



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”, ZACATENCO

**AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO
DIDÁCTICO DE MEDICIÓN DE NIVEL**

TESIS

PARA OBTENER TÍTULO DE

**INGENIERO EN
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

PRESENTAN

**ALDAIR DE JESUS AGUILA SANCHEZ
GUILLERMO ALBERTO MONTEAGUDO VILCHIS**

ASESORES



**Ing. Pedro Francisco Huerta González
Ing. René Tolentino Eslava**

CIUDAD DE MÉXICO febrero, 2019

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA (N) DESARROLLAR C. GUILLERMO ALBERTO MONTEAGUDO VILCHIS
C. ALDAIR DE JESUS AGUILA SANCHEZ

“AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE MEDICIÓN DE NIVEL”

REALIZAR LA AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDO EMPLEANDO UN CONTROLADOR DE AUTOMATIZACIÓN PROGRAMABLE (PAC) Y UNA INTERFAZ HUMANÓ MÁQUINA (HMI) PARA SU OPERACIÓN Y MONITOREO.

- ❖ MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL
- ❖ MÓDULO DIDÁCTICO DE MEDICIÓN DE NIVEL
- ❖ AUTOMATIZACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE NIVEL
- ❖ PRUEBAS Y RESULTADOS

CIUDAD DE MÉXICO, A 06 DE FEBRERO DE 2019.

ASESORES


ING. PEDRO FRANCISCO HUERTA
GONZÁLEZ


ING. RENÉ TOLENTINO ESLAVA


M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ
JEFA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



IPN
FAT/PA/ICA

Autorización de uso de obra

Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Aldair de Jesús Águila Sánchez y Guillermo Alberto Monteagudo Vilchis**, manifiestan ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada “**Automatización de un módulo didáctico de medición de nivel**” en adelante “**La Tesis**” y de la cual se adjunta copia, de un impreso y un cd por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos a el **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **El IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; para consulta o para apoyar futuros trabajos relacionados con el tema de “**La Tesis**” por un periodo de **6 años** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **El IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **El IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de “**La Tesis**”.

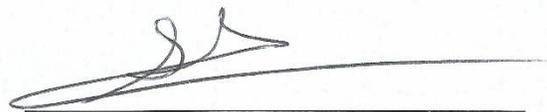
Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de “**La Tesis**”, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por los que suscriben respecto de “**La Tesis**”, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “**La Tesis**” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., a 29 de marzo de 2019

Atentamente



Aldair de Jesús Águila Sánchez



Guillermo Alberto Monteagudo Vilchis

ÍNDICE

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	iii
OBJETIVO	v
RELACIÓN DE FIGURAS	vi
RELACIÓN DE TABLAS	ix
CAPÍTULO 1 MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL	1
1.1 MEDICIÓN DE NIVEL	2
1.1.1 Mirilla de nivel	3
1.1.2 Transmisores ultrasónicos.....	6
1.1.3 Transmisor de nivel por presión diferencial	7
1.1.4 Interruptores de nivel.....	8
1.2 CONTROLADOR AUTOMÁTICO DE NIVEL ON/OFF	10
1.3 ELEMENTO FINAL DE CONTROL	13
1.3.1 Válvulas	13
1.3.2 Bombas	14
1.4 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI)	15
CAPÍTULO 2 MÓDULO DIDÁCTICO DE MEDICIÓN DE NIVEL	17
2.1 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DE NIVEL.....	18
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS	20
2.2.1 Transmisor ultrasónico 873M-D18AI300-D4 Allen Bradley	22
2.2.2 Interruptor de nivel.....	23
2.2.3 Transmisor de nivel por presión diferencial	24
2.2.4 Mirilla de nivel.....	25
2.3 DESCRIPCIÓN DE PAC	25
2.4 ELEMENTOS FINALES DE CONTROL	26
2.4.1 Bomba sumergible.....	27
2.4.2 Válvula solenoide	27
2.5 INTEGRACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.....	28

2.5.1	Botonera E/S analógicas y digitales	28
2.5.2	Entradas analógicas 0 y 1	31
2.5.3	Botonera de entradas y salidas digitales	31
2.5.4	Alimentación en tablero de control	33
2.5.5	Clemas de entradas y salidas digitales y analógicas.....	35
2.6	OPERACIÓN MANUAL DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE NIVEL.....	37
CAPÍTULO 3 AUTOMATIZACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE NIVEL.....		38
3.1	CONEXIÓN Y CABLEADO.....	39
3.1.1	Circuitos para la automatización del módulo didáctico	39
3.2	PROGRAMACIÓN DEL PAC.....	47
3.3	INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA (HMI)	63
CAPÍTULO 4 PRUEBAS Y RESULTADOS.....		70
4.1	VERIFICACIÓN DE LOS CIRCUITOS IMPLEMENTADOS	71
4.2	OPERACIÓN MANUAL	77
4.3	OPERACIÓN DE CONTROL ON-OFF	79
4.3.1	Control ON-OFF básico con el LT ultrasónico	80
4.3.2	Control ON-OFF con histéresis con el LT ultrasónico.	82
4.3.3	Control ON-OFF con histéresis con el LT por presión.....	84
4.4	COSTOS DEL PROYECTO	88
CONCLUSIONES.....		92
RECOMENDACIONES PARA PROYECTOS FUTUROS.....		94
BIBLIOGRAFÍA.....		95
APÉNDICES.....		96

RESUMEN

En esta tesis se desarrolló la automatización de un módulo didáctico para medir nivel, el módulo cuenta con un tanque superior y uno inferior; en el tanque superior se mide haciendo uso de un transmisor ultrasónico de nivel y un transmisor de nivel por presión diferencial implementando un control ON-OFF para activar una bomba sumergible que se encuentra en el tanque inferior y una válvula solenoide, que sirve para vaciar el tanque superior.

Se realizó el cableado de la etapa de potencia y de las señales de los tipos analógicas y digitales requeridas por el módulo didáctico de nivel. Se integraron al módulo de nivel el interruptor de nivel, el transmisor de nivel por presión diferencial y el transmisor ultrasónico de nivel. Se hizo el ajuste, caracterización y escalamiento de los transmisores de nivel de acuerdo a sus características. Se montó una botonera en el módulo de nivel que cuenta con los botones de arranque y paro de la bomba en el modo manual y 4 alarmas de nivel correspondientes a los niveles bajo-bajo, bajo, alto, alto-alto. Haciendo uso de un cable arnés y conector PTC 212 se realizó la conexión entre el módulo didáctico de nivel y el tablero de control. A través de un cable UTP mediante una topología tipo estrella se realizó la comunicación entre el controlador de automatización programable (PAC) y la computadora personal de escritorio (PC) para desarrollar la programación de control tipo ON-OFF y la Interfaz Humano-Maquina (HMI) del módulo didáctico de medición de nivel.

En el modo manual de manera local se arranca o se para la bomba sumergible por la botonera montada en el módulo de nivel y en la botonera E/S digitales del tablero de control se puede abrir o cerrar la válvula solenoide desde los botones IN0 e IN1. De forma remota se puede arrancar o parar la bomba sumergible y abrir o cerrar la válvula solenoide desde la HMI en la pantalla de modo manual en donde además se visualiza el nivel de manera continua del tanque completo dado por el transmisor de nivel por presión y una vez que el nivel llega a la parte alta del tanque se comienza a visualizar una segunda medición dada por el transmisor ultrasónico de nivel. Se controla el nivel del

tanque completo por la HMI de control ON-OFF con histéresis del transmisor de nivel por presión en donde se puede ingresar un SetPoint, así como ajustar el límite alto y el límite bajo de la histéresis. En la pantalla de la HMI del Transmisor ultrasónico de nivel que controla la parte alta del tanque, se selecciona entre un control ON-OFF básico el cual requiere que se le ingrese un SetPoint o un control ON-OFF con histéresis que además del SetPoint requiere que se ingrese el límite alto y el límite bajo de la histéresis.

INTRODUCCIÓN

La automatización es un conjunto de métodos y recursos que implican elementos físicos (hardware) y elementos de programación (software) para el control de diversos equipos y sistemas, que conlleva a que procesos industriales automáticos tiendan a ser productivamente eficientes y que satisfagan una alta demanda de productos y servicios en tiempos cada vez más reducidos.

De esto se despliega la importancia de la medición de diversas variables a controlar como una de las partes fundamentales del proceso de automatización, que se lleva a cabo con la instrumentación industrial, el cual se compone de un grupo de equipamientos y dispositivos que sirven a los ingenieros y técnicos para medir, convertir y registrar variables de un proceso para posteriormente transmitir las, evaluarlas y controlarlas. En la industria, la medición de nivel es importante desde el punto de vista del funcionamiento del proceso, balance adecuado de materias primas y/o productos finales; así como seguridad por riesgo alto de sustancias peligrosas.

En el área del control y automatización industrial es importante el conocimiento y aplicación de estos conceptos; de manera que en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Unidad Zacatenco, dentro de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización se imparten las unidades de aprendizaje de Elementos Primarios de Medición así como Elementos de Transmisión y Control, donde se muestran los usos de los diferentes sensores y transmisores que se emplean para la medición de las cuatro variables principales utilizadas en la industria las cuales son presión, temperatura, flujo y nivel, estas unidades de aprendizaje se imparten semestralmente a un número aproximado de 600 alumnos entre las dos materias en ambos turnos por lo que es necesario que se tenga pleno conocimiento de los dispositivos que se usan.

En la automatización del módulo didáctico la variable a controlar es el nivel. Es por ello, que para conocer el funcionamiento de algunos elementos primarios y transmisores de nivel en este se implementaran el transmisor ultrasónico de nivel, interruptor de nivel,

transmisor de nivel por presión, mirilla de nivel, una bomba sumergible para el llenado del tanque superior y una válvula solenoide para el drenado. También se implementará un control ON-OFF para la automatización del proceso, el cual básicamente consiste en aplicar de manera constante la acción correctiva de la variable de proceso (PV), que tiene su valor máximo cuando el error es positivo y su valor mínimo cuando el error es negativo; este tipo de control es eficiente si se le añade una histéresis o zona muerta. Asimismo se contemplaron alarmas de aviso en cuatro niveles desde bajo-bajo, bajo, alto y alto-alto donde actuará este tipo de control. Además, se diseñará una HMI para la operación y visualización desde una pantalla táctil o computadora. Todo esto con el propósito de que los alumnos tengan el acercamiento a este tipo de dispositivos y generen bases sólidas en temas de instrumentación y control de procesos.

En el primer capítulo se muestran los conceptos teóricos de los sensores, actuadores y controladores a utilizar, que se complementa con el tipo de control a utilizar. En el segundo capítulo se dan a conocer las condiciones en las que se encontraba el módulo didáctico, sus medidas y los elementos que lo conformaban.

Asimismo, en el tercer capítulo se presentan los nuevos elementos a implementar además de como se hizo la integración para la automatización, las conexiones eléctricas, la programación e interfaz establecida. Posteriormente, en el cuarto capítulo se registran los resultados de toda la implementación establecida en el tercer capítulo, así como los costos que abarcó el desarrollo y la realización de este trabajo. Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de este trabajo.

OBJETIVO

Realizar la automatización de un módulo didáctico para medición de nivel de líquido empleando un Controlador de Automatización Programable (PAC) y una Interfaz Humano-Máquina (HMI) para su operación y monitoreo.

RELACIÓN DE FIGURAS

1.1 Representación de un tanque con líquido o material sólido.....	4
1.2 Mirilla de nivel.	4
1.3 Indicadores de mirillas tubulares.	5
1.4 Diagrama de bloques de un sistema de medición ultrasónico.	6
1.5 Medición de nivel (Tanque abierto).....	8
1.6 Medición de nivel (Tanque a presión)	9
1.7 Interruptor de nivel activado magnéticamente.	10
1.8 Controlador ON/OFF.....	12
1.9 Válvula solenoide.....	14
1.10 Panel de operación para implementar una HMI.....	15
1.11 HMI de pantalla táctil.	16
2.1 Estructura básica del módulo didáctico de medición de nivel.	19
2.2 Ubicación del sensor ultrasónico.	19
2.3 Transmisor ultrasónico 873M-D18AI300-D4.....	22
2.4 Diagrama de conexión del transmisor ultrasónico 873M-D18AI300-D4.....	23
2.5 Interruptor de nivel.	23
2.6 Transmisor de nivel por presión diferencial.	24
2.7 Diagrama de conexión transmisor de nivel por presión.	25
2.8 Mirilla de nivel.	25
2.9 CompactLogix L-43.....	26
2.10 Bomba sumergible AQUASUB.	27
2.11 Válvula solenoide.....	28
2.12 Tablero de control.	29
2.13 Botonera encendido y paro de entradas y salidas.	30
2.14 Diagrama físico botonera E/S analógicas y digitales.	30
2.15 Entradas analógicas 0 y 1.....	31

2.16 Diagrama de conexión entradas analógicas 0 y 1.	32
2.17 Botonera de entradas y salidas digitales.	32
2.18 Alimentación del tablero de control y relé maestro.	33
2.19 Clemas de conexión E/S analógicas y digitales.....	35
3.1 Módulo didáctico de nivel automatizado.	39
3.2 Riel DIN para integración de elementos en el módulo didáctico de nivel.....	40
3.3 Fuente de alimentación de 12 VCD.	42
3.4 Contacto para conexión de la bomba sumergible.	43
3.5 Botonera montada en el módulo didáctico.	43
3.6 Arnés de conexiones hembra-macho.	44
3.7 Conector puente PCT 212.	44
3.8 Diagrama de conexiones entradas digitales.	46
3.9 Diagrama de conexiones salidas digitales.	46
3.10 Diagrama de conexión de entradas analógicas.	47
3.11 Tags del programa.	49
3.12 Árbol de funciones.	50
3.13 Subrutina MAINROUTINE.	51
3.14 Subrutina MANUAL.....	53
3.15 Diagrama de flujo Alarmas.....	54
3.16 Subrutina Alarmas.	55
3.17 Lazo de control ON-OFF básico.	56
3.18 Diagrama de flujo control ON-OFF básico.	56
3.19 Subrutina de control ON-OFF básico.....	57
3.20 Lazo de control ON-OFF con histéresis.....	57
3.21 Diagrama de flujo del control ON-OFF con histéresis.....	58
3.22 Control ON-OFF con histéresis.....	59
3.23 Gráfica de la respuesta ideal de la recta y escalamiento del TUS.....	60
3.24 Programación de escalamiento del transmisor ultrasónico.....	61

3.25 Gráfica de la ecuación de la recta y escalamiento de TN-P.	63
3.26 Escalamiento del transmisor de nivel con offset.	64
3.27 Pantalla de bienvenida de HMI.	65
3.28 HMI para la operación en modo manual.	66
3.29 HMI del control ON-OFF/histéresis transmisor de nivel por presión.	67
3.30 HMI del control ON-OFF básico del transmisor ultrasónico de nivel.	68
3.31 HMI del control ON-OFF/histéresis con el transmisor ultrasónico de nivel.	69
4.1 Verificación de continuidad en el módulo didáctico de nivel.	71
4.2 Panel de control energizado.	72
4.3 Pruebas de alimentación de tensión eléctrica.	73
4.4 Slots con leds indicadores.	74
4.5 Control Tags del PAC.	75
4.6 Datos de control Tags.	76
4.7 Señal 120 VCA y 24 VCD.	77
4.8 HMI en modo manual.	78
4.9 Botonera de alarmas del módulo de nivel.	79
4.10 HMI de control ON-OFF básico para transmisor ultrasónico de nivel.	81
4.11 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF básico.	81
4.12 HMI de control ON-OFF/histéresis para transmisor ultrasónico de nivel.	83
4.13 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF/histéresis.	83
4.14 HMI de control ON-OFF/histéresis de transmisor de nivel por presión.	85
4.15 Respuesta del transmisor de nivel por presión con control ON-OFF/histéresis.	85
4.16 Accionamiento de válvula solenoide.	86
4.17 Activación y desactivación de válvula solenoide.	87
4.18 Activación y desactivación de bomba sumergible.	87

RELACIÓN DE TABLAS

2.1 Descripción de los módulos del PAC CompactLogix L43.	26
2.2 Tags de alimentación en tablero de control y relé maestro.....	34
2.3 Clemas de conexión E/S analógicas y digitales.....	36
3.1 Tags para integración de elementos en el módulo didáctico de nivel.	41
3.2 Tags de la fuente de alimentación de 12 VCD.....	42
3.3 Tags del contacto de conexión de la bomba sumergible.	43
3.4 Conexiones de arnés-hembra (tablero de control).....	44
3.5 Conexiones de arnés-macho (módulo didáctico).....	45
4.1 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF básico.	82
4.2 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF/histéresis.	84
4.3 Respuesta del transmisor de nivel por presión con control ON-OFF/histéresis.	86
4.4 Costos de los materiales del tablero de control.	88
4.5 Costos de los materiales del módulo didáctico de nivel.....	89
4.6 Costos indirectos del proyecto	90
4.7 Costos de ingeniería.	90
4.8 Costo total de proyecto.	90

CAPÍTULO 1

MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos en los cuales está basado el proyecto de tesis mostrando los principios de los elementos que conforman el módulo didáctico de control de nivel.

1.1 Medición de nivel

Existen métodos clásicos y modernos para medir el nivel de un producto en los tanques de proceso y almacenamiento en las industrias química, petroquímica, farmacéutica, alimenticia, entre otras. Por otro lado, también se puede medir nivel en tanques móviles que están en vehículos y barcos, así como en reservorios naturales como mares, represas, lagos y océanos.

En una planta típica de procesos se tienen diversos tanques, contenedores y depósitos. Éstos deben de almacenar o procesar algún material, por lo que la medición precisa de los contenidos debe conocerse detectando y controlando el producto debido a que en ciertos procesos es vital. Aunque los materiales en los tanques suelen ser líquidos, los niveles en los contenedores involucran una amplia gama de materiales, incluidos polvos, lodos, semilíquidos, sólidos, por mencionar algunos.

El nivel se define como la altura de llenado por un líquido o material en un tanque, contenedor o depósito. Generalmente, la posición de la superficie es medida en relación con un plano de referencia que usualmente es el fondo del tanque. Si el producto no es plano (por ejemplo, con espuma, ondas, turbulencias o con material a granel de grano grueso), el nivel generalmente se define como la altura promedio de un área limitada [1, p. 377].

A pesar de que la medición de nivel aparenta ser un problema simple, poniendo atención en la variable se puede apreciar que existe una gran cantidad de problemas que se deben resolver para realizar una buena medición. Uno de ellos es el material que se desea medir debido a que éste puede ser corrosivo, solidificarse, evaporarse, contener sólidos o crearse otras dificultades [2, p. 69].

En todas las mediciones de nivel proporcionadas por un sensor, elemento o sistema de medición se tiene una variedad de principios físicos, dentro de los más comunes se incluyen vista, presión, inductivo, capacitivo, ultrasónico y radiación. Los elementos

interactúan con el material proporcionando datos que se utilizan para medir la variable de nivel dentro de los cuales se observa que la medición de nivel se realiza de dos formas:

1. Mediciones de nivel continuo (indicación de nivel LI o transmisor de nivel LT)
2. Medición de nivel por puntos (LS) (como es un interruptor de nivel para detectar un límite de alarma para evitar el sobrellenado).

Un sistema de medición de nivel continuo puede también usarse como un interruptor programable. Muchos dispositivos de nivel son montados en la parte superior de los contenedores y éstos miden principalmente la distancia “*d*” entre la posición de donde están colocados hacia la superficie del producto. El nivel “*L*” es entonces calculado, definiendo la altura del tanque como una constante como se muestra en la figura 1.1 y se expresa como:

$$L = h - d \quad (1.1)$$

Este es la representación de un tanque con líquido o material sólido (área sombreada), del producto a medir. El sensor de nivel puede ser montado (a) en la parte inferior del tanque (fondo), (b) como un instrumento medidor de nivel sin contacto en la parte superior, (c) como un sensor de intrusión o (d) a los costados del tanque como un interruptor de nivel.

1.1.1 Mirilla de nivel

La medida más simple del nivel en un líquido contenido en un tanque emplea una mirilla o tubo montado verticalmente al lado del tanque, los extremos del tubo se conectan a la parte inferior y superior del tanque (figura 1.2). El líquido en el tubo y en el tanque toma el mismo nivel y proporciona una medición visual directa.

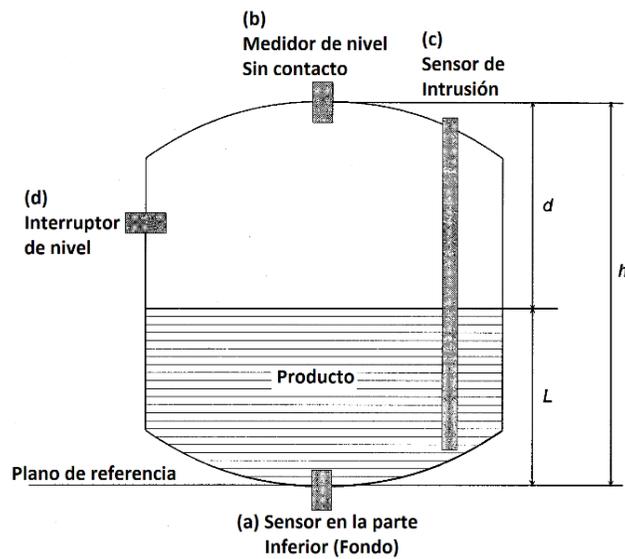


Figura 1.1 Representación de un tanque con líquido o material sólido [1, p. 378].

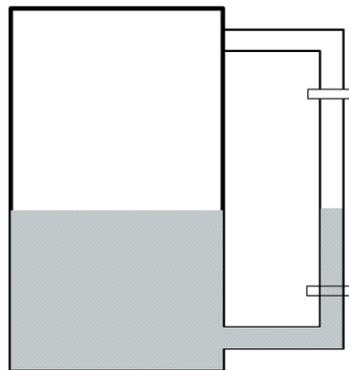


Figura 1.2 Mirilla de nivel.

Las mirillas tienen varias limitaciones debido a que los tanques a menudo son inaccesibles. El vidrio puede romperse, lo que puede provocar un derrame considerable antes de que la entrada pueda bloquearse. Si se almacenan líquidos calientes o corrosivos, la consecuencia de un accidente puede ser grave [3, p. 193].

Se utilizan dos tipos de indicadores de nivel de vidrio para medir el nivel del líquido: tubular y plano. El tipo tubular funciona de la misma manera que un manómetro, es decir,

a medida que el nivel de líquido en un recipiente sube o baja, el líquido en el tubo de vidrio también subirá o bajará. Los medidores están hechos de vidrio, plástico o una combinación de los dos materiales. El material del que están hechos los tubos transparentes debe ser capaz de resistir la presión en el recipiente y generalmente están limitados a una presión máxima de 450 psi y una temperatura máxima de 400 °F [4, p. 147].

La figura 1.3 muestra dos aplicaciones comunes de las mirillas tubulares: un recipiente de proceso a presión atmosférica y un recipiente presurizado. Para el tanque presurizado, el extremo superior del tubo está conectado al tanque. Esto crea una presión de equilibrio en ambos extremos del tubo, y el líquido en el tubo se eleva al mismo nivel que el líquido en el recipiente. Una escala calibrada se monta junto a la mirilla para indicar el nivel en el tanque. La presión que ejerce el líquido en el tanque fuerza al líquido en la mirilla a elevarse al mismo nivel que el líquido en el tanque.

Los cuerpos de las mirillas planas están hechos de piezas fundidas o forjadas de metal y un frente de vidrio o plástico pesado para observar el nivel. Un indicador plano típico generalmente se usa cuando el líquido es de color, viscoso y corrosivo. Los medidores de mirilla están instalados con válvulas de cierre manuales en ambos extremos. Esto aísla los medidores para que se pueda realizar mantenimiento. Es una práctica común utilizar válvulas de retención esféricas para las válvulas de cierre.

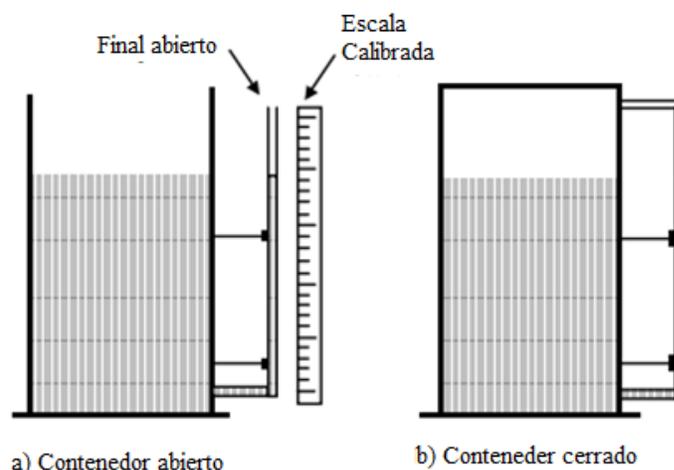


Figura 1.3 Indicadores de mirillas tubulares [4, p. 148].

1.1.2 Transmisores ultrasónicos

Los transmisores ultrasónicos emiten ondas sónicas hacia el objeto cuya distancia se pretende medir. Cuando la onda está en contacto con una superficie líquida, solo una pequeña cantidad de la energía del sonido penetra en la barrera y el porcentaje restante de la onda se refleja. La onda sónica reflejada se llama eco, así lo que hace el transmisor ultrasónico es medir el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso hasta la recepción del eco reflejado en el objeto [5, p. 140]. Los instrumentos ultrasónicos funcionan en frecuencias inaudibles para el oído humano. La velocidad de una onda sonora es una función del tipo de onda que se transmite y la densidad del medio en el que viaja.

La figura 1.4 muestra un diagrama de bloques para el sistema de medición de nivel por ultrasonido típico. Las ondas sonoras son producidas por el generador y el circuito transmisor. Estas ondas sonoras se reflejan en el material o el nivel que se mide. Un transductor detecta las ondas reflejadas y convierte la onda de sonido que recibió en una señal eléctrica. Esta señal se amplifica mediante un circuito receptor/amplificador y se envía a un circuito de conformación de onda.

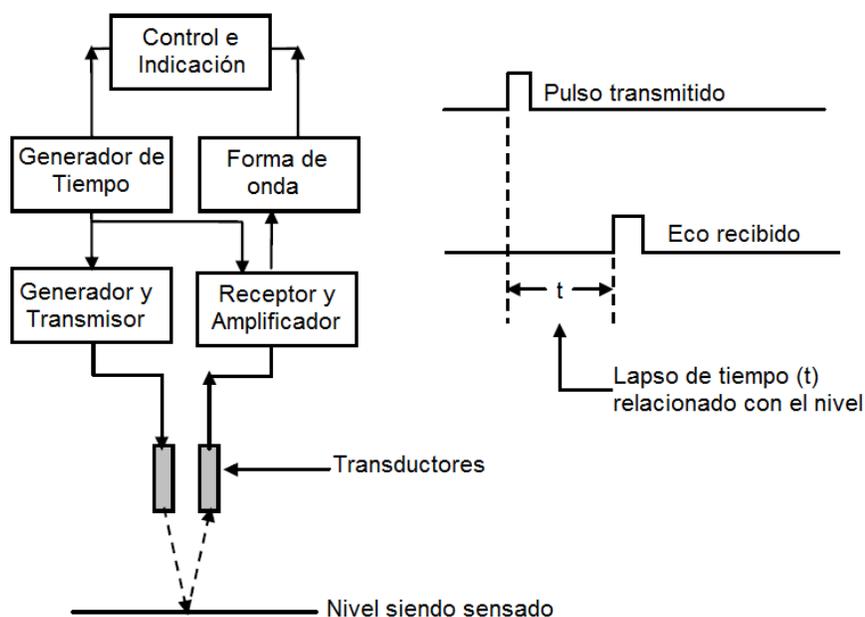


Figura 1.4 Diagrama de bloques de un sistema de medición ultrasónico [4, p. 162].

Un generador de temporización se utiliza para sincronizar las funciones en el sistema de medición. El instrumento mide el tiempo que transcurre entre la señal emitida y la señal de eco. Este tiempo transcurrido es proporcional a la distancia entre los transductores y el objeto que se detecta. El instrumento puede calibrarse fácilmente para medir el nivel de fluido o material en un recipiente de proceso [4, p. 161].

1.1.3 Transmisor de nivel por presión diferencial

Un sistema de medición de nivel por presión diferencial se basa en el principio de medir la carga o presión hidrostática. La carga se define como el peso de líquido que existe por encima de un plano de referencia. Es independiente del volumen de líquido implicado o de la forma del recipiente. El sistema no mide el nivel del líquido sino la presión ejercida, como la presión es proporcional a la altura de columna de líquido, el medidor infiere la posición actual del nivel [5, p. 48]

$$P = \rho gh \quad (1.2)$$

Donde:

P = Presion hidrostática

ρ = Denisdad del liquido

g = gravedad

h = Altura de la columna del liquido

En el tanque abierto que se muestra en la figura 1.5, el transmisor pD convierte la presión del nivel del líquido en una señal neumática. Normalmente, se usa una señal neumática de 3 psi a 15 psi o una señal de corriente directa de 4 mA a 20 mA para representar el nivel de líquido en el tanque. La celda del lado de presión alta (H) del transmisor pD está conectada en la parte inferior del tanque y la celda del lado de presión baja (L) del

transmisor pD está abierta a la atmósfera. Como el tanque está abierto a la atmósfera, la presión del líquido en el lado de presión alta del transmisor pD está directamente relacionada con el nivel en el tanque [4, p. 152].

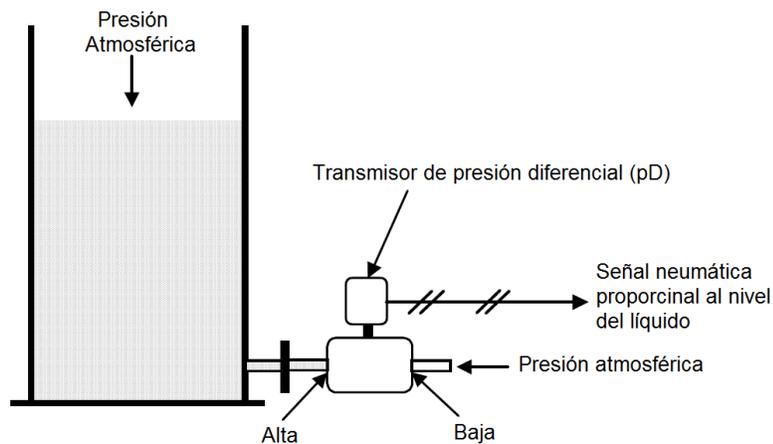


Figura 1.5 Medición de nivel (Tanque abierto) [4, p. 152].

Al medir el nivel de un tanque cerrado presurizado, la presión en el tanque cerrado cambia, se aplica una fuerza igual a ambos lados del transmisor pD. Como la celda del transmisor responde solo a los cambios en la presión diferencial, un cambio en la presión estática en la superficie del líquido no cambiará la salida del transmisor. Por lo tanto, la celda del transmisor pD responde solo a los cambios en el nivel del líquido. En este ejemplo, se usa una señal de corriente directa de 4 mA a 20 mA para representar el nivel en el tanque (figura 1.6) [4, p. 153].

1.1.4 Interruptores de nivel

Existe una amplia variedad de interruptores de nivel disponibles para usarse en aplicaciones de medición y control. Los tipos más comunes son inductivo, térmico, flotante, paleta giratoria e interruptores de nivel ultrasónicos. Estos interruptores se utilizan para indicar niveles altos y bajos en tanques de proceso, depósitos de

almacenamiento o silos. También se usan para controlar válvulas o bombas con el fin de mantener el nivel de fluido en un valor establecido o evitar que los tanques se llenen en exceso.

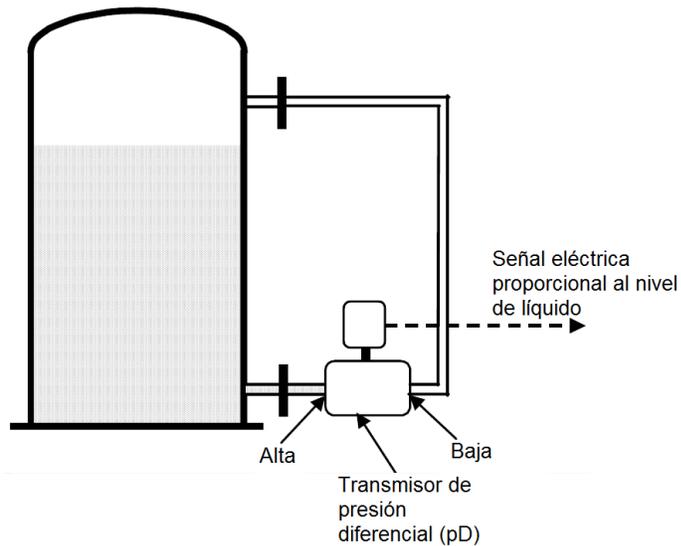


Figura 1.6 Medición de nivel (Tanque a presión) [4, p. 153].

El interruptor de flotador consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión unido rígidamente al tanque. Dentro del tubo y unido a su extremo libre se encuentra una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al estanque. Al aumentar el nivel, el líquido ejerce un empuje sobre el flotador igual al volumen de la parte sumergida multiplicada por la densidad del líquido, tendiendo a neutralizar su propio peso, por lo que el esfuerzo medido por el tubo de torsión es pequeño. Por el contrario, al bajar el nivel, menor parte del flotador queda sumergida y la fuerza de empuje disminuye, resultando una mayor torsión. La precisión de este instrumento es del orden de -0.5% a -1%.

El instrumento puede utilizarse en tanques abiertos y cerrados a presión o vacío, tiene buena sensibilidad, pero presenta el inconveniente del riesgo de depósitos de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan la precisión de la medida y es apto solo para la medida de diferencias pequeñas de nivel. Los interruptores de flotador son

una forma económica de detectar el nivel de líquido en un punto específico. Cuando se utilizan interruptores de flotador en tanques de proceso, generalmente se debe crear un sello entre el proceso y el interruptor. En la mayoría de los casos, el acoplamiento magnético transfiere el movimiento de flotación al interruptor o mecanismo indicador.

La figura 1.7 muestra un interruptor de nivel activado magnéticamente. En esta configuración un interruptor de lengüeta se coloca dentro de un tubo guía sellado y no magnético en un punto donde el nivel de líquido ascendente o descendente debe activar el interruptor. El flotador que contiene un imán anular sube o baja con el nivel del líquido y es guiado por el tubo. El interruptor normalmente está cerrado y se abrirá cuando el flotador y el imán estén al mismo nivel que el interruptor de lengüeta. Puede usar la apertura del interruptor por ejemplo, para activar una alarma sonora luminosa o detener una bomba. El interruptor también puede diseñarse para cerrarse cuando lo activa el imán.

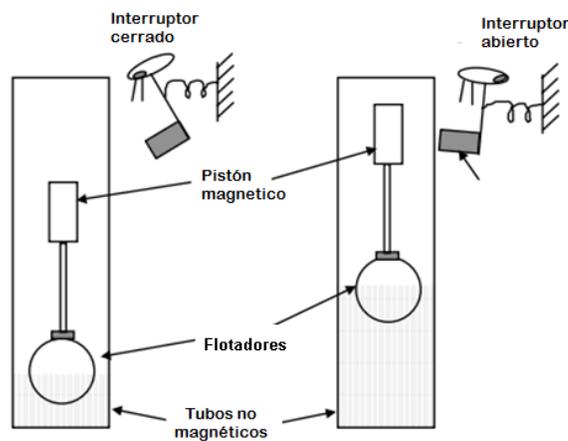


Figura 1.7 Interruptor de nivel activado magnéticamente [4, p. 167].

1.2 Controlador automático de nivel ON/OFF

El papel dentro del sistema de control del controlador es la de formar la unidad de control incluyendo total o parcialmente las interfaces con las señales de proceso.

Por otro lado, se trata de un sistema con un hardware estándar, con capacidad de conexión directa a las señales de campo (niveles de tensión y corrientes industriales, transductores y periféricos electrónicos) y programable por el usuario. Al conjunto de señales de consigna y de realimentación que entran al controlador se les denomina genéricamente entradas y al conjunto de señales de control obtenidas salidas, pudiendo ser ambas analógicas o digitales [6, p. 7]. Por mencionar dos controladores empleados en los procesos industriales, se tienen al:

- Controlador lógico programable o PLC (Programmable Logic Controller).
- Controlador de Automatización Programable o PAC (Programmable Automation Controller).

El elemento de control en un lazo de control es aquel dispositivo que tiene una influencia directa en el proceso o secuencia de fabricación. El elemento final de control acepta una señal enviada por el controlador, la cual lleva a cabo directamente una modificación en el proceso. En la mayoría de los casos, este elemento final de control es una válvula, también los dispositivos tales como motores eléctricos, bombas, resistencias eléctricas y amortiguadores se utilizan como elementos finales de control.

El control de nivel es importante para una operación exitosa en la mayoría de las plantas, porque es a través del apropiado control de flujos y niveles que se llegan a los niveles de producción deseada y se logran los inventarios. Como algunos de los procesos de nivel no son autorregulados se requiere de un control automático para que no se vacíen los tanques por completo.

Se denominan controladores no lineales a los que ejecutan un algoritmo de control que no es lineal y su tipo de actuación es todo-nada. Diversos autores los denominan controladores intermitentes porque la variable controlada sólo tiene, en régimen permanente un número discreto de valores. El controlador básico intermitente es el controlador todo o nada (*On- Off*). La operación de este controlador es más eficaz si se le añade una histéresis o una zona muerta, éste recibe el nombre de controlador todo-nada de dos posiciones [7, p. 375] .

En el control de dos posiciones (Todo-Nada, Abierto-Cerrado, On-Off) el elemento final de control sólo ocupa una de las dos posiciones posibles. El control On-Off no tiene respuesta variable en el tiempo, sólo verifica que la variable esté dentro de un intervalo alrededor del Set-Point o valor preestablecido, y tan pronto como la variable medida difiere de éste, el elemento final de control es conducido de un extremo a otro.

El valor preestablecido es el valor de la variable que se requiere tener al final o durante un proceso, esto dependerá de lo que se requiera en él. En el diseño de sistemas automáticos de lazo cerrado con respuesta discreta, debe considerarse que siempre va a existir un error por lo que es importante establecer un ancho de banda muerta o también llamada banda proporcional donde va a estar oscilando la variable a controlar.

El funcionamiento del control On-Off se puede deducir en la figura 1.8. En donde la salida se enciende cuando la variable medida es inferior a LB (límite bajo) y se apaga cuando la variable es superior a LA (límite alto). Por lo que el control On-Off no es más que un circuito de paro y arranque en el cual la condición de arranque del actuador es que la variable medida sea inferior a LB y la condición de paro sea mayor a LA [8, p. 769].

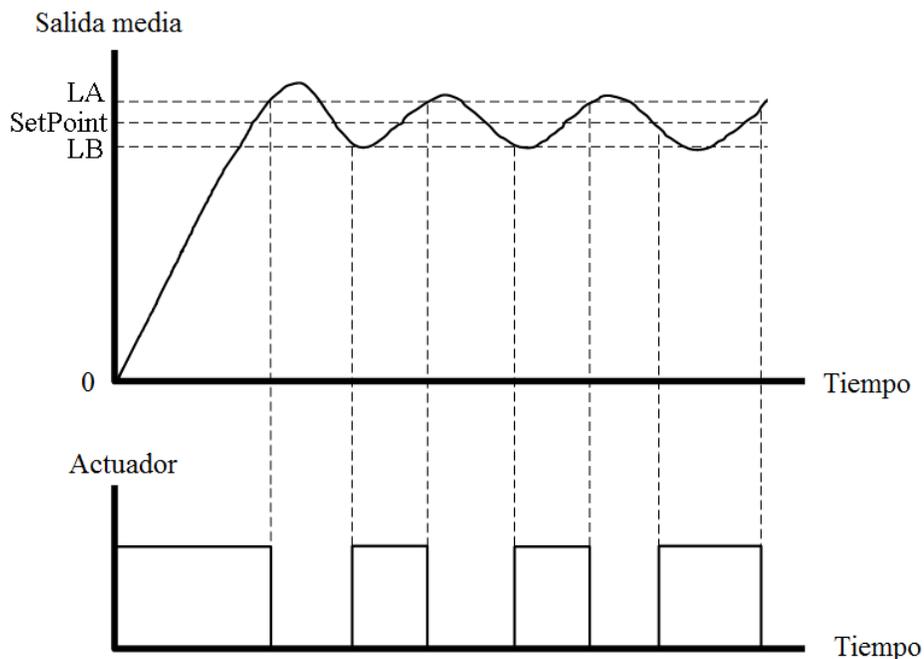


Figura 1.8 Controlador ON/OFF.

En cuanto más ancha sea la banda proporcional el controlador tendrá menos exactitud. Por el contrario, una banda proporcional pequeña provoca que el controlador tenga una mayor exactitud; sin embargo, esto genera también que el elemento final de control esté alternando de manera más rápida entre sus estados de encendido y apagado teniéndose un mayor desgaste.

1.3 Elemento final de control

Los elementos finales de control son dispositivos que se encargan de ejecutar el trabajo final para el que fue diseñado el sistema automático, su función es convertir la energía neumática, hidráulica o eléctrica, en movimiento para que se lleve a cabo una correcta operación del sistema de lazo cerrado de control ya que el sistema depende de la correcta ejecución de cada elemento del lazo de control.

1.3.1 Válvulas

Una válvula es un dispositivo que permite establecer o cortar la conexión hidráulica o neumática entre dos o más conductos. En cualquier válvula se distinguen dos partes (figura 1.9):

- Elemento de mando.
- Circuito de potencia.

El elemento de mando se encarga de conmutar la conexión hidráulica o neumática entre conductos del circuito de potencia. El mando puede ser de tipo eléctrico (electroimán), manual (pulsador). La figura 1.9 muestra la forma constructiva de una válvula solenoide [6, p. 141].

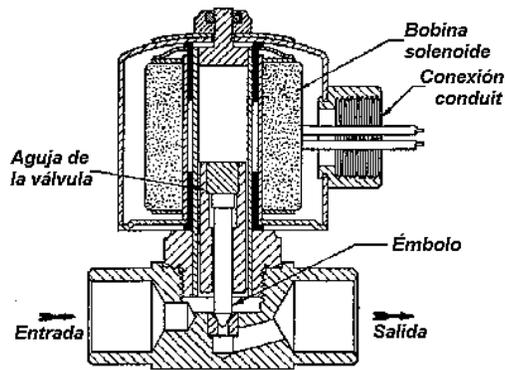


Figura 1.9 Válvula solenoide.

1.3.2 Bombas

Como elementos periféricos del Controlador de Automatización Programable (Programmable Automation Controller, PAC), lo único que interesa es que las bombas suelen accionarse a través de motores eléctricos de CA regulados mediante variadores de frecuencia y tensión variable. En la actualidad, muchos de estos reguladores se construyen con un microprocesador de control y admiten órdenes del PAC a través de un sistema de comunicación digital. Lo más frecuente es que las bombas sean de tipo centrífugo con un par creciente de velocidad. En consecuencia ofrecen relativa facilidad para ser reguladas [6, p. 143].

Otro tipo de bombas son aquellas del tipo sumergible que están conformadas por un motor sellado herméticamente con acoplamiento cerrado a un impulsor que utiliza la energía cinética para presurizar y descargar agua desde un punto a otro a través de tubería. Las bombas sumergibles no requieren cebado, ya que están en la fuente de agua. Esto elimina la cavitación y la necesidad de la manguera de succión. Su capacidad se mide ya sea en flujo (LPM) y altura o presión (mca, metros columna de agua) por lo que las bombas sumergibles son de gran uso en el ámbito industrial ya que se usan en tuberías de revestimiento, excavaciones, estanques, agua detenida, tejados y sótanos inundados, piscinas/spas, bóvedas de transformadores y alcantarillas.

1.4 Interfaz Humano-Máquina (HMI)

Los equipos de visualización y actuación reciben hoy en día la denominación de Interfaz Humano-Máquina y se les suele conocer por el acrónimo HMI (Human Machine Interface). Su utilización es necesaria cuando la aplicación exige que el usuario pueda:

- a) Modificar parámetros del programa de control y dar órdenes a los actuadores a través de él.
- b) Recibir información del estado del proceso controlado por el PAC o PLC.
- c) Detectar fallos en el conjunto formado por el PAC y el proceso controlado por él, que dan lugar a alarmas ante las cuales el operador debe realizar acciones oportunas.

Constituyen un ejemplo de instalaciones en las que es imprescindible presentar al usuario la situación del proceso automatizado y facilitarle la actuación sobre el mismo a través de las órdenes oportunas. Actualmente existen varias formas de realizar una unidad de HMI, entre las que cabe citar los paneles de operación y las pantallas táctiles.

Los paneles de operación, conocidos por las siglas OP (acrónimo de Operation Panel), están formados por una pantalla gráfica y un conjunto de pulsadores de membrana asociados, que constituyen un teclado [7, p. 639]. La figura 1.10 muestra un ejemplo de este tipo de OP.

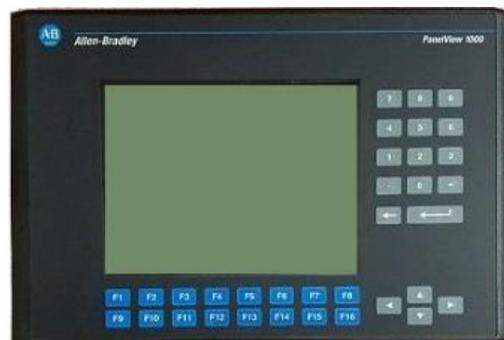


Figura 1.10 Panel de operación para implementar una HMI.

Los paneles o pantallas táctiles conocidos por las siglas TP (acrónimo de Touch Panel) utilizan una pantalla gráfica que posee elementos sensores sensibles al tacto. De esta forma, la pantalla realiza la función de entrada y salida y se elimina el teclado. La figura 1.11 muestra un ejemplo.



Figura 1.11 HMI de pantalla táctil.

CAPÍTULO 2

MÓDULO DIDÁCTICO DE MEDICIÓN DE NIVEL

En este capítulo se describe el módulo didáctico, así como todos los elementos que lo conforman además del PAC (Controlador de Automatización Programable).

2.1 Descripción del módulo de nivel

El módulo didáctico se encuentra instalado en el Laboratorio Pesados I de la carrera de Ingeniería en Control y Automatización y se empleará para realizar prácticas de laboratorio en las unidades de aprendizaje de Elementos Primarios de Medición y Elementos de Transmisión y Control.

El módulo de nivel lo conforman dos tanques (uno superior y otro inferior), una estructura metálica que soporta ambos tanques, una mirilla de nivel, un interruptor de nivel, un transmisor ultrasónico de nivel, un transmisor de nivel por presión, dos tuberías una para llenado y la otra para drenado. El tanque inferior o depósito está fabricado de acero, tiene una altura de 36 cm y un diámetro de 47 cm, tiene una capacidad aproximada de 0.062m^3 (62 L). Está colocado sobre una base de madera de 53 cm por 53 cm. El tanque superior consiste en un tubo de PVC hidráulico cédula 40 con una altura de 1.0 m y 16 cm (6 plg) de diámetro, tiene una capacidad de 0.020 m^3 (20 L) aproximadamente soportado por una estructura metálica que lo sujeta alrededor hasta una altura aproximadamente de un tercio del tanque. Éste se encuentra instalado sobre una base de las mismas dimensiones que la base del tanque inferior. En la figura 2.1 se muestran los elementos descritos que conforman el módulo didáctico de nivel.

A 25 cm de altura desde el fondo del tanque superior se encuentra ubicado un interruptor de nivel (figura 2.1), posteriormente a 50 cm de altura inicia la mirilla de nivel, la cual tiene una longitud de 25 cm y se prolonga hasta 75 cm de altura medidos desde la base del tanque (figura 2.1). En la parte superior se encuentra colocado el sensor ultrasónico de nivel colocado en el centro del tanque con una estructura metálica para su sujeción, este mide el nivel de la parte superior al espejo de agua (figura 2.2).

En la parte inferior del tanque a 5 cm del fondo se tiene un tubo de PVC hidráulico cédula 40 de 12 mm (1/2 plg) de diámetro para el vaciado del tanque, en esta tubería se tiene una válvula solenoide para realizar el control ON-OFF del nivel. En el centro de la base del tanque se encuentra una manguera de 6 mm de diámetro que se conecta a un

transmisor de medición de nivel por presión que se usa para medir el nivel del tanque desde el fondo en base a su presión.



Figura 2.1 Estructura básica del módulo didáctico de medición de nivel.

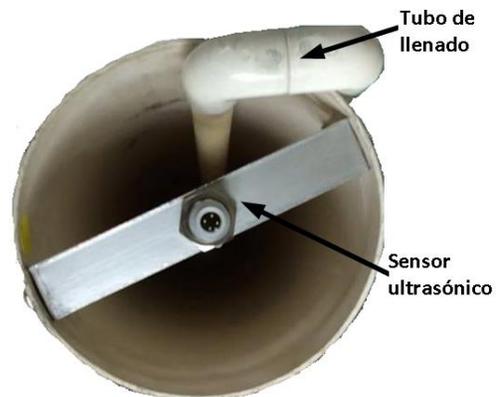


Figura 2.2 Ubicación del sensor ultrasónico.

2.2 Descripción de los instrumentos

Los sensores realizan la función de medición de la variable controlada en los sistemas por retroalimentación. La variable en contacto con el sensor del transmisor provoca un fenómeno físico de acuerdo con la intensidad de ésta frecuentemente se miden en línea en los procesos industriales las variables de temperatura, presión, flujo y nivel. Las características principales para la selección de los sensores además de su aplicación son: el alcance o intervalo, la precisión, la repetitividad y la respuesta dinámica.

De manera general, se ha encontrado que la mejor forma para medir el valor de la variable controlada es convirtiéndola en algún tipo de señal eléctrica. Los dispositivos que convierten el valor de la variable controlada en una señal eléctrica se denominan transductores o transmisores.

Al elegir un sensor de posición con salida analógica, su opción por lo general se reduce a una señal de voltaje (por ejemplo, 0 a 10 V) o corriente (por ejemplo, de 4 a 20 mA). Todas las señales analógicas son susceptibles a la interferencia eléctrica, y una señal de 0 - 10 V no es la excepción. Los dispositivos tales como motores, relés y algunos sistemas de alimentación, pueden inducir tensiones en las líneas de señal que pueden degradar la señal del sensor de 0 – 10 V además es susceptible a caídas de tensión causadas por la resistencia del cable en tramos largos.

Una señal de 4 - 20 mA, por otro lado, ofrece una mayor inmunidad a las interferencias eléctricas y la pérdida de señal en cables largos. Adicionalmente una señal de 4 - 20 mA proporciona condición de detección de error inherente ya que la señal, incluso en su valor más bajo, sigue activo en el extremo inferior o la posición cero el sensor sigue proporcionando una señal de 4 mA.

En algunos casos, los sensores de 4-20 mA pueden ser un poco más costoso en comparación con los sensores de 0-10V. Pero la diferencia de costos es cada vez más pequeña a medida que más tipos de sensores incorporan este tipo de salida de control [5, p. 33].

Transductor es un término general para un dispositivo, que puede ser un elemento primario, transmisor, retransmisor, convertidor u otro dispositivo que recibe información en forma de una o más cantidades físicas, modifica la información, su forma, o ambos si es necesario, y produce una señal de salida [9, p. 24].

Un Transmisor es un dispositivo que detecta una variable de proceso a través de un elemento sensor y tiene una salida en una señal normalizada cuyo valor de estado estable varía solo como una variable de proceso de función predeterminada. El sensor puede ser una parte integral, como en un transmisor de presión conectado directamente, o una parte separada, como en un termopar [9, p. 24].

Los transmisores electrónicos generan una señal estándar de 4 – 20 mA. A veces esta señal de salida es sustituida por una señal de voltaje de 0 - 10 V. Este tipo de señales aplica también para transductores.

Un transmisor o sensor debe ser tanto calibrado como ajustado. La calibración es una comparación entre el instrumento de medición contra un instrumento patrón (que es un instrumento mucho más exacto) realizando mediciones entre distintos puntos, comparando posteriormente ambas mediciones y realizando un cálculo de la incertidumbre, expidiendo un certificado de calibración con los resultados por lo que la calibración nos sirve para evaluar el grado de exactitud de las mediciones que realiza nuestro equipo actualmente. Por otro lado, el ajuste es cualquier modificación mecánica, electrónica o por software que se hace a nuestro equipo para modificar las mediciones que realiza nuestro instrumento; es importante recalcar que cuando se realiza un ajuste antes tuvo que haber existido una calibración de la misma forma debe existir una calibración posterior al ajuste de nuestro instrumento. Se entiende por entrenamiento de un sensor o transmisor a una serie de acciones repetitivas que nos permitan establecer el rango de operación al que deseamos que opere. Digamos que la diferencia principal entre ajustar y entrenar es que un entrenamiento requiere de repetir varias veces un procedimiento y que un ajuste se puede dar en una sola acción. [5, p. 43].

2.2.1 Transmisor ultrasónico 873M-D18AI300-D4 Allen Bradley

Este transmisor es utilizado para detectar el nivel del líquido en la parte superior del tanque con un intervalo de medición desde 30 mm hasta 300 mm, con una zona ciega desde 0 mm hasta 30 mm. Su tensión de operación es de 10 VCD a 30 VCD con una corriente de consumo ≤ 20 mA. Tiene una histéresis del 1% de la distancia de operación establecida y el ajuste de sensibilidad o caracterización es con enseñanza remota y de manera opcional con programación por cable (figura 2.3).



Figura 2.3 Transmisor ultrasónico 873M-D18AI300-D4.

La medición de nivel por ultrasonido proporciona una medición de nivel continua, sin contacto y sin necesidad de mantenimiento. Esta tecnología se emplea en la medición de fluidos, pastas, sólidos, semilíquidos y granulados. La medición no se ve afectada por la constante dieléctrica, la densidad del fluido ni la humedad en el caso de los sólidos. Las aplicaciones comunes comprenden productos corrosivos y abrasivos, incluso bajo condiciones ambientales agresivas.

El transmisor ultrasónico está configurado a tres hilos para la medición continua del nivel de líquidos en depósitos o tanques abiertos proporciona una señal de 4 mA a 20 mA en su salida analógica y es alimentado a una tensión eléctrica de 0 VCD a 30 VCD, también se puede realizar su entrenamiento para ajustar la señal dentro del intervalo de medición. El diagrama para el cableado del transmisor ultrasónico de nivel se muestra en la figura 2.4.

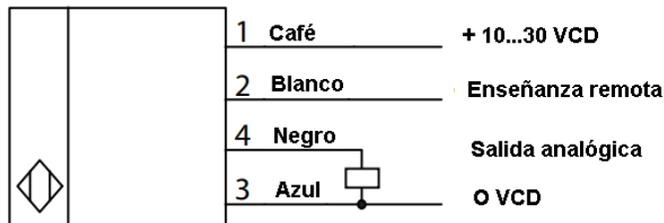


Figura 2.4 Diagrama de conexión del transmisor ultrasónico 873M-D18AI300-D4.

Este se puede conectar directamente a un sistema de control de planta o utilizarse con una unidad de control. Este transmisor está colocado en la parte superior del tanque, por lo que sólo puede medir el nivel en la parte alta del mismo.

2.2.2 Interruptor de nivel

El interruptor de nivel es de la marca FINITEK modelo RF-OH21DO (FCH21PDO), hecho de polipropileno con una alimentación de hasta 240 VCA y 200 VCD normalmente abierto. Su diámetro es de 21 mm y la longitud de su cable de operación es de 30 cm (figura 2.5). A medida que el interruptor flota hacia arriba en la superficie de un líquido, un sensor instalado detecta su posición y activa la operación de conmutación.



Figura 2.5 Interruptor de nivel.

Estos sensores se utilizan para detectar el nivel de líquidos en tanques y cisternas emplean el principio mecánico de transmisión de movimiento mediante un flotador, el cual

al ser movido por el líquido alcanza una inclinación que activa un microswitch interno. Los detectores de nivel para líquidos del tipo flotador son instalados en posición paralela al espejo del líquido. Es impermeable al 100%, el movimiento del flotador se transmite por inducción magnética, no hay posibilidad de que se filtre el líquido entre el tanque y el interior del indicador de nivel.

2.2.3 Transmisor de nivel por presión diferencial

Es un transmisor de la marca ABB Kent-Taylor modelo 405TB01211A0100-1000-45990 se conecta a una fuente de alimentación de 24 VCD en serie con el PAC, proporcionando una señal de salida de 4 mA a 20 mA, tiene un span ajustable de 25 in H₂O (pulgadas columna de agua) a 150 in H₂O (figura 2.6)



Figura 2.6 Transmisor de nivel por presión diferencial.

Se pueden realizar mediciones continuas de líquidos en depósitos o tanques abiertos en su salida analógica, es alimentado a una tensión eléctrica de 0 VCD a 30 VCD que al conectarse en serie con la fuente y el PAC, éste varía la corriente de acuerdo con la presión que recibe enviándola al PAC que la interpreta en datos con los cuales se realiza la medición (figura 2.7).

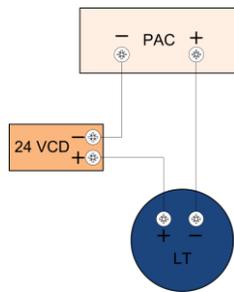


Figura 2.7 Diagrama de conexión transmisor de nivel por presión.

2.2.4 Mirilla de nivel

Es una mirilla de nivel, montada a un costado del tanque tiene un alcance de 25 cm y está colocada desde 50 cm hasta 75 cm a partir del fondo del tanque. Esta permite la medición de nivel del líquido del interior del tanque lo largo de ésta de forma directa (figura 2.8).



Figura 2.8 Mirilla de nivel.

2.3 Descripción de PAC

En este proceso será utilizado un Controlador Programable de Automatización (PAC) CompactLogix modelo L43 de la marca Allen Bradley que se muestra en la figura 2.8. Este cuenta con una fuente de alimentación de 127 VCA, un módulo de CPU, dos módulos de comunicación EtherNet/IP y ControlNet, así como con cuatro módulos de entradas y salidas analógicas y digitales.

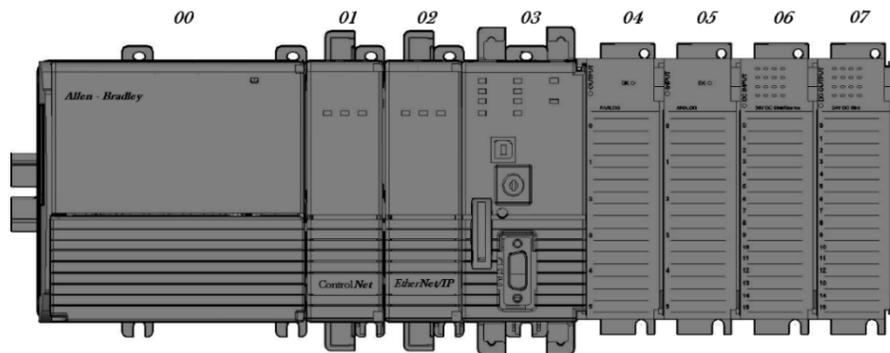


Figura 2.9 CompactLogix L-43.

En la tabla 2.1 de acuerdo con la numeración de la figura 2.9 se muestran los modelos y descripción de cada módulo de conexión, que conforman el PAC.

Tabla 2.1 Descripción de los módulos del PAC CompactLogix L43.

No.	Modelo	Descripción
00	1768-PA3	Fuente de alimentación
01	1768-CNB	Comunicación ControlNet
02	1768-ENBT	Comunicación EtherNet/IP
03	1768-L43	CPU
04	1768-OF4VI	Módulo de salidas analógicas
05	1768-IF4	Módulo de entradas analógicas
06	1768-IQ16F	Módulo de entradas digitales
07	1768-OV16	Módulo de salidas digitales

2.4 Elementos finales de control

Los elementos finales de control son mecanismos que modifican el valor de una variable que ha sido manipulada como respuesta a una señal de salida desde un dispositivo de control automático. Se encarga de manipular alguna característica del proceso en función de la señal de salida del controlador. Según el tipo de proceso, se tienen dispositivos que reciben señales de control del tipo discretas o continuas. Los elementos finales de control pueden ser una válvula de control, variadores de frecuencia y motores eléctricos, una

servoválvula, una válvula solenoide, un relé, elementos calefactores de carácter eléctrico o un amortiguador.

2.4.1 Bomba sumergible

La bomba del módulo didáctico de medición de nivel es del tipo sumergible de la marca AQUASUB se puede utilizar en instalaciones con agua dulce o salada en aplicaciones con fuentes decorativas e instalaciones hidropónicas. La bomba siempre debe estar sumergida en agua. Tiene una capacidad de 1200 l/h con una presión máxima de 2 m ca (columna de agua). Esta se alimenta a una tensión eléctrica de 110/120 VCA tiene una potencia de 18 W (figura 2.10).



Figura 2.10 Bomba sumergible AQUASUB.

2.4.2 Válvula solenoide

El módulo didáctico de nivel cuenta con una válvula solenoide normalmente cerrada de 12 VCD, con una potencia de 8 W y una apertura del 100 % a la presión de 0.8 MPa. Tiene un diámetro de 6.35 mm (1/4 plg) con conexión roscada (figura 2.11).



Figura 2.11 Válvula solenoide.

2.5 Integración del tablero de control

Para la automatización del módulo didáctico se integró un tablero de control que incluye al PAC CompactLogix L43, clemas de conexión, interruptores termomagnéticos, relevadores, botoneras de entradas y salidas digitales, botonera de entradas analógicas con su respectivo voltmetro para simular las entradas a través de potenciómetros, también cuenta con una fuente a 24 VCD y un arnés de tipo hembra de doce pines para conectarse con el módulo de nivel y realizar el control, el tablero de control se muestra en la figura 3.1.

2.5.1 Botonera E/S analógicas y digitales

La botonera de E/S analógicas y digitales habilita o deshabilita las señales que entran o salen de los módulos del PAC cableadas en el tablero de control según su conexión. Energizando el interruptor principal éste alimenta tanto al controlador como la botonera, lo que hace que se encienda el foco indicador de apagado E/S Analógicas y Digitales, mostrando que las señales se encuentran deshabilitadas, las señales se habilitan pulsado

el botón de encendido, que hace que se encienda el foco indicador de encendido E/S Analógicas y Digitales y por lo tanto habilita las entradas y salidas analógicas y digitales del PAC para controlar el módulo de nivel y las botoneras restantes en el tablero de control. Para deshabilitar las entradas y salidas del PAC se pulsa el botón de paro con lo que se enciende el indicador de paro y se apaga el de encendido (figura 3.2).

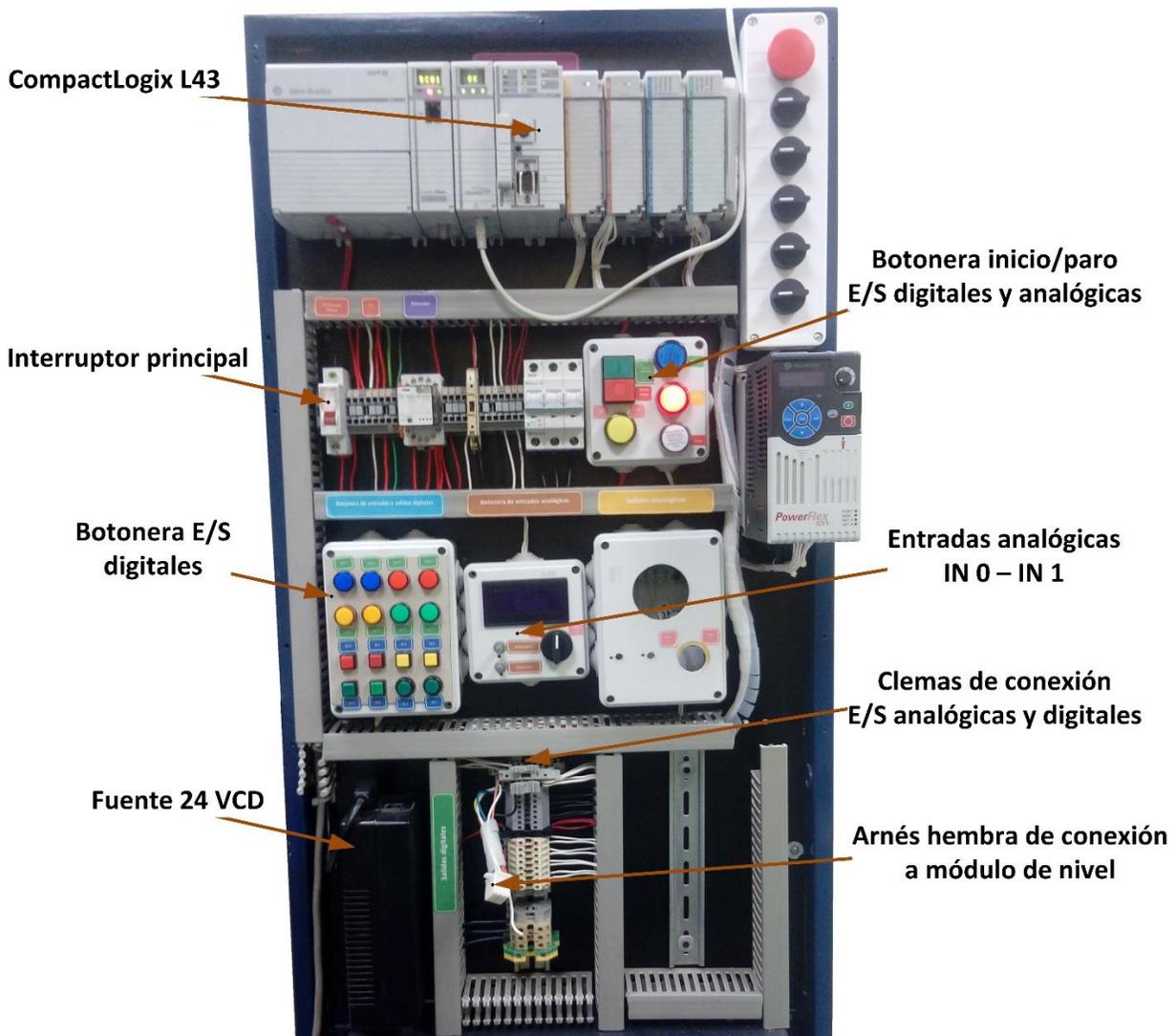


Figura 2.12 Tablero de control.

La figura 3.3 muestra las conexiones de esta botonera donde se observan los botones de encendido (4-3) y paro (2-1) con alimentación de 120 VCA de los Tags 6 y 11 (tabla 3.1), así como su conexión con el relevador en los Tags 11,16 y 17 (tabla 3.1).

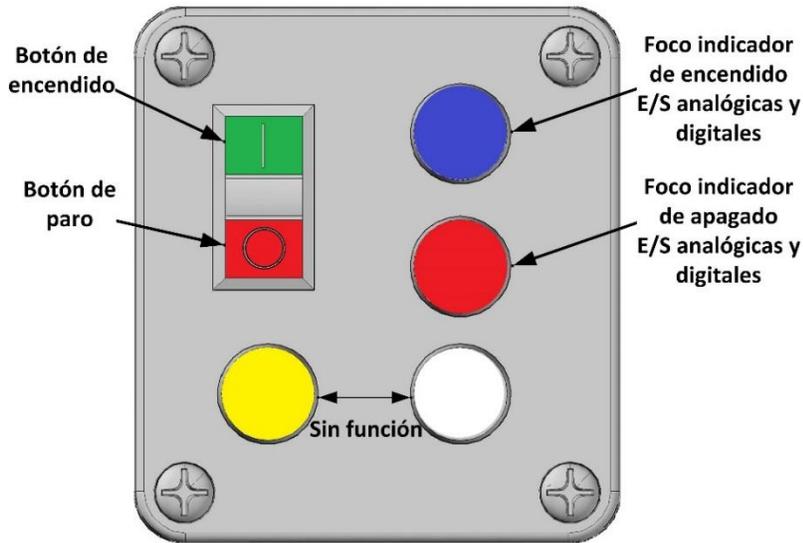


Figura 2.13 Botonera encendido y paro de entradas y salidas.

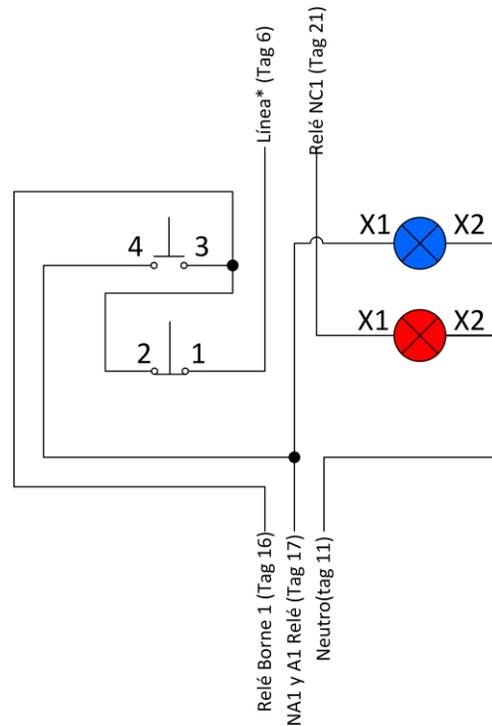


Figura 2.14 Diagrama físico botonera E/S analógicas y digitales.

2.5.2 Entradas analógicas 0 y 1

Dentro del tablero de control también está integrada una caja eléctrica adaptada con dos potenciómetros y un voltmetro que permite simular las señales 0 y 1 del módulo de entradas analógicas del PAC. La figura 3.4 muestra los dos potenciómetros que corresponden a los canales de entradas analógicas 0 y 1, no usados en el presente trabajo pero que muestran una tensión eléctrica de salida de 0 V a 10 V.

Debido a que el voltmetro se energiza a 5 VCD se hizo uso del circuito integrado LM7805 que regula la tensión eléctrica de 24 VCD que proporciona la fuente en el tablero de control. También se realizaron divisores de tensión para tener una tensión eléctrica de simulación de 0 VCD a 10 VCD, las conexiones físicas se muestran en la figura 3.5.

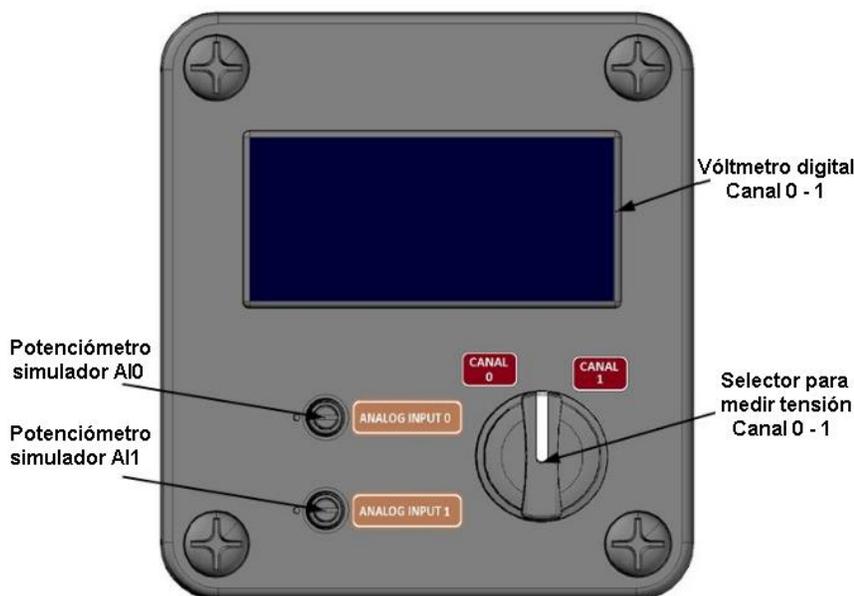


Figura 2.15 Entradas analógicas 0 y 1.

2.5.3 Botonera de entradas y salidas digitales

La figura 3.6 muestra una botonera que está montada en el tablero de control, esta tiene 8 botones que están cableados al módulo de entradas digitales del PAC (entrada 0 a 7)

y 8 focos indicadores cableados al módulo de salidas digitales (salida 0 a 7) usados para fines didácticos. Las entradas IN0 e IN1 están asignadas al paro y encendido de la válvula solenoide asignadas por programación.

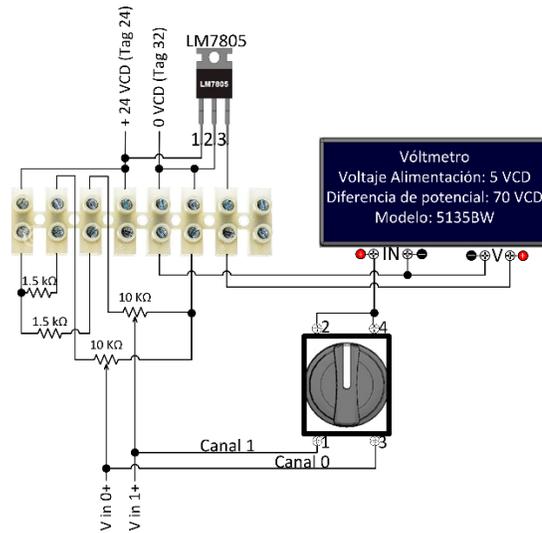


Figura 2.16 Diagrama de conexión entradas analógicas 0 y 1.

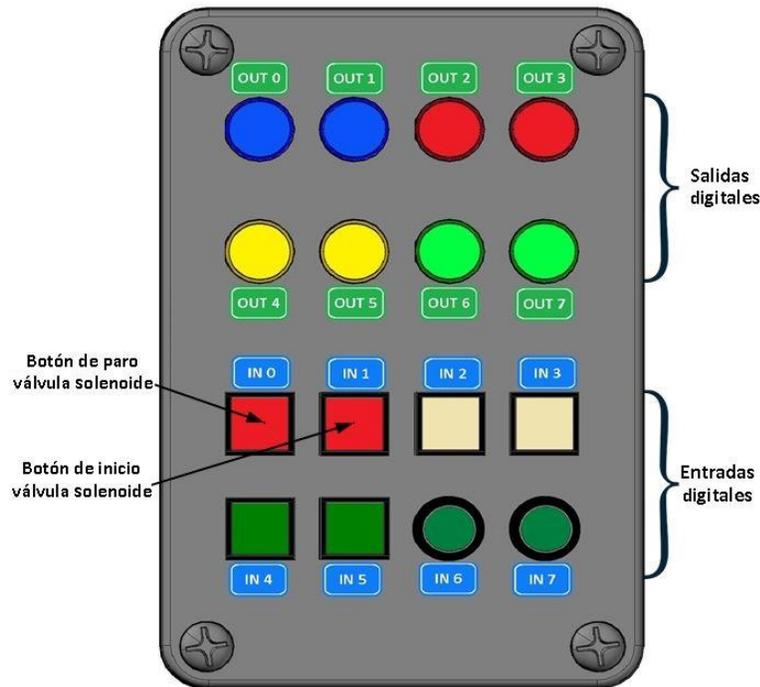


Figura 2.17 Botonera de entradas y salidas digitales.

2.5.4 Alimentación en tablero de control

La etapa de potencia en el tablero de control se realizó en el riel DIN con el interruptor principal montado en el tablero de control como se muestra en la figura 3.7. En la tabla 3.1 se muestran las conexiones de las tensiones eléctricas de 120 VCA y 24 VCD para el funcionamiento del tablero de control, incluyendo clemas, interruptor termomagnético, fusible de protección y el relevador maestro que habilita las E/S analógicas y digitales de la botonera.

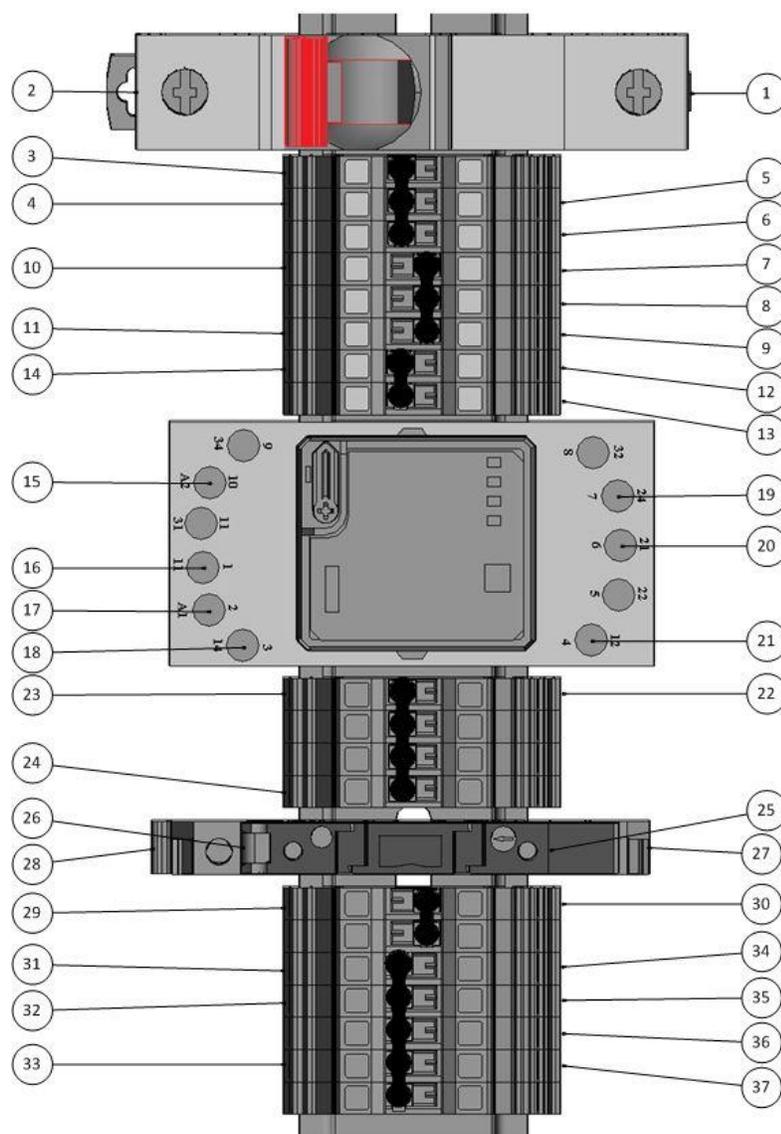


Figura 2.18 Alimentación del tablero de control y relé maestro.

Tabla 2.2 Tags de alimentación en tablero de control y relé maestro.

Número de TAG	Tipo de señal	Descripción
1	Línea 120 VCA	Entrada alimentación 120 VCA de clavija.
2	*Línea 120 VCA	Salida a bloque de bornes de conexión Tag 3.
3	*Línea 120 VCA	Entrada alimentación de Tag 2.
4	*Línea 120 VCA	Salida a fuente 24 VCD.
5	*Línea 120 VCA	Salida para alimentación a PAC.
6	*Línea 120 VCA	Salida a botonera de arranque y paro.
7	Neutro 120 VCA	Entrada alimentación 120 VCA de clavija.
8	Neutro 120 VCA	Salida para alimentación a PAC.
9	Neutro 120 VCA	Salida a relé borne A2 (Tag 15).
10	Neutro 120 VCA	Salida a fuente 24 VCD.
11	Neutro 120 VCA	Salida a botonera de arranque y paro.
12	Tierra 120 VCA	Entrada alimentación 120 VCA de clavija.
13	Tierra 120 VCA	Salida para alimentación a PAC.
14	Tierra 120 VCA	Salida a fuente 24 VCD.
15	Neutro 120 VCA	Relé borne A2. Entrada de neutro (Tag 9).
16	*Línea 120 VCA	Relé borne 11. Entrada para alimentación de botonera arranque-paro.
17	*Línea 120 VCA	Relé borne A1. Salida a botonera arranque-paro, a foco piloto azul/x1 e interruptor verde NO x1.
		Relé borne A1. Puente a borne 14 (Tag 18).
18	*Línea 120 VCA	Relé borne 14. Puente a borne A1 (Tag 17).
19	+ 24 VCD	Relé borne 24. Salida a clemas +24 VCD (Tag 22).
20	+24 VCD	Relé borne 21. Entrada de fuente de alimentación +24 VCD (Tag 30).
21	*Línea 120 VCA	Relé borne 12. Hacia botonera arranque-paro, a foco piloto rojo/x1.
22	+ 24 VCD	Entrada de relé (Tag 19) +24 V
23	+ 24 VCD	Salidas a clemas conexión +24 V
24	+ 24 VCD	Salida a botonera de entradas analógicas.
25	+ 24 VCD	Entrada de fuente de +24 V a fusible de protección.
26	+ 24 VCD	Salida de fusible de protección +24 V.
27	0 VCD	Entrada de fuente de 0 V a fusible de protección.
28	0 VCD	Salida de fusible de protección 0 V.
29	+ 24 VCD	Entrada de +24 V de Tag 26.
30	+ 24 VCD	Salida a borne 21 (Tag 20).
31	0 VCD	Entrada de 0 V de Tag 28.
32	0 VCD	Salida a botonera de entradas analógicas.
33	0 VCD	Salida a clemas entradas analógicas. Canales V/I In 2-, V/I In 3- (Tags 48 y 49).
34	0 VCD	Hacia slot canal analógico V/I In 0-.
35	0 VCD	Hacia slot canal analógico V/I In 1-.
36	0 VCD	Salida a slot de salidas digitales.
37	0 VCD	Salida a slot de entradas digitales.

* Línea protegida con fusible

2.5.5 Cemas de entradas y salidas digitales y analógicas

El riel DIN ubicado en la parte inferior del tablero de control está dedicado a las salidas y entradas tanto analógicas y digitales restantes que no se ocuparon en las botoneras del tablero de control, por lo que ofrece 8 señales de entradas analógicas (IN7 a IN15), 8 señales de salidas analógicas (OUT7 a OUT15), 2 señales de entradas analógicas (Ch2 y Ch3). El módulo requiere de 5 entradas digitales, 6 salidas digitales y 2 entradas analógicas que cubre sin problemas el tablero de control proporcionado por la escuela. Las conexiones que enlazan el tablero de control y el módulo se realizan en estas clemas a través de un arnés de conexión y un puente de conexión PCT 212. La figura 3.8 y la tabla 3.2 muestran las diferentes clemas que están asignadas para cada una de las señales digitales y analógicas de entrada y salida, así como la alimentación para su funcionamiento.

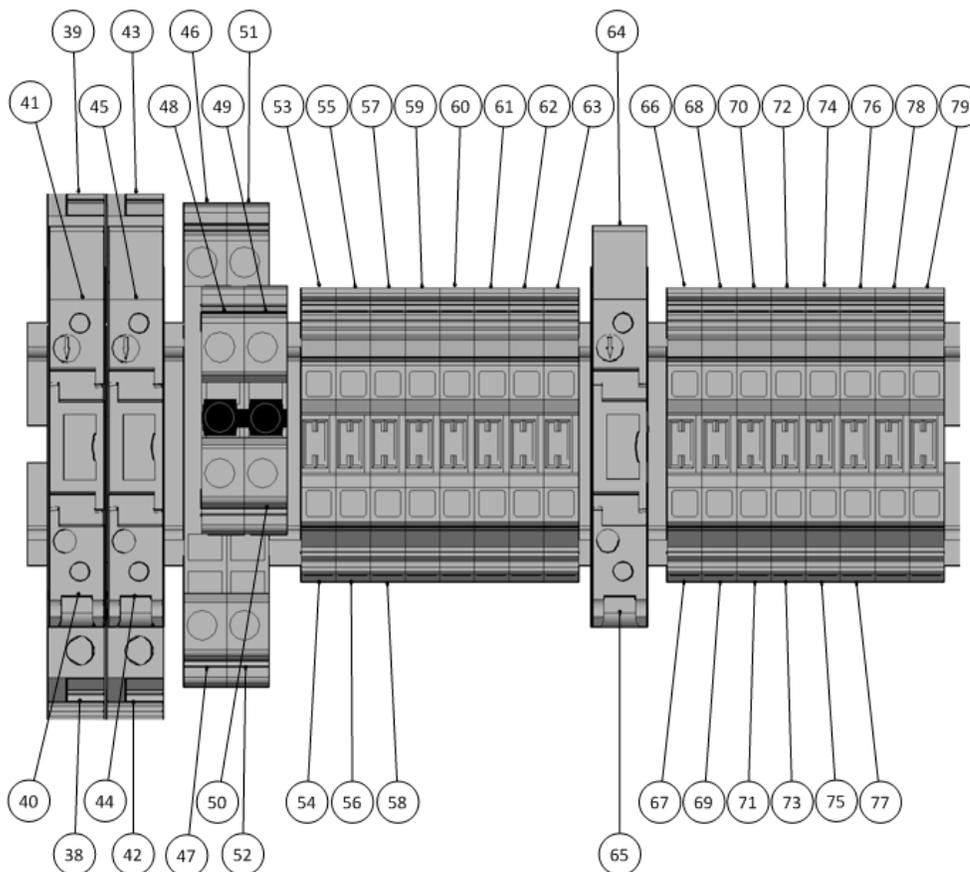


Figura 2.19 Cemas de conexión E/S analógicas y digitales.

Tabla 2.3 Clemas de conexión E/S analógicas y digitales.

Número de TAG	Tipo de señal	Descripción
38	0 VCD	Entrada de V out analógico canal 2-.
39	0 VCD	Salida de V out analógico canal 2-.
40	+ 24 VCD	Entrada de V out analógico canal 2+.
41	+24 VCD	Salida de V out analógico canal 2+.
42	0 VCD	Entrada de V out analógico canal 3-.
43	0 VCD	Salida de V out analógico canal 3-.
44	+ 24 VCD	Entrada de V out analógico canal 3+.
45	+ 24 VCD	Salida de V out analógico canal 3+.
46	(0-20) mA	Entrada de I in 2+ de slot entradas analógicas
47	(0-20) mA	Salida de I in 2+. Conexión cable naranja azul hembra (LT ultrasónico).
48	0 VCD	Entrada de 0 VCD (Tag 33). Común V/I in2.
49	0 VCD	Entrada de 0 VCD (Tag 33). Común V/I in 3. Puente Tag 48.
50	0 VCD	Salida de 0 CVD. Conexión cable negro (Común LT ultrasónico y LT por presión).
51	(0-20) mA	Entrada de I in 3+ de slot entradas analógicas
52	(0-20) mA	Salida de I in 3+. Conexión cable blanco hembra con puente (LT por presión).
53	0 VCD	Entrada digital número 8.
54	0 VCD	Conexión cable amarillo hembra (sensor interruptor).
55	0 VCD	Entrada digital número 9.
56	0 VCD	Conexión cable blanco hembra (paro).
57	0 VCD	Entrada digital número 10.
58	0 VCD	Conexión cable azul/verde hembra (arranque).
59	0 VCD	Entrada digital número 11.
60	0 VCD	Entrada digital número 12
61	0 VCD	Entrada digital número 13.
62	0 VCD	Entrada digital número 14.
63	0 VCD	Entrada digital número 15.
64	+24 VCD	Entrada de botonera (entradas y salidas digitales).
65	+24 VCD	Entrada de alimentación +24 VCD (Tag 23). Conexión cable rojo hembra +24 VCD.
66	0 VCD	Salida digital número 8.
67	0 VCD	Conexión cable verde hembra (Optoacoplador).
68	0 VCD	Salida digital número 9.
69	0 VCD	Conexión cable gris/rojo hembra (relevador).
70	0 VCD	Salida digital número 10.
71	0 VCD	Conexión cable azul cielo hembra (alarma señal bajo-bajo).
72	0 VCD	Salida digital número 11.
73	0 VCD	Conexión cable rosado hembra (alarma señal bajo).
74	0 VCD	Salida digital número 12.
75	0 VCD	Conexión cable morado hembra (alarma señal alto).
76	0 VCD	Salida digital número 13.
77	0 VCD	Conexión cable café/blanco (alarma señal alto-alto).
78	0 VCD	Salida digital número 14.
79	0 VCD	Salida digital número 15.

2.6 Operación manual del módulo didáctico de nivel

La operación del módulo consiste en el llenado del tanque superior con agua proveniente del tanque inferior a través de un tubo de PVC hidráulico cédula 40 de 12 mm (1/2 plg) de diámetro. Este se hace por medio de la bomba sumergible descrita conectada a una fuente de alimentación de 127 VCA. Para el drenado en la parte inferior se tiene un tubo de 12 mm (1/2 plg) en el que se tiene instalada una válvula solenoide normalmente cerrada que se conecta a una fuente de 12 VCD para que la válvula se abra.

Se tiene un gabinete colocado en el tanque para que de forma local se puedan visualizar cuatro alarmas. El nivel bajo-bajo hasta una altura de 10 plg , el cual indica que de líquido está en un nivel críticamente bajo; el nivel bajo de una altura de entre 10 plg a 32 plg, que indica una cantidad de líquido dentro de un intervalo seguro para operar; el nivel alto en un intervalo entre 32 plg y 35 plg, que indica un nivel de líquido se encuentra en un nivel con riesgo a que se desborde si no baja; y por último el nivel alto-alto que se encuentra entre 35 plg a 36 plg que indica que el nivel de líquido se encuentra en un punto crítico lo cual requiere que se detenga el llenado del tanque.

CAPÍTULO 3

AUTOMATIZACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE NIVEL

En este capítulo se muestra el procedimiento para realizar el control y automatización del módulo didáctico de nivel, integrando los elementos como son transmisores, PAC, válvula solenoide y bomba sumergible, conexiones, diagramas y programación.

3.1 Conexión y cableado

Debido a que el proyecto está conformado por el tablero de control y el módulo de nivel en los siguientes subcapítulos se muestran las conexiones e integraciones de estos dispositivos en el módulo didáctico de medición de nivel.

3.1.1 Circuitos para la automatización del módulo didáctico

La figura 3.9 muestra los elementos que se adicionaron al módulo de medición de nivel para automatización.

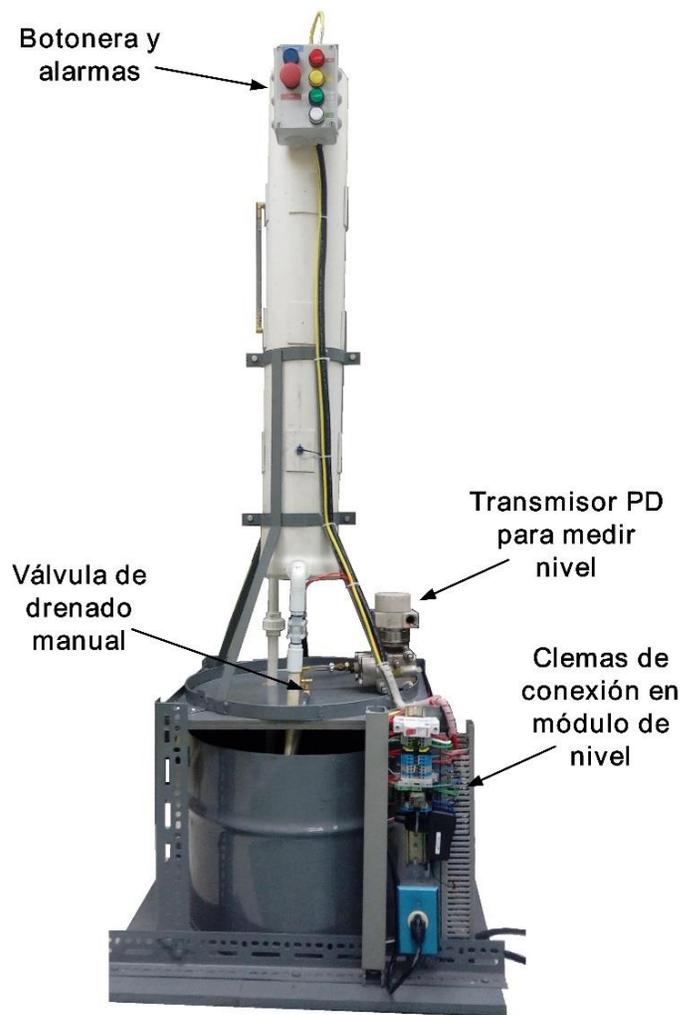


Figura 3.1 Módulo didáctico de nivel automatizado.

En la parte superior del tanque se le agrego una botonera para el arranque y paro de la bomba de manera local, adicionándole también cuatro alarmas. Se adicionó un transmisor de presión diferencial que junto con el transmisor ultrasónico serán las entradas analógicas para medir el nivel. También se integró una válvula de drenado manual para una salida del fluido más rápido, debido a que la válvula solenoide requiere de una presión mayor a la que se tiene en el sistema para una apertura total por lo que el drenado del fluido es lento.

Al módulo se le agregó un riel con una serie de clemas para las conexiones de entradas y salidas digitales y analógicas y se le colocó una fuente de alimentación de 12 VCD, un relevador y un optoacoplador para el accionamiento de la bomba y la válvula solenoide respectivamente, así como un interruptor termomagnético para la alimentación del sistema.

Clemas de conexión en modulo didáctico

La figura 3.10 y la tabla 3.3 muestran las clemas y conexiones que se encuentran en la parte inferior del módulo didáctico donde se agregó el relé, optoacoplador, fusibles, clemas, clemas en interruptor termomagnético.

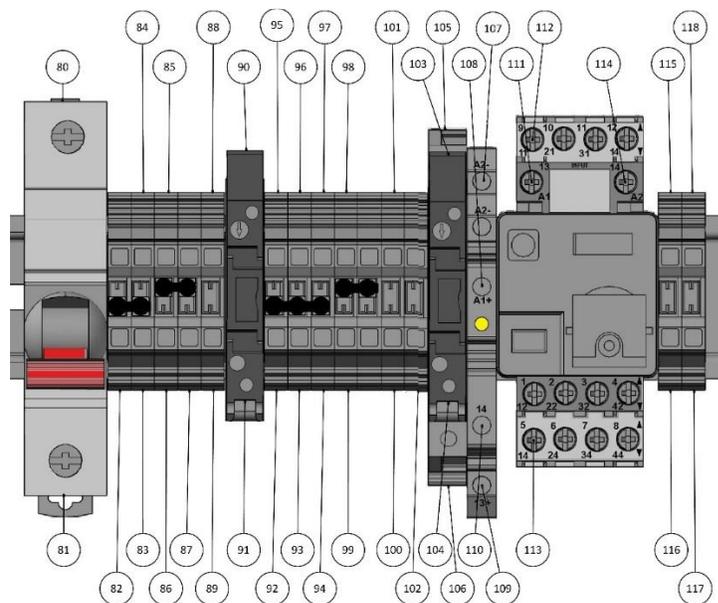


Figura 3.2 Riel DIN para integración de elementos en el módulo didáctico de nivel.

Tabla 3.1 Tags para integración de elementos en el módulo didáctico de nivel.

Número de TAG	Tipo de señal	Descripción
80	Línea 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de clavija.
81	*Línea 120 VCA	Salida de alimentación protegida.
82	*Línea 120 VCA	Entrada de alimentación de Tag 81.
83	*Línea 120 VCA	Salida a fuente de 12 VCD.
84	*Línea 120 VCA	Salida a relé (Tag 112).
85	Neutro 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de clavija.
86	Neutro 120 VCA	Salida a fuente de 12 VCD.
87	Neutro 120 VCA	Salida a enchufe de bomba.
88	Tierra 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de clavija.
89	Tierra 120 VCA	Salida a enchufe de bomba.
90	+ 24 VCD	Entrada de alimentación de 24 VCD de tablero con PAC.
91	+ 24 VCD	Salida de fusible de protección + 24 VCD a Tag 92.
92	+ 24 VCD	Entrada de alimentación de +24 VCD de Tag 91.
93	+ 24 VCD	Salida a botonera.
94	+ 24 VCD	Salida a transmisor ultrasónico.
95	+ 24 VCD	Salida a transmisor fuente (Tag 115).
96	+ 24 VCD	Salida a relé borne A1 (Tag 111) y optoacoplador borne A1 (Tag 108).
97	+ 24 VCD	Salida a interruptor de nivel.
98	- 24 VCD	Alimentación de -24 VCD de Tag 50.
99	- 24 VCD	Salida hacia cable azul (negativo) transmisor ultrasónico.
100	(4-20) mA	Entrada cable negro (señal) transmisor ultrasónico.
101	(4-20) mA	Salida hacia I in 2+ (Tag 47).
102	+/- 24 VCD	Entrada cable blanco entrenador de transmisor ultrasónico.
103	+ 12 VCD	Entrada alimentación fuente +12 VCD.
104	+ 12 VCD	Salida de fusible de protección a Tag 109.
105	- 12 VCD	Entrada de alimentación fuente -12 VCD.
106	- 12 VCD	Salida de fusible de protección hacia válvula solenoide.
107	- 24 VCD	Entrada señal digital número 8 (Tag 67).
108	+ 24 VCD	Entrada de + 24 VCD (Tag 96).
109	+ 12 VCD	Entrada de + 12 VCD de Tag 104.
110	+ 12 VCD	Salida hacia válvula solenoide.
111	+ 24 VCD	Entrada de + 24 VCD (Tag 96).
112	*Línea 120 VCA	Entrada de 120 VCA de Tag 84.
113	*Línea 120 VCA	Relé borne 14 NO hacia enchufe bomba.
114	- 24 VCD	Entrada señal digital número 9 (Tag 69).
115	+ 24 VCD	Entrada transmisor fuente (Tag 95).
116	+ 24 VCD	Salida a transmisor de presión diferencial.
117	- 24 VCD	Entrada señal de transmisor de presión diferencial.
118	- 24 VCD	Salida hacia in 3+ (Tag 52).

* Línea protegida con fusible

Fuente de 12 VCD

Debido a que la válvula solenoide se energiza a una tensión de 12 VCD se montó en el módulo de nivel una fuente de 12 VCD (figura 3.11 y tabla 3.4).

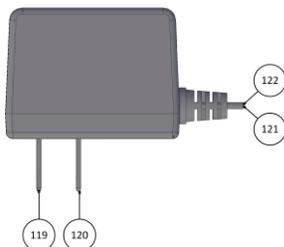


Figura 3.3 Fuente de alimentación de 12 VCD.

Tabla 3.2 Tags de la fuente de alimentación de 12 VCD.

Número de TAG	Tipo de señal	Descripción
119	*Línea 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de Tag 83.
120	Neutro 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de Tag 86.
121	+ 12 VCD	Salida de +12 VCD a Tag 103.
122	-12 VCD	Salida de -12 VCD a Tag 105.

Conexión de bomba sumergible

Debido a que la bomba sumergible cuenta con una clavija a tres hilos, se requirió de un contacto para realizar el control sobre la bomba, el cual se montó en el módulo de control de nivel (figura 3.12 y tabla 3.5).

Botonera en módulo didáctico

En la parte superior del tanque se colocó la caja eléctrica para los botones de paro y arranque de la bomba de manera local, así como las alarmas que indican el nivel del líquido (figura 3.13), donde se tiene:

- Alarma LL: Alarma nivel bajo-bajo
- Alarma L: Alarma nivel bajo
- Alarma H: Alarma nivel alto
- Alarma HH: Alarma nivel alto-alto

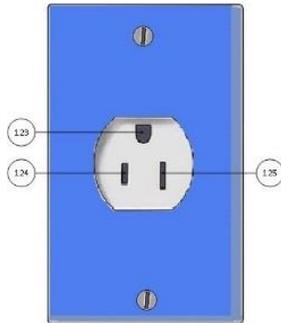


Figura 3.4 Contacto para conexión de la bomba sumergible.

Tabla 3.3 Tags del contacto de conexión de la bomba sumergible.

Número de TAG.	Tipo de señal	Descripción
123	Tierra 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de Tag 84.
124	*Línea 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de relé borne 14 (Tag 113).
125	Neutro 120 VCA	Entrada de alimentación 120 VCA de Tag 87.

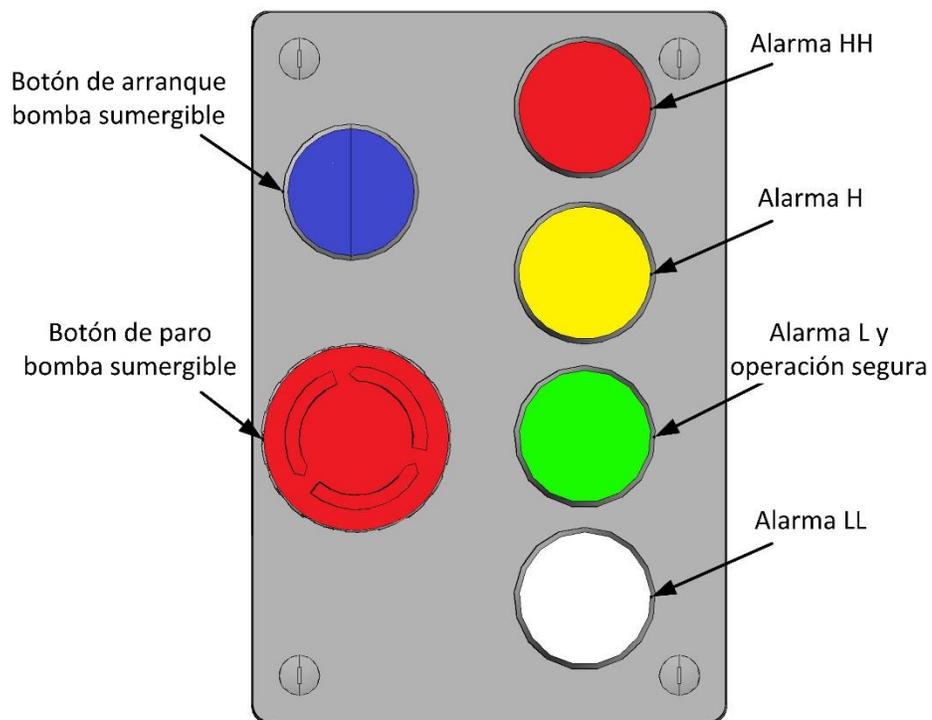


Figura 3.5 Botonera montada en el módulo didáctico.

Conexiones de entradas - salidas digitales y entradas analógicas entre el tablero de control y el módulo didáctico de nivel

En la figura 3.14 se muestra el arnés para la conexión hembra-macho donde del lado izquierdo se tienen las conexiones hembra provenientes del tablero de control y del lado derecho la conexión macho del módulo didáctico de nivel, de las entradas y salidas digitales, así como la entrada analógica del canal 2 y una línea de alimentación a 24 VCD de la fuente del tablero de control. Se hizo uso del conector puente PCT 212 para realizar la conexión del canal 3 del módulo didáctico de nivel (figura 3.15). Las conexiones se describen en las tablas 3.6 y tabla 3.7.

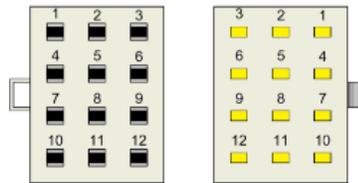


Figura 3.6 Arnés de conexiones hembra-macho.

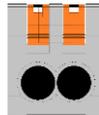


Figura 3.7 Conector puente PCT 212.

Tabla 3.4 Conexiones de arnés-hembra (tablero de control).

No.	Descripción
1	Entrada digital 8.
2	Entrada digital 9.
3	Alimentación +24 VCD.
4	Entrada digital 10.
5	Salida digital 8.
6	Salida digital 9.
7	Salida digital 10.
8	Salida digital 11.
9	Salida digital 12.
10	Alimentación 0 VCD.
11	Salida digital 13.
12	Entrada analógica canal 2.
Por conector puente PCT 212	Entrada analógica canal 3.

Tabla 3.5 Conexiones de arnés-macho (módulo didáctico).

No.	Descripción
1	Interruptor flotador.
2	Paro.
3	Alimentación +24 VCD
4	Arranque.
5	Optoacoplador para válvula solenoide.
6	Relevador para bomba sumergible.
7	Alarma LL (nivel bajo-bajo).
8	Alarma L (nivel bajo, operación segura)
9	Alarma H (alto).
10	Alimentación 0 V.
11	Alarma HH (nivel alto-alto).
12	Transmisor Ultrasónico
Por conector puente PCT 212	Transmisor de nivel por PD.

Circuito de conexión entradas digitales

En la figura 3.16 se presentan las entradas digitales del circuito de automatización asignadas en el slot DC INPUT del PAC utilizado, donde del lado izquierdo se presenta el nombre para cada entrada. Este módulo consta de 16 entradas digitales de las cuales de la entrada 0 (IN 0) a la entrada 7 (IN 7) están ocupadas por la botonera montada en el tablero. La entrada 8 (IN 8) está asignada al interruptor de nivel, la entrada 9 (IN 9) al paro del proceso, y la entrada 10 (IN 10) para el arranque del proceso. Todas están alimentadas a 24 VCD.

Circuito de conexión salidas digitales

En este circuito se muestran las salidas (figura 3.17) que de manera similar al slot de entradas digitales, se tienen las primeras 8 salidas ocupadas por la botonera montada en el tablero. Después en la salida 8 (OUT 8) se tiene el optoacoplador para la válvula solenoide, en la salida 9 (OUT 9) al relevador para el mando de la bomba, en la salida 10 (OUT 10) la alarma de señal bajo-bajo, en la salida 11 (OUT 11) la alarma de señal bajo, la salida 11 (OUT 11) la alarma de señal alto y en la salida 12 (OUT 12) la alarma de señal alto-alto. Toda la alimentación es de 24 VCD.

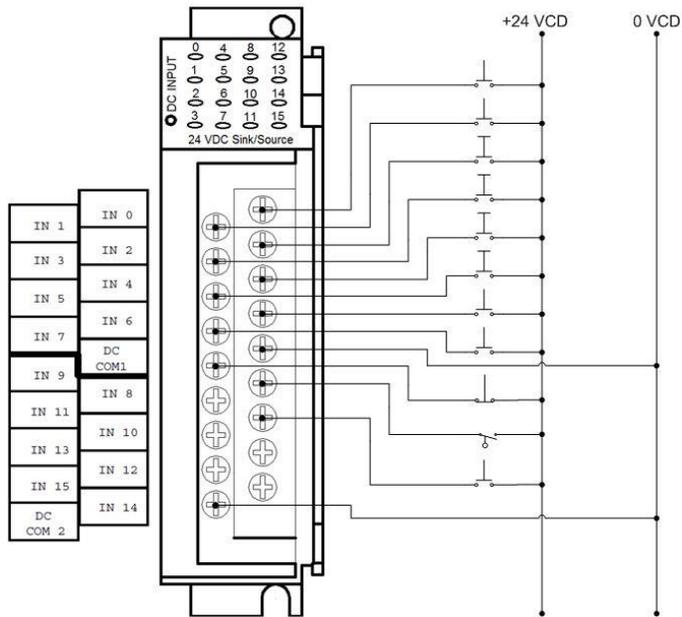


Figura 3.8 Diagrama de conexiones entradas digitales.

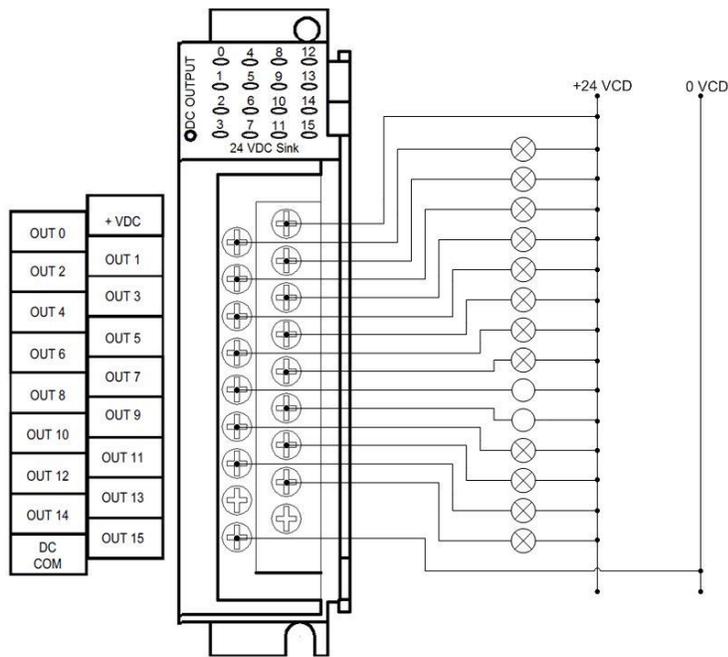


Figura 3.9 Diagrama de conexiones salidas digitales.

Circuito de conexión entradas Analógicas

En la figura 3.18 se muestran las entradas analógicas. En este circuito se acoplaron las entradas analógicas del transmisor ultrasonico de nivel y transmisor de nivel por presión. En el canal 0 y 1 se tiene dos potenciómetros provenientes del tablero de control, que para fines del sistema no son utilizados. En el canal 2 se tiene conectado el sensor ultrasonico y en el canal 3 el transmisor de presión.

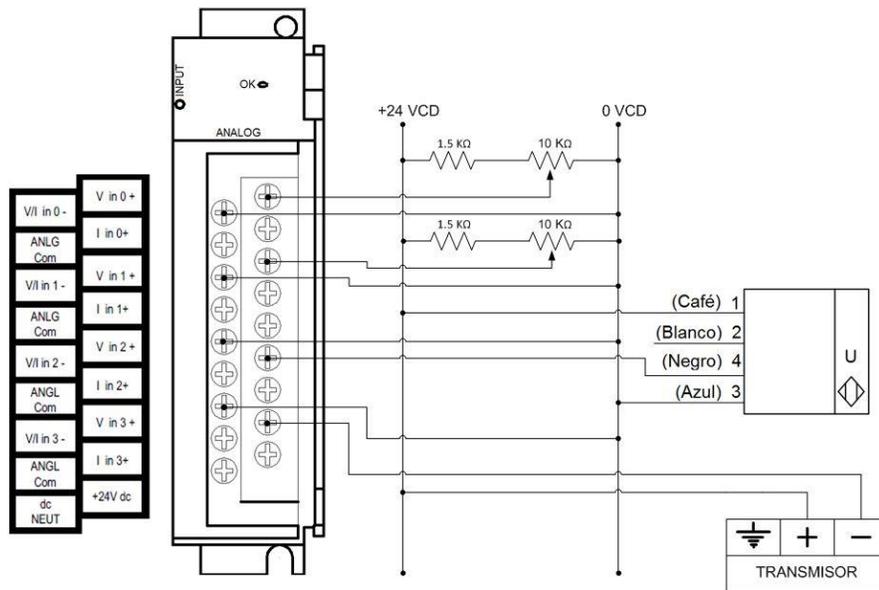


Figura 3.10 Diagrama de conexión de entradas analógicas.

3.2 Programación del PAC

El programa utilizado para la programación es el RSLogix 5000 que es correspondiente para el PAC utilizado. El tipo de programación empleado fue el de tipo escalera, en la que cada línea de programación se especifica una tarea a realizar.

Tags del programa

Los Tags son etiquetas para asignar y hacer referencia a las ubicaciones de memoria en el PAC. Son un esquema de direccionamiento basado en texto puro sin direcciones físicas. Estos pueden ser de tipo:

- Base: Tag que define la memoria donde se almacenan los datos en el controlador.
- Alias: Tag que se le asignan a entradas y salidas del controlador.
- Producido: Tag que envía datos a otro controlador.
- Consumido: Tag que recibe datos de otro controlador.

La figura 3.19 muestra los Tags a utilizar en la programación entre los cuales están:

- Alarmas de nivel (bajo-bajo, bajo (operación segura), alto y alto-alto).
- Inicio y paro de la bomba y válvula.
- Transmisores de nivel ultrasónico y de presión.
- Interruptor de nivel.
- Tags para la caracterización de sensor ultrasónico y de presión diferencial.
- Tags para la implementación del control ON-OFF utilizado.

Árbol de funciones

En la figura 3.20 se aprecian las diferentes subrutinas de la programación que se despliegan de la carpeta MainProgram las cuales son:

- MainRoutine: Activación de las diferentes subrutinas.
- Alarmas: Configuración del encendido de alarmas.
- Control_Nivel_Transmisor: Implementación del control ON_OFF LT de presión con histéresis.
- Control_Nivel_Ultrasonico: Control ON_OFF con LT ultrasónico sin histéresis.
- Control_Nivel_Ultrasonico_BP: Control ON_OFF con el LT con histéresis.
- Manual: Activación de bomba y válvula sin control.
- Sensor_Ultrasonico: Caracterización del sensor ultrasónico.
- Transmisor_Presion_Nivel: Caracterización del transmisor PD.

En la parte inferior se muestra la asignación de los módulos (slots), los cuales son:

- [2] 1768-CNB/A ControlNet: Slot de comunicación ControlNet.
- [1] 1768-ENBT/A EtherNet: Slot de comunicación EtherNet.
- [0] 1768-L43 Control_Nivel: Slot CPU del PAC.
- [1] 1769-OF4VI/A Output_Analog: Slot de salidas analógicas.
- [2] 1769-IF4/B Analog_Input: Slot de entradas analógicas.
- [3] 1769-IQ16F/A Digital_Input: Slot de entradas digitales.
- [4] 1769-OV16/B Digital_Output: Slot de salidas digitales.

Scope: MainProgram Shgw... Show All					
Name	Value	Force Mask	Style	Data Type	
Alarma_H	0		Decimal	BOOL	
Alarma_HH	0		Decimal	BOOL	
Alarma_L	1		Decimal	BOOL	
Alarma_LL	0		Decimal	BOOL	
+ ALTO	{...}	{...}		TIMER	
+ BAJO	{...}	{...}		TIMER	
Banda_Muerta	0		Decimal	BOOL	
Banda_Muerta_TN	0		Decimal	BOOL	
bias	-5.0803456		Float	REAL	
bias_TN	-11.012658		Float	REAL	
Bomba	1		Decimal	BOOL	
error	0.6691065		Float	REAL	
error_BP	-4.7154503		Float	REAL	
error_TN	7.1967697		Float	REAL	
HMI_Sub_CNT	0		Decimal	BOOL	
HMI_Sub_CNU	0		Decimal	BOOL	
HMI_Sub_CNUBP	0		Decimal	BOOL	
Inicio_Bomba	0		Decimal	BOOL	
Inicio_Valvula	0		Decimal	BOOL	
Interrupor_Flotador	1		Decimal	BOOL	
Limite_alto_SUBP	-0.5		Float	REAL	
Limite_alto_TN	-0.5		Float	REAL	
Limite_bajo_SUBP	0.5		Float	REAL	
Limite_bajo_TN	0.5		Float	REAL	
Limite_ParoEmergProg	0		Decimal	BOOL	
m_Pendiente	1.26031891...		Float	REAL	
m_Pendiente_TPN	2.75316462...		Float	REAL	
mayor_q	0		Decimal	BOOL	
mayor_q_BP	0		Decimal	BOOL	
mayor_q_TN	1		Decimal	BOOL	
menor_q	0		Decimal	BOOL	
menor_q_BP	0		Decimal	BOOL	
menor_q_TN	0		Decimal	BOOL	
mX	7.6148467		Float	REAL	
mX_TPN	47.852753		Float	REAL	
mXi	5.0803456		Float	REAL	
mXi_TPN	11.012658		Float	REAL	
offset_columna_agua	7.5		Float	REAL	
ONS1	1		Decimal	BOOL	
Paro_Bomba	1		Decimal	BOOL	
Paro_Valvula	0		Decimal	BOOL	
Pos_cm_Fin	20.0		Float	REAL	
Pos_cm_In	0.0		Float	REAL	
Pos_in_Fin_TPN	43.5		Float	REAL	
Pos_in_In_TPN	0.0		Float	REAL	
Pos_mA_Fin	19900.0		Float	REAL	
Pos_mA_Fin_TPN	19800.0		Float	REAL	
Pos_mA_In	4031.0		Float	REAL	
Pos_mA_In_TPN	4000.0		Float	REAL	
Posicion_cm	2.534501		Float	REAL	
Posicion_in	29.340096		Float	REAL	
Posicion_in_TPN	36.840096		Float	REAL	
Resta_den_Xi_Xi	15869.0		Float	REAL	
Resta_den_Xi_Xi_TPN	15800.0		Float	REAL	
Resta_num_Yi_Yi	20.0		Float	REAL	
Resta_num_Yi_Yi_TPN	43.5		Float	REAL	
Restablece_Manual	0		Decimal	BOOL	
+ Sensor_Ultrasonico	6042		Decimal	INT	
Set_point_nivel	16.0		Float	REAL	
Set_point_nivel_TN	36.0		Float	REAL	
+ Transmisor_Presion_Nivel	17381		Decimal	INT	
Valvula	0		Decimal	BOOL	

Monitor Tags / Edit Tags /

Figura 3.11 Tags del programa.

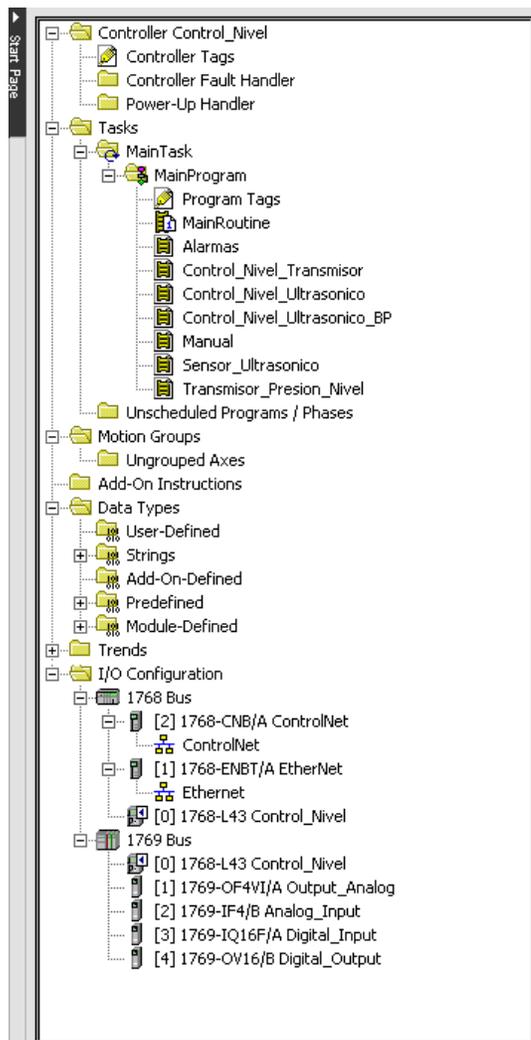


Figura 3.12 Árbol de funciones.

MainRoutine

En la figura 3.21 se muestra la subrutina en la que se introducen las condiciones para entrar a las subrutinas a las que se desea acceder. En el caso de las subrutinas Alarmas, Sensor_Ultrasonico y Transmisor_Presion_Nivel, estas actuaran de forma permanente. Las subrutinas Control_Nivel_Transmisor, Control_Nivel_Ultrasónico, manual y Control_Nivel_Ultrasónico_BP, solo se podrá acceder a una de ellas a la vez, no pueden operarse dos de manera simultánea.

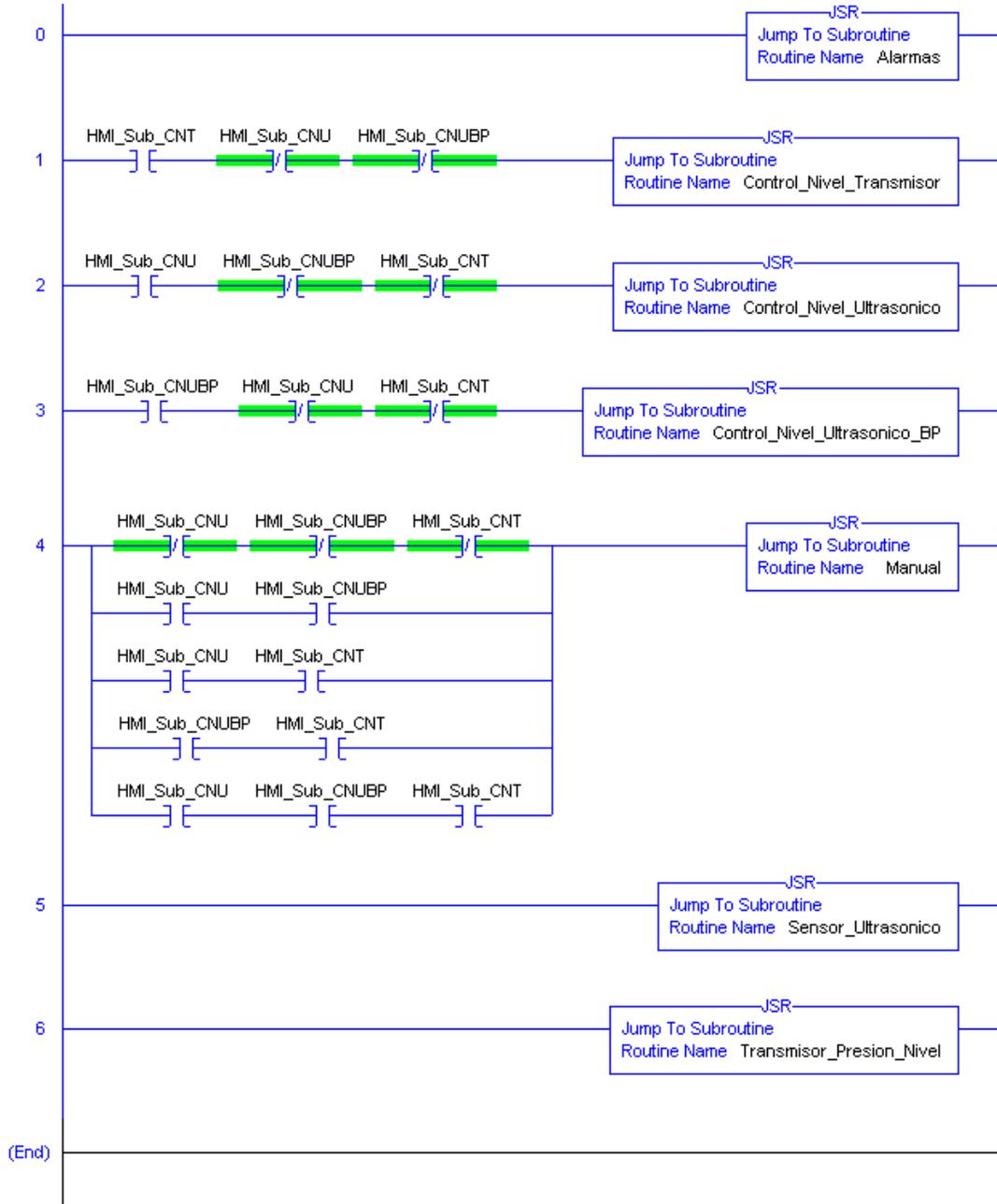


Figura 3.13 Subrutina MAINROUTINE.

Modo manual

El Transmisor ultrasónico sólo tiene un alcance de 30 cm y al estar colocado en la parte superior del tanque sólo podrá medir el nivel en la parte alta del tanque. Dada la ubicación

del transmisor, fue ajustado de acuerdo con las funciones que maneja para medir a partir de su máximo alcance (30 cm hacia abajo) a 10 cm del transmisor, lo que proporciona una medición del nivel en los últimos 20 cm del tanque.

El transmisor de nivel por presión diferencial proporcionará la medición completa del tanque, debido a que al estar colocado en la parte inferior del tanque, éste detecta las diferencias de presión hidrostática con lo cual proporciona una medición desde 4 mA hasta 20 mA a partir de su toma de presión indicada como alta (H).

En esta subrutina se accionan la bomba sumergible y la válvula solenoide de manera manual, se accede a esta cuando se intenta activar cualquiera de las subrutinas de Control Nivel Transmisor, Control Nivel Ultrasónico, Control Nivel Ultrasónico BP, de modo que no pueden estar operando 2 o 3 subrutinas a la vez como se observa en la primera línea, si esto ocurre con ONS1 se manda un disparo instantáneo y se activa el modo manual (Restablece Manual). Se puede activar o desactivar la bomba y la válvula desde los botones de arranque/paro. También se programó un paro de emergencia que se activa cuando el nivel del líquido llega a una posición de 20 cm o 36 plg de la base del tanque con los comparadores de la última línea (figura 3.22).

Alarmas

El funcionamiento de las Alarmas se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.23. Trasladando la lógica de la subrutina “Alarmas”; en la línea 1 se muestra que hasta que el nivel del líquido alcance 9.7 plg o al interruptor flotador para que cambie de estado la alarma de nivel bajo-bajo (Alarma_LL) estará encendida. En la línea 2 se tiene un arreglo con comparadores para que una vez accionándose el interruptor flotador se encienda la alarma de nivel bajo que indica una operación segura (Alarma_L) también se mantendrá encendida de 9.7 plg a 32 plg para el caso del control con el transmisor de nivel por presión y 0 cm a 9.4 cm (28.2 plg a 32 plg) para el caso del transmisor ultrasónico. En la línea 3 se tiene el encendido de la alarma de nivel alto (Alarma_H) de 9.94 cm a 17.46 cm (32 plg a 35 plg) por último en la línea 4 la alarma de nivel alto-alto (Alarma_HH) se programó para que encienda después de 17.46 cm (35 plg). Estas dos últimas alarmas

tienen un arreglo con dos temporizadores en la primera línea para que mande pulsos y así las alarmas sean intermitentes (figura 3.24).

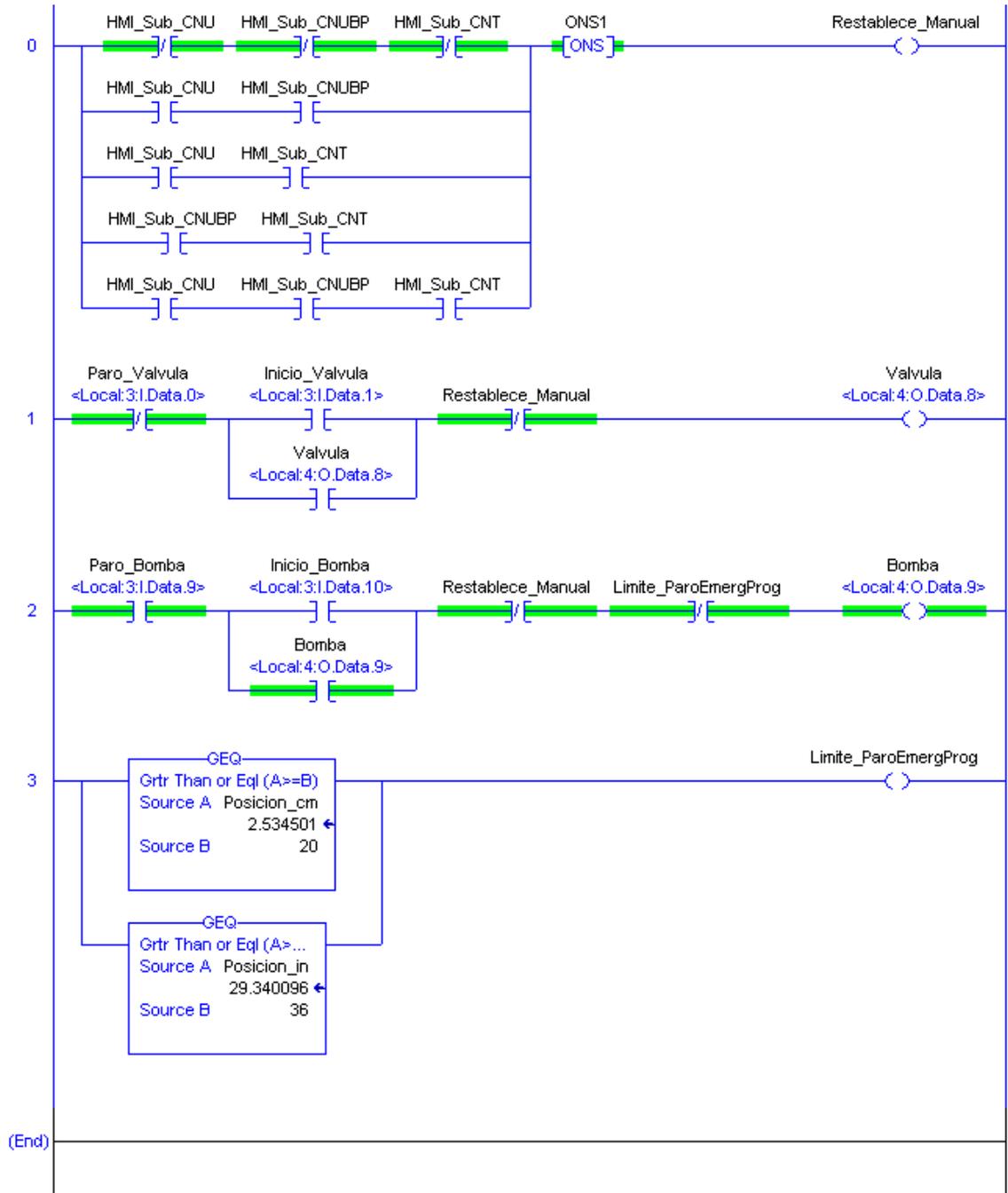


Figura 3.14 Subrutina MANUAL.

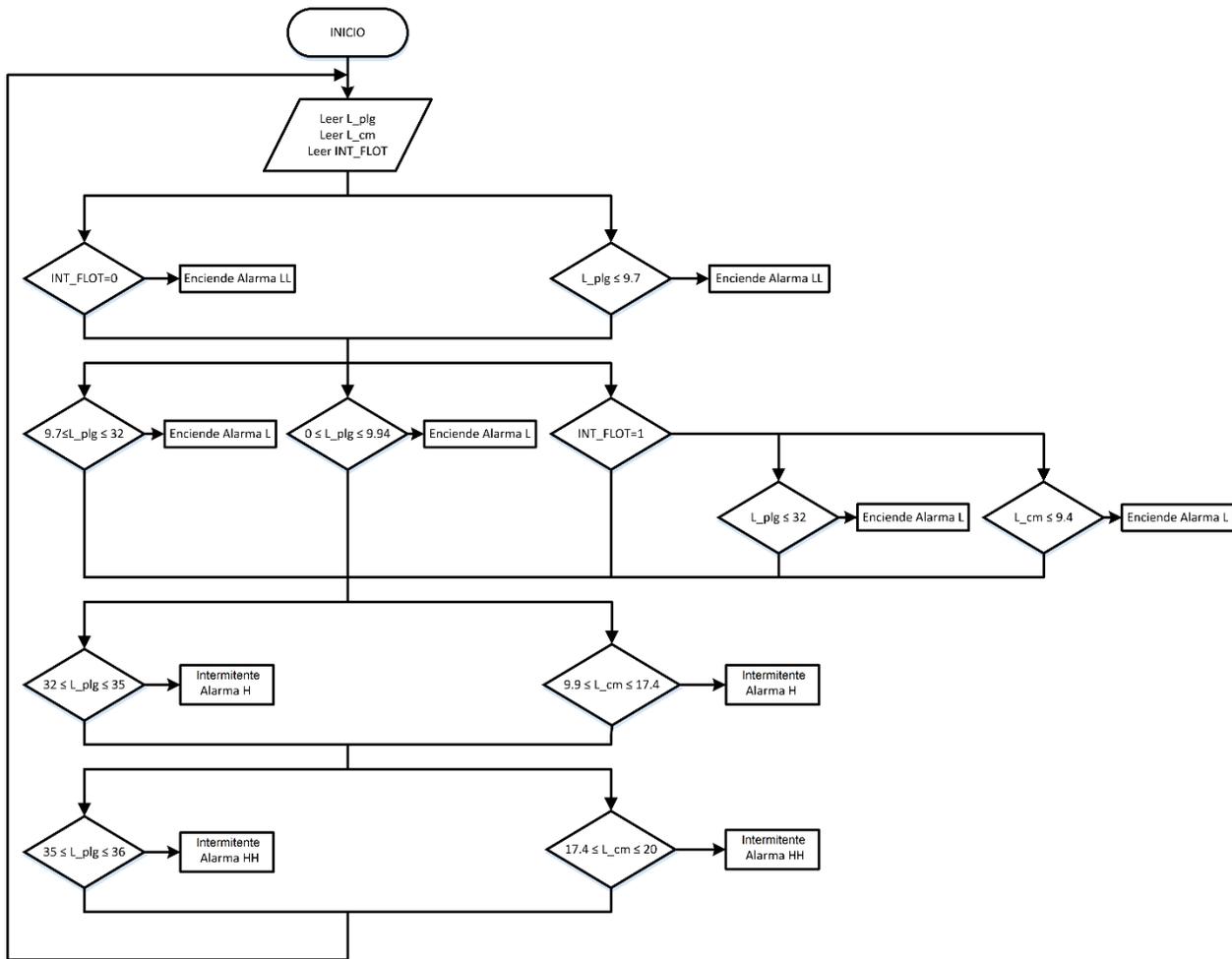


Figura 3.15 Diagrama de flujo Alarmas.

Control de nivel ON-OFF

Se implementó un control ON-OFF básico (figura 3.25) para controlar el nivel del tanque haciendo uso del transmisor ultrasónico de nivel. Se emplea la ecuación:

$$e = \begin{cases} CV_{max} & e > 0 \\ CV_{min} & e < 0 \end{cases} \quad e = SP - PV \quad (3.1)$$

Donde:

$e = error$

$SP = Setpoint$

$PV = Variable del proceso$

$CV = Variable de control$

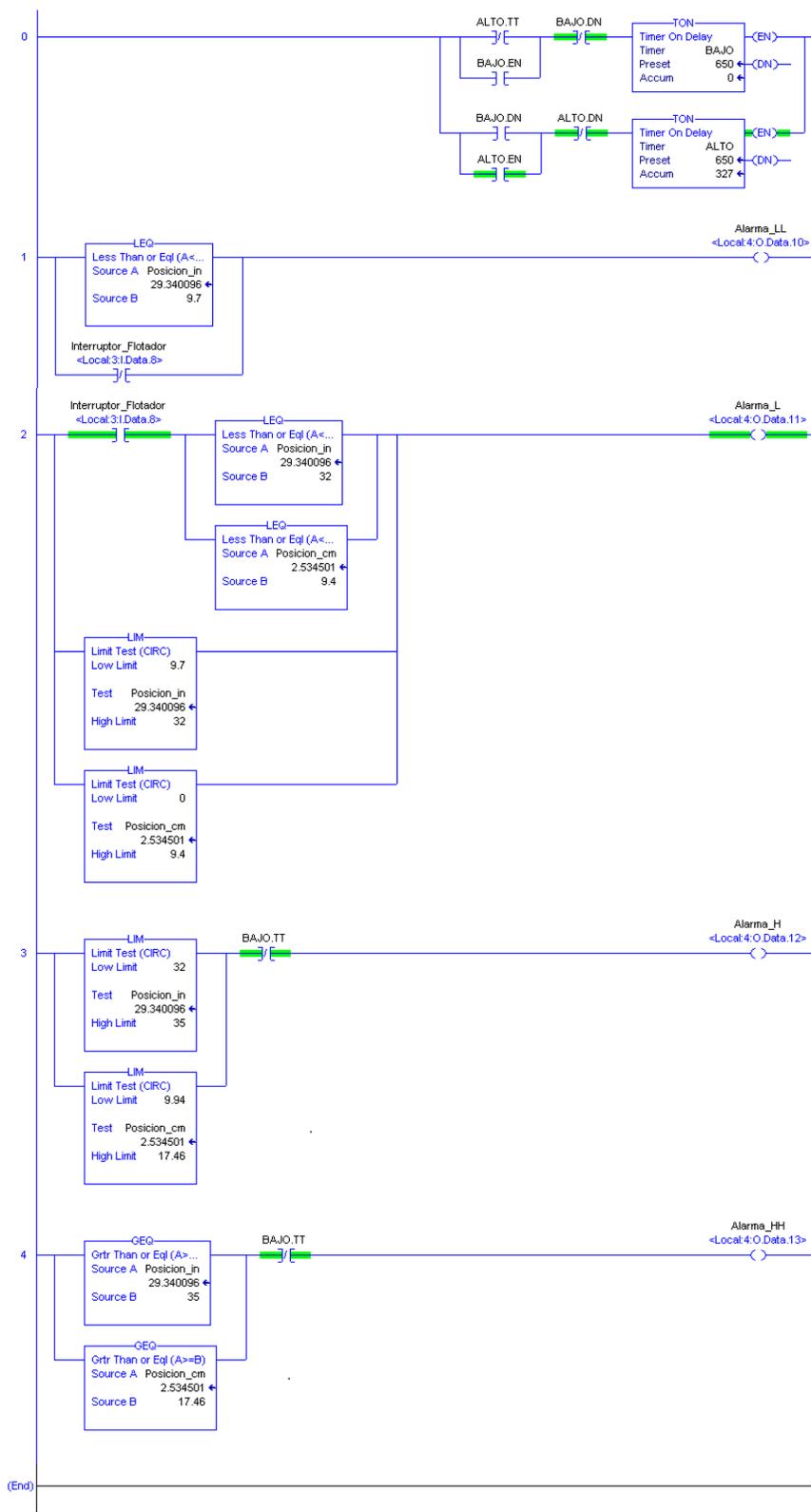


Figura 3.16 Subrutina Alarmas.

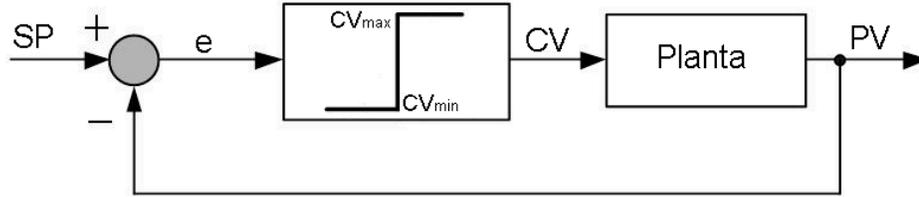


Figura 3.17 Lazo de control ON-OFF básico.

El sistema arrancará la bomba y mantendrá la válvula cerrada (CV_{max}) mientras el error sea mayor que cero, hasta que la variable de proceso alcance al punto de referencia o Setpoint. Cambiará de estado desactivando la bomba y abriendo la válvula (CV_{min}) cuando el error sea menor que cero, hasta que la variable de proceso alcance al punto de referencia o Setpoint (figura 3.26).

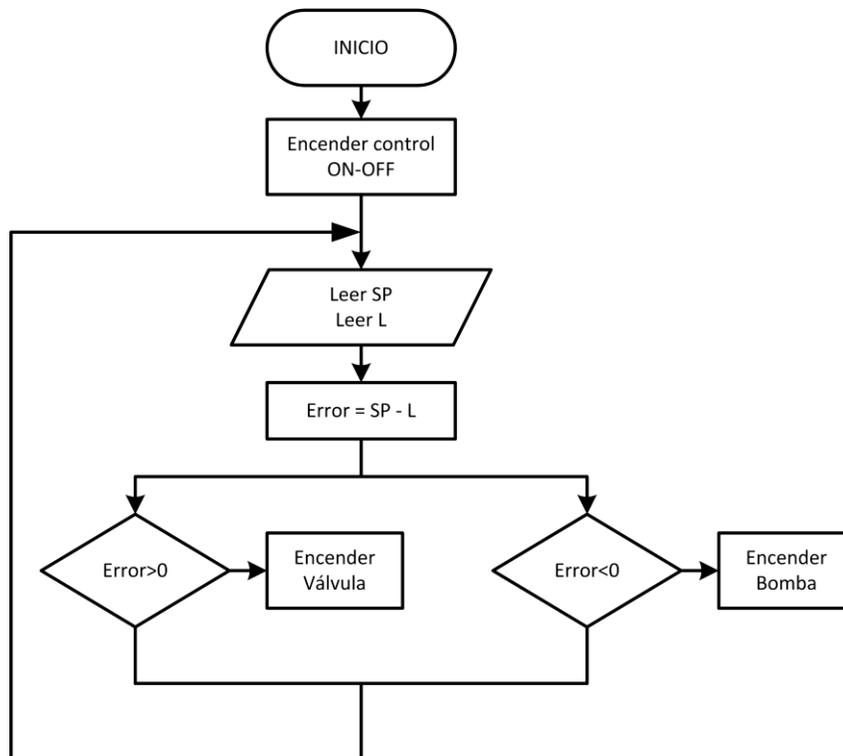


Figura 3.18 Diagrama de flujo control ON-OFF básico.

En la figura 3.27 se muestra la programación de este control con el transmisor ultrasónico de nivel en cm, donde en la línea 1 se introduce el comando substract para introducir a la ecuación 1 con un Setpoint de hasta 20 cm como limitante. En las siguientes líneas se tiene un arreglo para que la bomba encienda o apague, al igual que la válvula solenoide.

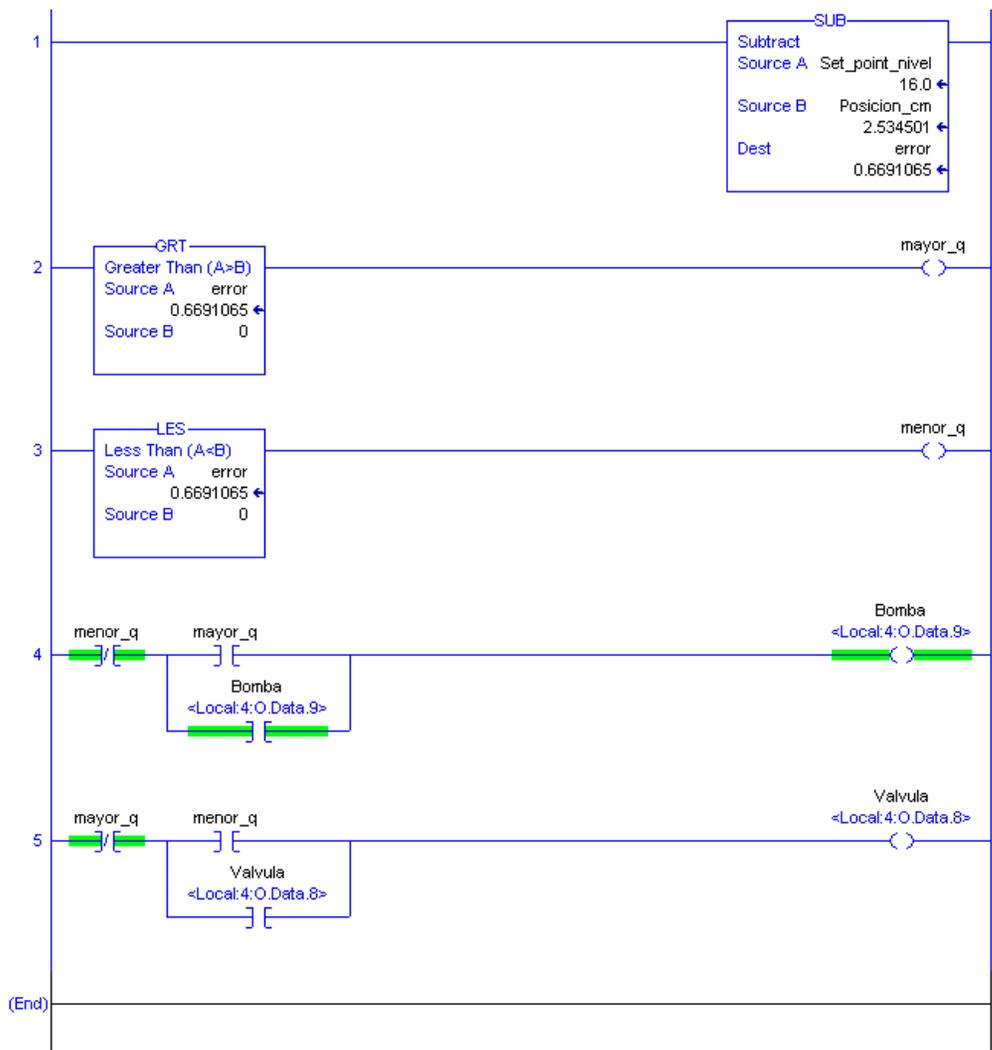


Figura 3.19 Subrutina de control ON-OFF básico.

Control ON-OFF con histéresis

Otro tipo de control que se implementó fue el control ON_OFF con histéresis (figura 3.28).

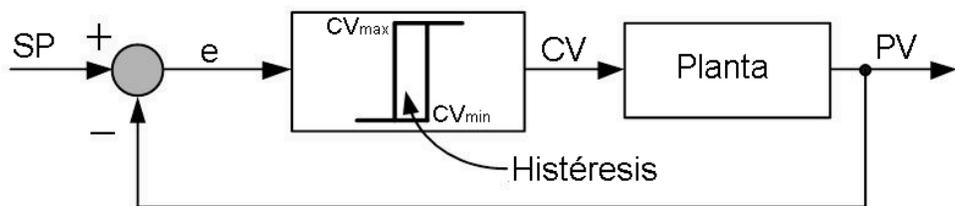


Figura 3.20 Lazo de control ON-OFF con histéresis

A diferencia del control ON-OFF básico se le agrega una histéresis o banda muerta para que el error no tenga que ser exactamente cero, se pueden ingresar diferentes valores en la histéresis desde la HMI. En el control ON-OFF con histéresis programado con el transmisor de nivel por presión se puede ingresar una histéresis en el límite bajo de -1 plg hasta 0 plg y en el límite alto de 0 plg hasta 1 plg. En el control ON-OFF con histéresis programado con el transmisor ultrasónico de nivel se puede ingresar una histéresis en el límite bajo de -1 cm hasta 0 cm y en el límite alto de 0 cm hasta 1 cm (figura 3.29).

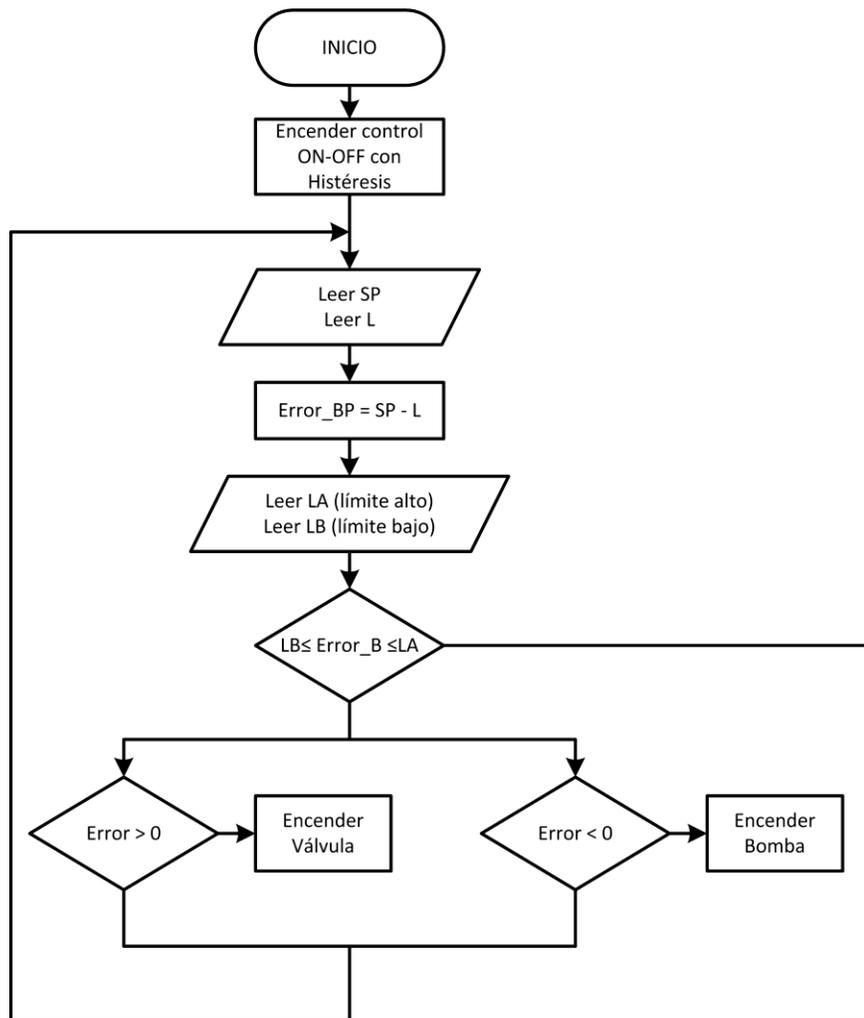


Figura 3.21 Diagrama de flujo del control ON-OFF con histéresis.

Se ingresó una histéresis de -0.5 cm para el límite bajo y de 0.5 cm para el límite alto, para que si se da un Set_point cercano a cero debido al efecto sifón que se presenta en

el tubo de llenado no se esté apagando y encendiendo la bomba, evitándose así que esta tenga una vida más corta de operación. La figura 3.30 introduce a diferencia del control ON_OFF básico un comparador de límites superior e inferior que es la histéresis y con el nombre en su salida de Banda_Muerta_TN.

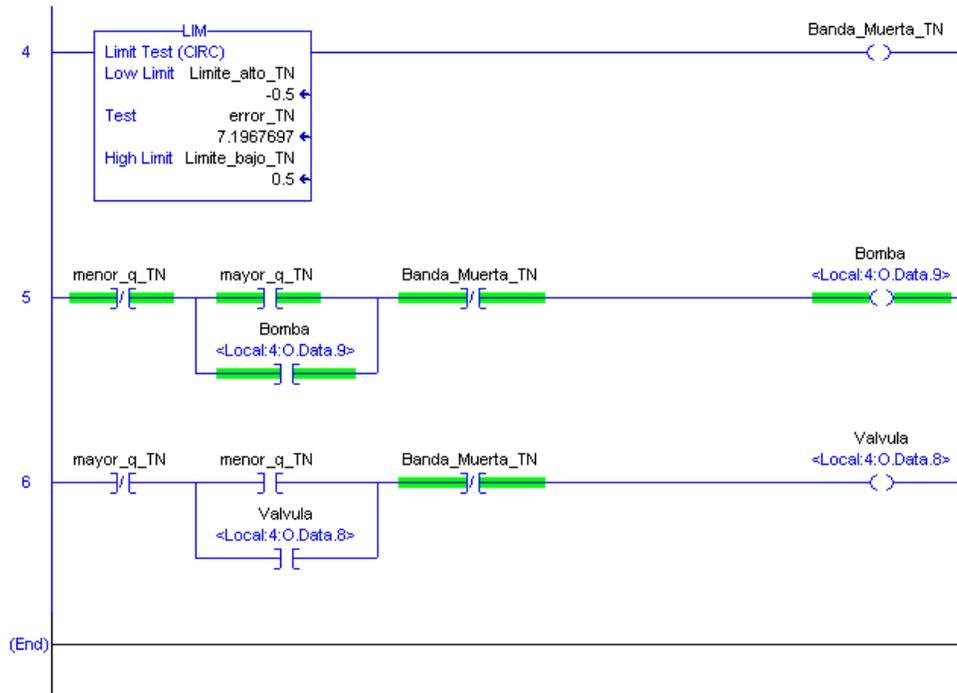


Figura 3.22 Control ON-OFF con histéresis.

Escalamiento Transmisor de nivel ultrasónico

El escalamiento del Transmisor de nivel ultrasónico. Se realizó con la ecuación de la recta (ecuación 3.2), donde la pendiente se obtiene con la ecuación 3.3

$$y = mx + b \quad (3.2)$$

$$m = \frac{y_f - y_i}{x_f - x_i} \quad (3.3)$$

Donde:

m= Pendiente.

y_f= Límite alto del nivel cm.

y_i= Límite bajo del nivel cm.

x_f= Límite alto del nivel mA.

x_i= Límite bajo del nivel mA.

Cálculo de bias o desviación:

$$b = y_i - mx_i \quad (3.4)$$

Donde:

b= Bias o desviación.

y_i = Límite bajo del nivel cm.

m= Pendiente.

x_i = Límite bajo del nivel cm.

Los valores de los parámetros son:

- $y_f = 20$ cm
- $y_i = 0$ cm
- $x_f = 19.9$ mA
- $x_i = 4.03$ mA
- $m = 1.26$ cm/mA

Se muestra la recta obtenida por el escalamiento del transmisor ultrasónico (figura 3.31), donde se aprecia la obtención de esta y los valores iniciales y finales en cm y en mA.

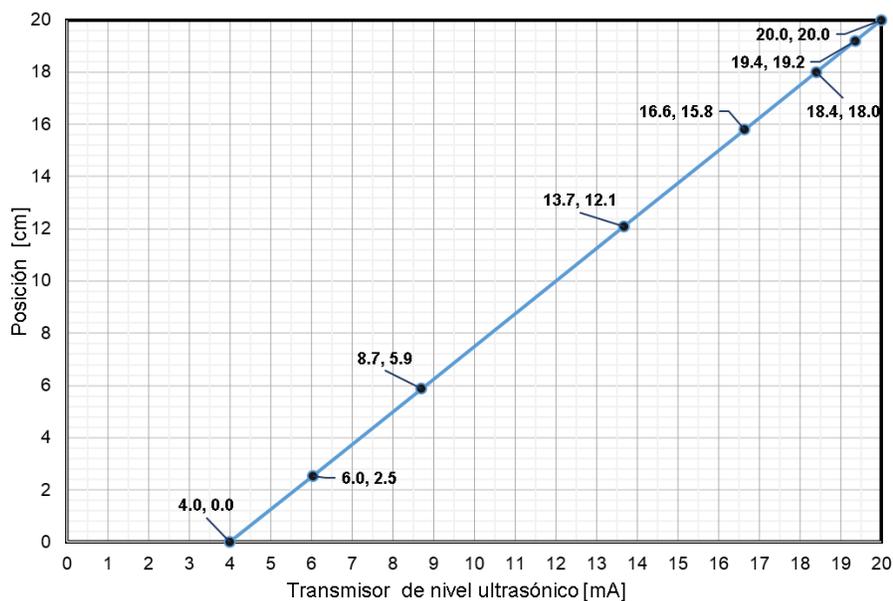


Figura 3.23 Gráfica de la respuesta ideal de la recta y escalamiento del transmisor de nivel ultrasónico.

En la figura 3.32 se muestran los comandos matemáticos para la obtención de la ecuación de la recta y el escalamiento para obtener el nivel en cm. Se aprecia que el transmisor ultrasónico se ubica como entrada analógica en el canal: Local:2I.Ch2Data.

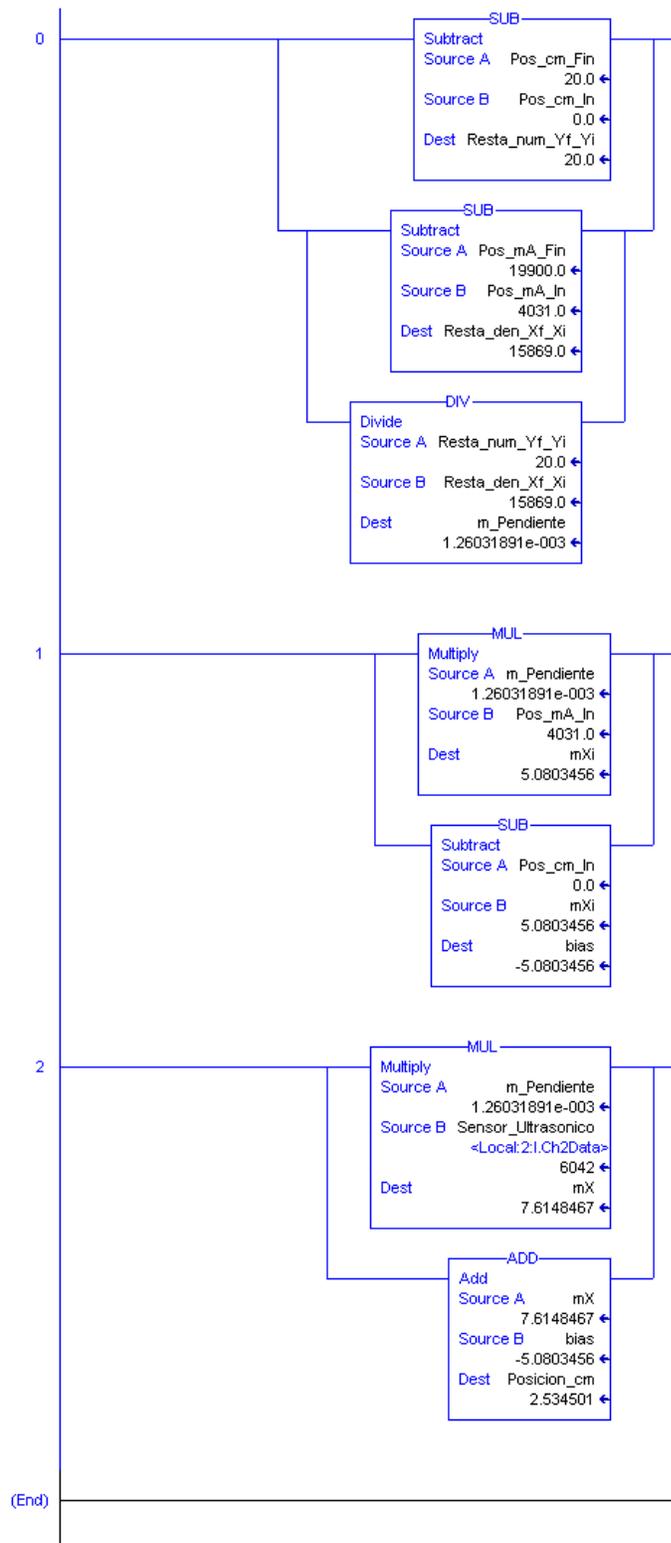


Figura 3.24 Programación de escalamiento del transmisor ultrasónico.

Escalamiento Transmisor de nivel por presión y offset

El escalamiento del Transmisor de nivel por presión se realizó con la ecuación 3.5 y la pendiente se obtuvo con la ecuación 3.6:

$$y = mx + b \quad (3.5)$$

$$m = \frac{y_f - y_i}{x_f - x_i} \quad (3.6)$$

Donde:

m= Pendiente.

y_f= Límite alto del nivel plg

y_i= Límite bajo del nivel plg

x_f= Límite alto del nivel mA

x_i= Límite bajo del nivel mA

Cálculo de bias o desviación:

$$b = y_i - mx_i \quad (3.7)$$

Donde:

b= Bias o desviación

y_i= Límite bajo del nivel plg

m= Pendiente

x_i= Límite bajo del nivel plg

Con los valores de los parámetros:

- y_f = 43.5 plg
- y_i = 0 plg
- x_f = 19.8 mA
- x_i = 4 mA
- m = 2.75 plg/mA

La gráfica de la recta y escalamiento del transmisor de nivel por presión se muestra en la figura 3.33. A 4 mA se empieza a medir en -7.5 plg que es una la medida de una manguera que sale del transmisor hasta la base del tanque superior, esto se conoce como offset y es una medida que excede la medida real, por lo que restando 7.5 plg a 43.5 plg se tienen 36 plg. , que es la medida total real medida en el tanque.

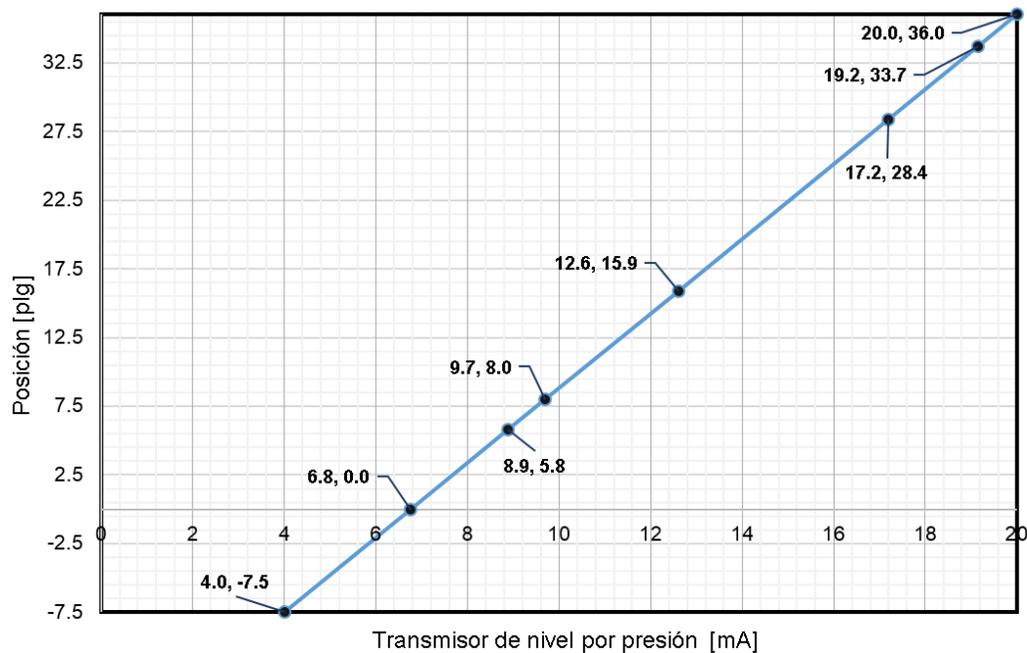


Figura 3.25 Gráfica de la ecuación de la recta y escalamiento de TN-P.

En la figura 3.34 se observa la programación del escalamiento de manera similar al transmisor ultrasónico, donde cambia al final restando el offset mencionado para obtener la medida real de nivel en el tanque.

3.3 Interfaz Humano-Máquina (HMI)

Como parte de la automatización del proceso se incluye una Interfaz Humano-Máquina (HMI), la cual permitirá de manera remota operar el sistema de una manera cómoda y práctica. La HMI tiene diferentes subrutinas de programación con diversas pantallas para el modo en que se requiera manejar, estas opciones son:

- Bienvenida
- Operación manual
- Transmisor ultrasónico de nivel
- Transmisor de nivel por presión

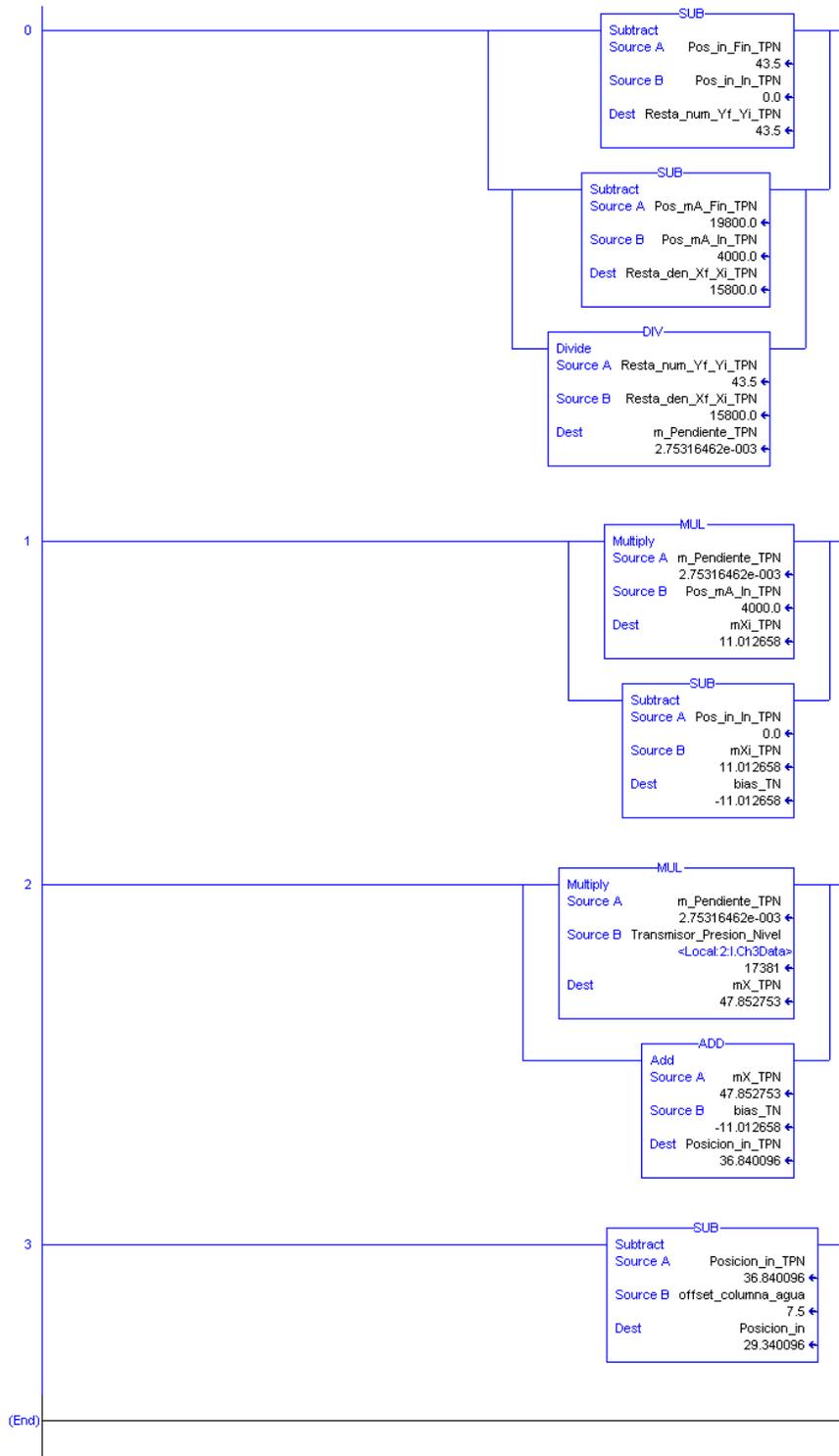


Figura 3.26 Escalamiento del transmisor de nivel con offset.

Pantalla Bienvenida

La primera pantalla que se tiene es la Bienvenida en esta se describe el objetivo de la interfaz (figura 3.35). En esta pantalla se tienen también los botones con opciones a ingresar en las otras pantallas, (cada una de las pantallas muestra las otras tres opciones). En esta pantalla y las restantes se agrega el botón de shutdown para salir de la HMI en la PC utilizada (ubicado en la parte inferior derecha).



Figura 3.27 Pantalla de bienvenida de HMI.

Pantalla Modo Manual

En esta pantalla (figura 3.36) se tiene el inicio y paro tanto de la bomba como de la válvula solenoide sin control alguno de ellas. Se agregó un tanque dinámico del tanque con su

proceso de llenado (color azul), del lado izquierdo se tienen las alarmas, para el caso del transmisor de nivel por presión se tienen las cuatro alarmas y para el caso del transmisor ultrasónico solo las dos últimas (alarma de nivel alto y alarma de nivel alto-alto) debido a la capacidad y la configuración que se realizó. También se aprecia la escala en plg o cm que se le dio al tanque, que para el caso del transmisor de nivel PD es de 0 plg a 36 plg y para el transmisor ultrasónico es de 0 cm a 20 cm (28.2 plg a 36 plg). La HMI cuenta con un display donde se muestra el nivel del tanque que se mide con el transmisor de nivel por presión (desde el fondo del tanque) y con el transmisor de nivel ultrasónico (en la parte superior del tanque).

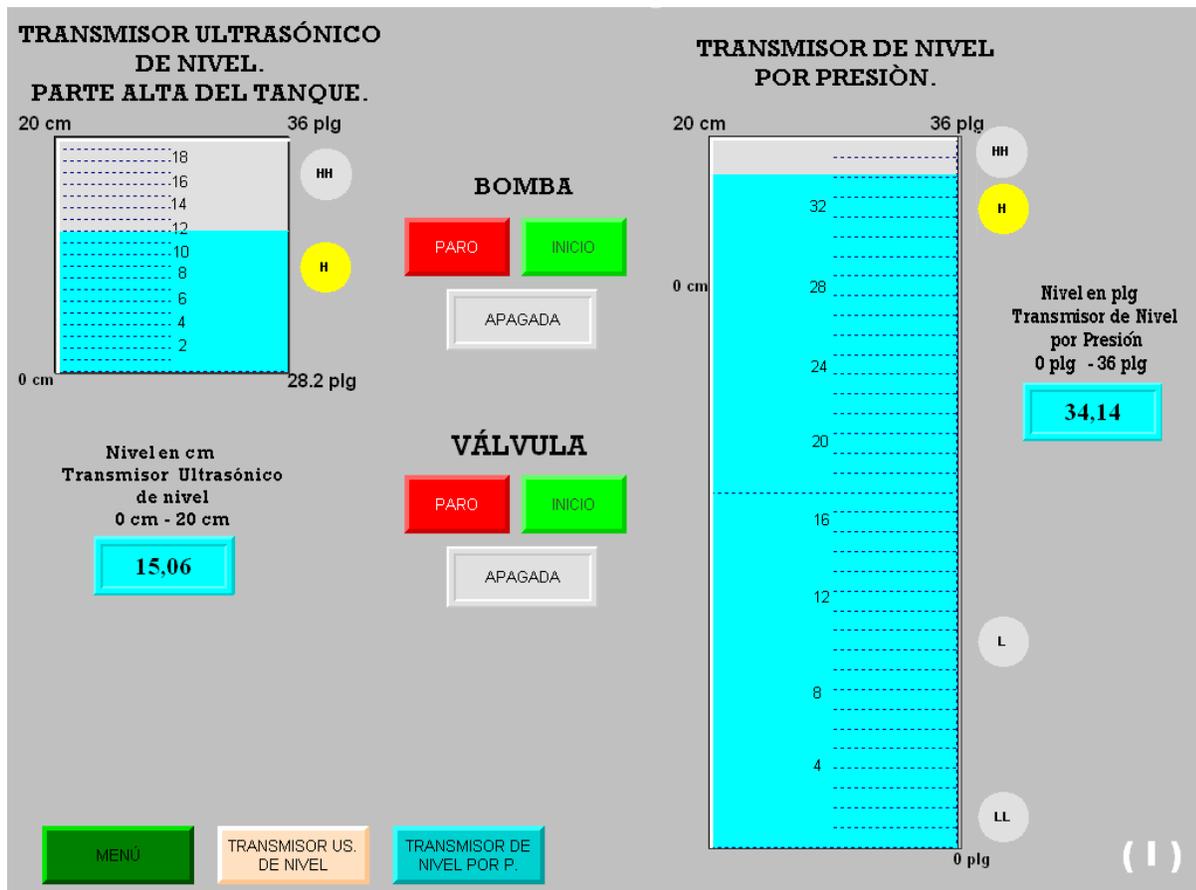


Figura 3.28 HMI para la operación en modo manual.

Pantalla Control-OFF con histéresis transmisor de nivel por presión

En esta pantalla se tiene la implementación del control ON-OFF para el transmisor de nivel por presión diferencial. Aquí se agrega el botón de encendido para el control (color verde), un botón para introducir el Setpoint y el display para mostrar el valor, un display que muestra el nivel del líquido, así como dos botones para la introducción del límite bajo y alto de la histéresis y su respectivo display. Se tiene también una gráfica donde se ve cómo opera el control y los elementos que lo integran. En la figura 3.37 se muestra la pantalla HMI con el control ON-OFF con histéresis apagado, una vez encendido el control la gráfica muestra las señales de SP (Setpoint), PV (variable de proceso, que corresponde a la medición continua del transmisor de nivel por presión), Bomba y válvula.

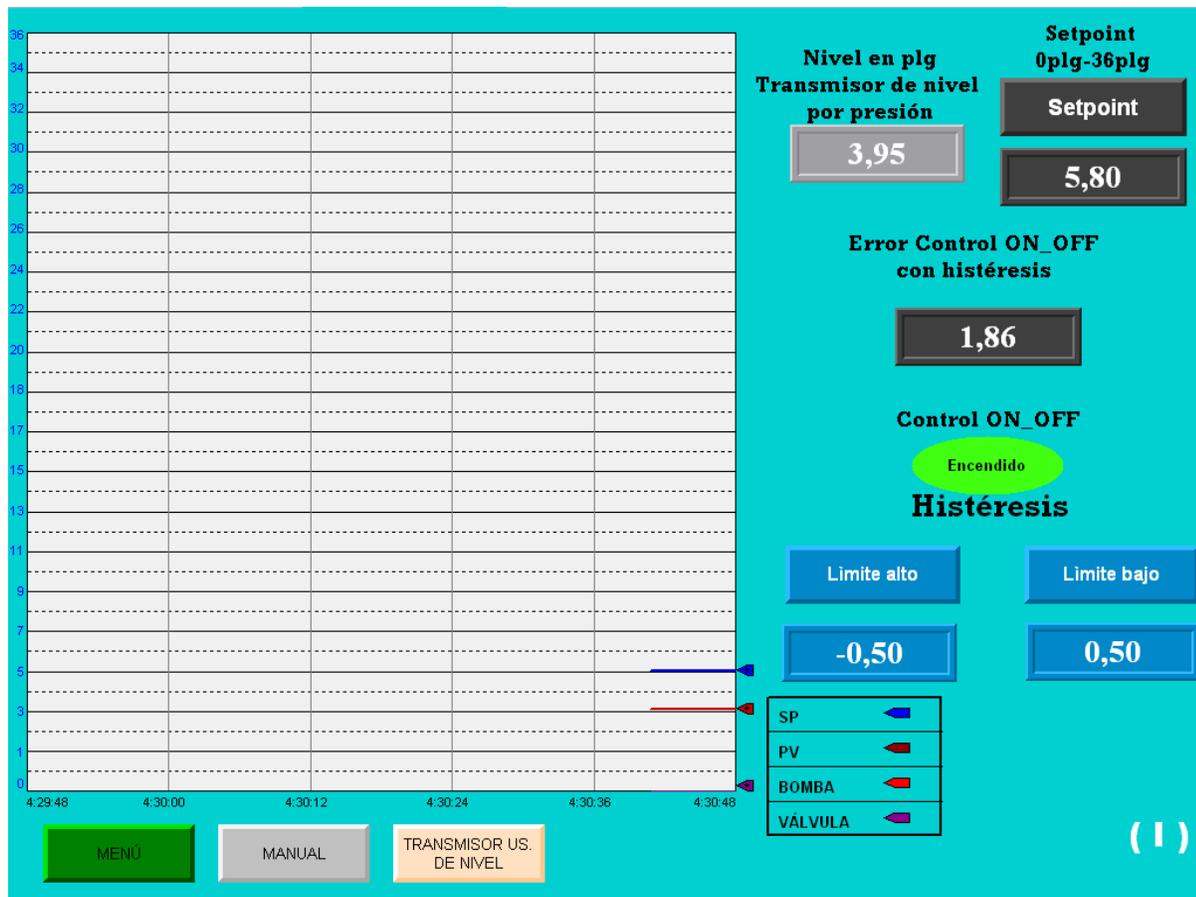


Figura 3.29 HMI del control ON-OFF/histéresis transmisor de nivel por presión.

Pantalla Control ON-OFF básico con el transmisor ultrasónico de nivel

En esta pantalla se muestra la operación del control ON-OFF básico sin histéresis, de igual manera que la pantalla anterior se tiene el encendido (botón color verde), el nivel mostrado, el Setpoint y la gráfica donde se observa como la variable del proceso del transmisor alcanza al Setpoint y se enciende la bomba y válvula. En la pantalla también se aprecia el control ON_OFF con histéresis, pero apagado en color rojo (figura 3.38).

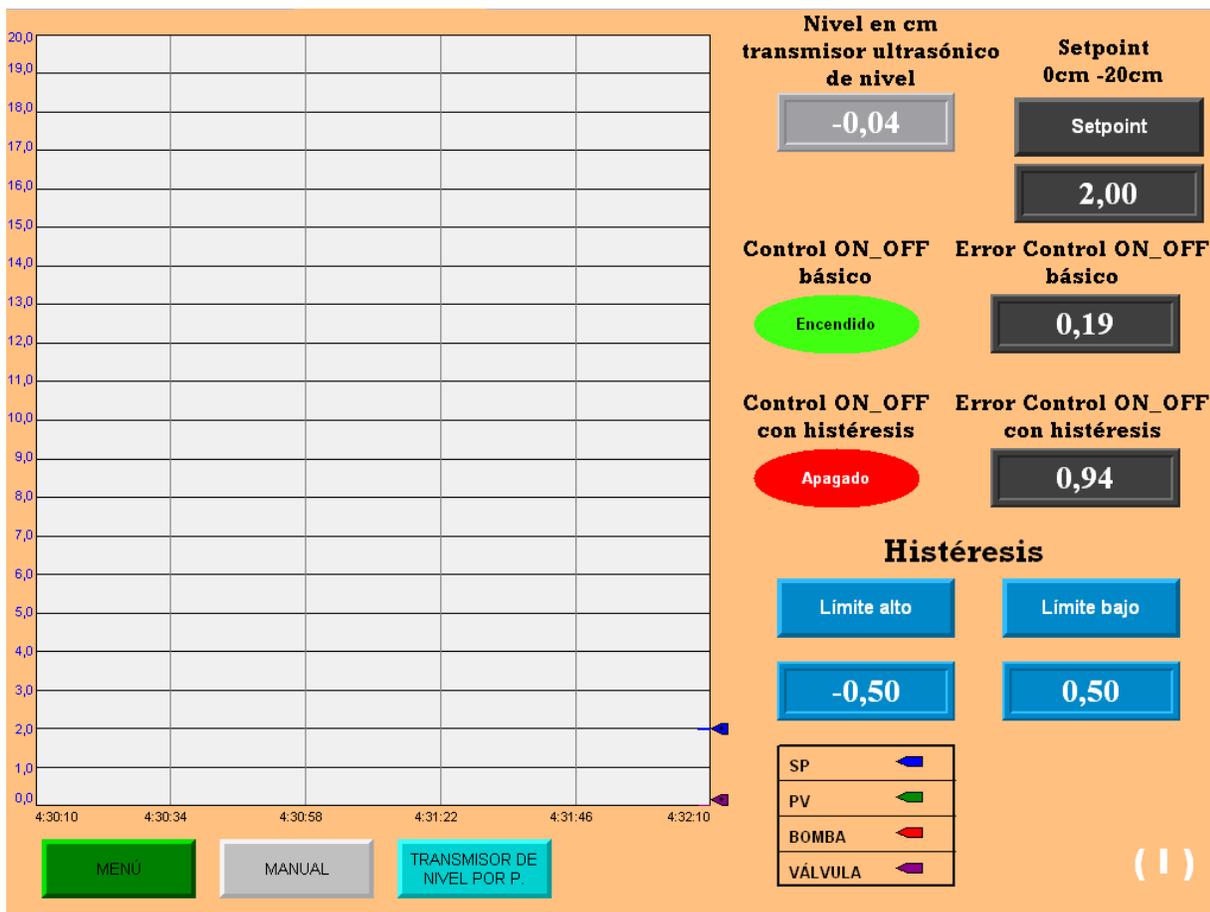


Figura 3.30 HMI del control ON-OFF básico del transmisor ultrasónico de nivel.

Pantalla Control ON-OFF con histéresis con el transmisor ultrasónico de nivel

Esta pantalla es la misma que la de control ON-OFF básico donde ahora se tiene éste apagado y al control ON_OFF con histéresis encendido. Aquí se tienen los límites alto y bajo y se aprecia como la variable de proceso no alcanza al Setpoint debido a la histéresis que tiene (figura 3.39).

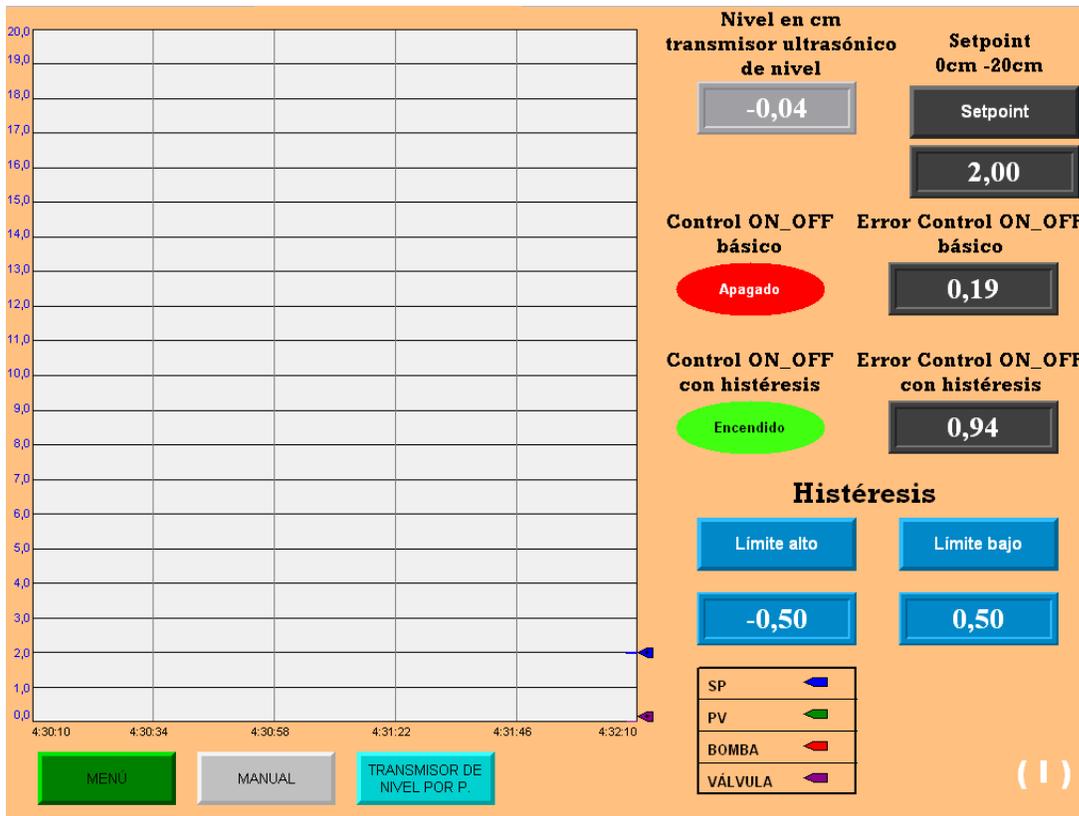


Figura 3.31 HMI del control ON-OFF/histéresis con el transmisor ultrasónico de nivel.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestran las pruebas y resultados obtenidos de la automatización del módulo didáctico de nivel la verificación de sus componentes y su funcionamiento, así como los costos del proyecto.

4.1 Verificación de los circuitos implementados

Se realizó la verificación de los circuitos implementados comprobando la continuidad en las diferentes conexiones de acuerdo con los diagramas del capítulo tres. También se midió la impedancia de la bomba y la válvula solenoide.

La impedancia de la válvula solenoide es de 25.7Ω como se muestra en la figura 4.1, de igual manera se verificó la bomba que tiene una impedancia de 68.2Ω por lo tanto se comprobó que tienen continuidad, así mismo se verificó el cableado en el tablero de control y el módulo de nivel mostrando continuidad en las conexiones correctas lo que indica que la parte eléctrica se encuentra en condiciones adecuadas para energizarse.



Figura 4.1 Verificación de continuidad en el módulo didáctico de nivel.

Una vez realizadas las pruebas de continuidad y verificando que las conexiones estén cableadas correctamente de acuerdo con los diagramas de conexión del capítulo 3 se energizó el sistema.

Detección de señales de interruptores, indicadores y transmisores

Energizado el módulo de nivel y el panel de control mediante los interruptores correspondientes se observó que se encendieron los leds del CPU en el PAC, así como la luz piloto en la botonera de E/S digitales y analógicas que indica que está energizado el tablero de control. En el módulo de nivel se energizan las alarmas según el nivel en el que se encuentre el tanque, si el tanque está vacío se encenderá la alarma de bajo-bajo (figura 4.2).

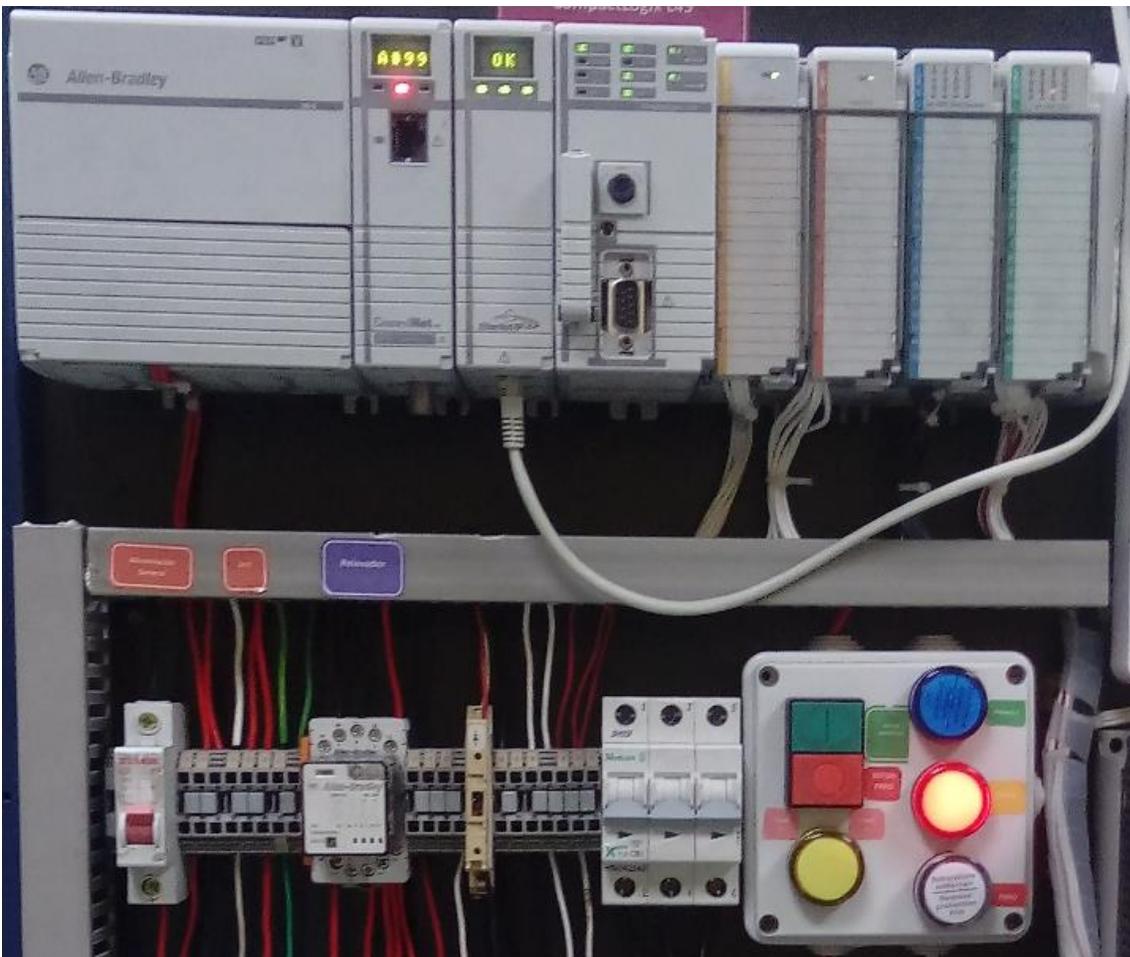


Figura 4.2 Panel de control energizado.

Una vez energizados el panel de control y el módulo de nivel se procedió a verificar la tensión eléctrica en los módulos de entradas y salidas analógicas y digitales alimentados a 24 VCD en el panel de control (figura 4.3). Se verificaron las tensiones eléctricas en el módulo de nivel, debido a que en éste se encuentra la etapa de potencia y se manejan diferentes tensiones.

- 12 VCD para la válvula solenoide cableados en el optoacoplador que proporciona la fuente montada en el módulo de nivel.
- 24 VCD para el interruptor flotador, botones de arranque/paro, alarmas, transmisores, accionamiento para el optoacoplador y relevador.
- 120 VCA para energizar la bomba sumergible a través del relevador.



Figura 4.3 Pruebas de alimentación de tensión eléctrica.

Para verificar las salidas y entradas digitales, así como las entradas analógicas se recurrió en primera instancia a los slots, ya que cuentan con leds indicadores que de acuerdo a la señal que se manda o se reciba se enciende, éste el caso de los módulos de entradas y salidas digitales. La figura 4.4 está mostrado que en el caso del slot de entradas digitales (DC INPUT) que está recibiendo una señal en el bit 9, esto es debido a que corresponde al botón de paro y éste es del tipo NC, el slot de salidas digitales (DC OUTPUT) muestra que manda a encender el bit 10 que corresponde a la alarma LL debido a la programación ya cargada en el PAC, que indica que el nivel del tanque está por debajo de 10 plg.



Figura 4.4 Slots con leds indicadores.

En el caso del slot de entradas analógicas que recibe las señales provenientes del transmisor de nivel por presión y el transmisor de nivel ultrasónico, sólo se enciende el led que indica “OK” lo cual confirma que ese slot se encuentra funcionando. Después se conectó el cable UTP a la computadora y se realizó la comunicación que permite a través del Control Tags verificar las entradas y salidas tanto analógicas como digitales, ya que se recibe o se mandan datos a través de la comunicación entre el PAC y la PC para verificar las señales a través del “Control Tags” del programa RSLogix5000 que se usó para programar el CompactLogix L-43 de la marca Allen Bradley, el Control Tags muestra los datos que puede manejar cada módulo del PAC (figura 4.5).

Scope: <input type="text" value="Control_Nivel"/> Show...		Show All			
Name	Value	Force Mask	Style	Data Type	
+ Local:1:C	{...}	{...}		AB:1769_DF4VI:C:0	
+ Local:1:I	{...}	{...}		AB:1769_DF4VI:I:0	
+ Local:1:O	{...}	{...}		AB:1769_DF4VI:O:0	
+ Local:2:C	{...}	{...}		AB:1769_IF4:C:0	
+ Local:2:I	{...}	{...}		AB:1769_IF4:I:0	
+ Local:3:C	{...}	{...}		AB:1769_IQ16F:C:0	
+ Local:3:I	{...}	{...}		AB:1769_DI16:I:0	
+ Local:4:C	{...}	{...}		AB:1769_DO16:C:0	
+ Local:4:I	{...}	{...}		AB:1769_DO16:I:0	
+ Local:4:O	{...}	{...}		AB:1769_DO16:O:0	

Figura 4.5 Control Tags del PAC.

Dentro de Control Tags se puede activar o recibir datos físicos de los elementos conectados a los diferentes slots, en el caso de las entradas y salidas digitales se reciben o se manda unos y ceros, y en las entradas analógicas se recibe una señal aproximada de 4000 a 20000. Este módulo proporciona una resolución de 32 bits con lo cual se realiza el escalamiento de 4 mA a 20 mA, de los transmisores, por lo que es importante mencionar que a partir de Control Tags no se lleva a cabo ningún tipo de programación sólo se envían o reciben datos que los slots transfieren o interpretan a señales de tensión o de corriente para así verificar que los dispositivos están bien cableados y se pueden controlar por el PAC.

En el control Tags se pudo mandar en Local 4:O, datos que accionan las señales de alarmas, así como también activar el relevador y el optoacoplador que al energizarse activan la bomba y válvula respectivamente, también se reciben las señales de los botones en el Local 3:I del interruptor flotador de nivel y los botones de arranque y paro de la botonera montada en el módulo de nivel además de las botoneras montadas en el panel de control. En el Local 2:I, se tienen los 4 canales de entradas analógicas de los cuales se reciben datos que envían los transmisores colocados en los canales 2 y 3 configurados a una corriente de 4 mA a 20 mA, tanto como las señales por parte de los potenciómetros colocados en los canales 0 y 1 que simulan señales en el tablero de

control configurados para mandar una tensión de 0 VCD a 10 VCD, esto se muestra en la figura 4.6.

Scope: Control_Nivel		Shgw...	Show All			
Name	Value	Force Mask	Style	Data Type		
+ Local:1:C	{...}	{...}				AB:1769_OF4VI:C:0
+ Local:1:I	{...}	{...}				AB:1769_OF4VI:I:0
+ Local:1:O	{...}	{...}				AB:1769_OF4VI:O:0
+ Local:2:C	{...}	{...}				AB:1769_IF4:C:0
- Local:2:I	{...}	{...}				AB:1769_IF4:I:0
+ Local:2:I.Fault	2#0000_000...		Binary	DINT		
+ Local:2:I.Ch0Data	6086		Decimal	INT		
+ Local:2:I.Ch1Data	5196		Decimal	INT		
+ Local:2:I.Ch2Data	4129		Decimal	INT		
+ Local:2:I.Ch3Data	17035		Decimal	INT		
+ Local:2:I.Status	2#0000_000...	.	Binary	INT		
- Local:2:I.Ch0Status	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch1Status	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch2Status	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch3Status	0		Decimal	BOOL		
+ Local:2:I.RangeFlag	2#0000_000...		Binary	INT		
- Local:2:I.Ch3OverRange	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch3UnderRange	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch2OverRange	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch2UnderRange	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch1OverRange	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch1UnderRange	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch0OverRange	0		Decimal	BOOL		
- Local:2:I.Ch0UnderRange	0		Decimal	BOOL		
+ Local:3:C	{...}	{...}				AB:1769_IQ16F:C:0
+ Local:3:I	{...}	{...}				AB:1769_DI16:I:0
+ Local:4:C	{...}	{...}				AB:1769_DO16:C:0
+ Local:4:I	{...}	{...}				AB:1769_DO16:I:0
+ Local:4:O	{...}	{...}				AB:1769_DO16:O:0

Figura 4.6 Datos de control Tags.

Una vez que se tiene comunicación y verificado que los datos obtenidos y enviados son correctos entre la PC y el PAC se comenzaron a realizar las pruebas de la programación y HMI. Al enviar las señales desde los controles Tags se verificaron las señales en el optoacoplador y en el relevador que permiten controlar la válvula solenoide y la bomba respectivamente con diferentes tensiones.

La bobina del relevador se energiza a una tensión eléctrica de 24 VCD mediante una señal de activación que proveerá el PAC, al energizar la bobina del relevador ocasiona que sus contactos cambien de estado energizando la bomba a 120 VCA como se muestra en la figura 4.7. En ésta se observa la respuesta de las señales de VCA (línea-azul) y VCD (línea-amarilla) comprobando que la etapa de potencia funciona correctamente con

la señal que manda el PAC para controlar la bomba, se hace la misma prueba pero ahora con la válvula solenoide ya que se acciona a 12 VCD.

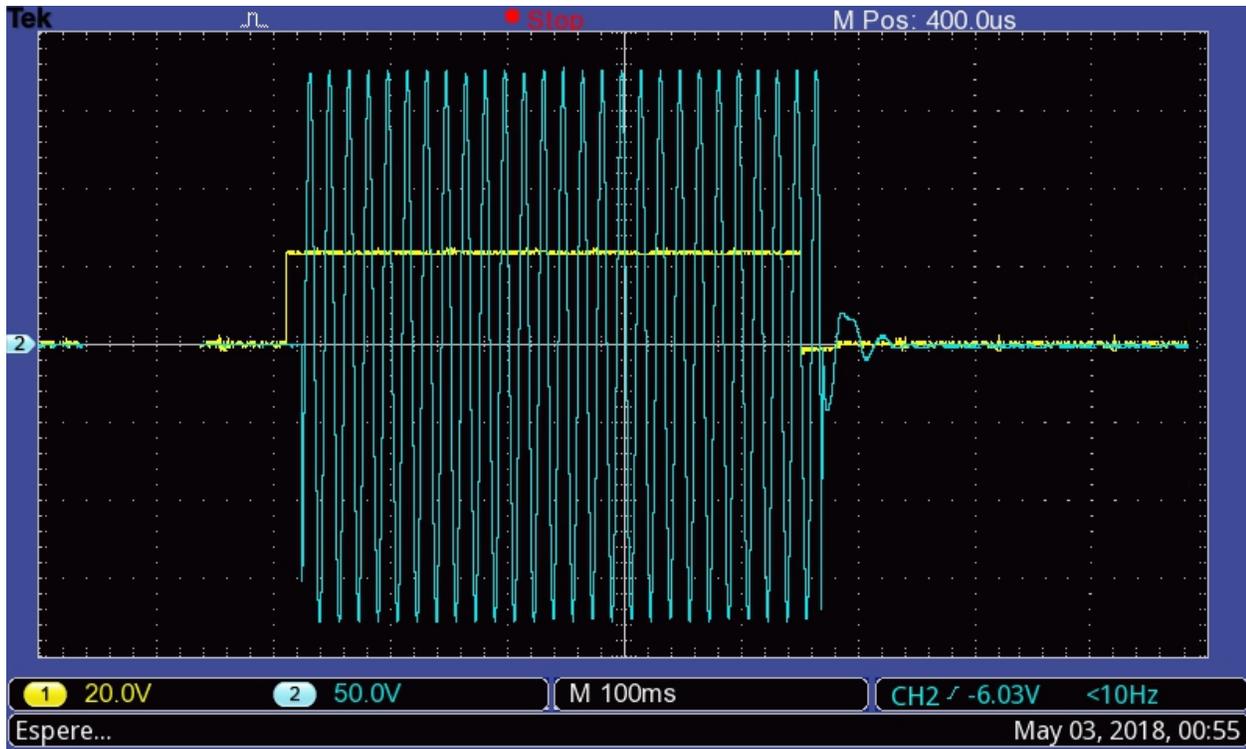


Figura 4.7 Señal 120 VCA y 24 VCD

4.2 Operación manual

En la operación manual se tiene una HMI que muestra el nivel en el tanque medido por el transmisor de nivel por presión y el transmisor ultrasónico de nivel ubicado en la parte superior del tanque, así como los botones de arranque y paro tanto para la bomba sumergible como la válvula solenoide.

Se energizó la bomba por medio de el botón de arranque desde la HMI en la parte baja tiene un indicador para mostrar en qué estado se encuentra la bomba sumergible, de igual manera sucede para la válvula solenoide (figura 4.8).

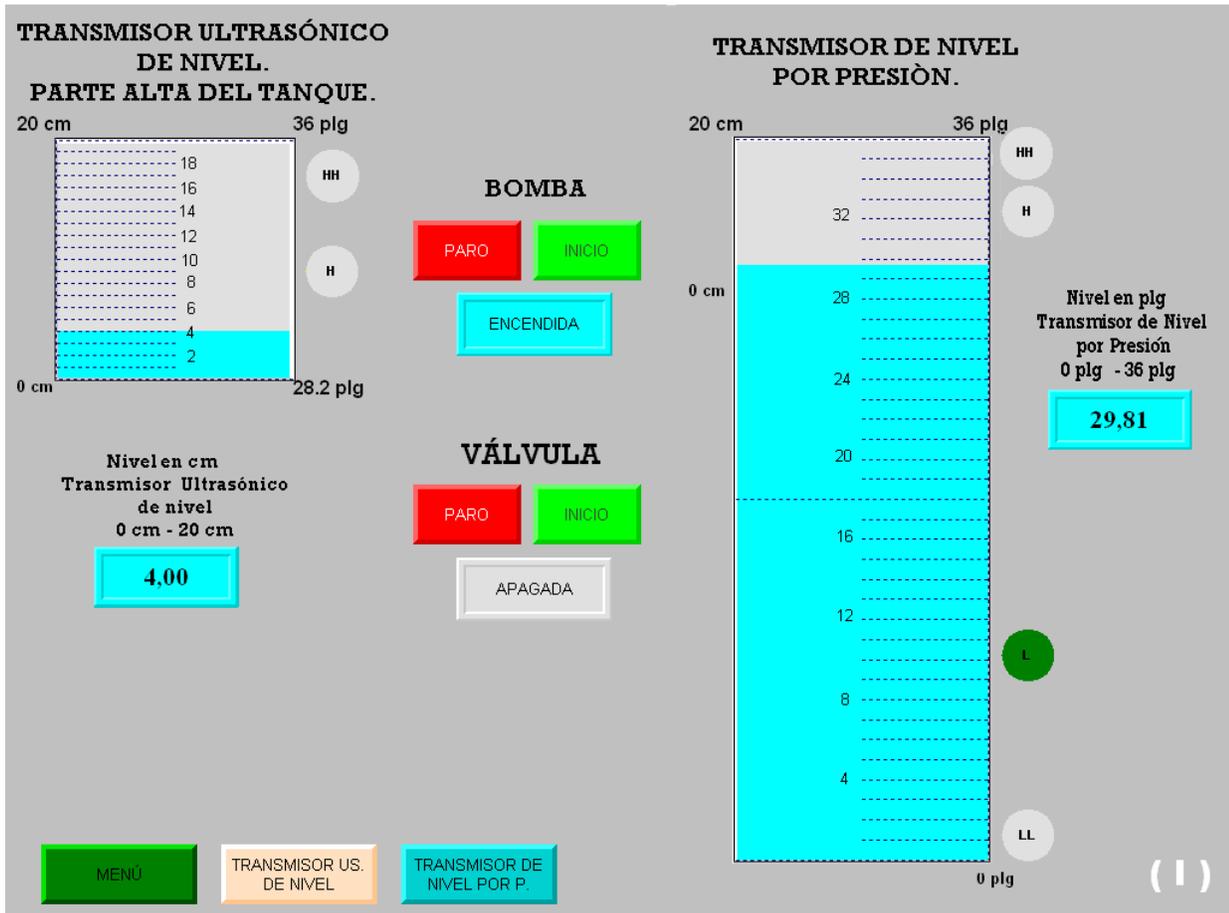


Figura 4.8 HMI en modo manual.

Se observó cómo incrementaba el nivel en el tanque de la HMI, en transmisor ultrasónico de nivel comenzó a tener una indicación una vez que el espejo de agua alcanzó aproximadamente 28.3 plg del transmisor de nivel por presión, ya que en este nivel son aproximadamente los 30 cm desde la parte superior del tanque hacia abajo, que es el máximo alcance del sensor ultrasónico.

De igual manera se encendieron las Alarmas correspondientes del tanque en los puntos indicados en la HMI, así como los indicadores contenidos en la caja eléctrica montada del módulo de nivel (figura 4.9).



Figura 4.9 Botonera de alarmas del módulo de nivel.

De la misma forma se comprobaron satisfactoriamente los botones de arranque y paro en las botoneras tanto del panel de control para la válvula solenoide como en la botonera montada en el módulo para la bomba sumergible. También se comprobó que aunque se encienda la bomba sin control alguno una vez alcanzado el nivel máximo, que son 36 plg (20 cm) para el transmisor de nivel por presión y 20 cm (36 plg) para el transmisor ultrasónico de nivel el programa manda el paro de emergencia programado.

4.3 Operación de control ON-OFF

En esta etapa se verificó que el control implementado ON-OFF funcione de manera adecuada, también se observó la respuesta del transmisor ultrasónico de nivel y del transmisor nivel por presión en una gráfica. Como se describió en el capítulo 3, se implementaron 2 pantallas HMI para realizar el control ON-OFF.

4.3.1 Control ON-OFF básico con el LT ultrasónico

Para el control ON-OFF básico con el transmisor ultrasónico de nivel se usaron diversos Setpoint o referencias, que al encender el control en la HMI arranca la bomba o enciende la válvula dependiendo de donde se encuentre el espejo de agua en el tanque, por lo que el nivel de agua sube o baja acercándose al Setpoint deseado. En la gráfica de la HMI se observa como el sensor ultrasónico de nivel hace la medición de esta variable y ésta va subiendo (línea verde) por acción de la bomba al llenar el tanque. En la HMI se muestra cuando está encendida la bomba en la parte inferior (línea roja), el nivel sube hasta el Setpoint ingresado que para este caso son 12 cm y una vez alcanzado el Setpoint entra el control que apaga la bomba sumergible y enciende la válvula solenoide ya que el nivel sobrepasa la referencia. Debido al efecto sifón que existe en el tanque, hace que el nivel del agua baje muy rápido lo que deja el nivel demasiado bajo con respecto al Setpoint que se desea alcanzar y para volver a llegar a la referencia energiza la bomba nuevamente y así repetidas ocasiones lo que hace que el nivel oscile alrededor del Setpoint (figura 4.10).

En la respuesta del transmisor vemos que se va dando una respuesta lineal exacta y satisfactoria, con el Setpoint que va desde 0 cm hasta 20 cm y una corriente 4.1 mA a 19.9 mA. Estos resultados se fueron comprobando con datos de los Tags del programa para el Setpoint a determinada altura.

La corriente eléctrica se comprobó con el Tag del transmisor ultrasónico de nivel y con el multímetro conectado en serie entre la señal analógica de salida del transmisor ultrasónico de nivel y la señal de entrada analógica del PAC. Para medir tensión eléctrica se conectó una resistencia de 250 Ω en serie entre la señal analógica de salida del transmisor ultrasónico de nivel y la señal de entrada del PAC, en paralelo a la resistencia se midió con el multímetro se midió una tensión entre 1 VCD hasta 5 VCD (figura 4.11 y tabla 4.1).

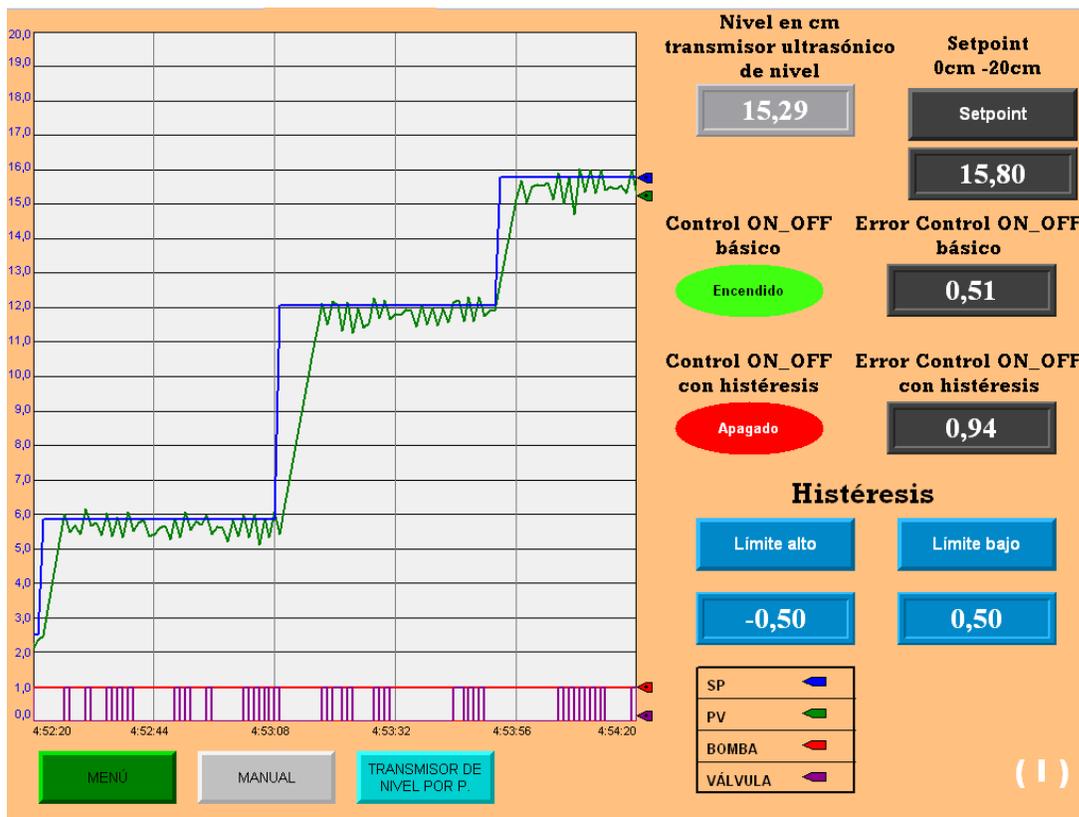


Figura 4.10 HMI de control ON-OFF básico para transmisor ultrasónico de nivel.

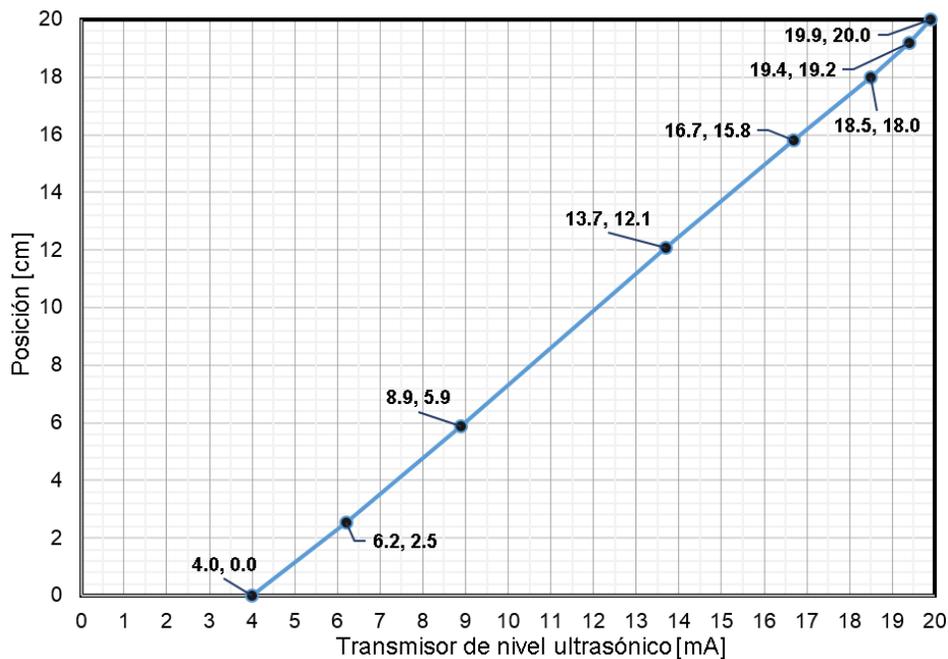


Figura 4.11 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF básico.

Tabla 4.1 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF básico.

Set-Point [cm]	Histéresis [cm]		Tensión [VCD]	Corriente [mA]
	Limite Alto	Límite bajo		
0	0	0	1.05	4.1
2.54	0	0	1.54	6.2
5.87	0	0	2.11	8.9
12.08	0	0	3.40	13.7
15.80	0	0	4.09	16.7
18.00	0	0	4.52	18.5
19.20	0	0	4.78	19.4
20	0	0	4.98	19.9

4.3.2 Control ON-OFF con histéresis con el LT ultrasónico.

Para el caso del control ON-OFF con histéresis en la pantalla de la HMI se tiene un Setpoint de 5.00 cm, se observa que dado al límite bajo de 0.50 cm la variable de proceso del transmisor no alcanza a llegar al Setpoint, y dado el efecto sifón sube y baja, al igual que se observa que la bomba sumergible enciende y apaga por el mismo efecto, pero se comprueba que el control, opera de forma correcta (figura 4.12).

En la respuesta del transmisor con histéresis se observa una respuesta lineal pero no tan exacta como con en el control ON-OFF básico, pero si con la linealidad suficiente. De igual manera, los valores se tomaron de los indicadores de lectura del programa para diferentes valores de Setpoint que van de 0 cm a 20 cm para la corriente se usó el Control Tag del transmisor de nivel por presión y el multímetro conectado en serie en una las terminales del transmisor de nivel por presión, para medir tensión eléctrica se conectó un potenciómetro ajustado a 250 Ω en serie con el transmisor de nivel por presión y en paralelo a la resistencia se realizó la medición con el voltmetro de 1 VCD a 5 VCD (figura 4.13 y tabla 4.2).

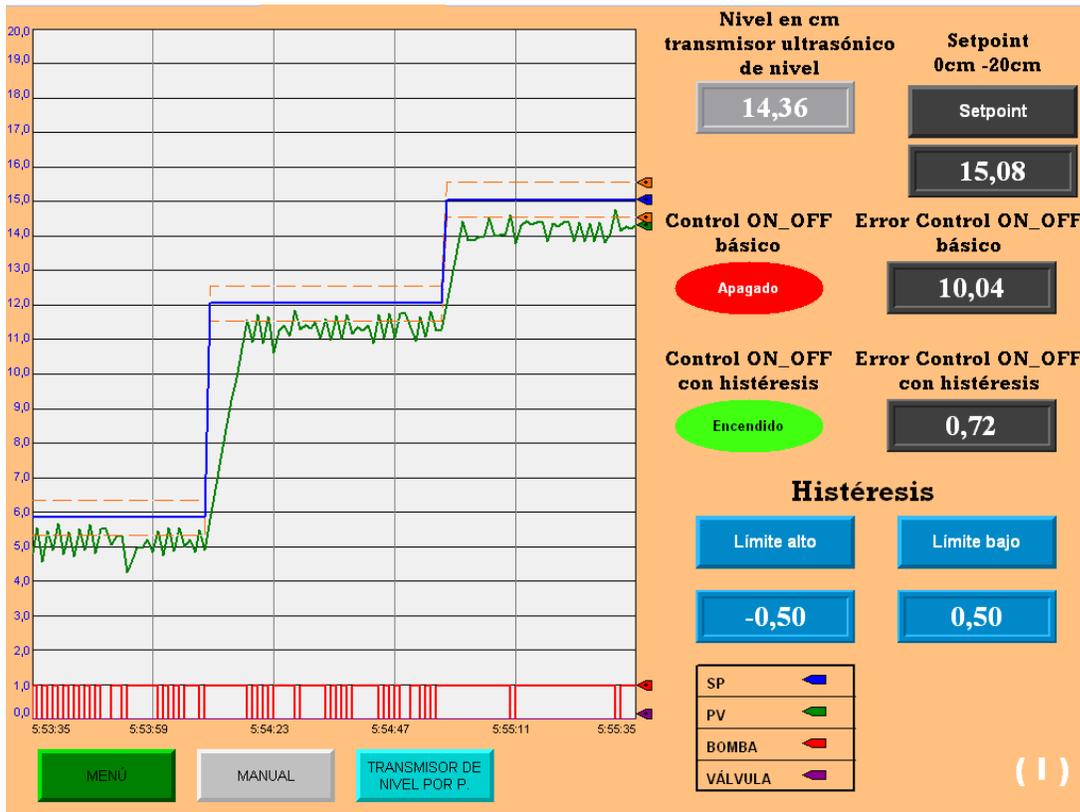


Figura 4.12 HMI de control ON-OFF/histéresis para transmisor ultrasónico de nivel.

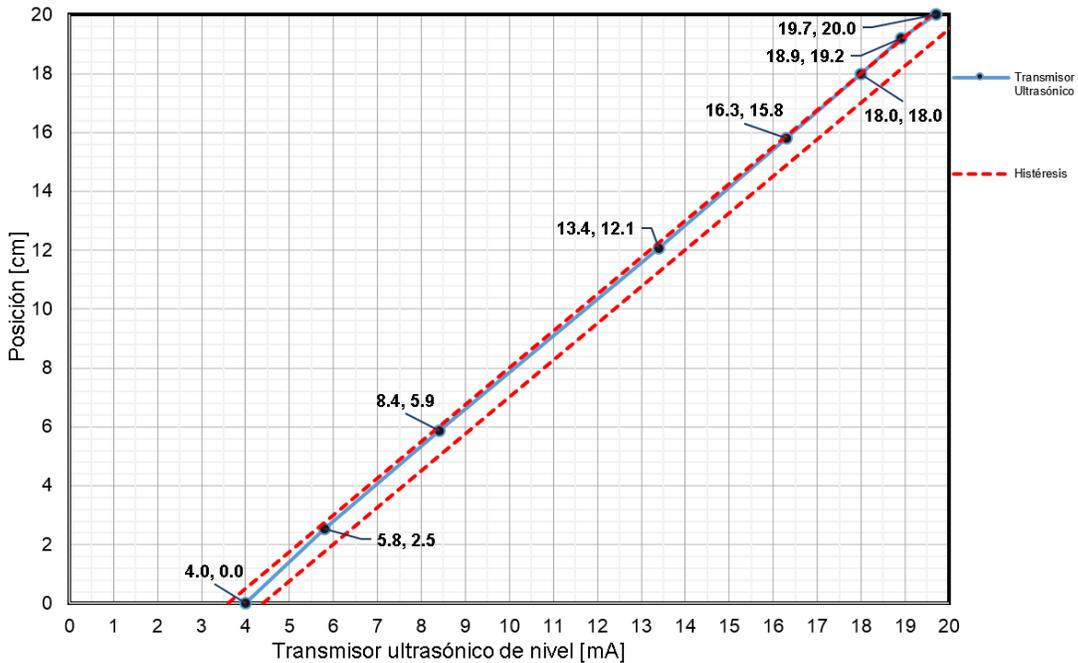


Figura 4.13 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF/histéresis.

Tabla 4.2 Respuesta del transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF/histéresis.

Set-Point [cm]	Histéresis [cm]		Tensión [VCD]	Corriente [mA]
	Límite Alto	Límite bajo		
0	-0.5	0.5	0.98	4.1
2.54	-0.5	0.5	1.45	5.8
5.87	-0.5	0.5	1.97	8.4
12.08	-0.5	0.5	3.28	13.4
15.80	-0.5	0.5	4.25	16.3
18.00	-0.5	0.5	4.47	18.0
19.20	-0.5	0.5	4.69	18.9
20	-0.5	0.5	4.88	19.6

4.3.3 Control ON-OFF con histéresis con el LT por presión.

En el caso del control ON-OFF con histéresis para el transmisor de nivel por presión se obtiene una buena respuesta del control, donde en la pantalla HMI se observa como la variable del transmisor de nivel por presión va subiendo hasta alcanzar al Setpoint que en este caso es de 33.75 plg (14.23 cm) pero que por la histéresis dada en el límite bajo de 0.50 plg (1.28 cm) no alcanza el Setpoint, y enciende y apaga por el efecto sifón que se tiene. De igual manera se aprecia como enciende y apaga la bomba sumergible al igual que la válvula solenoide (figura 4.14). Para la respuesta del transmisor se observa una linealidad no tan exacta pero satisfactoria con valores de SetPoint que van de 0 plg a 36 plg y con valores en corriente de 6.67 mA a 19.9 mA. De igual manera, los valores de Setpoint son tomados de los indicadores de nivel de la HMI, la corriente del Control Tag del transmisor, con multímetro en serie la corriente y con un voltmetro la tensión eléctrica (figura 4.15 y tabla 4.3).

Con la ayuda de un osciloscopio se muestra el accionamiento del control cuando entra la señal de 24 VCD proveniente del PAC, donde se observa como al entrar la señal se activa la válvula solenoide de 12 VCD (figura 4.16) y después esta se desactiva, teniéndose un fenómeno de inductancia y presencia de ruido (figura 4.17).

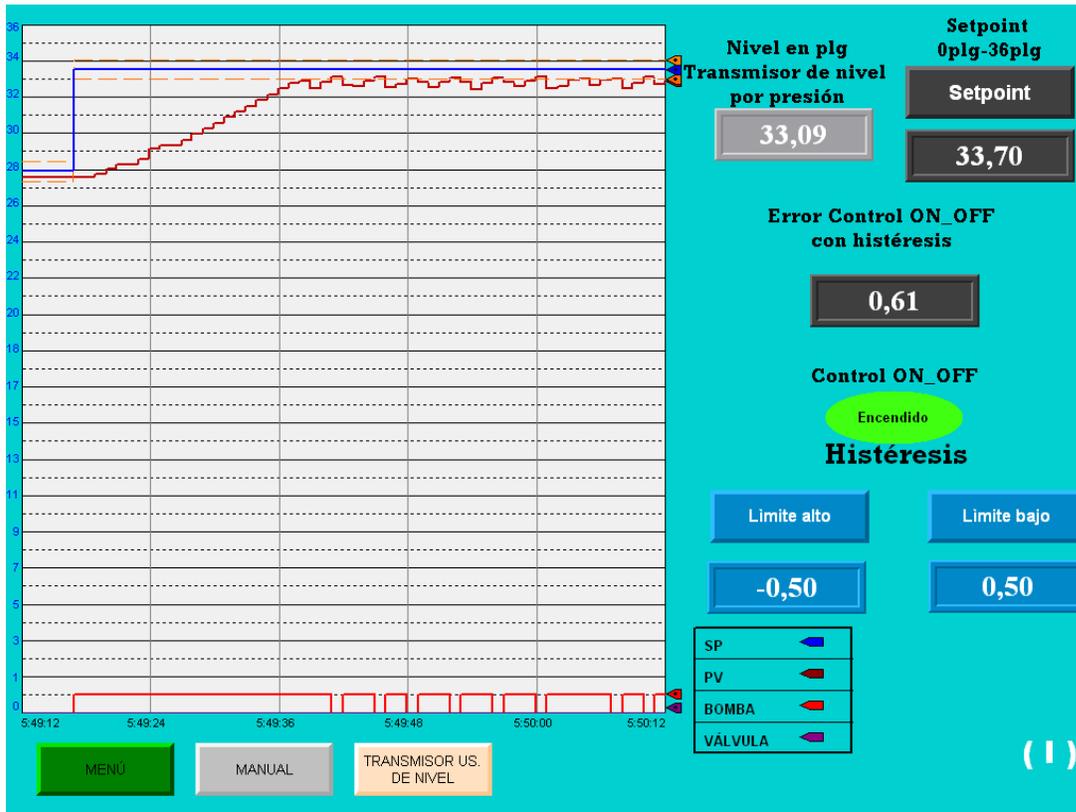


Figura 4.14 HMI de control ON-OFF/histéresis de transmisor de nivel por presión.

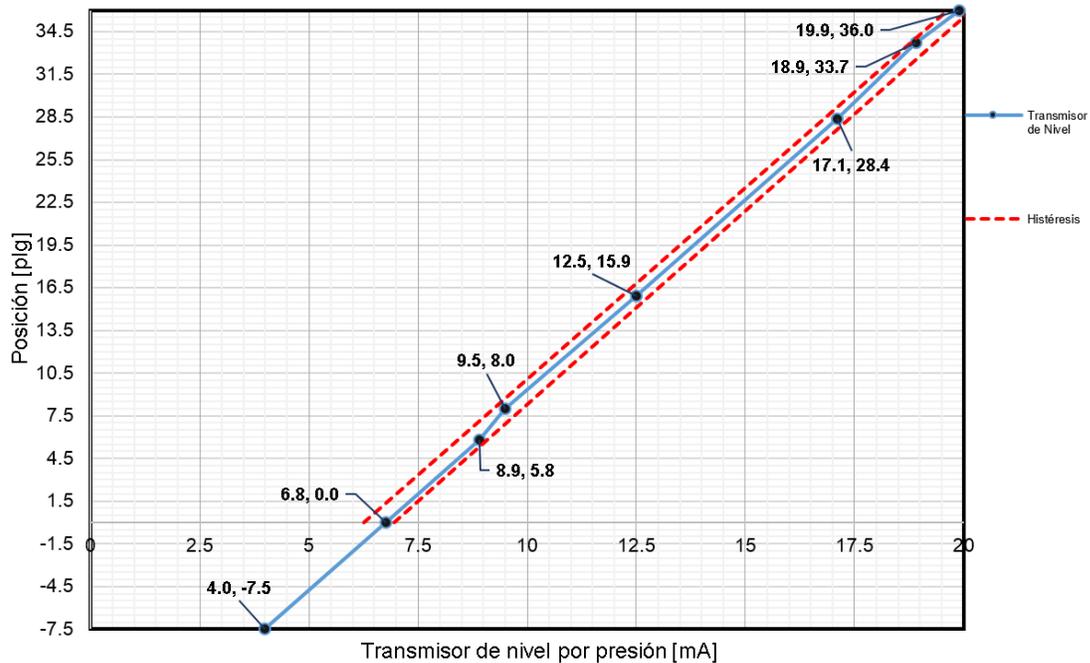


Figura 4.15 Respuesta del transmisor de nivel por presión con control ON-OFF/histéresis.

Tabla 4.3 Respuesta del transmisor de nivel por presión con control ON-OFF/histéresis.

Set-Point [plg]	Histéresis [plg]		Tensión [VCD]	Corriente [mA]
	Límite Alto	Límite bajo		
0	-0.5	0.5	1.70	6.67
5.8	-0.5	0.5	2.16	8.9
8	-0.5	0.5	2.32	9.5
15.9	-0.5	0.5	3.03	12.5
28.37	-0.5	0.5	4.15	17.1
33.7	-0.5	0.5	4.56	18.9
36	-0.5	0.5	4.98	19.9

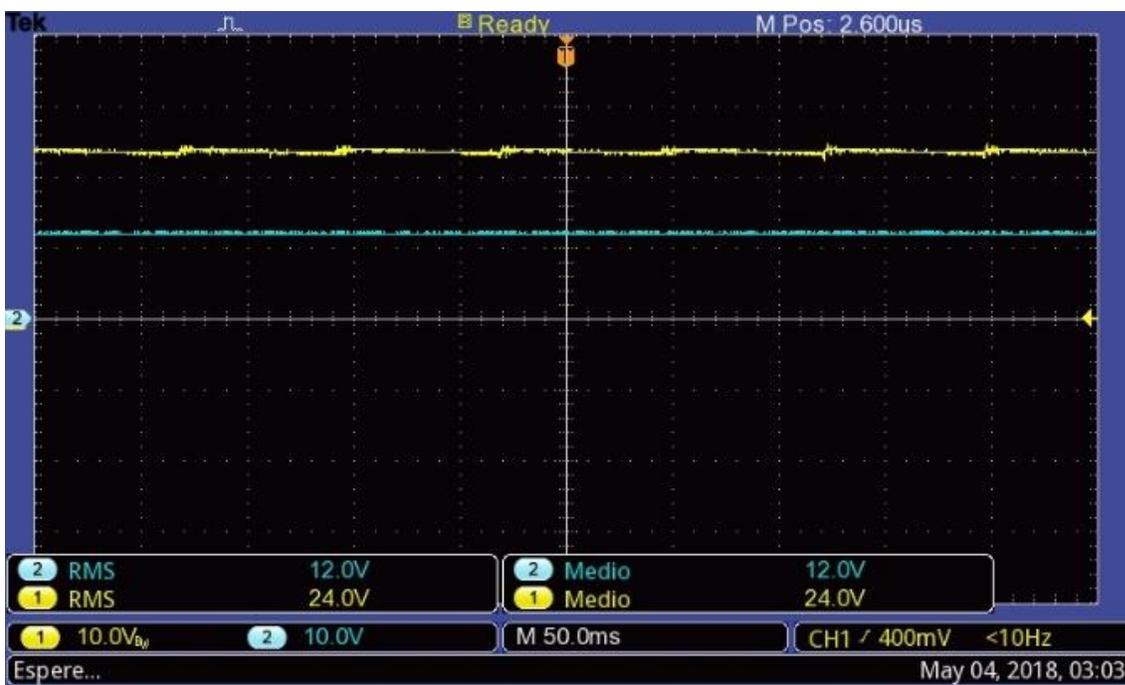


Figura 4.16 Accionamiento de válvula solenoide.

Para el caso de la bomba sumergible se aprecia claramente como al entrar la señal de 24 VCD proveniente del PAC se activa la señal de la bomba de 120 VCA y se observa como enciende y apaga la bomba por el efecto sifón (figura 4.18).

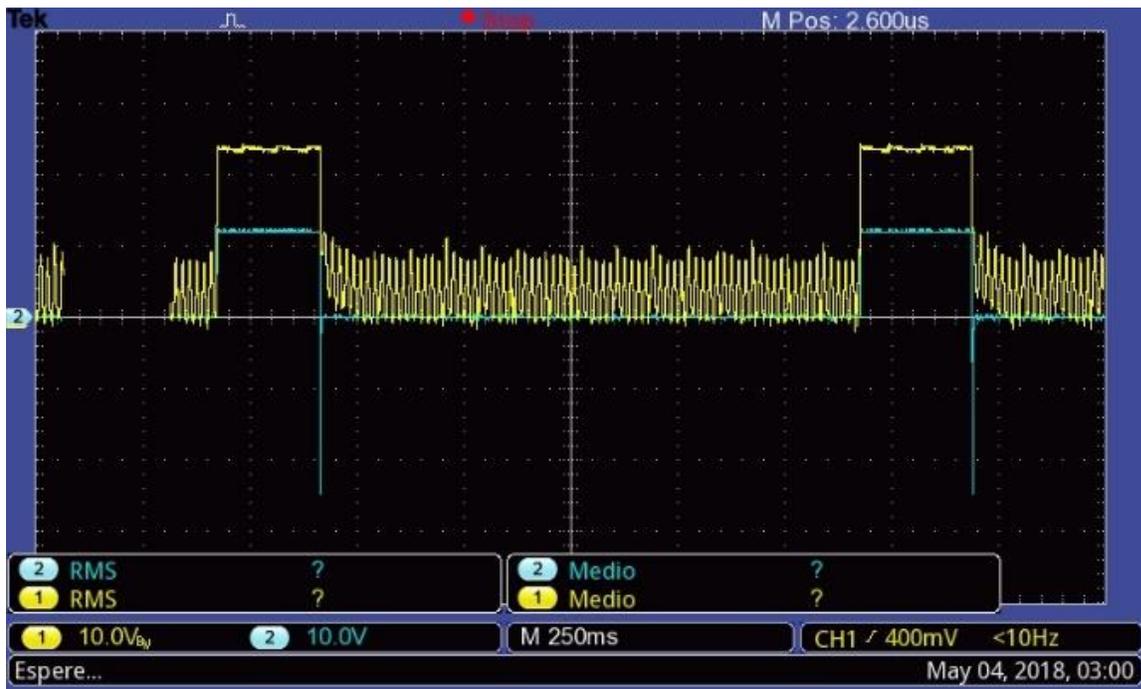


Figura 4.17 Activación y desactivación de válvula solenoide.

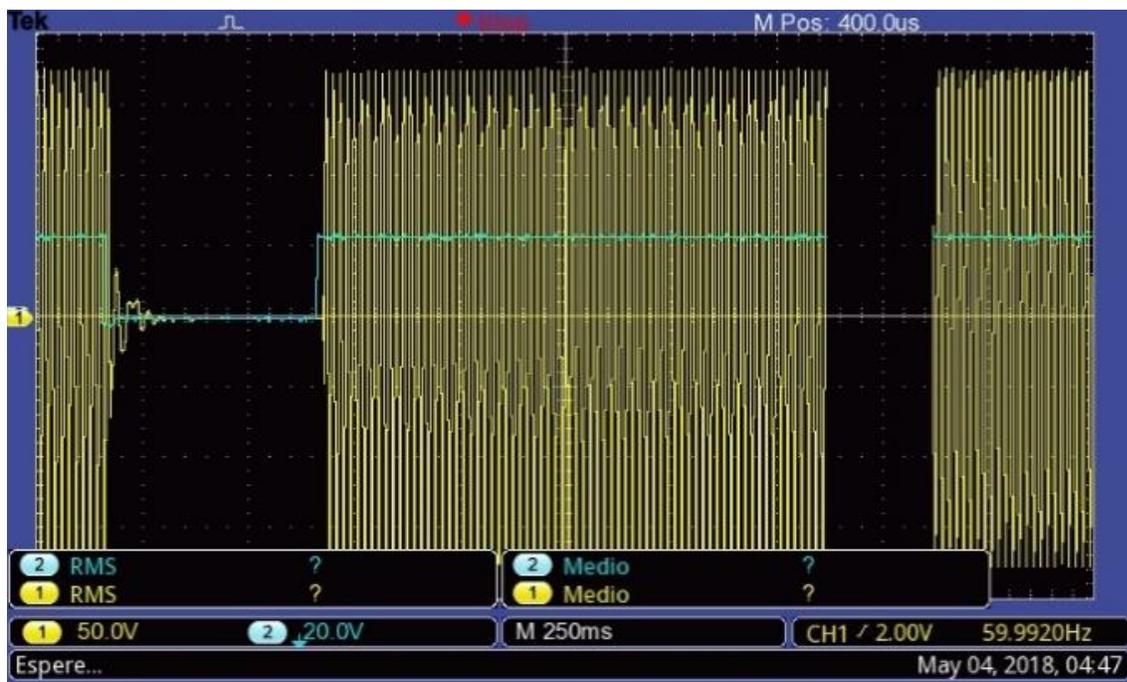


Figura 4.18 Activación y desactivación de bomba sumergible

4.4 Costos del proyecto

A continuación, se muestra el desglose de los costos propios de la automatización del módulo de control de nivel y del tablero de control. Estos corresponden a costos directos ya que son totalmente necesarios para la fabricación del módulo.

Tabla 4.4 Costos de los materiales del tablero de control.

No.	Elemento	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1	CompactLogix 1768-L43	pza.	1	\$79,048.00	\$79,048.00
2	Fuente de alimentación a 24 VCD, 1768-PA3	pza.	1	\$10,719.50	\$10,719.50
3	Módulo EtherNet, 1768-ENBT	pza.	1	\$26,373.38	\$26,373.38
4	Módulo de 4 Entradas analógicas, 1769-IF4	pza.	1	\$11,081.08	\$11,081.08
5	Módulo de 16 entradas digitales, 1769-IQ16F	pza.	1	\$8,552.56	\$8,552.56
6	Módulo de 16 salidas digitales, 1769-OV16	pza.	1	\$6,678.42	\$6,678.42
7	Clemas para riel DIN, 1492-LMJ3	pza.	35	\$25.73	\$900.55
8	Clemas con fusible para riel DIN, 1492-H	pza.	1	\$81.68	\$81.68
9	Clemas de dos vías para riel DIN, 1492-WD4	pza.	3	\$138.25	\$414.75
10	Clema 2 vías/fusible riel DIN,1492-JD3FB	pza.	2	\$241.56	\$483.12
11	Riel DIN,199-DR1	m	1	\$171.67	\$171.67
12	Puente para clema, 1492-CJL15-10	paq.	1	\$134.00	\$134.00
13	Interruptor termomagnético STECK SD1	pza.	1	\$142.32	\$142.32
14	Relevador 120 VCA y base de relevador	pza.	1	\$440.95	\$440.95
15	Caja de termoplástico 113 mm x 113 mm x 57 mm	pza.	1	\$98.50	\$98.50
16	Caja de termoplástico 120 mm x 162 mm x 73 mm	pza.	1	\$131.60	\$131.60
17	Pulsador doble (Rojo-Verde), XB4BL845	pza.	1	\$246.70	\$246.70
18	Foco indicador 110 VCA (Azul-Rojo), SLDS110	pza.	2	\$45.00	\$90.00
19	Foco indicador 24 VCD, AD16-16	pza.	8	\$27.00	\$216.00
20	Pulsador NA eléctricos 10 mm x 10 mm	pza.	8	\$26.80	\$214.40
21	Mini Voltmetro digital 0 VCD - 30 VCD	pza.	1	\$139.00	\$139.00
22	Potenciómetro 10 kΩ	pza.	2	\$13.00	\$26.00
23	Selector 3 posiciones	pza.	1	\$256.50	\$256.50
24	Arnés de conexión 12 pin	pza.	1	\$87.50	\$87.50
25	PCT 212	pza.	1	\$6.50	\$6.50
26	Canaleta de plástico 40 mm x 60 mm x 60 mm	m	3	\$130.00	\$390.00
27	Tabla 540 mm x 950 mm	pza.	1	\$138.00	\$138.00
28	Base metálica para tablero	pza.	1	\$6,589.00	\$6,589.00
29	Fuente de alimentación a 24VCD, M56PA-L	pza.	1	\$813.60	\$813.60
30	Cable DWG 18	caja	1	\$899.00	\$899.00
31	Cable DWG 20	caja	1	\$899.00	\$899.00
				Subtotal	\$155,564.28
				IVA (16%)	\$24,890.28
				TOTAL	\$180,454.56

Tabla 4.5 Costos de los materiales del módulo didáctico de nivel

No.	Elemento	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1	Tubo PVC 160 mm (6")	m	1.2	\$74.50	\$89.40
2	Tubo PVC 1/2"	m	3	\$30.50	\$91.50
3	Codos PVC 1/2"	pza.	3	\$6.50	\$19.50
4	Tuerca unión PVC lisa 1/2"	pza.	2	\$16.50	\$33.00
5	Reducción de PVC 1/2" a 1/4"	pza.	2	\$8.20	\$16.40
6	Tambor de metal de 200 l.	pza.	1	\$385.00	\$385.00
7	Poste metálico para anaquel 2.20 m Cal.14	pza.	2	\$110.97	\$221.94
8	Base metálica de solera para tanque	pza.	1	\$780.00	\$780.00
9	Base metálica 70 cm x 70 cm con niveladores	pza.	1	\$570.00	\$570.00
10	Tabla de 12 mm 1.22 m x 2.44 m	pza.	1	\$365.00	\$365.00
11	Paq100 tornillos cabeza hexagonal 1/4" x 1"	paq.	1	\$176.90	\$176.90
12	Bolsa de cinchos de plástico 100 mm x 2.5 mm	pza.	1	\$16.00	\$16.00
13	Bolsa de cinchos de plástico 150 mm x 3.5 mm	pza.	1	\$35.00	\$35.00
14	Codo 90° de cobre 3/8" x 3/8"	pza.	2	\$33.50	\$67.00
15	Bifurcación tipo "T" de cobre 3/8" x 3/8" x 3/8"	pza.	1	\$28.80	\$28.80
16	Manguera de 3/8" transparente, pza. de 5 m	pza.	1	\$33.50	\$33.50
17	Válvula manual de cobre 3/8" x 3/8"	pza.	1	\$124.93	\$124.93
18	Espiral Organizador de cables	m.	1	\$40.90	\$40.90
19	Caja de termoplástico 120 mm x 162 mm x 73 mm	pza.	1	\$131.60	\$131.60
20	Canaleta de plástico 40 mm x 60 mm x 60 mm	m	1	\$130.00	\$130.00
21	Cable UL, tipo PLTC 18 & 20 AWG, CSA AWM SR-PVC	m	6	\$355.95	\$2,135.70
22	Cable uso rudo 3x14 AWG	m	2	\$26.80	\$53.60
23	Clavija blindada 3x15 uso rudo	pza.	1	\$61.00	\$61.00
24	Contacto sencillo MAR	pza.	1	\$62.00	\$62.00
25	Caja Conduit chalupa 13 mm (1/2")	pza.	1	\$12.50	\$12.50
26	Placa aluminio contacto sencillo	pza.	1	\$14.62	\$14.62
27	Contacto CO-H Voltech	pza.	1	\$14.00	\$14.00
28	Fuente de alimentación a 12 VCD	pza.	1	\$75.00	\$75.00
29	Focos indicadores 24 VCD (Rojo-Amarillo-Verde-Blanco)	pza.	4	\$85.50	\$342.00
30	Clemas con fusible para riel DIN, 1492-H	pza.	1	\$81.68	\$81.68
31	Clemas para riel DIN, 1492-LMJ3	pza.	14	\$25.73	\$360.22
32	Clema de dos vías con fusible para riel DIN,1492-JD3FB	pza.	1	\$241.56	\$241.56
33	Riel DIN,199-DR1	m	1	\$171.67	\$171.67
34	Interruptor termomagnético STECK SD1	pza.	1	\$142.32	\$142.32
35	Relevador 24 VCD y base de relevador	pza.	1	\$636.50	\$636.50
36	Interruptor de paro NC	pza.	1	\$295.00	\$295.00
37	Interruptor de arranque NA	pza.	1	\$221.11	\$221.11
38	Optoacoplador y base, Phoenix Contact	pza.	1	\$1,012.37	\$1,012.37
39	Válvula solenoide 0 - 0.8 MPa	pza.	1	\$250.00	\$250.00
40	Bomba sumergible AquaSub 2 m	pza.	1	\$799.00	\$799.00
41	Transmisor de Presión diferencial	pza.	1	\$17,580.95	\$17,580.95
42	Interruptor flotador de nivel	pza.	1	\$568.40	\$568.40
43	Sensor Ultrasónico Allen Bradley, 873M-D18AI300-D4	pza.	1	\$3,564.00	\$3,564.00
44	Cable CAT-889D-FYAC-2 para sensor ultrasónico	pza.	1	\$370.33	\$370.33
45	Cable UTP Cat. 5	m	5	\$143.60	\$718.00
				Total	\$33,139.90
				IVA (16%)	\$5,302.38
				TOTAL	\$38,442.28

Se presenta una tabla de costos indirectos, los cuales son parcialmente necesarios para la realización de este proyecto:

Tabla 4.6 Costos indirectos del proyecto

No.	Elemento	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
1	Pinzas cortacables	pza.	2	\$1,131.50	\$2,263.00
2	Flexómetro	pza.	1	\$145.00	\$145.00
3	Pinzas ponchadoras	pza.	1	\$199.00	\$199.00
4	Soldadora	pza.	1	\$2,165.54	\$2,165.54
5	Sierra en arco	pza.	1	\$350.00	\$350.00
6	Silicón de uso general	pza.	1	\$65.00	\$65.00
7	Computadora de escritorio	pza.	1	\$12,999.97	\$12,999.97
8	Luz			\$330.00	\$330.00
9	Agua			\$129.00	\$129.00
Total					\$18,645.54
IVA (16%)					\$2,983.29
TOTAL					\$21,628.83

Basándose en los datos estadísticos de la Cámara Nacional de Empresas de Consultoría (CNEC) así como también en la Comisión Nacional de Salarios Mínimos (CONASAMI) y por observaciones de profesionales científicos e intelectuales y profesionales de la ciencia e ingeniería se determinan los siguientes sueldos brutos y netos para los dos ingenieros y un técnico electricista:

Tabla 4.7 Costos de ingeniería.

Empleado	No. empleados	Sueldo quincenal bruto por empleado	Deducción de ISR	Deducción de IMSS	Sueldo quincenal neto por empleado	Quincenas laboradas	Subtotal
Ing. Control y Automatización	2	\$7,269.40	\$635.93	\$125.30	\$6,507.77	2	\$26,031.08
Técnico en tableros eléctricos	1	\$4,075.40	\$346.48	\$74.50	\$3,654.42	1	\$3,654.42
Total							\$29,685.50

Tabla 4.8 Costo total de proyecto.

Costo de ingeniería y mano de obra	\$29,685.50
Costo de material de tablero de control, módulo de nivel y coa	\$240,504.78
Subtotal:	\$270,190.28
20% margen de error	\$54,038.05
Costo total de proyecto	\$324,228.33

Para determinar el precio de venta de este proyecto se utiliza la siguiente formula:

$$P = C * \left(\frac{100}{100 - R} \right) \quad (4.1)$$

Donde:

P: Precio de venta a calcular

C: Costo del producto

R: Rentabilidad o margen de ganancia

Suponiendo una rentabilidad del 40 % se tiene:

$$P = 324228.33 * \left(\frac{100}{100 - 40} \right) \quad (4.2)$$

El precio de venta sería un total de: \$540,380.55

La utilidad viene dada por:

$$Utilidad = Ingreso total - costo del producto \quad (4.3)$$

Por lo tanto se tiene una utilidad del proyecto de:

$$Utilidad = 540,380.55 - 324228.33 = 216,152.22 \quad (4.4)$$

CONCLUSIONES

En la automatización de módulo didáctico de nivel se integró el transmisor de nivel por presión, el transmisor ultrasónico de nivel, mirilla de nivel, interruptor de nivel, botonera paro y arranque, alarmas, bomba sumergible, válvula solenoide y tablero de control con un PAC para realizar la medición y control de un tanque, se obtuvieron los diagramas de conexión que son de suma importancia a la hora de hacer algún tipo de diseño.

El transmisor de nivel por presión que realiza la medición continua del tanque completo se ajustó y se escaló a las características del tanque en pulgadas (0 plg a 36 plg), el transmisor ultrasónico de nivel que realiza la medición continua en la parte alta del tanque se ajustó y se escaló en centímetros (0 cm a 20 cm). Se implementó el control ON-OFF con histéresis para el transmisor de presión del nivel (-0.5 plg a + 0.5 plg), un control ON-OFF básico y con histéresis para el transmisor ultrasónico de nivel (-0.5 cm a +0.5 cm). La histéresis se implementó con la finalidad de que permita un margen de error cuando se dé un Setpoint cercano a donde finaliza el tubo de llenado que está inmerso en el tanque, dado el efecto sifón que se presenta se obtenga una respuesta sin tantas perturbaciones, ya que provoca un mayor desgaste en la bomba por la acción de arrancar y parar de forma automática. Se observó que para el caso de el transmisor ultrasónico de nivel con control ON-OFF básico que al ingresar un Setpoint de 12 cm una vez alcanzado este se apaga la bomba sumergible y se activa la válvula solenoide, cuando se tiene para este mismo transmisor el control ON-OFF con histéresis y con el mismo Setpoint se observó como 0.5 cm antes de alcanzar este punto se apaga la bomba sumergible y se activa la válvula solenoide, por lo tanto, con un control ON-OFF con histéresis nunca se alcanzara el valor de Setpoint ingresado debido a que el proceso de llenado del tanque es lento y que el efecto sifón que se tiene es mucho más rápido . Así se comprueba el funcionamiento de ambos tipos de controles.

Se desarrolló una HMI con las restricciones debidas con el fin de que los alumnos puedan operar sin riesgo a derramar el líquido del tanque. Con la HMI en la PC de forma remota se puede controlar el tanque desde las pantallas de manual, control ON-OFF básico y

control ON-OFF con histéresis por el transmisor ultrasónico de nivel y control ON-OFF con histéresis por el transmisor de nivel por presión. En la automatización del módulo didáctico de nivel se aprecia como un usuario o estudiante puede manipular de manera sencilla el control ON-OFF que es uno de los controles básicos en el área de la Ingeniería de Control, implementándolo y programándolo para los fines utilizados.

RECOMENDACIONES PARA PROYECTOS FUTUROS

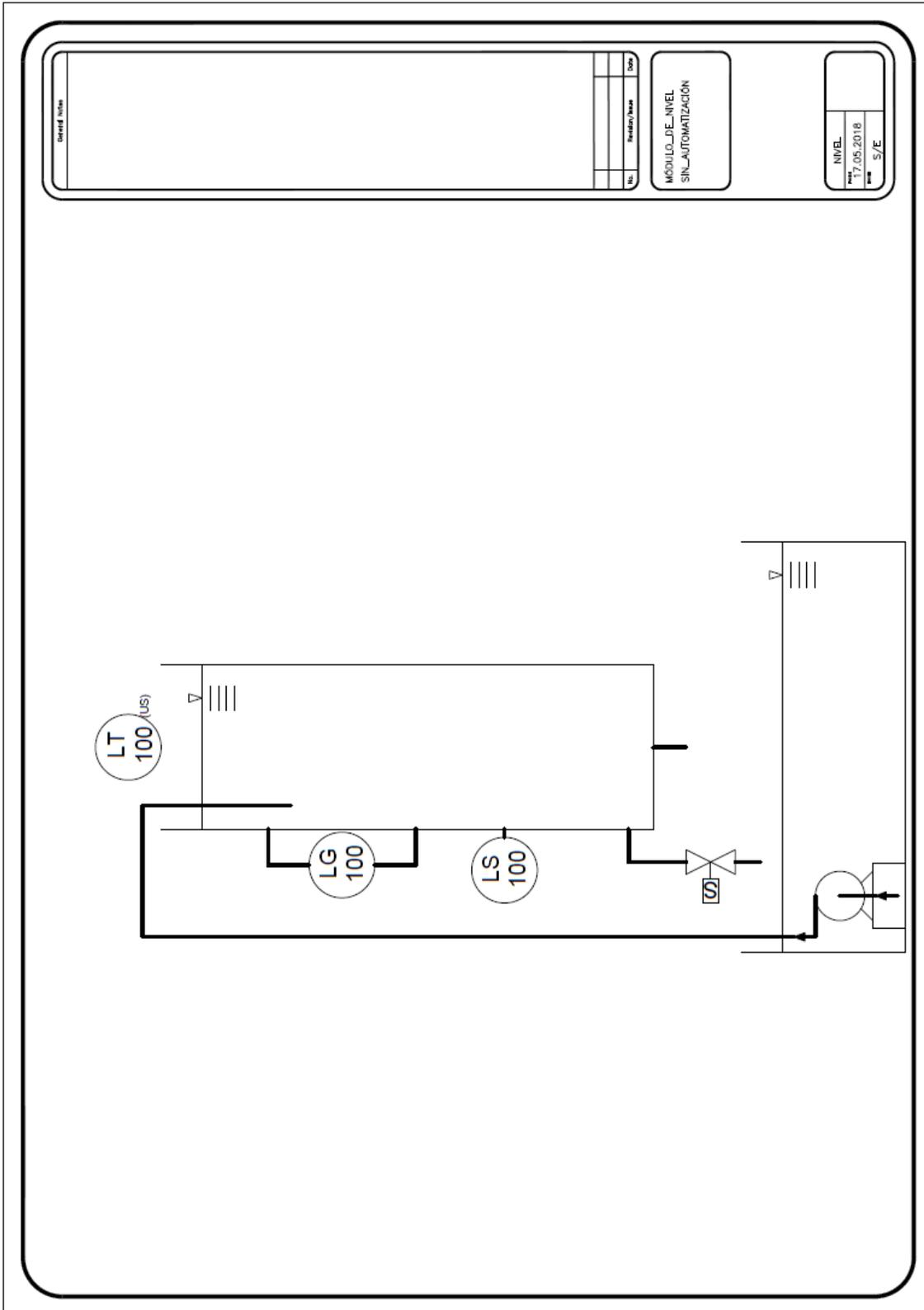
- Implementación de un control PID regulando la bomba de llenado.
- Realizar el control en dos tanques a la vez, crear secuencias de seguimiento de nivel simulando un proceso.
- En cuanto a la válvula solenoide con la que se cuenta sería recomendable agregar una con una capacidad de drenado mayor para una operación más rápida y eficaz.
- Generar secuencias de llenado y vaciado del tanque.
- Indicador de nivel de mayor alcance.
- Tapa superior para evitar la entrada de elementos que puedan afectar la operación del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. G. Webster, The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, N.W., Boca Raton, FL 33431: CRC Press LLC, 1999.
- [2] N. A. Anderson, Instrumentation for Process Measurement and Control, Radnor, Pennsylvania 19089: Chilton Company, 1980.
- [3] E. Smith, Principles of Industrial Measurement for Control Applications, New York: ISA, 1984.
- [4] T. A. Hughes, Measurement and Control Basics, United States of America: ISA, 2002.
- [5] J. A. Sánchez, Instrumentación y Control Avanzado de Procesos, España: ISE, 2006.
- [6] J. Balcells y J. L. Romeral, Autómatas Programables, Barcelona, España, Marcombo S.A., 1998.
- [7] E. Mandado, J. Marcos, C. Fernández y J. Armesto, Autómatas Programables y Sistemas de Automatización, México, D.F. Alfaomega Grupo Editor,S.A. de C.V., 2014.
- [8] S. Soria, Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos, México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 2013.
- [9] A. N. STANDARD, «ANSI/ISA-5.1 INSTRUMENTATION SYMBOL AND IDENTIFICATION,» AMERICAN NATIONAL STANDARD, North Carolina, USA, 2009.

APÉNDICES

DTI del módulo de didáctico de nivel manual



DTI del módulo didáctico de nivel automatizado.

