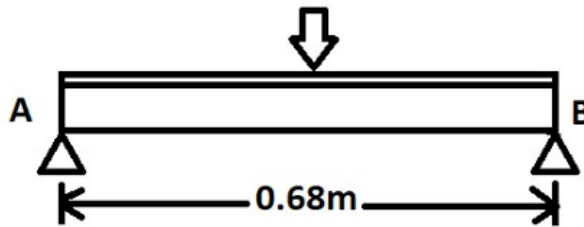


Figura 16. Perfil angular, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En un perfil angular empotrada, el momento flector máximo se calcula según la siguiente ecuación.

$$M_{max} = \frac{F * L}{8} \tag{1}$$

Donde:

- F = Fuerza a la que será sometida la viga de sección [N]
- L = Longitud del perfil tipo L
- Mmax = Momento flector máximo [N x m]

Reemplazo de los valores para las variables

Datos:

- F = 31,194 [Kg]
- L = 0,68 [m]
- n = Número de vigas

Se tiene una carga aplicada de 31,41 [kg], se divide para el número de vigas.

$$\frac{F}{n} = \frac{31,194[kg]}{2} \tag{2}$$

Como resultado se tiene que “F”

$$F = 15,597[kg] * 9,8[m/s^2]$$

$$F = 153,006[N]$$
(3)

Se reemplaza en la ecuación:

$$Mmax = \frac{153,006[N] * 0,68[m]}{8}$$

$$Mmax = 13,005[N]$$
(4)

Se realiza la ecuación de carga puntual.

$$CargaPuntual(T_T) = T * L$$
(5)

$$T_T = 15,597[kg] * 0,68[m]$$

$$T_T = 10,606$$
(6)

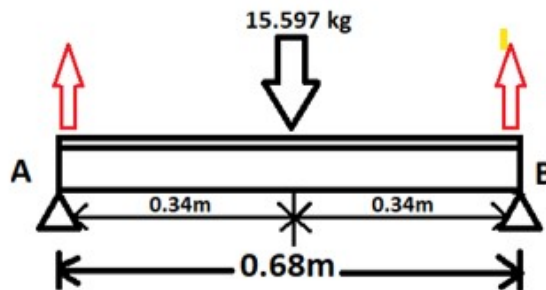


Figura 17. Diagrama de cuerpo libre del perfil angular, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Reacción de A y B

$$\sum Fy \uparrow + = 0$$
(7)

$$RA + RB - 10,606[kg] = 0$$
(8)

$$RA + RB = 10,606[kg]$$
(9)

$$RA = 10,606[kg] - 5,303$$
(10)

$$RA = 5,303[kg]$$
(11)

Momento de A:

$$\sum MA \uparrow = 0$$
(12)

$$-10,606\left(\frac{0,68}{2}\right) + RB(0,68) = 0$$
(13)

$$RB(0,68) = 5,303(0,68)$$
(14)

$$RB = \frac{5,303(0,6 + 8)}{0,68} \quad (15)$$

$$RB = 5,303[kg] \quad (16)$$

Se procederá a la determinación del momento flector y el esfuerzo cortante.

- DFC = Esfuerzo Cortante
- DMF= Momento Flector

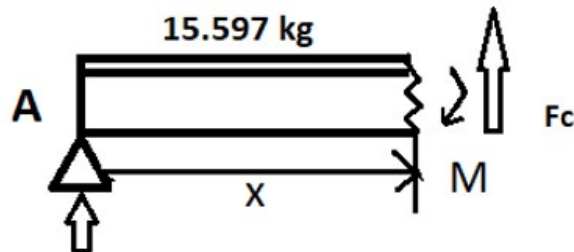


Figura 18. Diagrama, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

$$Fc = (5,303[kg]) - (15,597)(x) \quad (17)$$

Entonces el momento

$$-M - (5,303[kg]) * (x) + (15,597) * (x)\left(\frac{x}{2}\right) = 0 \quad (18)$$

$$MF = (5,303[kg]) * (x) + (7,7985) * (x)^2 \quad (19)$$

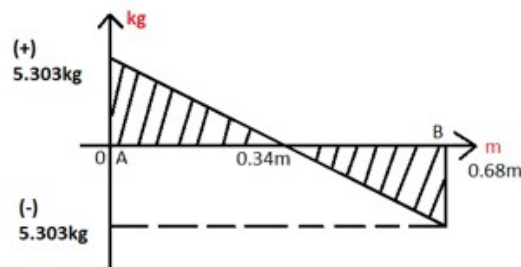


Figura 19. Diagrama de esfuerzo cortante, por A. Valarezo y R. Izquierdo

Cuando $x=0$

$$x = 0 \quad (20)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - (15,597)(x) \quad (21)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - (15,597)(0) \quad (22)$$

$$Fc = 5,303[kg] \quad (23)$$

Cuando $x=0.34$

$$x = 0 \quad (24)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - (15,597)(x) \quad (25)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - (15,597)(0,34[m]) \quad (26)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - 5,303 \quad (27)$$

$$Fc = 0 \quad (28)$$

Cuando $x=0.68$

$$x = 0 \quad (29)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - (15,597)(x) \quad (30)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - (15,597)(0,68[m]) \quad (31)$$

$$Fc = (5,303[kg]) - 10,606 \quad (32)$$

$$Fc_{max} = -5,303[kg] \quad (33)$$

Diagrama momento flector:

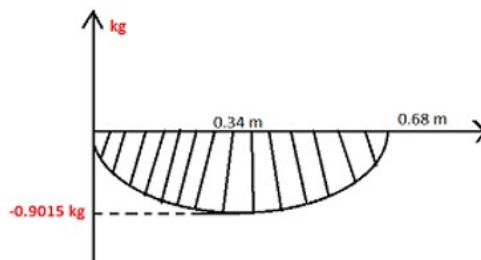


Figura 20. Diagrama de momento flector, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

$$MF = (5,303[kg]) * (x) + (7,7985) * (x)^2 \quad (34)$$

Cunando $x=0$

$$x = 0 \quad (35)$$

$$MF = (5,303[kg]) * (0) + (7,7985) * (0)^2 \quad (36)$$

$$MF = 0 \quad (37)$$

Cuando $x=0,34$

$$x = 0,34 \quad (38)$$

$$MF = (5,303[kg]) * (0,34) + (7,7985) * (0,34)^2 \quad (39)$$

$$MF = -1,8030 + 0,9015 \quad (40)$$

$$MF = -0,9015[kg] \quad (41)$$

Cuando $x=0,34$

$$x = 0,34 \quad (42)$$

$$MF = (5,303[kg]) * (0,68) + (7,7985) * (0,68)^2 \quad (43)$$

$$MF = -3,606 + 3,606 \quad (44)$$

$$MF = 0[kg] \quad (45)$$

Se procede a calcular la carga axial:

$$\sigma_a = \frac{M * C}{I} \quad (46)$$

Donde:

- σ_a = Esfuerzo axial
- M= Momento
- C= Distancia del centroide
- I= Inercia

Datos:

- M=13.005 [N]
- C=0.0125 [m]
- I=3,49X10⁻⁸[m⁴]

Entonces el esfuerzo axial es:

$$\sigma_a = \frac{13,005[N] * 0,0125[m]}{3,49X10^{(-8)}[m^4]} \quad (47)$$

$$\sigma_a = 4657951,289[Pa] \quad (48)$$

$$\sigma_a = 4,6579[MPa] \quad (49)$$

Se procede a calcular el factor de seguridad.

Donde:

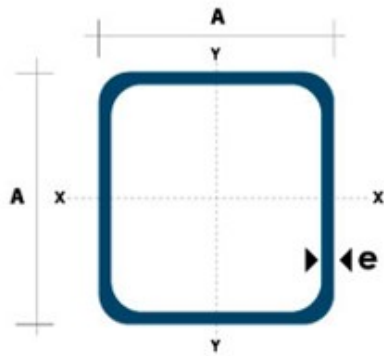
Fluencia del hierro= 170 [MPa]

$$Fs = \frac{\sigma_f}{\sigma_a} \quad (50)$$

$$Fs = \frac{170[MPa]}{4,6759[MPa]} \quad (51)$$

$$Fs = 36,35[ul] \quad (52)$$

VI-B2. Cálculo y diseño de los elementos de soporte para la mesa: En general, las columnas son elementos rectos verticales que se usan principalmente para soportar cargas.



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39

Figura 21. Catálogo tubo estructural cuadrado DIPAC [6].

Se procede a realizar el cálculo de la carga crítica de pandeo de los soportes estructurales en base a los datos obtenidos con la figura 20 con la siguiente ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{(K * L)^2} \quad (53)$$

- E= Modulo de elasticidad
- I= Inercia
- L= longitud
- K= Factor de pandeo

Datos:

- E=120 [GPa]
- I= 1,020X10⁻⁷[m⁴]
- L=0.93 [m]
- K=1

Se reemplaza los datos en la ecuación:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * (120x10^9[N/m^2]) * (1,020x10^{-7}[m^4])}{(1 * 0,93[m])^2} \quad (54)$$

$$P_{cr} = 139673,90[N] \quad (55)$$

$$P_{cr} = 139,6739[kN] \quad (56)$$

Se procede a calcular el esfuerzo admisible conociendo que el tubo estructural cuadrado tiene que soportar una carga de 23.91 kg más el peso del resto de componentes sería 67.69 kg que sostiene la estructura.

- Carga total = $23,91kg + 67,69kg = 91,6[kg] * 9,81[m/s^2] = 898,596[N]$

La carga total se divide para las cuatro secciones que soportaran los componentes de la mesa.

Donde:

- n=Numero de secciones
- P= Carga total

$$\frac{P}{n} = \frac{898,596[N]}{4} = 224,649[N] \quad (57)$$

El factor de seguridad será igual:

$$F_s = \frac{P_{aplicada}}{P_{critica}} \quad (58)$$

$$F_s = \frac{139673,902[N]}{224,649[N]} \quad (59)$$

$$F_s = 621,741 \quad (60)$$

VI-B3. *Simulaciones de la estructura:* A continuación, se observa la figura donde se selecciona el tipo de material en el software CAD para desarrollar el análisis estático de la estructura.

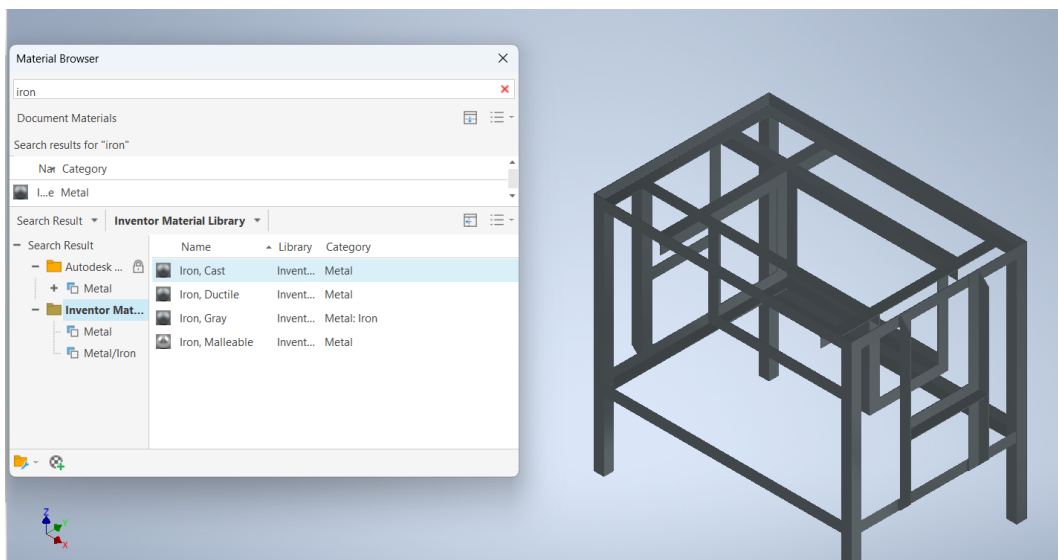


Figura 22. Material seleccionado para la simulación, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En base a los datos de la simulación se puede concluir que la carga ejercida sobre la estructura no provocara deformaciones.

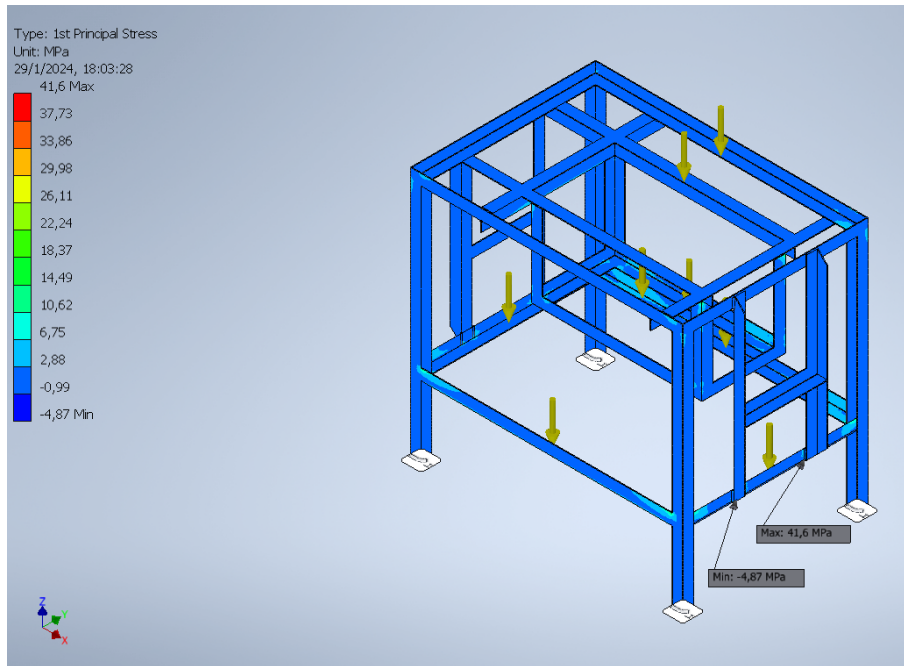


Figura 23. Primera tensión de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En base a los resultados se puede observar que las fuerzas generadas se dispersaran en los 4 soportes logrando que la estructura no subra roturas en el transcurso del tiempo de vida.

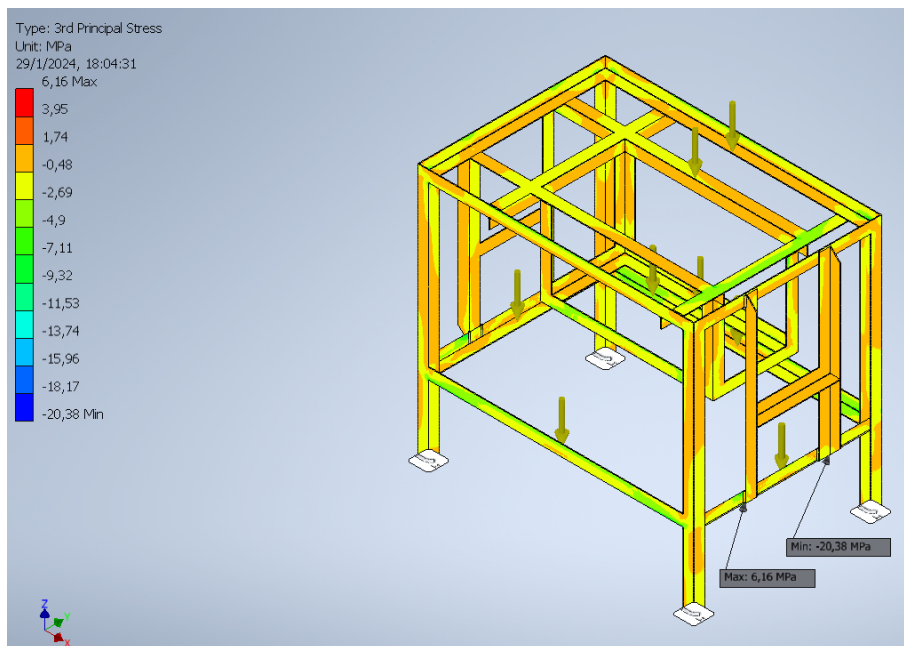


Figura 24. Tercera tensión de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Los desplazamientos obtenidos bajo la simulación podemos interpretar la compresión de la estructura por la carga ejercida, con el tiempo tendra un pequeño desplazamiento.

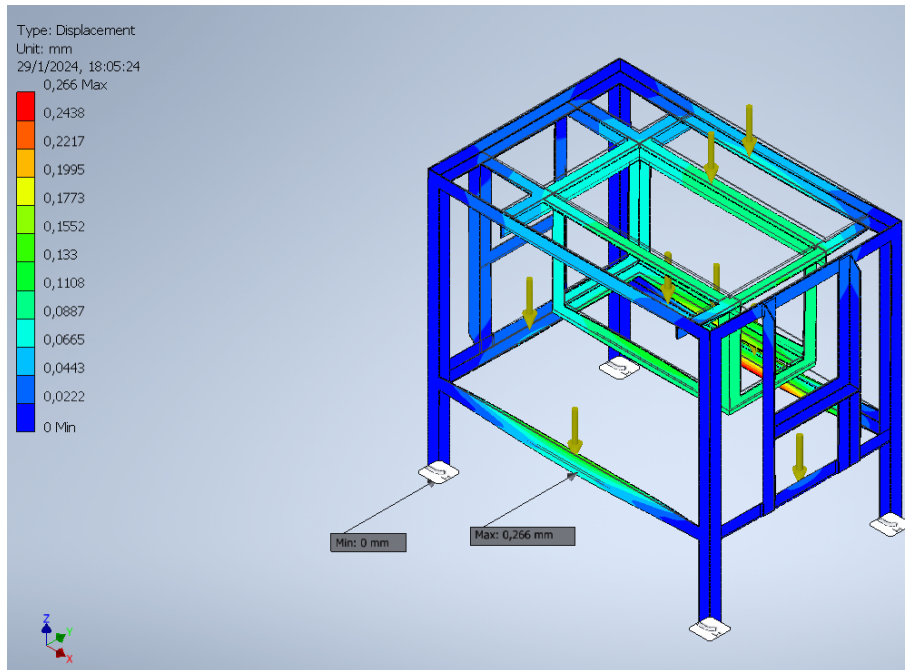


Figura 25. Resultados de desplazamiento de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Factor de seguridad: El análisis deja como resultado que la estructura tiene un valor de 15 [ul]

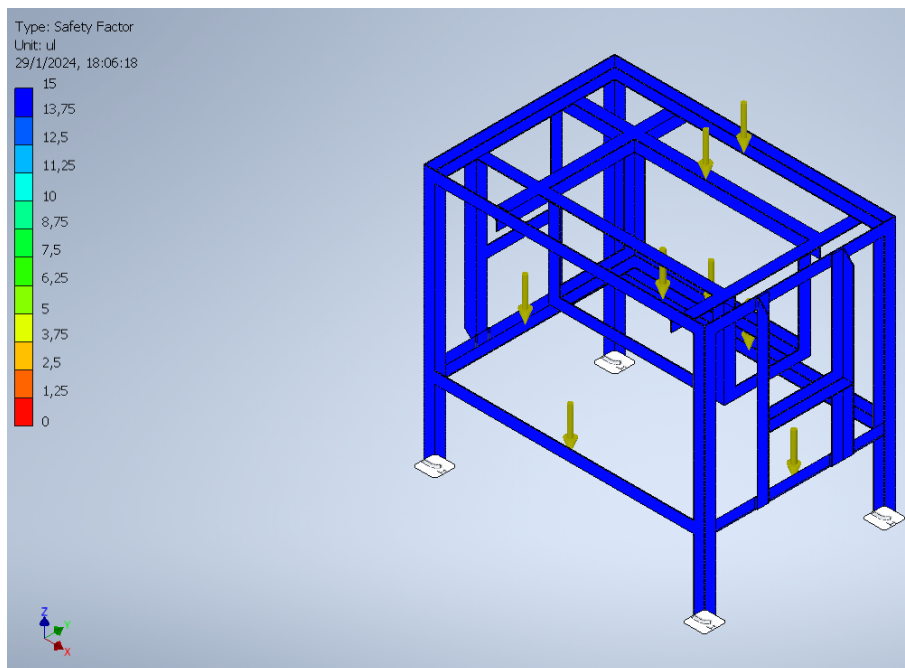


Figura 26. Factor de seguridad de la estructura, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-C. Diseño e implementación del circuito eléctrico

En esta sección, se propone ofrecer una explicación exhaustiva del cableado de los componentes eléctricos y electrónicos asociados a esta automatización. Se anticipa que la alimentación total del circuito dirigido al PLC será

de 120 VAC, previamente protegida por un disyuntor principal.

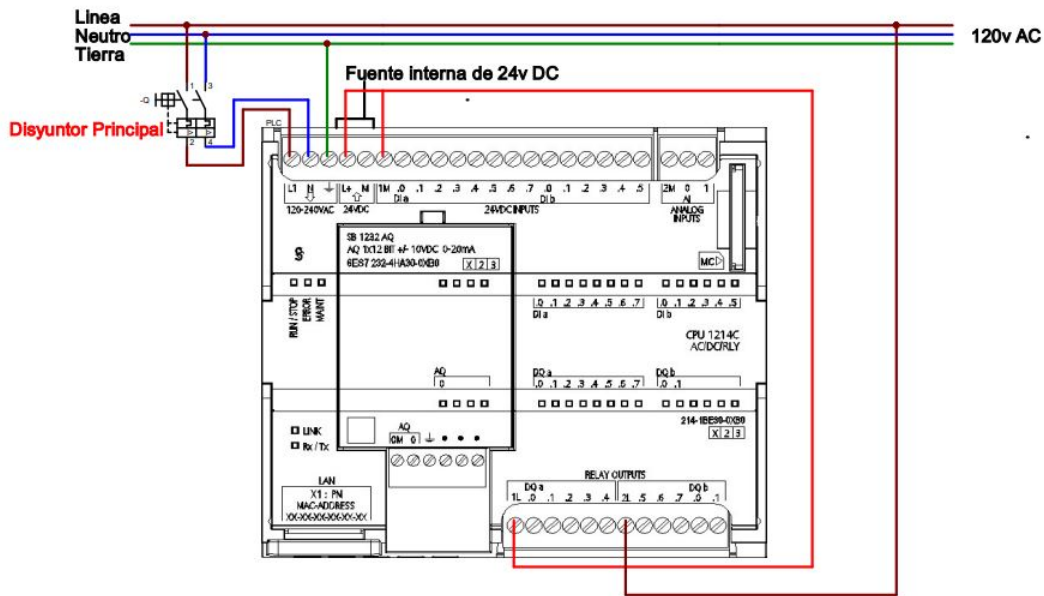


Figura 27. Diagrama Eléctrico de 120v AC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Además, es crucial destacar que la bomba trifásica desempeña un papel fundamental en este sistema automatizado. Esta bomba está conectada a un variador de frecuencia, el cual cumple la función de modular la velocidad de extracción del reservorio principal dirigida al envase galonero. Es importante resaltar que la alimentación principal de este variador de frecuencia es de 220 VAC. Este dispositivo no solo controla la velocidad de la bomba trifásica, sino que también contribuye significativamente a la eficiencia y precisión del proceso de llenado de los envases. La interconexión cuidadosa de estos componentes asegura un rendimiento óptimo y una gestión eficaz de la automatización en su conjunto.

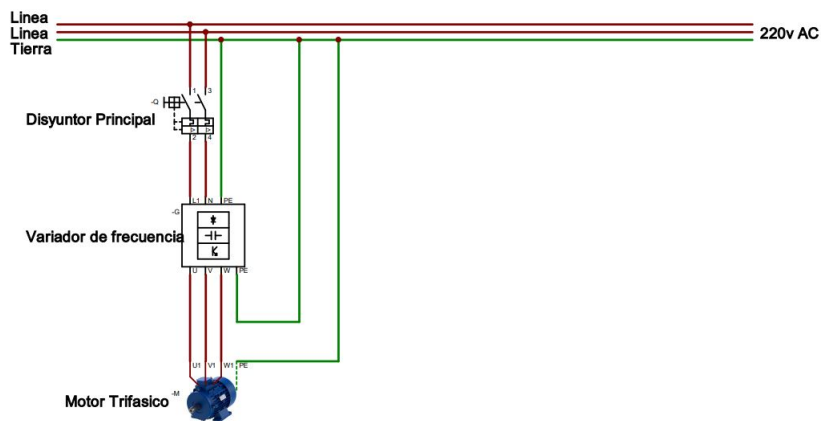


Figura 28. Diagrama Eléctrico de 220v AC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-D. Diseño e implementación del sistema de conexiones de los componentes al PLC S7-1200

Para elaborar el diagrama eléctrico del PLC S71200, se inicia con una revisión minuciosa de los componentes implicados en la automatización. Este proceso implica la distribución detallada de las entradas y salidas necesarias.

de fluidos y el funcionamiento adecuado de los sistemas conectados.

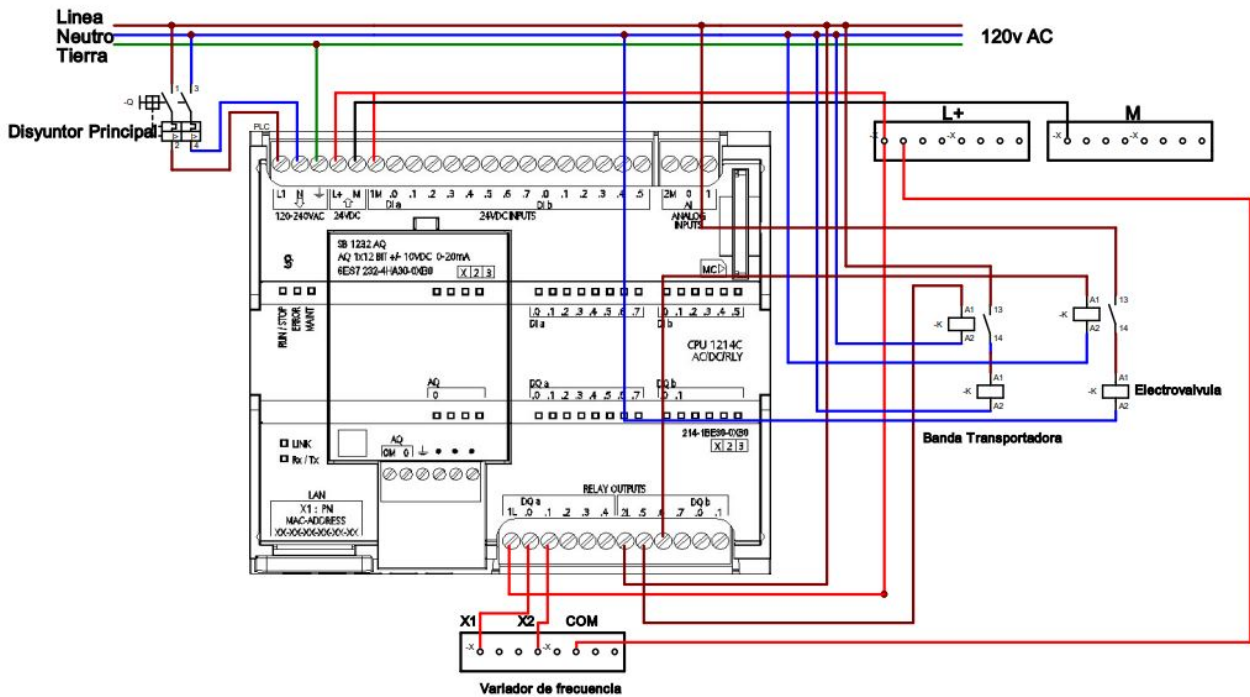


Figura 30. Diagrama de Conexiones de las salidas tipo Relé dentro del proceso, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-D3. Conexión y calibración de la entrada analógica proporcionada por el sensor de presión MPX5050DP:
 En el ámbito de la instrumentación y control de procesos, la comprensión de las señales analógicas es fundamental. Estas señales, al ser continuas, representan una amplia gama de valores en un período de tiempo específico, generalmente reflejando magnitudes eléctricas estandarizadas como la tensión eléctrica. Esta estandarización es crucial para obtener datos precisos y útiles en diversas aplicaciones, tales como la medición de temperatura, humedad o flujo.

En este proceso en particular, la señal analógica que necesitamos medir proviene del sensor MPX5050DP. Este sensor proporciona un valor mínimo de voltaje, el cual se debe escalar y normalizar para adaptarlo a un rango entre 0 y 5 voltios. Es importante destacar que la alimentación de este sensor también se encuentra dentro del mismo rango de 0 a 5 voltios, lo que asegura una integración eficiente y coherente con el resto del sistema.

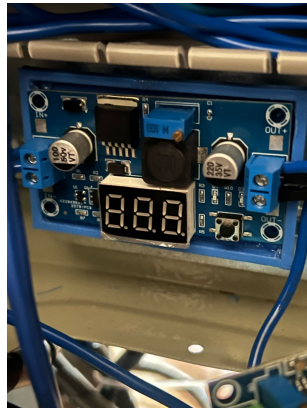


Figura 31. Placa Reductora de voltaje CC, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Con la conexión de la señal analógica ya transformada, proporcionada por la placa convertidora, se establece un cableado directo hacia nuestro Controlador Lógico Programable. Este dispositivo centralizado se encarga de recibir, procesar y tomar decisiones basadas en la información proporcionada por la señal analógica convertida. De esta manera, se integra de manera efectiva el sensor de presión en el sistema de control, permitiendo monitorear y regular el flujo en el proceso de manera precisa y eficiente.

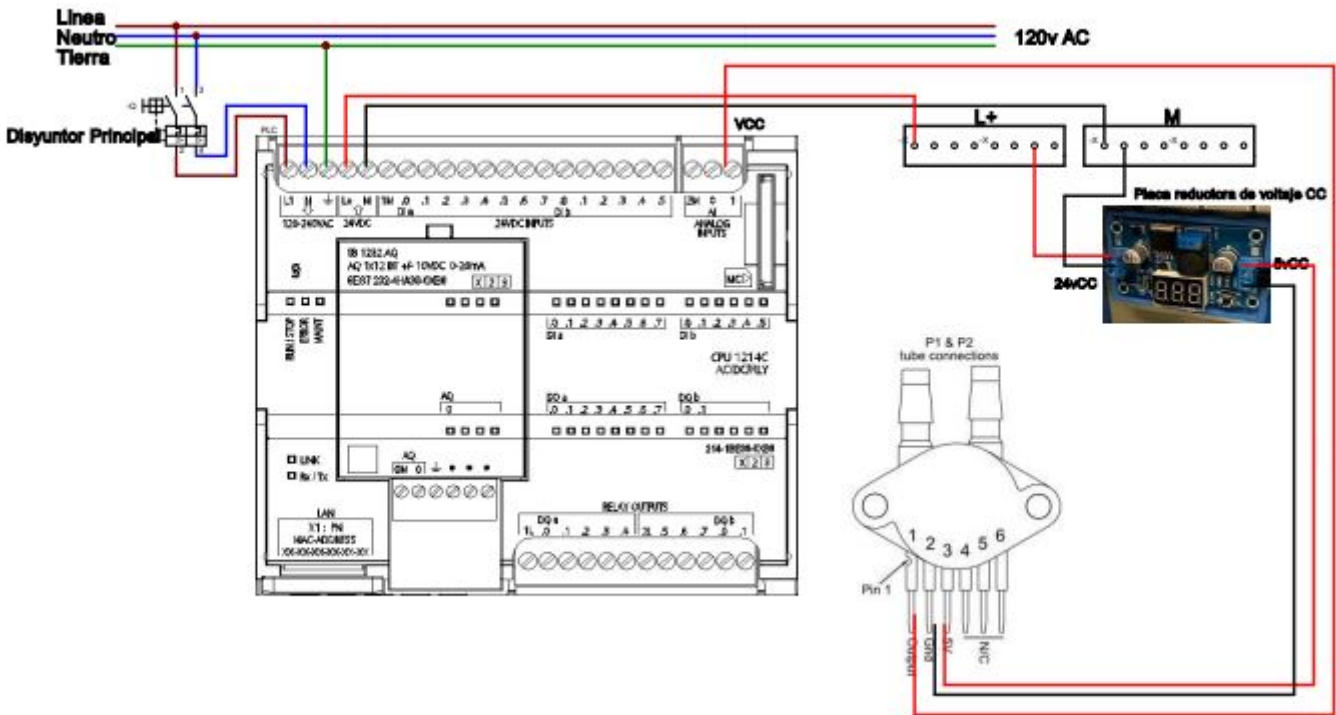


Figura 32. Diagrama de conexiones de entradas analógicas dentro del proceso, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Antes de profundizar en esta explicación, es importante señalar que el rango de valores de voltaje proveniente del sensor varía considerablemente con el tiempo, lo que dificulta una precisión estable de este valor para su posterior conversión y cálculos. Ante esta situación, se opta por calcular un promedio de este valor dentro de un rango de

10 mediciones, estrategia implementada dentro del bloque de funciones de nuestra programación. Esta técnica de promediado móvil nos permite obtener una estimación más confiable y estable del voltaje real del sensor, lo que facilita su adaptación y utilización en nuestros cálculos y procesos de control.

En este breve fragmento, se destaca el proceso de normalización y escalado de la señal analógica. Antes de este procedimiento, se realiza un promedio utilizando una función tipo “array”, que permita almacenar datos. Esto se lleva a cabo con el objetivo de inicializar todos los datos en cero al iniciar la programación. Este enfoque garantiza que tengamos una base consistente y neutral para el procesamiento de la señal, lo que facilita su interpretación y utilización en nuestras operaciones posteriores.

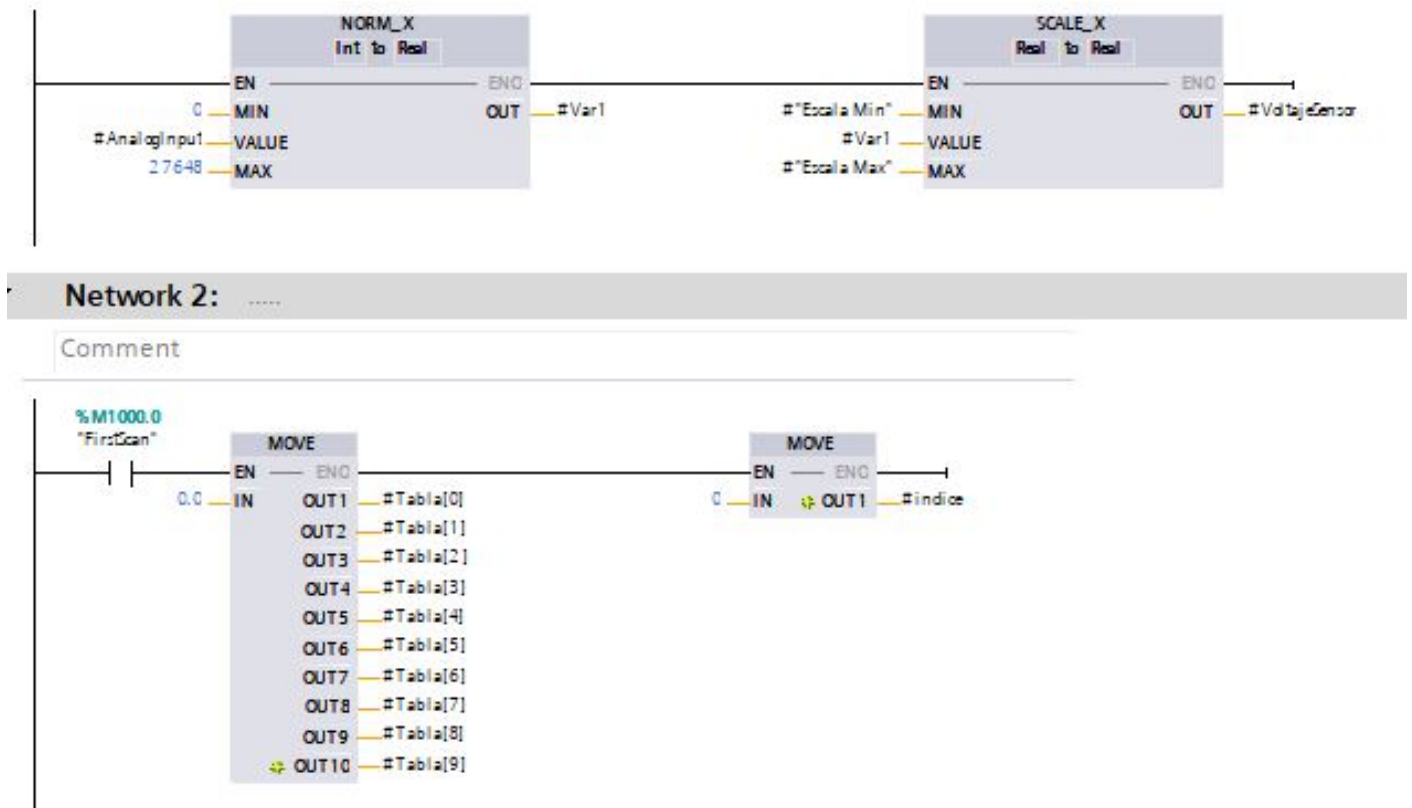


Figura 33. Segmento 1 y 2 de la programación Ladder para el promedio de la señal analógica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Después de este paso, el dato normalizado se transfiere a otra variable para su posterior procesamiento. Además, la variable índice, el cual es la función array que almacena los datos, se convierte de un tipo de dato entero a flotante. A su vez se realiza un conteo mediante una marca de ciclo y un contador simulando 5 segundos, es decir después de 5 segundos el valor vuelve a estabilizarse si es que no a sufrido cambio alguno.

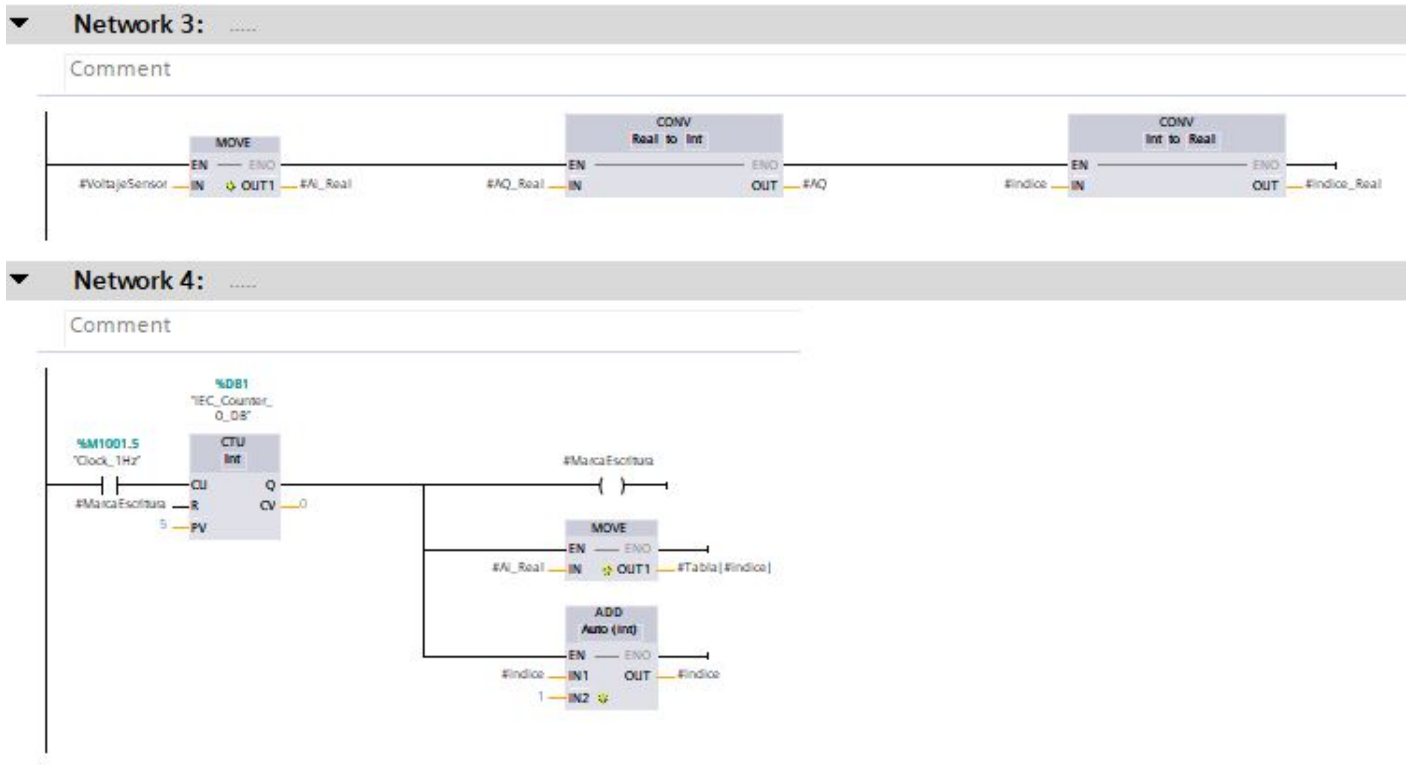


Figura 34. Segmento 3 y 4 de la programación Ladder para el promedio de la señal analogica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Si la variable índice supera los 9 valores, se restablecerá a 0 nuevamente, reiniciando así el proceso de promediado. Esto es importante para mantener actualizado el promedio y evitar que se acumulen demasiados datos, lo que podría afectar la precisión de las mediciones. Al reiniciar el promedio, también se reinicia el cálculo para garantizar que se esté utilizando una muestra reciente y representativa de los datos.

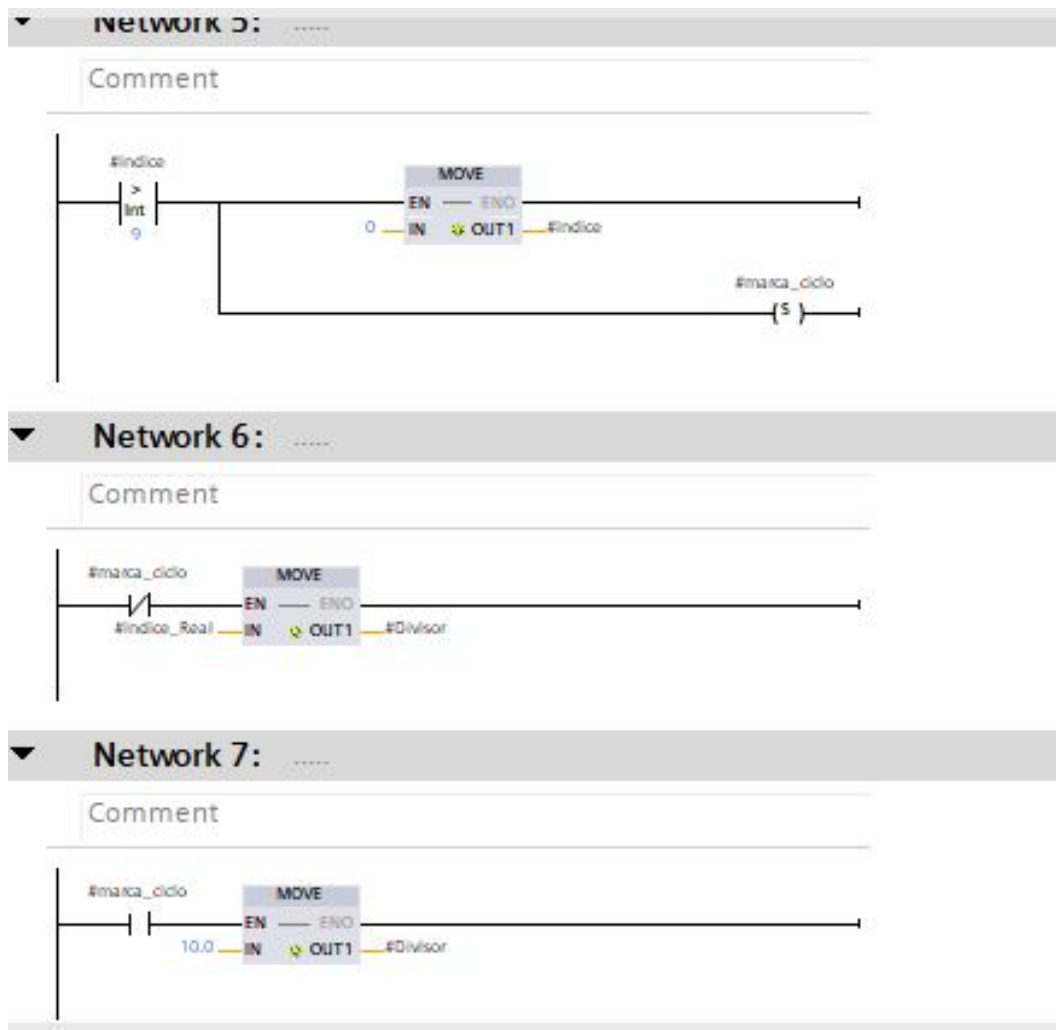


Figura 35. Segmento 5,6 y 7 de la programación Ladder para el promedio de la señal analogica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Después de calcular el promedio de los valores almacenados, se procede a dividirlos en datos máximos y mínimos. En el sistema, se decide realizar los cálculos posteriores utilizando el valor máximo promediado. Esta elección puede deberse a diversas razones, como maximizar la precisión de las mediciones o garantizar una respuesta más conservadora ante posibles fluctuaciones en los datos. Utilizar el valor máximo promediado puede proporcionar una medida más robusta y estable para las operaciones subsiguientes en el sistema de control y automatización.

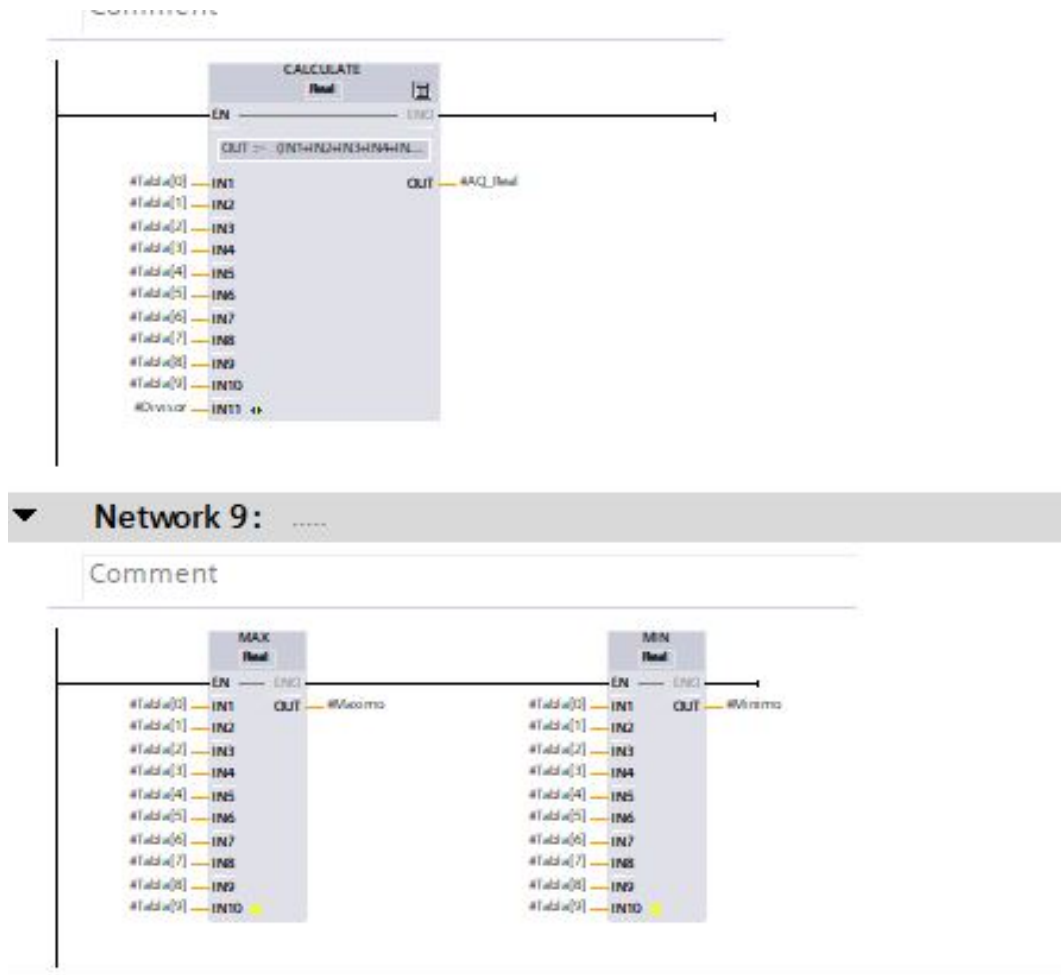


Figura 36. Segmento 8 y 9 de la programación Ladder para el promedio de la señal analógica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-E. Programación en lenguaje ladder direccionado al PLC S7-1200

Antes de sumergirse en la programación, es crucial destacar un punto esencial: la utilización de marcas de ciclo. Estas marcas se erigen como herramientas fundamentales para aprovechar la frecuencia de un intervalo de tiempo predefinido, que permite ejecutar diversas acciones planificadas de manera eficiente y sincronizada en nuestro sistema.

Las marcas de ciclo actúan como puntos de referencia temporal que estructuran nuestra programación. Al utilizar la frecuencia de un ciclo, se puede coordinar acciones específicas en intervalos regulares, optimizando así el rendimiento del sistema.

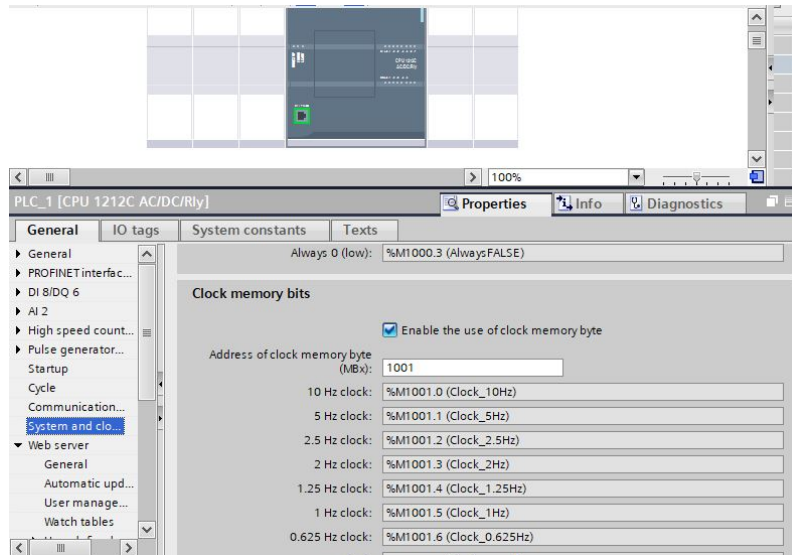


Figura 37. Activación del uso de memorias de tiempo, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En el primer segmento, se adopta un enfoque estructurado al declarar todas nuestras entradas digitales como contactos normalmente abiertos. Estos contactos, al activarse, generan un flujo de información que se dirige directamente a las memorias previamente definidas. Esta estrategia proporciona la base necesaria para configurar y controlar el sistema según nuestras necesidades específicas.

Los contactos normalmente abiertos actúan como interruptores virtuales que, al cerrarse mediante la activación de una entrada digital, establecen un camino para el flujo de información. Esta información es luego canalizada hacia las memorias designadas, donde se registra y se utiliza para configurar diversas funciones del sistema. La elección de esta configuración inicial garantiza una estructura lógica y coherente en la captura y gestión de datos provenientes de las entradas digitales.

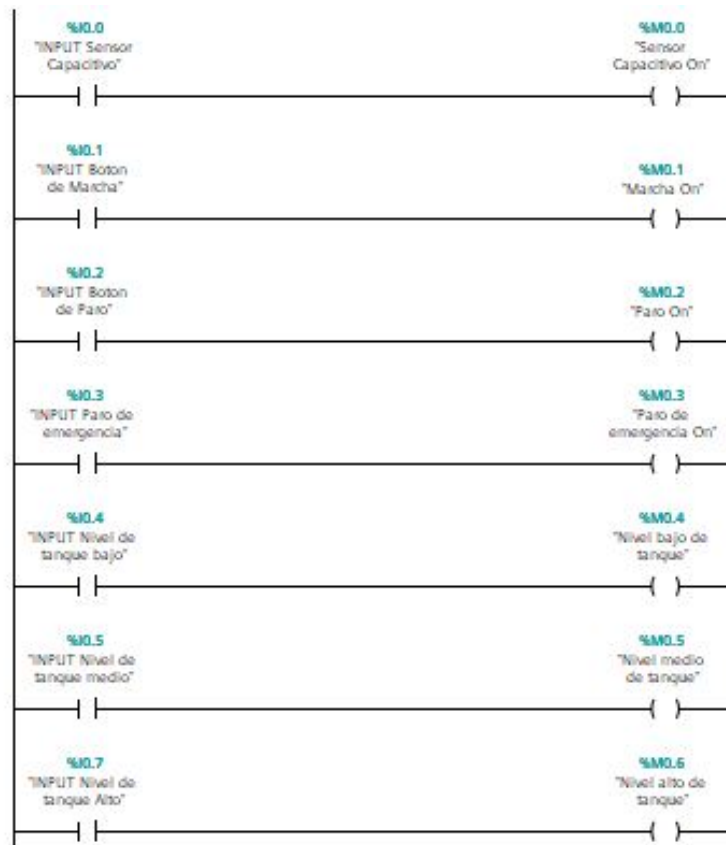


Figura 38. Segmento 1 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En el segundo segmento que aborda la configuración de las salidas digitales responsables de iniciar y controlar la marcha del variador de frecuencia. Es relevante destacar que, conforme al manual del equipo, se debe seguir una lógica específica para las operaciones de arranque, parada, reversa y detención. Las salidas pertinentes en este contexto son identificadas como “K1” , “K2 marcha de variador”.

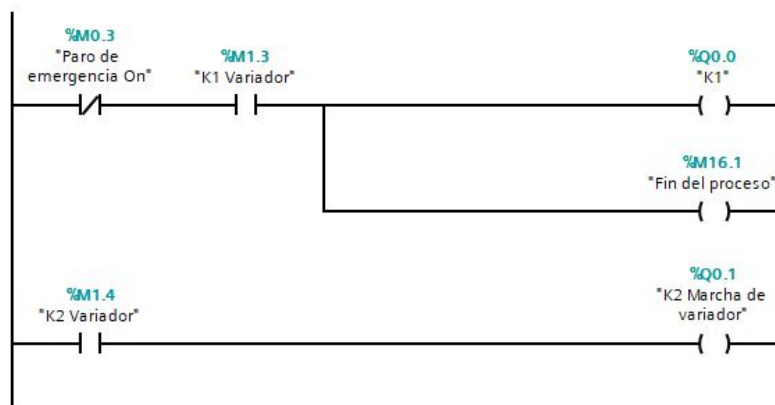


Figura 39. Segmento 2 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

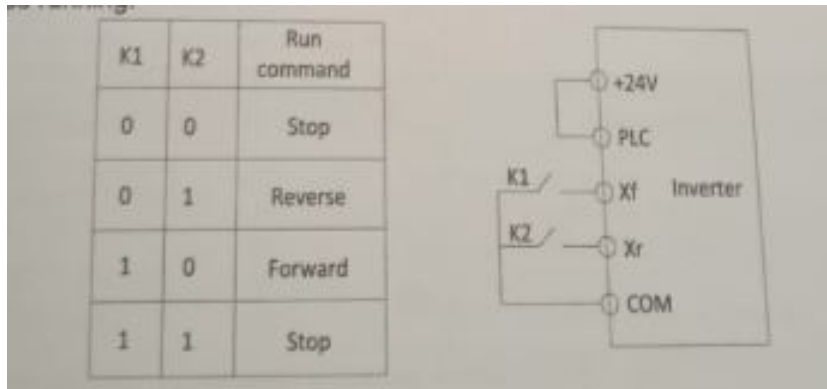


Figura 40. Tabla de lógica de arranque del variador de frecuencia CHINT [7].

En el tercer segmento, donde se pone de manifiesto el empleo estratégico de memorias para la activación de salidas digitales específicas. En este contexto, las salidas digitales en cuestión están designadas para controlar la banda transportadora y la electroválvula.

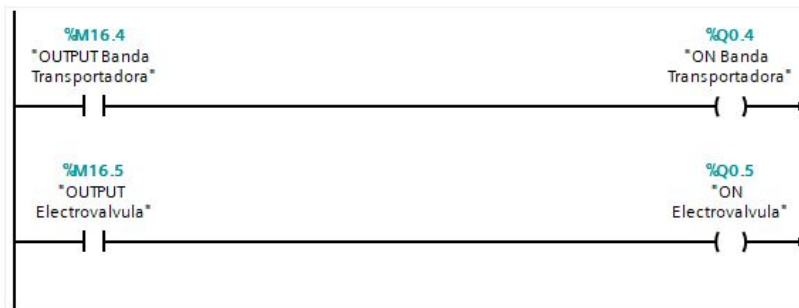


Figura 41. Segmento 3 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En el cuarto segmento, se presenta un bloque de funciones que procesa la señal analógica proveniente del sensor de presión. En este bloque, se llevan a cabo una serie de cálculos para determinar la presión registrada y, a partir de ella, establecer el nivel del reservorio principal. Para realizar estos cálculos, se utilizan los datos proporcionados en el datasheet del sensor, adaptándolos según las necesidades del proyecto.

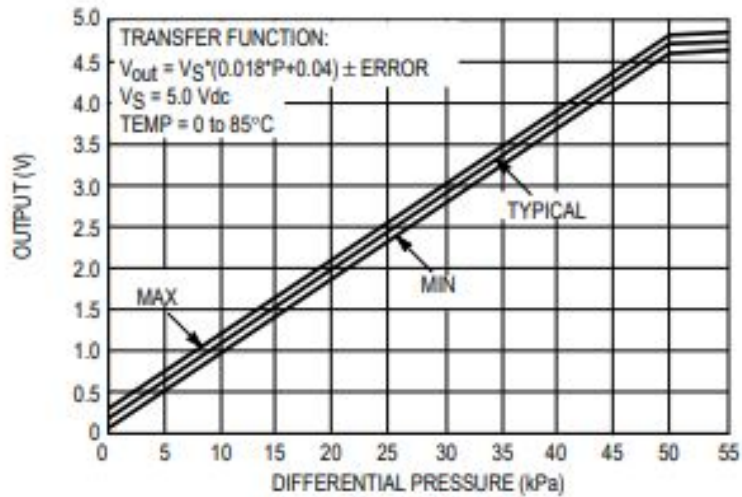


Figura 42. Salida versus Presion diferencial del sensor de presión MPX5050DP [1].

Se observa que del gráfico anterior, se deduce la ecuación que permite calcular la presión del sensor.

$$P = \frac{V_{out} - 0,004V_s}{0,018V_s} \pm Tol \quad (61)$$

Por lo que V_s representa el voltaje de alimentación, que en este caso es 5 voltios, y V_{out} denota el voltaje proporcionado por el sensor, es decir, el voltaje que se lee con el PLC en bytes y se convierte a voltaje. Además, Tol es la tolerancia, un ajuste necesario para calibrar la medida del sensor.

El pinout del sensor de presión MPX5010DP se presenta a continuación:

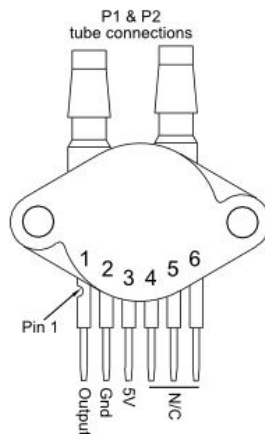


Figura 43. Pinout Sensor MPX5050DP [1].

De acuerdo con el datasheet, el sensor no puede estar en contacto directo con el líquido. Por lo tanto, es necesario crear un colchón de aire en el interior del tubo conectado al sensor para prevenir la entrada de líquido en su interior.

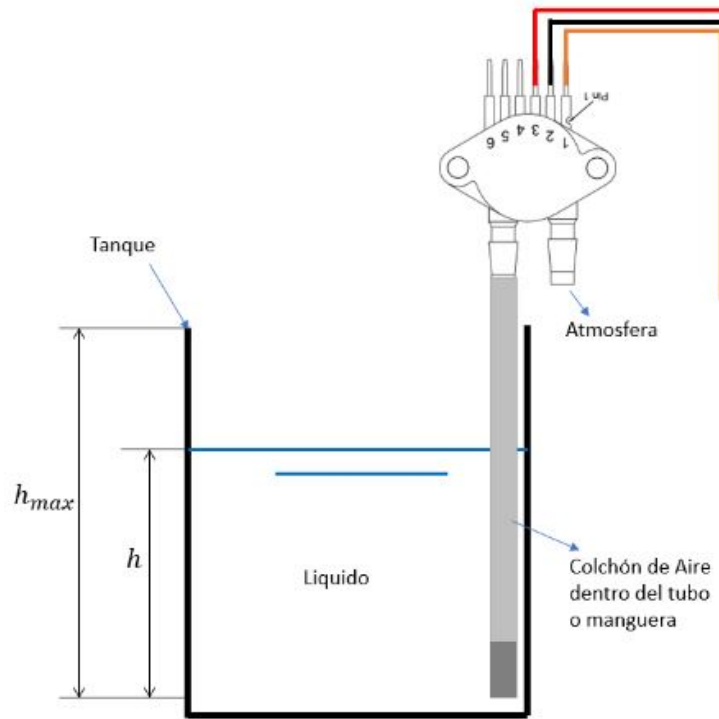


Figura 44. Diagrama del sensor de presión sobre el nivel de tanque [2].

Por lo que se toma en cuenta la ecuación que describe la presión diferencial en función de la altura (es decir que la presión atmosférica es cero):

$$P = \rho gh \quad (62)$$

$$h = \frac{P}{\rho g} \quad (63)$$

Donde P representa la presión, ρ es la densidad del líquido, g es la aceleración debido a la gravedad, y h es la altura o nivel del tanque.

Las salidas generadas por este bloque de funciones incluyen:

- Dato de voltaje: Es la salida analógica directa del sensor, que proporciona información sobre la presión registrada.
- Presión: Es el valor de presión calculado a partir de la señal analógica recibida.
- Promedio de la señal analógica: Se obtiene a partir de un promedio de las lecturas de la señal analógica, lo que puede contribuir a mejorar la precisión de las mediciones.
- Litros actuales sobre el nivel del tanque: Es el valor que indica la cantidad de litros presentes en el reservorio en un momento dado, que se calcula en función de la presión registrada.
- Diferencias (restas): Se calculan dos diferencias importantes. La primera corresponde a la cantidad de litros actuales menos 3.75, que representa la cantidad de litros equivalente a un galón. La segunda diferencia se calcula entre los litros actuales y el valor establecido por el usuario a través del HMI, lo que proporciona información sobre la desviación del nivel actual con respecto al nivel deseado.

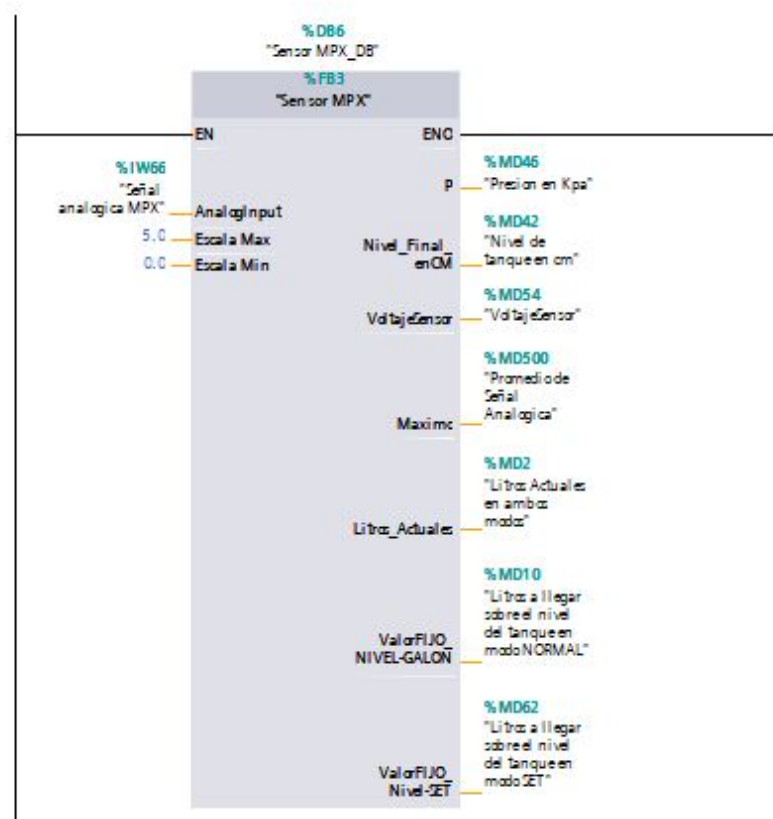


Figura 45. Segmento 4 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Dentro de este bloque de funciones, se implementa un promedio móvil para estabilizar la señal analógica, la cual puede ser muy variable con el tiempo. Esto es crucial para calcular de manera precisa la diferencia entre el nivel del reservorio principal y el que será suministrado al envase, ya que se requiere un valor estable para esta resta. Además del promedio móvil, se realiza una regresión lineal para ajustar los datos en centímetros del sensor y, al mismo tiempo, otra regresión lineal para correlacionar estos datos con los litros medidos en el reservorio principal. Estos ajustes permiten una medición más precisa y confiable tanto del nivel del líquido como de la cantidad de líquido en el reservorio.

Estos cálculos se realizan en un segmento escrito en lenguaje SCL (Structured Control Language), ya que es el más adecuado para este tipo de operaciones aritméticas y manipulación de datos. El uso de SCL proporciona una sintaxis clara y estructurada que facilita la implementación de algoritmos complejos como los de promedio móvil y regresión lineal en el control del proceso automatizado.

```

1
2
3 // Voltaje del Sensor MPC5010DP
4 #PromedioFIJOL := 0;
5 FOR #j := 0 TO 10 DO
6     #PromedioFIJOL := #PromedioFIJOL + (#Maximo); // V
7     #DELAY := T#5MS;
8 END_FOR;
9 #vout := #PromedioFIJOL / 10.0;
10
11 // Presión en Kpa según gráfica 4 del Datasheet
12 #P := (#vout - #tolP * #Vs) / (#"Valor 0.9" * #Vs) + 2.222222 ; // kPa
13 #Level := (#P * 1000) / (#rho * #gravedad) * 100.0; // Medida de Nivel del t
14 #Nivel_Final_enCM := 1.9259*#Level - 19.523;
15 #Relacion_Nivel_litros_enCM := (#Nivel_Final_enCM +19.523) /1.926;
16 #Nivel_en_LITROS_Reservorio := -0.584 + 1.257 * #Nivel_Final_enCM ;
17 #"ValorFIJO_NIVEL-GALON" := #Nivel_en_LITROS_Reservorio - 3.75;

```

Figura 46. Segmento 4.1 SCL FIJO.JPG, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Comment

```

1
2
3 // Voltaje del Sensor MPC5010DP
4 #PromedioVARIABLE1 := 0;
5 FOR #i := 0 TO 10 DO
6     #PromedioVARIABLE1 := #PromedioVARIABLE1 + (#VoltajeSensor); // V
7     #DELAY := T#5MS;
8 END_FOR;
9 #vout2 := #PromedioVARIABLE1 / 10.0;
10
11 // Presión en Kpa según gráfica 4 del Datasheet
12 #P2 := (#vout2 - #tolP * #Vs) / (#"Valor 0.9" * #Vs) + 2.222222 ; // kPa
13 #Level2 := (#P2 * 1000) / (#rho * #gravedad) * 100.0; // Medida de Nivel del
14 #LevelFinal20 := 1.9259*#Level2 - 19.523;
15 // #RelacionGalonCM := (#LevelFinal +19.523) /1.926;
16 #Litros_Actuales := -0.584 + 1.257 * #LevelFinal20 ;
17 // #Galon := #nivelprueba - 3.75;

```

Figura 47. Segmento 4.2 SCL Variable.JPG, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Este mismo proceso se replica con otras variables, siguiendo la misma lógica y aplicándose al modo set. Es decir, se realizan cálculos similares para determinar el nivel actual del reservorio y compararlo con el valor establecido en el HMI para el llenado del envase galonero. Cuando se alcanza la condición de que el nivel actual del reservorio es igual al nivel menos la resta del galón o el valor establecido en el HMI, se activan las marcas que señalan el fin del proceso en el programa principal. Este enfoque garantiza una gestión eficiente del llenado del envase galonero tanto en el modo normal como en el modo set.

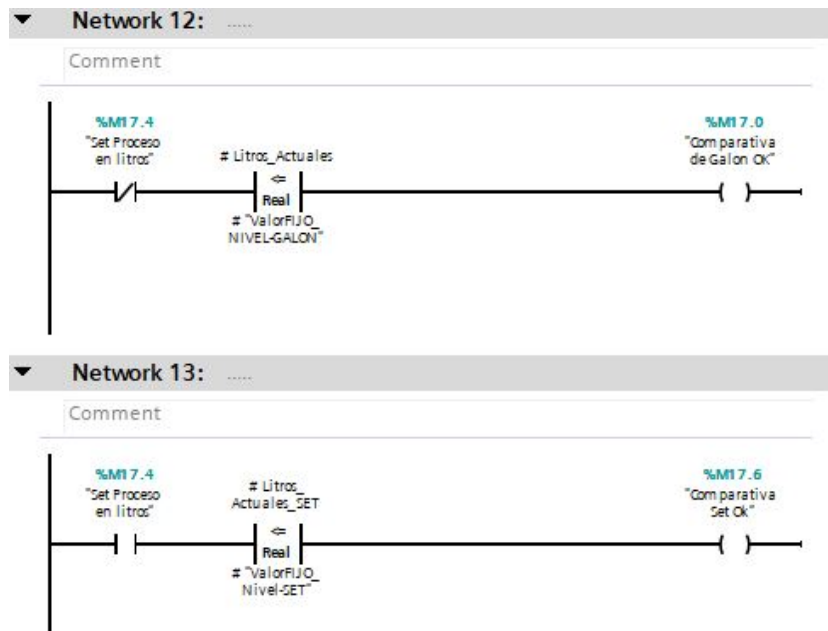


Figura 48. Comparativa establecida para ambos modos, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En el quinto segmento de la programación principal, se adentran en la configuración del modo set en la Interfaz Hombre-Máquina. Este modo implica la introducción de un valor real desde el HMI, con un rango establecido de 0 a 3900. Este rango, expresado en mililitros, indica que 3900 mililitros representan el valor máximo que puede ser introducido. Posteriormente, se realiza una división de este dato introducido por 1000, generando así un nuevo valor que se somete a una comparativa más precisa en litros.

Esta segunda comparativa tiene un criterio específico: si el valor resultante está en el rango de 0 a 3.9 litros, se habilita el modo set cuando se pulsa el contacto “marcha set” en el HMI. Este enfoque cuidadosamente diseñado permite que el sistema entre en el modo set solo si el valor introducido satisface condiciones específicas, asegurando así que las configuraciones del sistema sean coherentes y seguras.

Es crucial destacar que esta configuración refleja una cuidadosa consideración del rango de valores y su significado en términos de litros. La división por 1000 es una estrategia para adaptar la unidad de medida del valor introducido desde mililitros a litros, proporcionando así una correspondencia adecuada con las expectativas del sistema.

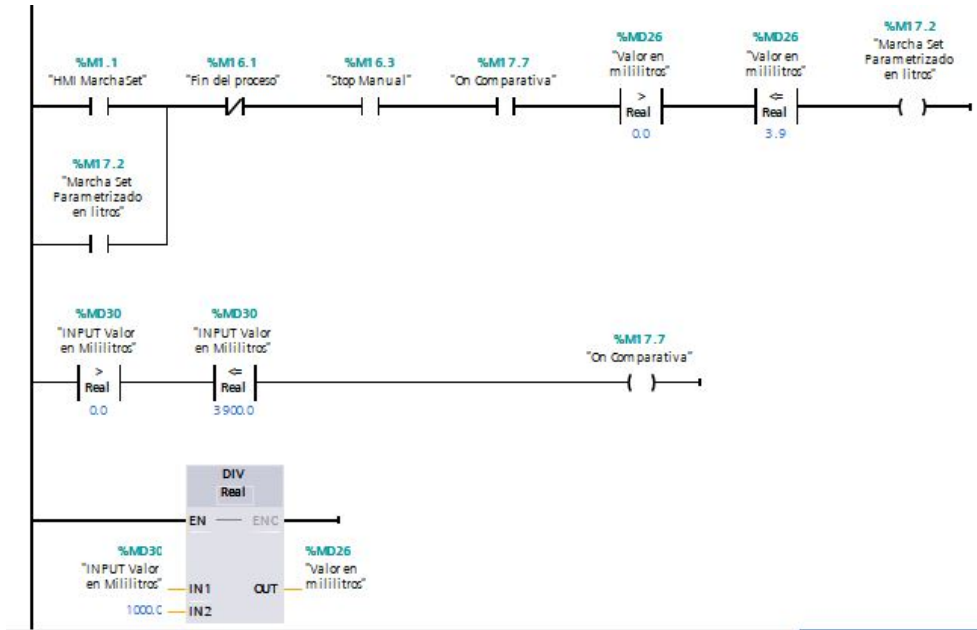


Figura 49. Segmento 5 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Dentro del sexto segmento, se lleva a cabo el establecimiento del proceso según el valor introducido desde la HMI. Este valor, configurado durante el modo set, define las condiciones operativas del sistema. Es esencial señalar que este proceso establecido persistirá hasta que otra marca, denominada “fin de proceso”, resetee este ajuste.

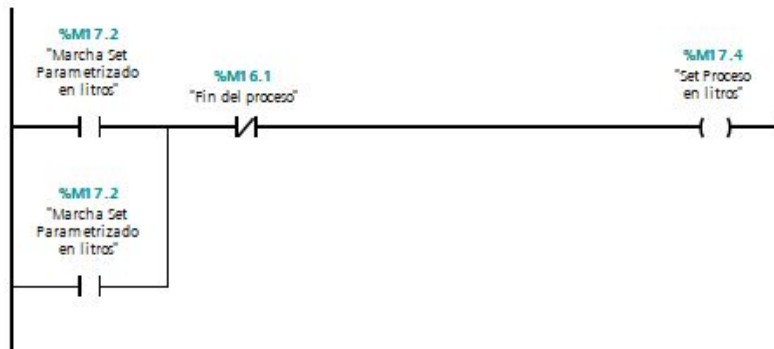


Figura 50. Segmento 6 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En el séptimo segmento, se detalla de manera concisa la activación del pulsador de paro. Este pulsador, accionado por una entrada digital que proviene de un pulsador físico, desencadena una serie de eventos clave en el sistema.

La memoria asociada a la entrada digital del pulsador físico se activa con el accionamiento del pulsador de paro. Esta memoria activada, a su vez, tiene un propósito específico, su activación servirá como señal dentro del HMI.

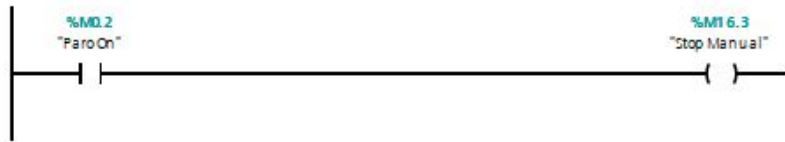


Figura 51. Segmento 7 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En el siguiente segmento, se explica la programación detallada que abarca por completo el accionamiento de la banda transportadora. Este proceso se inicia de diversas formas: a través del modo set, el modo normal o mediante la señal proveniente de la memoria “Fin del Proceso”, accionado previamente por el temporizador explicado mas adelante. La inclusión de estas opciones de inicio demuestra una consideración integral de los diferentes escenarios en los que la banda transportadora puede entrar en funcionamiento.

Una de las características distintivas de este segmento es la presencia de la memoria “Paro Emergencia”. Esta memoria asume un papel crítico, ya que está diseñada para detener completamente todo el sistema en situaciones de emergencia. La inclusión de esta función de parada de emergencia refleja una prioridad significativa en la seguridad operativa, asegurando que el sistema pueda ser detenido de manera inmediata y efectiva en caso de circunstancias imprevistas. Cabe mencionar que posee un contacto de seguridad el cual el proceso no arrancará mientras el nivel del reservorio principal se encuentre muy por debajo de lo normal, esto proporcionado por un sensor de nivel tipo bolla.

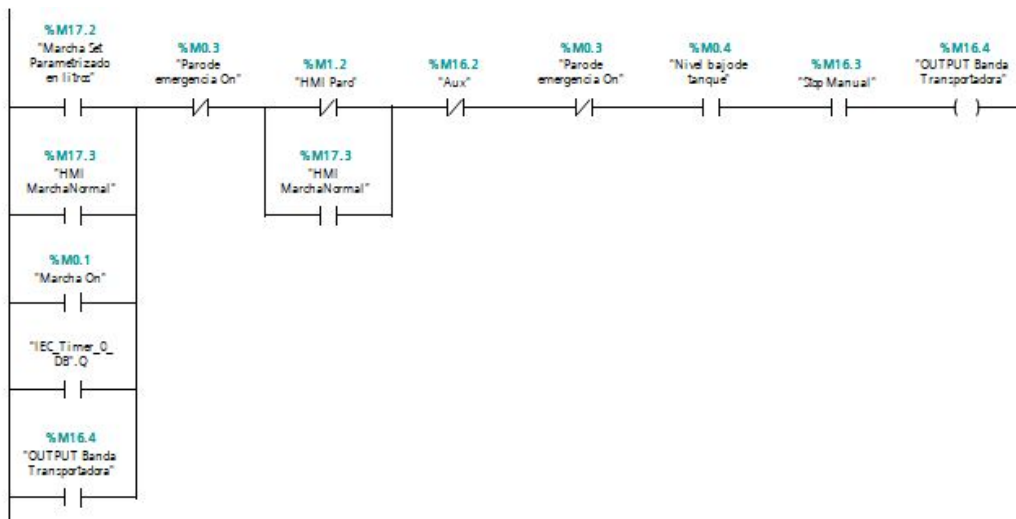


Figura 52. Segmento 8.1 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En consecuencia, al iniciarse la banda transportadora, se activa la posibilidad de que el sensor capacitivo reciba órdenes. Esta consideración es crucial para evitar problemas potenciales, ya que si el sistema está energizado y el sensor capta alguna señal, podría provocar la puesta en marcha del sistema de manera inadvertida. Con esta premisa en mente, se introduce un bloqueo de seguridad diseñado para que el sensor capacitivo solo esté activo cuando la banda transportadora está en movimiento. Este mecanismo de seguridad se identifica como “Protección contra sensado mal direccionado”.

La función de este bloqueo de seguridad es prevenir activaciones incorrectas del sensor capacitivo cuando el sistema está en estado de reposo. Al limitar la capacidad de sensar a momentos específicos, se minimiza la posibilidad de recibir señales erróneas durante períodos inactivos del sistema. Esta precaución adicional fortalece la

integridad operativa y evita activaciones no deseadas que podrían comprometer la seguridad y eficiencia del proceso.

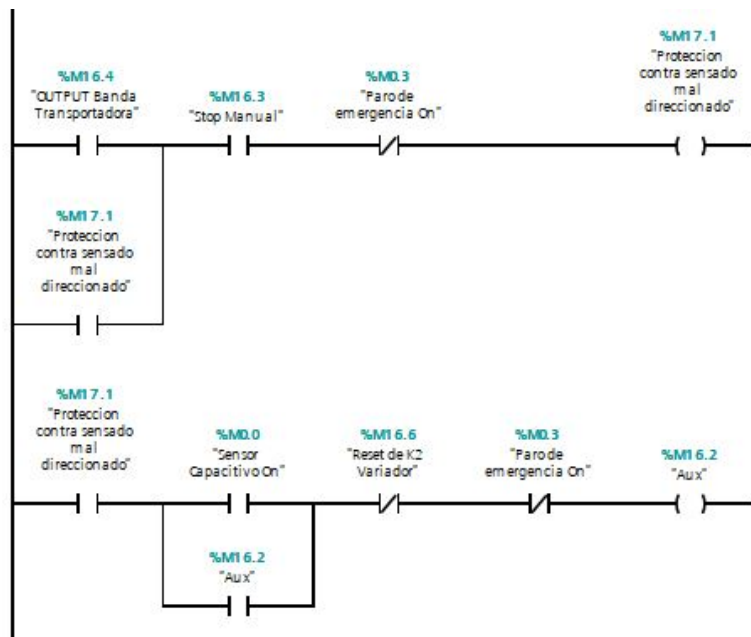


Figura 53. Segmento 8.2 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

El segmento 9, verifica que todo está en orden, es decir, si la banda transportadora está en movimiento y el sensor capacitivo está activado, se procede a iniciar el variador de frecuencia mediante la variable K2. Simultáneamente, se realiza la apertura de la electroválvula.

Esta secuencia de acciones se ejecuta como parte de un proceso de arranque coordinado que asegura la sincronización de elementos críticos en el sistema. La condición previa, que implica el movimiento de la banda y la activación del sensor capacitivo, actúa como un criterio de seguridad y operatividad antes de iniciar el variador y abrir la electroválvula.

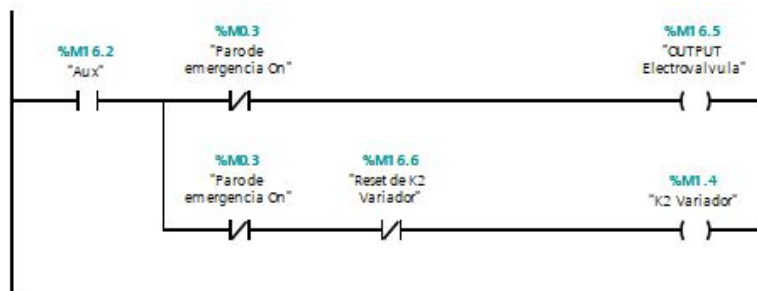


Figura 54. Segmento 9 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En los segmentos 10 y 11, se detalla la fase de finalización del proceso, la cual se activa mediante la marca comparativa ya sea “Galón” o por “Set”. En cualquiera de estos casos, se lleva a cabo el seteo instantáneo, en un lapso de un milisegundo, de dos variables críticas: “Fin de Proceso” y “Reset de K2 Variador”. La última variable, “Reset de K2 Variador”, desempeña un papel fundamental al detener el funcionamiento de la bomba trifásica.

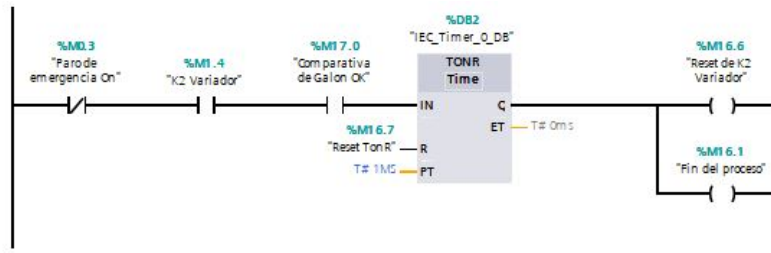


Figura 55. Segmento 10 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

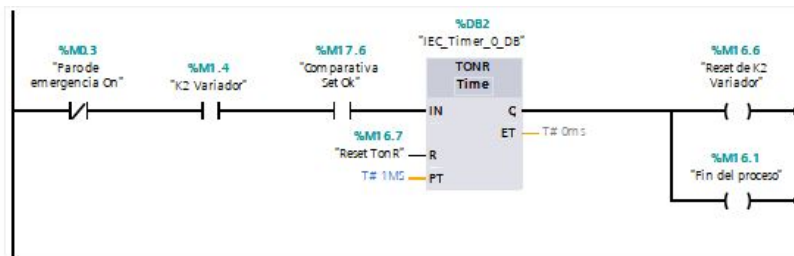


Figura 56. Segmento 11 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En el segmento 12, después de la activación de la memoria “Fin de Proceso”, se establece una secuencia adicional que implica la conexión a un temporizador con retardo de 2 segundos. Este temporizador, a su término, activa la memoria “Reset TonR”, la cual tiene la función de reiniciar el temporizador mencionado previamente a este segmento. Como resultado de este reinicio, también se lleva a cabo la anulación de las memorias vinculadas a este último temporizador.

Esta secuencia post-“Fin de Proceso” demuestra un enfoque específico para gestionar eventos posteriores al término del proceso. La introducción de un retardo de 2 segundos antes de la activación de Reset TonR” sugiere una pausa deliberada, permitiendo que ciertos procesos se completen antes de iniciar la siguiente fase.

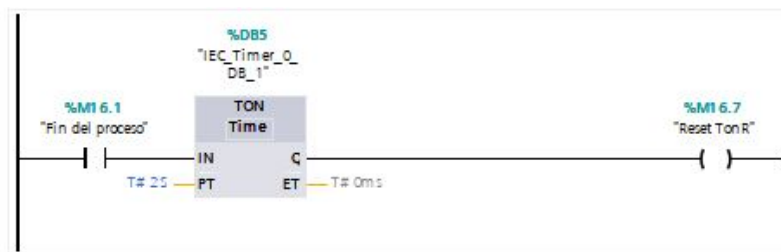


Figura 57. Segmento 12 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Además de las operaciones directas del proceso, este segmento introduce un componente visual en el HMI. Se describe una pequeña animación que simula el traslado de un envase en la interfaz. Esta animación se activa cuando la banda transportadora está encendida, proporcionando la ilusión de que un envase se desplaza dentro del HMI. La dinámica de la animación sigue el movimiento sincronizado de la banda transportadora hasta que el envase simulado llega al sensor capacitivo, momento en el cual la animación indica que el envase se detiene.

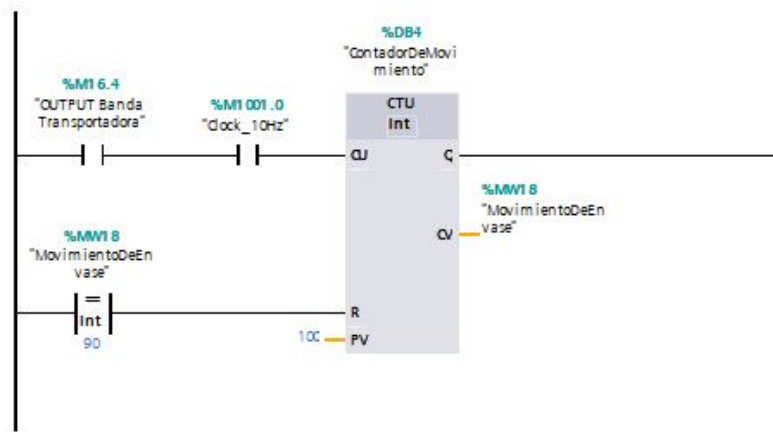


Figura 58. Segmento 13 de la programación principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-F. Desarrollo y programación de HMI direccionado al PLC S7-1200

El desarrollo de la interfaz HMI es una fase crítica en el diseño de sistemas automatizados. Este proceso se inicia con la disposición estratégica de pulsadores simulados, tales como los de “Marcha Normal”, “Marcha Set” y “HMI paro”. Cada uno de estos pulsadores simulados desempeña un papel clave en el control del proceso, y sus funciones están definidas por las marcas o etiquetas detalladas en la tabla de variables del PLC.

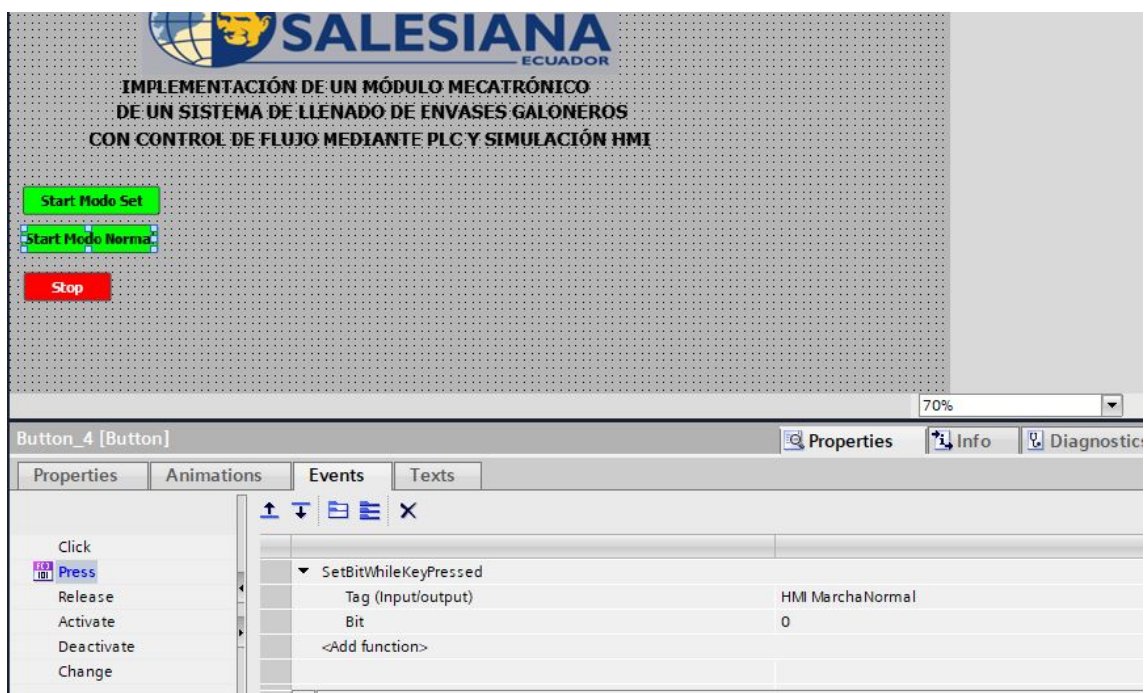


Figura 59. Configuración de pulsadores simulados dentro del HMI, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

La colocación de estos pulsadores en la interfaz no solo obedece a criterios estéticos, sino que también refleja la lógica de operación del sistema. El pulsador de “Start Modo Normal”, indica la activación de un modo de funcionamiento estándar, mientras que el de “Start Modo Set”, permite la configuración de parámetros específicos del proceso.

VI-F1. Configuración de los estados encendido y apagado de los actuadores involucrados en el proceso dentro de la interfaz: En el proceso de simulación del indicador de estado de la bomba en la Interfaz Hombre-Máquina, se implementan dos estados fundamentales: encendido y apagado. Estos estados se visualizan mediante el uso de colores específicos, donde el color verde representa el estado de “encendido”, mientras que el rojo indica el estado de “apagado”.

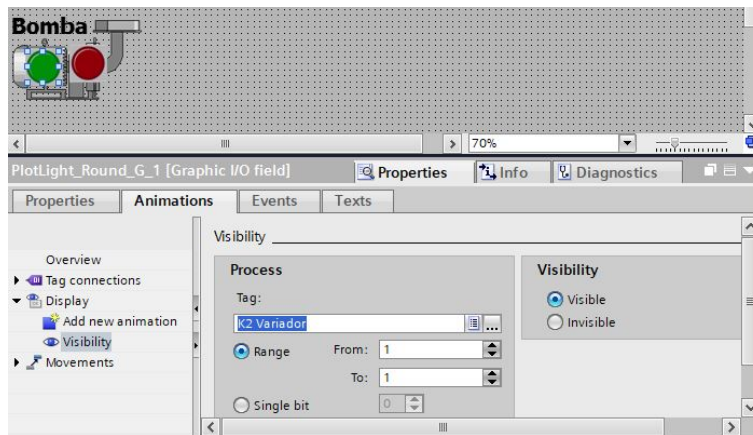


Figura 60. Configuración del estado encendido de la bomba, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

La dinámica de la interfaz se estructura de manera que cuando un estado está activo, el otro permanece oculto, generando una representación visual clara y precisa del estado actual de la bomba. Este mecanismo de ocultamiento y visualización se sincroniza con la marca K2 en el variador, la cual actúa como un punto de referencia crucial en la lógica de control.

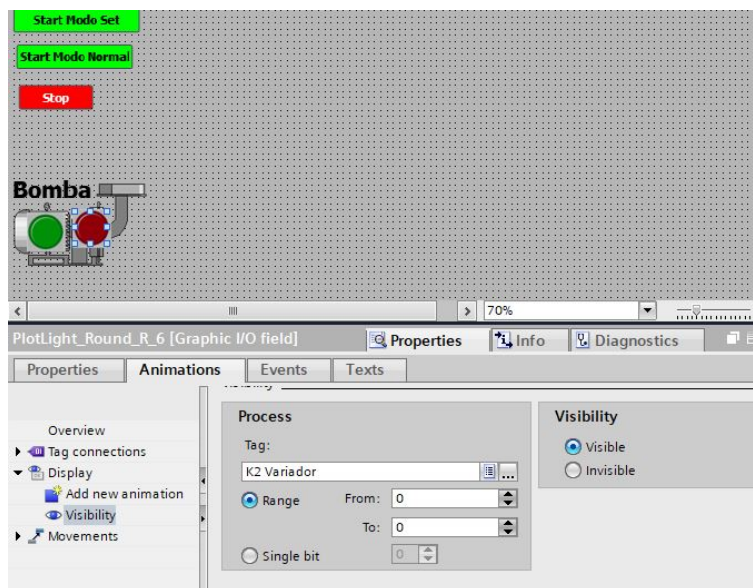


Figura 61. Configuración del estado apagado de la bomba, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Cuando la marca “K2 variador”, señala que la bomba está en funcionamiento, el indicador de estado se ilumina en verde, indicando visualmente que la bomba está activa. De manera análoga, si la marca K2 indica que el variador ha detenido la bomba, el indicador cambia a color rojo, indicando que la bomba se encuentra en estado de apagado.

En consonancia con la lógica de encendido y apagado previamente abordada, se extiende la misma metodología al manejo de la electroválvula. Este componente es esencial para regular el flujo de fluido a través de las tuberías, siendo su característica principal la condición de "normalmente cerrada". En otras palabras, la electroválvula, por defecto, se encuentra en un estado de cierre, permitiendo el paso del fluido únicamente cuando se energiza.

Similar al indicador de estado de la bomba en la HMI, se establece un sistema dual de representación visual para la electroválvula. Se definen dos estados distintos: "abierto" y "cerrado". El estado de "abierto" se denota mediante una indicación visual con un color verde, mientras que el estado de "cerrado" se representa con otro color, como el rojo.

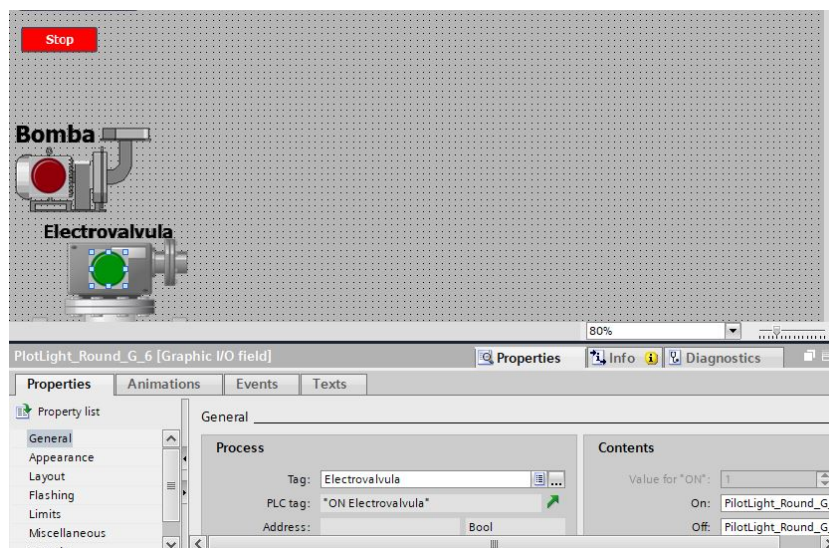


Figura 62. Configuración del estado encendido de la Electrovalvula, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

La activación de la electroválvula, es decir, su transición al estado "abierto", se vincula con la marca correspondiente en el sistema de control, asegurando una sincronización precisa con el estado real de la electroválvula. Si la marca asociada indica que la electroválvula está energizada, la HMI reflejará visualmente la apertura del flujo mediante el cambio de color. En caso contrario, si la marca señala que la electroválvula no está activada, la interfaz mostrará el estado de "cerrado".

De manera consecuente, la misma lógica de encendido y apagado se aplica al monitoreo de los sensores de nivel tipo boya ubicados en el recipiente principal. Estos sensores, diseñados para detectar niveles de agua, siguen una metodología similar a la previamente descrita. Se definen tres estados específicos: "Nivel alto", "Nivel medio" y "Nivel bajo", cada uno asociado a una boya particular.

Cuando la boya se sitúa por debajo del nivel de agua establecido, indica un estado "apagado". En contraste, si la boya se eleva por encima del nivel de agua, es decir, está flotando, se interpreta como un estado "encendido". Este estado activado implica que la boya ha detectado un nivel específico en el recipiente, información que se transmite al sistema de control para su procesamiento.

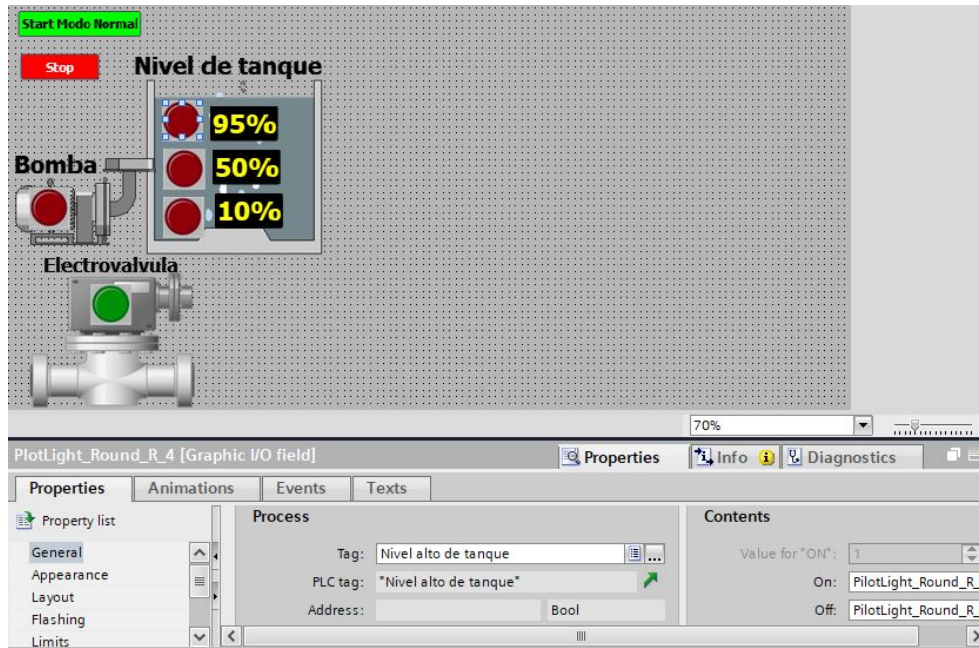


Figura 63. Configuración del estado apagado del sensor de nivel tipo boya, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

La información recopilada por las boyas se visualiza de manera clara y accesible en la HMI. Cada nivel, al ser detectado, se refleja visualmente en la interfaz, permitiendo al operador observar fácilmente el estado actual del tanque. Además, se implementa una indicación visual que destaca el nivel específico alcanzado, ya sea alto, medio o bajo.

Concluyendo la implementación de estados en los distintos actuadores, se adopta la misma metodología para la banda transportadora. Este componente se activa siguiendo el orden de marcha, la cual puede originarse tanto desde la Interfaz Hombre-Máquina como a través de pulsadores físicos. Asimismo, el sensor capacitivo, estratégicamente ubicado en la mitad de la banda transportadora, presenta sus estados en la HMI, lo que permite una monitorización detallada del proceso.

Cuando se emite el orden de marcha, ya sea mediante el HMI o pulsadores físicos, la banda transportadora inicia su accionamiento. Este proceso, guiado por la misma lógica de encendido y apagado, asegura un control preciso del movimiento de la banda. La sincronización entre la orden dada y la respuesta de la banda transportadora se integra de manera coherente en el sistema de control.

En paralelo, el sensor capacitivo desempeña un papel fundamental al detectar la presencia de un envase galonero en la mitad de la banda transportadora. Esta información se refleja instantáneamente en la HMI, donde se muestra un indicador específico, indicando que algo está siendo sentido en ese momento. Este aspecto contribuye a la transparencia y visibilidad del proceso, permitiendo al operador conocer en tiempo real cuándo el sensor ha detectado un objeto en movimiento.

La interacción entre la banda transportadora y el sensor capacitivo se traduce en un sistema eficiente de llenado de envases galoneros. Cuando el sensor detecta el envase, se da paso al proceso de llenado. Posteriormente, al completarse el llenado, la banda transportadora se activa nuevamente, siguiendo la metodología previamente establecida, para avanzar con el siguiente ciclo del proceso.

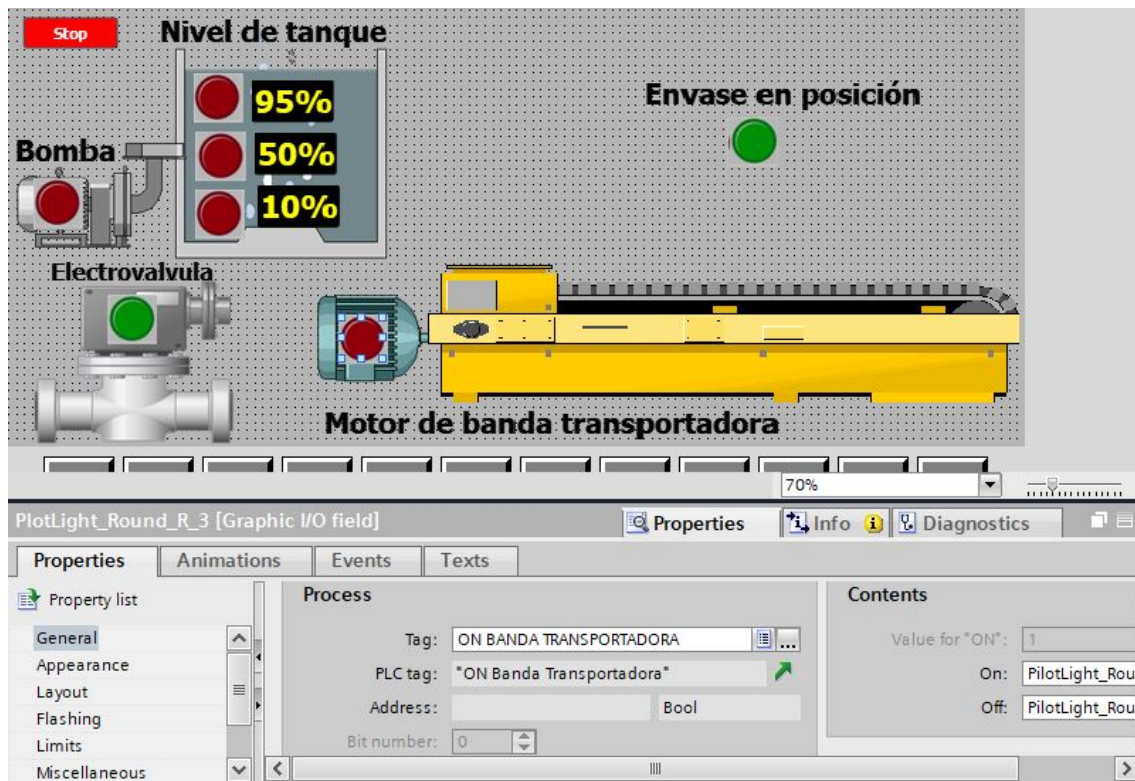


Figura 64. Configuración de los estados de la banda transportadora y Sensor Capacitivo, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-F2. Asignación de la variable Real proporcionada en mililitros: Dentro de este segmento, se aborda la asignación del dato real que será ingresado por el operador a través de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI). Este dato se asigna a la memoria, representando una variable crucial para el “Modo set” en el proceso.

La asignación del dato real no solo implica su almacenamiento en la memoria designada, sino que también establece una conexión directa con el sistema de llenado. Una vez convertido a litros, este valor guía el proceso de llenado de envases galoneros hasta alcanzar el volumen específico introducidos por el operador.

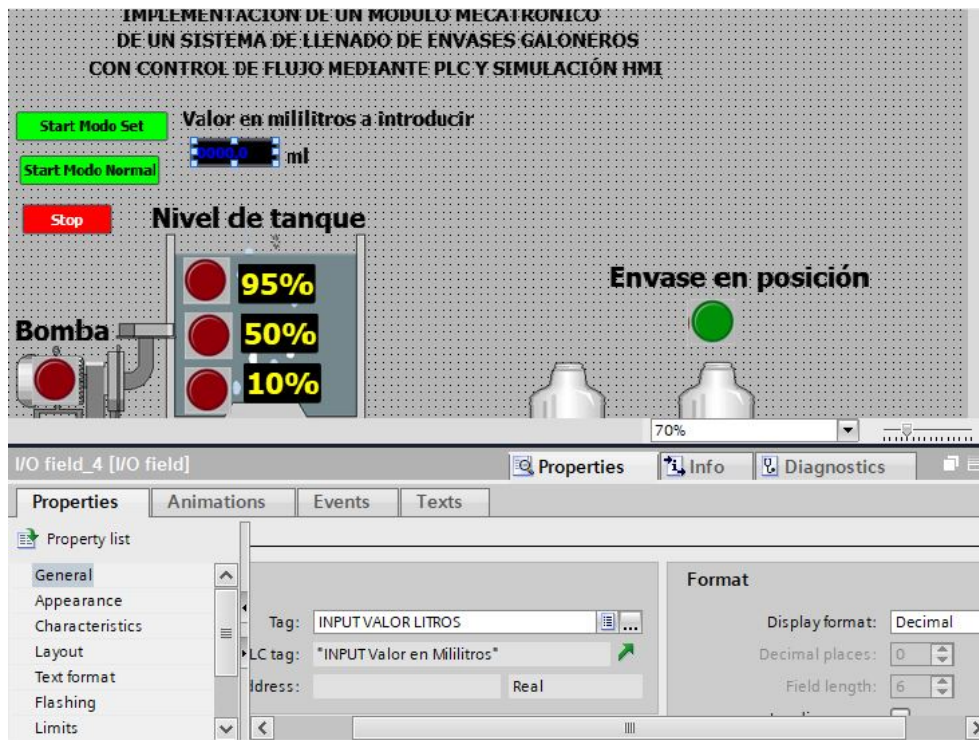


Figura 65. Asignación de la variable Real en mililitros introducida mediante el HMI, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En esta etapa del proceso, se procede a trabajar con el dato proporcionado por el operador, el cual es introducido a través de la Interfaz Hombre-Máquina. Este valor, esencial para el llenado, se somete a una operación de división por 1000 el cual es explicado en la programación, generando así un resultado expresado en litros. Esta conversión es clave para ajustar la unidad del dato a la escala necesaria para el control de llenado.

La operación de dividir por 1000 es crucial ya que permite transformar el valor original, inicialmente ingresado en mililitros, a una unidad más manejable y acorde al sistema de control, es decir, litros. Este proceso de conversión es un paso fundamental para garantizar la correspondencia adecuada entre la información proporcionada por el operador y la ejecución precisa del llenado.

La comparativa entre el valor convertido de litros y la lectura del sensor MPX5050DP, lectura la cual previamente es sometida a calculos varios, son herramientas esenciales para verificar la precisión y la conformidad del proceso de llenado con la cantidad solicitada por el operador.

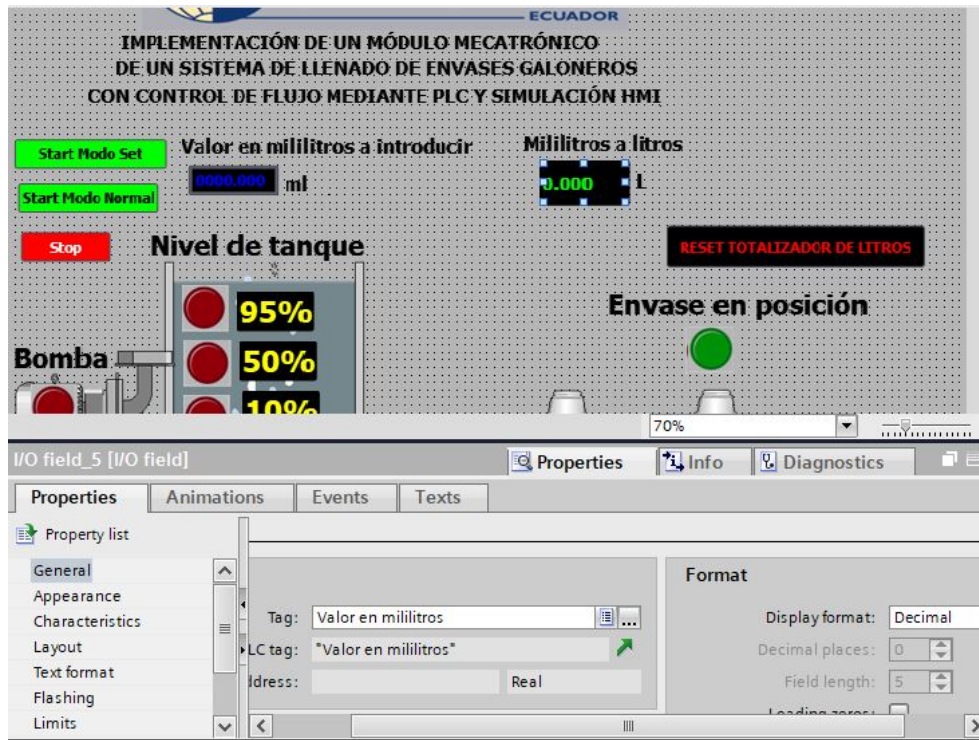


Figura 66. Asignación de la variable convertora de datos reales de mililitros a litros, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Finalmente, se asignan las variables que se mostrarán dentro del HMI, como los niveles actuales en litros sobre el reservorio principal y el valor (después de la resta) al cual debe llegar el nivel para que se cumpla tanto el modo normal como el modo set. Estos datos proporcionan una retroalimentación visual clave para los operadores, permitiéndoles monitorear el proceso de llenado y asegurarse de que se alcancen los niveles deseados de manera precisa y eficiente.

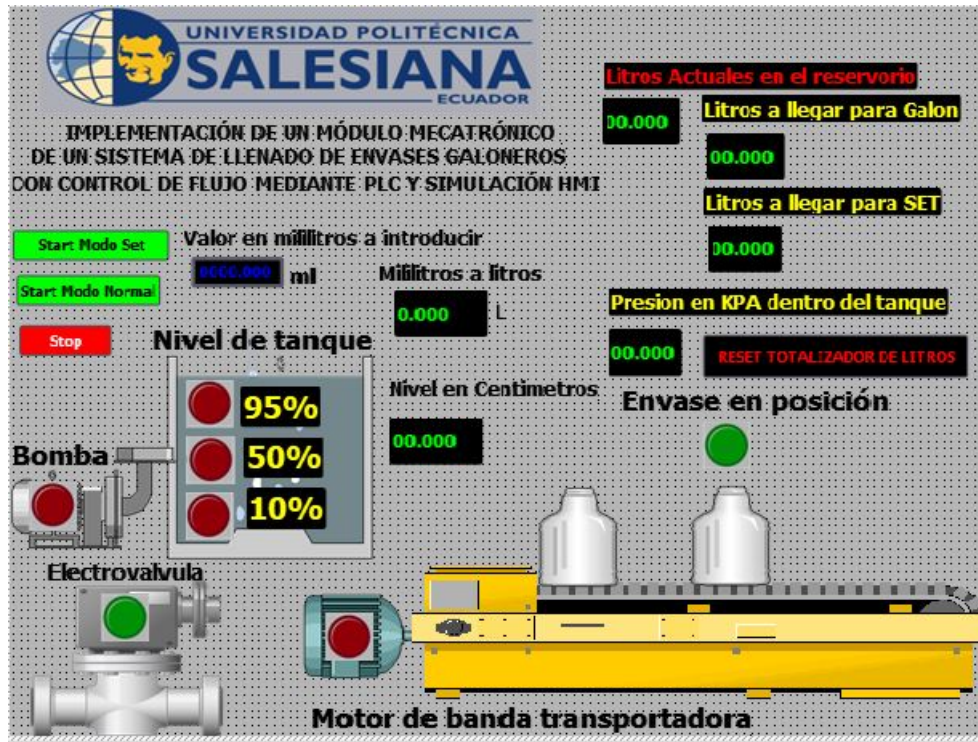


Figura 67. Diseño Final de interfaz hombre-maquina, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VI-G. Colocación y configuración de los componentes involucrados en el proceso de llenado

El punto de inicio después de la creación del módulo metálico con los detalles ya mencionados, se lleva a cabo la implementación integral de todos los componentes previamente mencionados. Este proceso se inicia con la realización de pequeñas pruebas piloto que involucran tanto al PLC como al disyuntor principal. Estas pruebas tienen como objetivo verificar la adecuada alimentación energética del PLC, asegurando que tenga la energía necesaria para operar de manera eficiente a 120vAC.



Figura 68. Prueba Piloto para verificar el correcto funcionamiento del PLC dentro de la caja de distribución, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Antes de verificar la correcta alimentación, se lleva a cabo la instalación de un distribuidor de carga. Este distribuidor actúa como un punto central desde el cual se distribuye la alimentación a dispositivos que operan con corriente alterna. Además, desde este distribuidor se realiza la subdivisión de la alimentación en bornes externos, suministrando así los 24VDC provenientes de la fuente interna del PLC. El propósito principal de este proceso es facilitar la distribución eficiente de la energía eléctrica a diversos dispositivos que requieren esta alimentación, como sensores capacitivos, sensores de nivel tipo boya, pulsadores, entre otros.

La instalación del distribuidor de carga permite una gestión ordenada y centralizada de la alimentación eléctrica, garantizando que cada dispositivo reciba la energía necesaria para su funcionamiento adecuado. La subdivisión de los 24VDC en bornes externos ofrece flexibilidad y facilidad en la conexión de los distintos componentes del sistema.

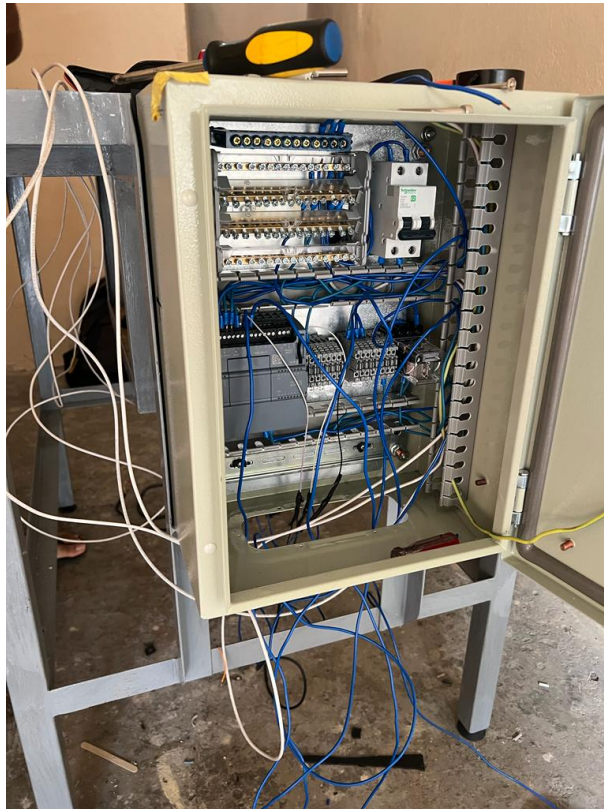


Figura 69. Cableado estructural en fase temprana de la distribución, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

A partir de aquí se introduce los componentes físicos para el control del proceso, como son los pulsadores de marcha, paro y paro de emergencia respectivamente. Por lo consiguiente las respectivas conexiones de la banda transportadora y electroválvula, alimentadas en parte desde el distribuidor de carga principal junto con el PLC.

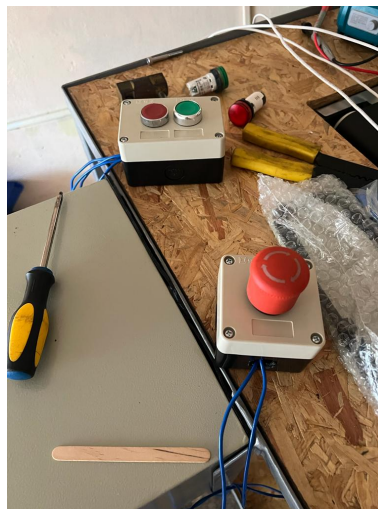


Figura 70. Colocación de pulsadores Marcha, paro y Boton de emergencia, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Una vez realizada las debidas conexiones, muy aparte se procede a realizar las primeras pruebas del variador de frecuencia en conjunto con la bomba trifásica, llevándose a cabo de manera independiente al proceso principal. El objetivo primordial de estas pruebas fue evaluar el funcionamiento del variador de frecuencia y comprender cómo

modular la frecuencia de trabajo de la bomba trifásica. Este enfoque se adopta con la premisa de garantizar que el proceso global se desarrolle de manera estable y eficiente.

Durante estas pruebas iniciales, se exploran diversas configuraciones de frecuencia para la bomba trifásica mediante el variador. El ajuste de la frecuencia permite evaluar el rendimiento de la bomba en distintas condiciones de operación. Esta fase de pruebas externas facilita la identificación de posibles desafíos y ajustes necesarios en la configuración del variador para optimizar el funcionamiento de la bomba.

La evaluación externa del variador y la bomba contribuye a establecer una comprensión detallada de su comportamiento y a perfeccionar la configuración para lograr un rendimiento óptimo. Esta metodología de pruebas fuera del proceso principal garantiza que los ajustes necesarios se realizan de manera controlada, sin afectar la operación completa del sistema automatizado.



Figura 71. Conexión de variador de frecuencia 220v a la bomba trifásica para pruebas independientes, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Durante la realización de la prueba independiente, se lleva a cabo la configuración de los parámetros específicos en el panel de botones del variador de frecuencia.

Este proceso incluye la introducción de datos relevantes correspondientes a la bomba trifásica, tales como el amperaje, las revoluciones por minuto, la alimentación eléctrica, y otros detalles esenciales para el correcto funcionamiento del sistema.

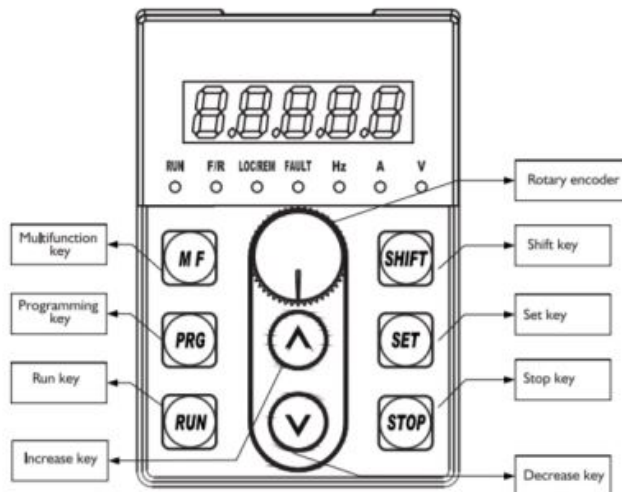


Figura 72. Panel del inversor [15].

En el panel de botones del variador, se ajusta las configuraciones que definían el comportamiento del variador de frecuencia. Estas configuraciones incluyeron la especificación de si el variador operaría en función de los parámetros preestablecidos en el panel mismo, o si estaría sujeto a un control externo, como el que se implementan posteriormente en el sistema automatizado.

La precisión en la configuración de estos parámetros asegura que el variador de frecuencia se alineará adecuadamente con las especificaciones de la bomba trifásica, lo que resulta esencial para garantizar un rendimiento óptimo y estable durante la operación real del sistema.

A continuación el detalle de los parametros a introducir para el arranque directo desde el panel del inversor, dependiendo de las especificaciones de nuestro actuador:

ARRANQUE DIRECTO DESDE EL PANEL DEL INVERSOR

PARAMETRO	VALOR	OBS
F0.00	2	Tipo de control 0 - Vectorial (Baja velocidad - alto torque) 1 - V/F (Baja velocidad - bajo torque)
F0.01	0	Modo de funcionamiento 0 - Panel del inversor 1 - Bornera externa 2 - Comunicación
F0.02	0	Control de frecuencia 0 - Panel del inversor (F0.05) 1 - AI1 2 - AI2 3 - AI3
F0.07	60HZ	Máxima frecuencia de salida
F0.08	60HZ	Límite superior de frecuencia
F0.05	60HZ	Colocar frecuencia deseada
F2.01	KW	Colocar potencia de placa del motor en KW
F2.02	220V	Colocar voltaje nominal del motor
F2.03	A	Colocar corriente de placa del motor
F2.04	60HZ	Colocar frecuencia de placa del motor
F2.05	#	Colocar número de polos que indica la placa del motor
F2.06	RPM	Colocar velocidad nominal de placa del motor
F0.17	1	1 - El parámetro lo configuramos cuando el motor no se puede desenganchar de la carga

Figura 73. Configuración de arranque directo desde el panel del inversor [15].

Por lo consiguiente el arranque debe ser estipulado por el PLC, a continuación se detalla los parametros a configurar si es un componente externo el que controla el variador de frecuencia.

ARRANQUE POR BORNERA CON SELECTOR TRES POSICIONES O PLC

PARAMETRO	VALOR	OBS
F0.00	2	Tipo de control 0 - Vectorial (Baja velocidad - alto torque) 1 - V/F (Baja velocidad - bajo torque)
F0.01	1	Modo de funcionamiento 0 - Panel del inversor 1 - Bornera externa 2 - Comunicación
F0.02	0	Control de frecuencia 0 - Panel del inversor (F0.05) 1 - AI1 2 - AI2 3 - AI3
F0.07	60HZ	Máxima frecuencia de salida
F0.08	60HZ	Límite superior de frecuencia
F0.05	60HZ	Colocar frecuencia deseada
F2.01	KW	Colocar potencia de placa del motor en KW
F2.02	220V	Colocar voltaje nominal del motor
F2.03	A	Colocar corriente de placa del motor
F2.04	60HZ	Colocar frecuencia de placa del motor
F2.05	#	Colocar número de polos que indica la placa del motor
F2.06	RPM	Colocar velocidad nominal de placa del motor
F0.17	1	1 - El parámetro lo configuramos cuando el motor no se puede desenganchar de la carga
F5.10	0	Modo de conexión de bornera 0 - Dos cables modo 1 3 - Tres cables modo 2
F5.01	1	X1 Arranque de motor
F5.02	2	X2 Reversa

Figura 74. Configuración de arranque directo desde el PLC [15].

VII. RESULTADOS

El proceso de construcción de la estructura metálica se realiza con la ayuda de diferentes tipos de máquinas como amoladora, caladora, lijadora eléctrica, soldadoras entre otras. Para el montaje se requiere la ayuda de prensas manuales y escuadras imantadas, aplicando soldadora SMAW (Shielded Metal Arc Welding) o soldadura con electrodo revestido.



Figura 75. Soporte de la estructura metálica acoplada a la caja de distribución.

En el contexto de las verificaciones de resultados, es relevante destacar que se emplea la interfaz Hombre-maquina como una herramienta central. Además de botones pulsadores para gestionar los diversos modos inherentes que posee este proceso automatizado.



Figura 76. Verificación de HMI, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Además, para precisar aún más la lectura del sensor de presión en términos de nivel, se implementa una regresión lineal de los datos proporcionados por el sensor en relación con la altura del líquido en el reservorio. Esto se logra utilizando una regla colocada en el interior del reservorio como guía de referencia para la altura. A través de esta regresión lineal, se obtiene una correlación precisa entre la lectura del sensor y el nivel real del líquido, lo que mejora la exactitud y la fiabilidad de las mediciones.

Para garantizar una medición precisa y evitar que el líquido entre en contacto directo con el sensor de presión, se implementa un tubo de aire dentro del reservorio. Este tubo de aire crea un colchón de aire que separa el sensor del líquido, previniendo así cualquier interferencia que pueda afectar la lectura del sensor y asegurando mediciones confiables y consistentes del nivel de líquido en el reservorio.



Figura 77. Colocación de regla dentro del reservorio para la medición del nivel en centímetros, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

El monitoreo del comportamiento del sistema, incluyendo los valores de presión, nivel en centímetros y nivel en litros, se realiza a través del mismo bloque de funciones. Este bloque de funciones proporciona una visión integral del estado del sistema al procesar los datos del sensor de presión y realizar los cálculos correspondientes para determinar estos parámetros clave.

1			
2			
3	// Voltaje del Sensor MPC5010DP		
4	#PromedioFIJ01 := 0;	#PromedioFIJ01	0.0
5	FOR #j := 0 TO 10 DO	#j	-
6	#PromedioFIJ01 := #PromedioFIJ01	#PromedioFIJ01	-
7	#DELAY := T#5MS;	#DELAY	-
8	END_FOR;		
9	#vout := #PromedioFIJ01 / 10.0;	#vout	0.1527778
10			
11	// Presión en Kpa según gráfica 4 c		
12	#P := (#vout - #tolP * #Vs) / (#"Ve	#P	1.697531
13	#Level := (#P * 1000) / (#rho * #gr	#Level	17.37386
14	#Nivel_Final_enCM := 1.9259*#Level	#Nivel_Final_enCM	13.93732
15	#Relacion_Nivel_litros_enCM := (#Ni	#Relacion_Nivel_litros_enCM	17.37296
16	#Nivel_en_LITROS_Reservorio := -0.5	#Nivel_en_LITROS_Reservorio	16.93521
17	#"ValorFIJO_NIVEL-GALON" := #Nivel	#"ValorFIJO_NIVEL-GALON"	13.18521

Figura 78. Valores en tiempo real de las operaciones para el nivel, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VII-A. Validación del desarrollo del modo normal

En la fase de validación del modo normal, se implementa parámetros cruciales para asegurar la estabilidad del proceso de llenado de galones. Uno de los elementos clave fue establecer la frecuencia del variador de frecuencia en tres casos estables: 18.53 Hz, 23.50 Hz y 26.50 Hz. Esta variación en la frecuencia permite ajustar el flujo del líquido de manera precisa y eficiente durante el proceso de llenado, exceder o reducir este valor ya puestos a

prueba, afectaría el accionar de la bomba y, por ende, la medición del galón.

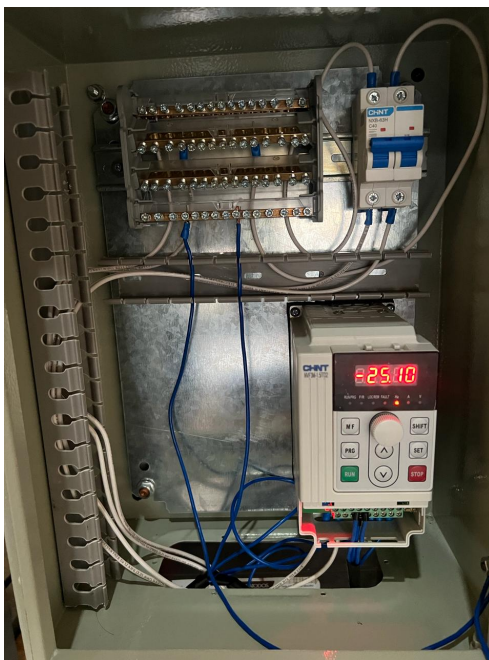


Figura 79. Parametrización del variador de frecuencia, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Cabe resaltar que, como medida de protección, se utiliza un reservorio aparte, con el cual se evita el riesgo excesivo del líquido por fallos en los parámetros. Dentro de este reservorio, se adjunta el envase galonero.



Figura 80. Prueba piloto del modo normal en reservorio externo, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

La activación del modo normal puede llevarse a cabo de dos maneras: físicamente mediante el pulsador de color verde o a través del HMI al presionar el pulsador "Start modo Normal". Esta flexibilidad permite un control manual

directo y una integración efectiva con la interfaz de usuario.



Figura 81. Llenado de envase galonero, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Dentro de la programación correspondiente a este modo, se establece un margen de error de hasta 0.10 litros. Esta consideración tiene como objetivo garantizar que el sistema pueda adaptarse a posibles variaciones en el proceso de llenado, proporcionando una tolerancia para lograr la cantidad precisa de 3.75 litros, que representa un galón.

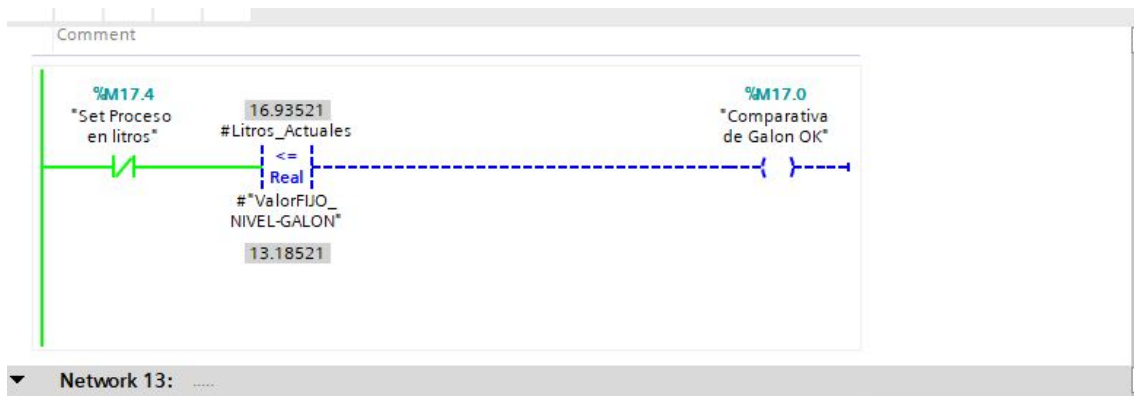


Figura 82. Comparativa para activación de modo galón completado, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Para verificar que se suministren exactamente 3.75 litros de agua desde el reservorio principal, se monitorea la cantidad de litros sobre el tanque mediante el bloque de funciones del sensor de presión. Al observar la cantidad en litros sobre el tanque, restamos 3.75 para determinar el nivel al que debe llegar el líquido para cumplir con el llenado del galón. Por ejemplo, si el sensor muestra 16.93521 litros, significa que el nivel debe alcanzar 13.18521 litros para completar el llenado. Este proceso garantiza un llenado preciso y confiable del galón.

Se valida el modo normal con la configuración de estos parámetros, ya que cualquier modificación podría afectar el proceso de llenado, dando así algún tipo de llenado erróneo.

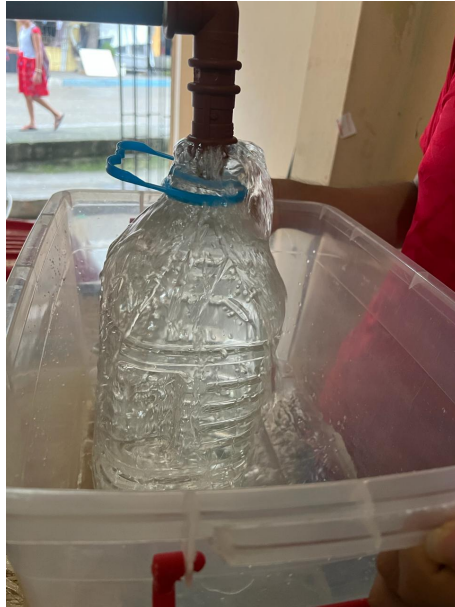


Figura 83. Llenado erroneo en el modo normal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

VII-B. Validación del desarrollo del modo set

Durante la validación del modo set, se establece un punto de referencia de 2 litros o 2000 mililitros, que fueron ingresados manualmente en el HMI.

Dentro del modo set, se utilizan las mismas frecuencias en el variador que fueron descritas anteriormente para garantizar un llenado preciso y consistente del galón. Estas frecuencias previamente establecidas han demostrado ser estables y adecuadas para el proceso de llenado.



Figura 84. Introducción de parámetros en el modo set, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Como se puede observar en la figura anterior, al introducir 2000 mililitros en el HMI, se establece que equivalen a 2 litros. Por lo tanto, estos 2 litros se restan al nivel actual del reservorio, lo que resulta en un nuevo valor fijo al cual el nivel debe llegar para que se cumpla esta función de llenado establecida en el modo set.



Figura 85. Comparativa para activación de modo set completado, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

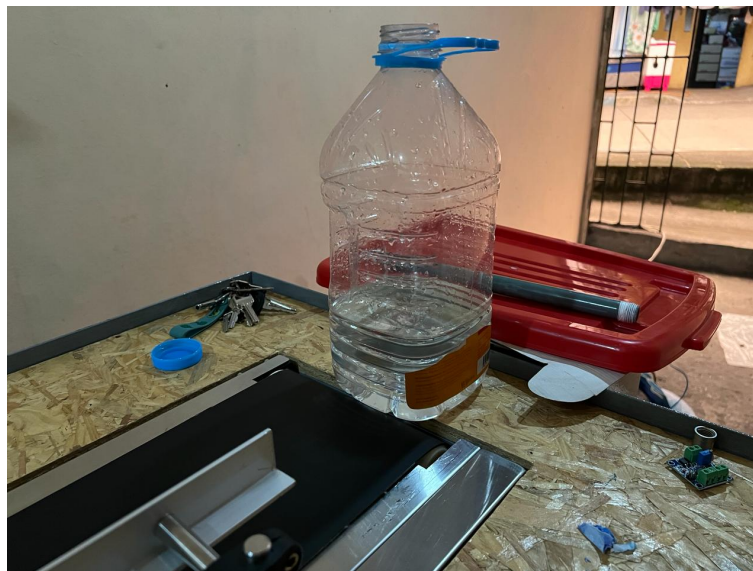


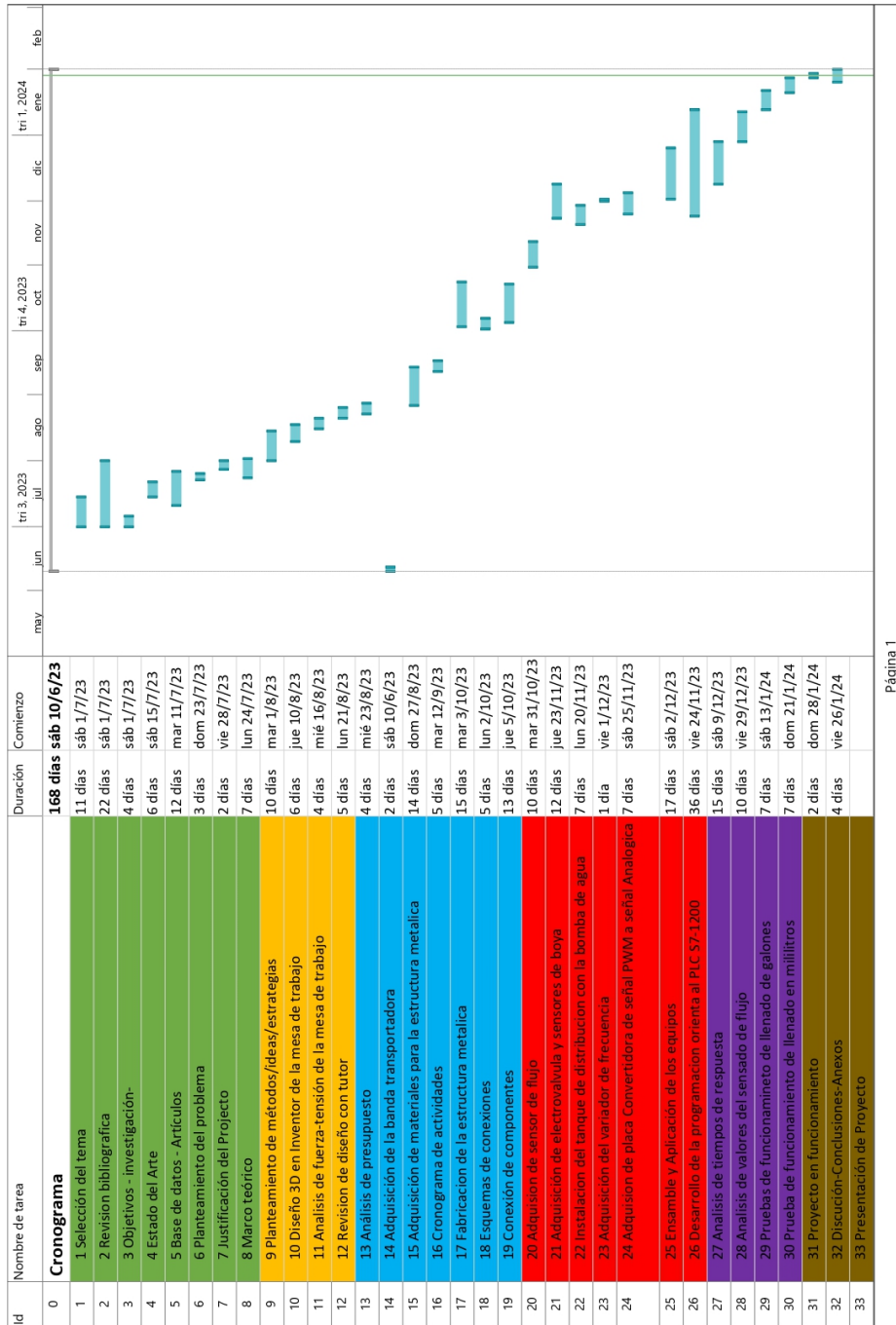
Figura 86. llenado de galón a 2 litros establecidos, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

En resumen, la validación del modo set se lleva a cabo con un enfoque meticuloso en la precisión, utilizando el punto de referencia de 2 litros y estableciendo una tolerancia de error de 0.1 mililitros para asegurar un llenado seteado confiable y preciso. Este nivel de detalle contribuye a la efectividad y confiabilidad general del sistema automatizado.

Por último y no menos importante, es crucial destacar que el sistema cuenta con un mecanismo de seguridad integral. Este se activa mediante los sensores de nivel tipo boya ubicados estratégicamente en el reservorio principal. Uno de estos sensores, colocado en la parte inferior del recipiente, contribuye a este sistema de seguridad. Si este no se activa, el sistema bloqueará cualquier acción adicional. Esta función de seguridad es esencial, ya que indica que no hay agua presente en el reservorio, evitando así cualquier operación potencialmente peligrosa.

VIII. CRONOGRAMA

A continuación se muestra el cronograma de trabajo en la figura



Página 1

Figura 87. Cronograma de actividades, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

IX. PRESUPUESTO

Nombre del elemento	Descripción	Cantidad	Valor total
PLC S7-1200	Controlador Programable	1	350\$
Banda Transportadora SILTEK	Banda Transportadora QC600	1	495\$
Caja de distribución	40x30x20	2	103.18\$
Repartidor de carga	4 polos 125A	2	54\$
Bomba de agua Trifasica	120v/220v	1	120\$
Disyuntor	220v y 120v	2	12.94\$
Barra Neutro	10mm	1	5.87\$
Riel Ding	1m	2	3.40\$
Sensor capacitivo NPN	24v	1	35.30\$
Variador de frecuencia CHINT NVF3M 220v	Output 7.5 Amp	1	268\$
Estructura metalica	Angulos metalicos/Tubos cuadrados	1	120\$
Tablones de madera	100cm x 68cm	2	25.97\$
Cable AWG 12	5m	1	9.64\$
Cable AWG 16	10m	1	18.66\$
Botón de paro emergencial	Botón	1	9.99\$
Sensor MPX5050DP	Sensor de presión diferencial	1	30\$
Jumpers	Jumpers para electrónica	70	7.99\$
Placa reductora de voltaje DC	Placa reductora de voltaje 50v a 5v	1	4\$
Electrovalvula NC	Normalmente cerrada a 120vAc	1	90\$
Sensores de nivel tipo boya	sensores de nivel 12-24vDC	3	45\$
Reservorio	Reservorio multifuncional	1	25\$
Enchufe blindado 220v	enchufe 3 patas	1	2\$
Enchufe blindado 120v	enchufe 3 patas	1	2\$
Amarras plasticas	Amarras plasticas gruesas	1	16.70\$
Tubería plastica moldeable	5m	1	4\$
Pulsador	Pulsador marcha y paro	2	9.99\$
Terminales tipo Puntero	100 unidades en un paquete	2	4\$
Caja para pulsador y boton	caja de 2 y 1 pulsadores	1	5.01\$
Relé	bobina de 120v	2	9.28\$
Socket para relé de potencia	socket	2	3.08\$
Bornera de paso	Bornera para riel ding	16	8.96\$
Puente para bornera	puente jumper	8	6\$
Tuberias 3/4	2m	1	24.87\$
Codos	codos para tuberias 3/4	5	16.97\$
SUBTOTAL MAQUETA			1946.80\$
Mano de obra		1	120\$
transporte	transporte publico y gasolina		60\$
Alimentación			70\$
SUBTOTAL COSTOS LOGÍSTICOS			250\$
TOTAL(MAQUETA + COSTOS LOGÍSTICOS)			2196.80\$

X. CONCLUSIONES

- Los procesos automatizados desempeñan un papel fundamental en el ámbito industrial, siendo esenciales incluso para pequeñas empresas en crecimiento. La implementación de maquinaria, ya sea totalmente automatizada o no, permite que estas microempresas cumplan con los requisitos de producción de productos o servicios específicos. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también posiciona a estas empresas emergentes como competidores viables frente a compañías establecidas en el mercado.

- El sensor MPX5050DP, diseñado originalmente para medir presión diferencial, se ha empleado en este proyecto para la medición del nivel en un reservorio. Sin embargo, su aplicación en este tipo de automatizaciones presenta desafíos debido a la velocidad de respuesta de la señal que emite, la cual tiende a ser bastante reducida. Para contrarrestar este inconveniente, se opta por ajustar las velocidades de extracción de la bomba a niveles mínimos, lo que permite que la señal del sensor se estabilice adecuadamente. De esta manera, se logra una medición más precisa y confiable del nivel del reservorio, a pesar de las limitaciones inherentes del sensor en este contexto específico.

- La programación de un proceso automatizado requiere una consideración cuidadosa de la velocidad con la que se establecerá. La falta de control en la velocidad de ejecución puede resultar en situaciones peligrosas, poniendo en riesgo la seguridad del operador y del entorno circundante. Esta precaución aplica a cualquier tipo de proceso automatizado, destacando la importancia de un control preciso para prevenir accidentes.

- Un componente esencial en cualquier proceso automatizado es la inclusión de un pulsador de emergencia. Este dispositivo proporciona una medida de seguridad crucial al permitir la detención completa e inmediata del proceso en situaciones de emergencia. La presencia de un pulsador de emergencia es imperativa para garantizar la seguridad tanto de los operadores como del equipo, cumpliendo con los estándares de seguridad en entornos industriales.

XI. RECOMENDACIONES

Durante la prueba independiente, se identificaron errores que obstaculizaban el arranque del variador de frecuencia, y se pudo atribuir estos problemas a varios factores identificados:

- Mala Introducción de Parámetros del Actuador: La configuración incorrecta de los parámetros específicos del actuador, como el tipo de motor, capacidad de corriente y otras características, puede afectar directamente el funcionamiento del variador de frecuencia.

- Tiempo de Aceleración y Desaceleración Insuficientes: Establecer tiempos de aceleración y desaceleración muy cortos puede generar conflictos en el proceso de arranque, ya que el sistema no tiene el tiempo necesario para adaptarse a cambios abruptos en la frecuencia.



Figura 88. Error de prueba en el variador de frecuencia por tiempo de aceleración corto, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

- Conexiones Incorrectas de las Líneas U, V, W: La mala conexión de las líneas U, V, W, que representan las fases de la bomba trifásica, puede resultar en un mal funcionamiento del variador y, por ende, en la incapacidad para arrancar el motor correctamente.



Figura 89. Error de prueba en el variador de frecuencia por mala conexión de las líneas, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Después de solucionar los distintos errores entre los parámetros introducidos al variador, se puede dar una prueba piloto correcta, estableciendo el uso que se le vaya a dar.



Figura 90. Prueba Piloto del variador de frecuencia junto al motor trifásico, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

Es relevante destacar que antes de realizar cualquier conexión con voltajes elevados, se recomienda encarecidamente establecer un diagrama detallado. Este diagrama actúa como una guía visual que permite verificar que las conexiones estén configuradas con la alimentación eléctrica correcta. Este paso es fundamental para prevenir problemas eléctricos potencialmente peligrosos.

La creación de un diagrama previo a las conexiones eléctricas sirve como una herramienta de planificación y verificación, asegurando que cada componente esté conectado de manera precisa y segura. Este enfoque ayuda a minimizar el riesgo de cortocircuitos, conexiones incorrectas o cualquier otra anomalía eléctrica que podría comprometer la integridad del sistema.

REFERENCIAS

- [1] P. B. ALLDATASHEETCOM, *MPX5050 MOTOROLA*. dirección: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/5186/MOTOROLA/MPX5050DP.html>.
- [2] C. G. S. Andrés, *Medidor de Nivel de Agua por Presión con Arduino*, feb. de 2020. dirección: <https://controlautomaticoeducacion.com/arduino/medidor-de-nivel-de-agua-por-presion-con-arduino/>.
- [3] M. R. Despaine, *Controlador lógico programable basado en hardware reconfigurable*. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2011.
- [4] M. L. Dezaki, S. Hatami, A. Zolfagharian y M. Bodaghi, «A pneumatic conveyor robot for color detection and sorting,» *Cognitive Robotics*, vol. 2, págs. 60-72, ene. de 2022, ISSN: 26672413. DOI: 10.1016/j.cogr.2022.03.001.
- [5] DIPAC, *Catálogo perfiles estructurales ángulos "l" doblado*. dirección: <https://dipacmanta.com/producto/perfiles/perfiles-estructurales/angulo-doblado/>.
- [6] DIPAC, *Catálogo Tubo Estructural Cuadrado*. dirección: <https://dipacmanta.com/producto/tubos/tubo-estructural/tubo-estructural-cuadrado-negro/>.
- [7] C. ELECTRIC, «Nvf3m - Manual de usuario,» dirección: <https://www.chint.com.ar/storage/NVF3M%20-%20MANUAL%20DE%20USUARIO.pdf>.
- [8] F. J. Z. Farías, M. E. S. Pacheco y S. R. C. Soto, «Análisis de rentabilidad, endeudamiento y liquidez de microempresas en Ecuador,» es, *RETOS. Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, vol. 11, págs. 235-249, mar. de 2021, ISSN: 1390-8618. dirección: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-86182021000200235&nrm=iso.
- [9] G. F. M. Feijoó y A. A. P. Pibaque, *Control de un variador de frecuencia altivar 320 con plc modicon m241 a través de comunicación modbus rtu para el laboratorio de automatización industrial*. Mar. de 2021.
- [10] E. V. J. Galarza, «Proyecto de factibilidad para la creación de una planta envasadora de agua purificada por medio de ozono, en el cantón Atacames, provincia de esmeraldas en el año 2010, 2010.
- [11] C. E. Y. Gallegos, «Análisis del mercado del sector de embotelladoras de agua sin gas en la ciudad de esmeraldas,» dic. de 2016.
- [12] F. R. García, «Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0,» *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, págs. 177-191, 2 mayo de 2020, ISSN: 16574583. DOI: 10.18273/revuin.v19n2-2020019.
- [13] S. Hou, M. Xu y S. Qu, «The "Gravity" for global virtual water flows: From quantity and quality perspectives,» *Journal of Environmental Management*, vol. 329, pág. 116984, 2023, ISSN: 0301-4797. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116984>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722025579>.
- [14] V. T. C. Inguilán y C. W. G. Romero, *Automatización del proceso de embotellado de galones de agua en la planta purificadora de agua Santa Isabel*, feb. de 2019.
- [15] Laucol, *Documento informativo guía rápida de configuración variador Chint nvf3-nvf300 nvf300m*. dirección: www.laucol.com.ec.
- [16] E. A. G. Loor, J. V. C. Wilson, H. Y. L. Zambrano y R. A. C. Mosquera, «Plantas purificadoras: Realidad del agua embotellada en Ecuador,» vol. 6, págs. 692-705, 2 2020. DOI: 10.23857/dc.v6i3.1241. dirección: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index>.
- [17] A. A. Macedo, «*Agua Premium Ice Swan*», sep. de 2014.
- [18] E. Moreno, *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*: Valencia, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2020.
- [19] P. A. Neira, J. A. Hernandez y L. AranedaSaldías, *Protocolo Hart, Wirelesshart, Isa 100.11a*, mayo de 2019.
- [20] E. Pino, L. Ramos, O. Avalos et al., «Factors affecting depletion and pollution by marine intrusion in the La Yarada's coastal aquifer, Tacna, Peru,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 10, págs. 177-213, 5 2019, ISSN: 20072422. DOI: 10.24850/j-tyca-2019-05-07.
- [21] C. Santo y M. Maribel, *El nivel de apalancamiento y solvencia de las empresas del sector elaboración de bebidas no alcohólicas: producción de aguas minerales y otras aguas embotelladas (CIU 1104)*, 2018.
- [22] C. W. de Silva, *Mechatronics A Foundation Course*. Valencia, España: Taylor Francis Group, 2010.

- [23] E. Tisalema y E. Gehison, *Capital intelectual y rendimiento financiero en el sector manufacturo de bebidas del Ecuador*, 2021.
- [24] M. Zapata, L. Topón y E. Tipán, *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*, jun. de 2021.
- [25] Q. Zhang, S. Shen, H. Li et al., «Digital twin-driven intelligent production line for automotive MEMS pressure sensors,» *Advanced Engineering Informatics*, vol. 54, oct. de 2022, ISSN: 14740346. DOI: 10.1016/j.aei.2022.101779.

APÉNDICE A
PLANOS

Planos de las piezas acotadas en inventor 2023:

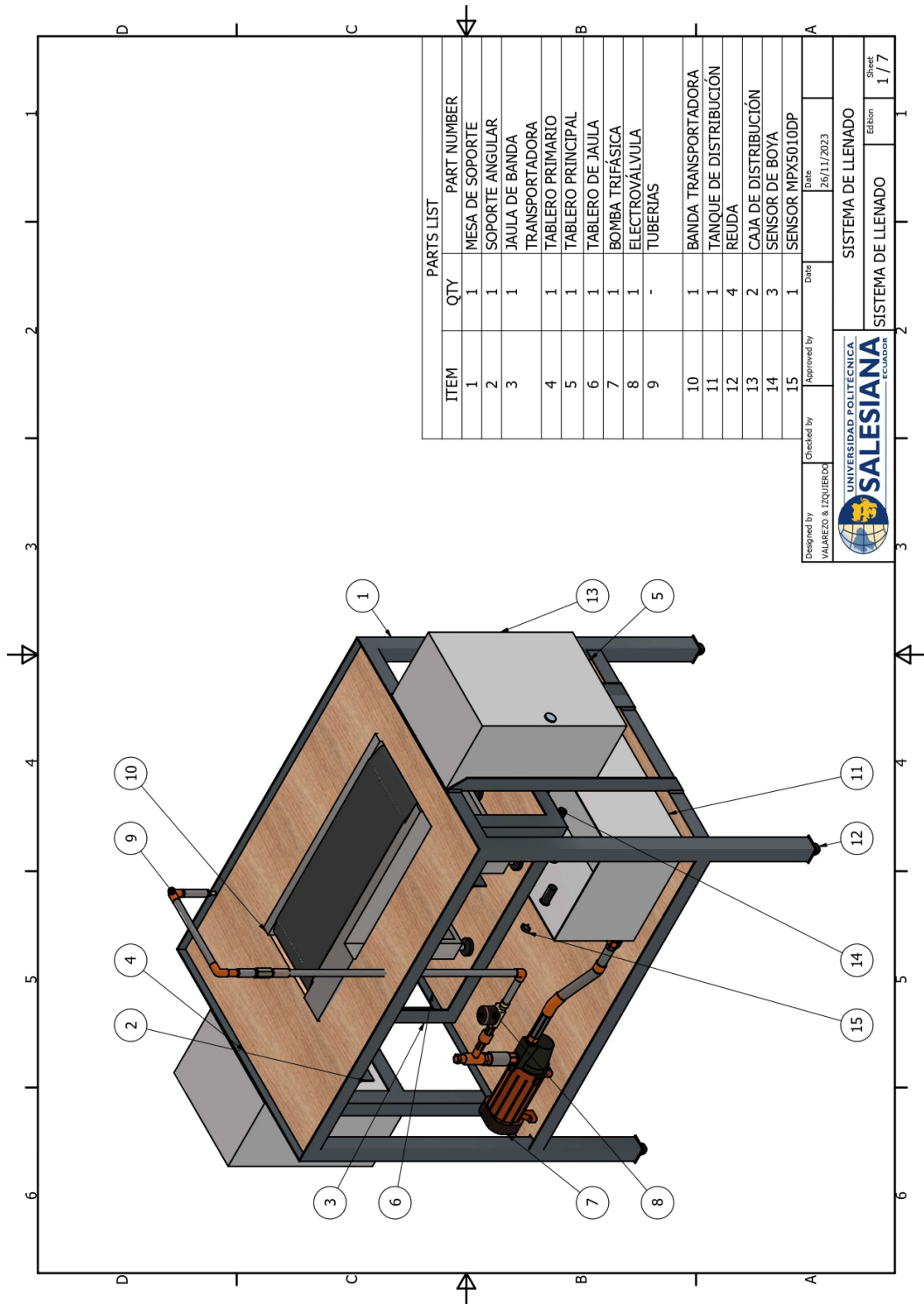


Figura 91. Em, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

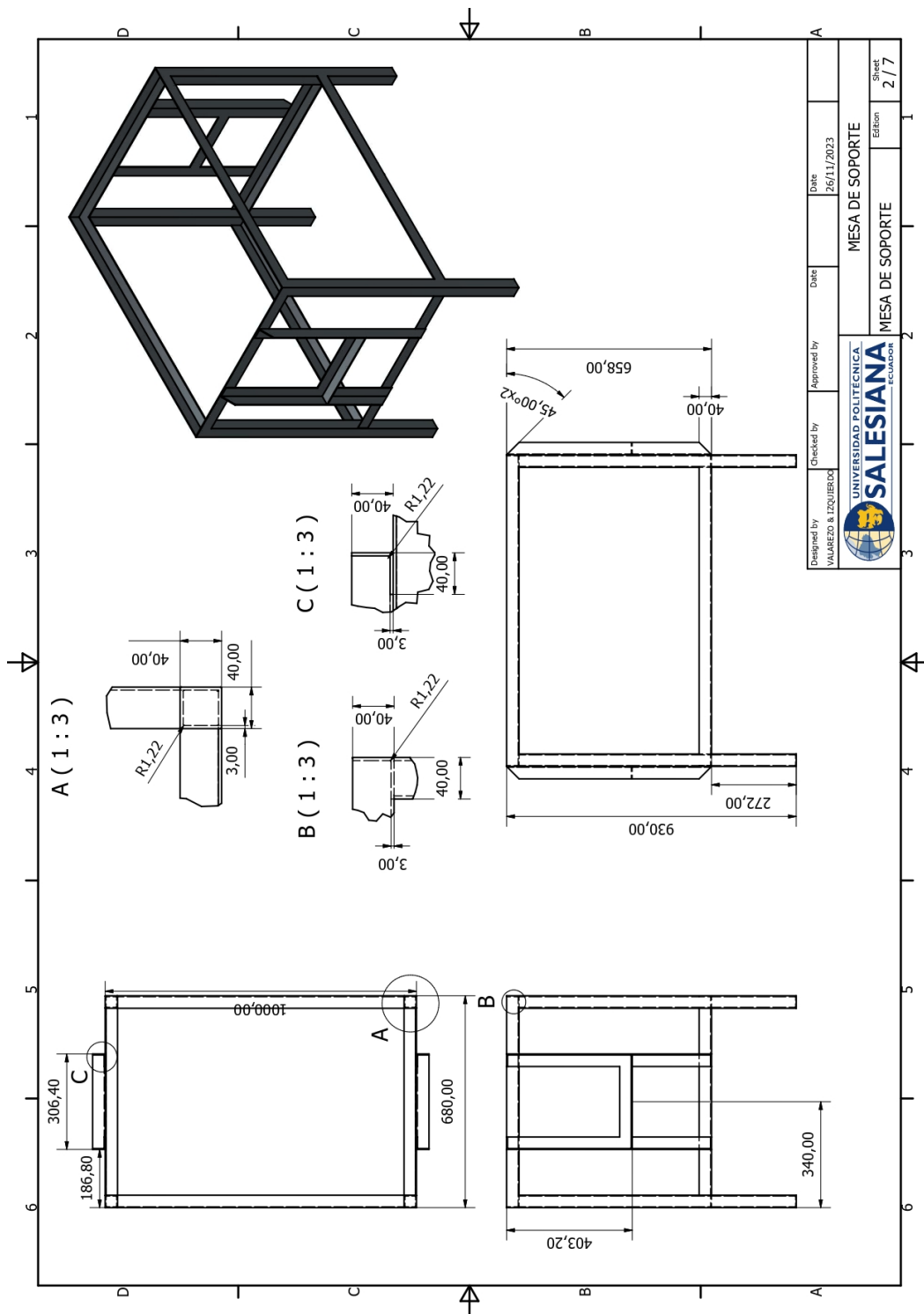


Figura 92. Lámina acotada de la mesa de soporte, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

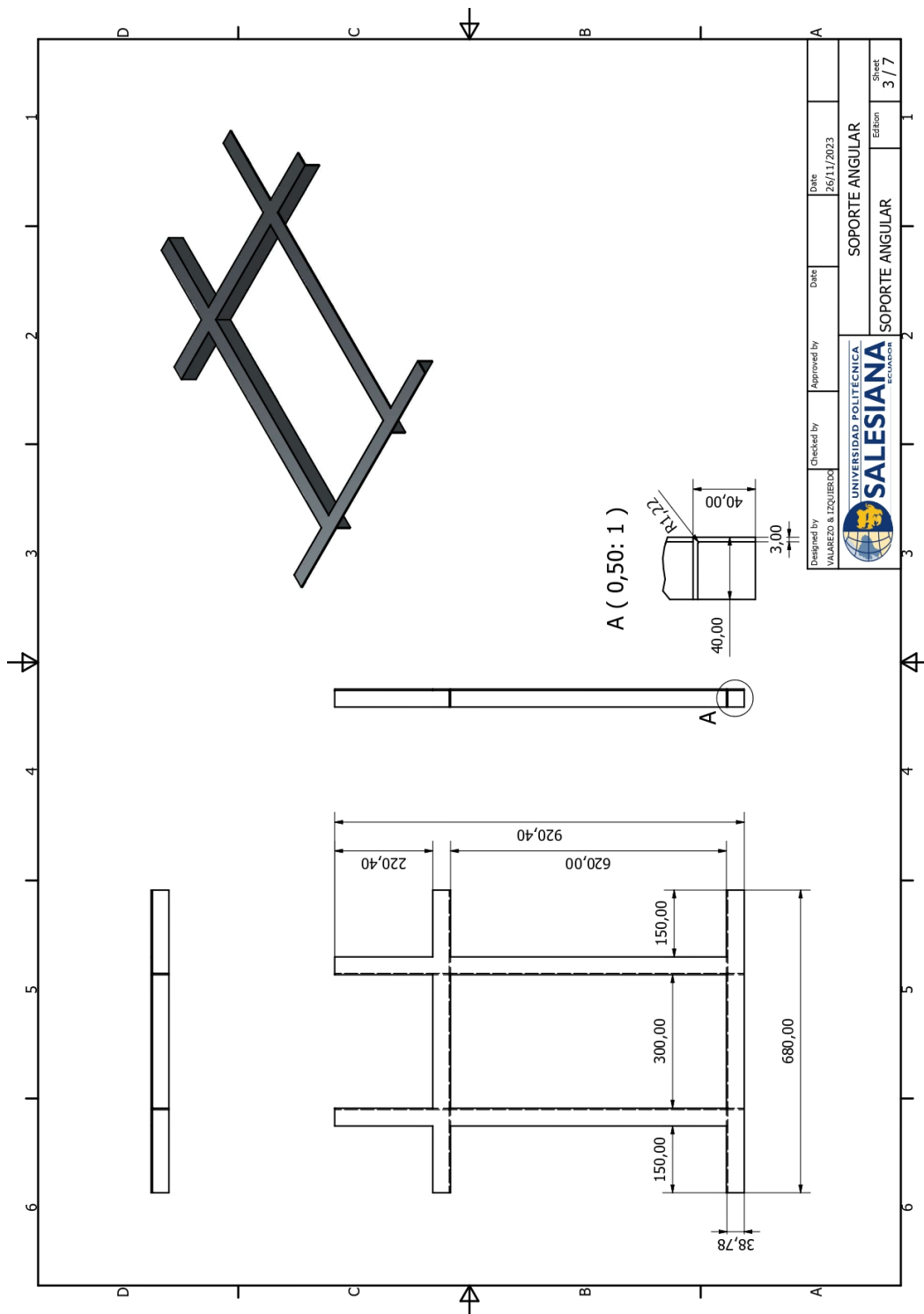


Figura 93. Lámina acotada del soporte angular, por A. Valarezo y R. Izquierdo, Autodesk Inventor

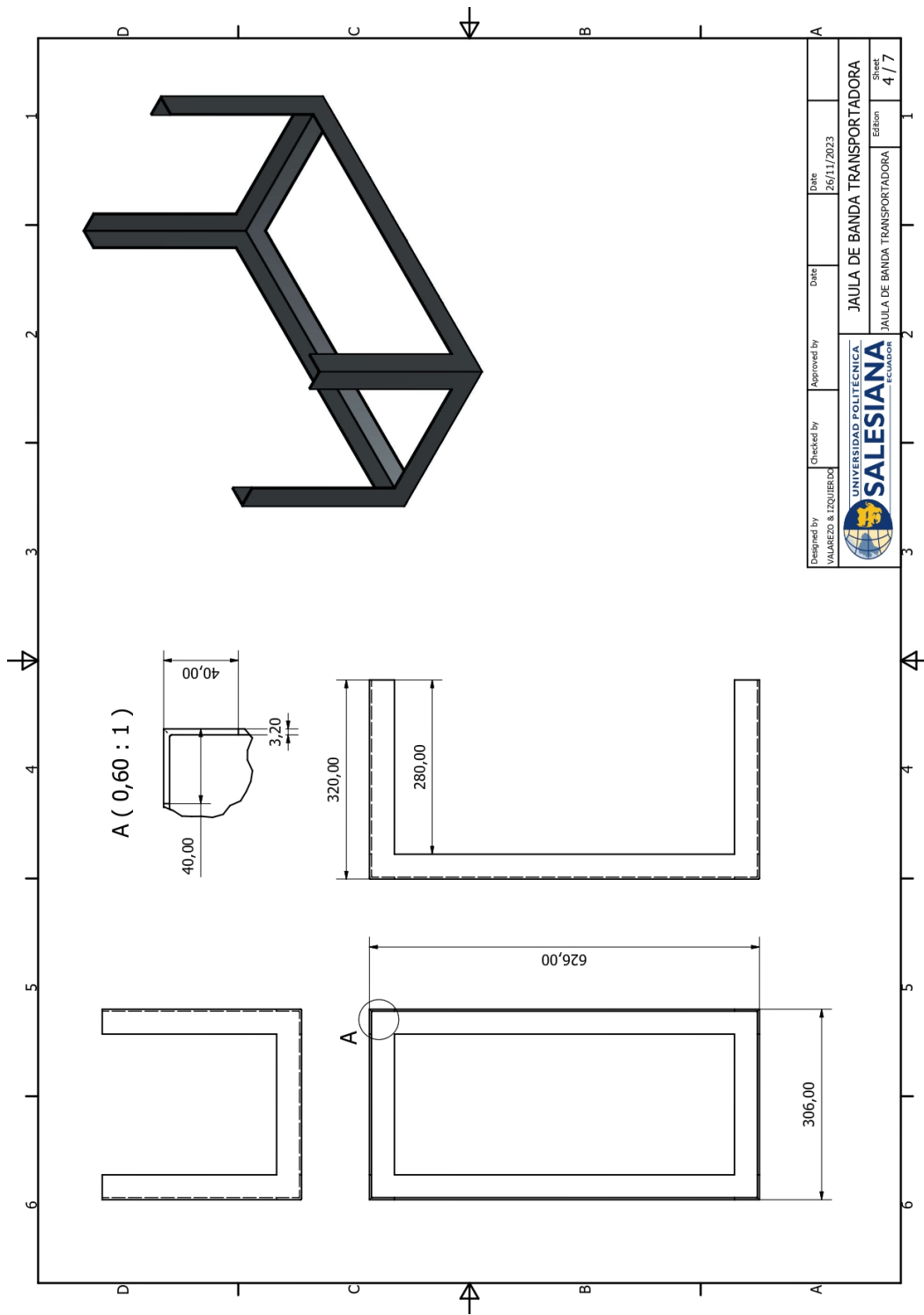


Figura 94. Lámina acotada de la jaula de banda transportadora, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

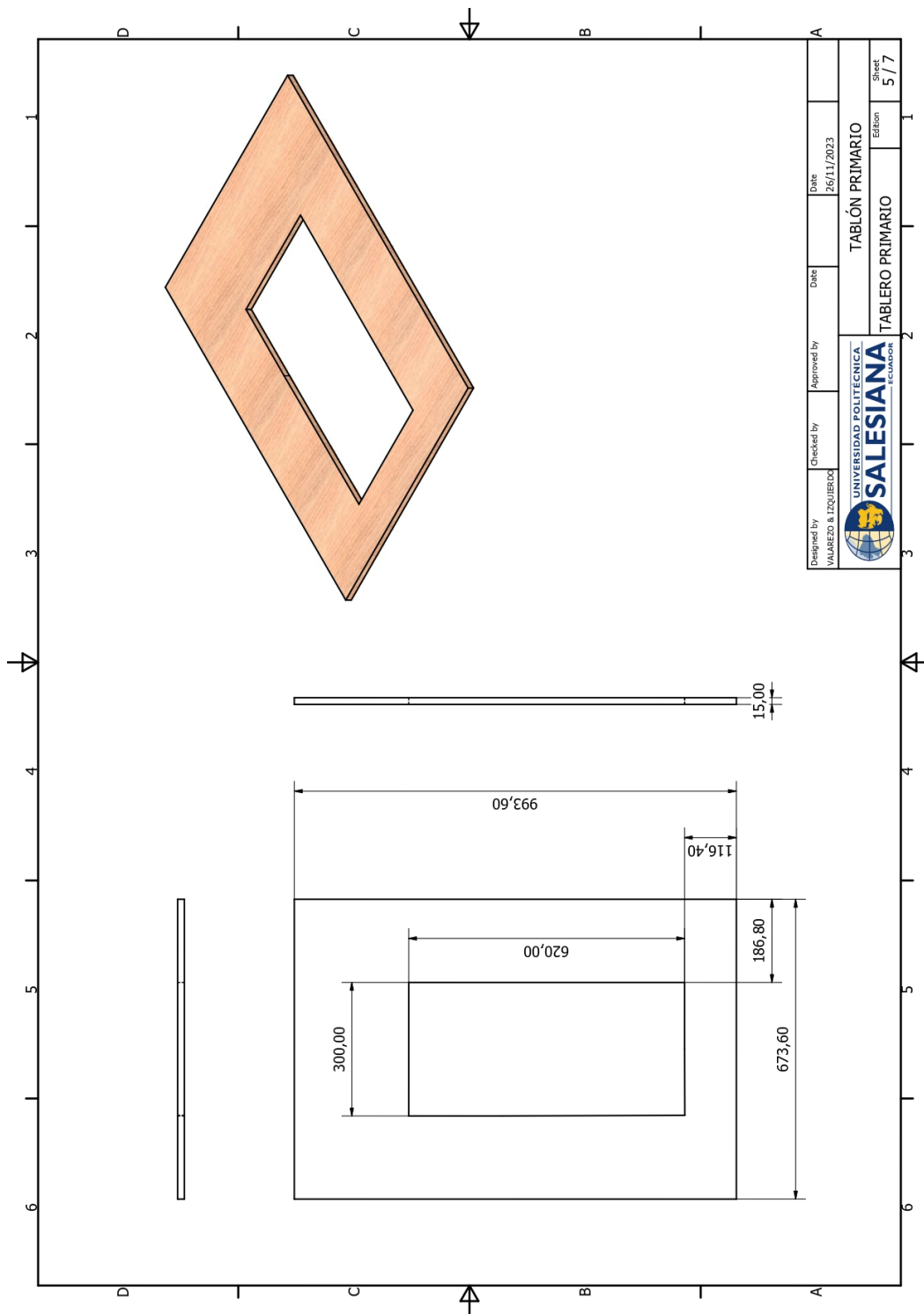


Figura 95. Lámina acotada del tablón primario, A. Valarezo y R. Izquierdo.

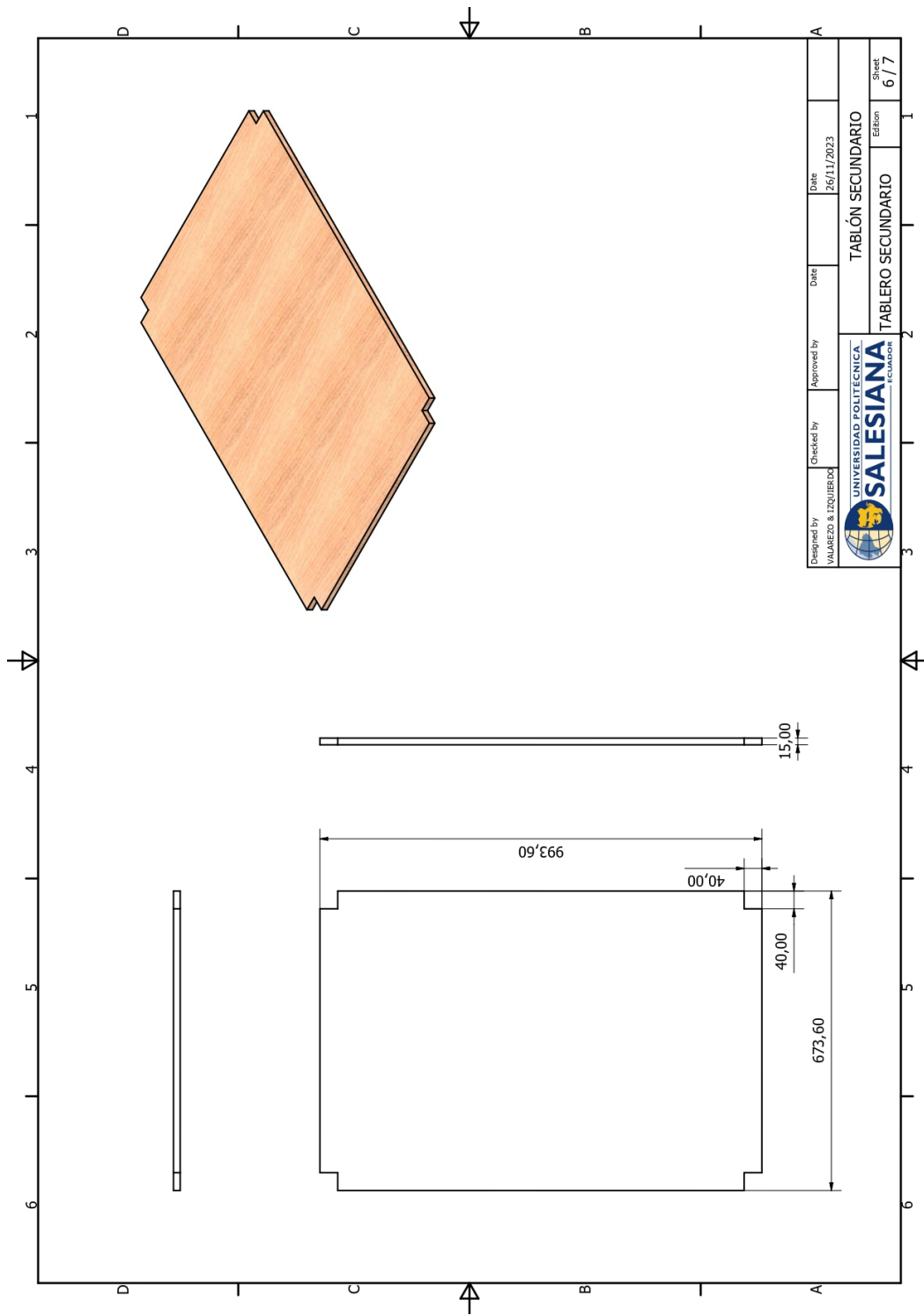


Figura 96. Lámina acotada del soporte del servomotor, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

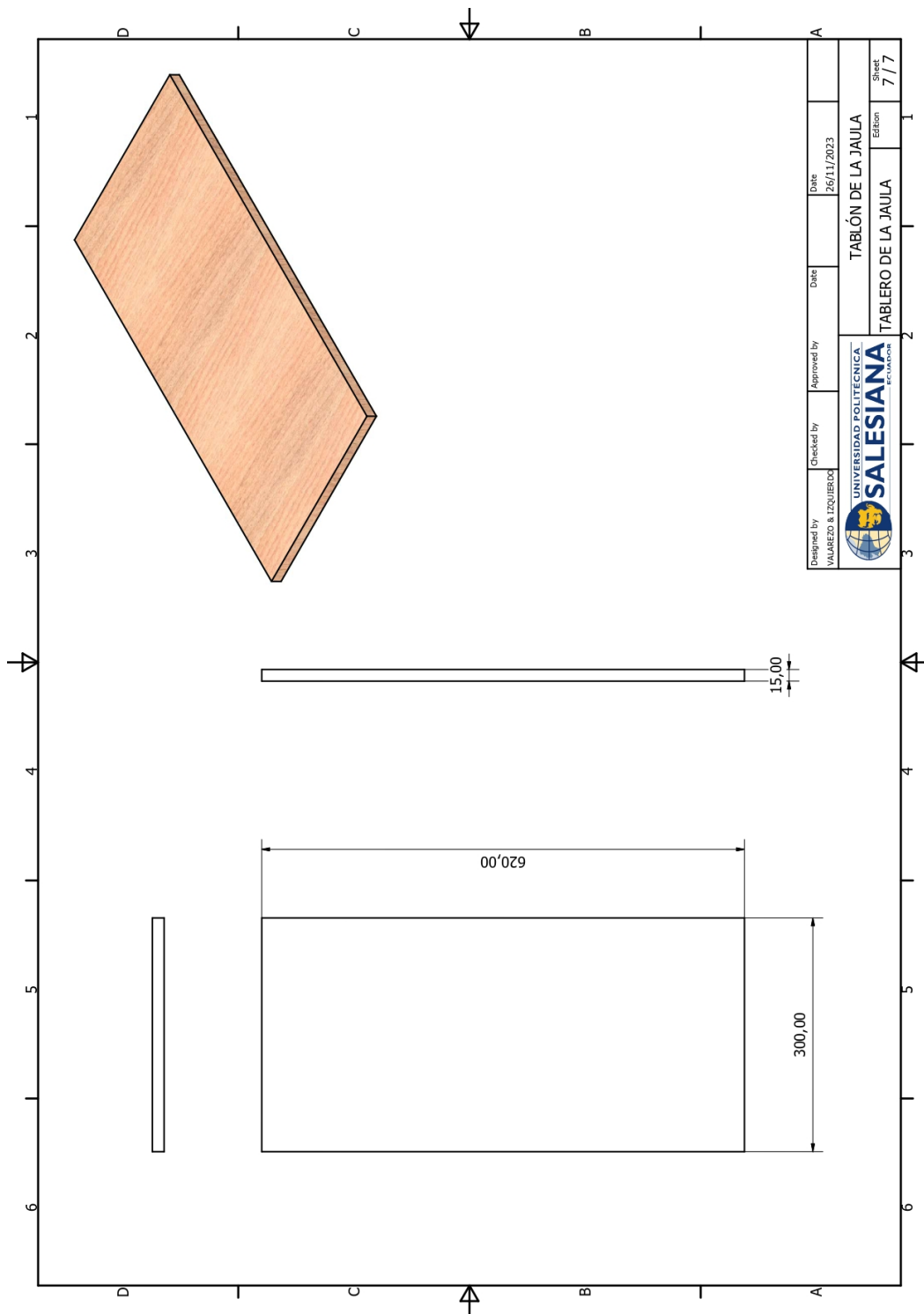


Figura 97. Lámina acotada del tablón de la jaula, por A. Valarezo y R. Izquierdo.

APÉNDICE B
CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO



Figura 98. Soporte de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.



Figura 99. Montaje de banda transportadora junto con la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.



Figura 100. Incorporación de la jaula para el soporte de la banda transportadora, por A. Valarezo y R. Izquierdo.



Figura 101. Caja de distribución acoplado al soporte mecánico, por A. Valarezo y R. Izquierdo.



Figura 102. Incorporación de las ruedas, por A. Valarezo y R. Izquierdo.



Figura 103. Instalación de bomba Trifásica al soporte de madera de la estructura metálica, por A. Valarezo y R. Izquierdo.



Figura 104. Colocación de tuberías para el traslado de agua desde el reservorio principal, por A. Valarezo y R. Izquierdo.