

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**REPOTENCIACIÓN DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL DEL  
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL DE LA ESFOT**

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR  
EN ELECTROMECAÁNICA**

**JORDAN ANTHONY CHURUCHUMBI CAIZA**

**DIRECTOR: ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ**

**DMQ, agosto 2023**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Jordan Churuchumbi declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**JORDAN CHURUCHUMBI**

**jordan.churuchumbi@epn.edu.ec**

**jordananthony806@gmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jordan Churuchumbi, bajo mi supervisión.

---

**ALAN CUENCA**

**DIRECTOR**

**alan.cuenca@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Jordan Churuchumbi

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de integración curricular está dedicado a mi madre de todo corazón, dado que sin ella no habría llegado a donde estoy, tu bendición y consejos a lo largo de mi vida fueron pilares en mi formación académica y personal. Por esta razón el presente trabajo te lo doy en retribución a tu paciencia y gran amor de madre. Te amo madre mía.

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por permitirme esta oportunidad, a mi familia quien día a día siempre estuvieron apoyándome a lo largo de mi formación académica, a mi universidad por convertirme en un profesional el cual sea útil en la sociedad, quiero agradecer a mis maestros quienes fueron una pieza clave en este proceso integral de formación, a mis amigos y compañeros con los cuales viví y atesorare tan bellos recuerdos.

Finalmente agradezco a la persona que lee este documento por permitir que mis experiencias y conocimientos sean útiles dentro de su repertorio de información mental.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
Control de nivel .....	3
Sensor ultrasònic.....	5
Sensor UGT513 .....	6
2 METODOLOGÍA.....	7
2.1 Requerimientos del sistema.....	7
Reutilizacion de elementos.....	8
Selecciòn de elementos .....	16
2.2 Planos esquemàticos.....	17
Planos mecànicos .....	17
Planos elèctricos .....	18
Diagrama P&ID .....	18
2.2 Construcciòn de la estructura de la planta de control de nivel.....	18
Rediseño de la estructura.....	18
Conexiòn de tuberias y acople de bombas .....	21
Canaletas y cableado elèctrico.....	23
Armado del gabinete de control.....	24
Calibraciòn del sensor ultrasònic UGT 513 .....	27
2.3 Algoritmo de control e interfaz Humano Màquina .....	29
Algoritmo de control .....	29

Interfaz Humano Máquina .....	30
3 RESULTADOS .....	35
3.1 Pruebas de funcionamiento .....	35
Prueba de conductividad .....	35
Prueba de comunicación con el PLC .....	36
Prueba de fugas de agua .....	38
Prueba de control de nivel.....	39
3.2 Manual de usuario y mantenimiento .....	40
4 CONCLUSIONES .....	42
5 RECOMENDACIONES .....	44
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
7 ANEXOS.....	46
Anexo I. Reporte de similitud obtenido de Turnitin .....	47
Anexo II. Certificado de funcionamiento del trabajo de integración curricular ...	48
Anexo III. <i>Datasheet</i> de los elementos .....	49
Anexo IV. Planos esquemáticos y diagrama P&ID .....	51
Anexo V. Diagrama de flujo.....	56
Anexo VI. Algoritmo de control de nivel.....	57

## RESUMEN

La realización del presente proyecto responde a la necesidad de repotenciar la planta de control de nivel para de esta manera mejorar un módulo didáctico ya existente el cual se encontraba inhabilitado, así los estudiantes de la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) tendrán a su disposición un módulo que les será útil en materias relacionadas como: Control Electromecánico, Control y Sistemas HMI e Instrumentación.

El presente proyecto se encuentra dividido en siete capítulos los cuales se detallan a continuación:

Capítulo 1: Introducción, donde se describe el componente a desarrollarse, contiene los objetivos planteados para el proyecto, así como su alcance donde se indica el resultado a obtenerse y las acciones necesarias para lograr los objetivos.

Capítulo 2: Metodología, se muestra la investigación y los recursos útiles para la implementación del sistema de control de nivel, en dicha parte se encuentran citados los planos esquemáticos y el algoritmo de control e Interfaz Humano Máquina de la planta.

Capítulo 3: Resultados, se evidencia las pruebas de funcionamiento del sistema de control, mediante imágenes, videos y documentación, también se encuentran los manuales de usuario y mantenimiento.

Capítulo 4 y 5: Conclusiones y Recomendaciones respectivamente, en estos capítulos establecen las conclusiones y recomendaciones obtenidas con base en los resultados alcanzados.

Capítulo 6: Referencias bibliográficas, se citan todas las fuentes necesarias para el diseño e implementación del sistema.

Capítulo 7: Anexos, están los documentos que debido su extensión no fueron colocados en los capítulos previos y que aportan información relevante al proyecto.

**PALABRAS CLAVE:** Control de nivel, HMI, Sensor ultrasónico, PLC S7-1200, Laboratorio LTI.



## **ABSTRACT**

The realization of this project responds to the need to repower the level control plant in order to improve an existing didactic module which was disabled, so that the students of the Technologist Training School (ESFOT) will have at their disposal a module that will be useful in related subjects such as: Electromechanical Control, Control and HMI Systems and Instrumentation.

This project is divided into seven chapters which are detailed below:

Chapter 1: Introduction, where the component to be developed is described, contains the objectives set for the project, as well as its scope, where the result to be obtained and the actions necessary to achieve the objectives are indicated.

Chapter 2: Methodology, the research and useful resources for the implementation of the level control system are shown, in this part the schematic plans and the control algorithm and Human Machine Interface of the plant are cited.

Chapter 3: Results, the functional tests of the control system are evidenced, through images, videos and documentation, there are also user and maintenance manuals.

Chapter 4 and 5: Conclusions and Recommendations respectively, in these chapters they establish the conclusions and recommendations obtained based on the results achieved.

Chapter 6: Bibliographic references, all the necessary sources for the design and implementation of the system are cited.

Chapter 7: Annexes, are the documents that due to their length were not placed in the previous chapters and that provide relevant information to the project.

**KEYWORDS:** Level control, HMI, Ultrasonic sensor, PLC S7-1200, LTI Laboratory.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El Laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos (LTI-ESFOT) cuenta con varios módulos didácticos como son: control de nivel, temperatura, módulos con controladores lógicos programables PLC's, variadores etc., los cuales sirven de apoyo a los estudiantes de la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica para reforzar sus conocimientos adquiridos en la parte teórica. Debido a la pandemia algunos de estos módulos se encuentran inhabilitados o con componentes averiados por lo cual necesitan una repotenciación.

Por este motivo el trabajo de titulación "Repotenciación de la planta de control de nivel del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT" busca mejorar y poner en funcionamiento uno de los sistemas de control presentes en el laboratorio.

Dicho objetivo será posible mediante una serie cronológica de actividades empezando con el reconocimiento de equipos e instrumentos para así dar a conocer detalladamente los equipos asociados a la planta de control de nivel. Una vez identificados dichos componentes es necesario verificar el funcionamiento de cada uno para así registrar cuales de estos se pueden utilizar, que componentes se pueden dar de baja y cuales se deben cambiar. Teniendo la lista de elementos a utilizarse se procederá a levantar un diagrama P&ID, así como esquemas de contactores y protecciones eléctricas.

Posteriormente se empezará con la construcción del sistema adecuando una base resistente que soporte el peso de la estructura, conexiones de tuberías óptimas para evitar goteras, tanques sin fugas de agua para evitar que la estructura o elementos puedan estropearse, así como también conexiones eléctricas cumpliendo la normativa del NEC-SB-IE. [1]

Con el sistema respectivamente armado se desarrollará el algoritmo de control mediante el *software* Portal TIA que contiene una amplia variedad de comandos y lenguajes que son útiles, a su vez se diseñará el interfaz humano máquina cumpliendo con las normativas IEC 1082-1 [2] y la ISA S5.5. [3] Se utilizará el PLC S7-1200 para el control del sistema.

Finalmente se ejecutarán pruebas de ensayos para evidenciar el correcto funcionamiento del sistema, en dichas pruebas se analizarán parámetros de lógica de control, así como se evidenciará la correcta instalación de equipos de protección eléctrica y se verificará que no existan fugas de agua. Mediante un video se especificará la manera correcta de operar la planta de nivel, conexiones necesarias para su funcionamiento y orden lógico de entradas y salidas. Por otra parte, se realizará un video que permita al usuario actuar frente a

cualquier adverso de falla ya sea eléctrica, electrónica o de conexión para de esta manera darle un correcto mantenimiento y prever errores a futuro.

En el Anexo II se encuentra el certificado de aprobación del proyecto que valida el correcto funcionamiento de la planta de control de nivel.

### **1.1 Objetivo general**

Repotenciar la planta de control de nivel del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar el estudio de requerimientos de la planta a controlar.
- Diseñar planos esquemáticos del sistema.
- Mejorar de la estructura de la planta de control de nivel.
- Desarrollar el algoritmo de control e Interfaz Humano Máquina.
- Realizar pruebas de funcionamiento.
- Realizar dos videos del manual de usuario y mantenimiento respectivamente.

### **1.3 Alcance**

El presente trabajo de integración curricular está destinado a la mejora y repotenciación de la planta de control de nivel del Laboratorio de Tecnología Industrial (LTI) de la ESFOT. El proyecto se encuentra dividido en tres etapas descritas a continuación.

En la primera etapa se realizará un estudio de la planta de control de nivel mediante el cual se analizará, evaluará y evidenciará el estado actual de la misma, mediante pruebas y ensayos se verificará el correcto funcionamiento de diferentes elementos presentes en la planta como son: protecciones eléctricas, elementos de maniobra, actuadores y sensores.

En la segunda etapa se seleccionarán los elementos que se encuentren en buen estado y en caso de requerirlo se adquirirán elementos adicionales. Con los elementos previamente seleccionados se realizarán los respectivos esquemas y planos del sistema.

Finalmente, en la tercera etapa se realizará el desarrollo del algoritmo de control utilizando el *software* Portal TIA con el cual se diseñará la lógica de control utilizando el lenguaje de programación Diagrama de Bloques Funcionales (FBD). Además, se realizará control físico y remoto del sistema mediante el PLC y la Interfaz Humano Máquina respectivamente.

## 1.4 Marco teórico

- **Control de nivel**

Un líquido es un estado de la materia el cual por naturaleza es incompresible, lo que significa que el espacio que ocupa dentro de un contenedor no cambiara significativamente pese a la presión que se realice sobre el mismo.

En la industria es importante medir y monitorear el nivel de los diferentes líquidos a utilizarse en procesos de manufactura para así optimizar operaciones, controlar el volumen en el almacenamiento de tanques o bien controlar el desfogue de desechos en las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR). En la Figura 1.1 se muestra la PTAR del centro de operaciones de la Planta de Yanbal Ecuador S.A. la cual cuenta con diferentes elementos para controlar el nivel y paso del agua como son: bombas, sensores y válvulas.



**Figura 1.1.** PTAR Yanbal Ecuador S.A.

El nivel es una variable la cual resulta relativamente fácil de ser medida y controlada, en los procesos industriales se utilizan fluidos líquidos como: agua, petróleo, alcohol, etc., los cuales cuentan con propiedades como la viscosidad, fluidez, presión de vapor, punto de ebullición y capilaridad entre las propiedades más importantes, las mismas que son supervisadas por elementos de control de nivel que vienen escaladas en unidades de medida como longitud, masa, peso y volumen. [4]

Entre los diferentes elementos y dispositivos para medir el nivel de un fluido se tienen los sensores de nivel de líquido tipo flotador, el cual se encuentra entre los sensores de nivel

tipo interruptor más básicos, siendo que cambian de estado dependiendo a la altura del nivel del líquido valiéndose de flotadores, capacitores, varillas rotativas, etc., [5]. Como se muestra en la Figura 1.2 y Figura 1.3 se encuentran los diferentes tipos de sensores de nivel tipo interruptor más comunes.



**Figura 1.2.** Sensores de nivel tipo flotador gama media.



**Figura 1.3.** Sensores de nivel tipo flotador gama alta.

En la Tabla 1.1 se detallan las características de los diferentes tipos de sensores, sus aplicaciones y sus características.

**Tabla 1.1.** Tipos de interruptores de nivel en la industria

Tipo de interruptor de nivel	Aplicaciones	Ventajas
De flotador	Únicamente líquidos que no afecten a los materiales de construcción del interruptor de nivel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio económico</li> <li>• Fácil y rápido de instalar</li> <li>• Respuesta rápida</li> </ul>

Tipo de interruptor de nivel	Aplicaciones	Ventajas
Capacitivo	Aplica tanto en líquidos como en sólidos que sean conductores y no conductores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material robusto</li> <li>• Instalación fácil</li> <li>• Precio económico</li> </ul>
Conductivo	Aplica únicamente en líquidos que sean conductores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependiendo del número de electrodos puede detectar diferentes niveles</li> </ul>
Vibratorio	Aplicación en sólidos y líquidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es necesario calibración previa</li> <li>• Buena sensibilidad frente a espumas y turbulencias</li> <li>• No es necesario un mantenimiento</li> </ul>
De paleta rotativa	Únicamente para sólidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones simples sin turbulencias</li> <li>• Construcción robusta</li> </ul>
Optoelectrónico	Únicamente para líquidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil detección ante pequeños cambios</li> </ul>

- **Sensor ultrasónico**

Un sensor ultrasónico es un dispositivo que mensura la diferencia de longitudes entre el objeto a medirse y la punta del sensor por medio de las ondas ultrasónicas, el sensor calcula el periodo de tiempo en el que impactan las ondas contra el objeto y el tiempo en el que dichas ondas son receptadas. En estos sensores un solo oscilador emite y recepta las señales a diferencia de otros sensores como el óptico que su sistema de emisión y recepción son diferentes. [6] En la Figura 1.4 se muestra diferentes sensores ultrasónicos utilizados en la industria



**Figura 1.4.** Sensores ultrasónicos industriales.

- **Sensor UGT513**

El sensor UGT513 es un sensor de nivel ultrasónico desarrollado por *ifm electronic*, cuenta con un barrido longitudinal amplio que le permite medir distancias de diferentes elementos presentes en un tanque ya sean estos sólidos, semisólidos o líquidos. Dispone de un botón que al pulsarlo se activa el *IO-link* el cual es una estandarización para el cableado de redes de comunicación industriales, cuya aplicación industrial se basa en conectar actuadores y sensores digitales a un bus de Ethernet Industrial. [7]

Como se observa en la Figura 1.5 el sensor UGT513 tiene un modelo tipo rosca M18 x 1/L= 97.5 con un botón naranja en la parte superior el cual corresponde al *IO-link*, para alimentar a dicho sensor es necesario un cable de conexión tipo hembra de 4 pines al cual se debe alimentar con 10 ( $V_{DC}$ ) hasta 30 ( $V_{DC}$ ) y a la salida se obtiene de 4 (mA) hasta 20 (mA). [8]



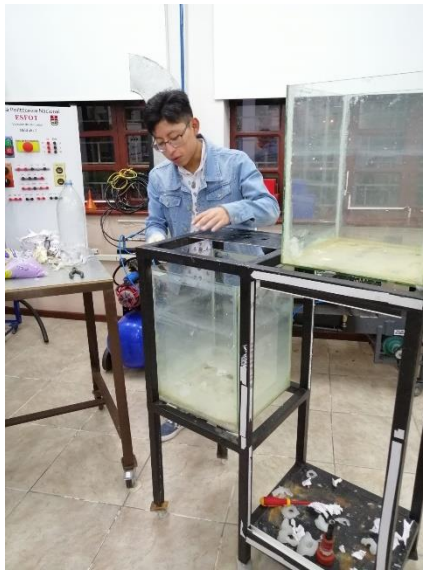
**Figura 1.5.** Sensor ultrasónico de nivel UGT513

En el Anexo III, Tabla A1.1 se encuentra el *datasheet* del sensor UGT513.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Requerimientos del sistema

La planta a repotenciarse cuenta con dos tanques, uno de almacenamiento y un tanque de control, siendo el tanque de almacenamiento el que contiene los sensores de nivel tipo interruptor flotador (dos), uno de nivel inferior y un sensor de nivel superior, el sistema está planteado a ser simétrico, es decir el sistema de control de la bomba 1 es igual al sistema de control de la bomba 2. El estado actual de la planta se observa en la Figura 2.1



**Figura 2.1.** Estado actual de planta control de nivel.

Tomando en cuenta las características de la planta mencionada, en el presente proyecto se deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Realizar el control biestable (On/Off) de nivel
- Disponer de dos depósitos, uno de control y uno de almacenamiento.
- Utilizar y calibrar el sensor ultrasónico UGT-513 para el control de nivel.
- Mejorar la estructura de la planta actual
- Eliminar fugas de los depósitos de agua.
- Mejorar el panel de control físico de la planta.
- Desarrollar un algoritmo de control e interfaz humano máquina utilizando el PORTAL TIA V15.



- **Reutilización de elementos**

Los dos principales elementos que se reutilizaron para la repotenciación de la planta de control de nivel fueron su estructura y las electroválvulas. Se utilizaron solo estos elementos debido a que en las pruebas de funcionamiento de las bombas presentes en el laboratorio LTI, 2 bombas estaban oxidadas internamente, mientras que la tercera bomba pese a funcionar no contaba con la presión suficiente para vencer una altura de 70 (cm) y activar las electroválvulas. En la Figura 2.2 se presentan las bombas fuera de servicio. Debido a que ninguna bomba podía reutilizarse se adquirió 2 bombas periféricas cuyos detalles técnicos se encuentran en el Anexo III, Tabla A1.2.



**Figura 2.2.** Bombas periféricas del laboratorio LTI.

Entre los elementos de *backup* del laboratorio estaban 8 electroválvulas solenoides a 110 ( $V_{AC}$ ), 4 de especificaciones genéricas y 4 electroválvulas que incluían un sistema de filtrado el cual se puede retirar y limpiar. Para probar las electroválvulas se acoplaron accesorios de tuberías a la salida de la llave de paso de agua del laboratorio LTI y se alimentaron cada una de ellas como se muestra en la Figura 2.3.



**Figura 2.3.** Prueba de electroválvulas en el laboratorio.

Mediante las pruebas se logró determinar que 6 electroválvulas funcionaban correctamente mientras que las 4 restantes tenían partes faltantes y existía fuga de agua. Debido a que 2 de las 6 electroválvulas funcionales no disponían del filtro se prefirió comprar las electroválvulas restantes y las 2 funcionales utilizarlas de repuesto. En la Figura 2.4 se evidencian las electroválvulas y su estado actual después de su prueba y respectiva limpieza. En el Anexo III, Tabla A1.3 se encuentran las especificaciones técnicas de las electroválvulas solenoides.



**Figura 2.4.** Estado actual de las electroválvulas.

La estructura a utilizarse era bastante resistente y sólida, pero debido a su altura entre tanques suponía una significativa pérdida de presión, agregando el hecho de las fugas constantes del diseño de los orificios en el cristal del tanque, excesos de silicón y demás productos de sellado, se analizó que la manera óptima sería rediseñar su estructura y desarmar los tanques. En la Figura 2.5 y Figura 2.6 se muestra la estructura anterior del sistema de control y el desmontaje de los tanques de cristal respectivamente.



**Figura 2.5.** Estructura del sistema previo a su desmontaje.



**Figura 2.6.** Desmontaje de los cristales de los tanques.

Para la reutilización de equipos eléctricos fue necesario dismantelar el módulo didáctico de la estructura de madera debido a que este contaba con elementos de maniobra y control eléctrico en buen estado. Los elementos que se pudieron obtener fueron contactores electromagnéticos, borneras rojas y negras de varios tamaños, pulsadores normalmente abierto y normalmente cerrado, luces led piloto 220 ( $V_{AC}$ ), pulsador tipo hongo sostenido con desenclavamiento por giro 1 NC, 1 NO, selector de tres posiciones y borneras para riel din. En la Figura 2.7 y Figura 2.8 se aprecia el desmontaje de los dispositivos eléctricos del módulo didáctico del laboratorio LTI.



**Figura 2.7.** Desmontaje de pulsadores y luces piloto.



**Figura 2.8.** Desmontaje de borneras.

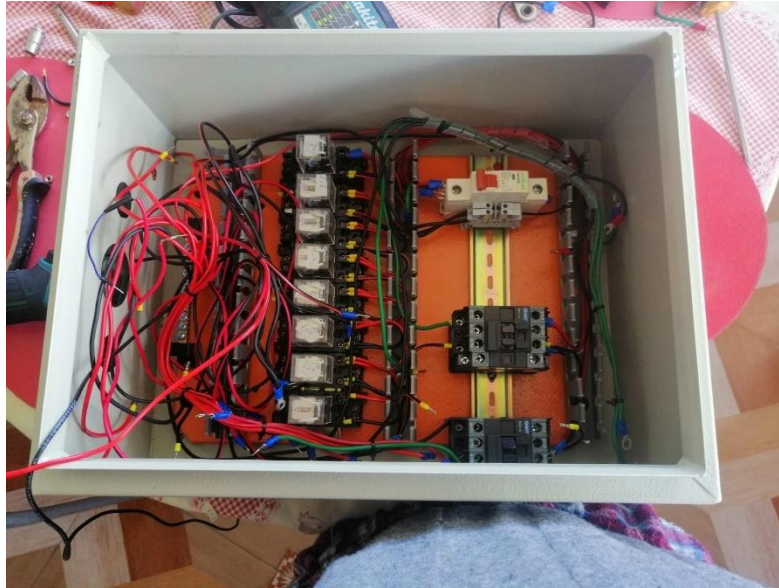
El tanque de almacenamiento debía disponer de dos sensores flotadores tipo interruptor, el Laboratorio LTI contaba con un sensor el cual no disponía de goma aislante y tuerca de ajuste, por lo que se optó por comprar dos sensores y realizar las respectivas perforaciones al tanque de almacenamiento. En la Figura 2.9 se muestra el estado del sensor. En el Anexo III, Tabla A1.4 se muestran las especificaciones técnicas del sensor.



**Figura 2.9.** Sensor flotador tipo interruptor del laboratorio LTI.

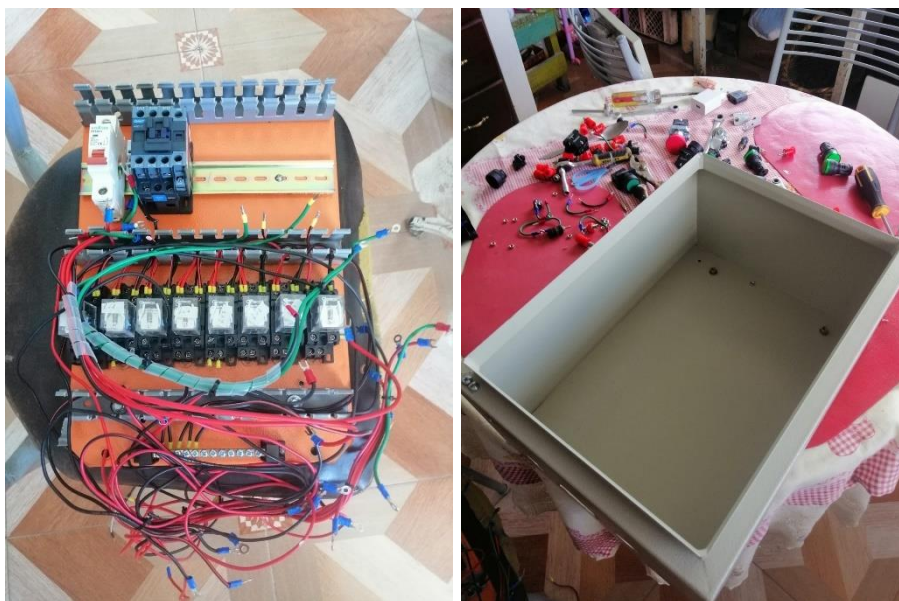
De igual manera el módulo didáctico contaba con un gabinete en buenas condiciones con componentes eléctricos de control como: contactores electromagnéticos, relés de 8 pines 110 ( $V_{AC}$ ) y elementos de maniobra. Debido al buen estado de los elementos eléctricos y la estructura del gabinete se optó por reutilizar el gabinete y remplazar la cubierta con base a la nueva lógica de control realizada.

Fue necesario retirar las conexiones eléctricas presentes en el gabinete con cuidado para no aislar los tornillos de las entradas de relés y contactores puesto que algunos tornillos se encontraban aislados. En la Figura 2.10 se evidencia el gabinete eléctrico antes del desmontaje.



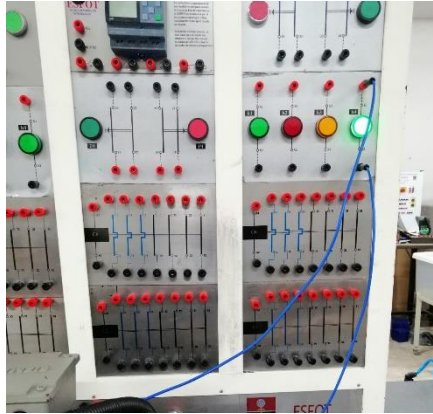
**Figura 2.10.** Gabinete eléctrico.

Posteriormente, se retiró la placa naranja para así poder sacar los elementos de control eléctrico, luego se limpió el gabinete con alcohol isopropílico para eliminar residuos de estaño y suciedad presentes en su interior. En la Figura 2.11 se evidencian los pasos necesarios para el desmontaje del gabinete eléctrico.



**Figura 2.11.** Desmontaje del gabinete eléctrico.

Para comprobar que los elementos de maniobra y luces piloto se encontraban en buen estado se energizaron y se revisó conductividad, para el caso de las luces piloto se reutilizó 2 luces verdes, mientras que el resto quedaron de *backup*, debido a que no contaban con rosca de ajuste, además su luz era opaca y difusa. En la Figura 2.12 se evidencian las pruebas realizadas en las luces piloto.



**Figura 2.12.** Pruebas en luces piloto.

Los elementos de maniobra como pulsadores, interruptores y paro de emergencia no contaban con el resorte de retroceso indispensable para conmutar al momento de presionarlos, por lo cual se decidió reemplazar dichos elementos. En la Figura 2.13 se evidencian las pruebas realizadas a los elementos de maniobra. Para la comprobación de dichas pruebas se presionaban los pulsadores e interruptor conectados en luces piloto presentes en el laboratorio LTI.



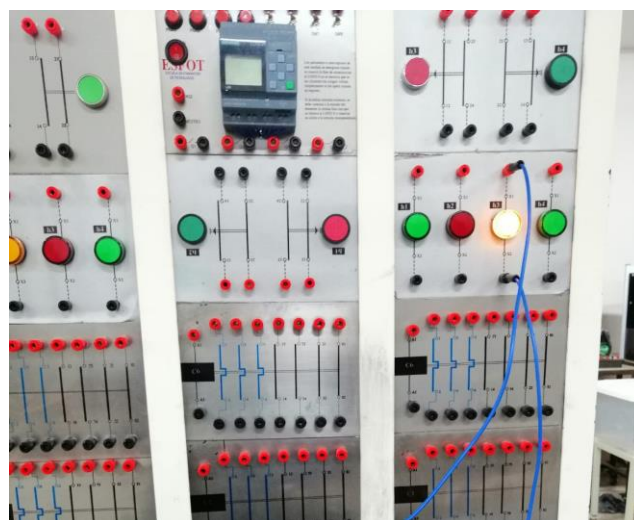
**Figura 2.13.** Pruebas en elementos de maniobra.

Los elementos de control que se utilizaron de los módulos didácticos fueron puestos a prueba, midiendo conductividad y observando que no se encuentren degradados o en condiciones no aptas para su uso. Mediante un multímetro se revisó la conductividad en cada uno de sus contactos: principales y auxiliares. En la Figura 2.14 se muestran las pruebas de conductividad realizadas a relés y contactores.



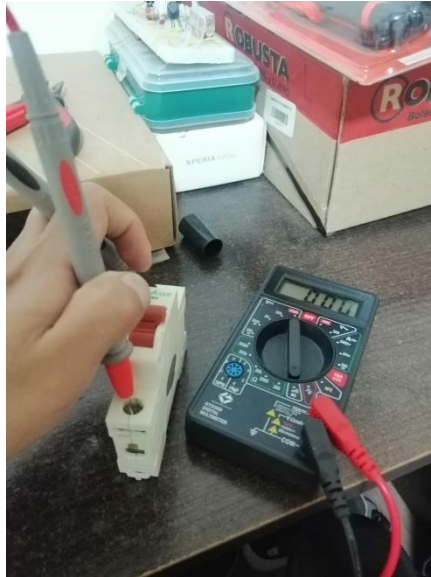
**Figura 2.14.** Prueba de conductividad en relés y contactores.

Debido al tiempo sin uso de los relés y contactores fue necesario limpiar los tornillos y carcasas de los mismos, para posteriormente energizarlos y probar su accionamiento, mediante las luces led piloto presentes en laboratorio LTI se verificó cada uno de sus contactos. En la Figura 2.15 se muestra la prueba de accionamiento en los diferentes relés y contactores.



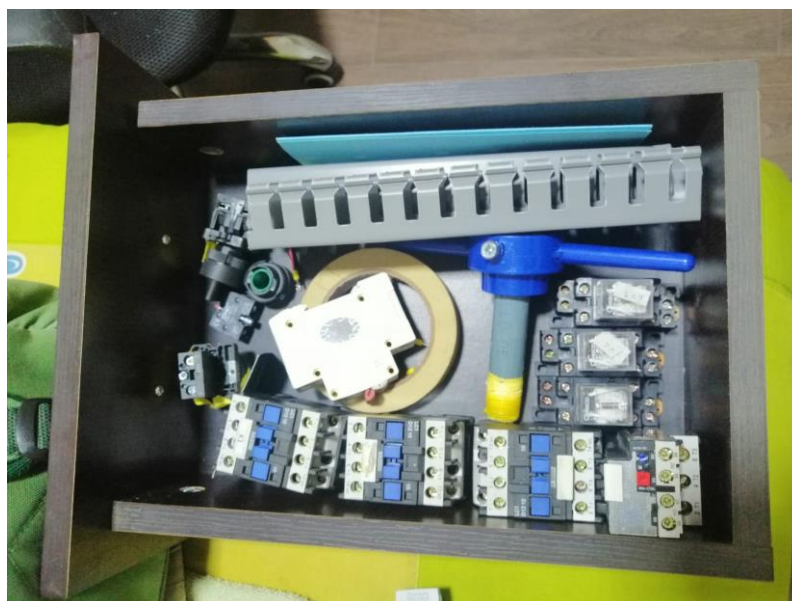
**Figura 2.15.** Prueba de accionamiento en relés y contactores.

De igual manera, se revisó conductividad en los elementos de protección como *breakers* y se procedió a limpiarlos con solventes de limpieza y desengrasantes. Para comprobar su accionamiento se conectó un motor trifásico presente en el Laboratorio LTI. En la Figura 2.16 se evidencia la limpieza y pruebas realizadas en los *breakers*.



**Figura 2.16.** Pruebas y limpieza realizada en elementos de protección.

Una vez revisados cada uno de los elementos de protección y control, se identificó que todos funcionaban correctamente por lo cual los elementos excedentes se añaden al *backup* del laboratorio LTI. En la Figura 2.17 se muestran los elementos de protección y control excedentes.



**Figura 2.17.** Elementos de protección y control excedentes.




- **Selección de elementos**

Una vez revisado el estado actual de la planta de control de nivel y seleccionados los componentes útiles de la misma, se procede a la adquisición de elementos necesarios para su respectiva repotenciación y cumplimiento de requerimientos. Dichos elementos se detallan en la Tabla 2.1

**Tabla 2.1.** Elementos necesarios para la implementación de la planta de nivel.

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
	2	Bomba periférica ½ (HP) con entrada de 1 pulgada
	4	Electroválvulas solenoides de ½ pulgada a 110 ( $V_{AC}$ )
	2	Sensor flotador tipo interruptor
	3 azules 2 verdes 1 roja	Luces led piloto de 120 ( $V_{AC}$ ) hasta 220 ( $V_{AC}$ )
	1	Selector de tres posiciones

Equipo	Cantidad	Descripción
	1	Botón de paro de emergencia

Para el correcto mantenimiento de la planta de control de nivel se provee un listado de elementos de *backup* útiles en caso de falla o avería de la misma. En la Tabla 2.2 se detallan los elementos y su funcionalidad.

**Tabla 2.2.** Elementos de *backup*.

Elemento	Cantidad	Descripción
Electroválvula	1	En caso de un mantenimiento o avería de una electroválvula
Cable AWG#18	5 metros	En caso de mantenimiento en el gabinete eléctrico
Relé	3	En caso de mantenimiento del gabinete eléctrico o falla de un elemento de control.
Contactador	2	
Terminales eléctricos	N/A	Terminales horquilla, Terminales en Y, Terminales hembra
Accesorios de fontanería	N/A	Codos, té, uniones universales, <i>bushing</i> en caso de falla en la planta de control
Breaker	1	En caso de requerirlo el laboratorio
Teflón	1 cinta	En caso de mantenimiento preventivo o correctivo
Cinta aislante	1 cinta	
Luz piloto	2	En caso de falla o avería de un elemento en el tablero de control
Borneras	N/A	

## 2.2 Planos esquemáticos.

- **Planos mecánicos**

En los planos mecánicos se muestran las dimensiones de la estructura de la planta de control de nivel. Se evidencian el orden y posición de electroválvulas, soporte para el sensor ultrasónico, bombas y el gabinete eléctrico, además se muestran la dirección de las tuberías. Los planos se encuentran en el Anexo IV, lámina 1 y lamina 2.

- **Planos eléctricos**

En los planos eléctricos se evidencian el cableado y orden lógico de los diferentes elementos de maniobra, borneras, contactores, relés, luces y pulsadores. En dicho plano se muestran las conexiones necesarias entre el gabinete eléctrico, fuente de alimentación y PLC. Los planos se encuentran en el Anexo IV, lámina 3 y lámina 4.

- **Diagrama P&ID**

En el diagrama P&ID se detalla el orden y dirección del flujo de agua, los componentes presentes en la planta son representados mediante símbolos y nomenclatura según la Norma ISA S5.1. El diagrama se encuentra en el Anexo IV, lámina 5.

### **2.3 Construcción de la estructura de la planta de control de nivel.**

La presente sección será dividida en cinco partes, las cuales conforman el rediseño de la estructura, la conexión de tuberías y acople de bombas, el sistema de canaletas con cableado eléctrico, el armado del gabinete de control y la calibración del sensor ultrasónico.

- **Rediseño de la estructura**

Debido a que los tanques de cristal fueron removidos, se optó por elegir un nuevo diseño de tanques de plástico con una mayor capacidad de volumen, siendo esta de 50 (litros) respecto al anterior tanque de cristal que tenía un almacenamiento de 30 (litros). Para evitar pérdidas de presión por altura, se diseñó una estructura simétrica, reduciendo de esta manera la altura de tubería del tanque de almacenamiento al tanque reservorio en 32 (cm) respecto a su diseño original. En la Figura 2.18 se muestra una comparación de alturas de ambos tanques.



**Figura 2.18.** Diferencia de altura de tanques.

Analizando las dimensiones de la estructura, se concluyó que al realizar un corte transversal lateral derecho se podría reutilizar soldándolo a su lateral izquierdo para así obtener una estructura simétrica utilizando la platina cuadrada de 30 (cm). Para esto fue necesario utilizar una amoladora con disco de corte e ir señalando las aristas. En la Figura 2.19 se muestra la sección a ser cortada.

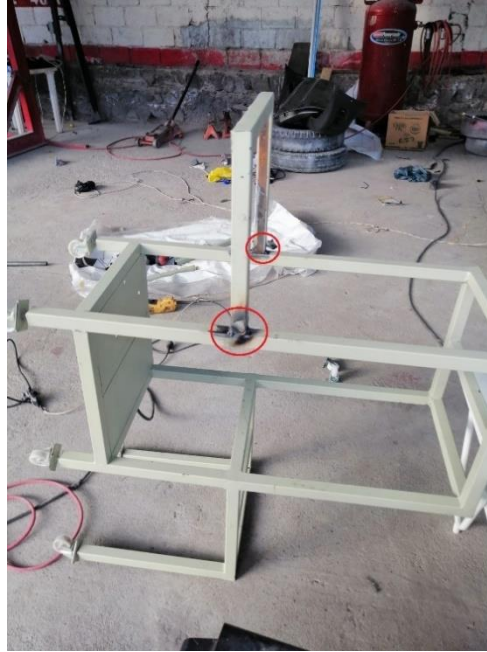


**Figura 2.19.** Sección de la estructura a cortarse.

Una vez señaladas las aristas se coloca el equipo de protección y se procede a cortar con la amoladora las platinas cuadradas. En la Figura 2.20 se muestra una sección cortada de la estructura. Mediante el disco de lija de la amoladora se eliminan rebabas, filos cortantes y se lija parte de la estructura lateral izquierda para tener una superficie correcta para soldar. Con una soldadora se procede a soldar con electrodo revestido E6011 por el método de soldadura SMAW, mediante una escuadra se centra a 90° la platina y se procede a soldar. En la Figura 2.21 se evidencia una unión soldada a 90°.



**Figura 2.20.** Estructura cortada.



**Figura 2.21.** Proceso de soldadura.

Para la ubicación del sensor ultrasónico en el tanque de control se diseña y construye una estructura ajustable. Se empieza con una platina cuadrada de 30 (mm) la cual se sostendrá mediante platinas a 90° simétricas de 5 (cm) cada una, la estructura cuenta con dimensiones de 40 (cm) de largo y 40 (cm) de ancho. Se realizan perforaciones para los soportes de 18 (mm) y se realizan 4 perforaciones de 8 (mm) para colocar los ejes roscados de calibración, mediante soldadura SMAW se suelda los pedazos de platina. En la Figura 2.22 se evidencia el proceso de construcción de la estructura del sensor ultrasónico.



**Figura 2.22.** Soldado de uniones de la estructura.

Posteriormente, se corta un tol galvanizado de espesor de 4 (mm) con medidas de 40 (cm) x 30 (cm), al cual se realizan 4 perforaciones excéntricas a la estructura de calibración del sensor ultrasónico, Para asegurar la vida útil de la estructura se utiliza el proceso de pintura a polvo o electroestática.

Finalmente, se obtiene la estructura que será adherida a la estructura de la planta de control de nivel. En la Figura 2.23 se evidencia la estructura de calibración con sus respectivos pernos de sujeción y pernos de calibración, adicionalmente el sensor cuenta con una rosca M18, la cual también servirá para el apartado de calibración del sensor.



**Figura 2.23.** Estructura de calibración del sensor ultrasónico.

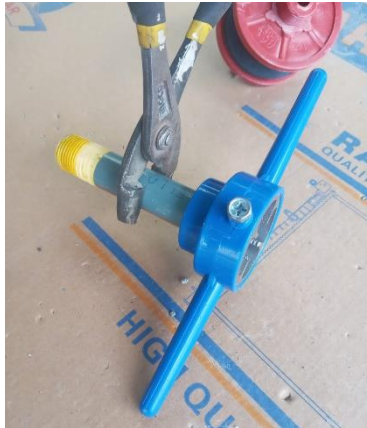
- **Conexión de tuberías y acople de bombas**

Una vez terminada la estructura, se realiza la conexión del sistema de tuberías para el cual fue necesario realizar perforaciones de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en el tanque de plástico. Cada tanque cuenta con 3 perforaciones inferiores para extracción y 2 perforaciones laterales para suministro. En la Figura 2.24 se muestra el proceso de perforación en el tanque.



**Figura 2.24.** Perforaciones en tanque de plástico.

Para el sistema de tuberías, se revisó el plano para cortar las tuberías a la medida necesaria y mediante una tarraja para tubería de ½ pulgada se realizaron las roscas respectivas. En el plano se evidencia la cantidad y la ubicación de los demás accesorios de fontanería como son neoplos, codos a 90 °, té, reducciones tipo *bushing* de 1 pulgada a ½ pulgada uniones universales y adaptadores de tanque. En la Figura 2.25 se muestra el proceso de corte y roscado de una tubería PVC de ½ pulgada.



**Figura 2.25.** Corte y roscado de una tubería PVC.

Para las conexiones generales entre tuberías se utilizó teflón, mientras que para las conexiones donde existía riesgos de fuga como reducciones y codos se utilizó sellante líquido de tubería Permatex. Para las perforaciones del tanque de suministro y extracción se utilizaron adaptadores de tanque de ½ pulgada. En los adaptadores colocados en las perforaciones de extracción se cortó 1.5 (cm) a su cabeza para así proporcionar el mayor nivel de extracción posible. En la Figura 2.26 se muestra la instalación de un adaptador de tanque de extracción de desagüe.



**Figura 2.26.** Adaptador de tanque de extracción de desagüe.

Las bombas de ½ (HP) utilizadas cuentan con salidas de 1 pulgada por lo cual fue necesario utilizar un *bushing* de reducción a ½ pulgada, en dicha reducción se usó liquido sellante puesto que utilizando solo teflón existían fugas, para las conexiones de electroválvulas fue necesario seguir el plano diagrama P&ID en donde se detalla la dirección del flujo de agua y los instrumentos. En la Figura 2.27 se muestra la correcta dirección de las electroválvulas y la colocación del sellante.



**Figura 2.27.** Proceso de conexión de tuberías y dirección de electroválvulas.

- **Canaletas y cableado eléctrico**

Para las conexiones de electroválvulas se utilizó cable AWG#14 flexible doble y se realizó un empalme *Western Union* con cinta taípe como aislante. En la Figura 2.28 se muestran las conexiones eléctricas de electroválvulas y bombas.



**Figura 2.28.** Conexiones eléctricas de electroválvulas y bombas.



Para transportar los cables se utilizaron canaletas de 24 (mm) x 14 (mm), mediante una sierra se cortaron según la medida requerida y se trasladó el cable por las mismas, para las conexiones donde había más de un cable se optó por colocar serpentinas. En la Figura 2.29 se muestra la instalación de canaletas y serpentinas.



**Figura 2.29.** Instalación de canaletas y serpentinas.

- **Armado del gabinete de control**

Se procedió a retirar la cubierta del gabinete eléctrico para así obtener las medidas necesarias para la nueva cubierta, se utilizó un tol de 2 (mm) de espesor con medidas de 39 (cm) x 29.5 (cm) con dobleces de 2 (cm) al área total. En la Tabla 2.3 se detallan los diámetros de las perforaciones y su utilidad.

**Tabla 2.3.** Perforaciones de la cubierta del gabinete eléctrico.

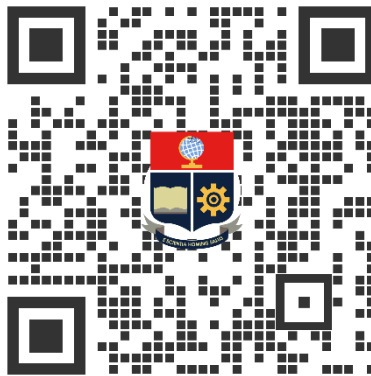
<b>Diámetro de perforación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Utilidad</b>
22 (mm)	1	Paro de emergencia
	1	Selector de tres posiciones
	10	Luces led piloto de varios colores
	2	Pulsadores verde y rojo
8 (mm)	31	Borneras negro y rojo

En la Figura 2.30 se muestra la cubierta del gabinete eléctrico realizada mediante corte en laser.



**Figura 2.30.** Cubierta del gabinete eléctrico.

En la Figura 2.31 se presenta un código QR donde se aprecia brevemente el corte en laser del gabinete eléctrico.



**Figura 2.31.** Corte en laser del gabinete eléctrico.

(Hipervínculo de acceso: <https://youtube.com/shorts/pC7WnM3vgeQ>)

Una vez construida la cubierta, se colocan los elementos de maniobra y luces piloto en las perforaciones de 22 (mm) mientras que las borneras se colocan en las perforaciones de 8 (mm), para conocer su correcta ubicación se debe tener en cuenta la Figura 2.32 donde se muestra la ubicación de luces y elementos de maniobra a colocar en el gabinete eléctrico.



**Figura 2.32.** Colocación de luces piloto y elementos de maniobra.

Se realizaron conexiones internas en el tablero correspondientes a los componentes: contactores, *breakers* y relés, además se instalaron en la cubierta externa luces piloto, pulsadores e interruptores. Se utilizó una crimpadora para unir los cables con su respectiva terminal eléctrica lo cual se observa en la Figura 2.33.



**Figura 2.33.** Crimpado.

Se realizan las conexiones eléctricas correspondientes a la lógica de control asegurándose que ningún cable toquen entre si sus terminales, se utilizó cable AGW#18 de color negro, rojo y azul para las conexiones de alimentación y control de la línea 1 y línea 2, mientras que para el neutro se utilizó cable AWG#18 color blanco. En la Figura 2.34 se muestran las conexiones realizadas en el gabinete eléctrico.



**Figura 2.34.** Conexiones eléctricas del gabinete.

- **Calibración del sensor ultrasónico UGT-513**

Para calibrar el sensor de forma manual es necesario tener en cuenta tres aspectos:

- El sensor debe ser alimentado con corriente continua alrededor de 10 (min) y no debe utilizarse.
- Calibrar el instrumento presionando por tiempos preestablecidos, si algún tiempo falla se calibra de nuevo.
- Cuando la luz está en color verde el sensor está leyendo la distancia mientras que la luz amarilla significa que se encuentra fuera de rango.

En la Figura 2.35 y Figura 2.36 se muestran las luces indicadoras del sensor UGT-513



**Figura 2.35.** Luz indicadora “Fuera de rango”.



**Figura 2.36.** Luz indicadora “En rango”.

El sensor ultrasónico tiene dos modos de funcionamiento “Escalado” y “On/Off” al ser calibrado de forma manual.

En el “Escalado” se determinan distancias y el sensor entrega una señal de corriente de 4 (mA) hasta 20 (mA) en relación a la distancia preestablecida. En el funcionamiento “On/Off” se tiene una distancia para la cual proporcionará 4 (mA) en un punto y 20 (mA) en otro punto de la recta, el rango restante no será leído. En la Figura 2.37 se muestra un código QR para acceder al video demostrativo de configuración de los modos de funcionamiento del sensor.



**Figura 2.37.** Código QR de los modos de funcionamiento del sensor.

(Hipervínculo de acceso: <https://youtube.com/shorts/pC7WnM3vgeQ>)

Finalmente, en la Figura 2.38 se muestra la planta de control de nivel totalmente construida, con su estructura general, estructura de calibración, gabinete de control y elementos mecánicos.



**Figura 2.38.** Sistema de control de nivel repotenciado.

### **2.3 Algoritmo de control e Interfaz Humano Máquina.**

Para el desarrollo del algoritmo de control y la Interfaz Humano Máquina (HMI) de la planta de nivel del Laboratorio LTI, se utilizó el *software* Portal TIA V15 (versión 15) tomando en cuenta los requerimientos establecidos.

- **Algoritmo de control**

La presente planta de control de nivel cuenta con 2 modos de funcionamiento, el modo manual y el modo automático, en el modo manual mediante pulsadores e interruptores se controla el nivel del agua en puntos específicos mientras que en el modo automático mediante la interfaz se controla el nivel ingresando directamente el valor deseado.

Antes de empezar el modo manual o automático es necesario cebar las bombas para asegurarse que las mismas contengan líquido a través de sus tuberías, lo cual se lo realiza a través de los pulsadores. La banda de histéresis para los dos modos es 0.5 (cm).

- **Modo manual**

Mediante un interruptor se elige el modo manual y se selecciona con pulsadores el nivel deseado: bajo (2.5 (cm)), medio (13.75 (cm)) y alto (25 (cm)). De esta forma el sistema utiliza una acción de control TODO/NADA para activación de las válvulas.

- Modo automático

Se selecciona el modo automático y mediante la HMI se ingresa el valor de nivel deseado (*set point*). Cabe resaltar que el *set point* está comprendido dentro de los valores de 1.75 (cm) y 25 (cm) por motivos de seguridad.

Adicionalmente se dispone de un botón de paro de emergencia que reinicia las condiciones del sistema.

En el Anexo V se muestra el diagrama de flujo y en el Anexo VI se encuentra el algoritmo desarrollado.

- **Interfaz Humano Máquina**

Para el diseño de la HMI es necesario conocer la tabla de variables utilizadas en el bloque del programa con su respectiva información. En la Tabla 2.4 se muestran las variables del algoritmo de control.

**Tabla 2.4.** Variables del algoritmo.

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Dirección</b>	<b>Comentario</b>
NIV_BAJO	Bool	%I0.0	Pulsador para iniciar el nivel bajo
NIV_MEDIO	Bool	%I0.1	Pulsador para iniciar el nivel medio
NIV_ALTO	Bool	%I0.2	Pulsador para iniciar el nivel alto
MODO 1	Bool	%I8.0	Interruptor para iniciar el modo manual
MODO 2	Bool	%I8.1	Interruptor para iniciar el modo automático
UP	Bool	%I8.2	Pulsador para suministrar agua
DOWN	Bool	%I8.3	Pulsador para extraer agua
LSL	Bool	%I8.4	Pulsador asociado al sensor de nivel bajo
LSH	Bool	%I8.5	Pulsador asociado al sensor de nivel alto
PGEN	Bool	%I8.6	Pulsador para frenar el sistema
LUZ_NIVBAJO	Bool	%Q0.0	Luz indicadora de nivel bajo
LUZ_NIVMEDIO	Bool	%Q0.1	Luz indicadora de nivel medio
LUZ_NIVALTO	Bool	%Q0.2	Luz indicadora de nivel alto
LUZ_M1	Bool	%Q0.3	Luz indicadora de modo manual
LUZ_M2	Bool	%Q0.4	Luz indicadora de modo automático
LUZ_UP	Bool	%Q0.5	Luz indicadora de suministro de agua
LUZ_DOWN	Bool	%Q8.0	Luz indicadora de extracción de agua

Nombre	Tipo de variable	Dirección	Comentario
LUZ_LSL	Bool	%Q8.1	Luz indicadora de sensor nivel bajo
LUZ_LSH	Bool	%Q8.2	Luz indicadora de sensor nivel alto
LUZ_PGEN	Bool	%Q8.3	Luz indicadora de sistema en paro
EVM1	Bool	%Q8.4	Salida hacia electroválvulas de suministro
EVM2	Bool	%Q8.5	Salida hacia electroválvulas de extracción
BOMBA 1	Bool	%Q8.6	Salida hacia bomba 1
BOMBA 2	Bool	%Q8.7	Salida hacia bomba 2
NIV_IN	Word	%IW66	Variable de entrada (voltaje)
MANT	Bool	%I0.4	Selección modo mantenimiento
CEBADO	Bool	%I0.3	Cebado de bombas

Mediante la Figura 2.39 se muestra el diagrama de entradas y salidas del PLC y su módulo de expansión.

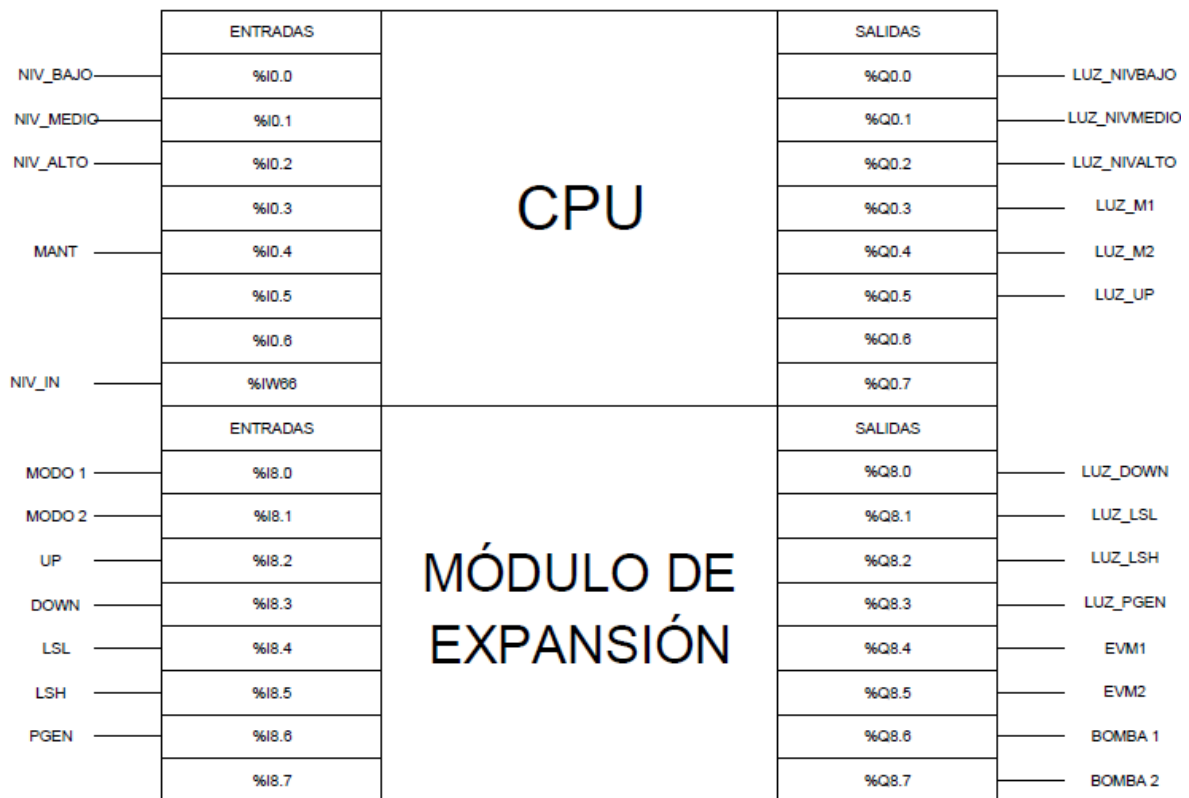


Figura 2.39. Esquema de entradas y salidas del PLC.



La interfaz Humano Máquina cuenta con una ventana de control y una ventana de visualización de curvas, en la ventana de control se dispone de un campo de entrada para establecer el nivel deseado en el tanque de control. Cuenta con diferentes elementos que representan el proceso de manera didáctica. En la ventana del registro de curvas está representado: la variable de proceso, el *set point* y el límite superior e inferior. En la Figura 2.40 se muestra la ventana de control, mientras en la Figura 2.41 se muestra la ventana del registro de curvas.

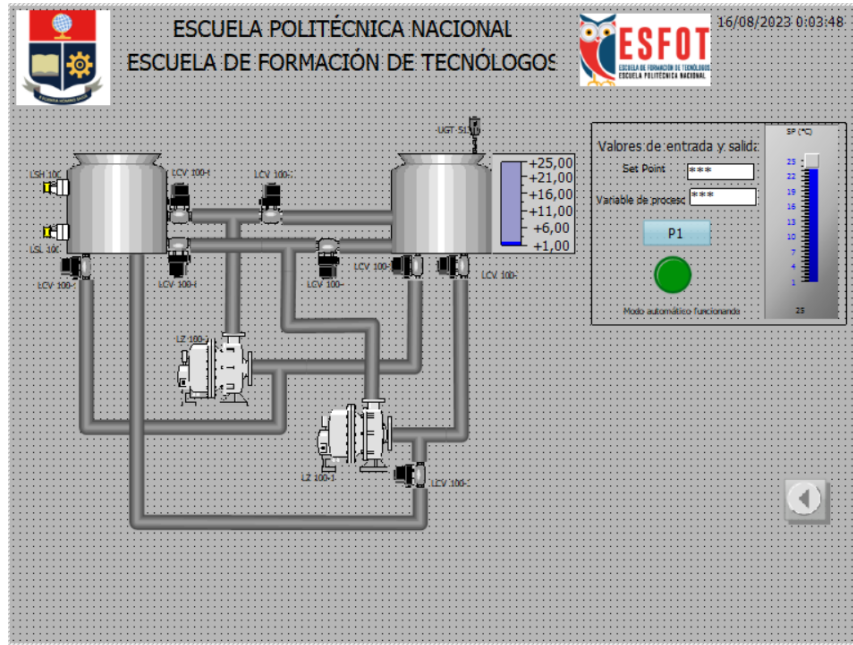


Figura 2.40. Ventana de control.

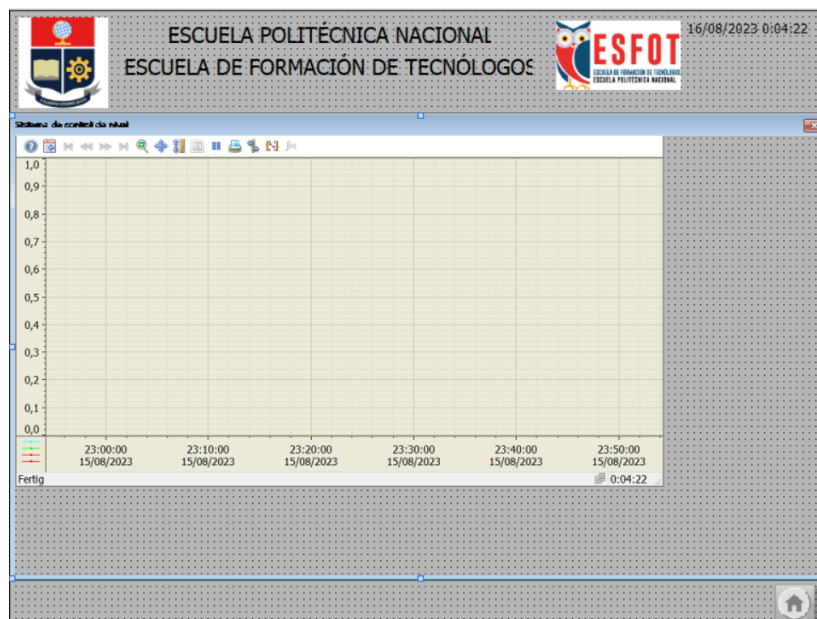


Figura 2.41. Ventana de registro de curvas.

En la Tabla 2.5 se muestran los elementos del sistema de control de nivel representados en el HMI.

**Tabla 2.5.** Elementos de la HMI.

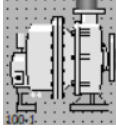

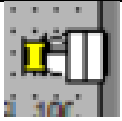

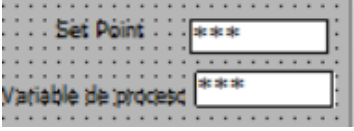
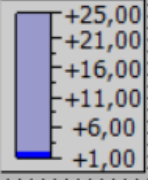
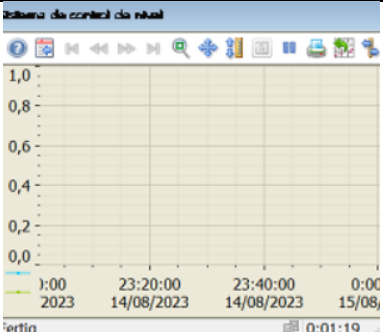

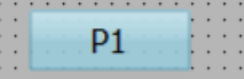
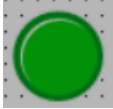


Figura	Descripción
	Bomba periférica de ½ (Hp)
	Electroválvula solenoide
	Sensor de nivel tipo flotador
	Sensor ultrasónico UGT 513
	Campos de entrada y salida (Variable de proceso y <i>Set point</i> )
	Barra de estado de la variable de nivel
	Visor de curvas en el tiempo (Variable de proceso, limites inferior y superior, <i>Set point</i> )
	Regulador de <i>Set Point</i>

Figura	Descripción
	Pulsador de inicio de lectura de <i>Set Point</i>
	Luz indicadora inicio de lectura <i>Set Point</i>
	Pulsador para cambio de ventana hacia “ventana de control”
	Pulsador para cambio de ventana hacia “ventana de registro de curvas”

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Pruebas de funcionamiento.

- **Prueba de conductividad**

Se realizan pruebas de conductividad en el gabinete eléctrico, de esta manera se asegura que todos los elementos de accionamiento, elementos de maniobra y luces indicadoras estén correctamente instalados. En la Figura 3.1 se muestra la prueba de conductividad realizada al gabinete eléctrico.



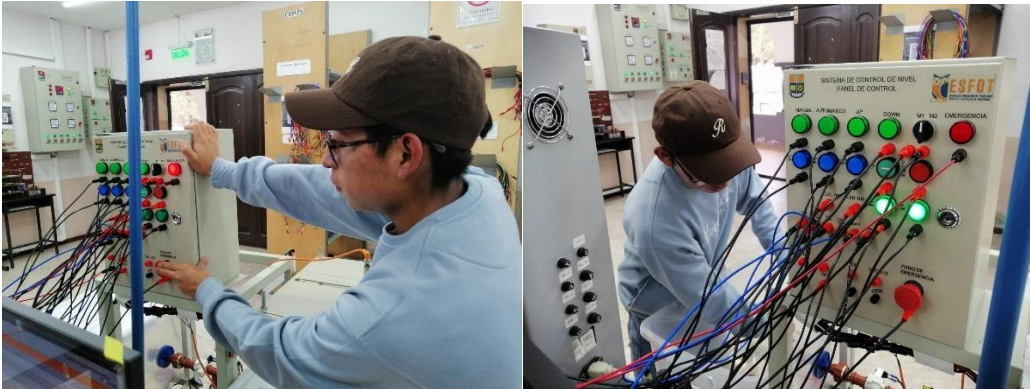
**Figura 3.1.** Prueba de conductividad del gabinete eléctrico.

Una vez verificada la conductividad en los elementos internos del gabinete como son: breaker, contactores y relés se verifica su accionamiento energizándolos. En la Figura 3.2 se muestra la prueba de accionamiento de contactores, relés y paso de corriente en el elemento de protección.



**Figura 3.2.** Prueba de accionamiento de elementos de control y protección.

Para los elementos externos del gabinete además de las pruebas de conductividad se debe comprobar que pulsadores e interruptores conmuten de manera correcta, se energizan pulsadores y luces piloto para verificar su correcta instalación. En las luces piloto es necesario verificar que su intensidad sea adecuada. En la Figura 3.3 se muestra la prueba de componentes externos realizadas al gabinete eléctrico.



**Figura 3.3.** Pruebas de componentes externos del gabinete eléctrico.

- **Prueba de comunicación con el PLC**

Para realizar las pruebas de comunicación con el PLC es necesario conectarse directamente con el PLC S7 1200 y su respectivo módulo de expansión con entradas digitales y salidas tipo relé.

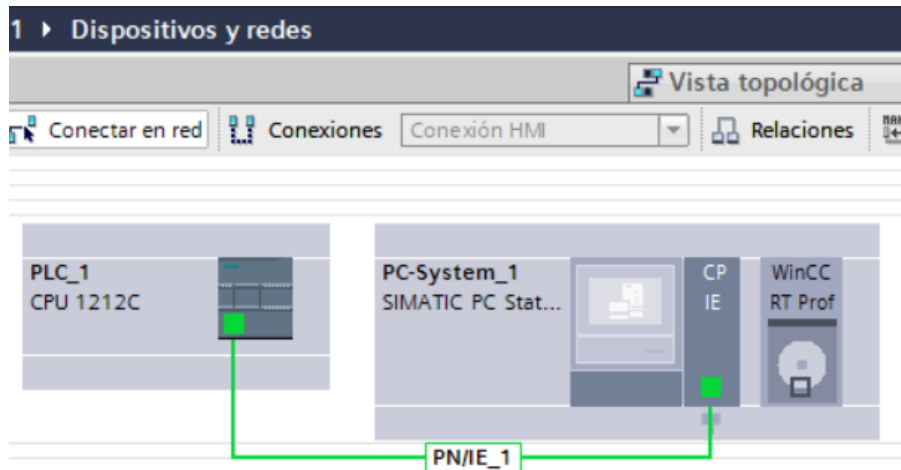
El sistema de conexiones y comunicación entre el sistema de control de nivel, PLC siemens S7-1200, módulo de expansión SM 1222 y HMI se muestran en el Anexo IV lámina 3.

Para la correcta comunicación es necesario conectarse al computador e ir verificando y cambiando las direcciones IP según se muestra en la Tabla 3.1

**Tabla 3.1.** Direcciones IP del sistema de control de nivel.

Dispositivo	Dirección IP
PLC	192. 168. 000. 001
Estación PC Simatic	192. 168. 000. 010

Una vez seleccionados el PLC S7-1200 V0.0 y la Estación PC Simatic con sus respectivas IP se realiza la conexión de los mismos. En la Figura 3.4 se muestra la conexión.



**Figura 3.4.** Conexión de red del sistema.

Se procede a cargar el algoritmo del ordenador hacia el PLC y posteriormente se carga la HMI en el ordenador. Se verifica dentro del gabinete del módulo PLC que las luces indicadoras se encuentren encendidas en color verde, de esta manera el algoritmo ha sido cargado en el PLC de manera correcta. En la Figura 3.5 se muestran las luces indicadoras del PLC y su módulo de expansión.



**Figura 3.5.** Luces indicadoras del PLC.

Para asegurar que el algoritmo fue cargado correctamente hacia el PLC se conectan luces piloto según corresponda la lógica de control y se verifica cada una de las condiciones presentes en el algoritmo, posteriormente se realizan las conexiones correspondientes entre el gabinete de control. En la Figura 3.6 se muestra el accionamiento de entradas y salidas del PLC.



**Figura 3.6.** Accionamiento de entradas y salidas del PLC.

- **Prueba de fugas de agua**

Al ser un sistema de control de nivel con conexiones de tuberías y tener componentes eléctricos y mecánicos es necesario verificar que no existan fugas de agua. Las uniones de tanques, *bushing's* y *uniones universales* tienden a fugar agua al no aislarse correctamente, esto se evita utilizando teflón y aislante líquido. En la Figura 3.7 se muestran las secciones críticas de fuga de agua.



**Figura 3.7.** Secciones críticas de fuga de agua.

Para verificar que no existan fugas de agua se carga el algoritmo de control de nivel presente en el Anexo V, y se utiliza el modo de mantenimiento presente en el Segmento 8. Mediante un pulsador (verde) para suministrar agua y otro pulsador (rojo) para extraer agua se asegura que las tuberías y tanques dispongan de agua, una vez transportado el fluido se inspecciona que las uniones y perforaciones no goteen. En la Figura 3.8 y Figura 3.9 se muestran las pruebas de fuga de agua.



**Figura 3.8.** Pruebas de fuga de agua en tanques.



**Figura 3.9.** Pruebas de fuga de agua en secciones críticas.

- **Prueba de control de nivel**

Una vez verificado que el sistema no cuenta con fugas de agua que puedan ocasionar cortocircuitos o bien averías, se procede a verificar el funcionamiento del sistema de control de nivel en modo manual y modo automático. En la Figura 3.10 se muestra la prueba de nivel en el modo manual, mientras que en la Figura 3.11 se muestra la prueba de nivel en el modo automático.





**Figura 3.10.** Pruebas de nivel (modo manual nivel bajo 2.5 (cm)).



**Figura 3.11.** Pruebas de nivel (modo automático 16.8 (cm)).

### **3.2 Manual de usuario y mantenimiento.**

Para asegurar un correcto uso del sistema y prolongar la vida útil de los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos se realizó un video, cuyo código de acceso QR se presenta en la Figura 3.12.



**Figura 3.12.** Manual de usuario.

(Hipervínculo de acceso: <https://www.youtube.com/watch?v=npSgosfVdVI>)

En la Figura 3.13 se presenta un código QR donde se explica la manera correcta de dar mantenimiento al sistema de control de nivel: sistema de conexiones de tuberías, conexiones eléctricas y elementos presentes en el *backup*.



**Figura 3.13.** Manual de mantenimiento.

(Hipervínculo de acceso: <https://www.youtube.com/watch?v=5hEMCm9XPo8>)

## 4 CONCLUSIONES

- El estudio de requerimientos sirve para conocer el estado actual de la planta de control de nivel, para de esta manera identificar que componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos se dispone y cuales son necesarios adquirir para la respectiva repotenciación.
- Los planos esquemáticos son fundamentales para seguir un orden cronológico y secuencial del sistema a construir, dichos planos fueron realizados tomando en cuenta simbología y nomenclatura con base en la Norma ISA.
- La estructura construida para la ubicación del transmisor ultrasónico industrial dispone de pernos de ajuste de 12 (cm) mediante los cuales se calibra el nivel a controlar, de esta manera el transmisor puede ser calibrado para varias distancias según su necesidad.
- Al ser un transmisor de nivel de aplicación industrial cuenta con una rápida velocidad de respuesta, la cual es útil al momento de controlar nivel evitando así pérdida de información.
- Al momento de rediseñar la estructura es importante mejorarla para así evitar los errores presentes en el modelo anterior (fugas, velocidad de respuesta, rango de nivel limitado y falta de movilidad), proporcionando de esta manera un sistema de control de nivel más eficaz que permita realizar prácticas de control y automatización industrial.
- La estructura cuenta con ruedas que permiten su fácil movilización a través de una superficie, asegurando de esta manera un traslado seguro sin presuponer un riesgo en sus componentes.
- El sistema de tuberías y acoples de bombas cuenta con un diseño mediante el cual se suministra agua en las tuberías manualmente, de esta manera se asegura que la bomba no succione en vacío y se genere un deterioro en los capacitores.
- El algoritmo de control fue diseñado en lenguaje FBD con cada uno de los segmentos comentados para asegurar un fácil entendimiento por parte del usuario, adicionalmente la tabla de variables cuenta con comentarios y descripción de la misma.

- La Interfaz Humano Máquina dispone de elementos y animaciones que permiten al usuario tener una visualización del sistema de control, adicionalmente una gráfica de curvas en la cual se aprecia la variable de poseso a través del tiempo.
- Las pruebas de funcionamiento, comunicación y fugas de agua son útiles para verificar una posible falla en el sistema, para de esta manera corregirlo.
- El manual de usuario y mantenimiento contienen información útil para la correcta utilización y mantenimiento de la planta de control de nivel, dicha información viene establecida en dos videos de acceso público para su fácil entendimiento.

## 5 RECOMENDACIONES

- Cuando se realizan pruebas de funcionamiento en elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos es necesario conocer sus datos técnicos para saber la manera correcta de conectarlos o bien sus capacidades máximas y mínimas de trabajo.
- Al momento de representar elementos de control y maniobra del gabinete eléctrico es recomendable utilizar librerías preestablecidas de internet puesto que cuentan con una amplia gama de elementos para de esta manera garantizar una mejor comprensión de los planos y diagramas.
- Para calibrar el sensor ultrasónico es importante presionar el botón *teach* según el tiempo establecido puesto que si en algún paso se realiza un tiempo incorrecto se deberá calibrar el sensor desde el principio.
- Cuando se rediseña una estructura o sistema es recomendable analizar los dispositivos o secciones que se puedan reutilizar, para de esta forma reducir costos de adquisición de elementos.
- Cuando se realiza un algoritmo de control es necesario probar primero mediante una simulación y posteriormente probar con luces piloto, para de esta manera asegurar los bloqueos necesarios y evitar deterioro en los elementos de control.
- Al realizar conexiones entre el PLC y el gabinete de control es importante verificar la conductividad de los cables presentes en el laboratorio puesto que al no verificarse pueden ocurrir fallas en el sistema de control.
- Para una correcta utilización del sistema de control de nivel se recomienda la visualización del video del manual de usuario, en el cual se muestra paso a paso la puesta en marcha de dicho sistema, caso contrario se puede provocar fallas en el mismo.
- Frente a una falla en el sistema o según sea la necesidad de dar mantenimiento a los componentes se cuenta con un video guía con las respectivas recomendaciones para asegurar la vida útil de toda la planta de control de nivel, por lo tanto, se recomienda su respectiva visualización y aplicación.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de desarrollo urbano y vivienda, «habitat y vivienda,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SB-Instalaciones-Elctricas.pdf>. [Último acceso: 2 julio 2023].
- [2] Universidad de Córdoba, «uco.es,» [En línea]. Available: [http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/simbologia/Telesquemario-simbolos\\_electrotecnia.pdf](http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/simbologia/Telesquemario-simbolos_electrotecnia.pdf). [Último acceso: 2 julio 2023].
- [3] American National Standard, «ANSI/ISA-S5.5,» 3 febrero 1986. [En línea]. Available: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oscaror/CursosDictados/Sobre%20el%20Blog%20Arturo%20Rondon/ISA%20S55%20presentacion\\_PDF.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oscaror/CursosDictados/Sobre%20el%20Blog%20Arturo%20Rondon/ISA%20S55%20presentacion_PDF.pdf). [Último acceso: 2 julio 2023].
- [4] R. Borja y B. Paredes, Diseño y construcción de un módulo didactico para control de nivel de liquidos, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2007.
- [5] Direct Industry, «directyindustry.com,» Virtual Expo Group, [En línea]. Available: <https://guide.directindustry.com/es/que-interruptor-de-nivel-elegir/#:~:text=Su%20principio%20de%20funcionamiento%20es,detecta%20y%20cambia%20de%20estado..> [Último acceso: 3 julio 2023].
- [6] KEYENCE CORPORATION, «keyence.com.mx,» [En línea]. Available: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>. [Último acceso: 3 julio 2023].
- [7] Wikipedia, «IO-link,» Wikipedia the free Encyclopedia, 20 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/IO-Link>. [Último acceso: 4 julio 2023].
- [8] ifm, «Sensor ultrasónico UGT513,» ifm españa, [En línea]. Available: <https://www.ifm.com/es/es/product/UGT513>. [Último acceso: 4 julio 2023].

## **7 ANEXOS**

**ANEXO I. Reporte de similitud obtenido de Turnitin**

**ANEXO II. Certificado de funcionamiento del trabajo de integración curricular**

**ANEXO III. *Datasheet* de los elementos**

**ANEXO IV. Planos esquemáticos y diagrama P&ID**

**ANEXO V. Diagrama de flujo.**

**ANEXO VI. Algoritmo de control de nivel.**

## ANEXO I

### Reporte de similitud obtenido de Turnitin

Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, como director del presente trabajo de Integración Curricular, certifico que el siguiente es el resultado de la evaluación de similitud realizado por la plataforma Turnitin:

Autor de la entrega:	Jordan Anthony Churuchumbi Caiza
Título del ejercicio:	TIC TSEM 2023A
Título de la entrega:	TIC_CHURUCHUMBI
Nombre del archivo:	TIC_CHURUCHUMBI.pdf
Tamaño del archivo:	3.65M
Total páginas:	47
Total de palabras:	8,066
Total de caracteres:	41,265
Fecha de entrega:	18-ago.-2023 09:17a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2147587417

### TIC\_CHURUCHUMBI

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

**8**%

INDICE DE SIMILITUD

**7**%

FUENTES DE INTERNET

**1**%

PUBLICACIONES

**3**%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez, MSc.

**DIRECTOR**



## **ANEXO II**

### **Certificado de funcionamiento del trabajo de integración curricular**

DMQ, 16 de agosto de 2023

Yo Alan Daniel Cuenca Sánchez, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de integración curricular, certificó que he constatado el correcto funcionamiento del sistema de control de nivel realizado por el estudiante Jordan Anthony Churuchumbi Caiza. El proyecto cumple con los requerimientos necesarios para que cualquier usuario pueda usar el sistema.

---

Ing. Alan Daniel Cuenca Sánchez, MSc.

**DIRECTOR**

## ANEXO III

### Datasheet de los elementos

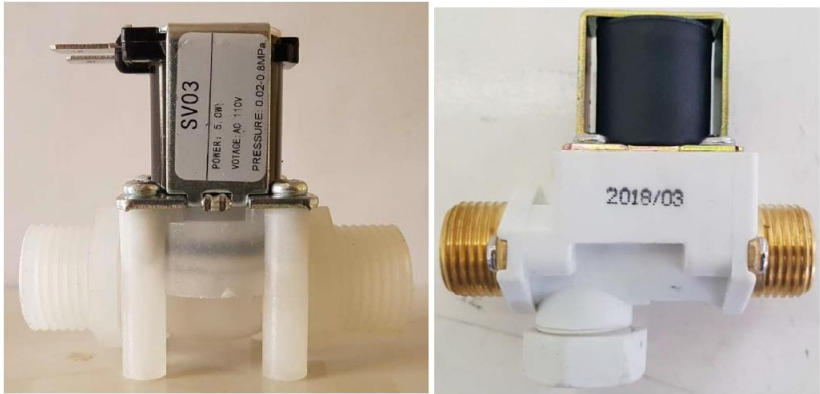
Tabla A1.1 Sensor ultrasónico UGT513

	
Alimentación	PNP
Interfaz de comunicación	IO- Link
Dimensiones (mm)	M18x 1 / L= 97.5 mm
Tensión de alimentación	(10 a 30) $V_{DC}$
Salida analógica de corriente	(4 a 20) $mA$
Clase de protección	III
Carga máxima	500 ohms

Tabla A1.2 Especificaciones bomba periférica

					
Modelo	Max. Capacidad (l/min)	Max Altura (m)	Max succión (m)	Potencia (W)	Diámetro Bomba (mm)
PBP-50	40	38	9	370	1''X1''

**Tabla A1.3 Parámetros técnicos electroválvulas solenoide**

	
Forma de accionamiento	<i>Pilot type</i>
Tipo	Normalmente cerrado
Temperatura de trabajo	0°C a 80°C
Presión de trabajo	0.02 MPa a 0.8MPa
Características caudales	Presión 0.02 MPa – Flujo 3 L/min Presión 0.1 MPa – Flujo 8 L/min Presión 0.3 MPa – Flujo 13 L/min Presión 0.8 MPa – Flujo 25 L/min

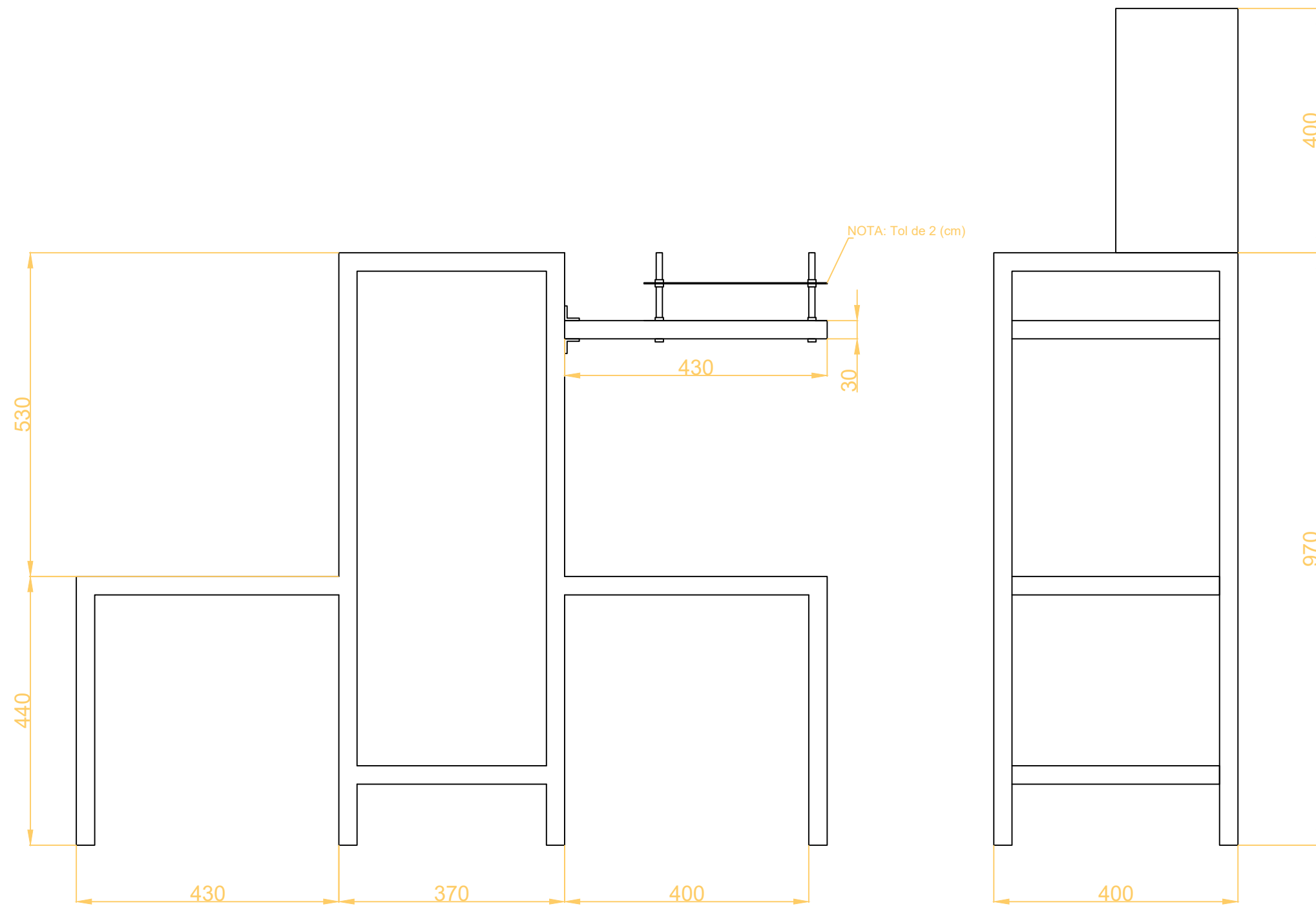
**Tabla A1.4 Especificaciones sensor de nivel tipo flotador**

	
Material	PP
Potencia máxima	10 (W)
Voltaje de accionamiento máximo	110 $V_{DC}$
Corriente de accionamiento máxima	0.5 (A)

## **ANEXO IV**

### **Planos esquemáticos y diagrama P&ID**

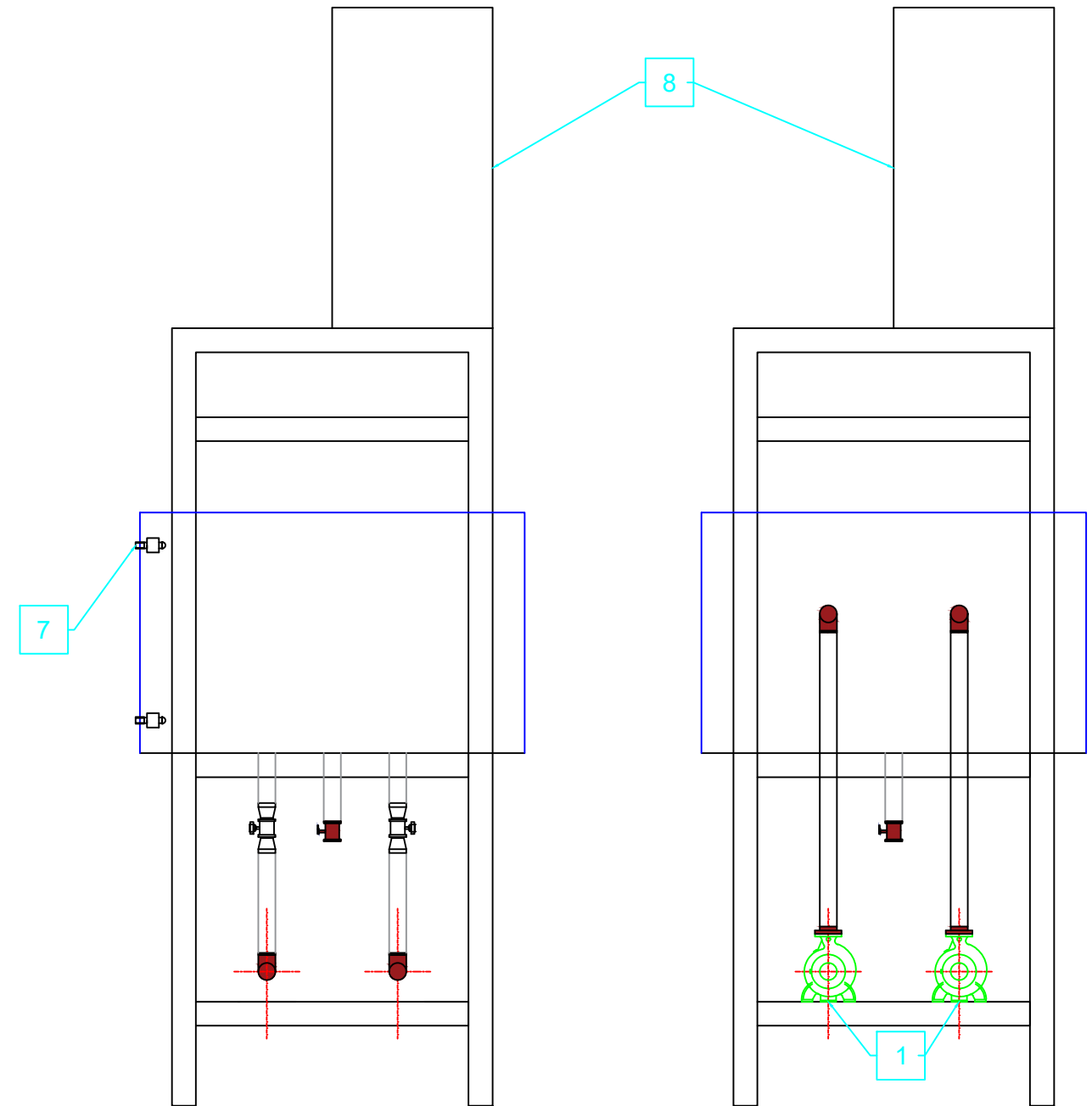
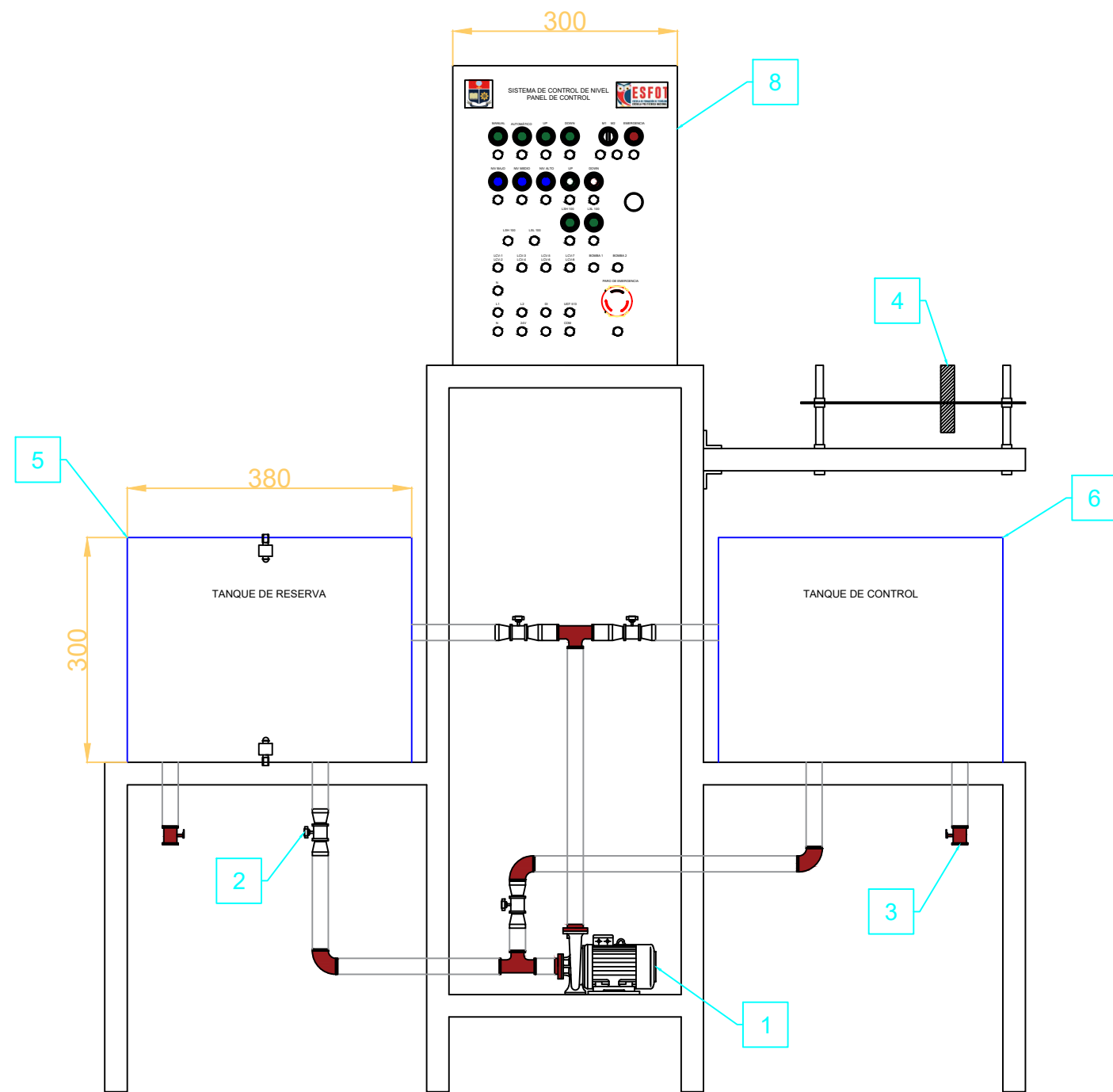
#### **Lámina 1. Plano Mecánico**



### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

ESTRUCTURA DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: ACERO
	ESCALA: 1:8	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CHURUCHUMBI JORDAN	FECHA: 21/8/2023	LÁMINA: #1

**Lámina 2. Plano Mecánico elementos mecánicos.**

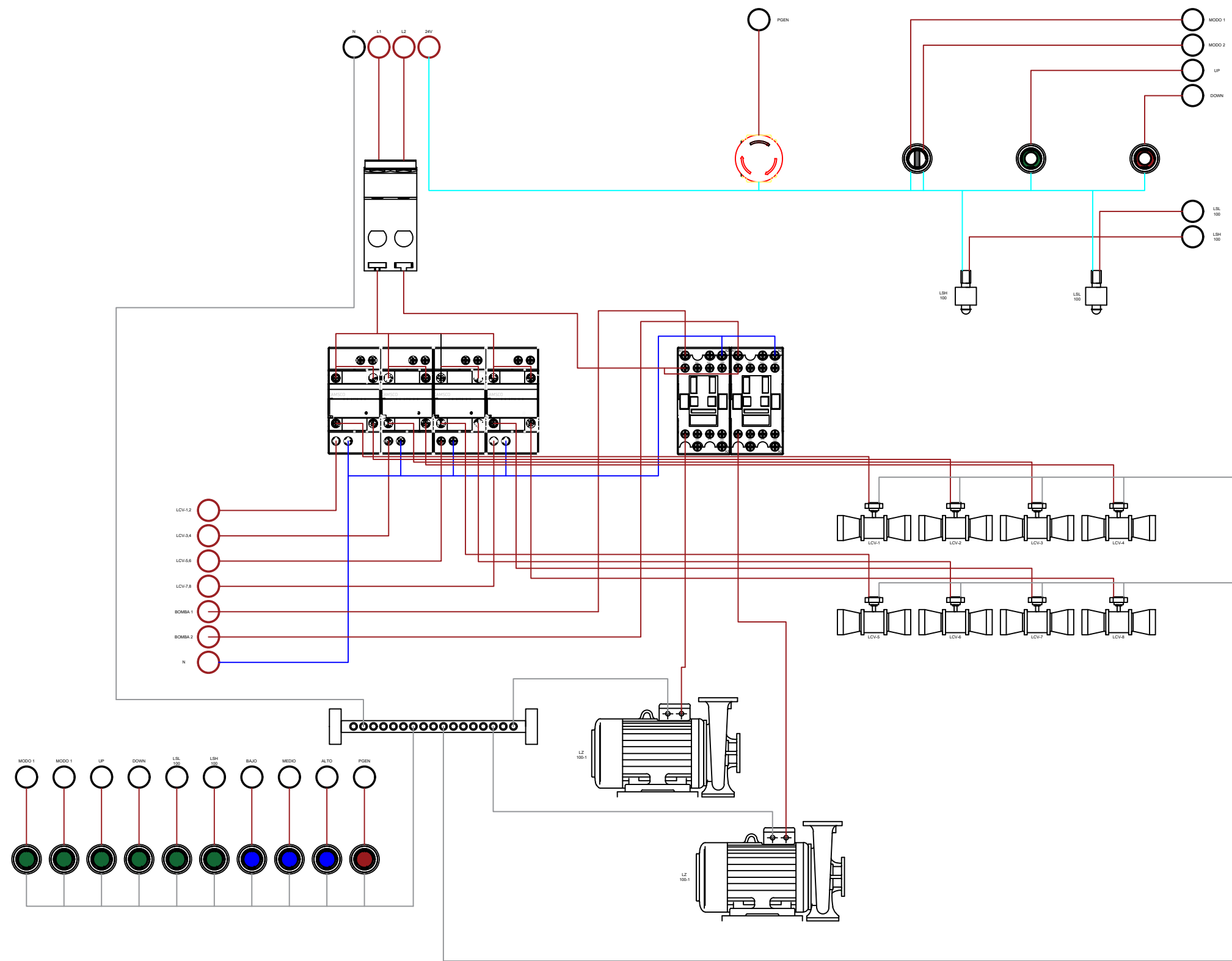


SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL		
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	BOMBA PERIFÉRICA 0.5 HP	2
2	ELECTROVÁLVULA SELENOIDE 1/2"	8
3	VÁLVULA MANUAL TIPO BOLA	2
4	SENSOR ULTRASÓNICO UGT-513	1
5	TANQUE DE CONTROL	1
6	TANQUE DE RESERVA	1
7	SENSOR DE NIVEL DE AGUA TIPO FLOTADOR	2
8	SENSOR DE NIVEL DE AGUA TIPO FLOTADOR	1

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
ESTRUCTURA DE LA PLANTA DE CONTROL DE NIVEL CONEXIONES DE TUBERIAS	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: 1:8	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CHURUCHUMBI JORDAN	FECHA: 21/8/2023	LÁMINA: #2

### **Lámina 3. Plano Eléctrico.**

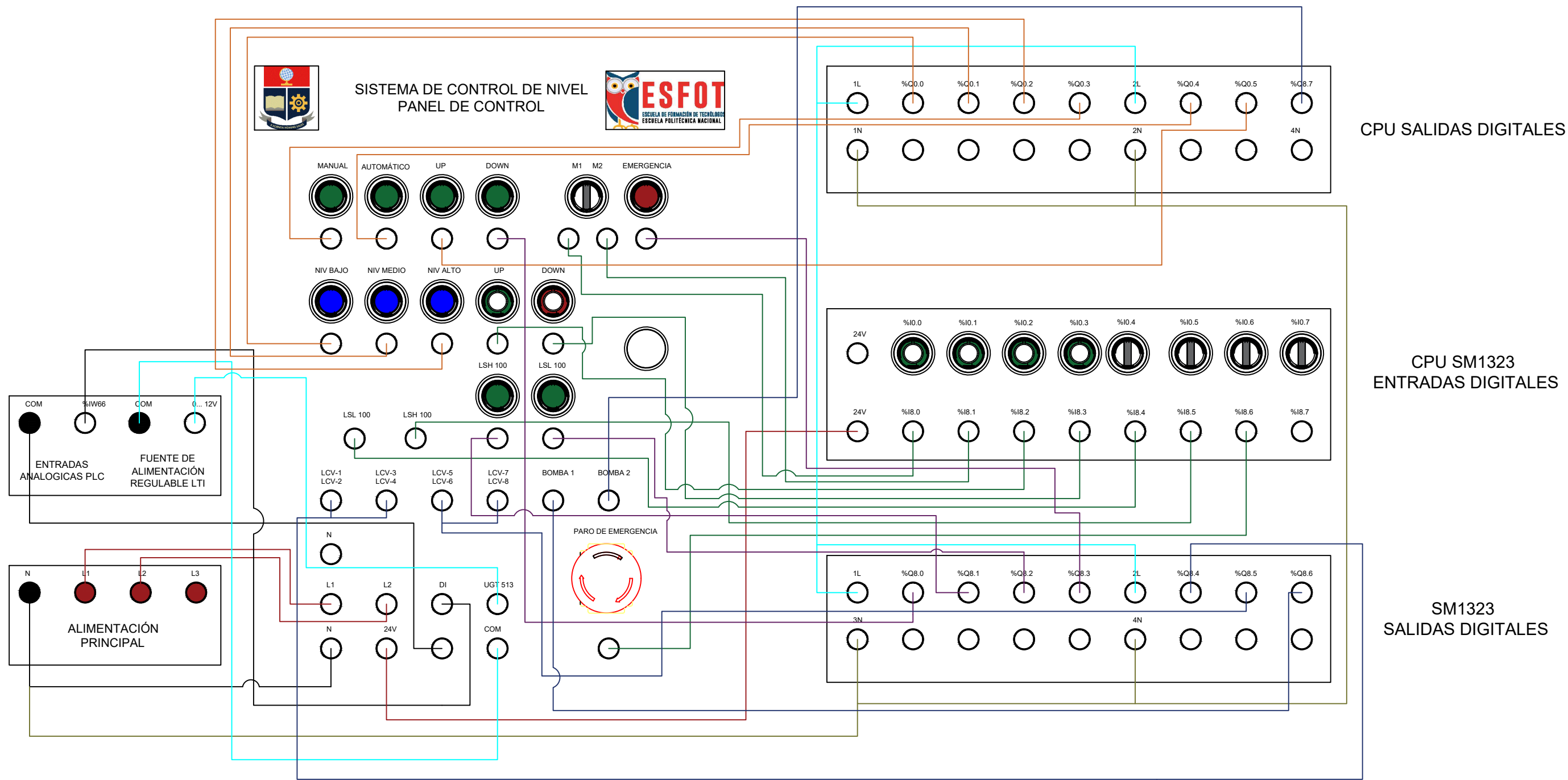




SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	BREAKER 3 POLOS
	RELÉ 8 PINES 110 (V)
	CONTACTOR ELECTROMAGNÉTICO
	PULSADOR VERDE 1NO
	LUZ PILOTO 220 (V)
	SELECTOR 3 POSICIONES
	PULSADOR TIPO HONGO SOSTENIDO CON DESENCLAVAMIENTO POR GIRO
	ELECTROVÁLVULA SELENOIDE 1/2"
	BOMBA PERIFÉRICA 0.5 (HP)
	SENSOR DE NIVEL TIPO FLOTADOR
	BORNERAS

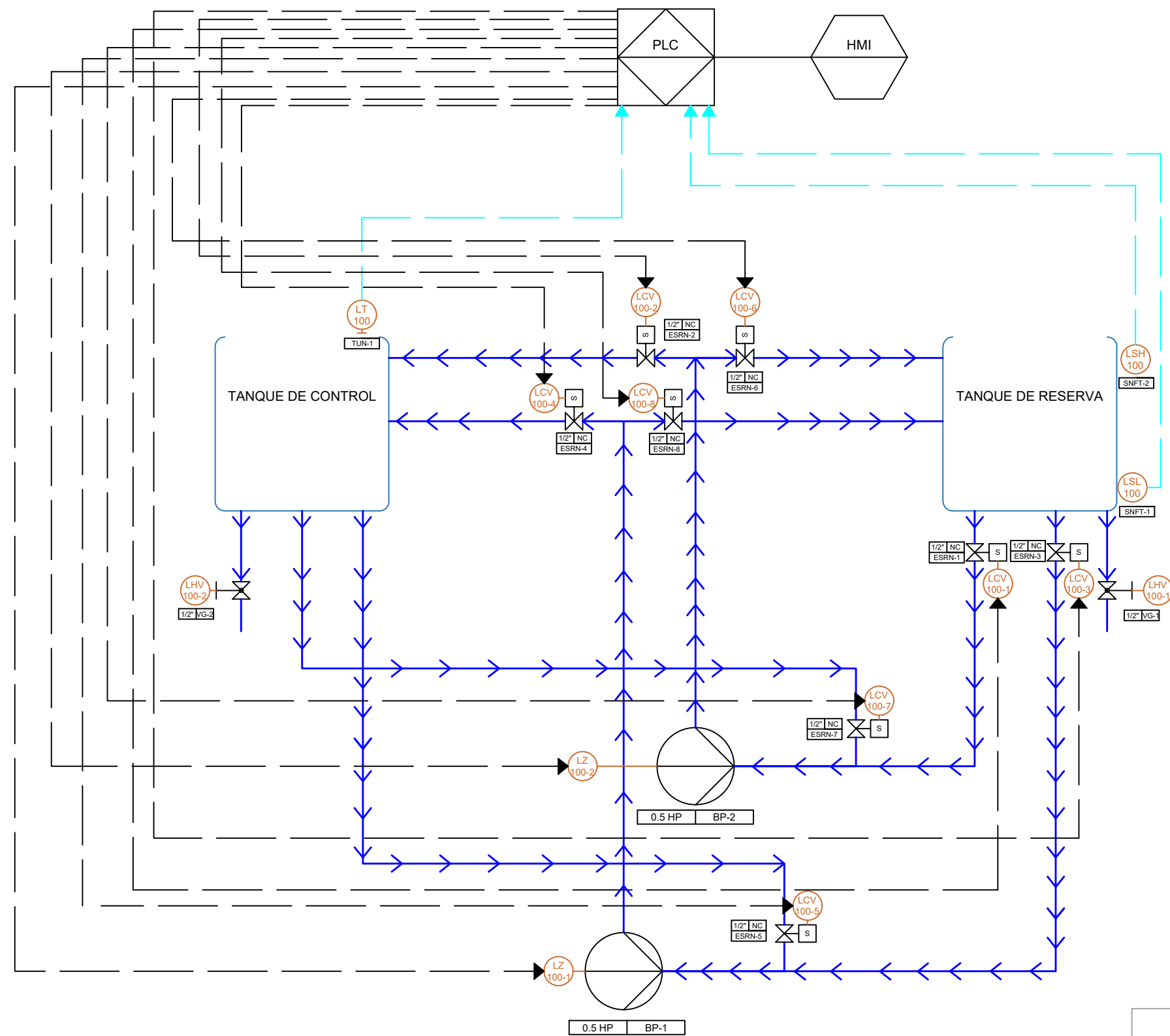
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
LÓGICA DE CONTROL DEL GABINETE ELÉCTRICO	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: N/A	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CHURUCHUMBI JORDAN	FECHA: 21/8/2023	LÁMINA: #3

**Lámina 4. Plano Conexiones Eléctricas.**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
CONEXIONES GABINETE ELÉCTRICO - PLC	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: N/A	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CHURUCHUMBI JORDAN	FECHA: 21/8/2023	LÁMINA: #4

**Lámina 5. Diagrama P&ID.**

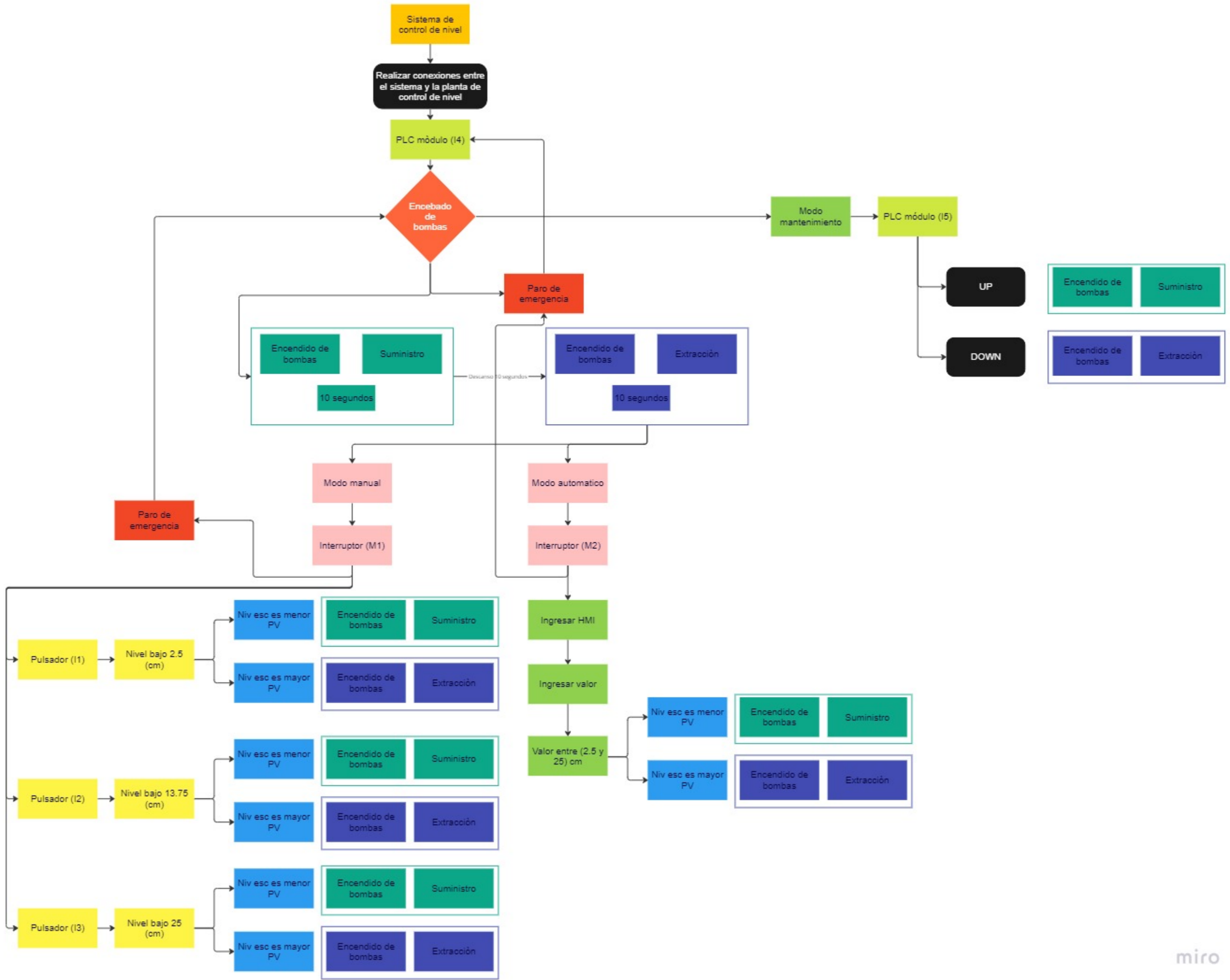


NOMENCLATURA	
ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
ESNR-#	ESNR: ELECTROVÁLVULA SELENOIDE NO REGULABLE #: ÍNDICE NÚMERO DEL ELEMENTO
SNTF-#	SNTF: SENSOR DE NIVEL TIPO FLOTADOR #: ÍNDICE NÚMERO DEL ELEMENTO
VG-#	VG: VÁLVULA DE GLOBO #: ÍNDICE NÚMERO DEL ELEMENTO
TUN-#	TUN: TRANSMISOR ULTRASÓNICO DE NIVEL #: ÍNDICE NÚMERO DEL ELEMENTO
BP-#	BP: BOMBA PERIFÉRICA #: ÍNDICE NÚMERO DEL ELEMENTO

LÍNEAS DE PROCESO	
	TUBERÍA PRINCIPAL PVC 1/2"
	SALIDAS PLC
	ENTRADAS PLC
DESCRIPCIÓN DEL LAZO DE CONTROL	
LAZO	DESCRIPCIÓN
100	LAZO DE NIVEL

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
DIAGRAMA P&ID	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: N/A
	ESCALA: N/A	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: CHURUCHUMBI JORDAN	FECHA: 21/8/2023	LÁMINA: #5

**ANEXO V**  
**Diagrama de flujo**



## **ANEXO VI**

### **Algoritmo de control de nivel**



# 1 / PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

## Main\_1 [OB123]

### Main\_1 Propiedades

#### General

<b>Nombre</b>	Main_1	<b>Número</b>	123	<b>Tipo</b>	OB	<b>Idioma</b>	FUP
---------------	--------	---------------	-----	-------------	----	---------------	-----

<b>Numeración</b>	Automático
-------------------	------------

#### Información

<b>Título</b>	"Main Program Sweep (Cycle)"	<b>Autor</b>		<b>Comentario</b>	Sistema de control al PLC	<b>Familia</b>	
---------------	------------------------------	--------------	--	-------------------	---------------------------	----------------	--

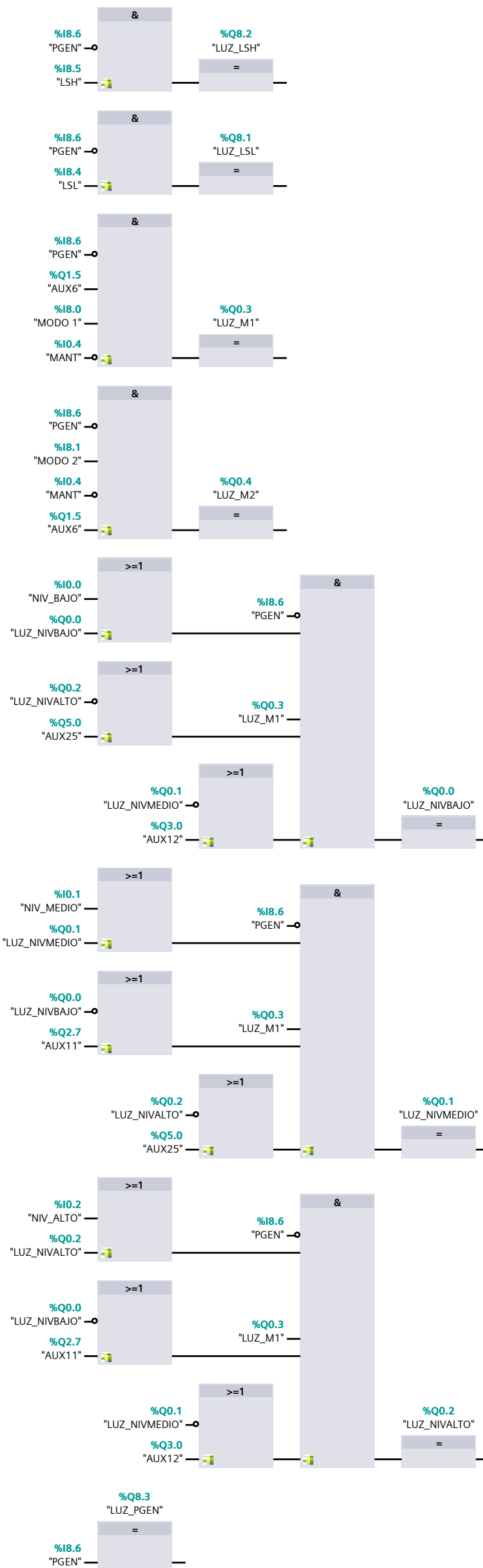
<b>Versión</b>	0.1	<b>ID personalizada</b>	
----------------	-----	-------------------------	--

### Main\_1

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
▼ Input			
Initial_Call	Bool		Initial call of this OB
Remanence	Bool		=True, if remanent data are available
Temp			
Constant			

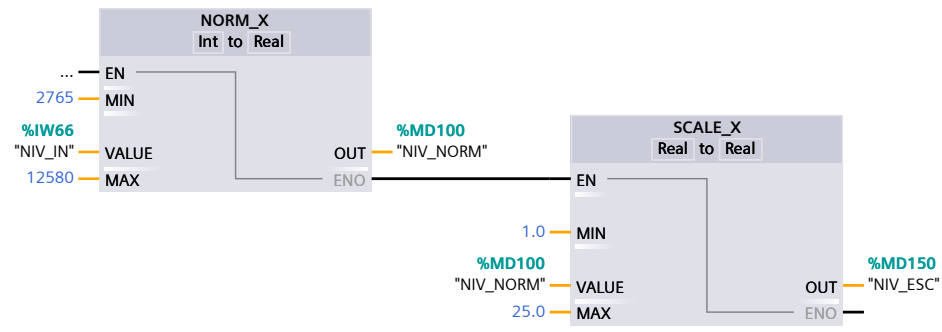
### Segmento 1:

Entradas y salidas del PLC



**Segmento 2:**

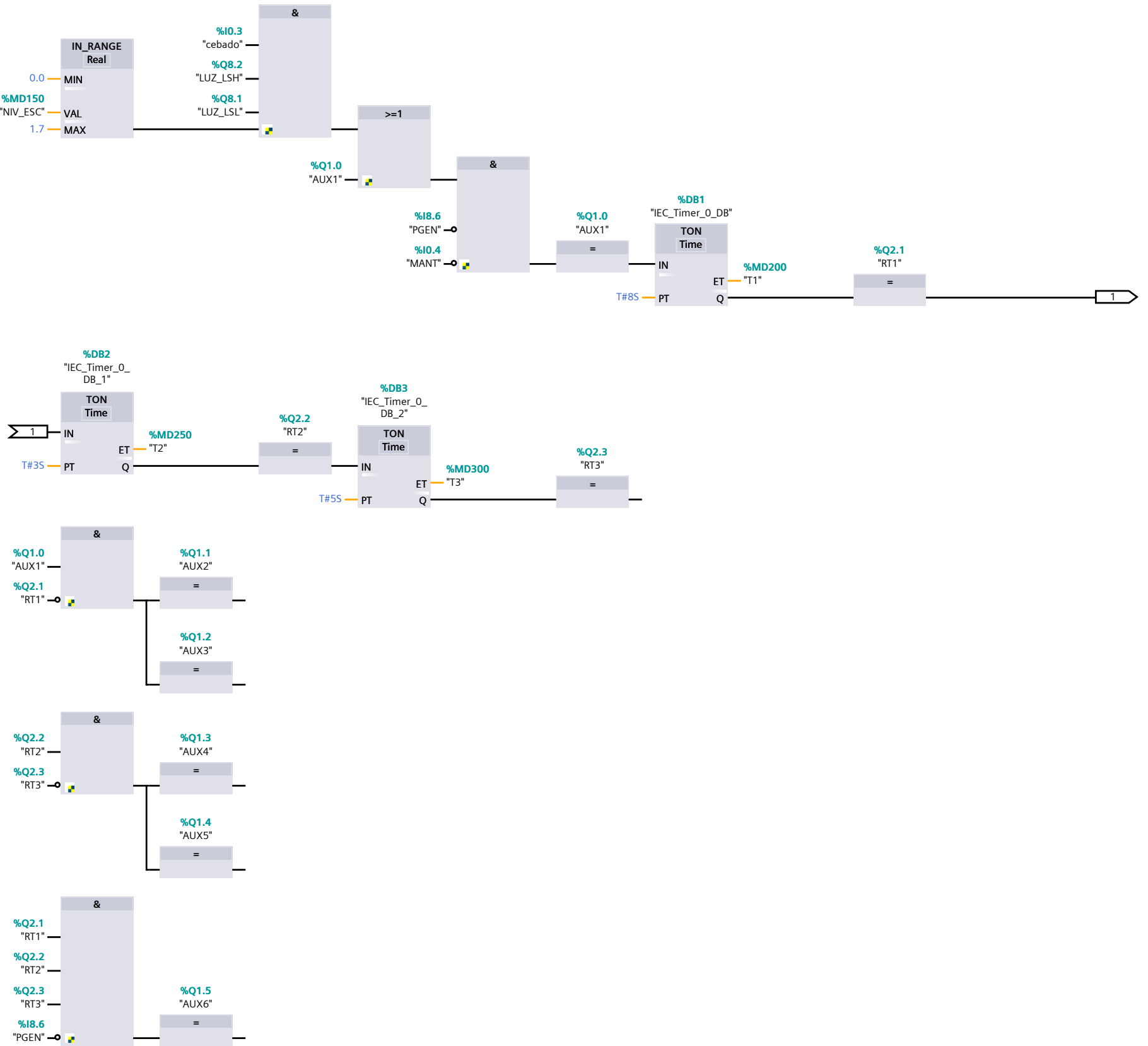
Escalado y normalizado de variables 1cm a 30cm 1 a 5v



**Segmento 3:**

Cebado de bombas

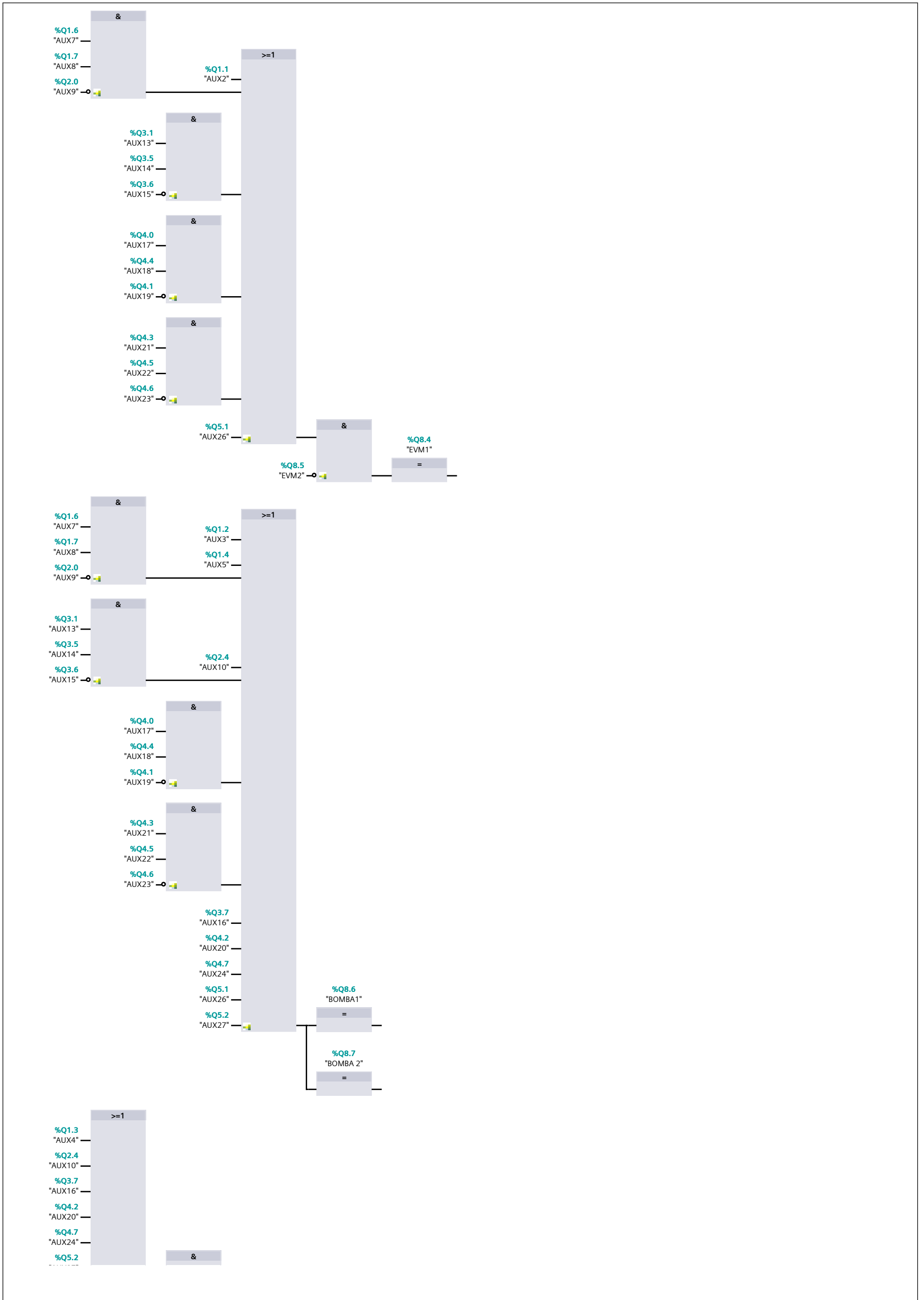
**Segmento 3:**



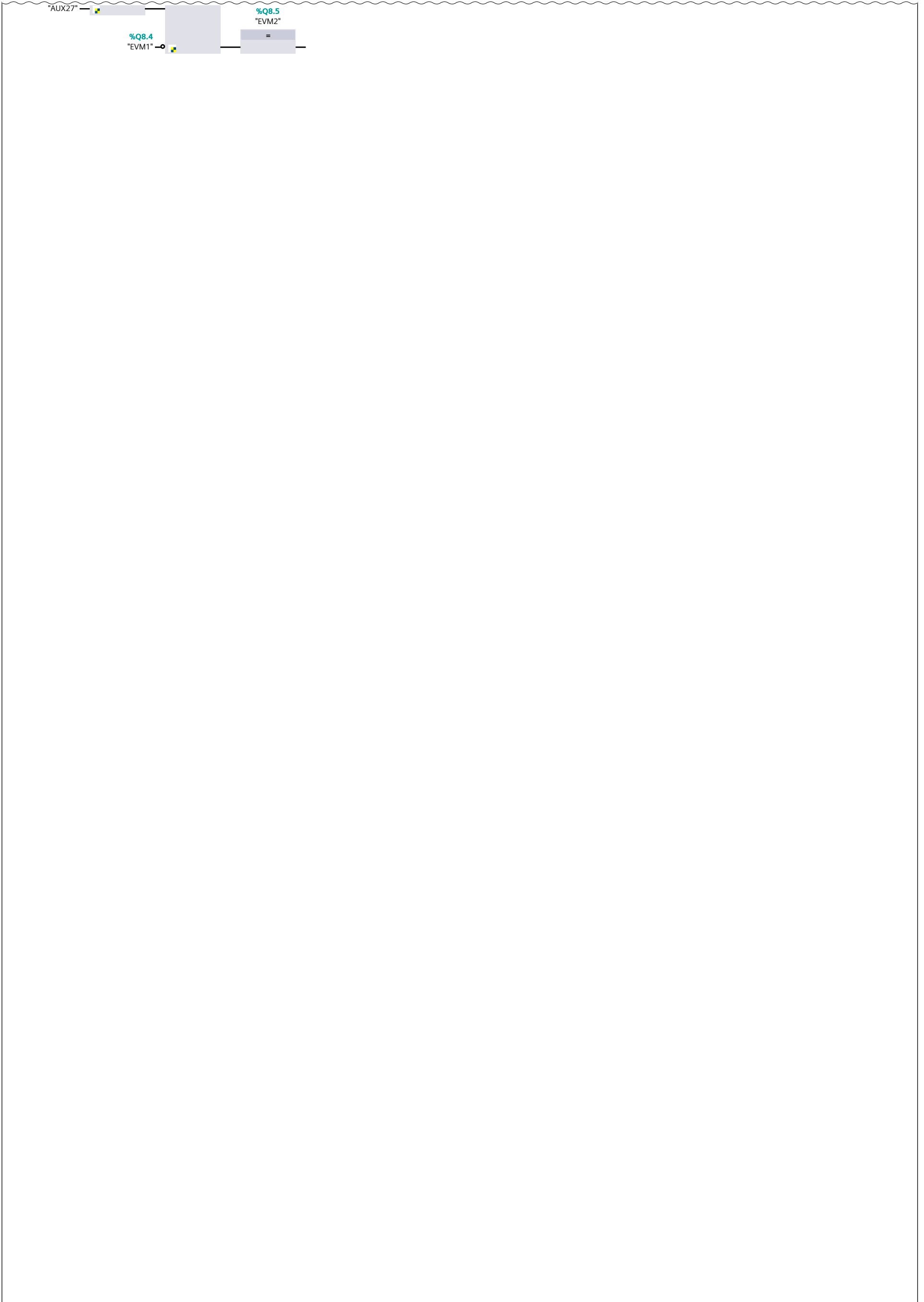
**Segmento 4:**

Electrovalvulas y bombas

Segmento 4: (1.1 / 2.1)



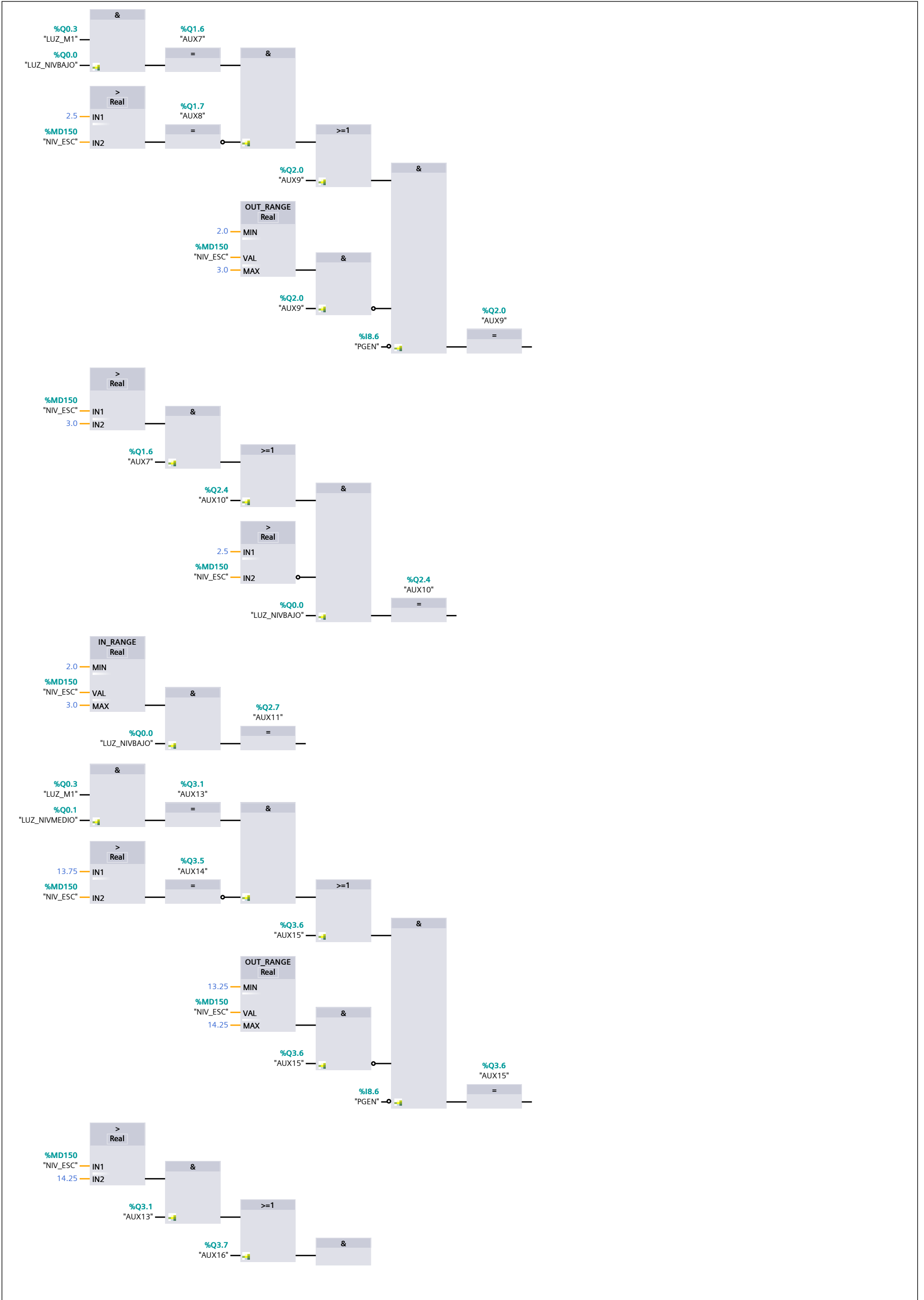
Segmento 4: (2.1 / 2.1)



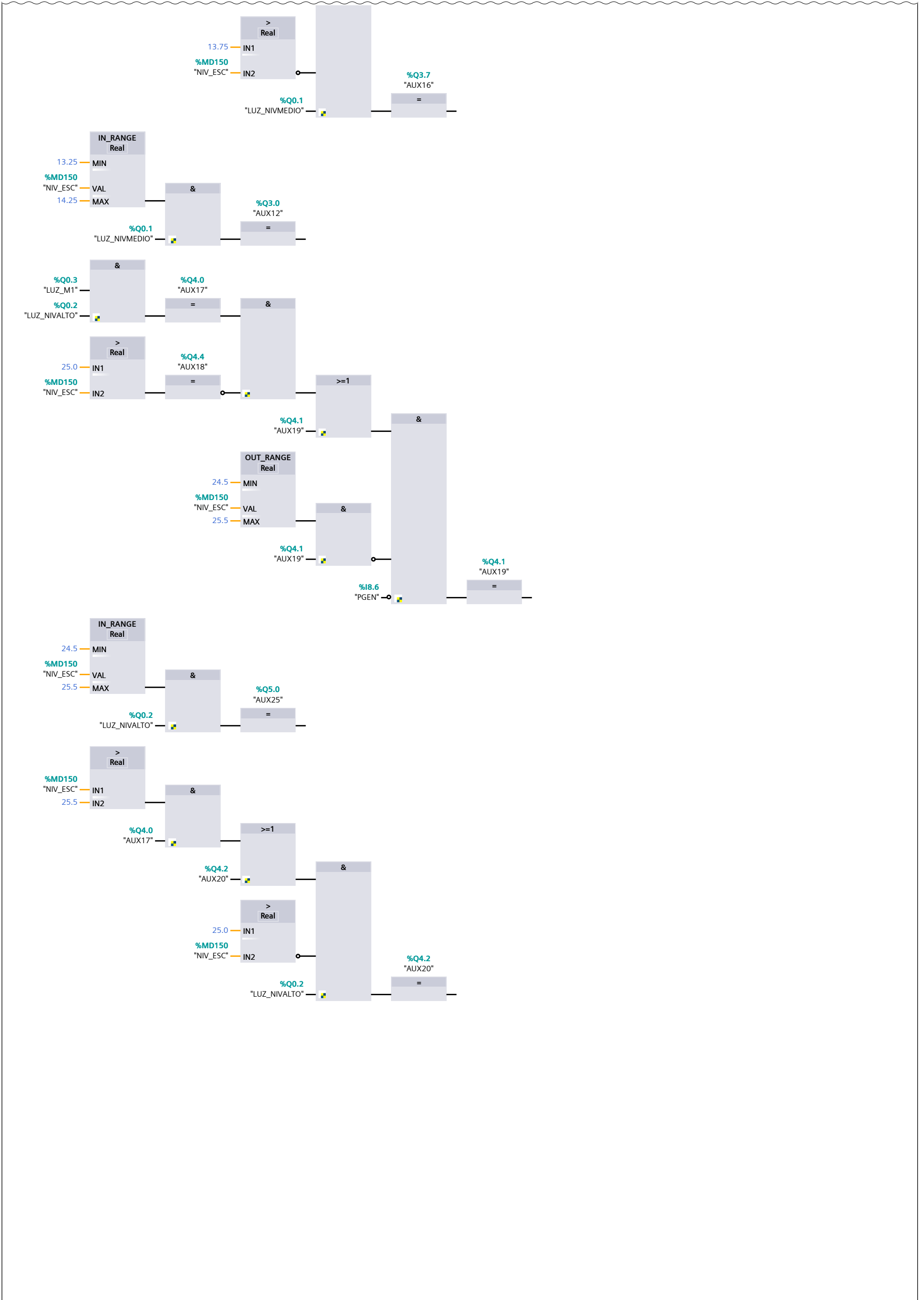
**Segmento 5:**

Modo manual

Segmento 5: (1.1 / 2.1)



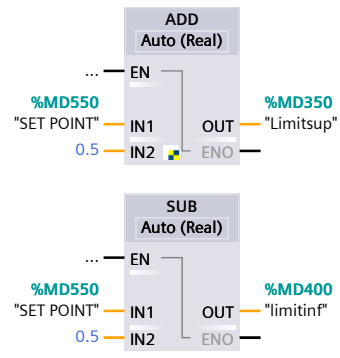
Segmento 5: (2.1 / 2.1)





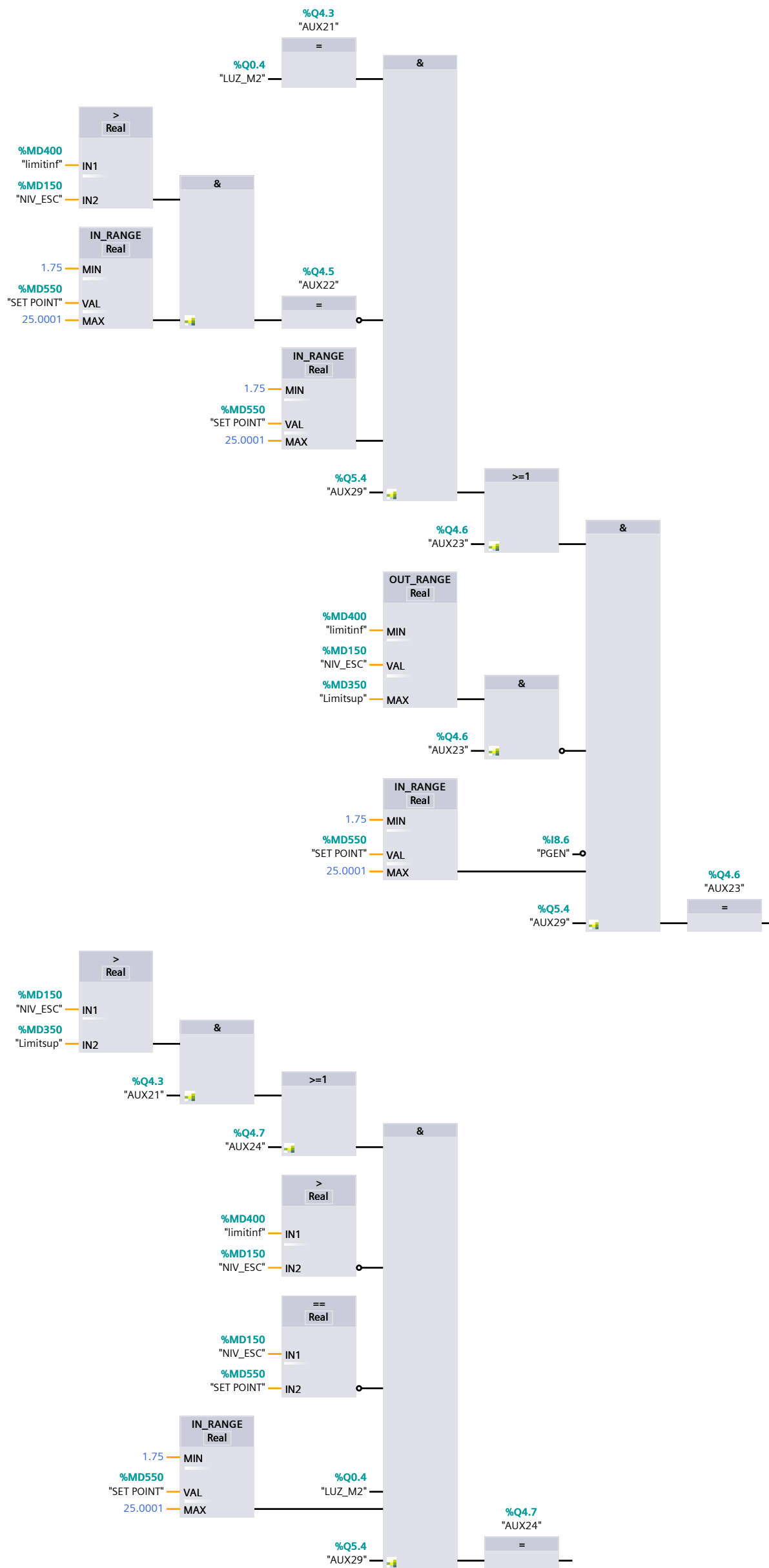
**Segmento 6:**

Banda de histeresis



**Segmento 7:**

Modo automatico



**Segmento 8:**

Modo mantenimiento

