

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

**RONALD PAOLO BORJA ALDAZ
BYRON RENATO PAREDES COQUE**

DIRECTORA: ING. ANA RODAS

Quito, Febrero 2007

DECLARACIÓN

Nosotros, Ronald Paolo Borja Aldaz, Byron Renato Paredes Coque, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Ronald Paolo Borja Aldaz

Byron Renato Paredes Coque

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ronald Paolo Borja Aldaz y Byron Renato Paredes Coque, bajo mi supervisión.

Ing. Ana Rodas
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A nuestra Directora del Proyecto de Titulación la Ing. Ana Rodas por sus sugerencias y su ayuda en el desarrollo del presente trabajo.

Al Doctor Luis Corrales y al Ing. Juan Galarza por su ayuda desinteresada y por aportar con soluciones que nos llevaron al final a la culminación exitosa de este trabajo.

A nuestros profesores que con esfuerzo y esmero han sabido impartir generosamente sus enseñanzas para que al final hayamos podido concluir con éxito este reto que ha sido la Escuela Politécnica Nacional de la que nos llevamos gratos recuerdos.

A nuestros amigos y compañeros que han sido el mejor regalo de esta etapa de nuestras vidas y con quienes hemos compartido momentos que se quedarán grabados en nuestra memoria y en nuestro corazón.

Los Autores

DEDICATORIA

A mis Padres y a mis Hermanos, por su comprensión, por su apoyo incondicional, por su cariño y gracias a quienes no solo este trabajo sino mi formación como Ser ha sido posible. Gracias por tanto y por todo...

Ronald

DEDICATORIA

A mis padres por su amor y su gran apoyo incondicional a lo largo de mi formación humana y académica ya que sin ello no hubiera podido alcanzar mis objetivos

A mis hermanos Xavier, Yolanda y Azucena por su ejemplo de lucha y por todos sus consejos que me han servido a lo largo de este camino.

Byron

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de dotar al Laboratorio de Instrumentación de un equipo nuevo con el cual los estudiantes puedan realizar sus prácticas de medición, control y monitoreo de la variable Nivel de Líquido. Dichas acciones se realizan en un tanque principal, siendo el agua llevada desde un tanque reservorio a través de una tubería instalada para el efecto.

El equipo permite controlar el nivel de agua en el tanque principal a través de dos actuadores, una bomba que suministra agua desde el tanque reservorio al tanque principal con caudal constante y una servoválvula que está ubicada en la parte inferior del tanque principal, es decir, a la salida para que el agua sea retornada al tanque reservorio, formando así un circuito cerrado de agua. La servoválvula fue construida a partir de una válvula de globo acoplada a un motor DC que es el actuador de la válvula. La apertura de la válvula ó lo que es lo mismo, la posición del vástago, se mide y se controla a través de la señal de voltaje dada por un potenciómetro multivuelta lineal acoplado a la válvula mediante un juego de poleas.

El control de la variable nivel de agua se hace mediante un PLC (Controlador Lógico Programable), el mismo que es el encargado de procesar los datos y tomar las acciones respectivas para el control de la variable Nivel. La adquisición de los datos análogos: posición de la servoválvula (Señal de voltaje variable dada por el potenciómetro multivuelta), nivel de acuerdo al flotador potenciométrico (Señal de voltaje variable), nivel de acuerdo al sensor de presión (Señal de voltaje variable) y set point de posición de la servoválvula (Señal de voltaje variable dada por el potenciómetro de set point de la servoválvula cuando actúa el Control Local); se hace a través de un microprocesador para luego enviar dichos datos vía serial hasta el puerto numero dos (RS232) del PLC.

El monitoreo se puede hacer desde dos ubicaciones: a) Control Local, que se halla en el panel de operador del módulo que consta de un LCD y un teclado

matricial, y b) Control Remoto a través de una PC en la cual se tiene una HMI desarrollada en LabView.

PRESENTACIÓN

El trabajo se encuentra estructurado como se indica a continuación.

El Primer Capítulo expone la teoría básica sobre la medición y el control de nivel de líquidos, comenzando con las propiedades de los líquidos y los métodos de medición. Se da una clasificación de las válvulas de control, se definen los sistemas de control y se exponen los conceptos generales de los controladores como: PLC's y microcontroladores.

En el Segundo Capítulo se describe el Hardware de sistema, es decir, el equipo, sus modos de funcionamiento y se detalla el dimensionamiento y diseño de sus componentes: actuadores, fuentes; tarjeta de control, potencia y acondicionamiento.

El Tercer Capítulo detalla el Desarrollo del Software, dando una breve introducción al lenguaje de programación Twidosoft para programar el PLC Twido LCAA24DRF, así como también al lenguaje de programación BASCOM para programar los microcontroladores Atmel, además se explica el desarrollo de la interfaz hecha en LabView para el HMI, así como el desarrollo de los programas del PLC y de los microcontroladores Atmel,

El Cuarto Capítulo corresponde a las Pruebas y Resultados, es en donde se examina el comportamiento del equipo. Se indica cómo descargar el programa para el PLC y los pasos para poner el módulo en funcionamiento, además se presentan tablas con los datos correspondientes a la respuesta de los componentes del módulo con su respectivo análisis.

En el Quinto y último capítulo se exponen las conclusiones a las que se llegaron durante el desarrollo del proyecto y las recomendaciones para el correcto uso del módulo, así las formas en que se pueden optimizar trabajos posteriores.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS.....	1
1.1 PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS.....	1
1.1.1 COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN	1
1.1.2 DIFUSIÓN.....	2
1.1.3 FORMA Y VOLUMEN	2
1.1.4 VISCOSIDAD	2
1.2 MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS.....	3
1.2.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN.....	3
1.2.1.1 Métodos de medición indirecta.....	3
1.2.1.1.1 Método de medidores actuados por desplazadores.....	4
1.2.1.1.2 Método de medidores actuados por presión hidrostática	5
1.2.1.1.3 Sistema básico o Manómetro.....	6
1.2.1.1.4 Método de diafragma-caja	6
1.2.1.1.5 Método de presión diferencial.....	7
1.2.1.1.6 Método de duplicador de presión.....	8
1.2.1.2 Métodos de medición directa	9
1.2.1.2.1 Método de medición por sonda	9
1.2.1.2.2 Método de medición por aforación	9
1.2.1.2.3 Método de medición por indicador de cristal	10
1.2.1.2.4 Método de medición flotador-boya	11
1.2.1.3 Métodos de medición por las características eléctricas del líquido... 12	12
1.2.1.3.1 Método Conductivo	12
1.2.1.3.2 Método Capacitivo	13
1.2.1.3.3 Método ultrasónico.....	14
1.3 VÁLVULAS	15
1.3.1 DEFINICIÓN.....	15
1.3.2 TIPOS DE VÁLVULAS.....	16
1.3.2.1 Válvulas tipo compuerta	16
1.3.2.2 Válvulas de retención o Check	17
1.3.2.3 Válvulas de Globo.....	18
1.3.2.4 Válvulas de macho	19
1.3.2.5 Válvulas de Bola	20
1.3.2.6 Válvulas de mariposa	21
1.3.2.7 Válvulas de diafragma	22
1.3.3 VÁLVULAS AUTOMÁTICAS DE CONTROL.....	23
1.3.3.1 Partes de la válvula de control.....	23
1.3.3.1.1 Actuador	23
1.3.3.1.2 Cuerpo de la válvula	24
1.4 SISTEMAS DE CONTROL	25
1.4.1 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	25
1.4.1.1 Sistemas de control en lazo cerrado.....	25
1.4.1.2 Sistema de control en lazo abierto	26
1.4.1.3 Comparación entre estos dos tipos de sistemas	27
1.4.1.4 Proceso	28
1.4.1.5 Planta	28

1.4.1.6	Sistema.....	28
1.4.1.7	Señal de salida.....	28
1.4.1.8	Señal de referencia.....	28
1.4.1.9	Error	28
1.4.1.10	Señal de control.....	29
1.4.1.11	Señal análoga	29
1.4.1.12	Señal digital.....	29
1.4.1.13	Convertor análogo/digital.....	29
1.4.1.14	Convertor digital/análogo.....	29
1.4.1.15	Perturbación	29
1.4.1.16	Sensor.....	30
1.4.1.17	Actuador	30
1.4.1.18	Transmisor	30
1.4.1.19	Controlador	30
1.5	MICROCONTROLADOR.....	31
1.5.1	ARQUITECTURA INTERNA DE UN MICROCONTROLADOR	31
1.5.1.1	Procesador.....	31
1.5.1.2	Memoria	31
1.5.1.3	Buses	32
1.5.2	ESTRUCTURA INTERNA	32
1.6	CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE	33
1.6.1	CICLO DE OPERACIÓN DE UN PLC.....	34
1.6.2	EXTRUCTURA EXTERNA	35
1.6.2.1	Elementos de entrada	35
1.6.2.2	Elementos de salida	36
1.6.3	ESTRUCTURA INTERNA	36
1.7	SISTEMAS HMI	37
1.7.1	SISTEMAS SCADA	37
1.7.1.1	Funciones.....	38
1.7.1.2	Interfaz	39
1.8	ALGUNAS APLICACIONES DEL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS	40
1.8.1	EN TANQUES DE INODOROS.....	40
1.8.2	EN CISTERNAS.....	40
1.8.3	EN LAS EMBOTELLADORAS	41
1.8.4	INDUSTRIA PAPELERA	41
1.8.5	INDUSTRIA DE CRUDOS	41
1.8.6	NIVELIMETRÍA EN GRANDES TANQUES.....	42
1.9	EQUIPO A CONSTRUIR	42
2	CAPÍTULO 2.....	44
2.1	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	44
2.1.1	MODOS DE OPERACIÓN DEL MÓDULO	46
2.1.1.1	Modo Manual-Control Local.....	46
2.1.1.2	Modo Manual-PC	47
2.1.1.3	Modo Automático-Control Local.....	47
2.1.1.4	Modo Automático-PC	47
2.1.2	COMPONENTES DEL MÓDULO	48
2.1.2.1	Sensores de nivel.....	48

2.1.2.1.1	Sensor de presión diferencial	48
2.1.2.1.2	Sensor Potenciométrico	51
2.1.2.1.3	Sensores ON-OFF conductivos	53
2.1.2.2	Servoválvula	54
2.1.2.2.1	Parte Motriz: Motor DC	55
2.1.2.2.2	Actuador: Válvula De Control	56
2.1.2.2.3	Acoplamiento Motor-Válvula	57
2.1.2.3	Bomba	58
2.1.2.4	Controlador Lógico Programable	60
2.1.2.4.1	Partes constitutivas del TWDLCAA24DRF	62
2.1.2.5	Microcontrolador ATMEL	63
2.1.2.5.1	ATmega8	65
2.1.2.5.2	ATmega8515	67
2.1.2.6	Pantalla De Cristal Líquido (Lcd)	70
2.1.2.7	Teclado Matricial	70
2.1.2.8	Fuentes De Alimentación	71
2.1.2.9	Selector PC – Control Local	72
2.1.2.10	Tarjeta de comunicación	72
2.1.2.11	Tarjeta de Potencia	74
2.1.2.11.1	Esquemático de la tarjeta de potencia	74
2.1.2.12	Tarjeta de Control	75
3	CAPÍTULO 3	76
3.1	DESARROLLO DEL SOFTWARE	77
3.2	TWIDO SOFT	77
3.2.1	OBJETOS DEL LENGUAJE TWIDO SOFT	80
3.2.1.1	Objetos de bit	80
3.2.1.2	Objetos de palabra	80
3.2.2	DIRECCIONAMIENTOS DE OBJETOS EN TWIDO SOFT	81
3.2.2.1	Direccionamientos de objetos de bits	81
3.2.2.2	Direccionamientos de objetos de palabras	82
3.2.2.3	Direccionamientos de las entradas/salidas	83
3.2.3	COMUNICACIONES DEL PLC TWIDO	84
3.2.3.1	Conexión remota	84
3.2.3.2	ASCII	84
3.2.3.3	Modbus	85
3.2.3.4	Master de Modbus	85
3.2.3.5	Slave Modbus	85
3.2.4	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PARA EL PLC	87
3.2.4.1	Programa Principal	88
3.2.4.2	Diagrama de flujo del Programa Principal	91
3.2.4.3	Subrutina Modo Manual	92
3.2.4.4	Diagrama de flujo del Modo Manual	94
3.2.4.5	Rutina de movimiento de la servoválvula	95
3.2.4.6	Subrutina Modo Automático	97
3.2.4.7	Diagrama de flujo de la Subrutina Modo Automático	100
3.3	BASCOM AVR	103
3.3.1	JUEGO DE CARACTERES UTILIZADOS POR BASCOM AVR ..	103
3.3.1.1	Fundamentos del lenguaje	103

3.3.1.2	Ambiente de programación de Bascom Avr	104
3.3.1.3	Compilación y envío del programa hacia el micro	106
3.3.1.3.1	Programa microcontrolador ATMEGA8515.....	107
3.3.1.3.2	Programa microcontrolador ATMEGA8.....	113
3.3.2	NATIONAL INSTRUMENTS LABVIEW.....	114
3.3.2.1	Interfaz desarrollada en LabView	116
3.3.2.2	Panel Frontal del Programa Principal	117
3.3.2.3	Diagrama de Bloques del Programa Principal	117
3.3.2.4	Panel Frontal del Modo Manual	120
3.3.2.5	Diagrama de Bloques del Modo Manual.....	121
3.3.2.6	Panel Frontal de Modo Automático.....	126
3.3.2.7	Diagrama de bloques de Modo Automático.....	127
4	CAPÍTULO 4.....	131
4.1	PRUEBAS Y RESULTADOS	131
4.2	DESCARGA DEL PROGRAMA PARA EL PLC TWIDO LCAA24DRF	131
4.2.1	PRUEBAS DE LA BOMBA.	132
4.2.2	PRUEBA SENSOR POTENCIOMÉTRICO.....	136
4.2.3	PRUEBA SENSOR PRESIÓN.....	140
4.2.4	PRUEBA SERVOVÁLVULA	142
4.2.4.1	Prueba Caudal De Salida	142
4.2.4.2	Prueba Posición Vástago.....	147
4.2.4.3	Prueba Desalojo (tiempos de vaciado).....	148
4.2.5	Pruebas Modo Automático	149
5	CAPÍTULO 5.....	24
5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	1
5.1.1	CONCLUSIONES	1
5.1.2	RECOMENDACIONES	3
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5

CAPÍTULO 1

MEDICIÓN Y CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS

Los líquidos son sustancias en un estado de la materia intermedio entre los estados sólido y gaseoso. Las moléculas de los líquidos no están tan próximas como las de los sólidos, pero están menos separadas que las de los gases.

Tienen un volumen determinado, por lo cual sus distancias moleculares no se ven afectadas al asumirse la forma del recipiente que los contiene.

1.1 PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS

1.1.1 COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

A los líquidos se les considera incompresibles debido a que dentro de ellos existen fuerzas extremas de atracción entre sus moléculas. Por otra parte cuando a un líquido se le aplica una presión, su volumen no se ve afectado en gran cantidad, ya que sus moléculas tienen poco espacio entre sí. Si se aplica un cambio de temperatura su volumen no sufrirá cambios considerables. Cuando las moléculas de un líquido están en continuo movimiento es por causa de la temperatura que está experimentando, lo cual inclina al líquido a aumentar la distancia de sus moléculas; a pesar de esto las fuerzas de atracción que existen en el líquido se oponen a ese distanciamiento de sus moléculas.

1.1.2 DIFUSIÓN

Al realizar la mezcla de dos líquidos, las moléculas de uno de ellos se difunden en las del otro a menor velocidad que en los gases. Si se desea ver la difusión de dos líquidos, se puede hacer, dejando caer una pequeña cantidad de tinta china en un poco de agua. Debido a que las moléculas en ambos líquidos están muy cerca, cada molécula conlleva una inmensidad de choques antes de alejarse, puede decirse que millones de choques. La distancia promedio que se genera en los choques se llama *trayectoria libre media* y, en los gases es más grande que en los líquidos, esto sucede porque las moléculas están bastante separadas. A pesar de esto hay constantes interrupciones en sus trayectorias moleculares, por lo que los líquidos se difunden mucho más lentamente que los gases.

1.1.3 FORMA Y VOLUMEN

En un líquido, las fuerzas de atracción son suficientemente agudas para limitar a las moléculas en su movimiento dentro de un volumen definido. A pesar de esto las moléculas no pueden guardar un estado fijo, es decir, las moléculas del líquido no permanecen en una sola posición. Las moléculas, dentro de los límites del volumen del líquido, tienen la libertad de moverse unas alrededor de otras; a causa de esto, permiten que el líquido fluya. Los líquidos poseen un volumen definido, pero debido a su capacidad para fluir, su forma depende del contorno del recipiente que los contiene.

1.1.4 VISCOSIDAD

Algunos líquidos fluyen lentamente, mientras que otros fluyen con facilidad; la resistencia a fluir se conoce con el nombre de viscosidad. Si existe una mayor viscosidad, el líquido fluye más lentamente. Los líquidos como el aceite de los motores son relativamente viscosos; el agua y los líquidos orgánicos como el tetracloruro de carbono, no lo son. La viscosidad puede medirse tomando en

cuenta el tiempo que transcurre cuando cierta cantidad de un líquido fluye a través de un delgado tubo, bajo la fuerza de la gravedad.

1.2 MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

La medición de nivel, su detección o su monitoreo, es fundamental en la industria, especialmente en la industria química de tratamiento de las aguas y de almacenamiento de líquidos en tanques. Es igualmente parte integrante en la medición de otros parámetros como el caudal. La determinación del nivel permite evaluar la cantidad de líquido en un reservorio o recipiente industrial de dimensiones conocidas. En consecuencia, los medidores de nivel podrían tener sus escalas directamente en unidades de longitud, de masa, de peso o de volumen.

Para medir nivel en un líquido se determina la distancia existente entre una línea de referencia y la superficie del fluido y generalmente dicha línea de referencia se toma como el fondo del recipiente.

El nivel es una variable que puede ser medida fácilmente, pero existen otros factores tales como: viscosidad del fluido, tipo de medición deseada, presión, recipiente presurizado o no; las que traen como consecuencia que existan varios métodos y tipos de instrumentos medidores del nivel. El medidor de nivel seleccionado dependerá de las necesidades o condiciones de operación.

Los métodos utilizados para la medición del nivel de líquidos básicamente pueden ser clasificados en: Métodos de medición directa y Métodos de medición indirecta.

1.2.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN

1.2.1.1 Métodos de medición indirecta

Los métodos de medición indirecta de nivel son:

- Método de medidores actuados por desplazadores.
- Método de medidores actuados por presión hidrostática.
- Sistema básico o Manómetro.
- Método de diafragma-caja.
- Método de presión diferencial.
- Método de duplicador de presión.

1.2.1.1.1 Método de medidores actuados por desplazadores

Estos tipos de instrumentos se utilizan generalmente para llevar la medición a sitios remotos o para el control de nivel, aunque también pueden utilizarse como indicadores directos. Están compuestos principalmente por un desplazador, una palanca y un tubo de torsión. La figura 1.1, muestra los componentes básicos de uno de estos medidores. Como se puede observar, el objetivo principal de estos componentes es convertir el movimiento vertical del desplazador en un movimiento circular del tubo de torsión.

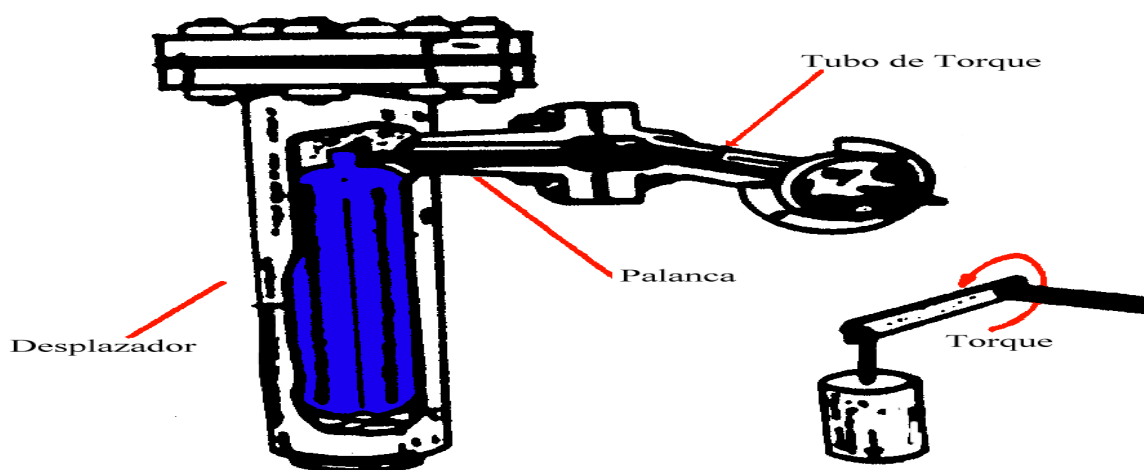


Figura 1.1: Medidor Actuado Por Desplazador

El principio de funcionamiento se basa en el principio de Arquímedes y puede resumirse de la siguiente manera: el peso del desplazador ejerce una fuerza sobre el tubo de torsión, pero al subir el nivel, el desplazador desplaza más líquido y éste ejercerá una fuerza o empuje sobre el desplazador el cual se vuelve más liviano. Esto trae como consecuencia que el tubo de torsión gire debido a la disminución de la torsión que el desplazador ejerce sobre él. Este giro es aprovechado acoplándose una aguja, la cual indicará el nivel directamente.

1.2.1.1.2 Método de medidores actuados por presión hidrostática

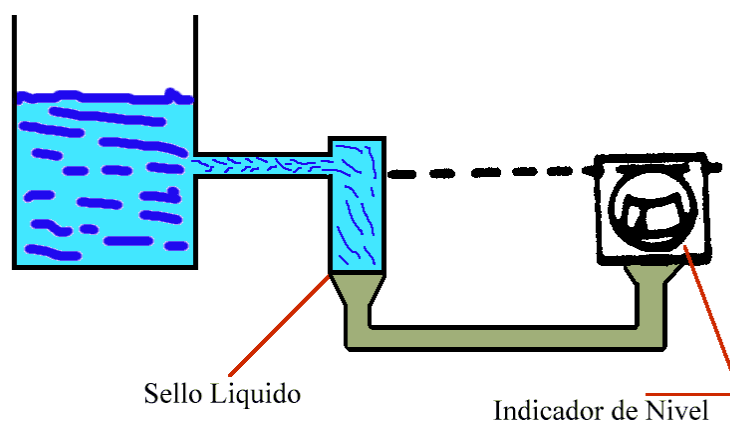


Figura 1.2: Medidor Actuado Por Presión Hidrostática

Existe una fórmula por la cual se establece que la presión en cualquier punto debajo de la superficie de un líquido depende solamente de la profundidad a la que se encuentre el punto en cuestión y del peso específico del líquido, es decir, que $P = P_e * H$. La figura 1.2 muestra este tipo de medidor.

Existen varios tipos de medidores de nivel que trabajan y operan bajo este principio, de los cuales los más comunes son:

1.2.1.1.3 Sistema básico o Manómetro

Entre los medidores de nivel actuados por presión hidrostática, el sistema básico o manómetro es el más sencillo. Consta solamente de un manómetro y en el caso de que el líquido cuyo nivel se desea medir sea corrosivo o viscoso, es necesario, además del manómetro, un equipo de sello con la finalidad de aislar el instrumento de dicho fluido. El manómetro puede ser uno convencional, con la diferencia de que la escala en lugar de ser graduada en unidades de presión, es graduada en unidades de nivel.

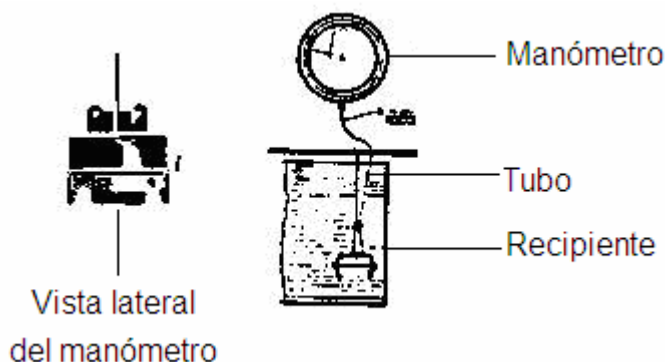


Figura 1.3: Manómetro

1.2.1.1.4 Método de diafragma-caja

La figura 1.4, muestra una caja de diafragma Foxboro. Esta caja se sumerge en el líquido que se va a medir y un capilar lleno de aire se extiende desde ella hasta el instrumento. La deflexión del diafragma, que se produce por la altura del líquido, provoca que el aire que contiene el capilar se comprima. El instrumento que recibe el aire del capilar responde indicando la altura del líquido que está ejerciendo presión en el diafragma. La caja se construye en dos secciones, entre estas está colocado el diafragma de caucho o de una composición sintética resistente al aceite.¹

¹ <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus>

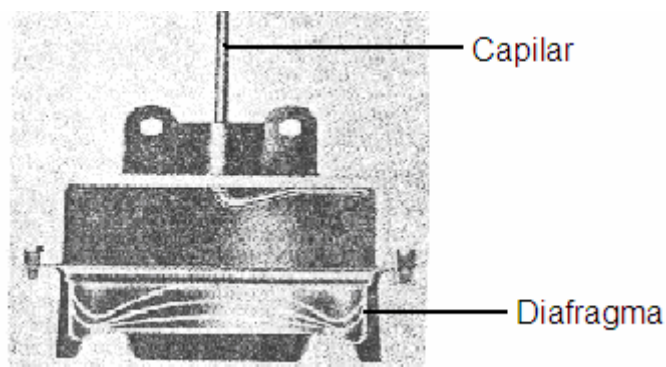


Figura 1.4: Medidor Diafragma - Caja

1.2.1.1.5 Método de presión diferencial

Para la medición de nivel en tanques al vacío o bajo presión pueden utilizarse los instrumentos de medición basados en presión diferencial. La diferencia es que el instrumento dará una lectura inversa; es decir, cuando señale presión cero, se leerá nivel máximo.

El principio de funcionamiento se basa en aplicarle al instrumento la presión existente en la superficie del líquido en ambas direcciones con la finalidad de anularla, y que la presión detectada sea la presión hidrostática, la cual se puede representar en unidades de nivel. La figura 1.5 ilustra el método de presión diferencial.

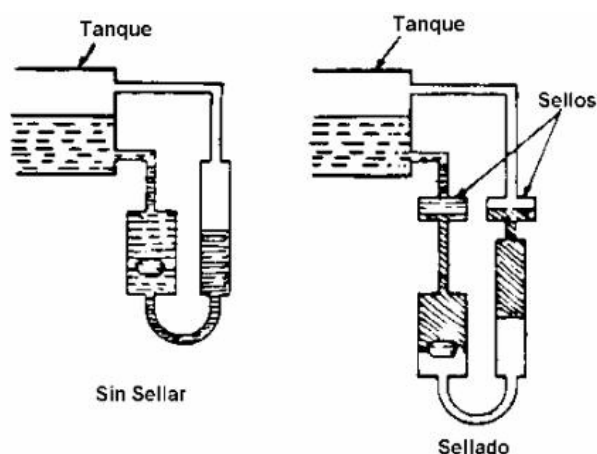


Figura 1.5: Método de Presión Diferencial

1.2.1.1.6 Método de duplicador de presión

Un ejemplo del tipo de duplicador de presión es el transmisor de nivel de líquidos fabricado por la Taylor Instruments Company, que se muestra en la figura 1.6. Este convierte la presión de la altura del líquido en una señal de aire que se transmite a un instrumento medidor de presión como receptor. La vista de la sección transversal muestra al transmisor en la posición en la que se monta en el fondo del tanque, con la columna de agua cargando sobre el diafragma. Una tubería suministra aire al medidor de nivel a una presión de 3 a 5 psi más elevada que la correspondiente a la columna de líquido para nivel máximo. Otra tubería transmite la presión como una señal de nivel de salida del medidor a un receptor a distancia.²

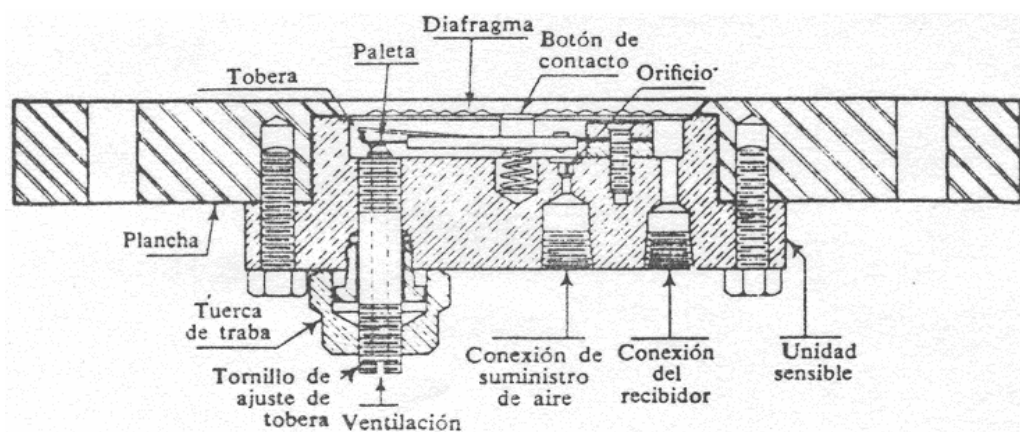


Figura 1.6: Duplicador De Presión

² <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus>

1.2.1.2 Métodos de medición directa

Los métodos de medición directa de nivel son:

- Método de medición por sonda.
- Método de medición por aforación.
- Método de medición por indicador de cristal.
- Método de medición flotador-boya.

1.2.1.2.1 Método de medición por sonda

Consiste en una varilla o regla graduada de la longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. La determinación del nivel se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en tanques de fuel oil o gasolina, como se indica en la figura 1.7

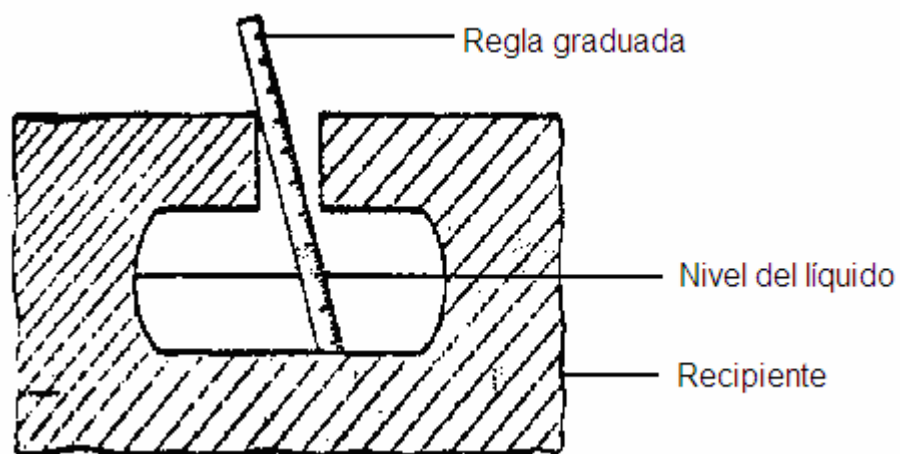


Figura 1.7: Medidor de sonda

1.2.1.2.2 Método de medición por aforación

Es el método de medir nivel por medio de cintas. El instrumento está compuesto por tres partes principales que son: el carrete, la cinta graduada y un peso o plomada, como se muestra en la figura 1.8.

La plomada sirve para que se mantenga la cinta tensa al penetrar en el líquido. Para medir el nivel se deja que la cinta baje lentamente hasta que la plomada toque el fondo del recipiente. Una vez que la plomada toca el fondo se empieza a recoger la cinta con el carrete, hasta que aparezca la parte donde el líquido ha dejado la marca que indica su nivel.

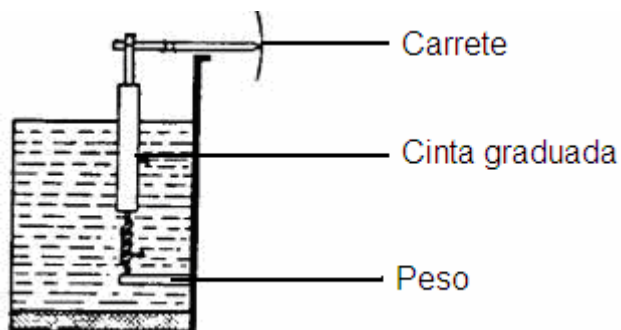


Figura 1.8: Medición Por Aforación

1.2.1.2.3 Método de medición por indicador de cristal

Otra forma simple y quizás la mas común de medir el nivel, es por medio del indicador de cristal. Estos tipos de indicadores sirven para varias aplicaciones y se pueden utilizar tanto para recipientes abiertos como para cerrados.

El indicador consiste de un tubo de vidrio en el caso del indicador de bajas presiones y de un vidrio plano en el caso del indicador para altas presiones, montadas entre dos válvulas, las cuales se utilizan para sacar de servicio el indicador sin necesidad de parar el proceso.

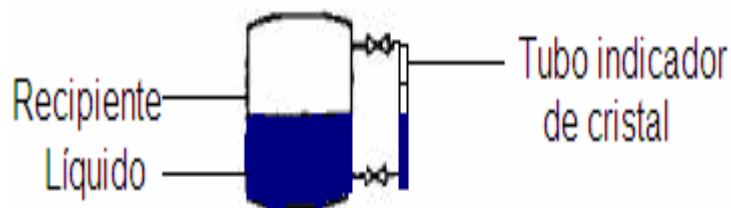


Figura 1.9: Medición Por Indicador De Cristal

1.2.1.2.4 Método de medición flotador-boya

Los instrumentos que utilizan un flotador-boya no dependen de la presión estática para medir el nivel de líquidos. De todos modos la presión estática debe tomarse en cuenta al proyectar el flotador, ya que siendo éste hueco, ha de construirse lo suficientemente robusto como para soportarla sin deformarse.

El flotador se suspende de una cinta sometida a leve tensión. Conforme aquel se desplaza hacia arriba o abajo, siguiendo el nivel del líquido, arrastra la cinta que hace girar una rueda catalina, como se indica en la figura 1.10

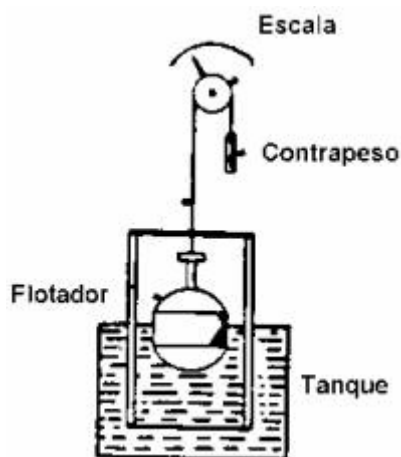


Figura 1.10: Medidor Por Flotador Boya

La figura 1.11, muestra un transmisor de nivel de líquido Shand & Jurs, que acoplado a un captador como el descrito, convierte la posición de flotador en

impulsos eléctricos. Los pulsos representan la información de nivel y se transmiten a estaciones de control remotas para su lectura.

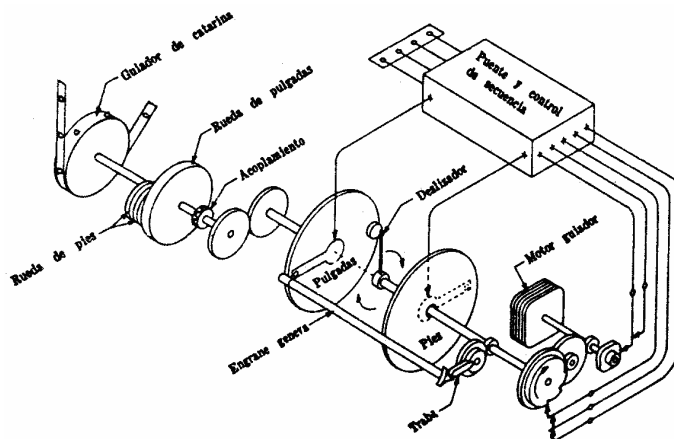


Figura 1.11: Esquema de un transmisor de nivel de líquidos

1.2.1.3 Métodos de medición por las características eléctricas del líquido

Los métodos de medición de nivel por las características eléctricas del líquido son:

- Método Conductivo.
- Método Capacitivo.
- Método Ultrasónico.

1.2.1.3.1 Método Conductivo

En los líquidos conductores de electricidad, el nivel puede ser detectado por medio de electrodos que al entrar en contacto con el líquido, accionan un relé eléctrico o electrónico. Se tiene un electrodo de referencia que cierra el circuito con el electrodo colocado a la altura requerida en el instante que entra en

contacto con el líquido. Si el tanque es metálico, puede usarse su pared en lugar del electrodo de referencia. La figura 1.12 ilustra el método conductivo.

Se debe tomar en cuenta que el líquido debe ser lo suficientemente conductivo como para excitar el circuito del relé.

Este instrumento se puede utilizar con diferentes propósitos: alarmas, arranques de motores o paradas de los mismos. Su campo de acción depende de la longitud de los electrodos.³

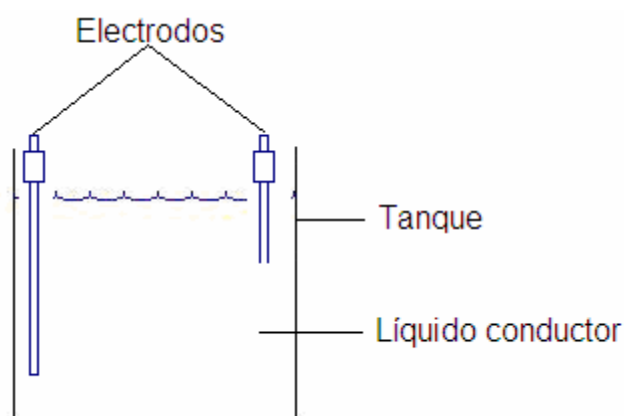


Figura 1.12: Método Conductivo

1.2.1.3.2 Método Capacitivo

Cuando se tienen electrodos sumergidos en un líquido, las variaciones del dieléctrico entre ellos, debidas a la subida o bajada del nivel, provocan cambios en la capacidad entre los mismos. Dicha variación en la capacidad se usa para determinar el nivel del líquido en un tanque, como se indica en la figura 1.13.

³ <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus>

Este método se puede aplicar a muchas clases de líquidos más no en los que poseen sólidos conductores en suspensión, ya que se producen cambios en la constante dieléctrica, ocasionando un porcentaje de error en la medición.

Los sensores que trabajan bajo este principio se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, resisten la corrosión pero su constante dieléctrica puede ser afectada por la temperatura.

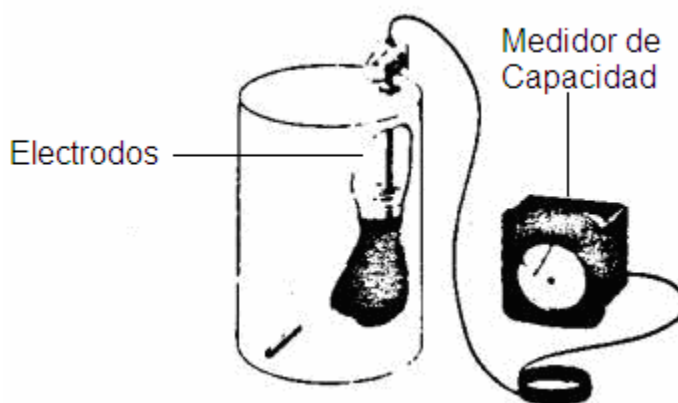


Figura 1.13: Método Capacitivo

1.2.1.3.3 Método ultrasónico

Este método se basa en la emisión de un impulso de ultrasonido hacia una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo. El tiempo que se demore el eco depende del nivel del líquido. La figura 1.14 ilustra el método ultrasónico.

Los sensores que trabajan bajo este principio operan a una frecuencia de unos 20KHz. Pueden estar en contacto con el líquido o montados en el exterior del tanque; este último tipo no es aplicable en algunas instalaciones o su uso puede quedar limitado por las características del líquido en el cual se va a determinar el nivel. Se usan para medir nivel en forma continua o discreta; su precisión es del orden de ± 1 a 3% y tienen el inconveniente de ser sensibles a la densidad del fluido.

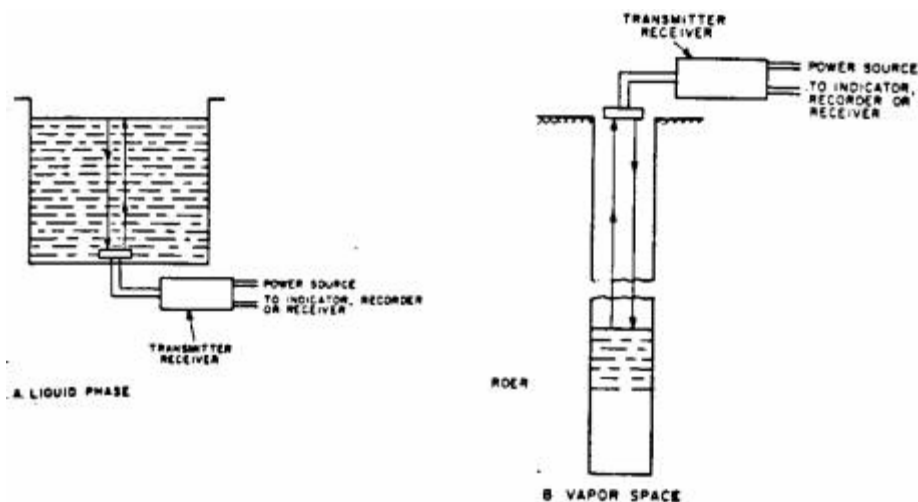


Figura 1.14: Medidor Ultrasónico

1.3 VÁLVULAS

1.3.1 DEFINICIÓN

Una válvula es un dispositivo mecánico para controlar, retener, regular, o dar paso a cualquier fluido entubado.

En automatismos, una válvula de control sirve para mantener dentro de un rango determinado (al abrirse o cerrarse) variables como: nivel, presión, caudal, etc; dependiendo de lo que requiera determinado proceso.⁴

En el control de nivel de líquidos las válvulas se usan para mantener el nivel dentro de un rango apropiado, mediante la acción de abierto o cerrado de la válvula de control.

⁴ <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus>

1.3.2 TIPOS DE VÁLVULAS

Existe una gran variedad de válvulas, las más comunes son: las válvulas manuales y las automáticas. Las primeras son de algunos tipos, siendo las más comunes las siguientes:

1.3.2.1 Válvulas tipo compuerta

Son utilizadas para el flujo de fluidos limpios y sin interrupción, este tipo de válvula no es recomendable para estrangulamiento ya que posee un disco que mueve dentro del cuerpo de la válvula, lo que causaría una erosión arruinando su funcionamiento. La figura 1.15 muestra una válvula tipo compuerta.

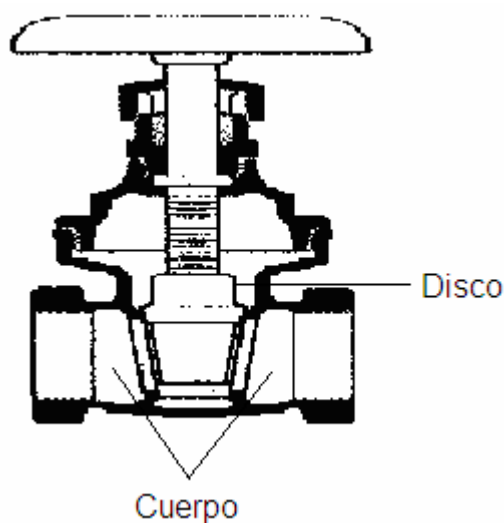


Figura 1.15: Válvula Tipo Compuerta

Existen diferentes tipos de válvulas de compuerta que se diferencian por el tipo de disco para el cierre: válvula de compuerta tipo cuña sólida, tipo flexible, tipo abierta, de guillotina, de cierre rápido.

Normalmente este tipo de válvulas son construidas con cuerpo de latón, bronce, hierro, acero fundido. En su interior normalmente son de bronce, acero inoxidable, acero aleado, cromo, estelita o molibdeno.

1.3.2.2 Válvulas de retención o Check

Las válvulas de retención se usan como medida de seguridad para evitar que el flujo retroceda en la tubería, también se usan para mantener la tubería llena cuando la bomba no está funcionando automáticamente. La figura 1.16 muestra una válvula de retención.

Este tipo de válvula se usa en serie con las de compuerta y funcionan en posición horizontal o vertical.

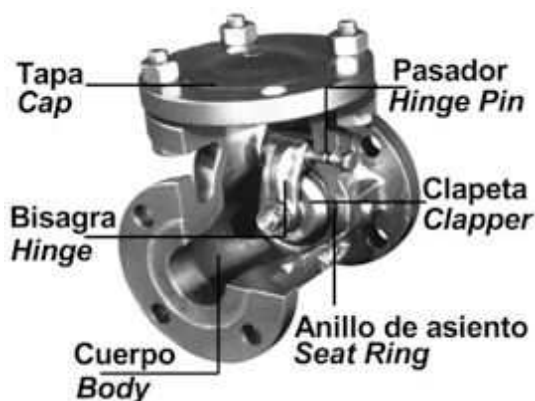


Figura 1.16: Válvula De Retención

La presión del fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierra.

Existen distintos tipos de válvulas de retención y su selección depende de la temperatura, caída de presión que producen y la limpieza de fluido.

Ciertas válvulas de retención se pueden equipar con pesos externos. Esto producirá el cierre rápido del disco. Este tipo de válvula se compone principalmente de asiento, cuerpo, disco y pasador oscilante.

1.3.2.3 Válvulas de Globo

La principal función de las válvulas de globo es regular el flujo de un fluido. Estas válvulas regulan el fluido desde el goteo hasta el sellado hermético. Además siguen siendo eficientes para cualquier posición del vástago. La figura 1.17 muestra una válvula de globo.

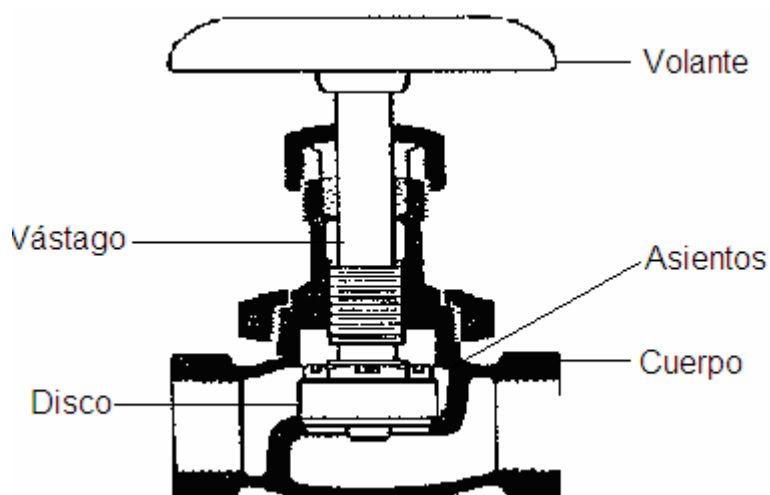


Figura 1.17: Válvula De Globo

Debido a que la caída de presión es bastante fuerte (en todo caso siempre controlada) se utilizan en servicios donde la válvula de compuerta no funciona adecuadamente.

Estas válvulas necesitan igual espacio y pesan casi lo mismo que las válvulas de compuerta. Una de las características que posee esta válvula es la construcción

interna, donde posee un disco o macho cuyo movimiento se da en forma perpendicular al fluido dentro del cuerpo de la válvula.

Se componen principalmente de volante, vástago, bonete, asientos, disco y cuerpo.

1.3.2.4 Válvulas de macho

Es una válvula de 1/4 de vuelta. Dado que el flujo por la válvula es suave y sin interrupción, existe poca turbulencia dentro de ella y por lo tanto la caída de presión es baja. La figura 1.18 muestra una válvula de macho.

El macho es cónico o cilíndrico y tiene un conducto por el cual circula el líquido. En la posición abierta, la cavidad en el macho conecta los extremos de entrada y salida de la válvula y permite flujo lineal.

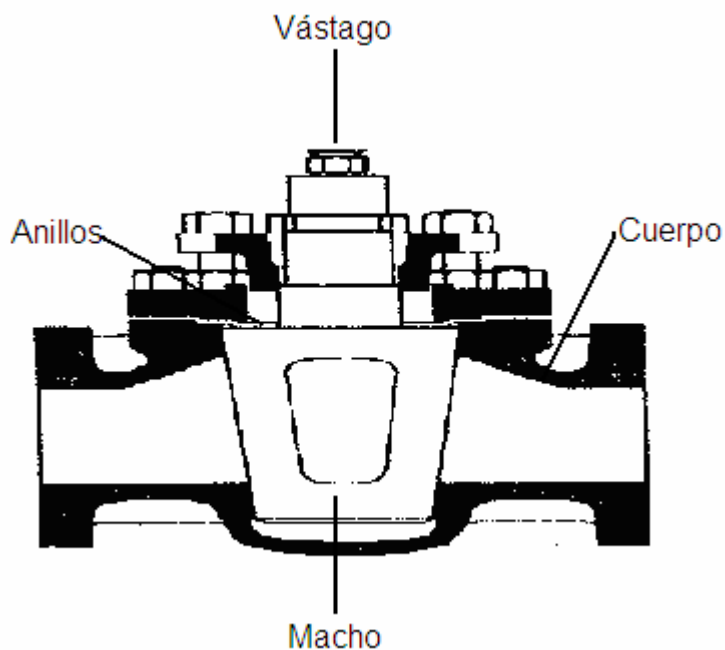


Figura 1.18: Válvula De Macho

Un problema pequeño con este tipo de válvulas es que se endurecen si no son accionadas periódicamente.

Una característica importante de la válvula de macho es su fácil adaptación al tipo de orificios múltiples.

Las válvulas macho se utilizan en plantas con procesos químicos. Además, con este tipo de válvula se produce una baja en los costos por su precio relativamente bajo en comparación con otras válvulas.

1.3.2.5 Válvulas de Bola

Este tipo de válvulas poseen un macho esférico que controla la circulación del líquido. Son válvulas de macho modificadas y su uso está limitado debido al asentamiento de metal con metal, que no permite el debido cierre. La figura 1.19 muestra una válvula de bola.

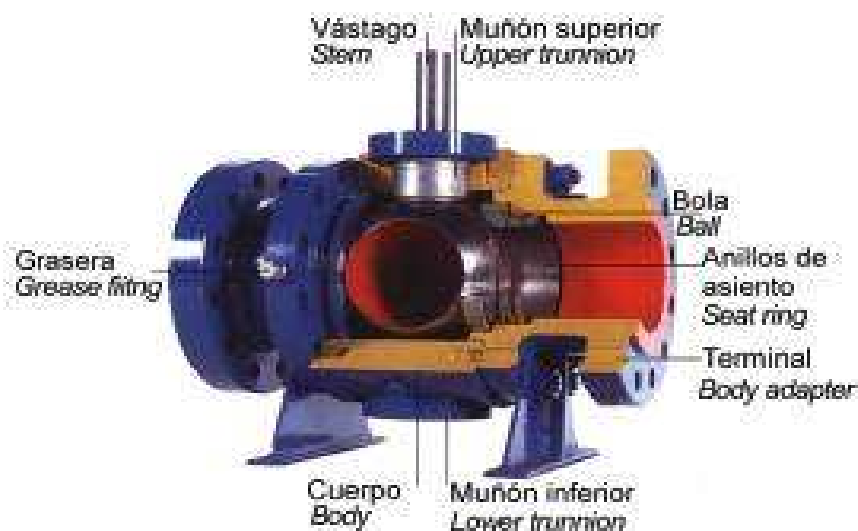


Figura 1.19: Válvula De Bola

Ahora, producto de los avances en la fabricación de plásticos se han sustituido los asientos metálicos por plastómeros modernos.

Consisten en un cuerpo con orificio de vénturi y anillos de asientos, una bola para producir el cierre y una jaula con vástago para desplazar la bola en relación con el orificio. Son rápidas para operarlas, de mantenimiento fácil y su caída de presión es función del tamaño del orificio.

La válvula de bola está limitada a las temperaturas y presiones que permite el material del asiento. Se puede emplear para vapor, agua, aceite, gas, aire, fluidos corrosivos, pastas aguadas y materiales pulverizados secos.

1.3.2.6 Válvulas de mariposa

Son válvulas de $\frac{1}{4}$ de vuelta. El nombre de estas válvulas viene de la acción tipo aleta del disco regulador de flujo, el que opera en torno a un eje que está en ángulo recto al flujo. Esta válvula obtura⁵ y regula. La figura 1.20 muestra una válvula de mariposa.

La válvula de mariposa consiste en un disco (llamado también chapaleta u hoja), un cuerpo con cojinetes y empaquetadura para sellamiento y soporte, y un eje.

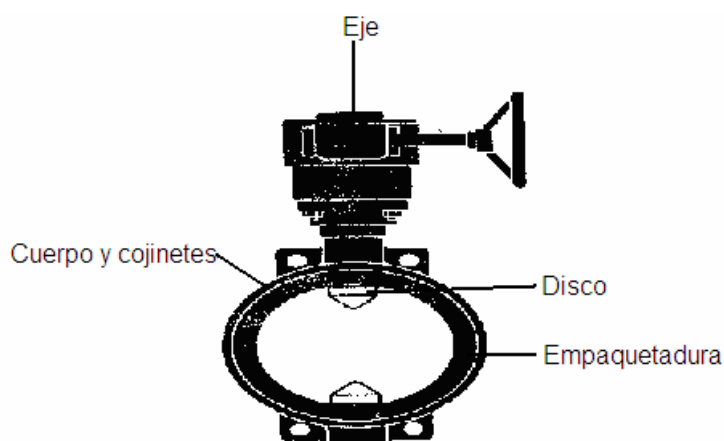


Figura 1.20: Válvula De Mariposa

⁵ Obturar: Proceso en el cual el vástago (eje más tapón) obstruye el paso del líquido a través del cuerpo de la Válvula.

Este tipo de válvula es recomendada y usada especialmente en servicios donde el fluido contiene gran cantidad de sólidos en suspensión, ya que por su forma es difícil que estos se acumulen en su interior entorpeciendo su funcionamiento.

Aunque estas válvulas son excelentes utilizándolas para control de fluido, su uso más común es para servicio de corte y estrangulamiento cuando se manejan grandes volúmenes de gases y líquidos a presiones relativamente bajas. Para la estrangulación el disco se mueve a una posición intermedia, en el cual se mantiene por medio de un seguro. Para el corte el disco obstruye totalmente el paso del fluido.

1.3.2.7 Válvulas de diafragma

Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples; se utilizan para el corte y estrangulación de líquidos con gran cantidad de sólidos en suspensión, además desempeñan una serie de servicios importantes para el control de fluido. La figura 1.21 muestra una válvula de diafragma.

Entre sus componentes principales se tiene el cuerpo, el bonete y el diafragma flexible.

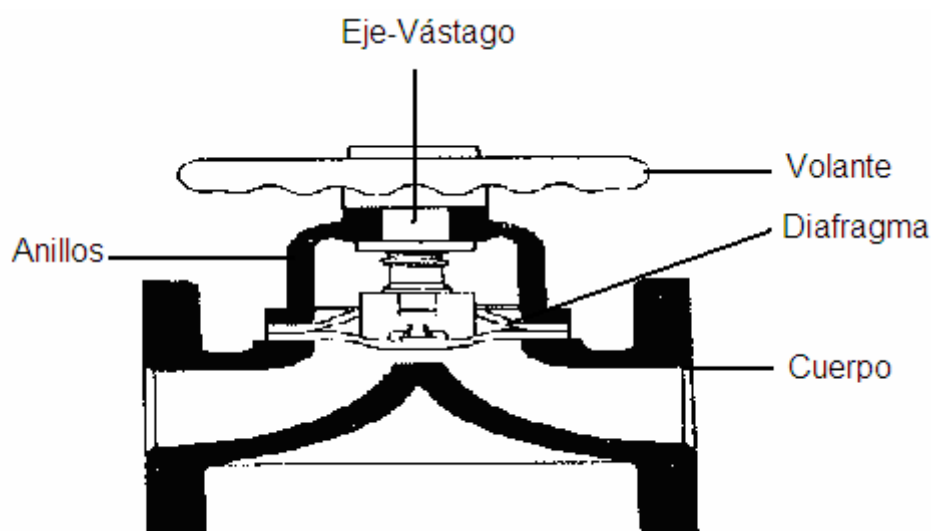


Figura 1.21: Válvula De Diafragma

Las aplicaciones de este tipo de válvula son para presiones bajas y pastas aguadas que a la mayoría de los demás equipos los corroerían y obstruirían; para fluidos corrosivos, materiales pegajosos o viscosos, etc.

Cuando la válvula se abre, se produce la elevación del diafragma quedando éste fuera de la trayectoria de flujo, por lo que el líquido tiene un paso suave y sin obstrucciones. Cuando se cierra la válvula, el diafragma asienta con rigidez contra un vertedero o zona circular en el fondo de la válvula.

1.3.3 VÁLVULAS AUTOMÁTICAS DE CONTROL

Las válvulas automáticas de control generalmente constituyen el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comportan como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

1.3.3.1 Partes de la válvula de control

Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

1.3.3.1.1 Actuador

El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros por ser los más sencillos y de rápida acción. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la Figura 1.22. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 psi, en la mayoría de los actuadores se selecciona el área del diafragma y la constante del

resorte de tal manera que un cambio de presión de 12 psi, produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

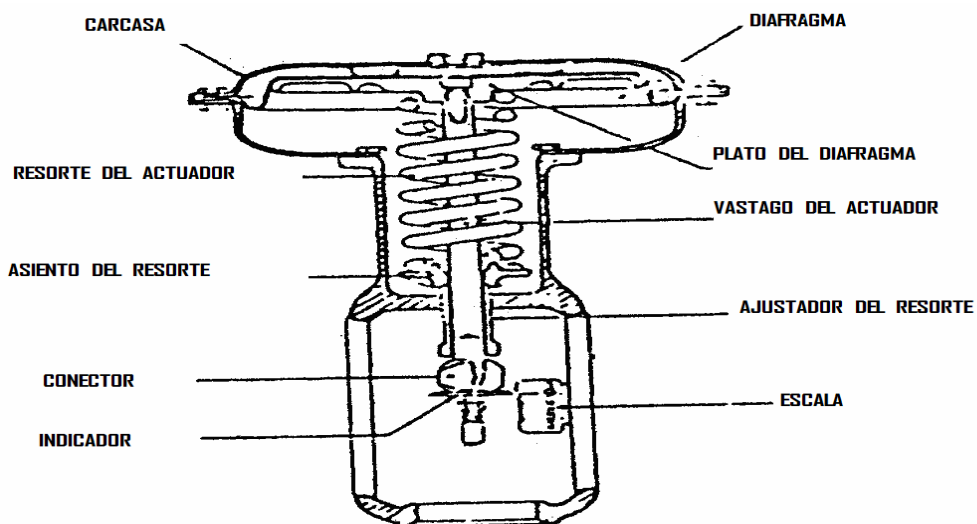


Figura 1.22: Actuador De Una Válvula De Control.

1.3.3.1.2 Cuerpo de la válvula

Está provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular.

1.4 SISTEMAS DE CONTROL

1.4.1 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, biológicos, etc. Va ligado a prácticamente todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.)

Son sistemas que pretenden la ausencia de un operador para que se realicen las operaciones necesarias dentro de un proceso cualesquiera. Pueden ser en lazo abierto o en lazo cerrado

1.4.1.1 Sistemas de control en lazo cerrado

También llamado sistema de control realimentado, es aquel que compara la salida del sistema con la entrada de referencia y usa la diferencia como medio de control para poder obtener una salida deseada. Dicha señal de error es llevada al controlador a fin de reducir el error y llevar al sistema a un valor conveniente. Tienen además la característica de que no requieren de un operador al poseer un sistema de medición y actuación, por lo que también se los llama sistemas de control automático.

Son sistemas de tipo robusto que resisten perturbaciones internas y externas por lo que debido a la realimentación la salida se mantendrá en valores convenientes.

El diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado se muestra en la figura 1.23.

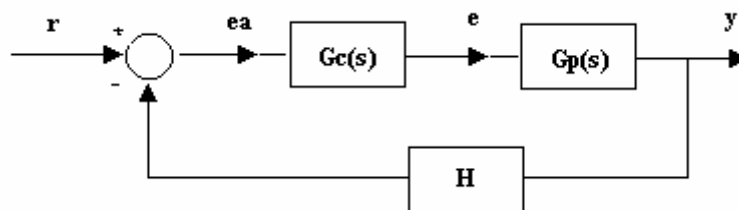


Figura 1.23: Sistema De Control En Lazo Cerrado.

1.4.1.2 Sistema de control en lazo abierto

Son sistemas en los cuales la salida no afecta la señal de control, es decir, que el sistema de control en lazo abierto no mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia, por tanto a cada entrada de referencia, le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, este sistema de control no realiza la tarea deseada. En la práctica, este tipo de sistema de control solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones externas e internas.

El diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto se muestra en la figura 1.24.



Figura 1.24: Sistema De Control En Lazo Abierto

1.4.1.3 Comparación entre estos dos tipos de sistemas

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto.

Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto, es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante. Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.⁶

Para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable usar un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado solo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones impredecibles en los componentes del sistema.

La cantidad de elementos utilizados en un sistema de control en lazo cerrado es mayor que la que se utiliza para un sistema de control en lazo abierto equivalente. Por lo tanto, el sistema de control en lazo cerrado suele tener costos y potencias más grandes. Para disminuir la energía requerida de un sistema, se emplea un control en lazo abierto cuando puede aplicarse. Por lo general, una combinación adecuada de controles en lazo abierto y lazo cerrado es menos costosa y ofrecerá un desempeño satisfactorio del sistema en general.

En un sistema de control automático en lazo cerrado intervienen:

⁶ OGATA, "Ingeniería de Control Moderna", 3era edición, pags 7 y 8

1.4.1.4 Proceso

Operación que conduce a un resultado determinado.

1.4.1.5 Planta

Es el elemento físico que se desea controlar. Planta puede ser: un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

1.4.1.6 Sistema

Consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

1.4.1.7 Señal de salida

Es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, etc.). También se denomina variable controlada.

1.4.1.8 Señal de referencia

Es el valor que se desea que alcance la señal de salida.

1.4.1.9 Error

Es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

1.4.1.10 Señal de control

Es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya, o elimine, el error.

1.4.1.11 Señal análoga

Es una señal continua en el tiempo.

1.4.1.12 Señal digital

Es una señal que solo toma valores de 1 y 0. El PC solo envía y/o recibe señales digitales.

1.4.1.13 Conversor análogo/digital

Es un dispositivo que convierte una señal analógica en una señal digital (1 y 0).

1.4.1.14 Conversor digital/análogo

Es un dispositivo que convierte una señal digital en una señal analógica (corriente o voltaje).

1.4.1.15 Perturbación

Es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

1.4.1.16 Sensor

Es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica codificada ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores o transductores analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios ó 4 a 20 mA.

1.4.1.17 Actuador

Es un dispositivo de potencia que produce la entrada para la planta de acuerdo con la señal de control, a fin de que la señal de salida se aproxime a la señal de entrada de referencia.⁷

1.4.1.18 Transmisor

Es en conjunto un sensor que convierte el valor de una magnitud física, en una señal eléctrica normalizada, sea esta digita o análoga; y un circuito de acondicionamiento que permite su manejo.

1.4.1.19 Controlador

Es un dispositivo que compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reducirá la desviación a cero o a un valor pequeño. La manera en la cual el controlador produce la señal de control se denomina *acción de control*.

⁷ OGATA, “Ingeniería de Control Moderna”, 3era edición, págs 212 y 213

Un controlador puede ser por ejemplo: un PLC (Controlador Lógico Programable) o un Microcontrolador.

1.5 MICROCONTROLADOR

Un controlador es un dispositivo electrónico encargado de, valga la redundancia, controlar uno o más procesos. Al principio, los controladores estaban formados exclusivamente por componentes discretos. Más tarde, se emplearon procesadores rodeados de memorias, circuitos de E/S sobre una placa de circuito impreso (PCB). Actualmente, los controladores integran todos los dispositivos antes mencionados en un pequeño chip. Esto es lo que hoy se conoce con el nombre de microcontrolador.

1.5.1 ARQUITECTURA INTERNA DE UN MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico complejo formado por otros más sencillos.

A continuación se analizan los más importantes.

1.5.1.1 Procesador

Es la parte encargada del procesamiento de las instrucciones. Debido a la necesidad de conseguir elevados rendimientos en este proceso, se ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura Harvard⁸.

1.5.1.2 Memoria

⁸ Arquitectura Harvard: bus de instrucciones y bus de datos independientes

Es un dispositivo de almacenamiento de datos. Puede ser de dos tipos: De almacenamiento permanente, cuyos datos permanecen almacenados en ausencia de energización de la misma; o de almacenamiento transitorio, cuyos datos se pierden si no hay energización.

1.5.1.3 Buses

Son los medios físicos a través de los cuales se tiene flujo de datos o de información de un dispositivo hacia otro.

1.5.2 ESTRUCTURA INTERNA

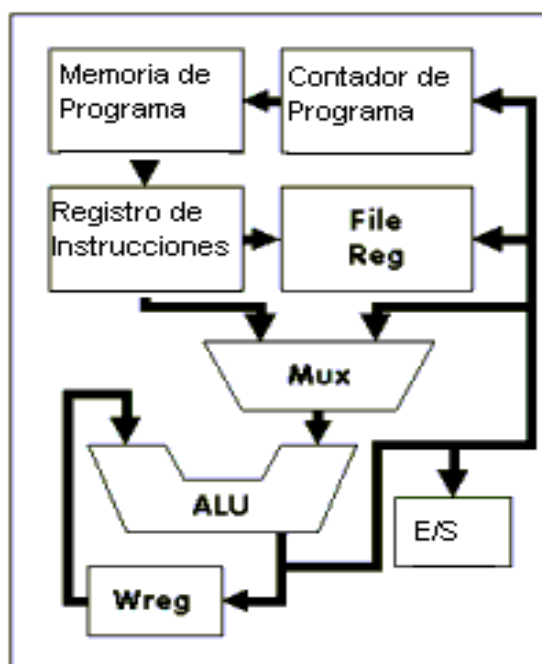


Figura 1.25: Estructura Interna Del Microcontrolador

A este chip se le conoce también como microcomputadora, porque tiene todos los componentes y recursos necesarios para serlo.

CPU (Central Processor Unit o Unidad de Procesamiento Central): Interpreta las instrucciones de programa.

Memoria PROM (Programmable Read Only Memory o Memoria Programable Solamente para Lectura): Memoriza permanentemente las instrucciones de programa. Otros modelos de microcontroladores tienen memoria de programa de tipo EEPROM y otros de tipo FLASH.

Memoria RAM (Random Access Memory o Memoria de Acceso Aleatorio): Utilizada para memorizar las variables utilizadas para el programa.

LINEAS de E/S: Para controlar dispositivos externos o recibir pulsos de sensores, switches, etc.

Dispositivos auxiliares: Para su funcionamiento, como puede ser generador de clock, bus, contador, etc.

Los microcontroladores se usan entre otras cosas para manejar teclados, lcd, a través de los cuales se ingresan datos y se visualizan las variables de un determinado proceso. Se pueden utilizar para control y automatización, como por ejemplo control de iluminación, control de nivel, control de caudal, etc; ya que cada vez vienen con un mayor número de interfaces como: puerto USB, Puerto Ethernet con Protocolo TCP/IP, Linux incorporado, etc.

El PLC es un sistema más robusto que un microcontrolador, es decir, que soporta interferencia electromagnética y de cualquier tipo. En el caso del microcontrolador, se deberán tomar medidas que protejan al sistema de interferencias, por ejemplo desarrollo de filtros.

1.6 CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE

Es un elemento de estado sólido que controla elementos de salida basados en el estado de las entradas, y un programa desarrollado por el usuario. Fueron

originalmente desarrollados para reemplazar a los relés usados para control discreto. Son ampliamente utilizados en la industria para automatizar procesos, por ejemplo en las envasadoras de agua, en donde el PLC recibe las señales de los sensores de nivel, posición, contadores; y de acuerdo de éstas, habilita actuadores que llenan las botellas, mueven bandas trasportadoras, etc. La figura 1.26 muestra el esquema básico de un PLC

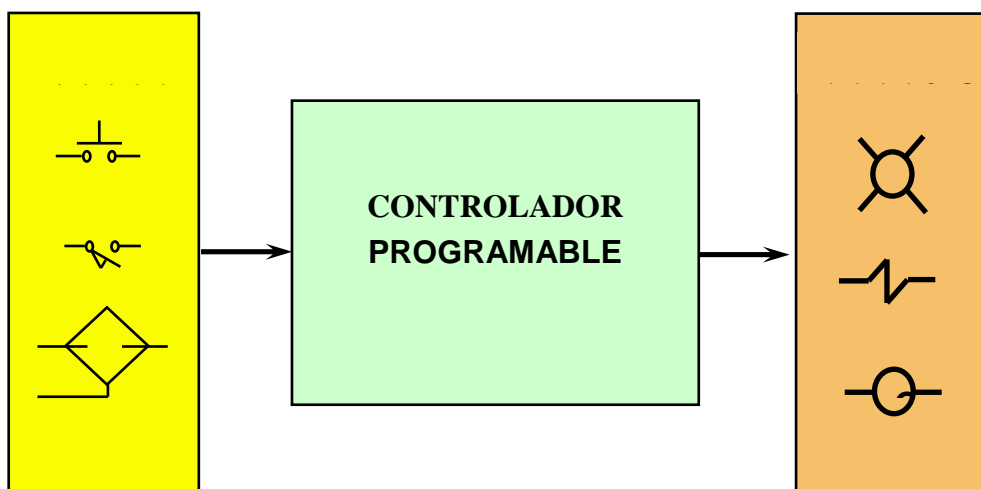


Figura 1.26: Esquema Básico De Un PLC.

1.6.1 CICLO DE OPERACIÓN DE UN PLC

El ciclo de operación de un PLC consiste, como se muestra en la figura 1.27, en un chequeo de las entradas para ejecutar, de acuerdo a esta información, el programa y actualizar las salidas.

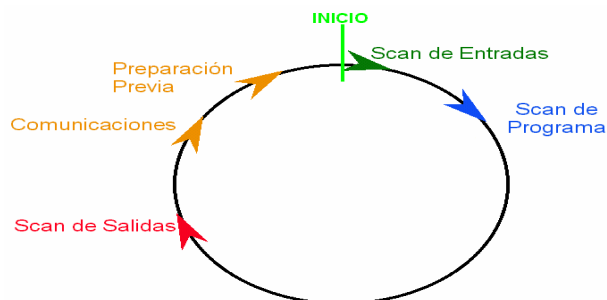


Figura 1.27: Ciclo De Operación De Un PLC

La figura 1.28 muestra la estructura tanto interna como externa de un PLC

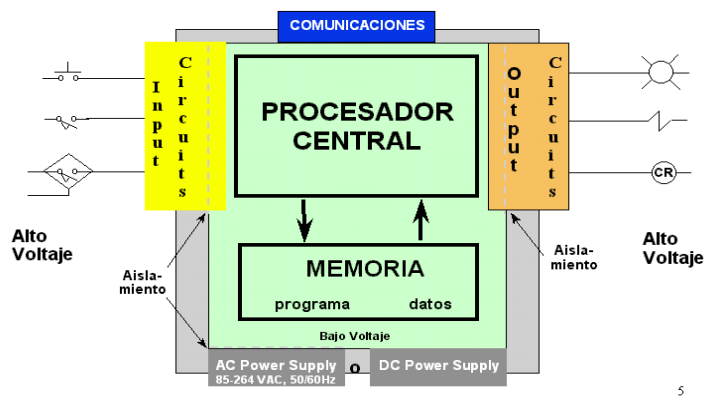


Figura 1.28: Estructura Interna Y Externa De Un PLC

1.6.2 EXTRUCTURA EXTERNA

1.6.2.1 Elementos de entrada

- Pulsantes
- Switches Selectores
- Contactos Auxiliares
- Contactos de Relé
- 120 VAC
- 240 VAC
- 12 VDC

- 24 VAC/VDC
- TTL

1.6.2.2 Elementos de salida

- Arrancadores de Motores
- Relés de Control
- Luces
- Relés
- 120 VAC/VDC
- 240 VAC/VDC
- 24 VAC/VDC

1.6.3 ESTRUCTURA INTERNA

Los PLC vienen en tamaños como:

- Micro con menos de 32 I/O
- Pequeño con menos de 128 I/O
- Mediano con menos de 1024 I/O
- Grande con más de 1024 I/O
- PLC fijos que tienen: Fuente de poder, Entradas, Salidas y pórtico de comunicaciones que están contenidos en un solo chasis. Los elementos de Entrada y Salida están cableados individualmente al controlador fijo.
- PLC fijos con expansión: la base es idéntica al PLC fijo estándar, pero además tiene la habilidad de manejar I/O adicionales.
- Modulares (sin rack – o con rack), que tienen procesadores, Fuentes de Poder y módulos de I/O enchufadas en un rack o chasis. Y
- Distribuidos en el cual todas las I/O son conectadas al procesador mediante un enlace de datos de “Alta Velocidad”.

Los Racks de entradas y salidas de un PLC se representan como:

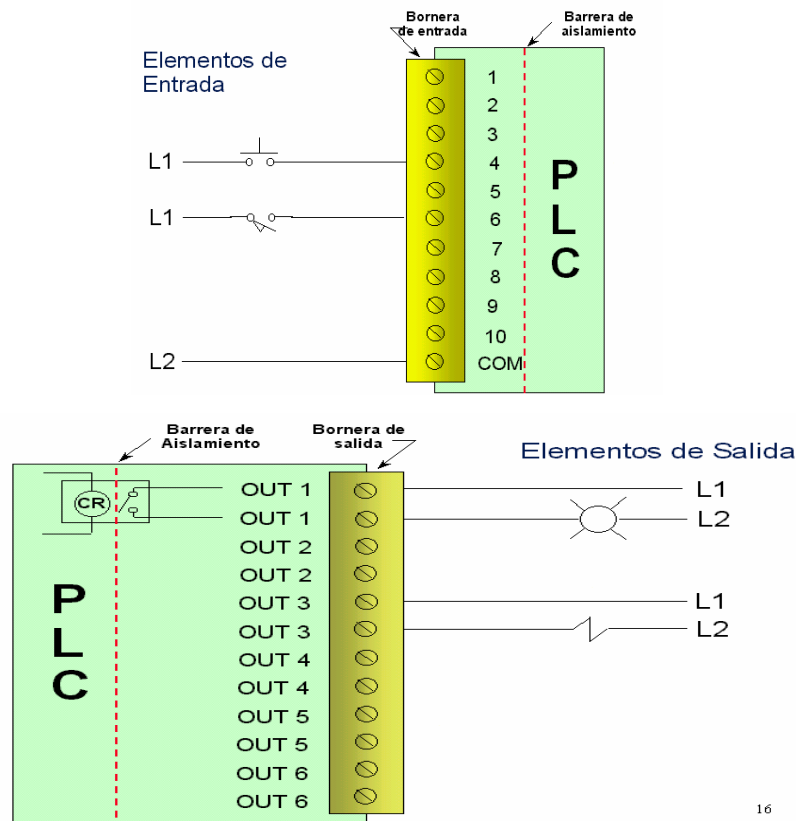


Figura 1.29: Racks De Un PLC

1.7 SISTEMAS HMI

1.7.1 SISTEMAS SCADA

SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Un SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo.

Un Sistema de Control Distribuido es un conjunto de lazos automáticos de control entre los cuales se establecen jerarquías en la toma de las decisiones intrínsecas del sistema.

En los sistemas SCADA, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las

acciones de control en forma automática. Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

En la tabla 1.1, se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los sistemas SCADA y los sistemas de Control Distribuido (DCS) (Estas características no son limitantes para uno u otro tipo de sistemas, son típicas).

Aspecto	Scada	Dcs
TIPO DE ARQUITECTURA	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA
TIPO DE CONTROL PREDOMINANTE	SUPERVISORIO: Lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO: Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, batch, algoritmos avanzados, etc.
TIPOS DE VARIABLES	DESACOPLADAS	ACOPLADAS
ÁREA DE ACCIÓN	Áreas geográficamente distribuidas.	Área de la planta.
UNIDADES DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL	Remotas, PLCs.	Controladores de lazo, PLCs.
MEDIOS DE COMUNICACIÓN	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN.	Redes de área local, conexión directa.
BASE DE DATOS	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA

Tabla 1.1: Características De Los Sistemas SCADA y de los DCS

1.7.1.1 Funciones

Dentro de las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA están las siguientes:

- Recabar, almacenar y mostrar información, en forma continua y confiable, correspondiente a la señalización de campo: estados de dispositivos, mediciones, alarmas, etc.
- Ejecutar acciones de control iniciadas por el operador, tales como: abrir o cerrar válvulas, arrancar o parar bombas, etc.
- Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios son almacenados en el sistema para su posterior análisis.
- Aplicaciones en general, basadas en la información obtenida por el sistema, tales como: reportes, gráficos de tendencia, historia de variables, cálculos, predicciones, detección de fugas, etc.

1.7.1.2 Interfaz

Un ordenador ayudado de un sistema de información consiste en tres principales componentes: hardware, software y usuario, como se muestra en la figura 1.30. La interacción de estos componentes es una de las más importantes partes del sistema: el interfaz hombre-máquina.

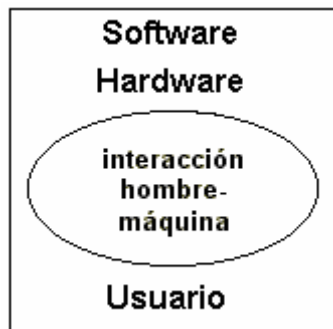


Figura 1.30: Sistema De Información

El interfaz hombre-máquina es un canal comunicativo entre el usuario y el ordenador.

1.8 ALGUNAS APLICACIONES DEL CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS

1.8.1 EN TANQUES DE INODOROS

Este es un ejemplo básico del control de nivel de agua que puede ser apreciado con facilidad en cada casa. El sistema mecánico consta de un flotador con un brazo que obstruye el paso del agua al tanque cuando ha llegado a una determinada posición por acción del empuje del agua y que permite el paso del agua al tanque cuando el nivel baja.

1.8.2 EN CISTERNAS

En cisternas interesa que se tenga una buena cantidad de agua almacenada. Generalmente el control se realiza mediante sensores conductivos que indican los niveles máximos y mínimos permitidos, siendo estas señales procesadas para

tomarse las respectivas acciones de control como por ejemplo prender ó apagar bombas.

1.8.3 EN LAS EMBOTELLADORAS

En el caso de las embotelladoras como por ejemplo: Cervecería, Coca Cola, Bebidas en general, se controla el nivel apropiado del líquido dentro del envase ya que si es mayor al deseado se tendrían pérdidas que pueden llegar a ser significativas. Por otro lado, si el nivel es menor al deseado la empresa perdería credibilidad en su medio. Esto indica que la medición del nivel debe ser exacta.

1.8.4 INDUSTRIA PAPELERA

Las balas de papel usado o celulosa se transportan sobre una cinta de carga hasta la procesadora de pulpa y allí se disuelven con agua. A partir de la medición del nivel se controla la correcta relación entre papel usado o celulosa y agua. Para esto, se utilizan transmisores de nivel basados en presión.

1.8.5 INDUSTRIA DE CRUDOS

En la producción de químicos existe la necesidad de almacenar los productos más diversos: hay que mantener provisiones de materias primas para garantizar la continuidad de la producción. Es preciso almacenar temporalmente diferentes productos semielaborados para continuar con su procesamiento en nuevos procesos químicos, y hay que almacenar el producto final mientras no sale de fábrica. Todo esto requiere una medición perfectamente exacta del contenido de los tanques.

Además de la medición continua de los niveles, la detección de nivel límite constituye una característica de seguridad esencial para los tanques de almacenamiento de productos. Aunque muchos sensores modernos destinados a

la medición continua de niveles han sido homologados como sistemas antidesbordamiento, no deja de ser cierto que el uso de un segundo principio de medición proporciona una seguridad óptima redundante.

1.8.6 NIVELIMETRÍA EN GRANDES TANQUES.

Para medir Movimientos y Operaciones se puede utilizar masa o volumen. El volumen puede ser derivado de la medición de nivel, mientras que la masa se puede medir en forma directa, por medio de transmisores de presión.

1.9 EQUIPO A CONSTRUIR

El Módulo Didáctico Para Control de Nivel de Líquidos, tiene como objetivo fundamental el dotar al laboratorio de Instrumentación de un equipo nuevo con el cual los estudiantes puedan capacitarse mediante la realización de prácticas de laboratorio.

El módulo consta de dos tanques: uno reservorio cuya capacidad es de 200000cm^3 y otro principal cuya capacidad es de 125000cm^3 que es el tanque en el cual se realiza la medición y control del nivel de agua. El elemento que realiza el control es un PLC (Controlador Lógico Programable), en el cual se procesan los datos y de acuerdo a éstos se toman las decisiones respectivas.

El equipo posee una bomba, con la cual el agua es llevada del tanque reservorio al tanque principal a través de una tubería con caudal constante. El caudal de salida del tanque principal es llevado al tanque reservorio a través de una tubería en la cual se tiene una servoválvula, formando así un circuito cerrado de agua.

La medición de nivel se hace con dos sensores continuos: un flotador potenciométrico y uno de presión diferencial; estas señales son llevadas al conversor AD de un microcontrolador y de éste son transmitidos al PLC vía serial

para ser procesados; con esto se evita la compra de entradas analógicas, Además se tienen dos sensores discretos: uno para nivel máximo y otro para nivel mínimo.

El monitoreo y control se puede hacer mediante: a) el control local, ubicado en el panel frontal de operador del módulo, el mismo que consta de una pantalla de visualización (LCD) y un teclado matricial; b) control a distancia (remoto), desde un PC, en el cual se tiene un HMI desarrollado en LabView.

En la figura 1.31 se muestra un esquema del Módulo:

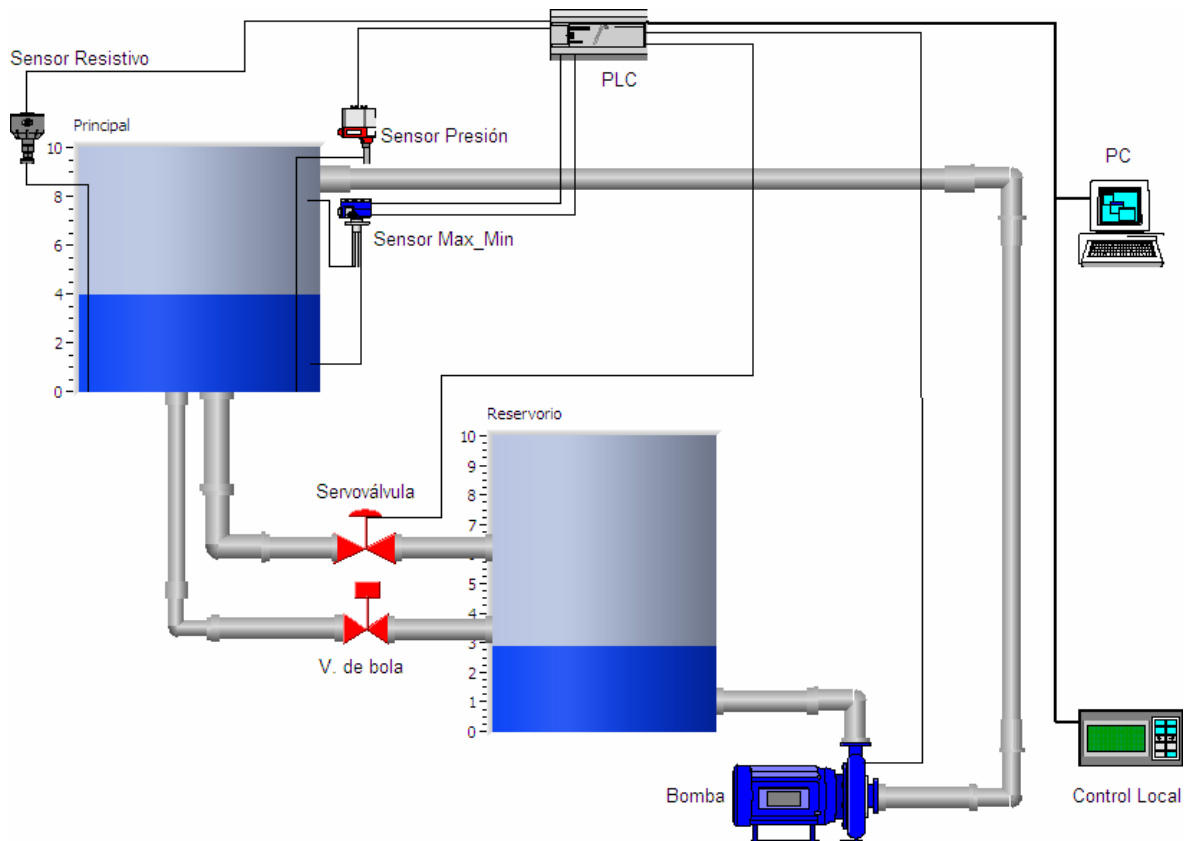


Figura 1.31: Esquema Del Módulo

CAPÍTULO 2

2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El Módulo Didáctico Para Control De Nivel De Líquidos está constituido por los elementos indicados en la figura 2.1



Figura 2.1 Partes constitutivas del módulo

1. Tanque Principal
2. Servoválvula
3. Presostato
4. Válvula de bola para perturbación

5. Manómetro
6. Tubería de descarga
7. Tubería de succión
8. Bomba
9. Tanque Secundario
10. Panel de operador (Control Local)
11. Tubería de vaciado principal
12. Tubería para perturbación
13. Tubo capilar para el sensor de presión
14. Flotador

El panel de operador consta de los elementos mostrados en la figura 2.2



Figura 2.2: Partes constitutivas del panel del operador

1. Luz indicadora de sobrepresión en la bomba
2. Luz indicadora de señal de perturbación

3. Interruptor principal con llave
4. Luz indicadora de sobrenivel
5. Luz indicadora de subnivel
6. Pulsante para parada de emergencia
7. Luz indicadora principal (Módulo encendido)
8. Luz indicadora para la bomba
9. Luz indicadora de servoválvula habilitada
10. Selector de tres posiciones para modo de funcionamiento (Manual ó Automático)
11. Display LCD de 20 columnas por 4 filas
12. Teclado matricial para ingreso de datos
13. Selector de tres posiciones para modo de funcionamiento (Control local ó Control remoto)
14. Potenciómetro de manipulación de abertura de la servoválvula
15. Conector DB-9 para comunicación con la PC (Control remoto)

2.1.1 MODOS DE OPERACIÓN DEL MÓDULO

El módulo didáctico de control de nivel de líquidos construido permite trabajar en dos modos de operación: MANUAL y AUTOMATICO, tanto para la interfaz gráfica diseñada en LabVIEW, como para el control local, el cual fue implementado por medio de un microcontrolador ATMEL M8515 y un LCD.

Los modos de operación se los puede seleccionar mediante dos selectores MANUAL-AUTOMATICO y PC-CONTROL LOCAL.

2.1.1.1 Modo Manual-Control Local

Este modo de operación permite realizar las siguientes operaciones:

- Prender bomba.
- Apagar bomba.
- Mover servoválvula.
- Visualizar el nivel del líquido por medio del LCD.
- Visualizar el estado de las variables del sistema mediante luces indicadoras.

2.1.1.2 Modo Manual-PC

Este modo de operación permite realizar las siguientes operaciones:

- Prender bomba.
- Apagar bomba.
- Mover servoválvula.
- Visualizar el nivel del líquido y la posición de la servoválvula en la interfaz gráfica hecha en Labview.
- Visualizar el estado de las variables del sistema mediante luces indicadoras.

2.1.1.3 Modo Automático-Control Local

Este modo de operación permite realizar las siguientes operaciones:

- Fijar el set point del nivel del líquido a través del teclado.
- Visualizar el nivel del líquido y posición de servoválvula a través del LCD.
- Visualizar el estado de las variables del sistema mediante luces indicadoras.

2.1.1.4 Modo Automático-PC

- Fijar el set point del nivel del líquido a través de la interfaz gráfica hecha en Labview.
- Visualizar el nivel del líquido y la posición de la servoválvula en la interfaz gráfica hecha en Labview.
- Visualizar el estado de las variables del sistema mediante luces indicadoras.

2.1.2 COMPONENTES DEL MÓDULO

2.1.2.1 Sensores de nivel

En un control de nivel de líquidos se debe tener una medida adecuada del nivel para que las acciones de control sean óptimas; por tanto, la selección de los sensores a utilizarse para la medición debe ser cuidadosa.

Los sensores que se utilizan en el presente proyecto son:

- Un sensor de presión diferencial.
- Un sensor Potenciométrico.
- Dos sensores ON-OFF para niveles máximo y mínimo.

2.1.2.1.1 *Sensor de presión diferencial*

Se utilizó un sensor de presión para gases ASCX01DN de la marca SENSYSM el que se indica en la figura 2.3



Figura 2.3 Sensor de presión

Para su selección se procedió de la siguiente manera:

Como el nivel a ser medido es en un tanque abierto, la presión puede ser calculada de la siguiente manera:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Donde:

P: Presión ejercida por el líquido

ρ : Densidad del agua

g: gravedad 9.8 m/s^2

h: Altura del líquido (agua)

Para este caso se tiene:

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$h_{\text{máxima}} = 0.4 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$P = 1000 \cdot 9.8 \cdot 0.4$$

$$P = 3.92 \text{ KPa}$$

Como: $1 \text{ Bar} = 100 \text{ KPa}$

Entonces se tiene:

$$P = 0.0392 \text{ bar}$$

Como $1 \text{ psi} = 0.069 \text{ bar}$

Entonces se tiene que la presión relativa máxima que debe soportar el sensor es:

$$P = 0.57 \text{ psi}$$

Con la presión obtenida, se escoge el sensor ASCX01DN que es un sensor de presión diferencial para gases, el cual será adecuado para medir la presión ejercida por el empuje del agua, a medida que el nivel varíe; es decir, se mide indirectamente el nivel del líquido ya que el agua empuja el aire contenido en una sonda, cuyo extremo bajo se ubica en la base del tanque y su extremo alto en el sensor. Dicho sensor se escogió por su costo, ya que resulta económico frente a un sensor de medición directa de presión diferencial en aplicaciones de nivel de líquidos. El sensor tiene las siguientes características:

- Presión de operación 0-1 psi de presión relativa.
- Presión de operación 0-20 psi de presión absoluta
- Error en la escala completa de 18mv
- Salida de voltaje de 0 a 4.5 V.

A continuación en la figura 2.4 se presenta el circuito de acondicionamiento utilizado para manejar el sensor de presión ASX01DN:

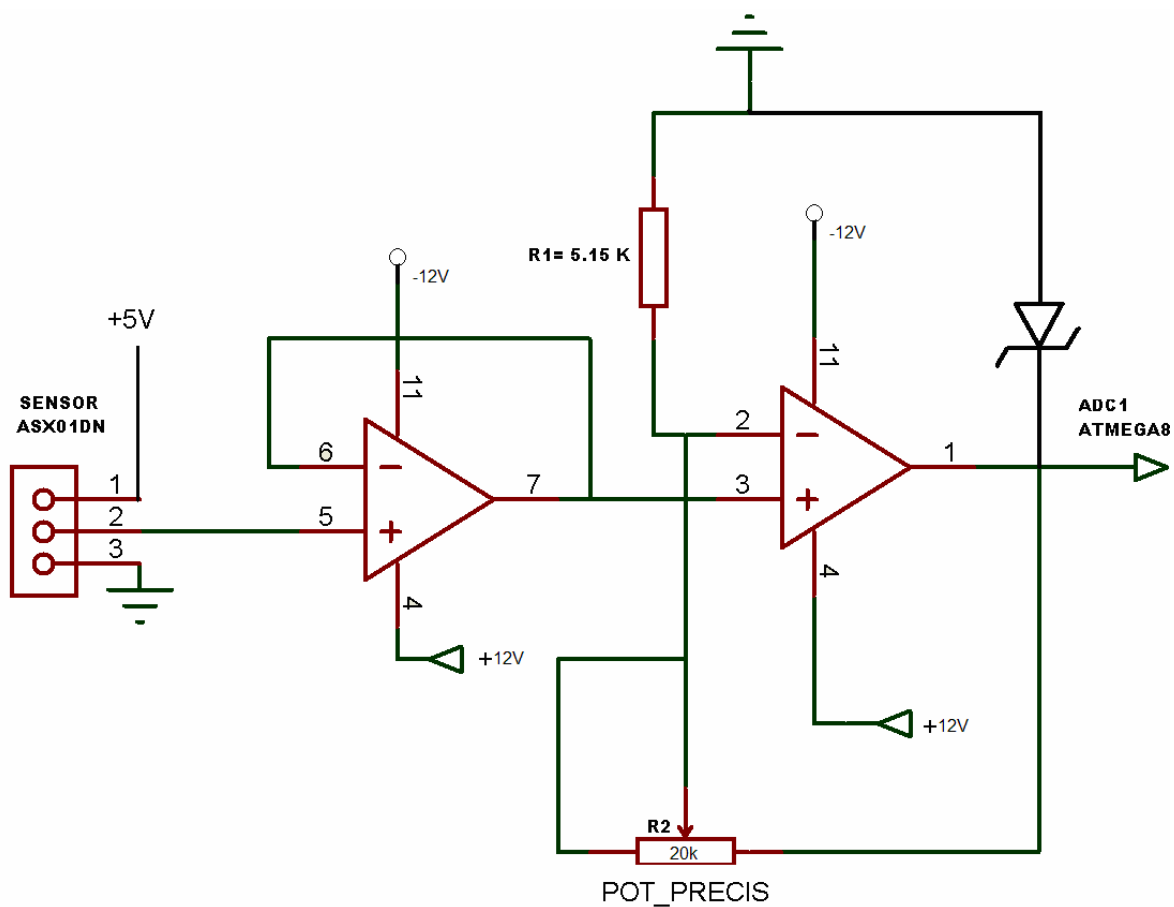


Figura 2.4: Sensor de presión diferencial

El voltaje que entrega el sensor ASX01DN a la salida está en un rango de 0 a 4.5 Vdc cuando este trabaja en todo su rango (de 0 a 1 psi de presión relativa), pero en este caso no se cubre todo el rango y solo se trabaja de 0 a 1,7 Vdc, para lo cual se procedió en primera instancia a realizar un seguidor el cual sirve para evitar caídas de voltaje a la salida del sensor y luego se diseñó un amplificador no

inversor para obtener un rango de trabajo de 0 a 5 Vdc el cual ingresará al conversor AD del microcontrolador ATMEGA8.

$$G = 1 + \frac{R2}{R1}$$
$$\frac{Vo}{Vi} = 1 + \frac{R2}{R1}$$
$$\frac{5}{1.7} = 1 + \frac{10K}{R1}$$

R2 potenciómetro de precisión de 20K

R1=5.15 KΩ

2.1.2.1.2 Sensor Potenciométrico

Se utilizó un sensor de nivel de gasolina similar al utilizado en los tanques de los automóviles como se puede apreciar en la figura 2.5; este tipo de sensor tiene las siguientes características:



Figura 2.5: Sensor Potenciométrico

- Puede usarse en tanques abiertos y cerrados.
- La operación de este dispositivo se basa en el principio de Arquímedes.
- La variación de la resistencia del sensor varía linealmente con la variación del nivel del líquido.

- Está constituido por un flotador pendiente de un brazo metálico conectado a una resistencia variable a quien transmite su movimiento.
- Si el nivel alcanza al flotador lo empuja en sentido ascendente.
- La resistencia variable tiene un rango de 18 Ohmios a 150 Ohmios.

Para acondicionar la señal del sensor potenciométrico se usa un puente wheatstone en cascada con un amplificador diferencial inversor como se muestra en la figura 2.6.

Se procede en primer lugar a calcular de wheatstone en el cual forma parte la resistencia variable del sensor potenciométrico que varia en un rango de 18 a 150Ω , a la salida del mismo se obtiene un voltaje diferencial negativo de $-4,36$ Vdc que se lo ingresa a un amplificador diferencial inversor para conseguir un voltaje positivo a la salida del mismo de $+4,36$ Vdc el cual ingresa al conversor AD del microcontrolador ATMEGA8 para su tratamiento,

$$V_o = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V - \frac{R_4}{R_3 + R_4} V$$

$$V_o = V \left[\frac{1}{\frac{R_1}{R_2} + 1} - \frac{1}{\frac{R_3}{R_4} + 1} \right]$$

$$K = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{Si } K = 10$$

$$R_1 = 100K\Omega$$

$$R_2 = 10K\Omega$$

Se realiza el dimensionamiento para la resistencia baja del sensor potenciométrico que es $R_4 = 18\Omega$, para lo cual se dan las siguientes condiciones:

Con $V = 12$ Vdc y $R_4 = 18\Omega$ se obtiene $V_o = 0$ V dc; dado que V_o es cero voltios es necesario calcular el voltaje para $R_4 = 150\Omega$ que sería el otro extremo:

$$V_o = 12 \left[\frac{1}{10 + 1} - \frac{1}{\frac{180}{150} + 1} \right] = 12 \left[\frac{1}{11} - \frac{1}{2.2} \right]$$

$$V_o = -4.36Vdc$$

La siguiente etapa en el acondicionamiento del sensor potenciométrico es un amplificador diferencial inversor debido a que a la salida del puente wheatstone se tiene un voltaje diferencial negativo y se lo dimensionó de la siguiente manera:

Si:

$$R5 = 100K\Omega, R6 = 100K\Omega \text{ y } R8 = 100K\Omega$$

Y asumiendo una ganancia $G=-1.2$ para obtener a la salida del amplificador un voltaje de 5 V ya que a la entrada del mismo se tiene un voltaje de -4.36 V.

$$G = \frac{R7}{R6} = -1.2 = \frac{R7}{100K\Omega}$$

$$R7 = -1.2 * 100K\Omega, \text{ por lo tanto } R7=120K\Omega$$

La figura 2.6 muestra el circuito de acondicionamiento del sensor potenciométrico.

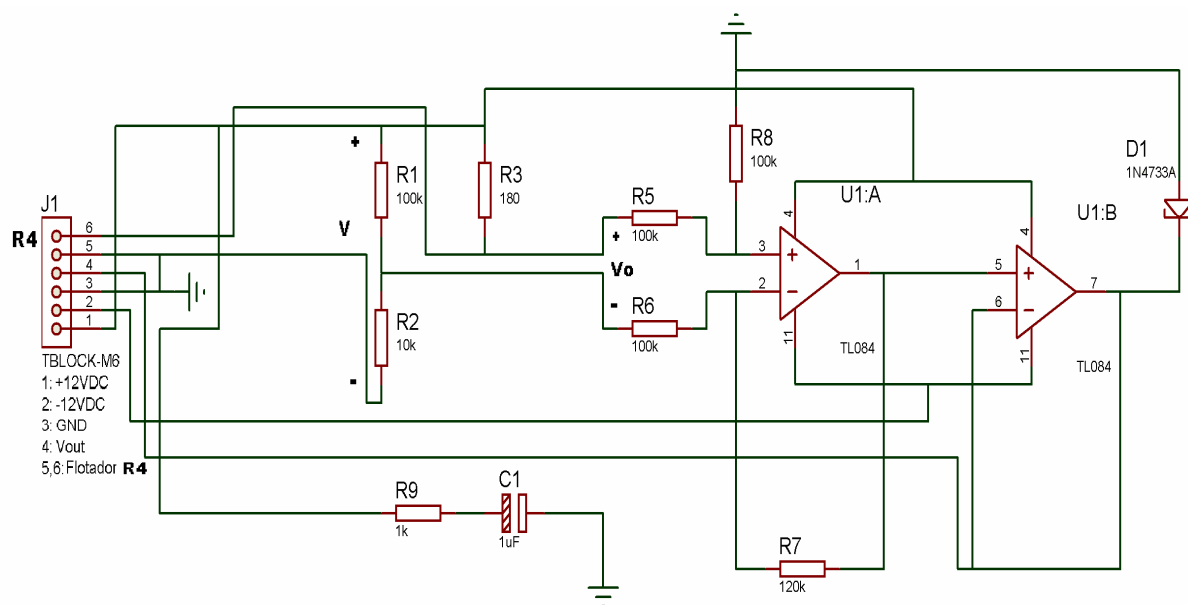


Figura 2.6: Circuito de acondicionamiento del sensor potenciométrico

2.1.2.1.3 Sensores ON-OFF conductivos

Se utilizaron 2 sensores ON-OFF conductivos tipos relé como se puede apreciar en la figura 2.7:

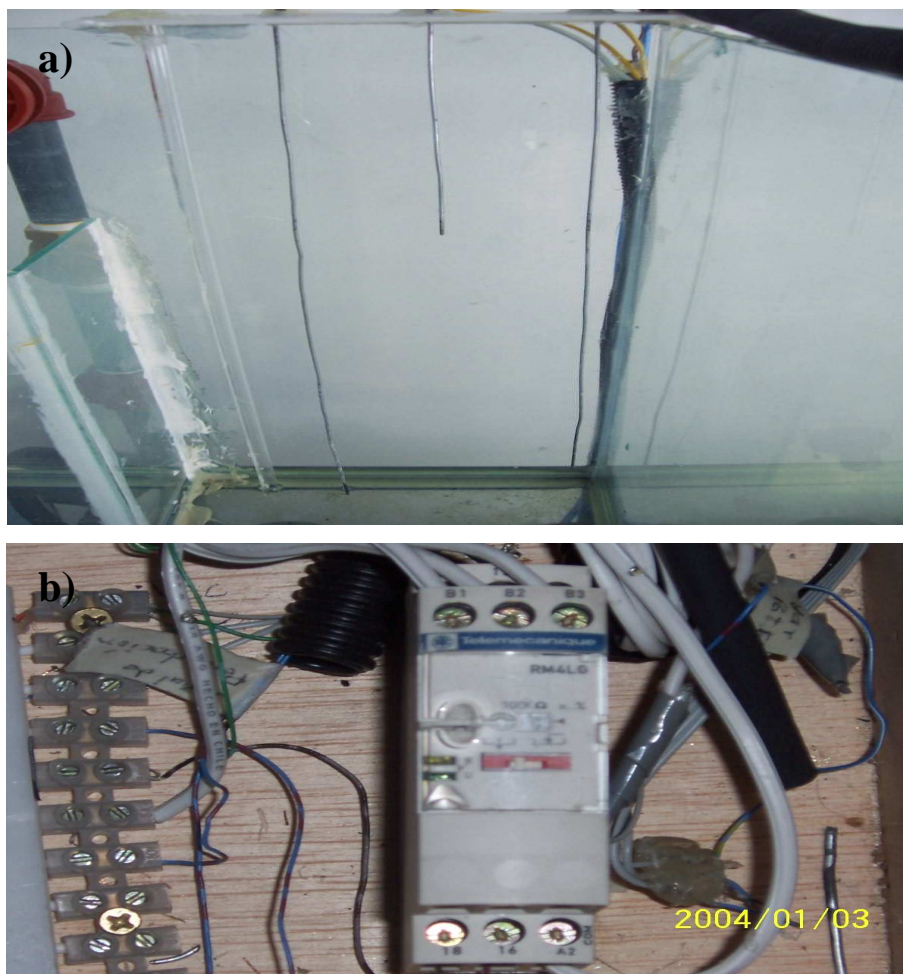


Figura 2.7: a) Sensores ON-OFF conductivos, b) acondicionamiento de los sensores.

Estos sensores tienen en su acondicionamiento dos contactos uno cerrado y otro abierto con un punto común para los dos, los mismos que son utilizados para detectar el nivel mínimo y el máximo respectivamente, y que son conectados a las entradas del PLC.

2.1.2.2 Servoválvula

Una servoválvula permite hacer un control continuo del caudal entre sus valores máximo y mínimo, que dependen de las posiciones entre totalmente abierta y totalmente cerrada de la servoválvula, respectivamente. En el caso del Proyecto

planteado, servirá para controlar el nivel a través del control del caudal de salida del tanque principal.

Los componentes principales de la servo válvula son: parte motriz y cuerpo o actuador; la parte motriz, que es en general un motor DC, es la que regula la abertura del actuador (válvula), controlando de esta manera el caudal de salida.

En el mercado se tienen servoválvulas de algunos fabricantes, pero su precio es elevado, está entre los 600 y 1200 dólares, por tratarse de elementos para trabajo en la industria; es decir, que no se fabrican con fines didácticos.

Este es el motivo por el cual se optó por construir una servoválvula, teniendo ésta por elementos constitutivos: un motor DC (parte motriz), una válvula de control (actuador) y un potenciómetro multivuelta, que servirá para sensor la posición de la válvula de control entre sus estados: totalmente abierta y totalmente cerrada, es decir entre 0% y 100% de su apertura. A continuación en la figura 2.8 se presenta la servoválvula construida:



Figura 2.8: Servoválvula

Para construir la servoválvula se seleccionaron sus componentes: el motor de DC, la válvula de control y acoplamiento Motor-Válvula de la siguiente manera:

2.1.2.2.1 Parte Motriz: Motor DC

Por la disponibilidad y por sus características, se escogió un motor DC que es usado normalmente para mover las plumas de los autos. Este tipo de motores son construidos para trabajo intermitente y (ó) continuo, y además tienen un buen torque, lo cual se acopla perfectamente con los fines del proyecto, ya que dicho motor será el encargado de accionar la válvula de control.

2.1.2.2.2 Actuador: Válvula De Control

Existen numerosos tipos de válvulas diseñadas para cierto tipo de uso, la mala elección de éstas puede llevar al mal funcionamiento, en general, de una planta y así acortar la vida útil, lo que conlleva a un aumento excesivo de costos.

En la selección de la válvula se requiere de los siguientes datos:

Tipo de fluido, material, presión, tipo de unión, temperatura, diámetro, etc.

Debido a esto al seleccionar una válvula se tiene la necesidad de recurrir a catálogos para ver algunas especificaciones técnicas como el peso, espacio disponible u otros factores para así ver si concuerda los objetivos planteados.

El tipo de fluido que se va a manejar en este proyecto es agua, la misma que para una altura de 40cm (máxima altura del tanque) provoca una presión de 0.57 psi a temperatura ambiente de 25°C.

En el tanque se tiene una disminución de presión debida a la salida de caudal a través de la servoválvula, y un incremento de carga debida al caudal ingresado por la bomba. Por lo que en este caso se requiere de una válvula de comportamiento lineal del flujo con relación a la elevación del vástago, como se muestra en la figura 2.9:

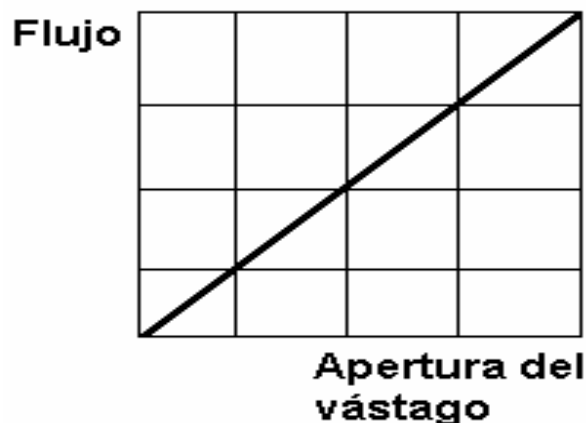


Figura 2.9: Respuesta de una válvula de comportamiento lineal

Además, se requiere de una válvula de estrangulación (estrechamiento de la tubería de paso) y regulación de caudal, que esté diseñada para trabajo continuo, con desgaste mínimo debido a la erosión, y que los daños debidos a la cavitación (formación de burbujas de vapor o de gas en el líquido a causa de la variación de su presión) sean despreciables.

Luego de este análisis se selecciona una válvula de globo de marca CRANE $\frac{3}{4}$ " ya que el diámetro de la tubería es de $\frac{3}{4}$ ",

2.1.2.2.3 Acoplamiento Motor-Válvula

Se construyeron, con la ayuda de un torno, dos discos (uno de ellos es una polea) de hierro para lograr el acoplamiento entre el eje motor y la válvula. El motor se montó sobre una platina. Se construyó además una polea plástica, la misma que va acoplada al eje del potenciómetro multivuelta, con el objetivo de unirla a la polea de la válvula a través de una banda para la transmisión del movimiento. Así, el potenciómetro se convierte en el sensor de posición del vástago de la válvula entre 0% y 100% de su apertura de acuerdo a los valores de voltaje que posea, los mismos que están entre 0 voltios y un valor máximo de voltaje, dado por el valor máximo de resistencia que se alcance cuando la válvula llegue al 100% de su apertura.

Las dimensiones de las poleas se escogieron mediante la relación:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

Donde:

n_1 = número de vueltas de la polea mayor

n_2 = número de vueltas de la polea menor

r_1 = radio de la polea mayor

r_2 = radio de la polea menor

Como la válvula gira aproximadamente cinco vueltas y media entre 0% y 100% de su apertura y el potenciómetro gira diez vueltas entre sus valores máximo y mínimo (0 Ω – 5 K Ω), lo que se quiere es que cuando la válvula gire una vuelta, el potenciómetro gire 1.5 vueltas para lograr estar dentro del rango del número máximo de vueltas permisibles. Siendo así, se escoge:

$$r_1 = 2cm$$

Con lo cual se tiene:

$$\frac{1}{1.5} = \frac{r_2}{2}$$

$$r_2 = 3cm$$

2.1.2.3 Bomba

La bomba permite el ingreso de un caudal constante al tanque en el que se realiza el control; dicho líquido es extraído del tanque reservorio. Es un elemento que puede ser seleccionado a través de los siguientes criterios:

- Modelo
- Capacidad Máxima
- Cabezal máximo (Altura máxima de descarga)
- Altura máxima de succión
- Potencia
- Diámetro bomba
- Peso neto
- Dimensión general

La bomba marca PAOLO que se escogió es la que se muestra en la figura 2.10



Figura 2.10: Bomba

Las características de esta bomba son las siguientes:

- Modelo: PKM60-1
- Capacidad Máxima (L/min): 40
- Cabezal max (m): 40

- Altura máxima de succión (m): 9
- Potencia (HP): 0.5
- Diámetro bomba (1"): 1"*1"
- Peso neto (Kg): 5.3
- Dimensión general (mm): 265 *120*155

2.1.2.4 Controlador Lógico Programable

El PLC que con el que cuenta el módulo es un TWDLCAA24DRF el cual se indica en la figura 2.11:



Figura 2.11: PLC TWDLCAA24DRF

Este PLC que se usa para comandar en modo manual diferentes acciones, tales como prender o apagar bomba y mover la servo válvula, de acuerdo a la necesidad que tenga el operario. En el modo automático realiza las acciones de control necesarias para mantener un nivel del líquido adecuado a las condiciones que se presenten.

El PLC, para su trabajo se utilizan las siguientes entradas y salidas:

Entradas digitales:

- Selector para modo Manual y Automático: %I0.0; %I0.1
- Sensor de nivel para nivel máximo: %I0.3
- Sensor de nivel para nivel mínimo: %I0.2
- Sensor de Sobre-presión: %I0.4
- Señal de perturbación: %I0.5

Salidas tipo relé:

- Luz indicadora de señal de perturbación: %Q0.6
- Accionamiento de la bomba ON-OFF %Q0.0
- Accionamiento de servoválvula: %Q0.7 Abrir; %Q0.8 Cerrar
- Luz indicadora de Sobre-presión: %Q0.5
- Luz indicadora de Sobre-nivel: %Q0.3
- Luz indicadora de Sub-nivel: %Q0.4
- Luz indicadora de accionamiento servoválvula: %Q0.1
- Luz indicadora de estado de la bomba: %Q0.0
- Luz indicadora de encendido general: %Q0.2

El PLC tiene 2 puertos de comunicación los cuales se usan para diferentes acciones:

Puerto serie 1, se utiliza para la comunicación entre el PLC y el microcontrolador (Mega8515) ó entre el PLC y la PC,

Puerto serie 2, se utiliza para la comunicación entre el PLC y el microcontrolador (Mega8) encargado de la adquisición de los datos análogos: sensor de presión, sensor flotador potenciométrico y sensor de la posición de la servoválvula.

Las características del PLC TWDLCAA24DRF de Schneider Electric son:

- 14 entradas digitales.
- 10 salidas digitales tipo relé.
- 2 puertos seriales.
- Comunicación Modbus Tipo RS-485 no aislado; longitud máxima: 200 m. Modo ASCII o RTU.
- Comunicación ASCII Protocolo Half-duplex hacia un dispositivo.
- Alimentación general del PLC 100/240 VAC.
- Alimentación de las entradas digitales 24 VCC.
- Software para programación: Twido Soft.

2.1.2.4.1 Partes constitutivas del TWDLCAA24DRF

En el figura 2.12 se muestra las partes constitutivas del PLC TWDA24DRF y en tabla 2.1 de describen cada un ade ellas:

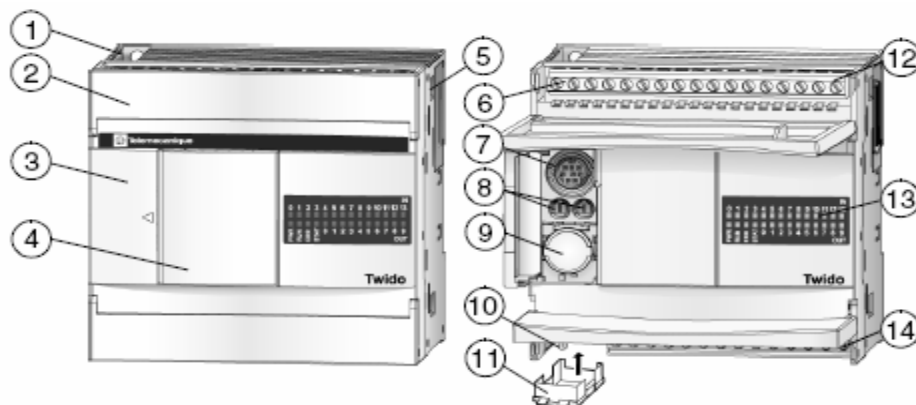


Figura 2.12: PLC TWDLCAA24DRF

Número	Descripción
1	Orificio de montaje
2	Cubierta de terminales
3	Tapa con bisagra
4	Cubierta extraíble del conector de visualización del operador
5	Conector de ampliación - sólo en el controlador TWDLCAA24DRF
6	Terminales de alimentación de sensores
7	Puerto serie 1
8	Potenciómetros analógicos - TWDLCAA10DRF y TWDLCAA16DRF tienen uno
9	Conector de puerto serie 2 - TWDLCAA10DRF no tiene ninguno
10	Terminales de fuentes de alimentación de 100 a 240 V CA
11	Conector de cartuchos - ubicado en la parte inferior del controlador
12	Terminales de entrada
13	LED
14	Terminales de salida

Tabla 2.1 PLC TWDLCAA24DRF

2.1.2.5 Microcontrolador ATMEL

En el desarrollo del proyecto, se utilizaron dos microcontroladores ATMEL: un ATMEL M8 y un ATMEL M8515 cuyas características principales son:

- ATMEL son una familia de microcontroladores RISC.
- El microcontrolador ATMEL tiene una arquitectura Harvard. Tiene 32 registros de 8 bits. Algunas instrucciones sólo operan en un subconjunto de estos registros.
- La concatenación de los 32 registros, los registros de entrada/salida y la memoria de datos conforman un espacio de direcciones unificado, al cual se accede a través de operaciones de carga/almacenamiento.

- El Stack se ubica en este espacio de memoria unificado, y no está limitado a un tamaño fijo.
- El set de instrucciones de los microcontroladores ATMEL, está implementado físicamente y disponible en el mercado en diferentes dispositivos, que comparten el mismo núcleo pero tienen distintos periféricos y cantidades de RAM y ROM.
- Los microcontroladores ATMEL tienen una cañería ('pipeline' en inglés) con dos etapas (cargar y ejecutar), que les permite ejecutar la mayoría de instrucciones en un ciclo de reloj, lo que los hace relativamente rápidos entre los microcontroladores de 8-bit.
- El set de instrucciones de los microcontroladores ATMEL es más regular que la de la mayoría de los microcontroladores de 8-bit (por ejemplo, los PIC).
- Los registros punteros X, Y y Z tienen capacidades de direccionamiento diferentes entre sí.
- Los registros 0 al 15 tienen diferentes capacidades de direccionamiento que los registros 16 al 31.
- Los registros de I/O del 0 al 31 tienen distintas características que las posiciones 32 al 63.
- La instrucción RESET afecta los 'flag', mientras que la instrucción SET no lo hace, a pesar de que parecen ser instrucciones complementarias (dejar todos los bits en 1, y dejar todos los bits en 0 respectivamente).

2.1.2.5.1 ATmega8

Al no contar el PLC con entradas análogas, se utilizó el ATmega8 (Figura 2.13) para realizar la adquisición de datos análogos para ser enviados al PLC vía serial con protocolo ASCII. Los datos análogos son:

- Sensor de presión diferencial
- Sensor Potenciométrico
- Sensor de posición de la servoválvula
- Potenciómetro para fijar Set Point de servoválvula

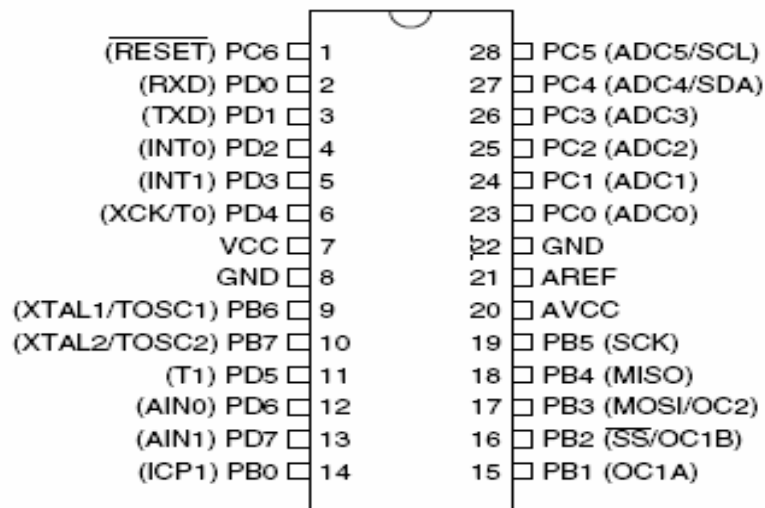


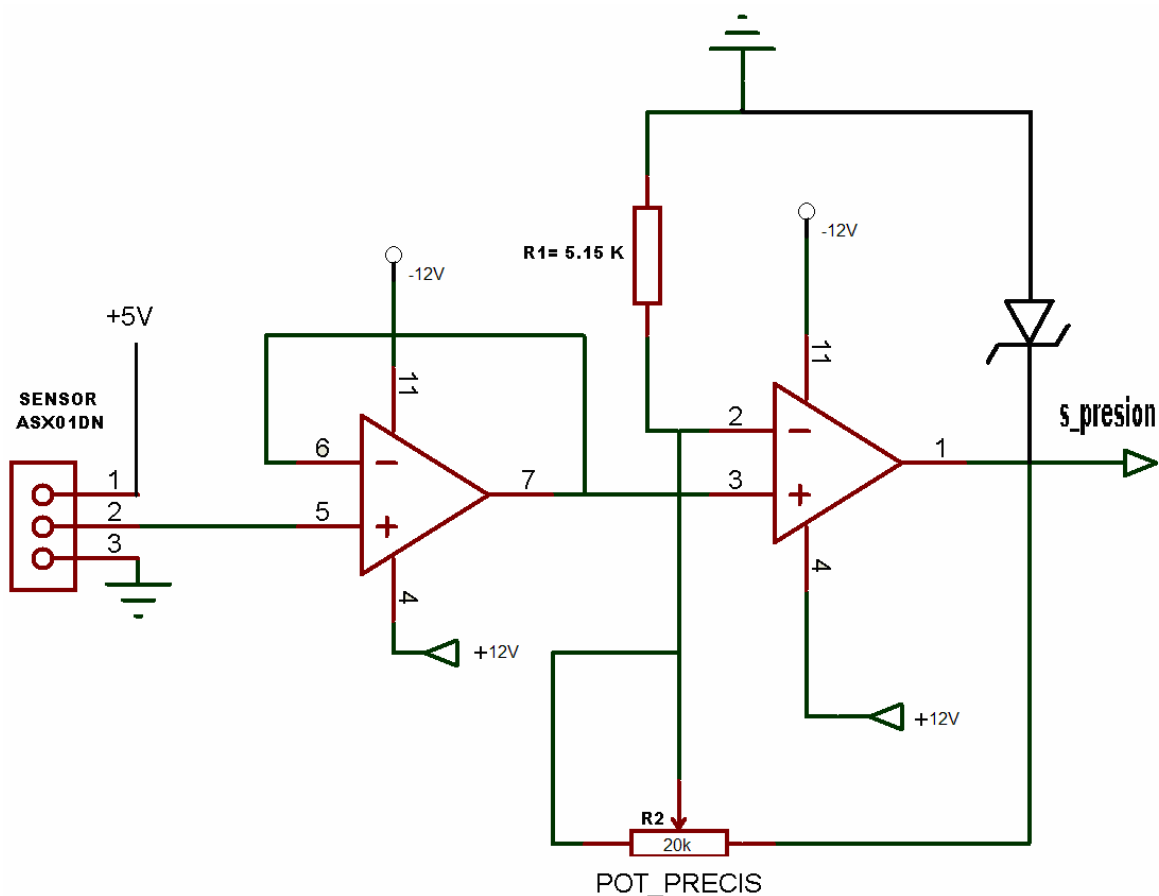
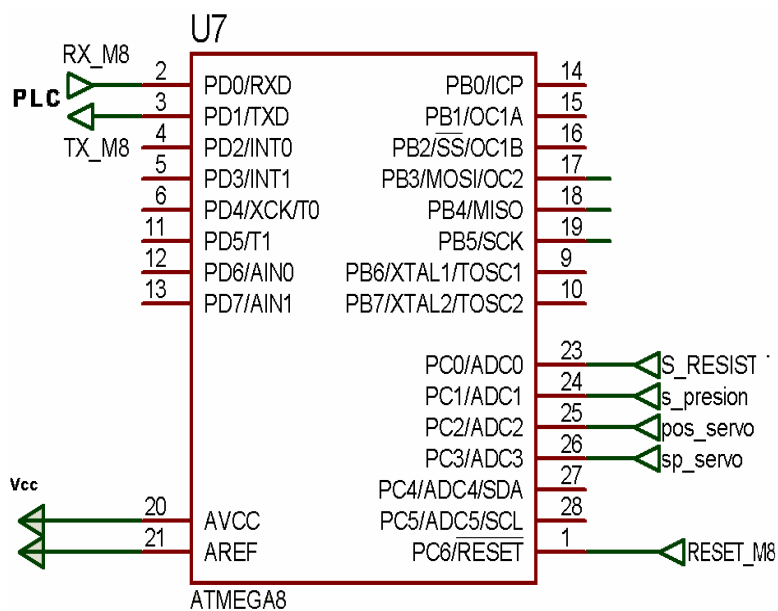
Figura 2.13:ATmega8

EL microcontrolador ATmega8 tiene las siguientes características principales:

- 8kbytes de sistema programable flash
- 512 bytes of EEPROM
- 1K byte of SRAM
- 23 entradas y salidas de propósito general
- 32 registros de trabajo de propósito general
- 3 Timer / Counter con modos de comparación
- Interrupciones internas y externas
- Serial USART programmable
- 6 canales ADC con 10 bits de precisión

- Un Watchdog programmable con oscilador interno

Las señales que ingresa al ATmega8 para ser procesadas se indican en la Figura 2.14:



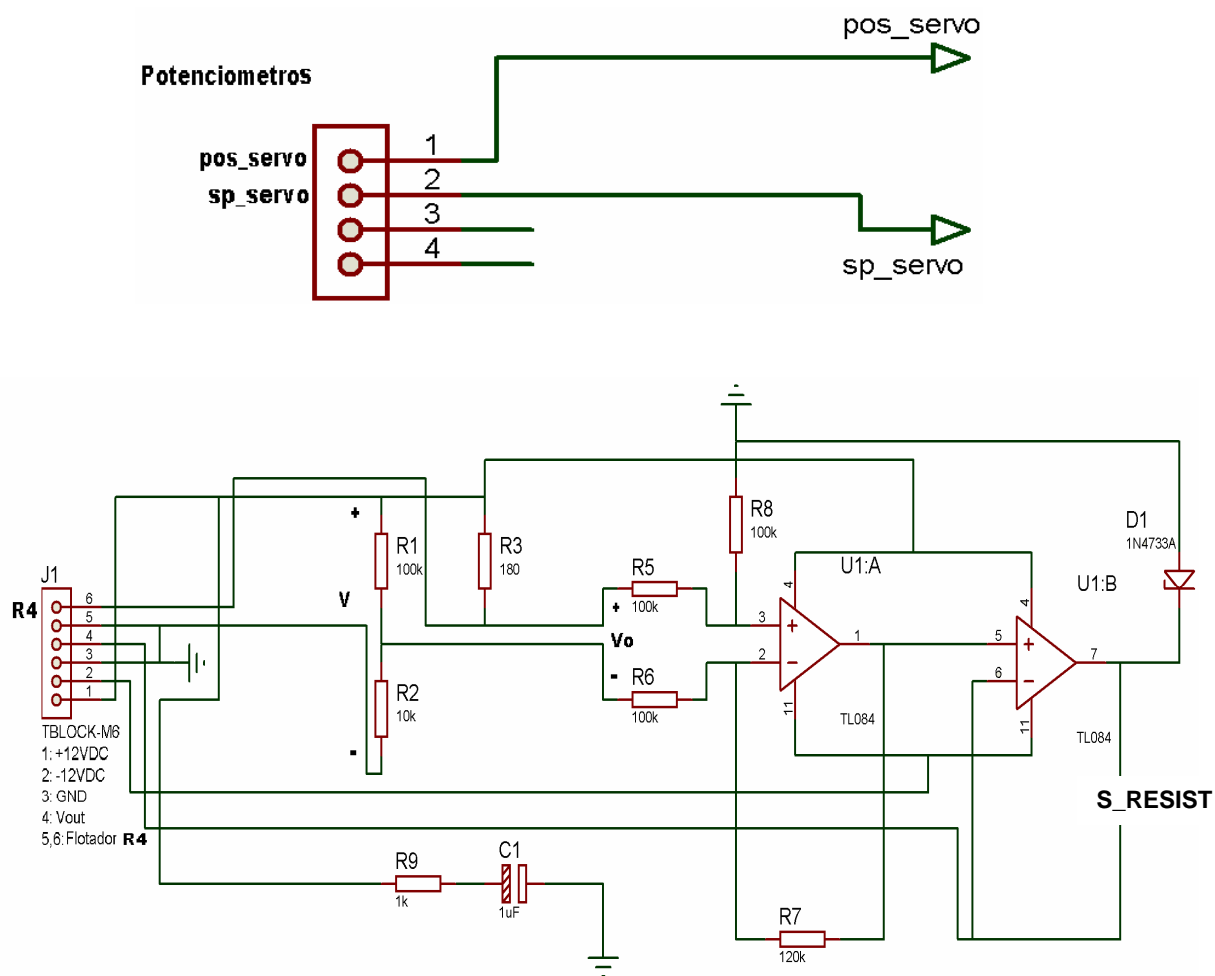


Figura 2.14: Conexiones ATmega8

2.1.2.5.2 ATmega8515

El ATmega8515 se utiliza en el control local sea manual o automático. Maneja un teclado y un LCD para el ingreso y visualización de las variables (Figura 2.15).

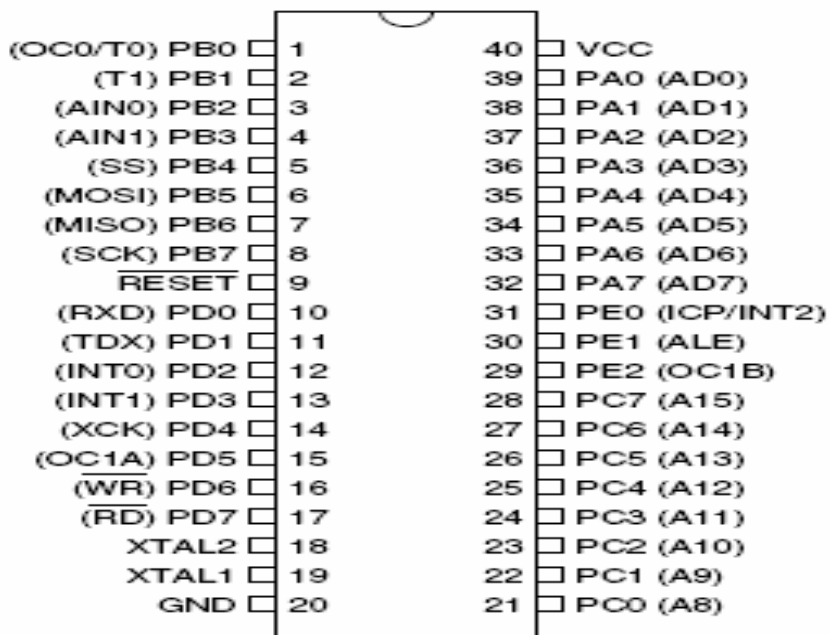


Figura 2.15 ATmega8515

EL microcontrolador ATmega8515 tiene las siguientes características principales:

- 8kbytes de sistema programable flash
- 512 bytes of EEPROM
- 512K byte of SRAM
- Interfaz de para memoria externa
- 35 entradas y salidas de propósito general
- 32 registros de trabajo de propósito general
- 2 Timer/Counters flexibles flexible con modos de comparación
- Interrupciones internas y externas
- Serial USART programmable
- Un Watchdog programmable con oscilador interno

Las señales que ingresa al ATmega8515 para ser procesadas se indican en la Figura 2.16:

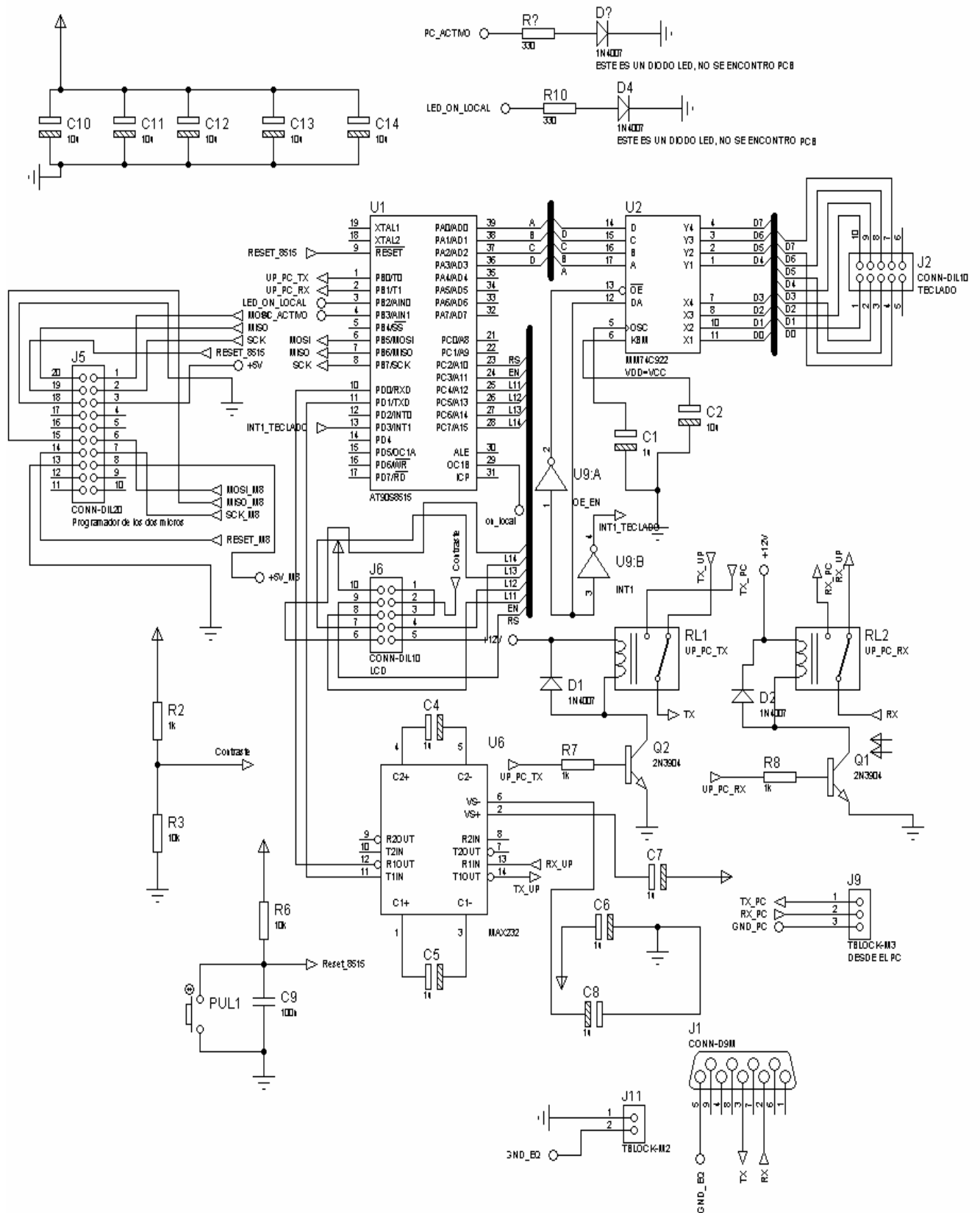


Figura 2.16: Conexiones ATMEGA8515

2.1.2.6 Pantalla De Cristal Líquido (Lcd)

Es una pantalla LCD de 20*4 (Figura 2.17) y es utilizada en el control local en ausencia de una PC para visualizar el nivel del líquido. En la figura 2.18 se muestra la conexión del LCD al microcontrolador.

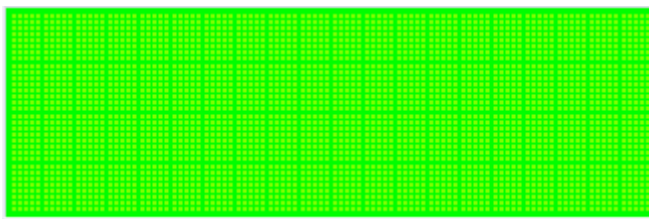


Figura 2.17: Pantalla de cristal líquido (LCD)

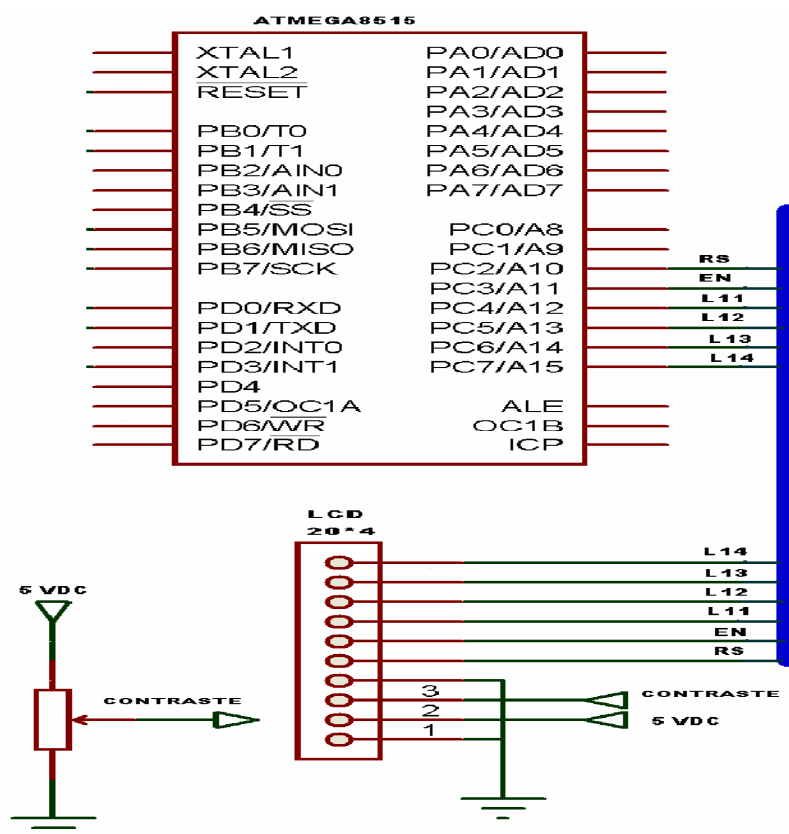


Figura 2.18: Circuito de conexión para el LCD

2.1.2.7 Teclado Matricial

El módulo cuenta con un teclado matricial (Figura 2.19) de cuatro filas por cuatro columnas, el mismo que se utiliza cuando opera el modo local, sea éste manual o automático, y cumple funciones de ingreso de parámetros como: prender o apagar la bomba, mover servoválvula e ingresar SP de nivel. Se utiliza un decodificador de teclado 74C922, para la tecla pulsada (Figura 2.20).



Figura 2.19: Teclado matricial

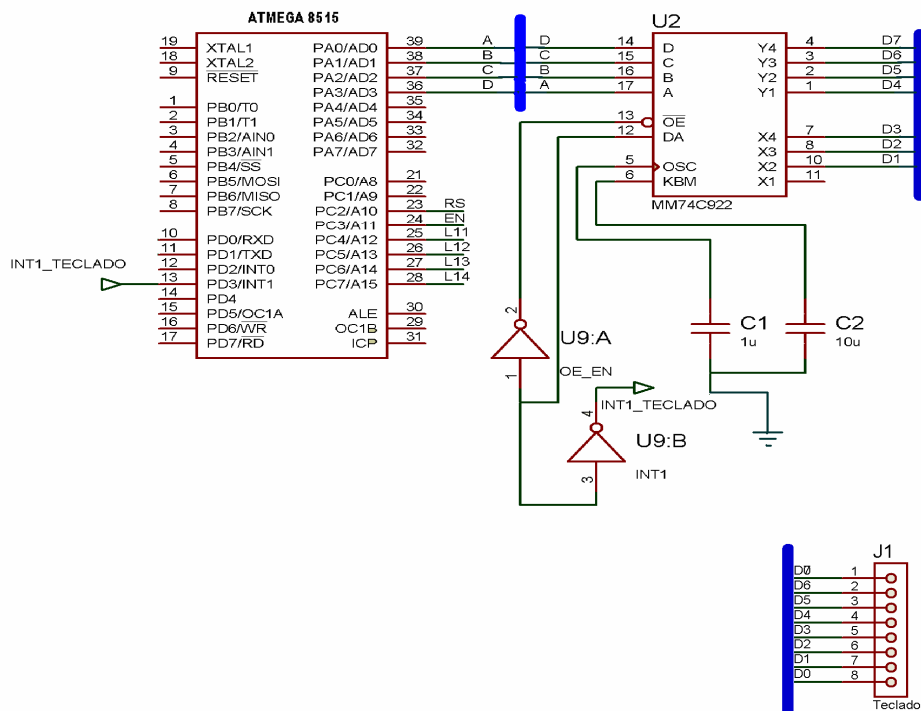


Figura 2.20: Circuito de conexión para el teclado matricial

2.1.2.8 Fuentes De Alimentación

Las fuentes de alimentación que se utilizan son dos fuentes switching, una para energizar las tarjetas, sensores, ventiladores y la otra fuente para energizar el actuador de la Servoválvula.

El voltaje que necesitan ventiladores y el actuador es de 12VDC y la corriente que maneja este último es aproximadamente de 2 A. Las corrientes que manejan el actuador y las tarjetas de control y potencia se las calculó con la ayuda de las fuentes de alimentación con las que se cuentan en el laboratorio de instrumentación y en las cuales se puede visualizar la corriente y voltaje con el que se esta trabajando.

Los sensores se polarizan con 5VDC, así como la circuitería.

Las características de las fuentes switching utilizadas son las siguientes:

AC INPUT: 115/230VAC, 50/60Hz				
MODEL: PS-230NS				
DC OUTPUT	+5V	+12V	-5V	-12V
300 W	30 A	12 A	0.5 A	0.5 A
250 W	25 A	10 A	0.5 A	0.5 A
230 W	23 A	9 A	0.5 A	0.5 A

Tabla 2.2: Características de la fuente switching

2.1.2.9 Selector PC – Control Local

Este selector indica al microcontrolador Atmel Mega 8515 si el modo de operación es PC ó Control Local poniendo en 0 lógico ó 1 lógico en el pin 2 del puerto E respectivamente, con esto el microcontrolador comnuta las líneas de comunicación de transmisión y recepción.

2.1.2.10 Tarjeta de comunicación

Se utiliza un MAX232 (Figura 2.21) para cambiar los niveles de voltaje TTL a RS232 y permitir la comunicación entre los dispositivos. El puerto 1 del PLC es un puerto RS-485, en este caso el cable de comunicación posee un convertidor de RS232 a RS485. El puerto 2 del PLC es un puerto RS232 que recibirá los datos de conversión AD. Con el selector “habilitar control local”, el microcontrolador conmuta los datos de transmisión y recepción tanto del PC como del control local a través de dos relés cuyo contactos cerrados están habilitando por default al HMI diseñado en la PC y, para habilitar el control local se debe accionar el selector que pone a 1 al pin pe.2 del microcontrolador ATMEGA8515. El esquema es el que se muestra en la Figura 2.22:

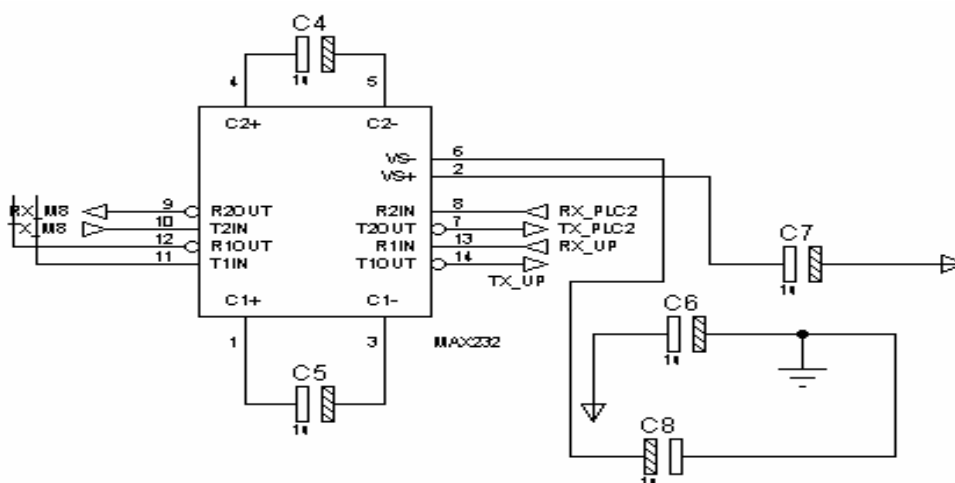


Figura 2.21: Configuración del MAX232

Los capacitores utilizados en el MAX232 son de un valor de 1uF por recomendación del fabricante.

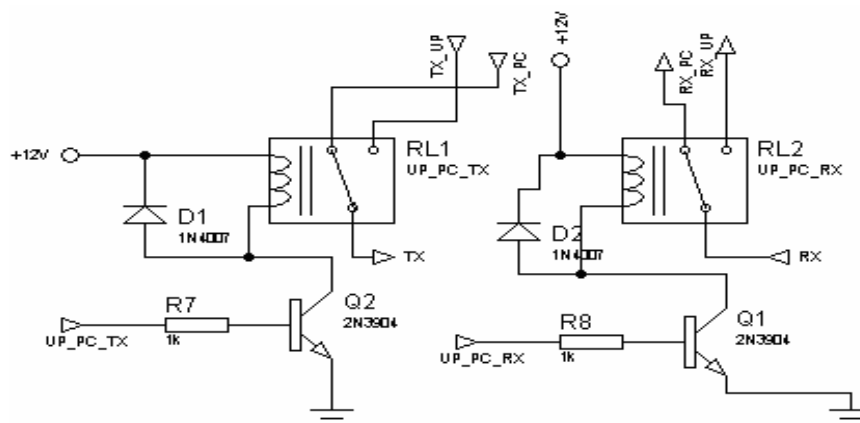


Figura 2.22: Conmutación de Tx y Rx

2.1.2.11 Tarjeta de Potencia

La tarjeta de potencia se utiliza como un complemento para el PLC y sus salidas tipo relé. Esta tarjeta posee nueve relés para manejar siete luces indicadoras ubicadas en el panel de operador y la servoválvula (dos relés). La bomba se opera a través de un contactor que es comandado por uno de los relés (relé de bomba: salida %Q0.0⁹ del PLC)

2.1.2.11.1 Esquemático de la tarjeta de potencia

En la figura 2.23 se muestra el esquemático de la tarjeta de potencia:

⁹ %Q0.0: utilizado en TWIDO soft para indicar que se trata de la salida 0 del PLC

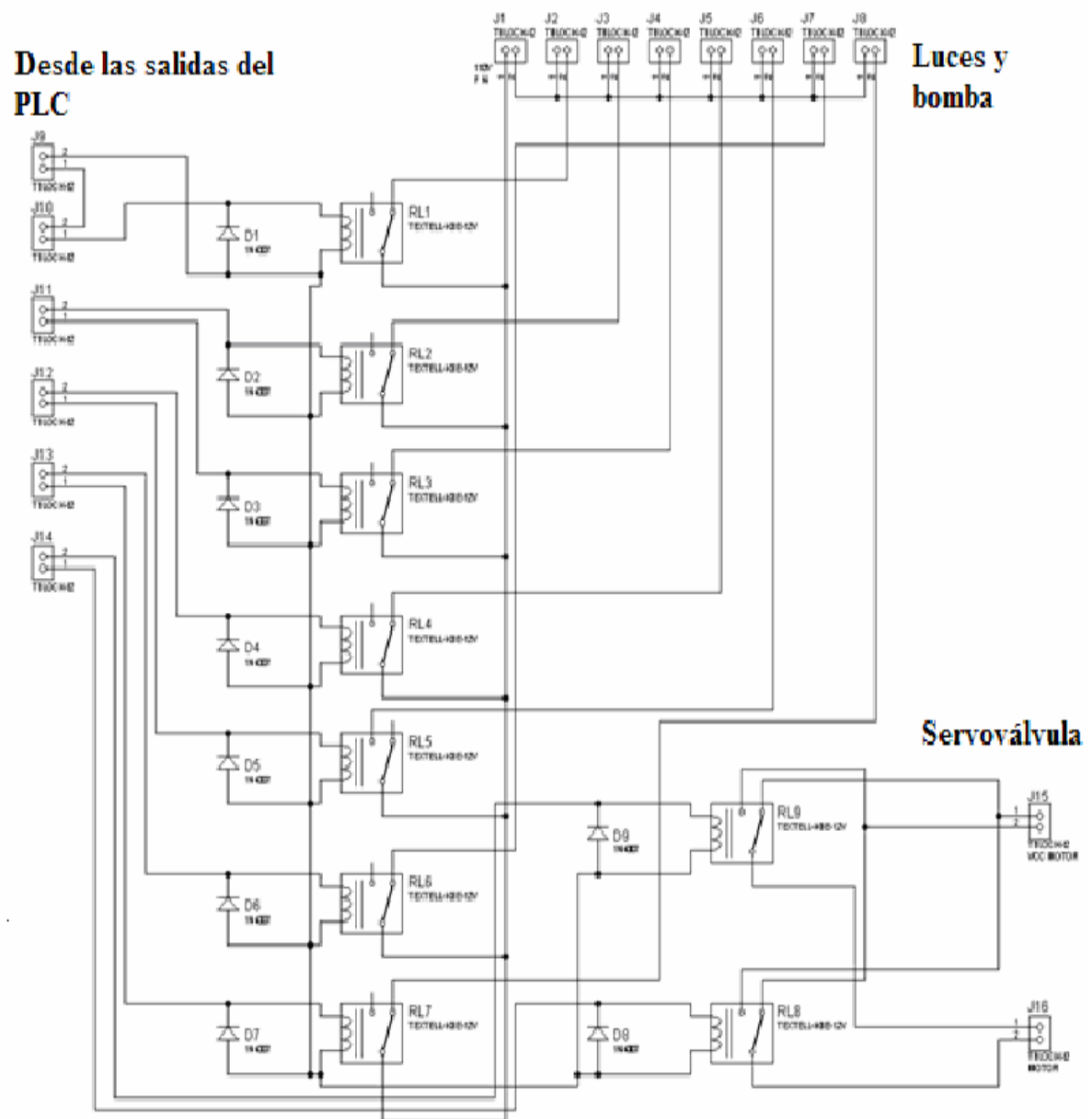


Figura 2.23: Esquemático de la tarjeta de potencia

2.1.2.12 Tarjeta de Control

En la figura 2.24 se muestra el esquemático de la tarjeta de control:

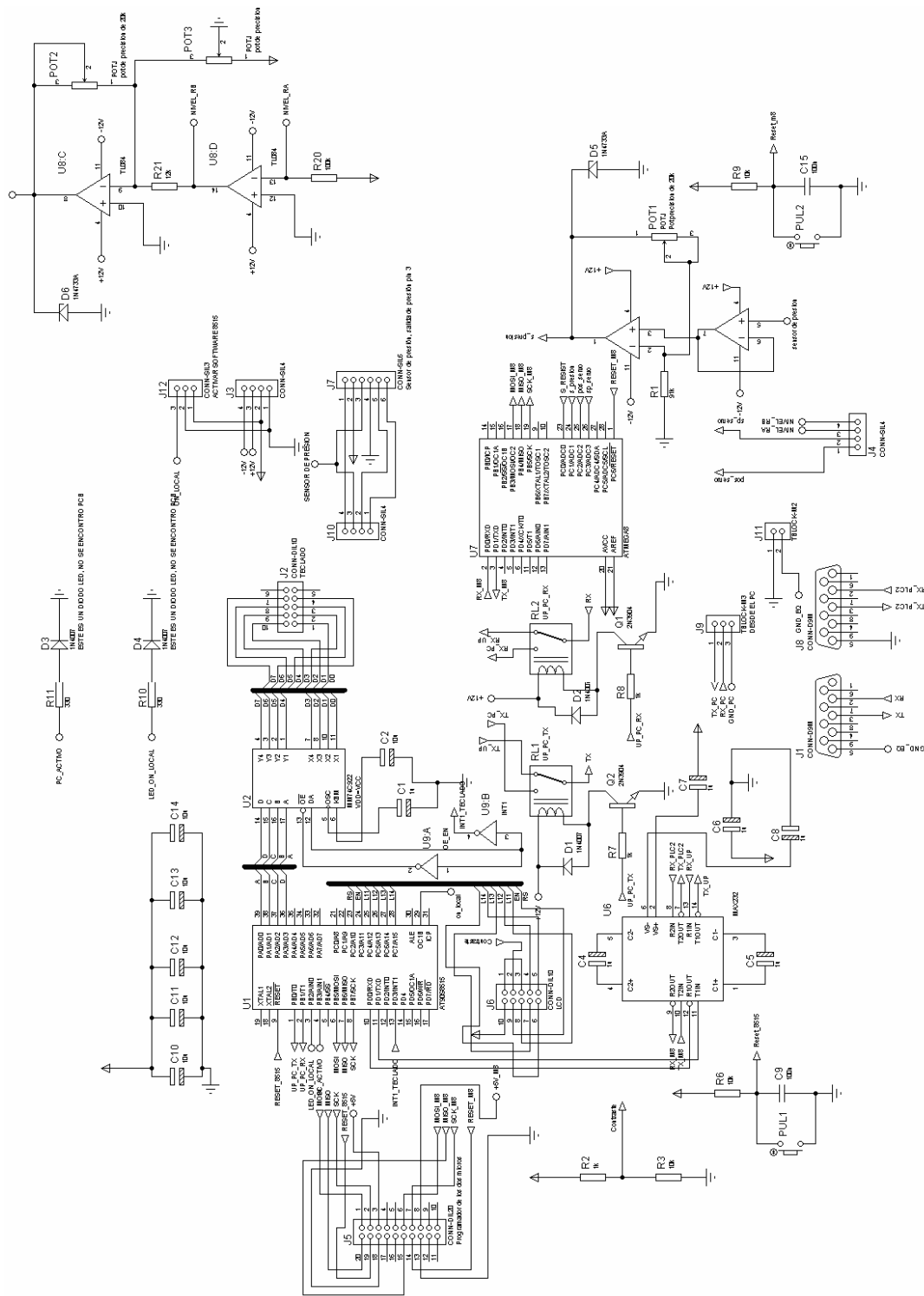


Figura 2.24: Esquemático de la tarjeta de control

CAPÍTULO 3

3.1 DESARROLLO DEL SOFTWARE

Para el funcionamiento del módulo se utilizaron tres programas:

- **TWIDO SOFT:**

Se desarrolló un programa para el PLC TWDLCAA24DRF que tiene como objetivo realizar el control de nivel del líquido, tanto para el modo manual como para el modo automático.

- **BASCOM-AVR:**

Se desarrollaron los programas para los microcontroladores ATMEL M8 y M8515:

El ATMEL M8 realiza la adquisición de los datos de los sensores con la ayuda del conversor AD interno del microprocesador y los envía vía serial al PLC.

El ATMEL M8515 realiza el control local usando como interfaz un LCD y un teclado.

- **LabVIEW:**

Se desarrolló un software en la PC que sirve como interfaz gráfica para el control manual y automático desde la misma.

A continuación se presenta una breve introducción a estos lenguajes de programación utilizados:

3.2 TWIDO SOFT

Un controlador programable lee entradas, escribe salidas y resuelve lógica basada en un programa de control. Crear un programa de control para un

controlador Twido consiste en escribir una serie de instrucciones en uno de los lenguajes de programación de Twido, usando Twido Soft se desarrolló el programa para el PLC que tiene como objetivo realizar el control de nivel en el módulo, tanto para modo manual como para modo automático.

Para crear programas de control usando Twido Soft se pueden utilizar tres lenguajes de programación diferentes:

- Lenguaje de lista de instrucciones:

Un programa de lista de instrucciones se compone de una serie de expresiones lógicas escritas como una secuencia de instrucciones booleanas ejecutadas de forma secuencial por el autómeta. A continuación, se muestra un ejemplo de un programa en lenguaje de lista de instrucciones.

```
1 LDF %I0.1      ;Flanco descendente
3 LD %I0.2       ;Contaco abierto
4 AND %M0        ;Operación And con la instrucción anterior y el bit %M0
5 AND %M1
```

- Diagramas Ladder Logic:

Un diagrama Ladder Logic es una forma gráfica de mostrar una expresión lógica (Figura 3.1). Los diagramas Ladder Logic emplean la misma representación gráfica que la de los circuitos en lógica de relé. En dichos esquemas, los elementos gráficos, como las bobinas, los contactos y los bloques, representan las instrucciones del programa. A continuación, se muestra un ejemplo de diagrama Ladder Logic.

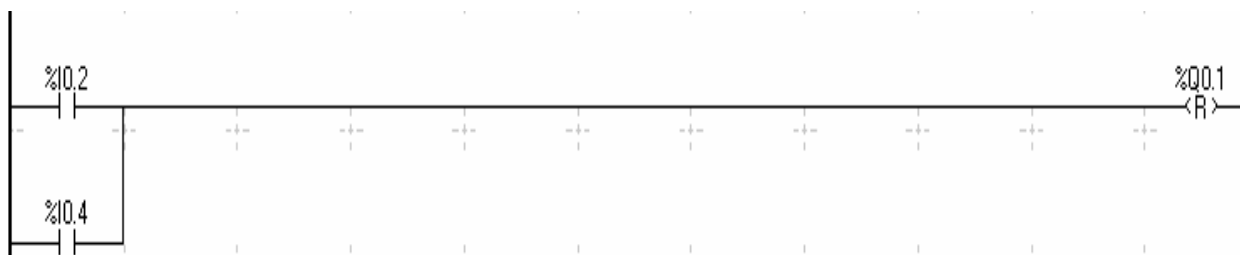


Figura 3.1: Ladder Logic

- Lenguaje Grafcet:

El lenguaje grafcet está compuesto por una sucesión de pasos y transiciones.

Twido admite las instrucciones de lista Grafcet, pero no Grafcet gráfico (Figura 3.2).

El método analítico Grafcet divide cualquier sistema de control secuencial en una serie de pasos a los que se asocian acciones, transiciones y condiciones. La ilustración que aparece a continuación muestra ejemplos de instrucciones Grafcet en programas Lista.

0	-*	3
1	LD	%M10
2	#	4
3	#	5
4	-*	4
5	LD	%I0.7
6	#	6
7	-*	5
8	LD	%M15
9	#	7
10	...	

Figura 3.2 Lenguaje Grafcet

3.2.1 OBJETOS DEL LENGUAJE TWIDO SOFT

En la tabla 3.1 se muestra los objetos que maneja el software:

Apartado
Validación de objetos de lenguaje
Objetos de bit
Objetos de palabras
Objetos flotantes y palabras dobles
Direccionamiento de objetos de bit
Direccionamiento de objetos de palabra
Direccionamiento de objetos flotantes
Direccionamiento de objetos de palabras dobles
Direccionamiento de las entradas/salidas
Direccionamiento de red
Objetos de bloques de función
Objetos estructurados
Objetos indexados
Simbolización de objetos

Tabla 3.1 Objetos del lenguaje TWIDO SOFT

3.2.1.1 Objetos de bit

Los objetos de bit son variables de software de tipo bit que se pueden utilizar como operandos y verificar mediante instrucciones booleanas. A continuación se ofrece una lista de objetos de bit.

- Bits de E/S
- Bits internos (bits de memoria)
- Bits de sistema
- Bits extraídos de palabras

3.2.1.2 Objetos de palabra

Los objetos de palabras son de registros de 16 bits, almacenados en la memoria de datos y que pueden contener un valor entero de entre -32.768 y 32.767 .

Ejemplos de objetos de palabras:

- Valores inmediatos
- Palabras internas (%MWi) (palabras de memoria)
- Palabras constantes (%KWi)
- Palabras de intercambios de E/S (%IWi, %QWi)
- Palabras de sistema (%SWi)
- Bloques de función (datos de ejecución o configuración)

Las palabras y los valores inmediatos se pueden introducir o recuperar en los formatos siguientes:

- Decimal
Mín.: -32.768, máx.: 32.767 (por ejemplo, 1579)
- Hexadecimal
Mín.: 16#0000, máx.: 16#FFFF (por ejemplo, 16#A536)
Sintaxis alternativa: #A536

3.2.2 DIRECCIONAMIENTOS DE OBJETOS EN TWIDO SOFT

3.2.2.1 Direccionamientos de objetos de bits

El siguiente formato se utiliza para direccionar objetos de bit de pasos, de sistema e internos (Figura 3.3):

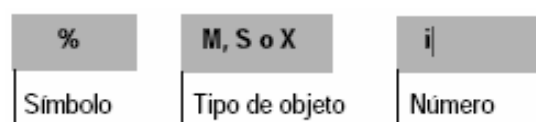


Figura 3.3 Formato de direccionamiento de objetos de bits

La tabla 3.2 describe los elementos en formato de direccionamiento.

Grupo	Elemento	Descripción
Símbolo	%	El símbolo de porcentaje siempre precede a una variable de software.
Tipo de objeto	M	Los bits internos almacenan valores intermedios mientras se está ejecutando un programa.
	S	Los bits de sistema proporcionan información de control y de estado del controlador.
	X	Los bits de pasos proporcionan información de estado de las actividades de pasos.
Número	i	El valor numérico máximo depende del número de objetos configurados.

Tabla 3.2: Elementos de direccionamiento de bits

Ejemplos de direcciones de objetos de bit:

- %M25 = bit interno número 25
- %S20 = bit de sistema número 20
- %X6 = bit de pasos número 6

3.2.2.2 Direccionamientos de objetos de palabras

El direccionamiento de los objetos de palabras debe contener la sintaxis descrita a continuación (Figura 3.4):



Figura 3.4 Formato De Direccionamiento De Objetos De Palabras

La tabla 3.3 describe los elementos en formato de direccionamiento.

Grupo	Elemento	Descripción
Símbolo	%	El símbolo de porcentaje siempre precede a una dirección interna.
Tipo de objeto	M	Las palabras internas almacenan valores intermedios mientras se está ejecutando un programa.
	K	Las palabras constantes almacenan valores constantes o mensajes alfanuméricos. Su contenido sólo puede sobrescribirse o modificarse utilizando TwidoSoft.
	S	Las palabras de sistema proporcionan información de control y de estado del controlador.
Sintaxis	W	Palabra de 16 bits.
Número	i	El valor numérico máximo depende del número de objetos configurados.

Tabla 3.3: Elementos De Direccionamiento De Palabras

Ejemplos de direccionamiento de objetos de palabra:

- %MW15 = número de palabra interna 15
- %KW26 = número de palabra constante 26
- %SW30 = número de palabra de sistema 30

3.2.2.3 Direccionamientos de las entradas/salidas

Cada punto de entrada/salida (E/S) de una configuración Twido tiene una única Dirección (Figura 3.5): Por ejemplo, la dirección "%I0.0.4" sólo representa la entrada 4 de un autómata.

Las direcciones de E/S pueden asignarse para el siguiente hardware:

- Controlador configurado como master de conexión remota
- Controlador configurado como E/S remota
- Módulos de E/S de ampliación



Figura 3.5 Formato De Direccionamiento De Entradas/Salidas

3.2.3 COMUNICACIONES DEL PLC TWIDO

Twido ofrece uno o dos puertos serie para las comunicaciones con controladores de E/S remotas o dispositivos generales. Cualquier puerto, si hay más de uno, se puede utilizar para cualquiera de los servicios, con excepción de la comunicación con Twido Soft, que sólo se puede establecer mediante el primer puerto. Los controladores Twido admiten tres protocolos básicos distintos: Conexión Remota, ASCII o Modbus (master de Modbus o slave de Modbus).

3.2.3.1 Conexión remota

El protocolo de conexión remota es un bus master/slave de alta velocidad diseñado para transferir una pequeña cantidad de datos entre el controlador master y hasta siete controladores remotos (slave). Se transfieren datos de E/S o de aplicación dependiendo de la configuración de los autómatas remotos. Es posible realizar una mezcla de varios tipos de autómatas remotos, que pueden ser de E/S remotas.

3.2.3.2 ASCII

El protocolo ASCII es un protocolo simple de modo de caracteres de dúplex completo que se utiliza para transmitir o recibir una cadena de caracteres hacia o

desde un dispositivo simple (impresora o terminal). Este protocolo sólo se admite a través de la instrucción "EXCH".

3.2.3.3 Modbus

El protocolo Modbus es un protocolo master/slave que permite a un master, y sólo a uno, pedir respuestas de los slaves o realizar acciones dependiendo de las peticiones. El master puede dirigirse a los slaves individuales o iniciar una difusión de mensajes para todos los slaves. Los slaves devuelven un mensaje (respuesta) a las peticiones que se les envían individualmente. No se devuelven respuestas a las peticiones de difusión general desde el master.

3.2.3.4 Master de Modbus

El modo master de Modbus permite al autómatas Twido enviar a un slave una petición Modbus y esperar una respuesta de dicho slave. El modo master de Modbus sólo se admite a través de la instrucción "EXCH". El modo master de Modbus admite los formatos ASCII Modbus y RTU Modbus.

3.2.3.5 Slave Modbus

El modo de slave de Modbus permite al autómatas Twido responder a las peticiones Modbus de un master de Modbus. Se trata de un modo de comunicación predeterminado si no se configura ningún otro tipo de comunicación.

El controlador Twido admite los datos Modbus estándar, las funciones de control y las ampliaciones de servicio para el acceso a objetos. El modo slave de Modbus admite los formatos ASCII Modbus y RTU Modbus.

Mediante Twido Soft se desarrolló el programa para el PLC el cual hace las siguientes funciones:

Primeramente se determina el modo de operación seleccionado desde el Panel de Operaciones, acción que se realiza por medio de un selector que activa la entrada 0 ó la entrada 1 del PLC, para modos manual y automático respectivamente.

Cabe señalar que el PLC actúa según las instrucciones enviadas por el PC (control remoto) ó por el microcontrolador ATMEL M8515 con su interfaz de LCD y teclado (control local) indistintamente, y no necesita identificar al dispositivo actuante ya que las instrucciones recibidas y enviadas por el PLC tienen el mismo formato, siendo el control local el que realiza la conmutación de las comunicaciones entre el PC y la suya propia a través de la tarjeta de control dada en las figuras 3.6 y 3.7. La comunicación se fija de acuerdo a la tabla 3.4

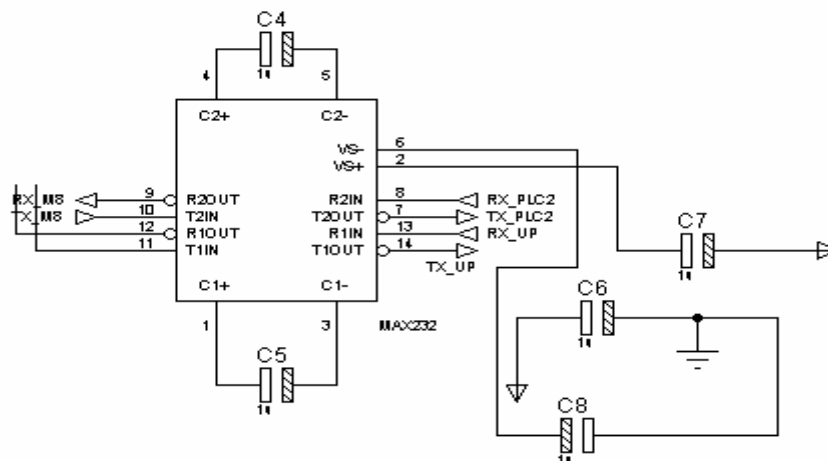


Figura 3.6: Configuración del MAX232

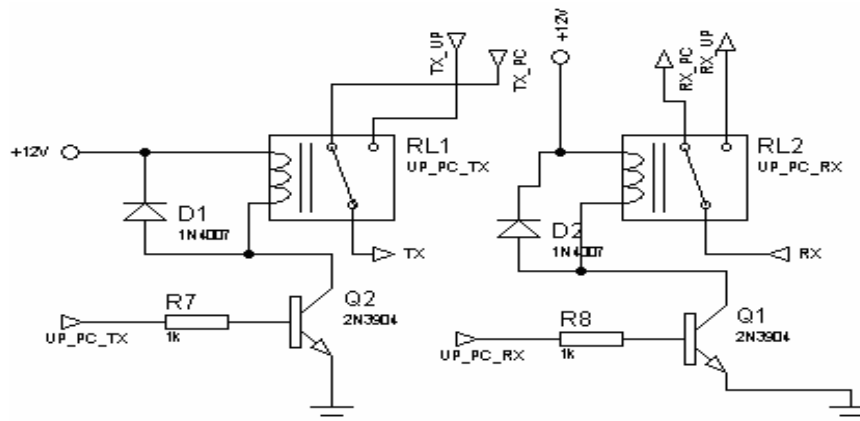


Figura 3.7: Conmutación de Tx y Rx

PLC	Control Local o Remoto	Microcontrolador de adquisición Atmel M8
Puerto 1	9600 Baudios	
Puerto 2		2400 Baudios

Tabla 3.4: Configuración De Los Puertos Del PLC

Modo Manual.

Permite encender o apagar la bomba, variar el porcentaje de apertura de la servoválvula y visualizar el nivel en la pantalla LCD si actúa el Control Local, o en la interfaz desarrollada en Labview a través de la PC si actúa el Control Remoto.

Modo Automático.

Permite ingresar el valor del Setpoint de nivel deseado ya sea desde el Control Local o desde el Control Remoto y de acuerdo a este valor se manipularán la bomba y la servoválvula para alcanzar dicho setpoint de nivel.

Cada modo de operación da alarmas de: sobrepresión en la bomba, sobrenivel y subnivel en el tanque, y perturbación y se tomarán las medidas adecuadas como apagar la bomba o cerrar la servoválvula dependiendo del caso.

Tomando en cuenta estos aspectos, se desarrolla un programa principal que determina el modo de operación escogido y posteriormente se desarrollan dos subrutinas: una para Modo Manual y otra para Modo Automático.

3.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA PARA EL PLC

3.2.4.1 Programa Principal

El programa principal comienza encendiendo una luz indicadora en el panel de operador conectada a la salida 2 (%Q0.2) del PLC para indicar que el módulo ha sido encendido; revisa la señal de perturbación asociada con la entrada 5 del PLC (%I0.5) y en caso de estar activada se enciende una luz indicadora conectada a la salida 5; revisa la señal de sobrepresión en la bomba asociada con la entrada 4 y en caso de estar activada enciende una luz indicadora conectada a la salida 4 además de apagar la bomba a través de la salida 0; revisa las señales de sobrenivel y subnivel conectadas a las entradas 3 y 2 respectivamente, con esto apaga la bomba en caso de tenerse sobrenivel o cierra la servoválvula en caso de tenerse subnivel encendiendo la salida 7 (salida que cierra la servoválvula) hasta que el dato de posición enviado por el micro Atmel M8 sea cero (dato de posición es igual a cero cuando la servoválvula está totalmente cerrada y es igual a 1023 cuando está totalmente abierta), además de encender luces indicadoras para cada caso: para sobrenivel se activa la salida 3 y para subnivel se activa la salida 4; habilita la comunicación serial con el microcontrolador ATMEL M8 a través del puerto dos del PLC para recibir los datos adquiridos de los sensores de nivel, y posición y Setpoint de posición de la servoválvula y realiza la conversión ASCII (la comunicación entre los dispositivos es ASCII) a decimal de dichos datos que varían de 0 a 1023 por ser una conversión de diez bits. Por último, revisa el modo de operación seleccionado, la entrada 0 se asocia con el Modo Manual y la entrada 1 con el Modo Automático con lo cual se habilita una de estas dos subrutinas.

Las figuras 3.8 , 3.9 , 3.10 y 3.11 muestran la programación en Twido Soft del programa principal como ejemplo de programación.

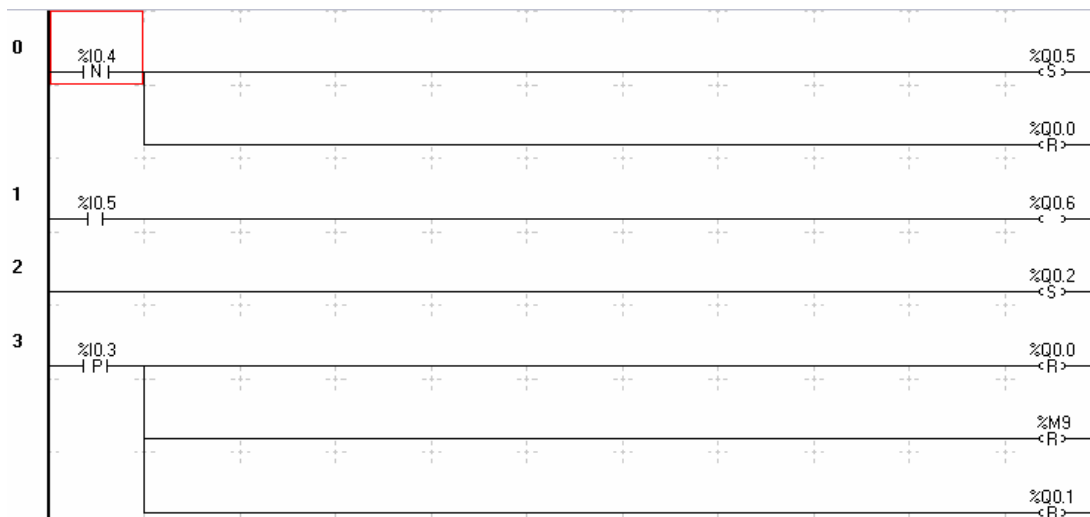


Figura 3.8: Chequeo De Entradas

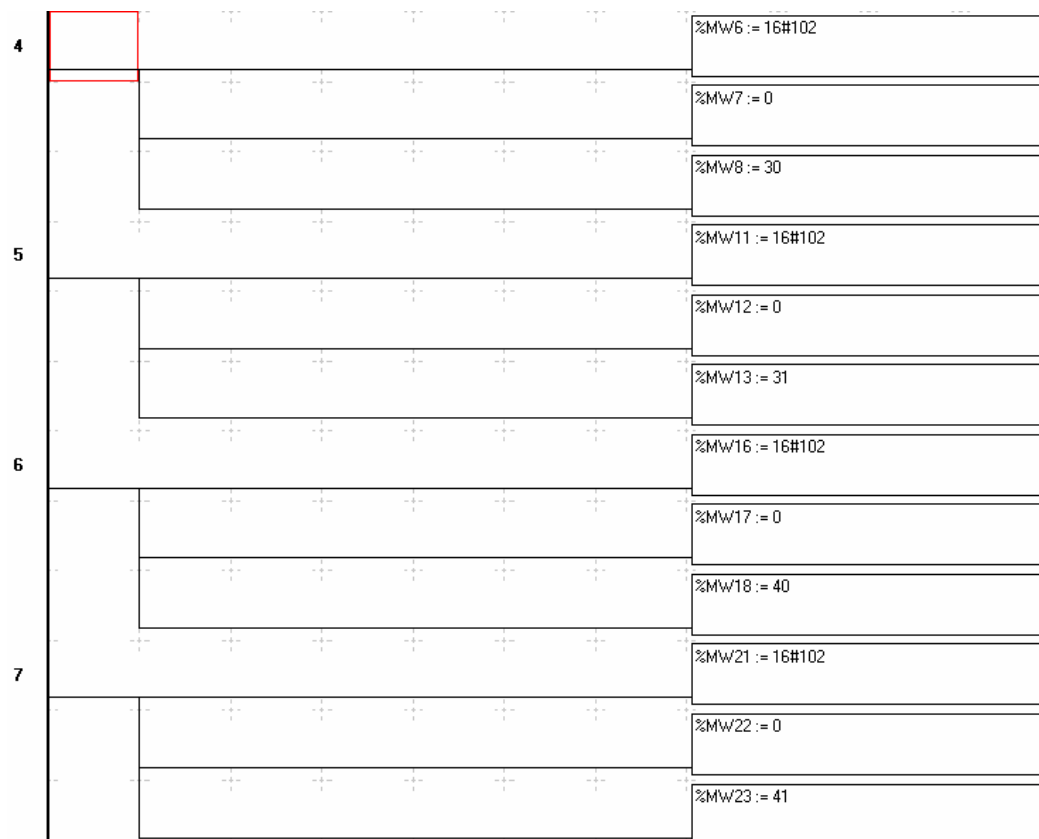


Figura 3.9: Habilidad De Comunicación

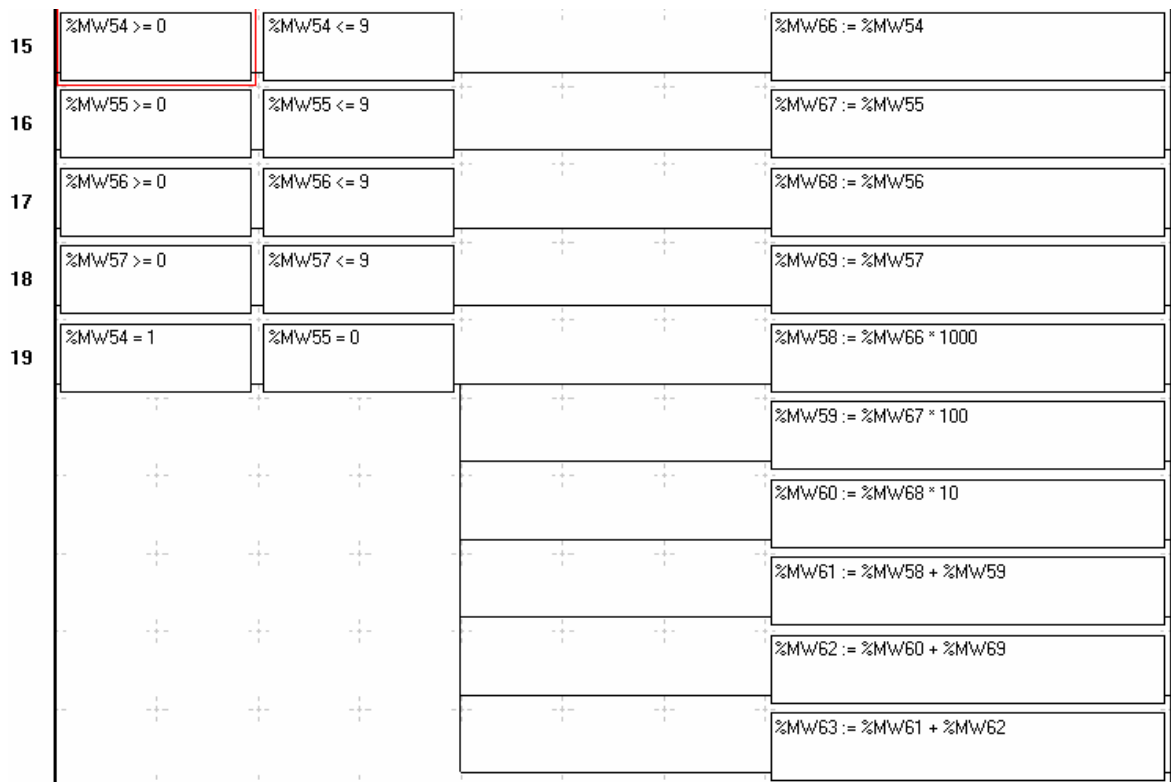


Figura 3.10: Conversión Ascii A Decimal

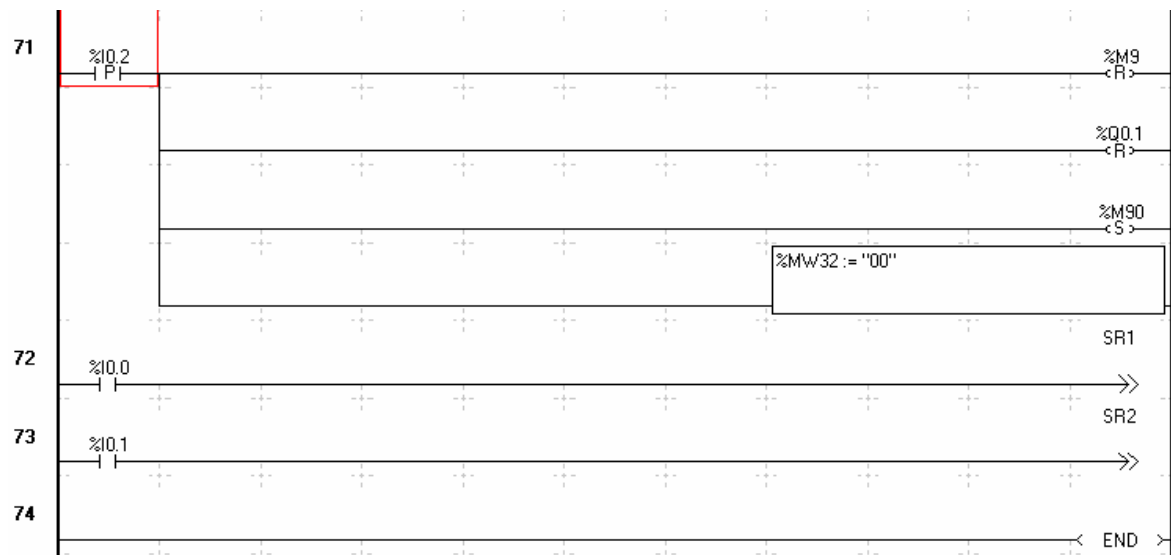
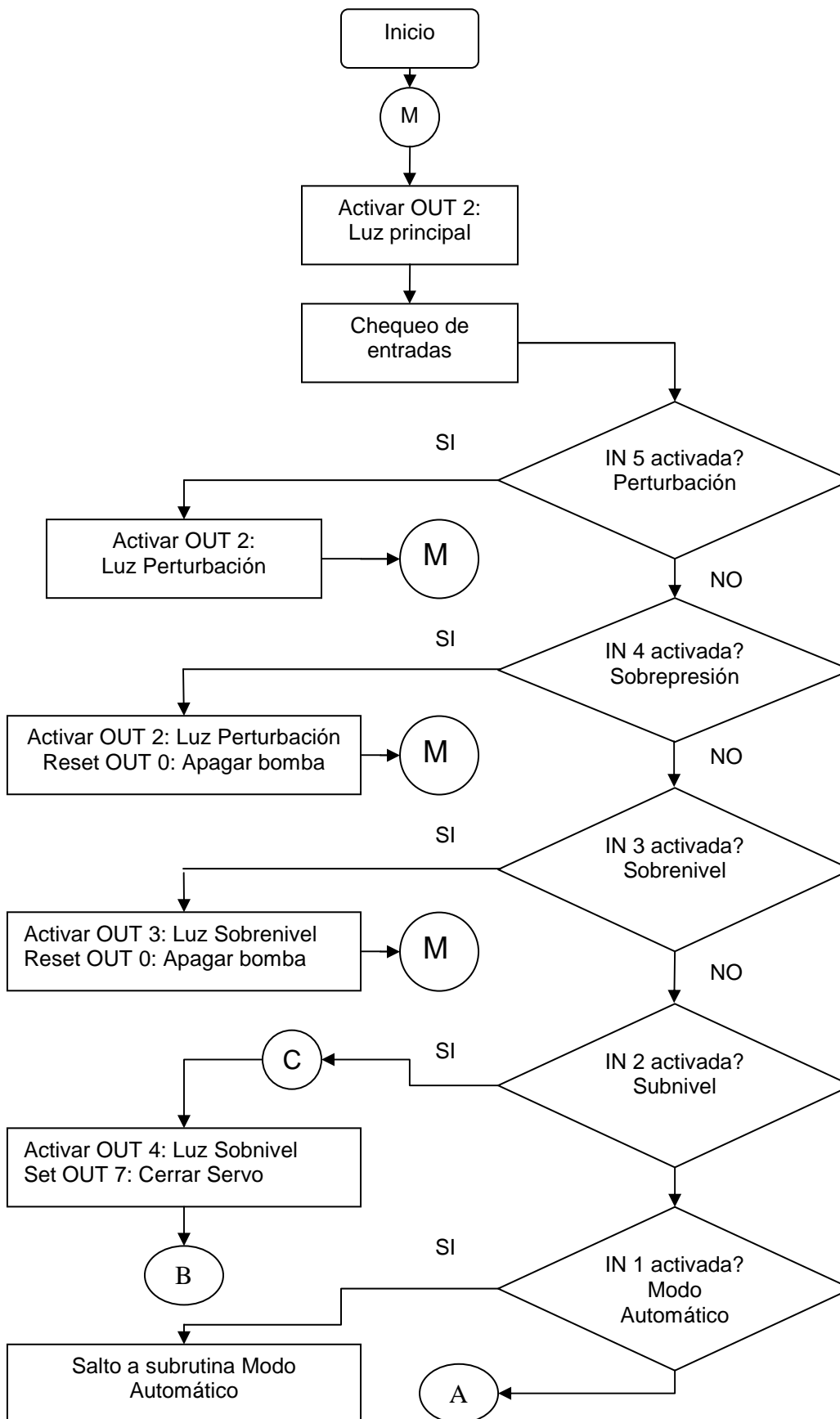


Figura 3.11: Chequeo De Modo De Operación

El diagrama de flujo del programa principal se muestra en la figura 3.12

3.2.4.2 Diagrama de flujo del Programa Principal



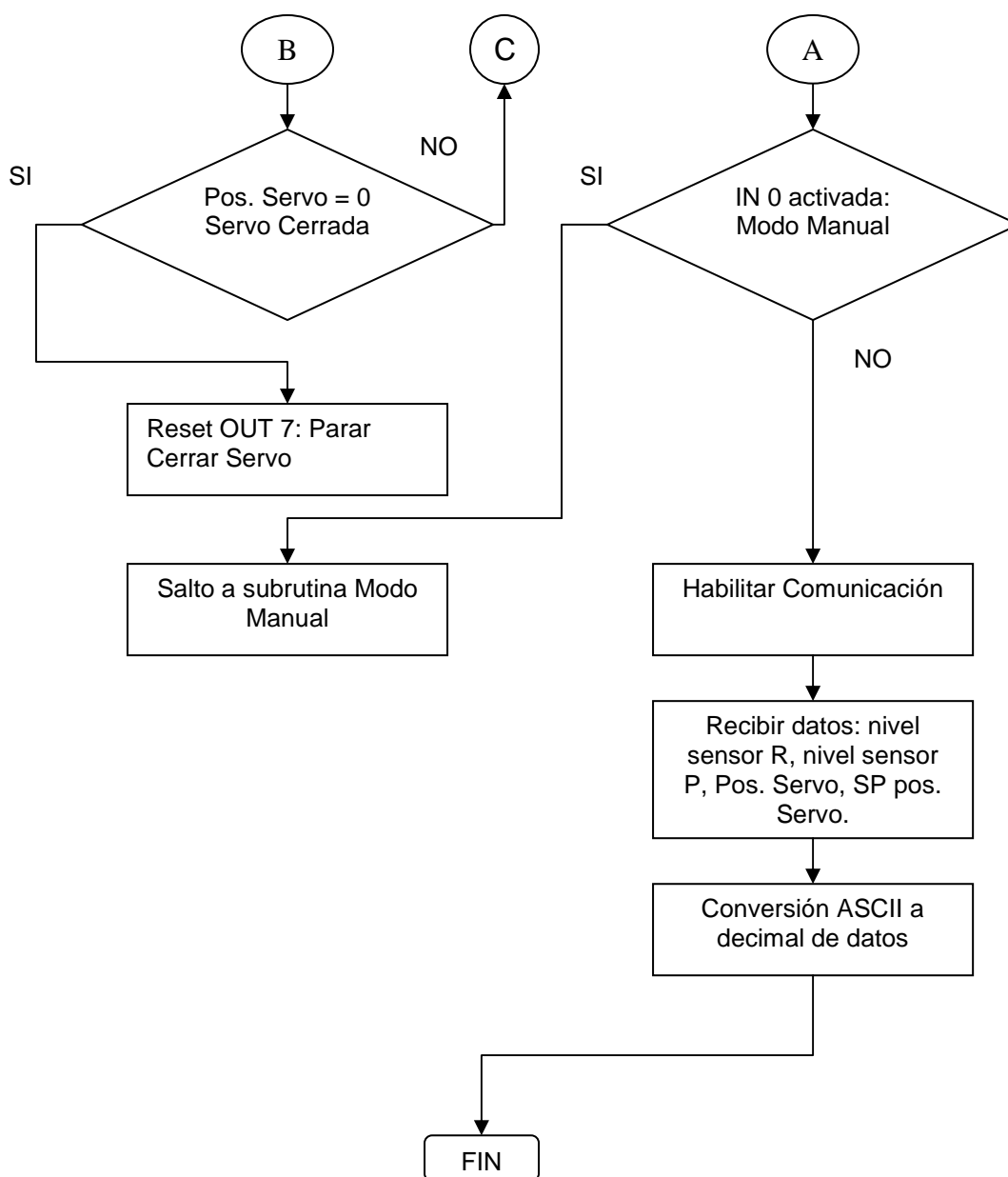


Figura 3.12: Diagrama De Flujo Programa Principal

3.2.4.3 Subrutina Modo Manual

Al mover el selector en el panel de operador hacia la posición Modo Manual se activa esta subrutina y el PLC espera la instrucción enviada por el Control Remoto ó por el Control Local vía serial al puerto uno del PLC. Una vez recibida la

instrucción en el registro %MW32 (palabra de 16 bits) del PLC, se realiza la operación solicitada de acuerdo a las tablas 3.5 y 3.6:

Valor del registro de recepción MW32%	Operación Solicitada
50	Prender Bomba
51	Apagar Bomba
52	Habilitar Servoválvula
53	Deshabilitar Mover Servoválvula

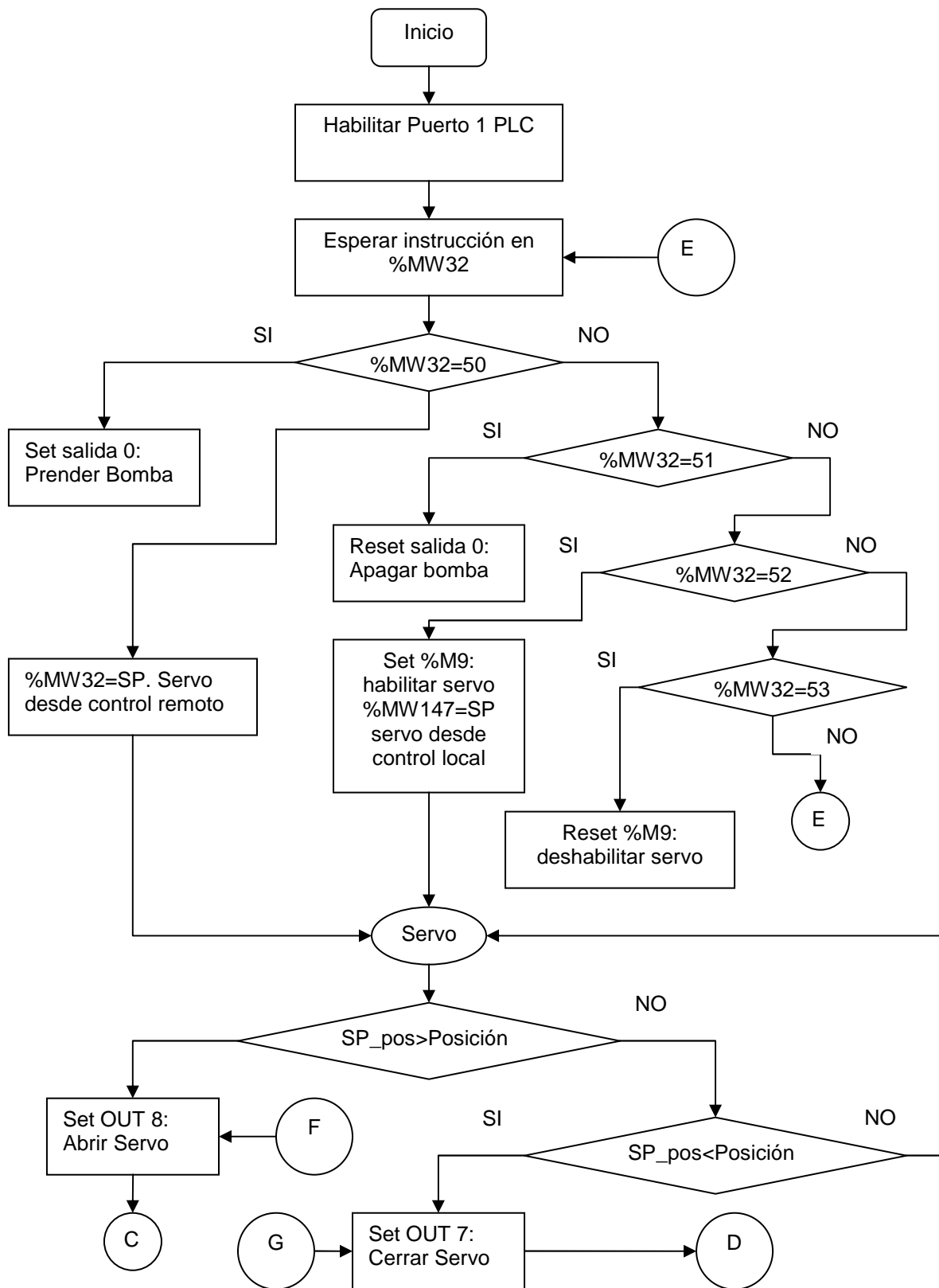
Tabla 3.5: Protocolo De Operación En Modo Manual

Operación Solicitada	Acción realizada por el PLC
Prender Bomba	Setear salida 0
Apagar Bomba	Reseteo salida 0
Habilitar Servoválvula	Setear bit %M9 para ejecutar la rutina de movimiento de la servoválvula
Deshabilitar Mover Servoválvula	Reseteo bit %M9 para deshabilitar la rutina de movimiento de la servoválvula

Tabla 3.6: Acciones A Tomar

El diagrama de flujo del modo manual se muestra en la figura 3.13

3.2.4.4 Diagrama de flujo del Modo Manual



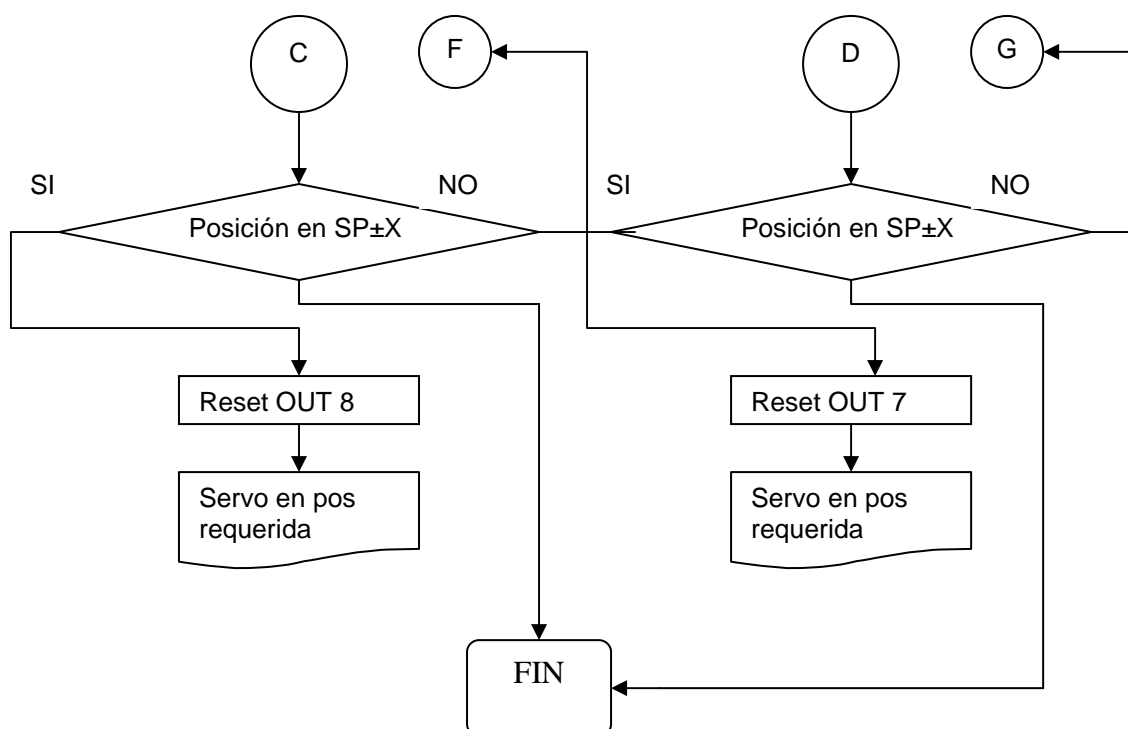


Figura 3.13: Diagrama De Flujo Del Modo Manual

3.2.4.5 Rutina de movimiento de la servoválvula

El potenciómetro sensor de posición de la servoválvula entrega un valor de voltaje de salida que varía entre 0 y 5 voltios, y equivale a un valor decimal de conversión que varía entre 0 y 1023.

Al setearse el bit %M9 del PLC, da paso a la comparación entre los registros %MW116 y %MW146 que corresponden a la Posición y Setpoint de posición (SP_p) de la servoválvula respectivamente.

Si el SP_p es mayor a la Posición (error positivo), se abre la servoválvula seteando la salida 8 del PLC hasta que el valor de la posición esté dentro de un ancho de banda establecido; por otro lado, si el SP_p es menor que la Posición (error negativo), se cierra la servoválvula seteando la salida 7 del PLC hasta que

el valor de la posición esté dentro de un ancho del banda establecido $SP_p \pm x$
 Como se muestra en la figura 3.14

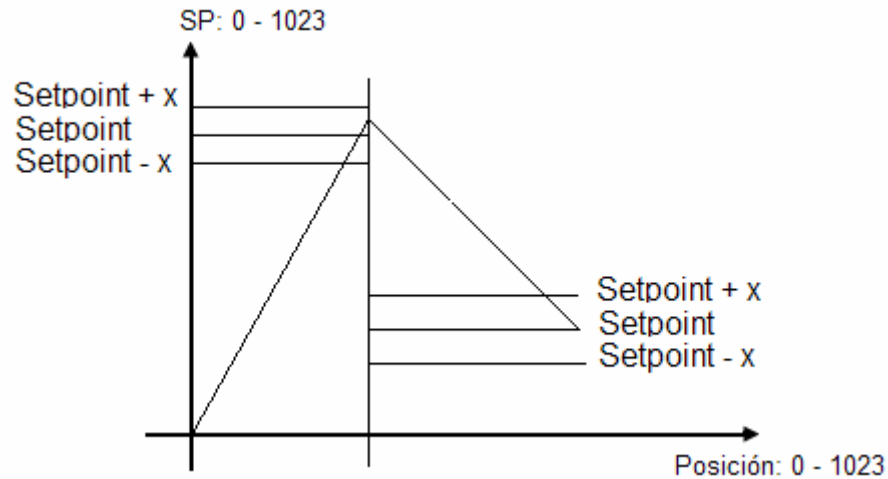


Figura 3.14: Ilustración Del Control De Posición Del Vástago De La Servoválvula

Para realizar el control de la posición del vástago de la servoválvula se utiliza el diagrama de control de la figura 3.15

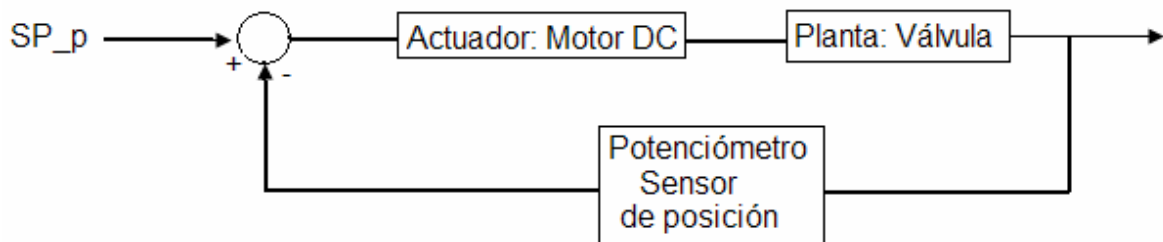


Figura 3.15: Diagrama De Control De Posición del Vástago De La Servoválvula

El movimiento de la servoválvula se puede realizar tanto desde el Control Local como desde el Control Remoto. Si actúa el Control Local se comparan directamente los registros %MW116 y %MW146; en cambio, si actúa el Control Remoto éste envía al PLC vía serial a través del puerto 1 el valor deseado de

apertura de la servoválvula en porcentaje, el mismo que se recibe en el registro %MW147 para hallar el valor de SP_p deseado a través de la siguiente relación:

$$SP_p = \%MW147 = \%MW147 * \frac{1023}{100}$$

Ecuación 3.1: Escalamiento Del Valor De Sp De Posición De La Servoválvula De 0% A 100% De Su Apertura

Con este valor de SP_p se comparan los registros %MW116 y %MW147, y de acuerdo a esto se mueve la servoválvula hasta que se encuentre dentro de un ancho de banda establecido.

3.2.4.6 Subrutina Modo Automático

Al mover el selector en el panel de operador hacia la posición Modo Automático se activa esta subrutina y el PLC espera el valor de Setpoint de nivel (SP_n) enviado por el Control Remoto ó por el Control Local vía serial al puerto uno del PLC. Una vez recibido dicho valor en el registro %MW205 (palabra de 16 bits) del PLC, se realiza la conversión ASCII a decimal del mismo, valor que es almacenado en el registro %MW212 del PLC y se determina el error de nivel (Ecuación 3.2) para tomar la decisión adecuada de acuerdo a la tabla 3.7.

$$Error_nivel = Nivel_actual - SP_n$$

Ecuación 3.2: Cálculo Del Error De Nivel

La ecuación 3.2 se muestra en función de los registros internos del PLC en la ecuación 3.3

$$\%MW164 = \%MW159 - \%MW88$$

Ecuación 3.3: Cálculo Del Error De Nivel En Función De Los Registros Internos Del PLC

%MW164	Implica	Actuador
Positivo	$SP_n > \text{Nivel Actual}$	Servoválvula
Negativo	$SP_n < \text{Nivel Actual}$	Bomba

Tabla 3.7: Acciones A Tomar De Acuerdo Al Signo del Error De Nivel

Con esto se determina el actuador para cada caso, lo que se indica en los siguientes diagramas de control:

Con error positivo el diagrama de control es el mostrado en la figura 3.16



Figura 3.16: Diagrama De Control Para Error Positivo

Con error negativo el diagrama de control es el mostrado en la figura 3.17

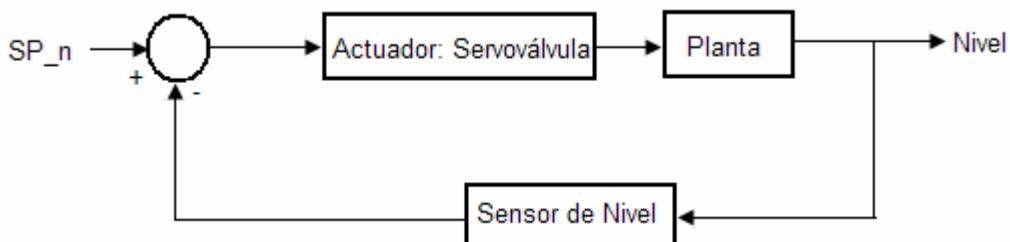


Figura 3.17: De Control Para Error Negativo

Los datos enviados por los sensores de nivel resistivo y de presión se almacenan en los registros %MW64 y %MW88 del PLC respectivamente. Para realizar el control de nivel se opta por la siguiente estrategia: se comparan los dos datos de nivel, tomando como referencia el dato de nivel dado por el sensor de presión para establecer un ancho de banda del 10% de dicho valor. Si el dato de nivel dado por el sensor resistivo está dentro de dicha banda se considera un nivel válido, caso contrario se detiene el proceso como norma de seguridad de funcionamiento del módulo.

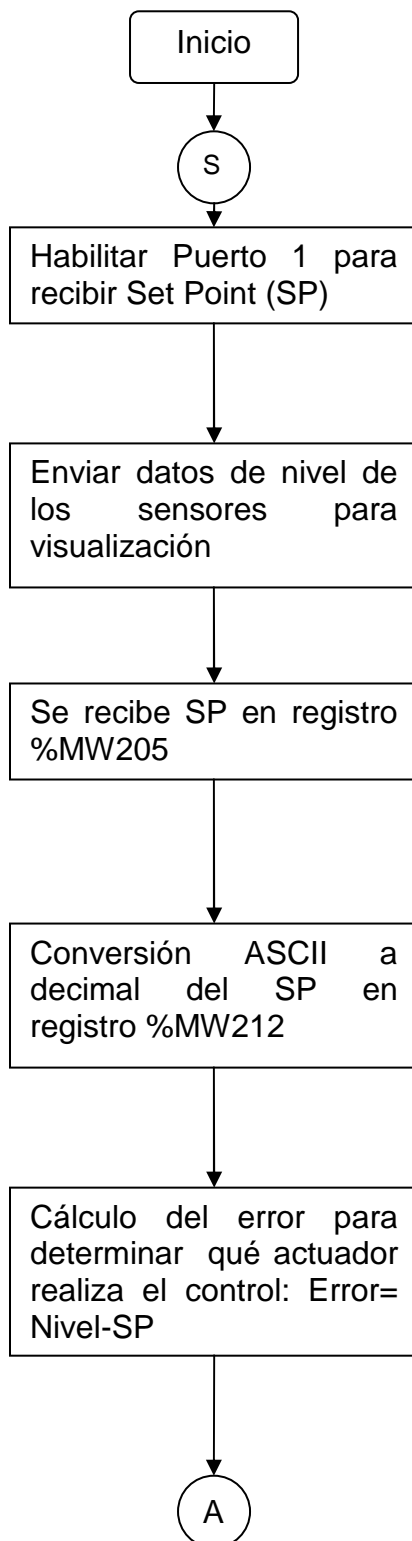
La estrategia utilizada para el control de nivel se muestra en la tabla 3.8

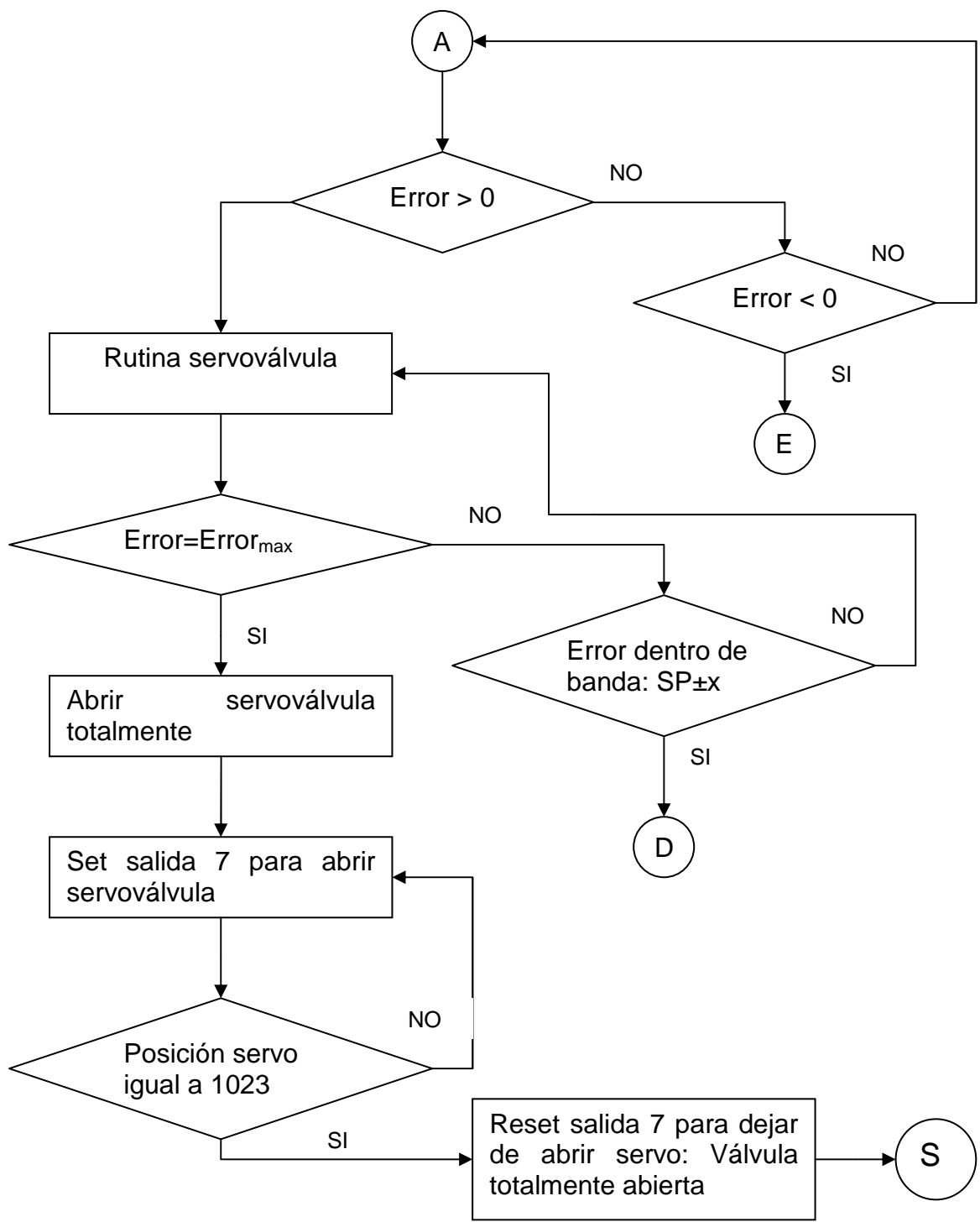
Error	Acción
Máximo	Servoválvula totalmente abierta
Dentro de banda	Servoválvula totalmente cerrada

Tabla 3.8: Estrategia Para El Control De Nivel

Debido al comportamiento de la servoválvula, no se puede realizar un control de la misma en todo el rango ya que cuando la válvula está abierta del 40% en adelante, el caudal de salida es el máximo, por lo que un control on / off que es el implementado da buenos resultados. El diagrama de flujo del modo automático se muestra en la figura 3.18.

3.2.4.7 Diagrama de flujo de la Subrutina Modo Automático





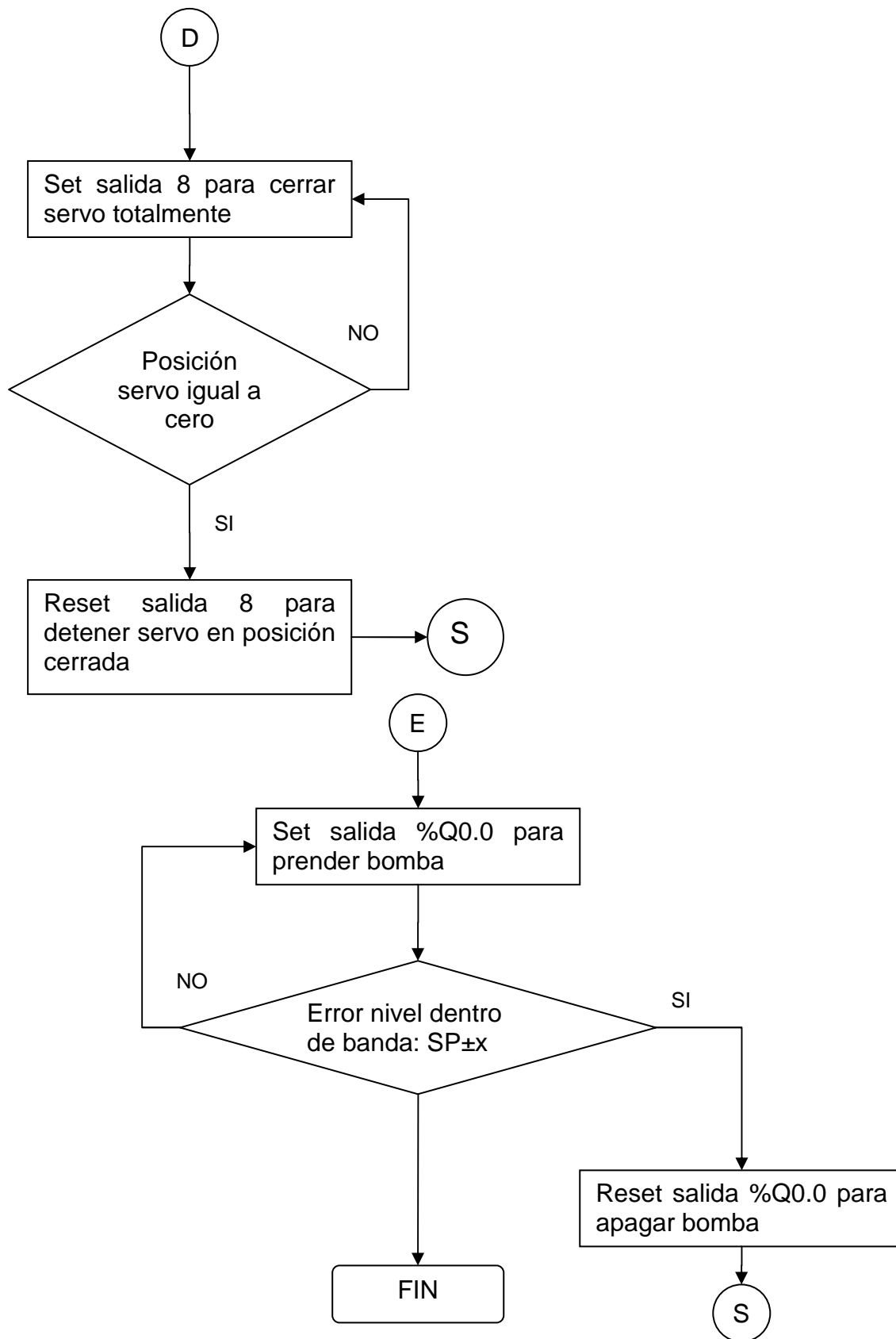


Figura 3.18: Diagrama De Flujo Del Modo Automático

3.3 BASCOM AVR

BASCOM AVR es un compilador de Basic para la familia de microcontroladores ATMEL.

3.3.1 JUEGO DE CARACTERES UTILIZADOS POR BASCOM AVR

BASCOM AVR utiliza en la escritura de un programa, los caracteres mostrados en la tabla 3.9:

Carácter	Nombre
ENTER	Termina una entrada de línea
	Blanco (o espacio)
'	Simple comilla (apóstrofe)
*	Asterisco (símbolo de multiplicación)
+	Signo de mas (suma)
,	Coma
-	Signo de menos (resta)
.	Periodo (punto decimal)
/	Slash (símbolo de división) se maneja como \
:	Colon (: dos puntos)
"	Doble comillas
;	Punto y coma
<	menor que
=	signo de igual (símbolo de asignación u operador relacional)
>	Mayor que
\	Backslash (integer/word símbolo de división)

Tabla 3.9: Caracteres de Bascom AVR

3.3.1.1 Fundamentos del lenguaje

Las líneas de programa en BASCOM AVR, tienen la siguiente sintaxis:

[[línea-identificador]] [[instrucción]] [[:instrucción]] ... [[comentario]]

El identificador (etiqueta) puede ser una combinación de 32 palabras o dígitos y no puede ser una palabra clave o reservada de BASCOM AVR, como por ejemplo: Start, que es un comando de arranque de alguna parte del hardware. En lugar de esto se podría escribir, por ejemplo: Start_control

El comentario indica la acción realizada al utilizar un comando o conjunto de instrucciones y no es compilable.

3.3.1.2 Ambiente de programación de Bascom Avr

El ambiente de programación es un editor de texto, y tiene menús típicos como: File, Edit, Options, Window, Help; todos fáciles de manejar.

Al abrir un nuevo proyecto, se recomienda ir al menú Options, compiler, chip; como se muestra en la figura 3.19

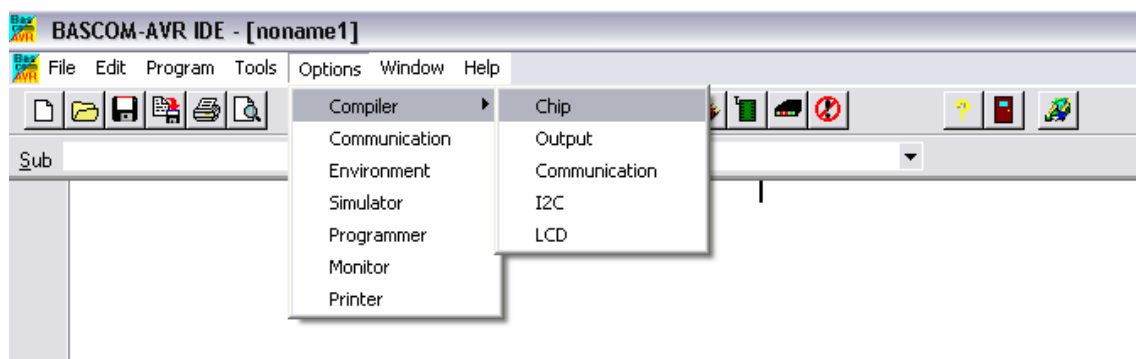


Figura 3.19: Nuevo proyecto

Con esto se ingresa a la ventana mostrada en la figura 3.20, en la que se muestran algunas opciones de configuración, como por ejemplo: Chip: el chip a utilizarse; Output: los archivos creados durante la compilación; Communication: parámetros de la comunicación; I2C: tipo de comunicación; LCD: configuración de los pines a los cuales se conectará el LCD; etc.

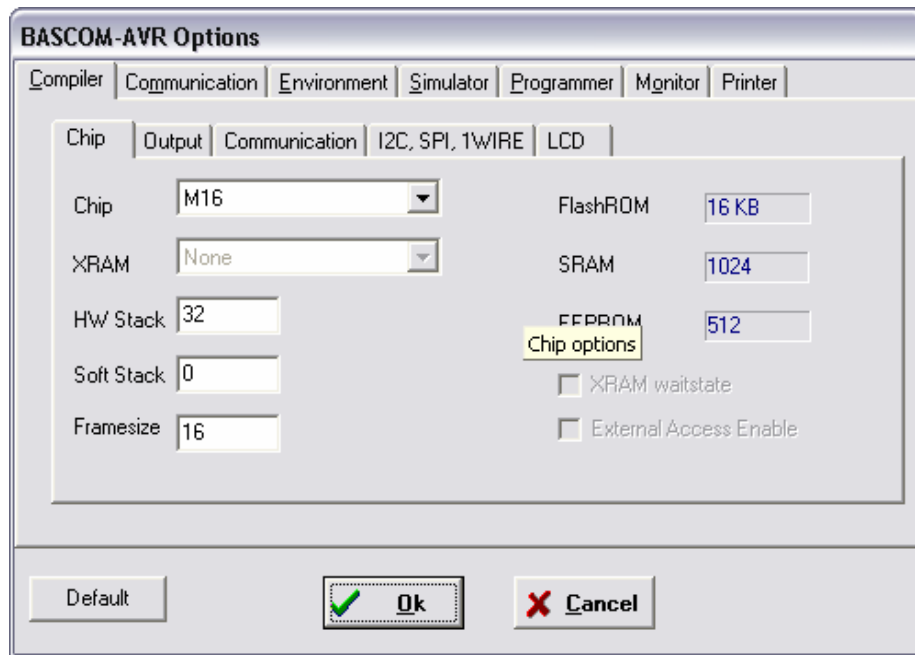


Figura 3.20 Menu Bascom Avr - Options

La figura 3.21 muestra el ambiente sobre el cual se escribe el programa y, en general, se estructura como se muestra:

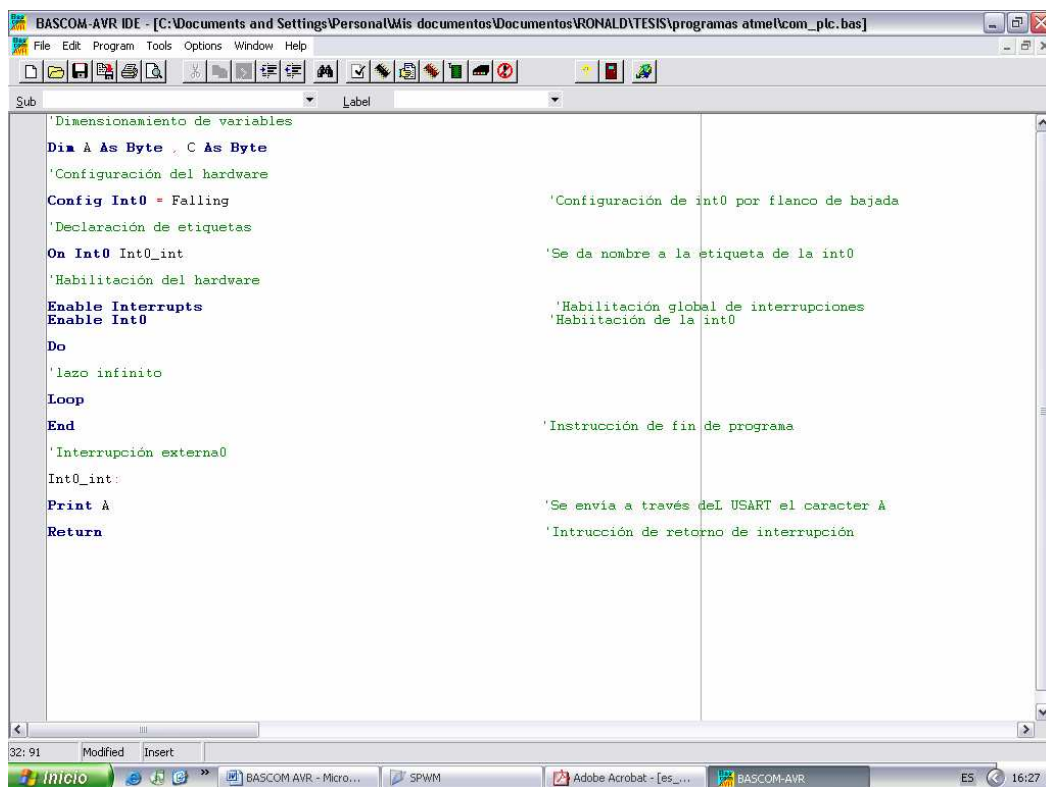





Figura 3.21: Ambiente donde se desarrolla el programa

Se tiene un espacio para el dimensionamiento de las variables, configuración del hardware, declaración de etiquetas, habilitación del hardware. El programa consta de un lazo principal infinito (Do - Loop), aunque también puede ser condicionado para que finalice al darse una determinada condición. Luego de la instrucción END (fin del programa), se escriben las interrupciones y subrutinas.

3.3.1.3 Compilación y envío del programa hacia el micro

Utilizando el ícono  en la barra de herramientas o presionando F7, se compila el programa, y en caso de errores, se muestran para su depuración.

Se hace uso del simulador, a través del ícono  en la barra de herramientas o presionando F2.

El programa se baja al micro a través del hardware de programación STK200-300, cuyo esquema se muestra en la figura 3.22, y utilizando el ícono  en la barra de herramientas o presionando F4

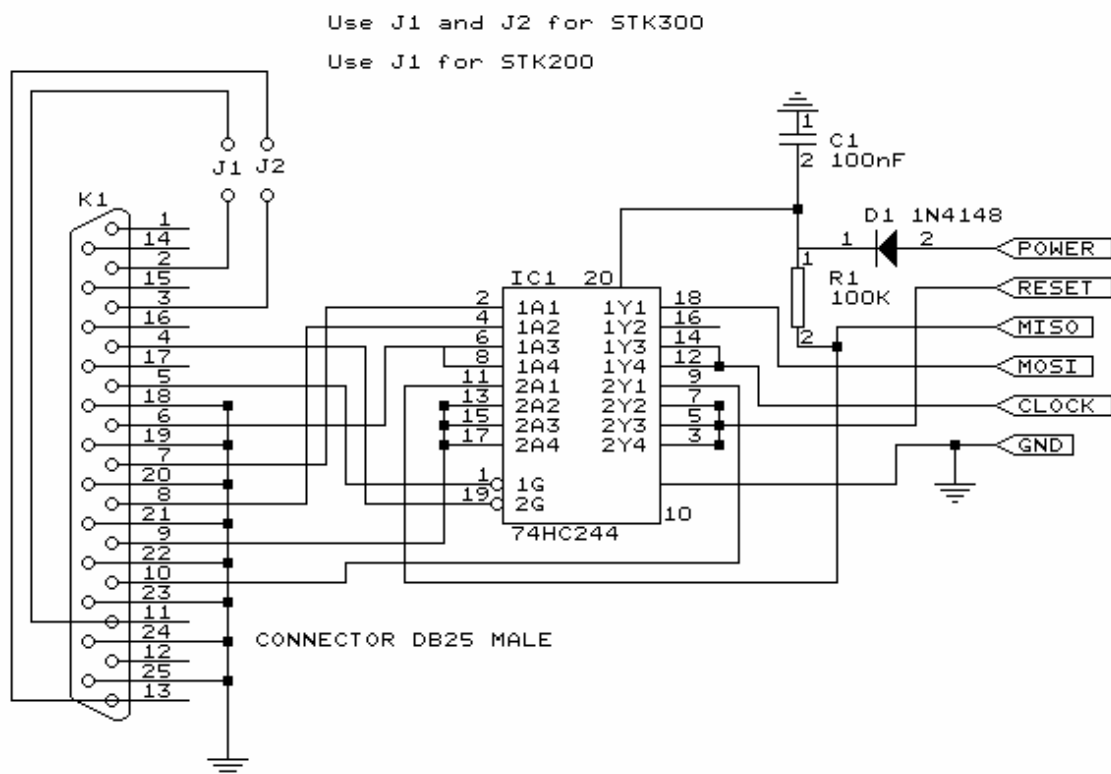


Figura 3.22: STK200-300

3.3.1.3.1 Programa microcontrolador ATMEGA8515

Al existir un control local el cual entra en funcionamiento en el momento que no exista un PC para trabajar con el HMI, se desarrolló un programa en el microcontrolador ATMEGA8515 para poner en marcha el módulo,

El programa del microcontrolador consta de un programa principal el que a su vez tiene dos casos, modo manual y modo automático que entran en funcionamiento en función de las condiciones con las que se desee trabajar.

PROGRAMA PRINCIPAL

Dado que el PLC no discrimina si es PC o microcontrolador (HMI o control local), la forma de accionar el programa del microcontrolador ATMEGA8515 desarrollado en BASCON AVR y a su vez deshabilitar el HMI es leyendo el estado del pine.2 del microcontrolador ATMEGA8515. Si este se encuentra a 5 Vdc (1 lógico) habilita tanto la comunicación entre el microcontrolador ATMEGA8515 y el PLC y la del ATMEGA8 con el PLC (encargado de la adquisición de los datos análogos de los sensores), además del teclado matricial y del LCD. Si el pine,2 del ATMEGA8515 se encuentra a 0 Vdc deshabilita las comunicaciones anteriormente mencionadas, el teclado y el LCD y habilita la comunicación entre la PC y el PLC.

Al momento de habilitar el programa del microcontrolador en el LCD se despliega una pantalla con dos opciones modo manual y modo automático (figura 3.23)



Figura 3.23: Menú programa principal

Para poder ingresar al modo manual o automático se debe digitar en el teclado matricial 1 o 2 respectivamente.

MODO MANUAL

Al ingresar al modo manual se desplegará otra pantalla con cinco opciones (Figura 3.24) al tiempo que se podrá ver el nivel del líquido tomado tanto con el sensor potenciométrico (Nr=) como por el sesor de presión (Np=). Para elegir cualquiera de las opciones desplegadas se debe ingresar por medio del teclado matricial la opción deseada.

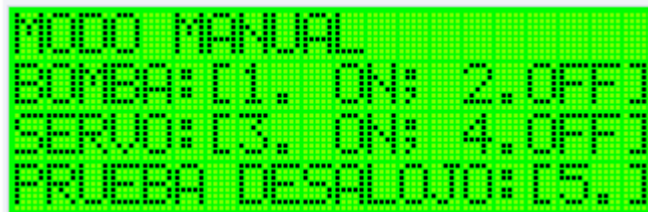


Figura 3.24: Menú modo manual

Al momento de ingresar a la primera opción que es la de prender bomba se envía vía serial el numero 50 para que el PLC prenda la bomba.

Cuando se ingresa a la segunda opción por medio del teclado matricial se envía vía serial el numero 51 para que el PLC apague la bomba.

Al momento de ingresar a la tercera opción que es la de habilitar Servoválvula se envía vía serial 52 para que el PLC tome las acciones necesarias para mover la Servoválvula (abrirla o cerrarla).

Al momento de ingresar a la cuarta opción que es la de deshabilitar Servoválvula se envía vía serial 53 para que el PLC no permita que exista movimiento alguno de la misma (abrirla o cerrarla).

Cuando se ingresa a la quinta opción que corresponde a la prueba de desalojo (Figura 3.25), existen tres opciones para desalojar 6cm del líquido en varios tiempos, los mismos que fueron obtenidos al realizar las pruebas explicadas en el capítulo 4.



```
DESALOJAR 6cm en:  
1. [187 s] ; 2. [95 s]  
3. [64 s]  
[ESC = *]
```

Figura 3.25: Prueba desalojo

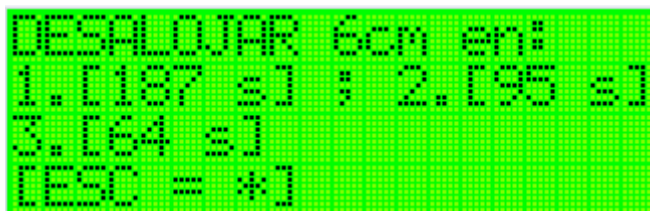
Luego de elegir cualquiera de las tres opciones para desalojar los 6cm, automáticamente aparecerá una pantalla en la que se podrá visualizar los parámetros del sistema (Figura 3.26) como son la lectura de los sensores y el tiempo elegido para desalojar los 6cm, adicionalmente si se desea regresar al menú “Desalojar” se debe pulsar *.



```
PARAMETROS(cm) ESC=*  
FLOTADOR = 10  
SENS PRESION = 10.5  
6cm!En tiempo: 64 s
```

Figura 3.26 Parámetros del sistema

Si se desea regresar al menú de modo manual se debe pulsar * en el teclado matricial como se indica en la figura 3.27.



```

DESALOJAR 6cm en:
1. [187 s] ; 2. [95 s]
3. [64 s]
[ESC = *]

```

Figura 3.27 Menu para prueba de desalojo

MODO AUTOMÁTICO

Al ingresar al modo automático se desplegará una pantalla (Figura3.28) en la que existen 2 opciones: ingrese set pint de nivel (SP NIVEL) al tiempo que se podrá ver los parámetros y la otra opción que corresponde a ver directamente los parámetros del sistema.



```

MODO AUTOMATICO
1. [INGRESE SP NIVEL]
2. [VER PARAMETROS]

```

Figura 3.28: Menú modo automático

Al elegir la opción 1, aparece una pantalla con dos opciones (Figura 3.29), si se pulsa la tecla B en el teclado matricial se estará en capacidad de ingresar el SP y al presionar * se regresará al menú de modo automático.



```

B. [SP ENTRE 4-30cm]
[ESC = *]

```

Figura 3.29: Habilidad para ingresar SP de nivel

Al momento de digitar B se puede ingresar un SP de una o dos cifras, si el SP es de una cifra se procede a digitar la cifra y a continuación se debe digitar en el

teclado A para aceptar el SP , para ingresar un set point de dos cifras se digitan las dos cifras y se debe digitar en el teclado A para aceptar el SP (Figura 3.30), el SP de nivel debe ser máximo de 2 cifras de 4 a 30 cm (que es el rango de nivel en el que se va a realizar el control ya que las dimensiones del módulo obligan a tener este intervalo de operación) .

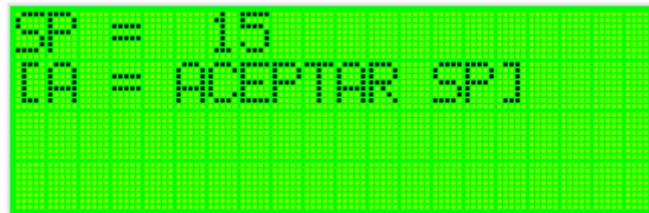


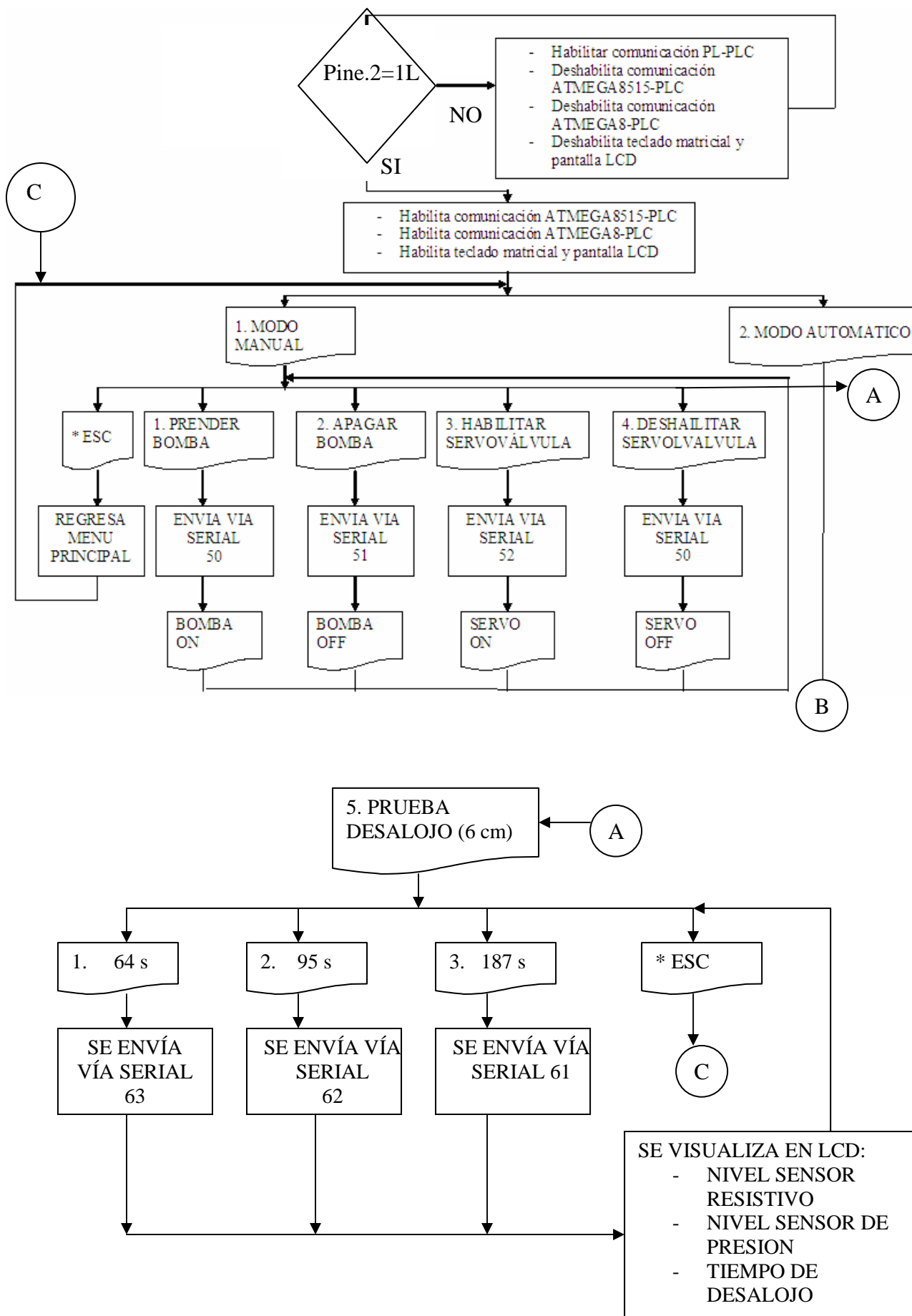
Figura 3.30: Ingresar SP

Al ingresar el SP por medio del teclado matricial se podrá visualizar en el LCD el nivel del líquido que ha medido el sensor potenciométrico y el sensor de presión (Figura 3.31) al tiempo que se podrá observar el set point ingresado el mismo que es enviado vía serial al PLC, si se quiere regresar al menú del modo automático se debe digitar “*”.



Figura 3.31: Parámetros del sistema

A continuación en la figura 3.32 se muestra el diagrama de flujo del programa del microcontrolador ATMEGA8515:



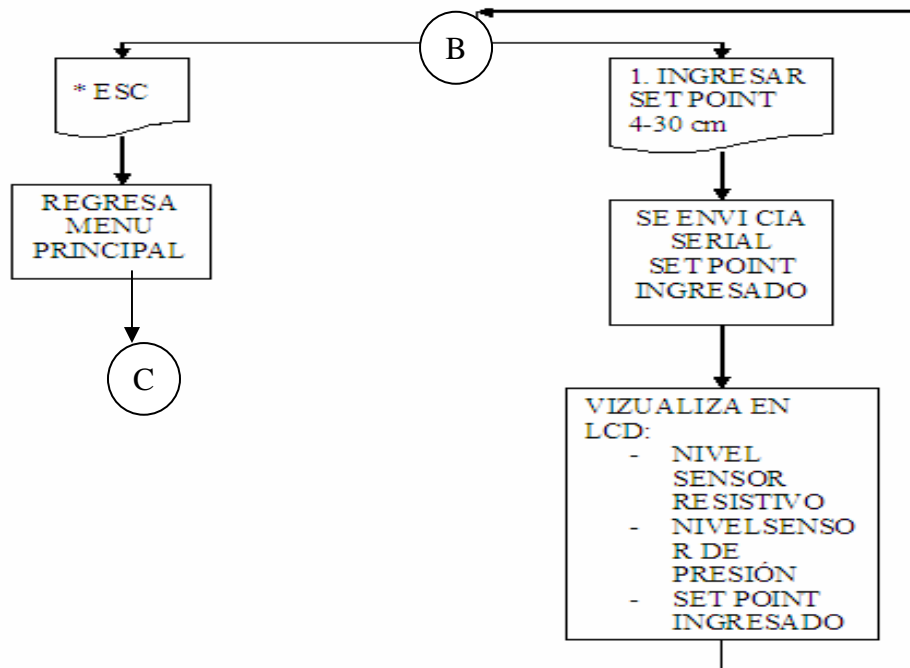


Figura 3.32: Diagrama de flujo del programa ATMEGA8515

3.3.1.3.2 Programa microcontrolador ATMEGA8

Dado que el microcontrolador ATMEGA8 tiene un solo canal AD pero cuatro canales de conversión, el programa del ATMEGA8 desarrollado en BASCON AVR empieza con una comunicación serial en la que recibe por parte del PLC en forma cíclica y continua los números 30, 31 para los sensores resistivo y de presión respectivamente y 40, 41 para los potenciómetros de posición y set point de la servoválvula respectivamente.

Al recibir vía serial los números antes mencionados el programa del ATMEGA8 puede discriminar el canal de conversión del cual tomar los datos de conversión para con ello realizar un promedio de diez muestras tomadas de cada uno de los canales AD, para luego de lo cual enviar por vía serial al PLC los datos de los canales AD en el mismo orden en el que el PLC hizo la petición (cada 300 ms), todo el programa está encerrado en un lazo infinito (do loop) para que el proceso se realice en forma continua, con lo cual queda claro del diagrama de flujo del microcontrolador ATMEGA8 que se presenta en la figura 3.33:

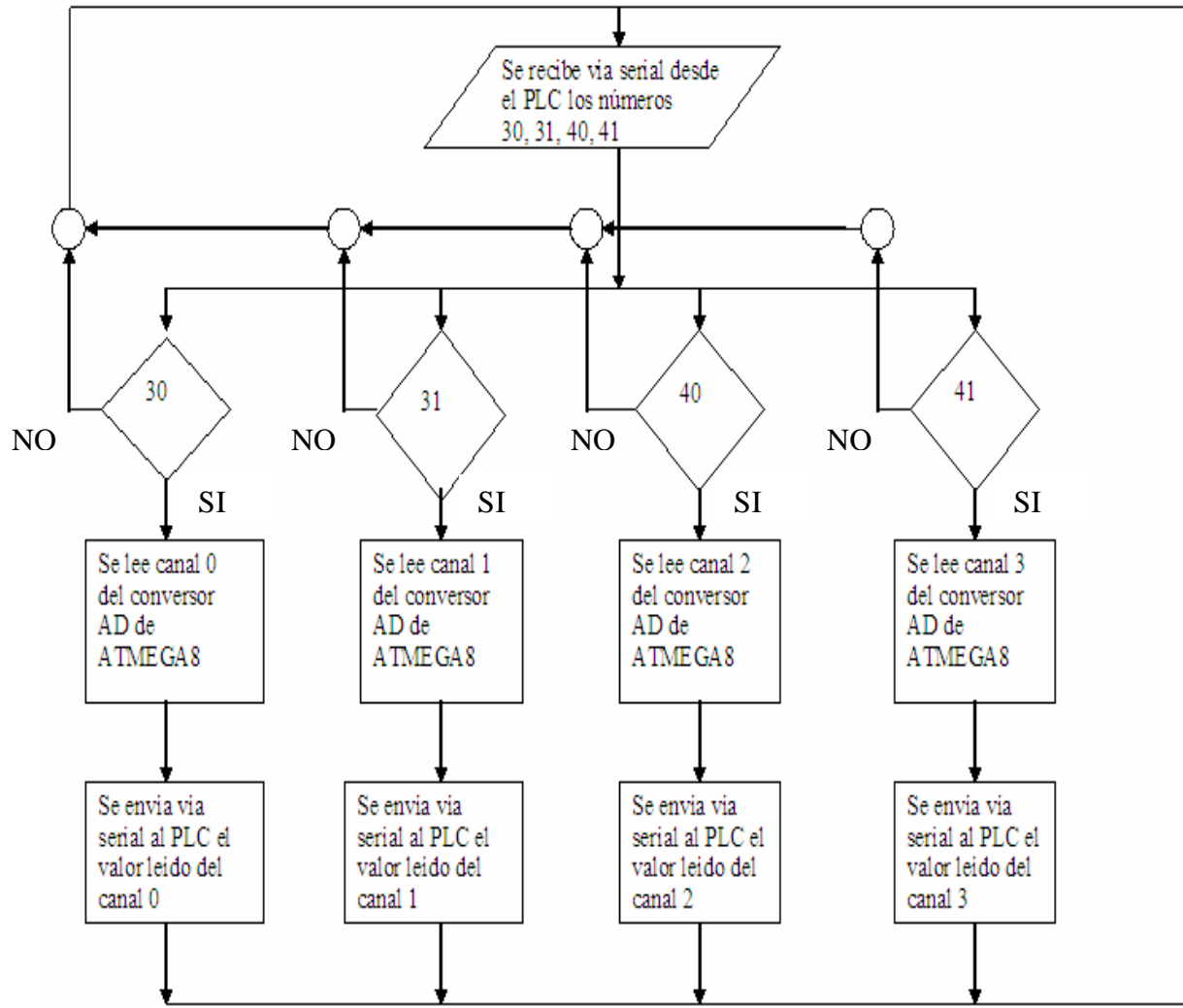


Figura 3.33: Diagrama de flujo programa ATMEGA8

3.3.2 NATIONAL INSTRUMENTS LABVIEW

LABVIEW es una poderosa herramienta de programación, con aplicaciones en muchos campos como: Ingeniería (Electrónica, Mecánica), Biomedicina, Campos investigativos en general.

Es un lenguaje de programación gráfica, rápido, amigable y más fácil de utilizar que la mayoría de lenguajes de programación de alto nivel. Algunas aplicaciones

de este paquete son: diseñar interfaces hombre máquina, diseñar sistemas SCADA, etc. Puede reconocer directamente varios dispositivos como: PLC's, Fieldpoint's (de Nacional Instrumets), etc.

Los programas creados en LABVIEW se denominan VI's y su extensión es .vi. Se pueden crear subrutinas conocidas como subVI's, y además se tienen librerías adicionales en los toolkit, que por supuesto tienen un costo adicional al paquete básico.

En la figura 3.34, se muestran las pantallas de la versión más reciente disponible de LABVIEW que es la 7.1

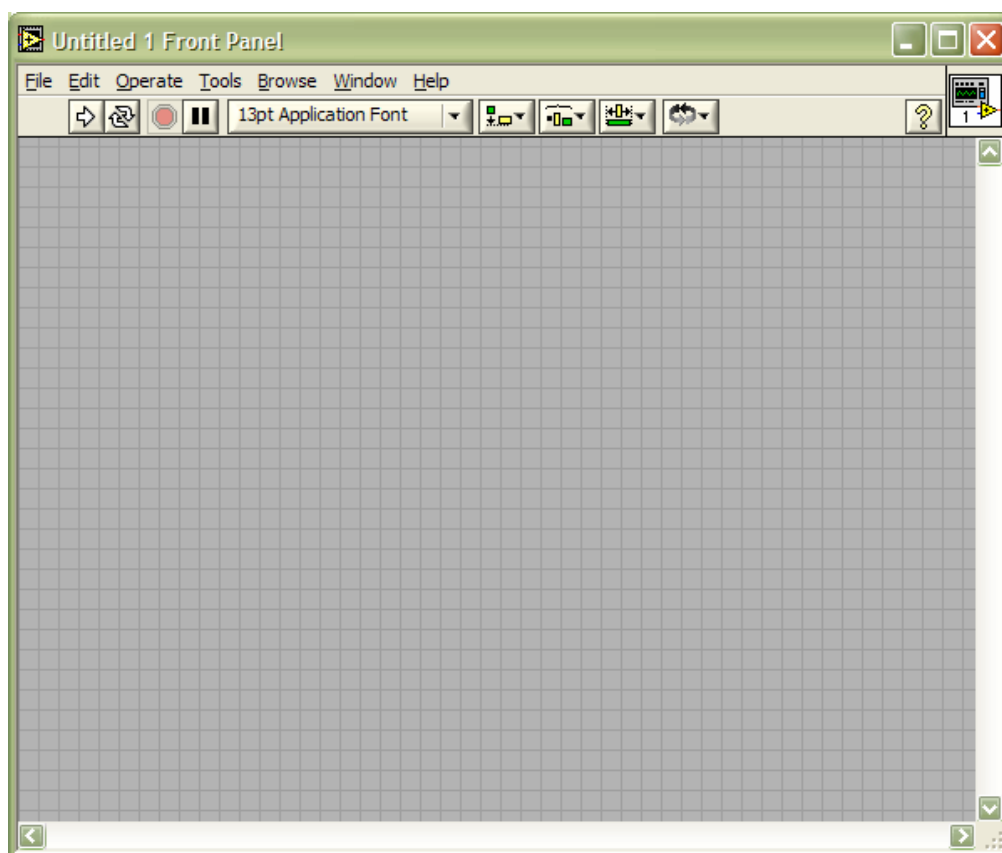


Figura 3.34: Front Panel

Esta pantalla (Figura 3.35) constituye el panel frontal en donde se ubican los instrumentos, botones, visualizadores; es decir, constituye el HMI en sí y es la pantalla de presentación al operario.

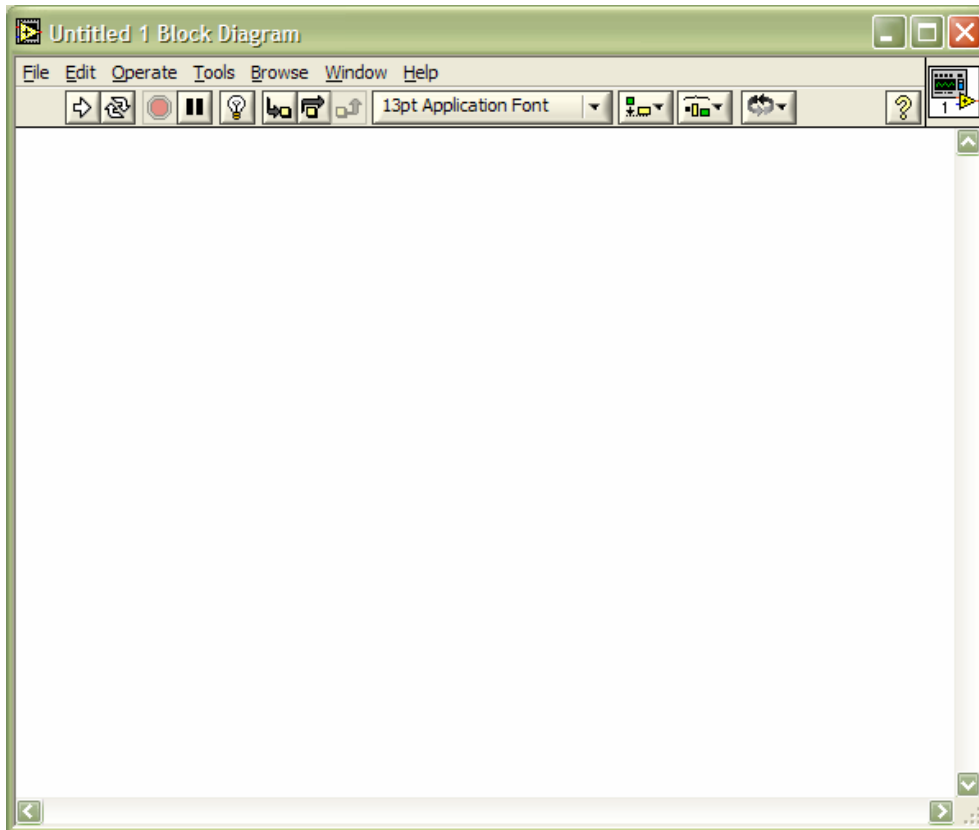


Figura 3.35: Block Diagram

En esta pantalla se ubican los diagramas de programación, como por ejemplo: lazos For, While, Secuencias, Casos, etc.

En las pantallas aparecen menús clásicos como: file, edit, window, help; cuyo funcionamiento es idéntico al de los menús utilizados en Windows.

3.3.2.1 Interfaz desarrollada en LabView

Mediante LabView se desarrolló la interfaz para el Control Remoto del Módulo desde la PC, la misma que consta de las siguientes pantallas:

3.3.2.2 Panel Frontal del Programa Principal



Figura 3.36: Pantalla Principal

La figura 3.36 muestra la pantalla principal de la interfaz que es la de presentación al usuario. Esta pantalla permite escoger el modo de operación deseado, el mismo que debe ser correspondiente con el seleccionado en el panel de operador. Una vez que se pulsa la opción requerida se pasa a la pantalla correspondiente al modo de operación escogido.

3.3.2.3 Diagrama de Bloques del Programa Principal

Este programa contiene un lazo While loop (Figura 3.37) el cual permite que su funcionamiento sea de manera continua hasta el momento en que se pulsa el botón de STOP.

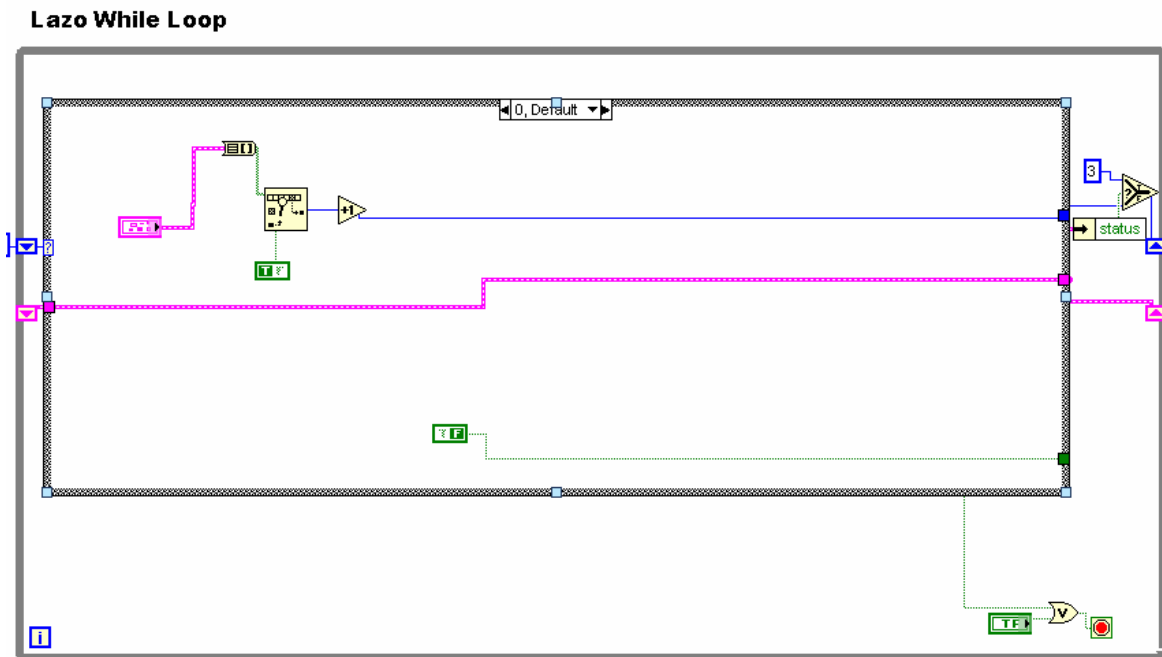


Figura 3.37:While loop del Programa Principal

Este lazo While Loop tiene en su interior una Sequence Structure que es un lazo que realiza acciones en forma secuencial que consta de tres secuencias, las cuales permiten enlazar al programa principal con los VI del Modo Manual y del Modo Automático para poder tener acceso a ellos desde el Panel Frontal del programa principal.

La secuencia 0 permite saber con cuantos VI se desea realizar el enlace como se muestra en la figura 3.38 y que para nuestro caso son dos VI con los que se desea enlazar:

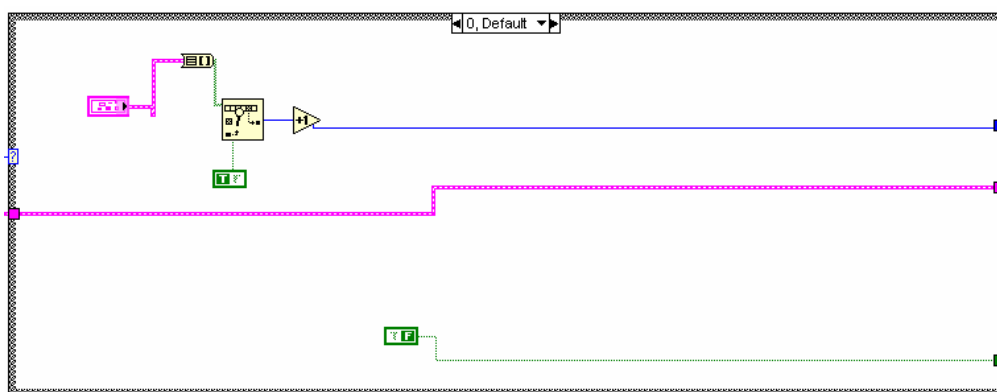


Figura 3.38: Secuencia 0

En la secuencia 1 se identifica el primer VI con el cual se desea realizar el enlace que es VI de Modo Manual (Figura 3.39), para poder acceder a este VI se debe digitar el botón correspondiente a Modo manual en el Panel frontal del programa principal.

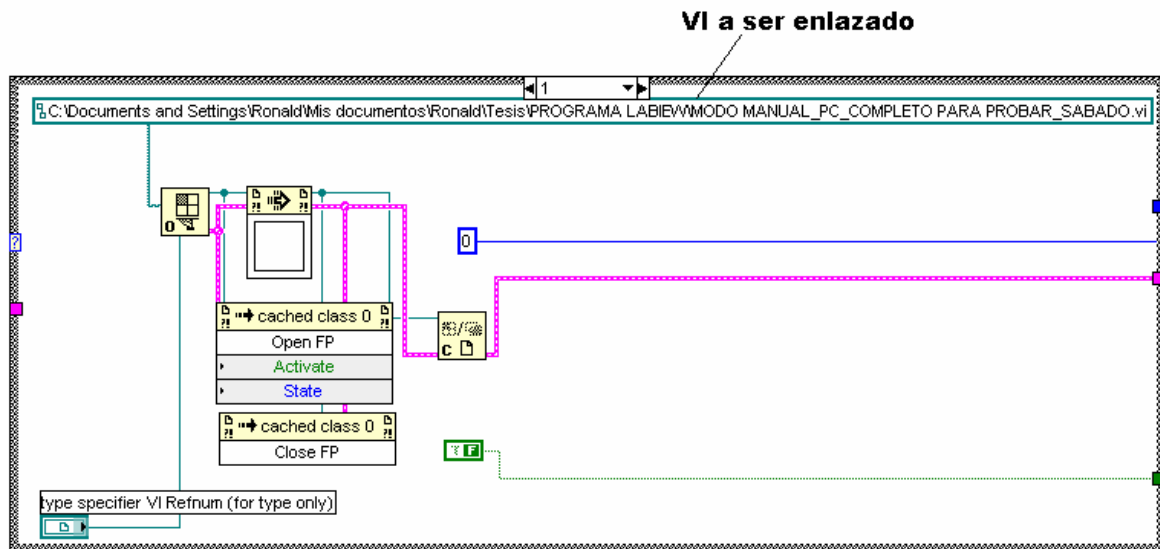


Figura 3.39: Identificación del primer VI a ser enlazado correspondiente a Modo Manual

En la secuencia 2 se identifica el segundo VI con el cual se desea realizar el enlace que es VI de Modo Automático (Figura 3.40), para poder acceder a este VI se debe digitar el botón correspondiente a Modo Automático en el Panel frontal del programa principal.

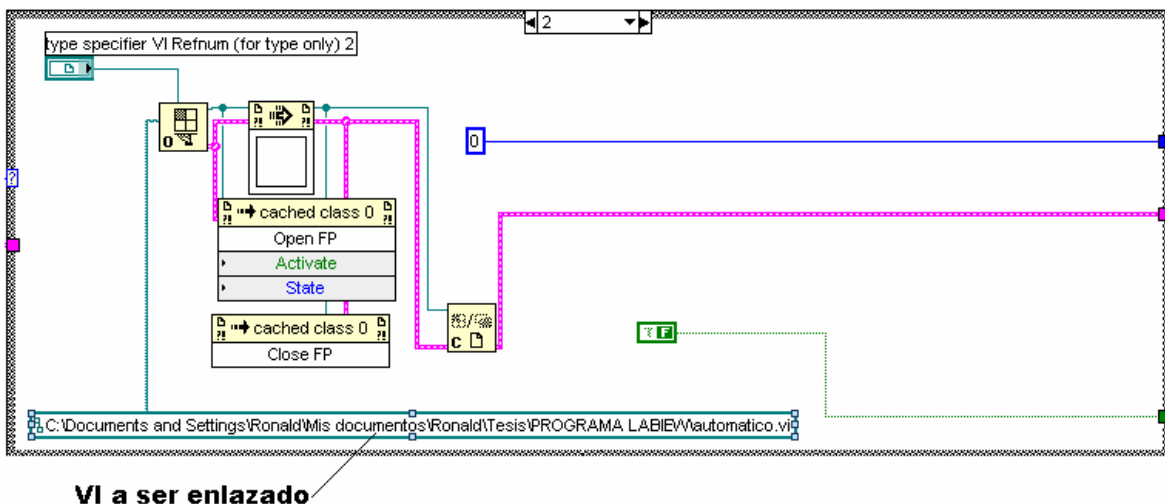


Figura 3.40: Identificación del segundo VI a ser enlazado correspondiente a Modo Automático

3.3.2.4 Panel Frontal del Modo Manual



Figura 3.41: Pantalla de Modo Manual

La figura 3.41 muestra la pantalla de Modo Manual, en la que se tienen los diferentes botones que permiten la manipulación tanto de la bomba como de la servoválvula, así como la visualización del nivel. En la parte correspondiente a la manipulación de la bomba se muestran dos botones: “ON” que prende la bomba y “OFF” que la apaga. En la parte correspondiente a la servoválvula se tienen los botones: “SELECCIONAR % APERTURA” que permite seleccionar el % de apertura de la Servoválvula y “EJECUTAR SELECCIÓN DE % DE APERTURA” que mueve la servoválvula una vez fijado el porcentaje de apertura dado por el desplazador horizontal (Horizontal Slide); adicionalmente en la operación de la servoválvula se tiene las pruebas de desalojo que cuenta con los siguientes botones: “Centímetros a desalojar” que permite ingresar los centímetros a ser desalojados entre las opciones 2,4,6 y 8cm, “Tiempo de desalojo” el cual permite ingresar el tiempo en que se quiere desalojar los centímetro seleccionados entre las opciones mostradas en el panel frontal del modo Manual; y por último se tiene el botón “STOP MODO MANUAL” que detiene el Modo Manual para retornar a la pantalla del programa principal.

3.3.2.5 Diagrama de Bloques del Modo Manual

El Diagrama de bloques del Modo Manual consta de una Secuence Structure cuya secuencia 0 consiste en configurar el puerto serial de la siguiente manera: Baut Rate = 9600 baudios, Data bits = 8, Stop Bit = 1 como se muestra en la figura 3.42

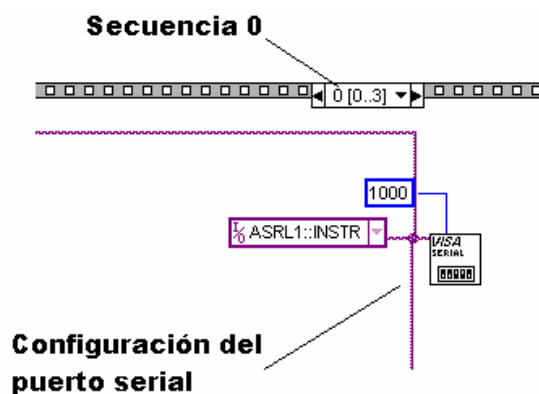


Figura 3.42: Configuración del puerto serial

En la secuencia 1 se envía vía serial 53 (Figura 3.43) para deshabilitar el bit %M9 del PLC ya que este es el que permite ingresar el % de apertura de la servoválvula desde el control local.

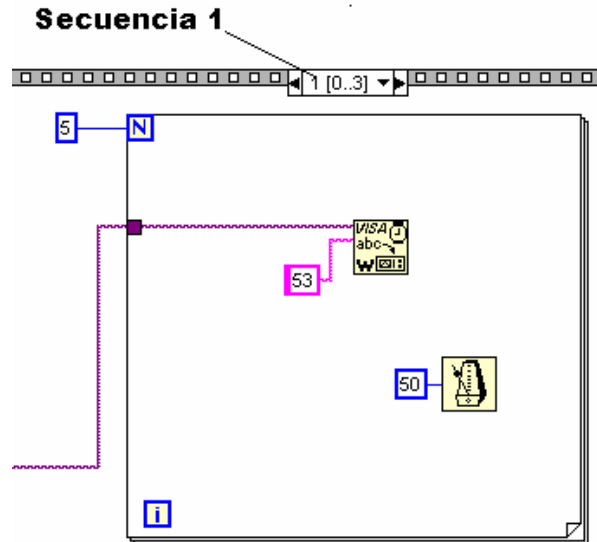


Figura 3.43: Deshabilitación de la apertura de la servoválvula desde el control local

En la secuencia 2 se envía vía serial 06 (Figura 3.44) para deshabilitar el bit %M90 del PLC ya que este es el que permite ingresar el % de apertura de la servoválvula desde la PC.

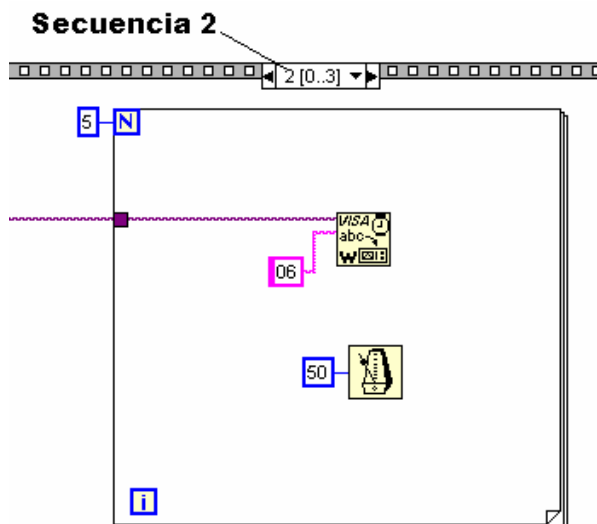


Figura 3.44: Habilitación de la apertura de la servoválvula desde la PC

Finalmente en la secuencia 3 se procede a realizar las siguientes acciones: se envía vía serial 50 para prender la bomba y 51 para apagar la bomba (Figura 3.45); se envía vía serial el porcentaje de apertura de la servoválvula (Figura 3.46) discriminando 0%, 50% y 100% y enviando 00%, 05%, 11% respectivamente ya que el PLC solo reconoce palabras de 2 bytes en el caso del 0% y el 100%, y para el 50% no se envía 50 porque ya se utiliza para prender bomba.

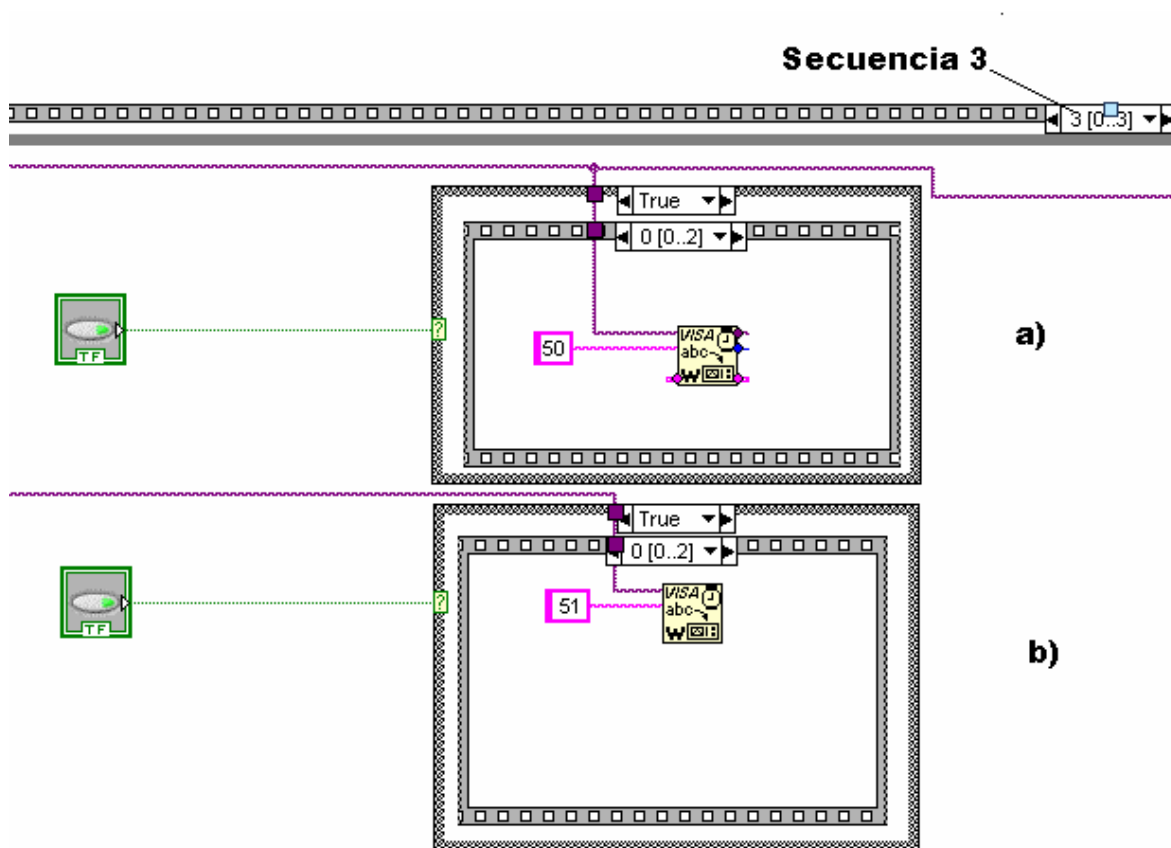


Figura 3.45: a) Prender bomba, b) Apagar bomba

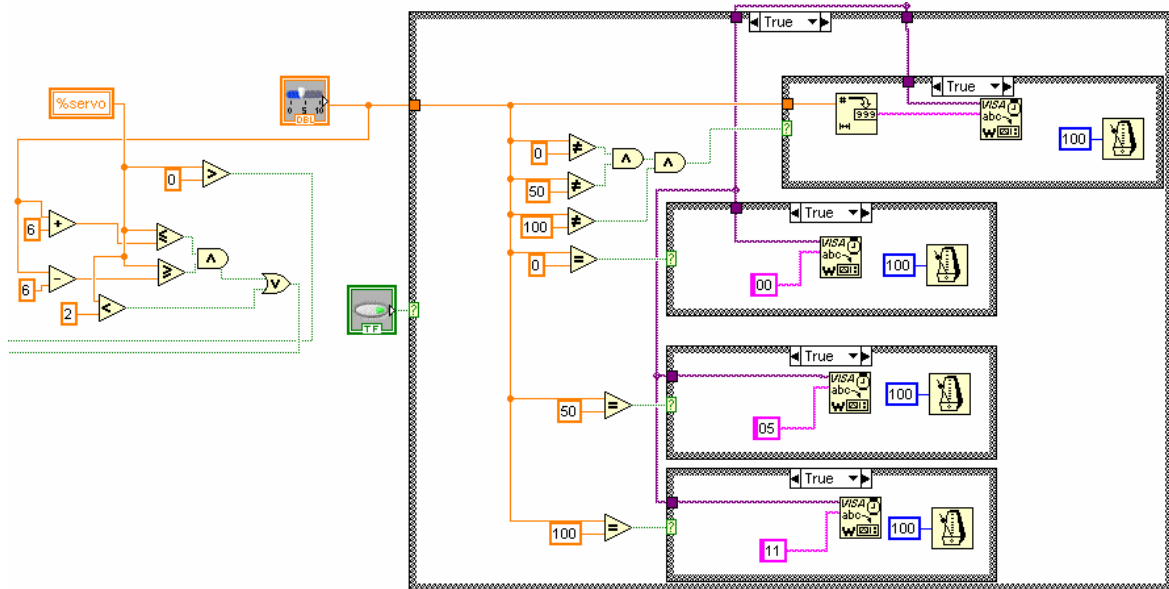


Figura 3.46: Porcentaje de apertura de la servoválvula enviada vía serial.

En el caso de las pruebas de desalajo se envía vía serial los siguientes valores: para 2 cm correspondientes a 56 s, 37.6 s, 24.8 s de tiempo de desalajo se envía 21, 22 y 23 respectivamente; para 4cm correspondientes a 112 s, 68 s, 47.8 s de tiempo de desalajo se envía 41, 42 y 43 respectivamente; para 6cm correspondientes a 187 s, 95 s, 64 s se envía 61, 62 y 63 respectivamente; ya para el caso de 8cm correspondientes a 232 s, 158 s, 96 s se envía 81, 82 y 83 respectivamente como se indica en la figura 3.47. Los datos enviados vía serial fueron establecidos arbitrariamente como protocolo de comunicación y los datos de tiempo se obtuvieron a través de las pruebas de funcionamiento.

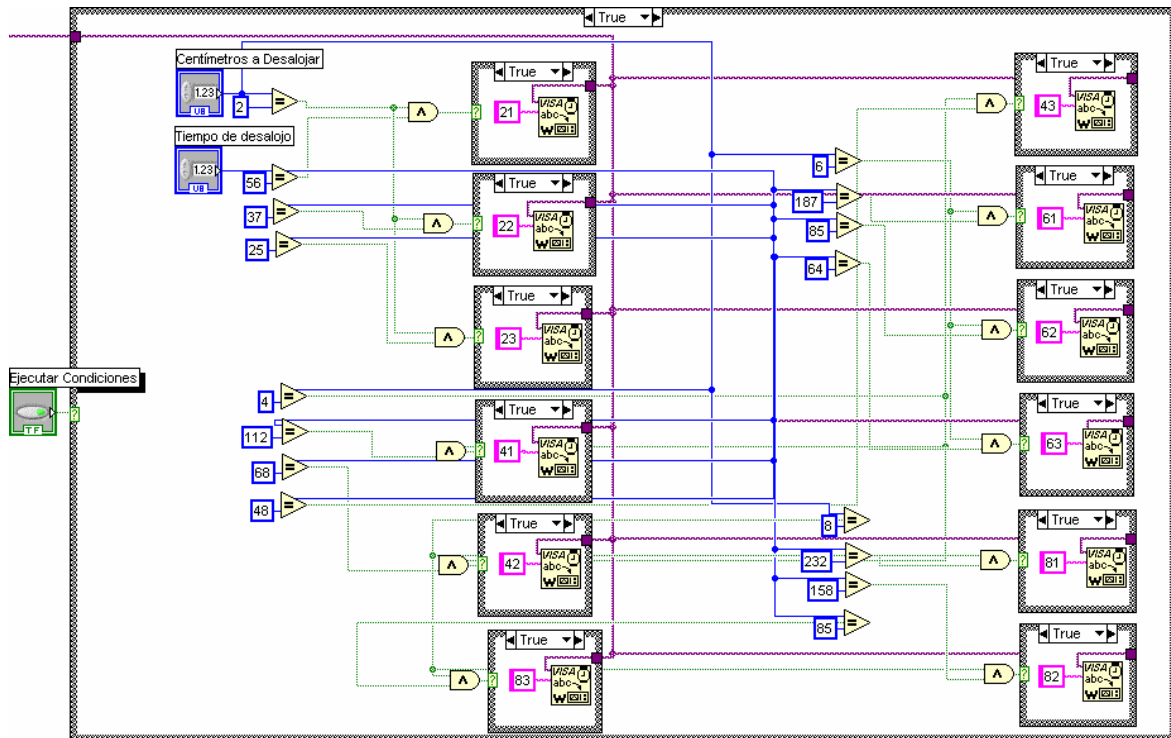


Figura 3.47: Prueba de desalojo

Finalmente en lo que corresponde a la adquisición de los datos enviados por el PLC se lo realiza mediante la herramienta VISA Read (Figura 3.48), luego de lo cual se acondicionan los datos adquiridos tanto del sensor potenciométrico como del sensor de presión que varían de 0 712 y de 0 a 715 respectivamente para que varíen de 0cm a 30cm que es la medida física real del tanque en el que se realiza el control.

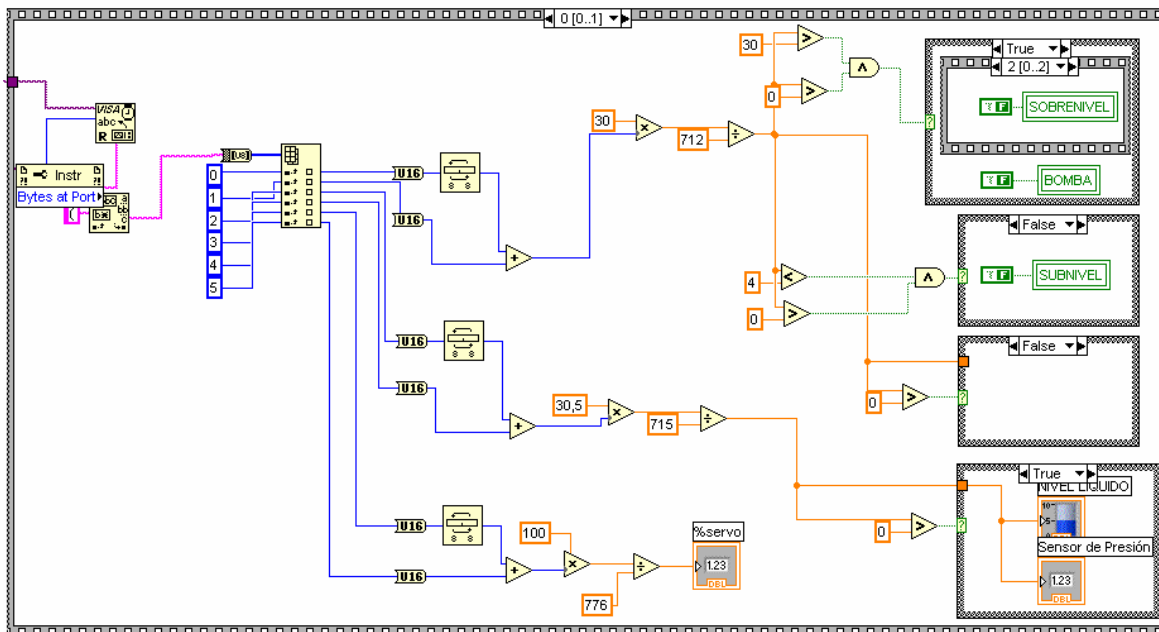


Figura 3.48: Recepción de los datos vía serial

3.3.2.6 Panel Frontal de Modo Automático



Figura 3.49: Pantalla De Modo Automático

La figura 3.49 muestra la pantalla de Modo Automático en la que se tienen las siguientes opciones: “Ingresar Set Point de Nivel” que permite ingresar el valor de nivel deseado, el mismo que está en el rango de 4cm a 30cm y debe ser ingresado en números enteros; “Enviar Set Point” que envía el valor de set point de nivel al PLC; “Parámetros” que muestra el valor en centímetros de nivel en el tanque de acuerdo a los dos sensores: el de presión y el flotador; “Indicadores” que muestra a través de luces el estado de la bomba, de la servoválvula y del nivel en estados críticos como lo son el sobrenivel y el subnivel en el tanque; y “Salir Modo Automático” que detiene el Modo AUTOMÁTICO para retornar a la pantalla principal.

3.3.2.7 Diagrama de bloques de Modo Automático

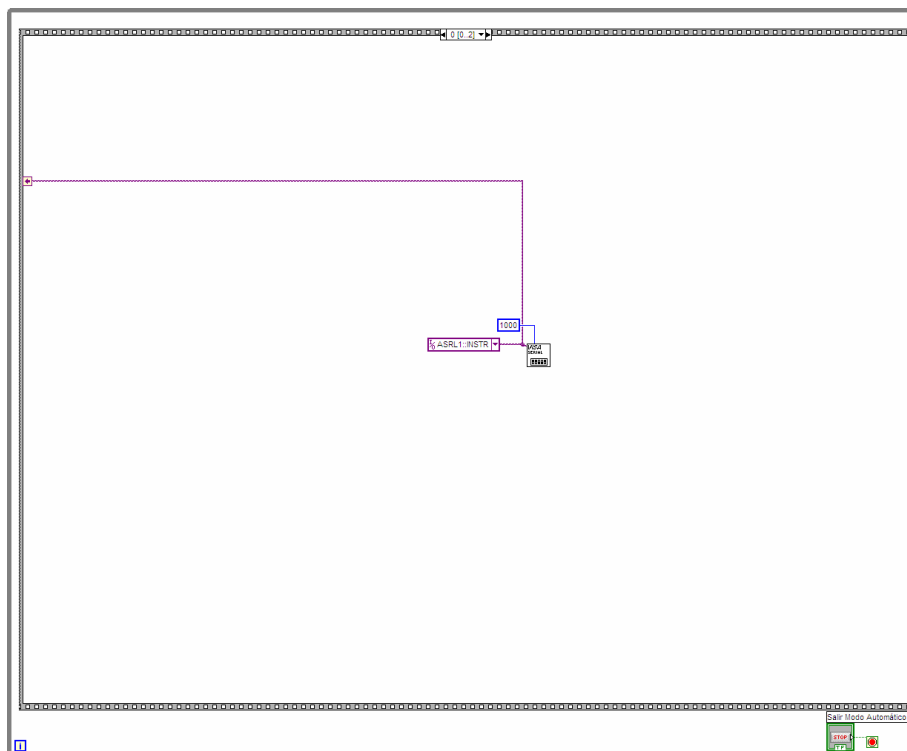


Figura 3.50: Lazo Principal de la Interfaz

La figura 3.50 muestra como se inicia la programación en LabView. Se tiene un While Loop que es lazo Principal que abarca toda la programación y dentro de

este se ubican los demás lazos. Se tiene un Sequence Structure que es un lazo que realiza acciones en forma secuencial, la primera secuencia consiste en configurar el puerto serial de la siguiente manera: Baud Rate = 9600 baudios, Data Bits = 8, Stop bit = 1 (un bit de parada) los mismos que son valores por defecto, Nombre del puerto serial = ASRL1, time out = 1000 ms ; como se indica en la figura 3.51:



Figura 3.51: Configuración Del Puerto Serial

La segunda secuencia envía el set point de nivel al PLC a través de la herramienta Visa Write como se muestra en la figura 3.52. El lazo que habilita el envío es un Case Structure que realiza la operación en su interior cuando “Enviar Set Point” es verdadero (True)

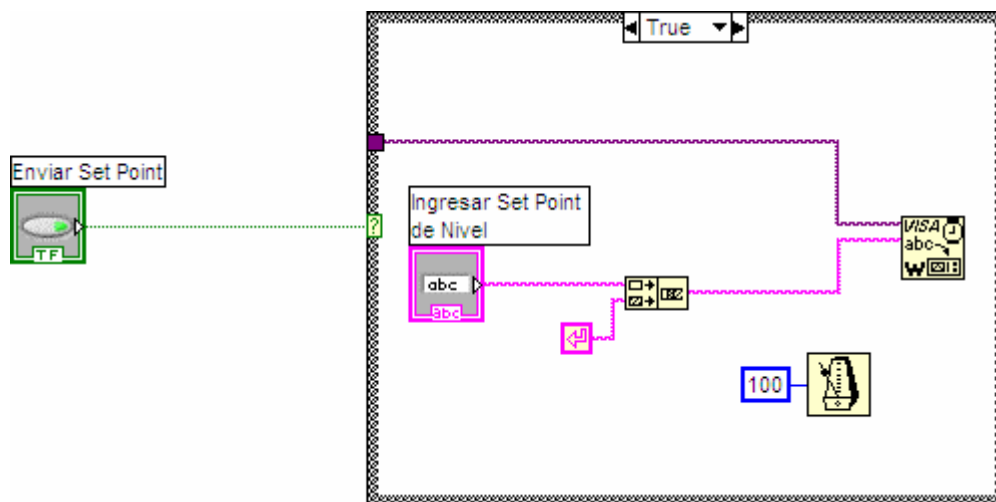


Figura 3.52: Envío De Set Point De Nivel Al PLC

La tercera y última secuencia realiza la adquisición de los datos enviados por el PLC a través de la herramienta Visa Read y además acondicionar los datos de nivel de los sensores, es decir, que el dato de nivel que varía de 0 a 737 es escalado entre 0cm y 31cm, como se muestra en la figura 3.53

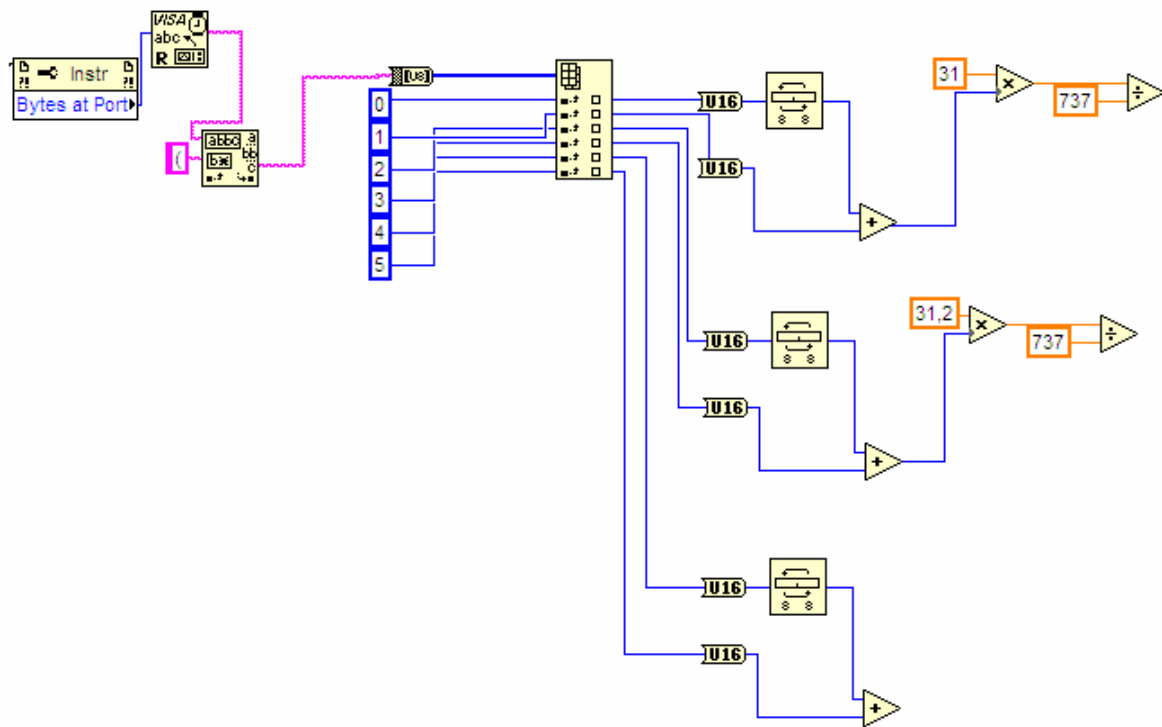


Figura 3.53: Adquisición De Los Datos Enviados Por El PLC

También en la tercera secuencia se procesan las señales de sobrenivel, subnivel estado de la bomba y de la servoválvula, así como la visualización del nivel en el tanque del HMI. Este proceso se indica en la figura 3.54

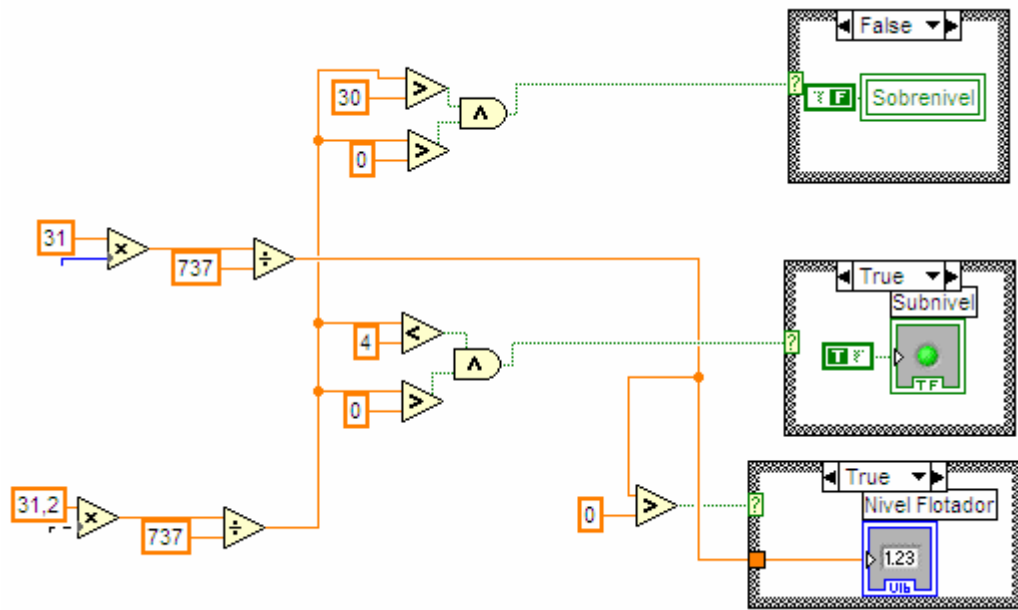


Figura 3.54: Procesamiento De Las Señales Para Los Indicadores

CAPÍTULO 4

4.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento fueron realizadas para determinar el comportamiento del equipo y sus componentes principales como son los actuadores: bomba y servoválvula; y sensores: potenciométrico y de presión. Para ello se realizaron varias pruebas en los diferentes modos de operación: Manual-Control Local, Manual-PC y Automático-Control Local, Automático-PC con los que cuenta el módulo.

4.2 DESCARGA DEL PROGRAMA PARA EL PLC TWIDO LCAA24DRF

Para que el módulo entre en funcionamiento se debe descargar el Programa correspondiente siguiendo los siguientes pasos:

- Conectar el Módulo a la fuente de alimentación (110V, 60Hz).
- Conectar el cable de extensión DB-9 desde el puerto serial de la PC hasta el conector DB-9 en el Panel de Operador del Módulo.
- Colocar el selector de tres posiciones para elegir el modo de funcionamiento en la posición “Control Remoto” (desde la PC).
- Iniciar el programa TwidoSoft V3.0.
- Abrir el archivo que se encuentra en el CD adjunto al Proyecto de Titulación en el directorio: e: \Módulo Didáctico Para Control De Nivel De Líquidos\Programas\Programa para el PLC Twido LCAA24DRF.twd.
- Descargar el programa al PLC con la opción “Conectar” en la ventana “Autómata”. Se abrirá una ventana con la opción: “Transferir PC-Autómata”, con lo que el PLC quedará programado.

En la misma carpeta se hallan los programas de los microcontroladores ATMEL Mega 8515 de 40 pines y ATMEL Mega 8 de 28 pines con los nombres: “Programa Atmel Mega 8515” que hace el control local; “Programa Atmel Mega 8” que adquiere los datos análogos para enviar al PLC vía serial; y por último el Programa de la Interfaz realizada en LabView con el nombre “Programa LabView Control Remoto”

Una vez inicializado el módulo, se selecciona el modo de operación ya sea manual ó automático y control local ó control remoto. Se debe tomar en cuenta que para realizar el control remoto, el puerto serial de la PC debe estar conectado al conector DB-9 hembra localizado en el panel de operador a través de la extensión entregada como parte del módulo. Por último, se alimenta el módulo a través del switch principal usando la llave de seguridad, con lo cual se enciende la luz indicadora principal en el panel de operador, indicando que el módulo está listo para trabajar.

Recomendación de uso: antes del encendido del módulo elegir el modo de funcionamiento Manual / Control Local y potenciómetro de manipulación de apertura de la servoválvula en valor mínimo (válvula completamente cerrada). Esto se lo hace para evitar un funcionamiento erróneo en el sistema debido a que los registros internos del PLC se hallan en sus valores por defecto y esperan ser cargados con el ingreso de parámetros.

4.2.1 PRUEBAS DE LA BOMBA.

La bomba es la encargada de suministrar el caudal de entrada al tanque principal, determinando su tiempo de llenado. El objetivo de esta prueba es hallar el caudal de entrada efectivo, tomando el tiempo que se demora la bomba en llenar el tanque a diferentes alturas como se indica en la tabla 4.1 y en la tabla 4.2:

PRUEBA MANUAL/LOCAL	NIVEL (cm)	Tiempo (s)
1	5	25,9
2	10	49,9
3	15	74,3
4	20	98,1
5	25	122,5
6	30	147

Tabla 4.1: Prueba Manual-Local De La Bomba

PRUEBA MANUAL/REMOTO	NIVEL (cm)	Tiempo (s)
1	5	26,2
2	10	48,9
3	15	73
4	20	97
5	25	121,4
6	30	145,7

Tabla 4.2: Prueba Manual-PC De La Bomba

Con estos datos se realizan los cálculos del caudal de entrada en función del área transversal que es de 0.25m^2 , para los dos modos de funcionamiento Local y Remoto (PC) obteniendo los resultados dados en las tablas 4.3 y 4.4

ALTURA (cm)	TIEMPO DE LLENADO (s)	VOLUMEN (m3)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (gal/min)
5	25,9	0,0125	0,000482625	30,16409266
10	49,9	0,025	0,000501002	31,31262525
15	74,3	0,0375	0,000504711	31,54441454
20	98,1	0,05	0,000509684	31,85524975
25	122,5	0,0625	0,000510204	31,8877551
30	147	0,075	0,000510204	31,8877551

Tabla 4.3: Caudal De Entrada Para Modo Manual-Local

ALTURA (cm)	TIEMPO DE LLENADO (s)	VOLUMEN (m3)	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (gal/min)
5	26,2	0,0125	0,000477099	29,8187
10	48,9	0,025	0,000511247	31,9529
15	73	0,0375	0,000513699	32,1061
20	97	0,05	0,000515464	32,2164
25	121,4	0,0625	0,000514827	32,1766
30	145,7	0,075	0,000514756	32,1722

Tabla 4.4: Caudal De Entrada Para Modo Manual-PC

Las figuras 4.1 y 4.2 muestran el tiempo de llenado en función de la altura, se puede apreciar que el tiempo tiene un comportamiento lineal conforme aumenta la altura del agua en el tanque, esto quiere decir que el tanque se va llenando en con caudal constante conforme pasa el tiempo.

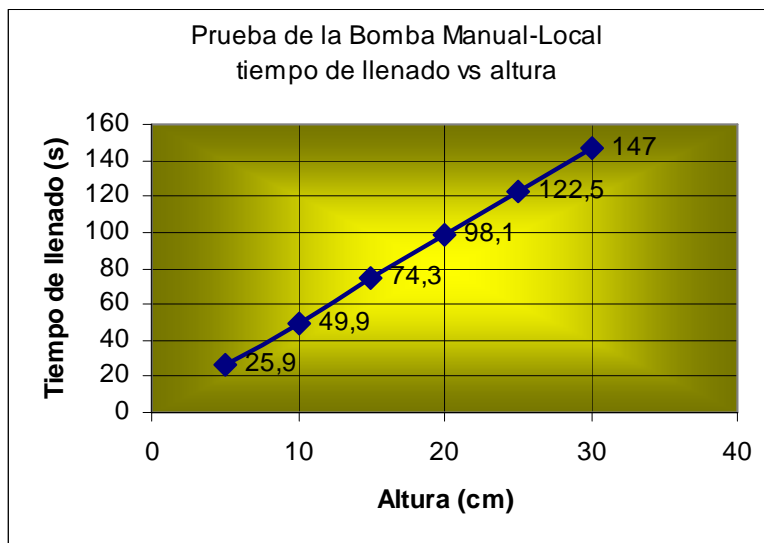


Figura 4.1: Tiempo de llenado vs. Altura Modo Manual-Local

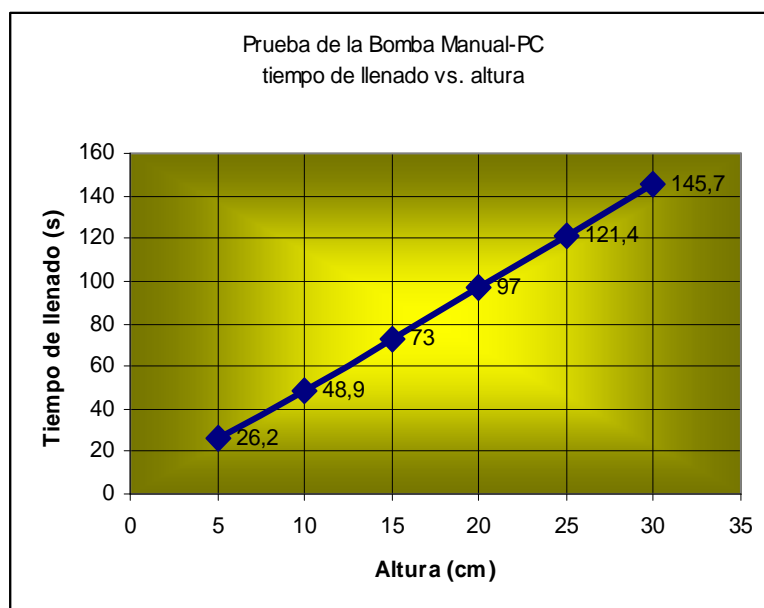


Figura 4.2: Tiempo de llenado vs. Altura Modo Manual-PC

Las figuras 4.3 y 4.4 muestran el caudal en función del tiempo de llenado, se aprecia que el caudal suministrado por la bomba es prácticamente constante.

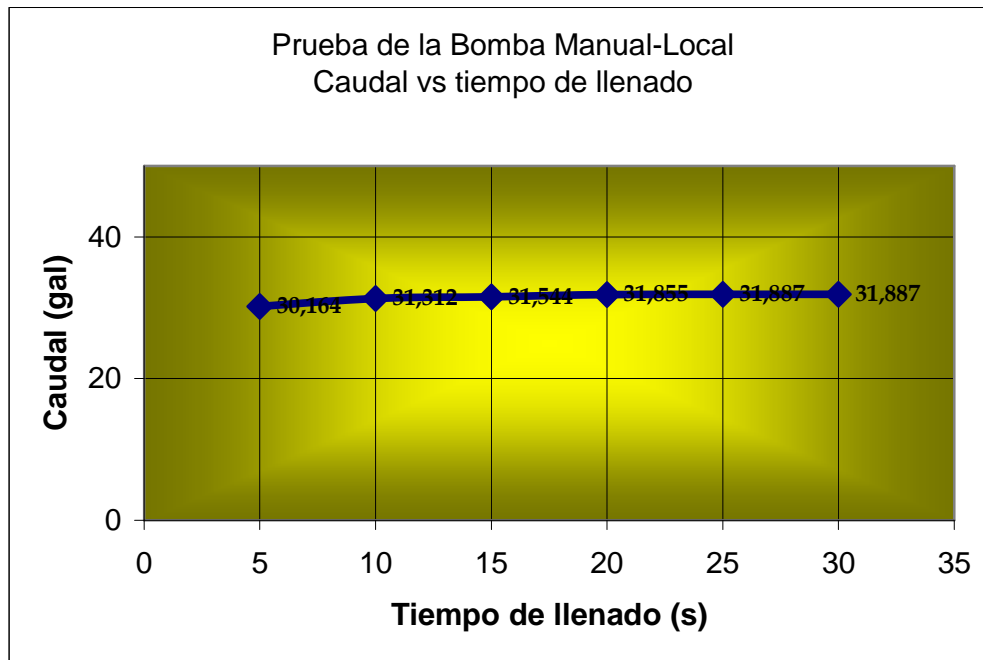


Figura 4.3: Caudal vs. Tiempo de llenado Modo Manual-Local

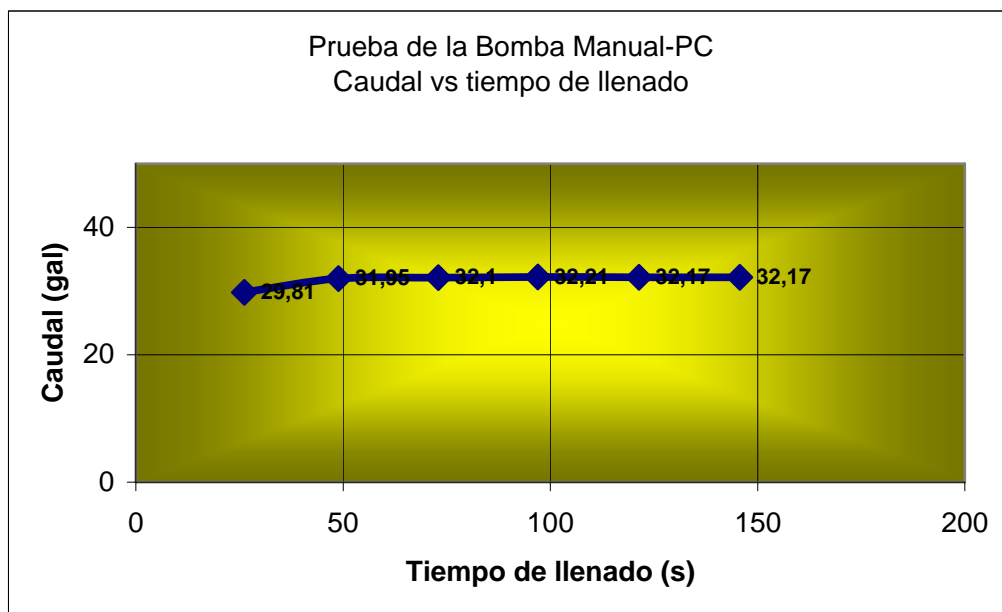


Figura 4.4: Caudal vs. Tiempo de llenado Modo Manual-PC

4.2.2 PRUEBA SENSOR POTENCIOMÉTRICO

Para la prueba realizada al sensor potenciométrico se tomaron los diferentes valores de voltaje de respuesta del sensor que ingresa al conversor AD del microcontrolador que es enviada vía serial al PLC y se tomó también el valor decimal de la palabra para diferentes alturas (diferentes niveles de líquido). Con dichos valores se realizó un tabla (tabla 4.5) para luego realizar un gráfica del comportamiento del sensor (Figura 4.5).

Altura (cm)	Valor del registro	Voltaje sensor (v)
30	795	4,77
29	782	4,73
28	768	4,66
27	741	4,53
26	721	4,47
25	706	4,34
24	690	4,26
23	658	4,14
22	644	4,06
21	630	3,9
20	601	3,86
19	288	3,79
18	575	3,72
17	541	3,61
16	531	3,51
15	498	3,36
14	484	3,3
13	464	3,2
12	433	3,06
11	399	2,88
10	383	2,81
9	347	2,64
8	311	2,47
7	290	2,36

6	255	2,2
5	221	2,04
4	200	1,9
3	144	1,65
2	111	1,5
1	50	1,21
0	10	0,6

Tabla 4.5: Voltaje Del Sensor Resistivo En Función De La Altura

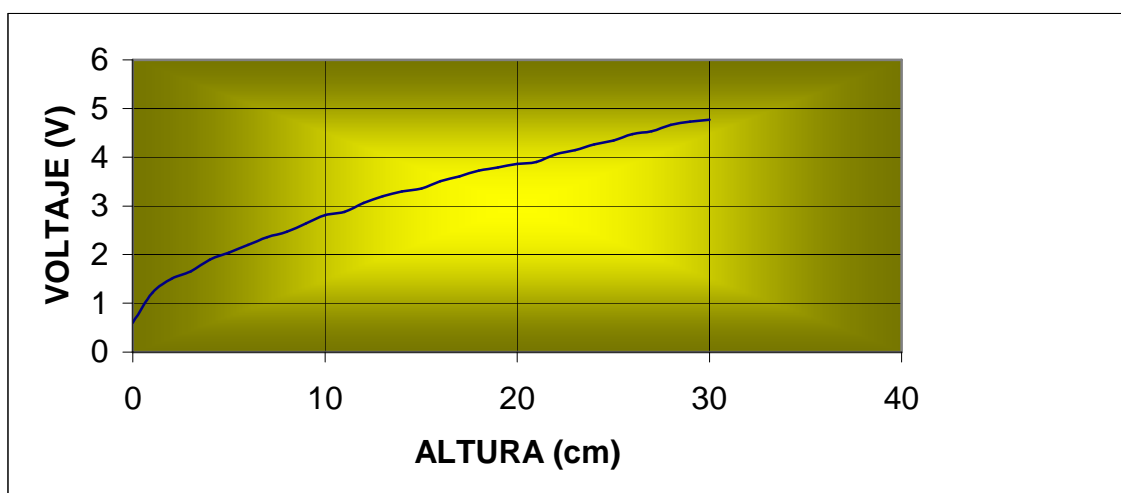


Figura 4.5: Gráfico De La Respuesta Del Sensor Resistivo

Dado que la respuesta del sensor potenciométrico no es lineal (Figura 4.5) se procedió a realizar una tabla con los valores de la palabra decimal (Tabla 4.6) en el PLC con una banda de histéresis en cada uno de los puntos obtenidos en la prueba realizada al sensor potenciométrico para poder obtener una mejor lectura de nivel, aunque con ello se perdió precisión. Tiene como precisión 1cm

Altura (cm)	Valor del Registro	Banda de histéresis
-------------	--------------------	---------------------

30	795	788-798
29	782	777-785
28	768	762-772
27	741	737-758
26	721	717-727
25	706	702-712
24	690	686-696
23	658	654-664
22	644	640-650
21	630	626-636
20	601	597-607
19	588	584-594
18	575	571-581
17	541	537-547
16	531	527-537
15	498	494-504
14	484	480-494
13	464	460-474
12	433	429-439
11	399	395-405
10	383	279-289
9	347	343-353
8	311	307-321
7	290	286-296
6	255	251-261
5	221	217-227
4	200	196-206
3	144	140-150
2	111	107-117
1	50	46-56
0	10	0-18

Tabla 4.6: Tabla De Linealización De La Respuesta Del Sensor Potenciométrico

Los valores de la tabla 4.8 son enviados vía serial hacia el microcontrolador (control local) y hacia la PC (HMI) (previamente realizado un promedio de la banda de histéresis) en los mismos que se realiza un escalamiento para transformar la palabra decimal en medida de nivel.

4.2.3 PRUEBA SENSOR PRESIÓN

La prueba realizada al sensor de presión se la realizó tomando los diferentes valores de voltaje de entrada al conversor AD del microcontrolador que es enviado vía serial al PLC y valor decimal de la palabra para diferentes alturas (diferentes niveles de líquido). Con dichos valores se realizó un tabla (Tabla 4.7) para luego hacer un gráfica del comportamiento del sensor (Figura 4.6)

Altura (cm)	Valor del Registro	Voltaje sensor (v)	Voltaje acondicionamiento
30	726	1,89	4,22
29	709	1,85	4,14
28	689	1,8	4,03
27	666	1,76	3,92
26	642	1,71	3,81
25	618	1,65	3,68
24	593	1,6	3,57
23	574	1,56	3,48
22	548	1,51	3,36
21	525	1,46	3,25
20	501	1,41	3,14
19	479	1,36	3,02
18	455	1,3	2,9
17	428	1,25	2,79

16	406	1,2	2,67
15	381	1,15	2,56
14	358	1,1	2,45
13	336	1,05	2,34
12	313	1	2,23
11	288	0,95	2,12
10	263	0,9	2
9	242	0,85	1,9
8	217	0,79	1,77
7	194	0,74	1,66
6	171	0,69	1,55
5	147	0,64	1,43
4	124	0,6	1,33
3	99	0,54	1,24
2	78	0,5	1,2
1	53	0,44	0,99
0	31	0,39	0,88

Tabla 4.7: Voltaje Del Sensor De Presión En Función De La Altura

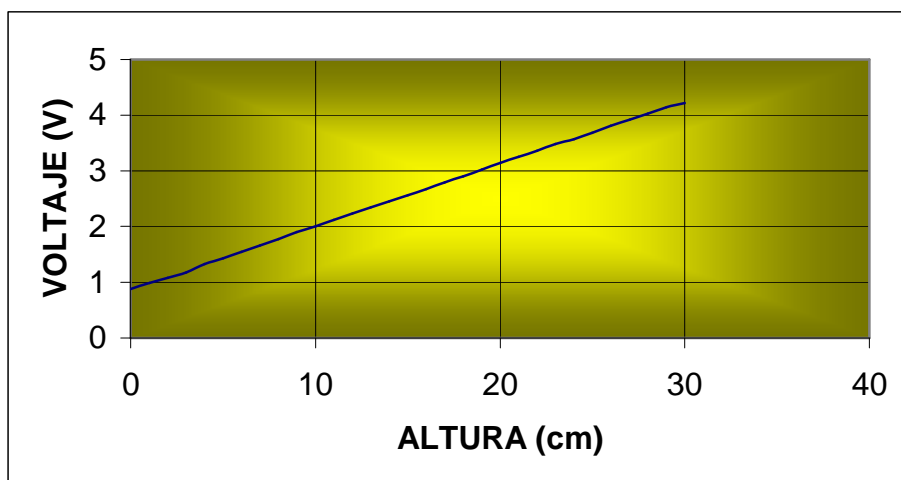


Figura 4.6: Voltaje vs altura del sensor de Presión

Dado que la respuesta del sensor de presión es lineal se trabajó directamente con el valor de la palabra decimal, el mismo que es enviado vía serial hacia el microcontrolador (control local) y hacia la PC (HMI) en los mismos que se realiza un escalamiento para transformar la palabra decimal en medida de nivel.

La precisión para este sensor es de un milímetro, una mejor respuesta que la del sensor potenciométrico.

4.2.4 PRUEBA SERVOVÁLVULA

En el caso de la servoválvula su correcto funcionamiento se determina realizando dos pruebas importantes: el caudal de salida para diferentes porcentajes de apertura de la servoválvula y la segunda que corresponde al correcto posicionamiento del vástago de la servoválvula.

4.2.4.1 Prueba Caudal De Salida

Para esta prueba se procedió a realizar un vaciado total del líquido a partir de varios niveles establecidos con diferentes porcentajes de apertura de la servoválvula, obteniendo los siguientes resultados:

Para una altura de 30cm en cuyo caso el volumen total a desalojar es 0.075m³ se obtuvo los siguientes valores (Tabla 4.8):

% APERTURA SERVOVALVULA	TIEMPO DE VACIADO (s)
------------------------------------	----------------------------------

20	9,59
40	7,12
60	6,4
80	6,22
100	6,18

Tabla 4.8: Tiempo de vaciado para una altura de 30cm

Para una altura de 20cm en cuyo caso el volumen total a desalojar es 0.05m³ se obtuvo los siguientes valores (Tabla 4.9):

% APERTURA SERVOVALVULA	TIEMPO DE VACIADO (s)
20	7,3
40	6,05
60	5,5
80	5,2
100	5,22

Tabla 4.9: Tiempo de vaciado para una altura de 20 cm

Para una altura de 10cm en cuyo caso el volumen total a desalojar es 0.025 m³ se obtuvo los siguientes valores (Tabla 4.10):

% APERTURA SERVOVALVULA	TIEMPO DE VACIADO (s)
20	3,57
40	2,52
60	2,5
80	2,42
100	2,41

Tabla 4.10: Tiempo de vaciado para una altura de 10cm

Luego de haber calculado los varios tiempos de vaciado para los diferentes porcentajes de apertura de la servoválvula, se procedió a calcular los caudales de salida para dichos casos con los caudales medios (Ecuación 4.1):

$$Q_{medio} = \frac{Volumen}{tiempo}$$

Ecuación 4.1: Ecuación para calculo de Qmedio

El caudal promedio permite graficar la respuesta de la servoválvula, y es simplemente un promedio de los caudales medios para cada caso.

Para el 20% de apertura de la servoválvula (tabla 4.11):

ALTURA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (m3)	Q MEDIO (m3/s)
30	599	0,075	0,000125209
20	450	0,05	0,000111111
10	237	0,025	0,000105485
		Q PROMEDIO=	0,000113935

Tabla 4.11: Cálculo del Qmedio para el 20% de apertura de la servoválvula

Para el 40% de apertura de la servoválvula (tabla 4.12):

ALTURA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (m3)	Q MEDIO (m3/s)
30	432	0,075	0,000173611
20	365	0,05	0,000136986
10	172	0,025	0,000145349
		Q PROMEDIO=	0,000151982

Tabla 4.12: Cálculo del Q_{medio} para el 40% de apertura de la servoválvula

Para el 60% de apertura de la servoválvula (tabla 4.13):

ALTURA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (m3)	Q MEDIO (m3/s)
30	400	0,075	0,0001875
20	350	0,05	0,000142857
10	170	0,025	0,000147059
		Q PROMEDIO=	0,000159139

Tabla 4.13: Cálculo del Q_{medio} para el 60% de apertura de la servoválvula

Para el 80% de apertura de la servovalvula (tabla 4.14):

ALTURA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (m3)	Q MEDIO (m3/s)
30	382	0,075	0,000196335
20	320	0,05	0,00015625
10	162	0,025	0,000154321
		Q PROMEDIO=	0,000168969

Tabla 4.14: Cálculo del Q_{medio} para el 80% de apertura de la servoválvula

Para el 100% de apertura de la servovalvula (tabla 4.15):

ALTURA	TIEMPO (s)	VOLUMEN (m3)	Q MEDIO (m3/s)
30	378	0,075	0,000198413
20	322	0,05	0,00015528
10	161	0,025	0,00015528
		Q PROMEDIO=	0,000169657

Tabla 4.15: Cálculo del Q_{medio} para el 100% de apertura de la servoválvula

Finalmente con los caudales promedios obtenidos para cada porcentaje de apertura del vástago de la servoválvula se obtuvo su curva característica (Figura 4.7):

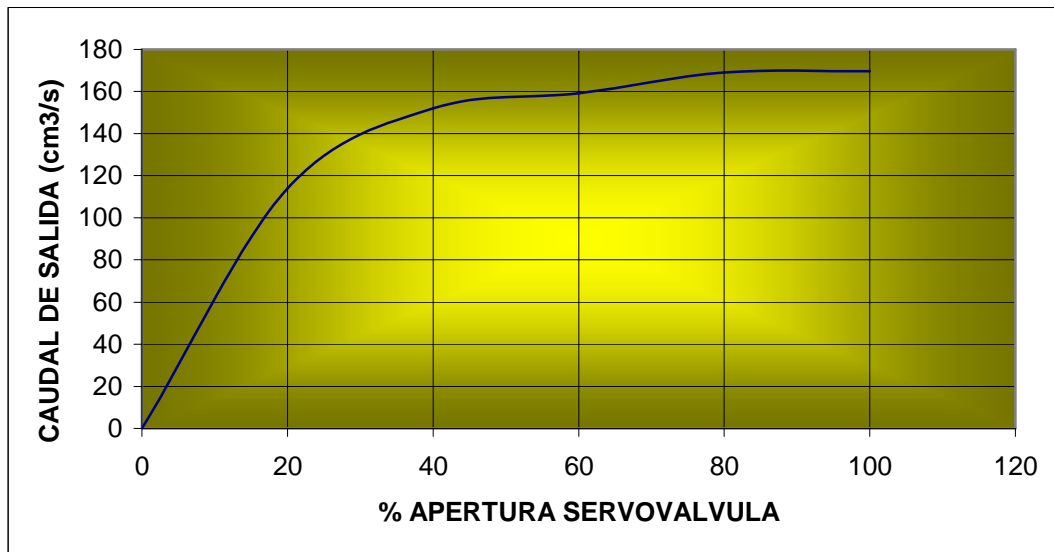


Figura 4.7: Respuesta de la servoválvula

Al realizar estas pruebas y al analizar la respuesta de la servoválvula se comprobó que el caudal de salida se puede controlar únicamente en el rango del 0 al 40% de apertura de la servoválvula ya que por arriba del 40% el caudal de salida prácticamente es el mismo por lo cual el rango de control es limitado.

Esta respuesta de la servoválvula limita mucho en la implementación de un control proporcional y ayuda a concluir que un control ON-OFF con histéresis es ideal para este caso.

4.2.4.2 Prueba Posición Vástago

Para realizar la prueba de posición del vástago se asignó varios porcentajes de apertura de la servoválvula y se tomaron los valores decimales obtenidos en la palabra del PLC correspondiente a la posición de la misma (porcentaje real de apertura) y con ello se sacó el error (Tabla 4.16). Con él se puede apreciar el buen funcionamiento de la servoválvula.

%Apertura asignado	Valor del registro	Porcentaje real	Error
0	16	2,07	-2,07

10	103	10,72	-0,72
20	146	19,01	0,99
30	237	30,85	-0,85
40	315	40,9	-0,9
50	392	50,9	-0,9
60	455	59,14	0,86
70	533	69,2	0,8
80	623	80,91	-0,91
90	691	89,75	0,25
100	771	100	0

Tabla 4.16: Prueba posición vástago

Al observar los resultados de la Prueba de Posición del vástago se puede concluir que el error de posición para cada uno de los porcentajes de apertura de la servoválvula a excepción del 0% de apertura están bajo el 1% que es un error aceptable que no afecta al normal funcionamiento del sistema.

4.2.4.3 Prueba Desalojo (tiempos de vaciado)

Para realizar esta prueba que forma parte del modo manual (sea Manual-Control Local o Manual-PC) se tomó el tiempo que se tarda en desalojar 2, 4, 6 y 8 cm de líquido en el tanque principal para diferentes porcentajes de apertura de la servoválvula.

Debido a la característica de la servoválvula (Figura 4.7) en el cual se puede observar que para un rango de 40% al 80% de apertura la respuesta es la misma, se optó por considerar para esta prueba únicamente los porcentajes correspondientes al 10%, 20% y 100% de apertura de la servoválvula, obteniendo los siguientes resultados (tabla 4.17):

Cm's a ser vaciados	% apertura	Tiempo empleado (s)
2	10	56

	20	37,6
	100	24,8
4	10	112
	20	68
	100	47,8
6	10	187
	20	95
	100	64
8	10	232
	20	158
	100	96

Tabla 4.17: Pruebas tiempos de vaciado

Esta prueba fue realizada con el fin de verificar la respuesta del sistema (respuesta de los sensores) a las variaciones de apertura de la servoválvula para desalojar centímetros de líquido en tiempos establecidos.

Explicación del menú mostrado en el LCD:

Al elegir la opción 1 correspondiente a desalojar 6cm en 187 segundos se envía vía serial 61 para que el PLC tome la acción correspondiente para dichos parámetros.

Si se elige la opción 2 correspondiente a desalojar 6cm en 95 segundos se envía vía serial 62 para que el PLC tome la acción correspondiente para dichos parámetros.

Al elegir la opción 3 correspondiente a desalojar 6cm en 64 segundos se envía vía serial 63 para que el PLC tome la acción correspondiente para dichos parámetros.

4.2.5 Pruebas Modo Automático

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema correspondiente al modo automático se procedió a ingresar diferentes Set Point para determinar la

respuesta del sistema tanto para los modos Automático-Control Local (Tabla 4.18) como para Automático-PC (Tabla 4.19), obteniendo los siguientes resultados:

Cambio Sp (cm)	Nivel real (cm)	Sensor		Error S. Potenciom.	Error S. Presión
		Potenciométrico (cm)	Sensor de presión (cm)		
4 a 10	10	10	10,28	0	-0,28
10 a 20	20	20	20,23	0	-0,23
20 a 30	30	30	30,01	0	-0,01
30 a 20	20,05	20	20,23	0,05	-0,18
20 a 10	10	10	10,11	0	-0,11
10 a 4	4	4	4,1	0	-0,1

Tabla 4.18: Pruebas Modo Automático-Control Local

En el Modo Automático-Control Local el máximo error correspondiente al sensor potenciométrico es 0.05 el cual es prácticamente despreciable y no afecta al funcionamiento del sistema.

El máximo error correspondiente al sensor de presión es de 0.28 que está muy debajo del 1% con lo cual es un error aceptable.

Cambio sp (cm)	Nivel real (cm)	Sensor		Error S. Potenciom.	Error S. Presión
		Potenciométrico (cm)	Sensor de presión (cm)		
4 a 10	10,1	10	10,24	0,1	-0,14
10 a 20	20,1	20	20,24	0,1	-0,14
20 a 30	30,2	30	30,01	0,2	0,19
30 a 20	20,1	20	19,97	0,1	-0,87
20 a 10	10,1	10	10,24	0,1	-0,24
10 a 4	4	4	3,94	0	0,06

Tabla 4.19: Pruebas Modo Automático-PC

Para el Modo Automático-PC el máximo error del sensor Potenciométrico es de 0.2 y para el sensor de presión es de 0.87 que también son errores que no alteran el normal funcionamiento del Modo automático.

4.2.6 Pruebas De Repetibilidad De SP de Nivel

Estas pruebas se realizan con el objetivo de observar el comportamiento del sistema en función su característica de recurrencia de parámetros con respecto a un SP arbitrario establecido. Con esto encontrarán los límites entre los que trabaja el módulo cuando se asigna un SP con la toma de cuatro muestras.

Los datos tomados se muestran en la tabla 4.20:

Prueba De Repetibilidad De SP de Nivel												
SP (cm)	Prueba 1 (cm)			Prueba 2 (cm)			Prueba 3 (cm)			Prueba 4 (cm)		
	N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
30	30	30	30,06	30	30	30,06	30	30	30,1	30,1	30	30,1
25	24,9	25	24,85	24,9	25	24,8	24,9	25	24,79	25	25	24,87
20	20,1	20	20,07	20,1	20	20,11	20	20	19,94	19,9	20	19,95
15	15	15	15,09	15	15	15,05	15	15	15,01	14,9	15	15,01
10	10	10	9,99	9,9	10	9,86	9,9	10	10,07	10	10	10,06
5	5	5	5,06	4,9	5	4,89	4,9	5	4,89	5	5	5,07

SP (cm)	PROMEDIOS (cm)			error (cm)		
	N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
30	30,025	30	30,08	0,025	0	-0,08
25	24,925	25	24,8275	0,075	0	0,1725
20	20,025	20	20,0175	-0,025	0	-0,0175
15	14,975	15	15,04	0,025	0	-0,04
10	9,95	10	9,995	0,05	0	0,005
5	4,95	5	4,9775	0,05	0	0,0225

Tabla 4.20: Datos de repetibilidad de SP de nivel

Análisis gráfico

En la figura 4.8 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 30cm.

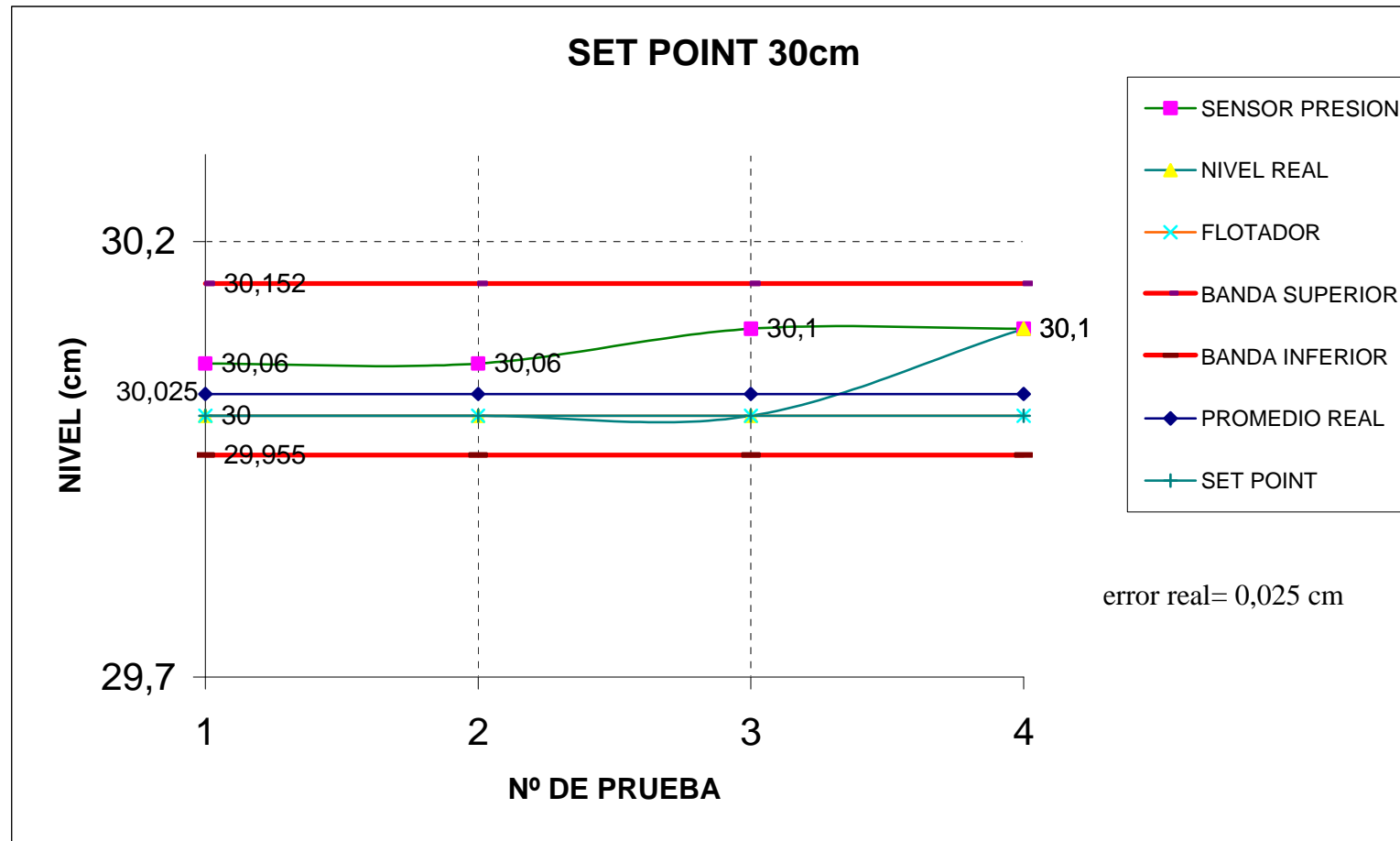


Figura 4.8: Fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 30cm

En la figura 4.9 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 25cm.

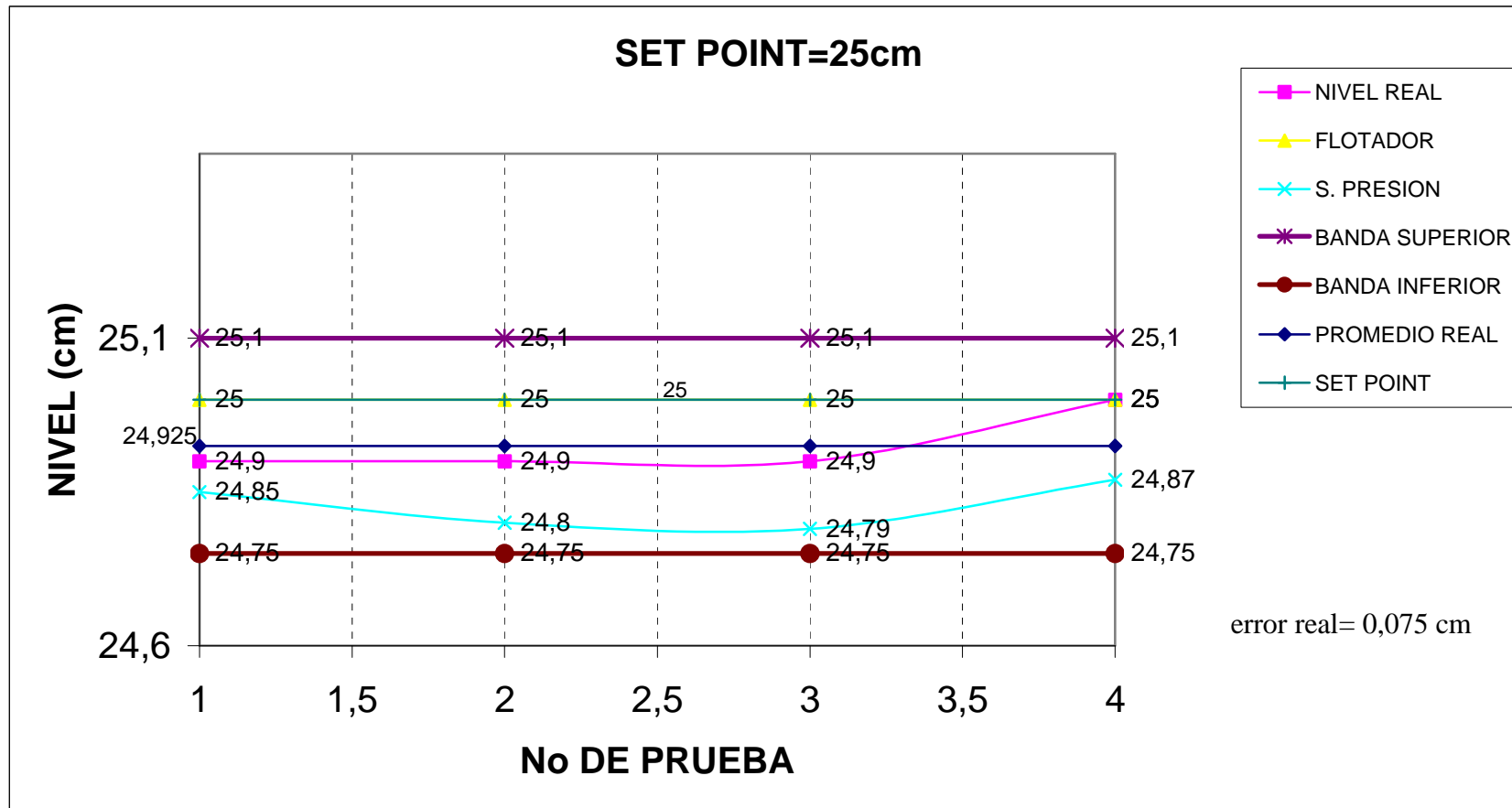


Figura 4.9: Fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 25cm

En la figura 4.10 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 20cm.

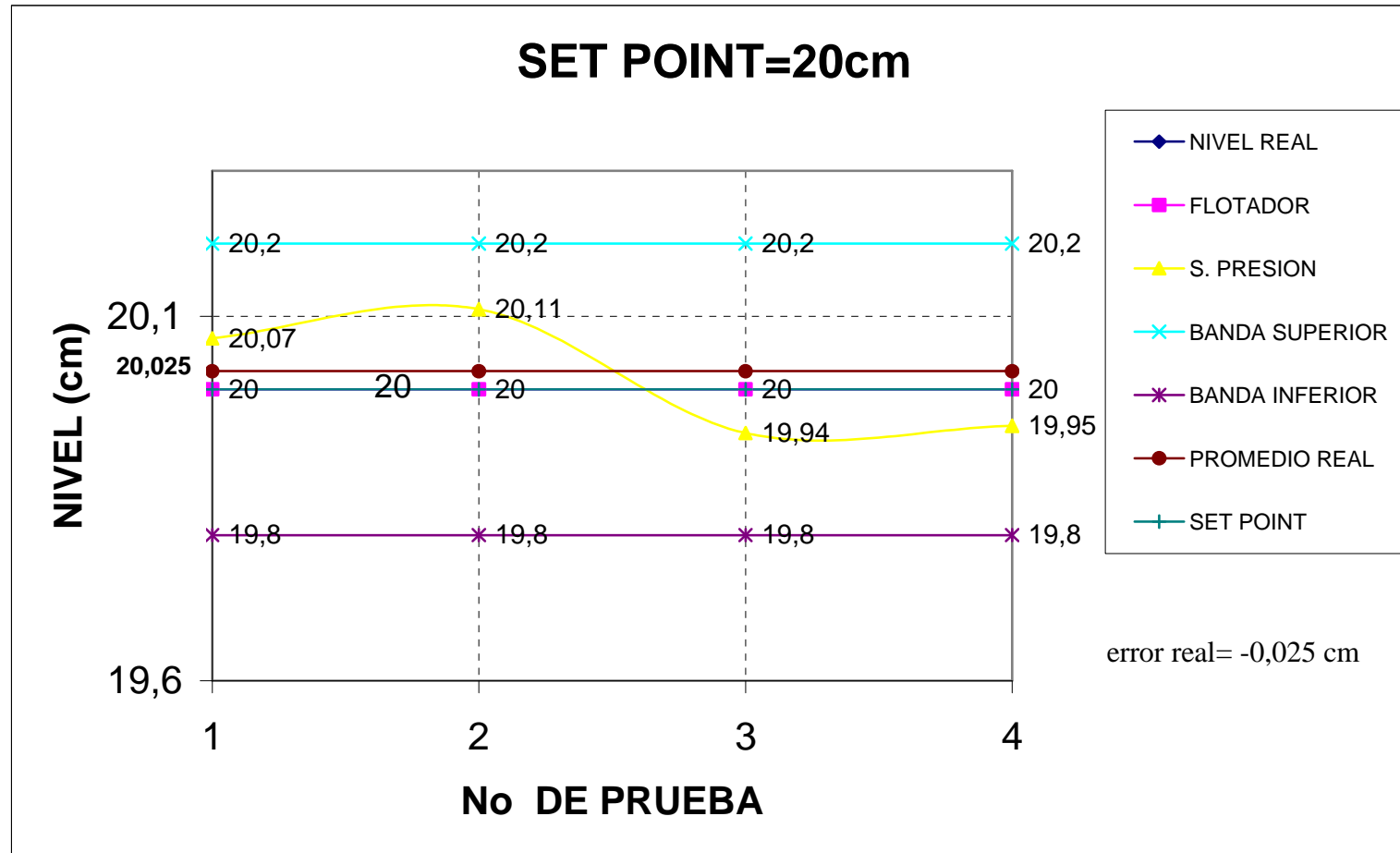


Figura 4.10: Fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 20cm

En la figura 4.11 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 15cm.

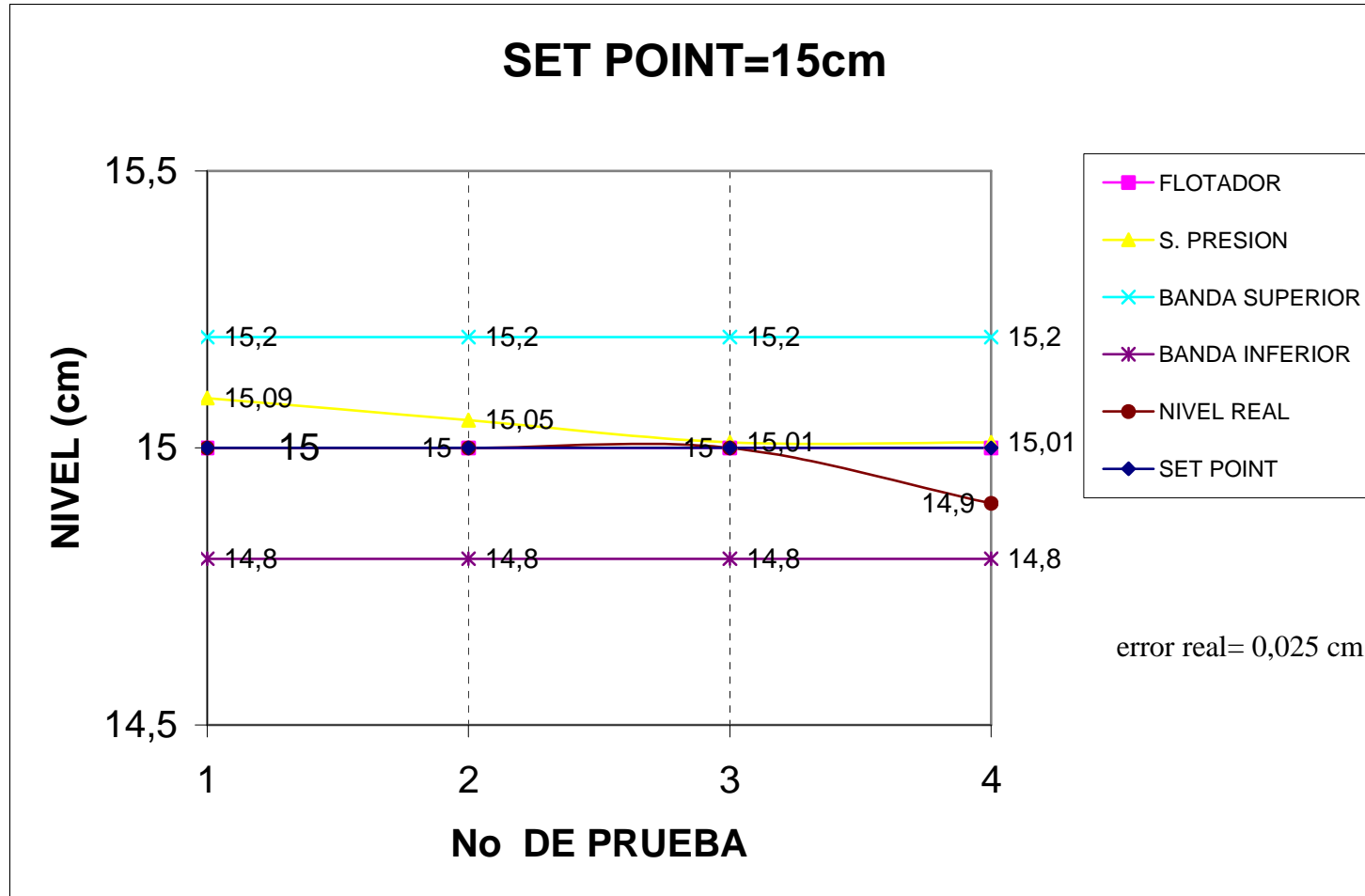


Figura 4.11: Fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 15cm

En la figura 4.12 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 10cm.

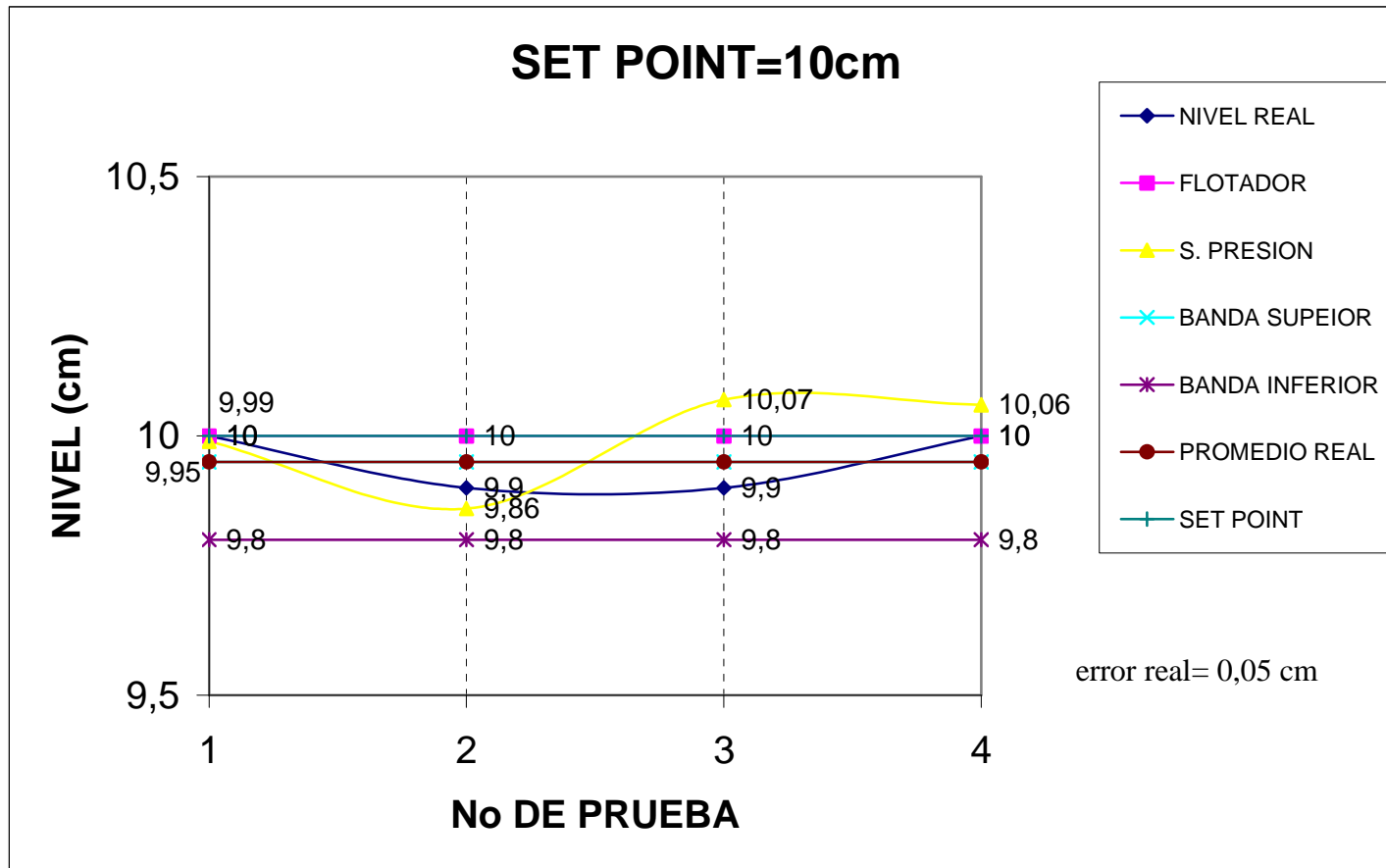


Figura 4.12: Fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 10cm

En la figura 4.13 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 5cm.

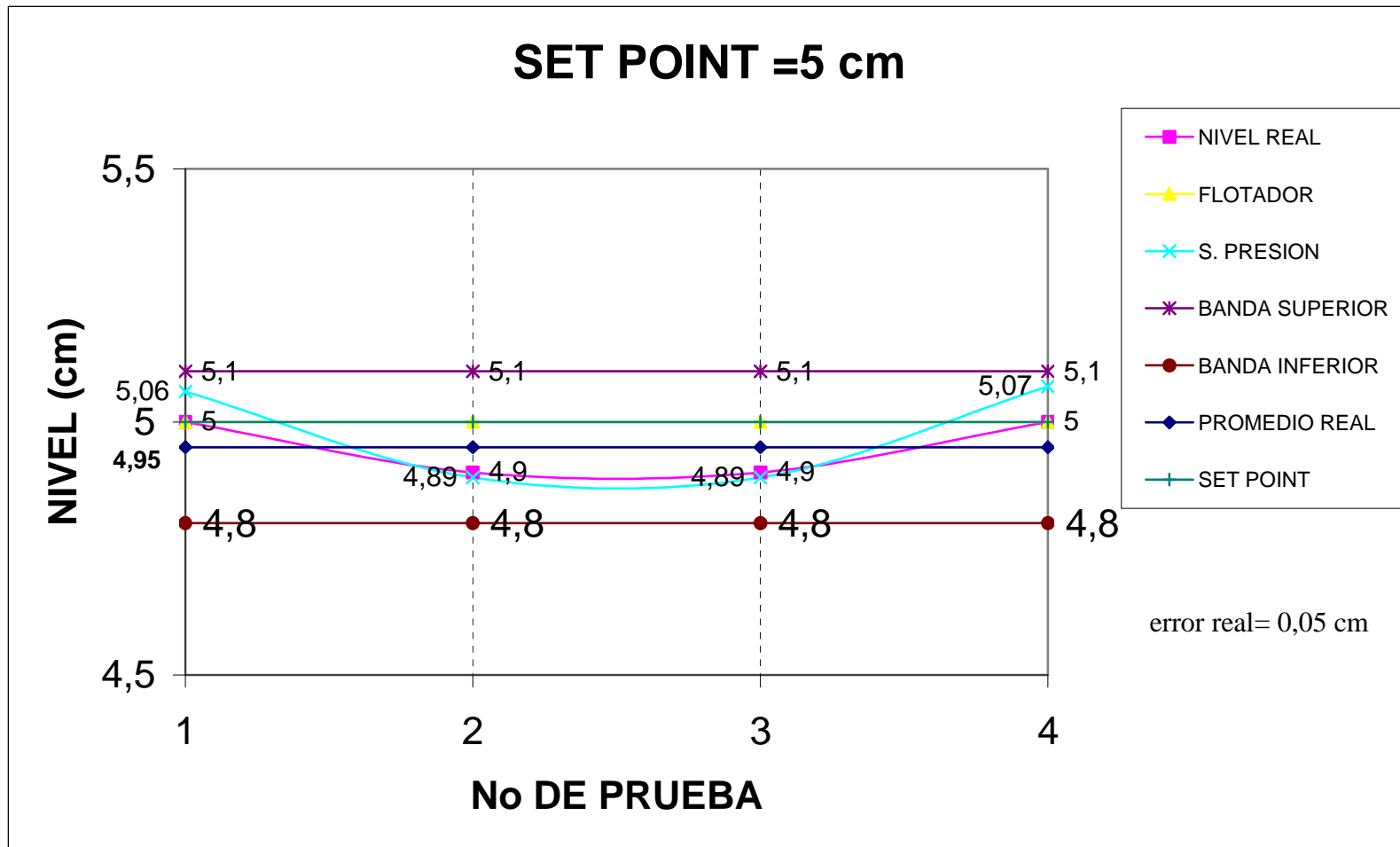


Figura 4.13: Fluctuación de los parámetros cuando se asigna un SP de 5cm

Para poder tener una apreciación más certera del comportamiento del sistema se realizaron las cuatro pruebas durante 3 días seguidos: martes 2007-03-13 10h00, miércoles 2007-03-14 11h00 y jueves 2007-03-15 09h00, y se tomaron las que más dispersión presentaron que fueron las del día jueves 2007-03-15.

Como se puede observar en las figuras, existe una dispersión, la misma que ha sido establecida dentro de un rango de tolerancia máximo.

En el caso del sensor potenciométrico la medida es exacta debido a que su precisión es de 1cm, mientras que el sensor de presión presenta fluctuaciones así como el nivel real.

En la figura 4.8, la máxima dispersión que se tiene es: hacia arriba de 0,1cm; hacia abajo 0,05cm por lo cual la banda de tolerancia se establece como: límite superior 30,2cm; límite inferior 29,9cm. Valores medios: N. Real = 30,025

En la figura 4.9, la máxima dispersión que se tiene es: hacia arriba de 0cm; hacia abajo 0,2cm por lo cual la banda de tolerancia se establece como: límite superior 25,1cm; límite inferior 24,7cm.

En la figura 4.10, la máxima dispersión que se tiene es: hacia arriba de 0,11cm; hacia abajo 0,14cm por lo cual la banda de tolerancia se establece como: límite superior 20,2cm; límite inferior 19,8cm.

En la figura 4.11, la máxima dispersión que se tiene es: hacia arriba de 0,09cm; hacia abajo 0,1cm por lo cual la banda de tolerancia se establece como: límite superior 15,2cm; límite inferior 14,8cm.

En la figura 4.12, la máxima dispersión que se tiene es: hacia arriba de 0,07cm; hacia abajo 0,14cm por lo cual la banda de tolerancia se establece como: límite superior 10,2cm; límite inferior 9,8cm.

En la figura 4.13, la máxima dispersión que se tiene es: hacia arriba de 0,07cm; hacia abajo 0,1cm por lo cual la banda de tolerancia se establece como: límite superior 5,2cm; límite inferior 4,8cm.

Según estos resultados la máxima dispersión que se tiene es de 0,2cm con lo cual al asignarse un SP el nivel alcanzará un valor dentro de la banda de tolerancia $SP - 0,2 \leq SP \leq SP + 0,2$

Los valores promedios de nivel real varían en 0,1cm como máximo con respecto al SP asignado, siendo esta una desviación aceptable.

En conclusión, el error que se produce está dentro de un rango aceptable, es decir, el módulo funciona correctamente.

4.2.7 Pruebas De Repetibilidad De Desalojo

El objetivo de estas pruebas es idéntico al de las anteriores. Se determinará la fluctuación de los parámetros para establecer un rango de tolerancia aceptable de operación en el que el módulo puede trabajar. Los datos han sido tomados partiendo de un nivel en el tanque de 25cm. Las tablas 4.21 y 4.22 muestran los datos obtenidos.

	NIVEL A VACIAR (cm)	NIVEL INICIAL (cm)	NIVEL FINAL (cm)	TIEMPO (s)		NIVEL FINAL (cm)		
				CRONOMETRO	SISTEMA	N. REAL	FLOTADOR	S. PRESION
PRUEBA 1	2	25	23	37	36	22,5	22	22,6
	4	25	21	69	68	20,5	20	20,6
	6	25	19	105	104	18,3	18	18,51
	8	25	17	130	129	17,3	17	17,4
PRUEBA 2	2	25	23	37	36	22,6	22	22,7
	4	25	21	68	67	20,8	20	21,1
	6	25	19	105	104	18,3	18	18,5
	8	25	17	130	129	17,2	17	17,4
PRUEBA 3	2	25	23	37	36	22,6	22	22,7
	4	25	21	68	67	20,6	20	20,7
	6	25	19	105	104	18,6	18	18,8
	8	25	17	130	129	17	17	17,2
PROMEDIO	2	25	23	37	36	22,57	22	19,43
	4	25	21	68,33	67,3	20,63	20	18,23
	6	25	19	105	104	18,40	18	16,67
	8	25	17	130	129	17,17	17	15,93
ERROR (cm)	2				1,00	0,433	1,00	3,57
	4				1,00	0,367	1,00	2,77
	6				1,00	0,600	1,00	2,33
	8				1,00	-0,167	0,00	1,07

Tabla 4.21: Datos de repetibilidad de desalojo

Análisis Gráfico

En la figura 4.14 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 2cm en 36s.

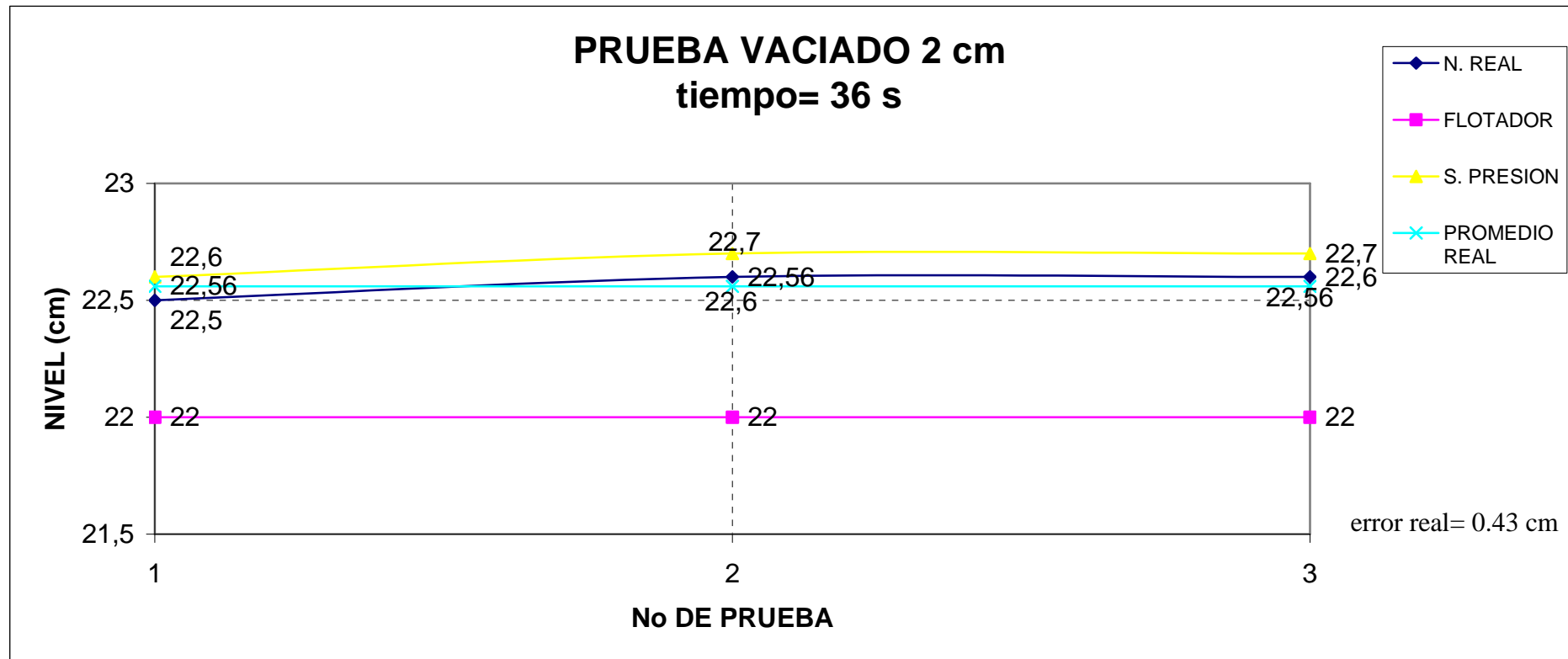


Figura 4.14: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 2cm en 36s.

En la figura 4.15 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 4cm en 68s.

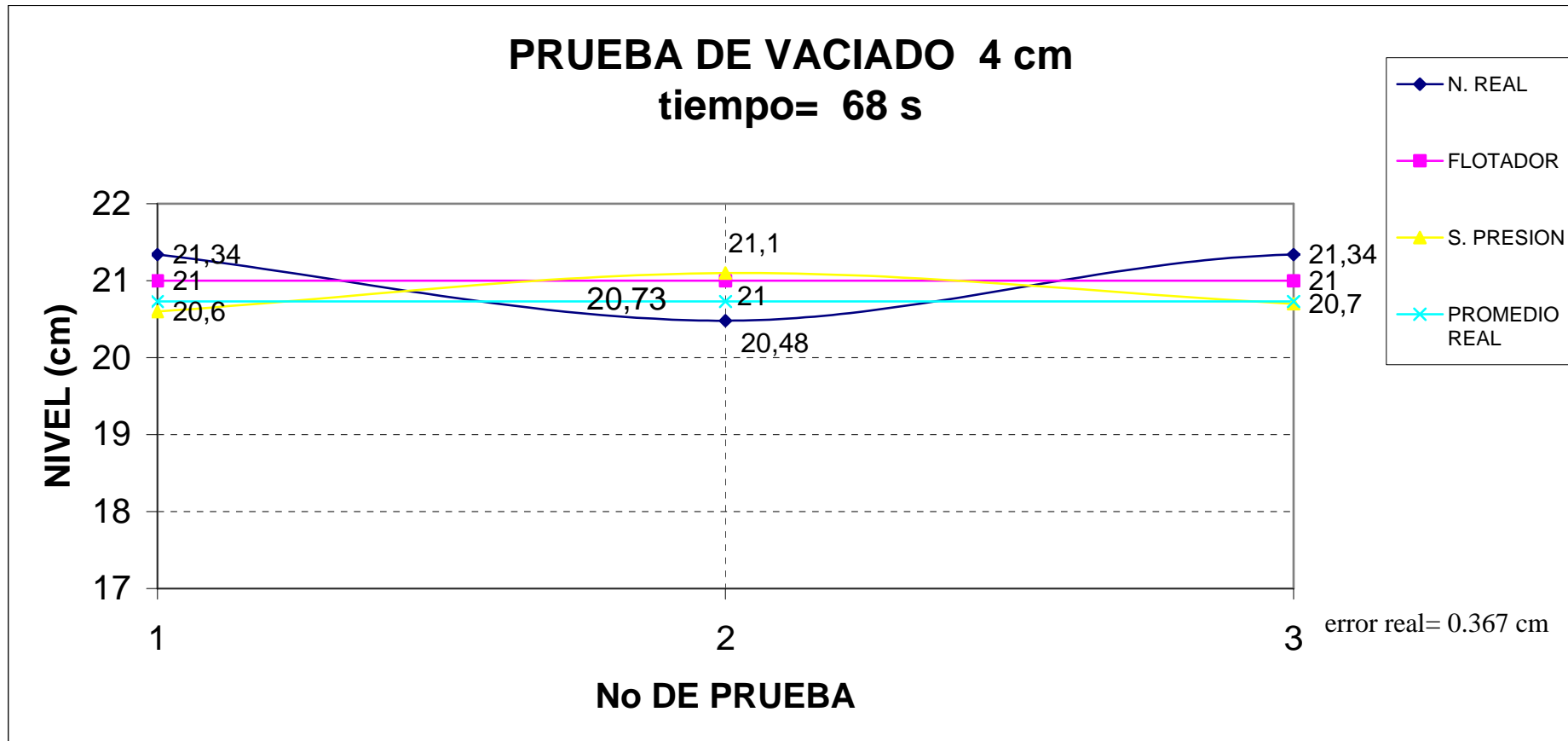


Figura 4.15: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 4cm en 68s.

En la figura 4.16 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 6cm en 104s.

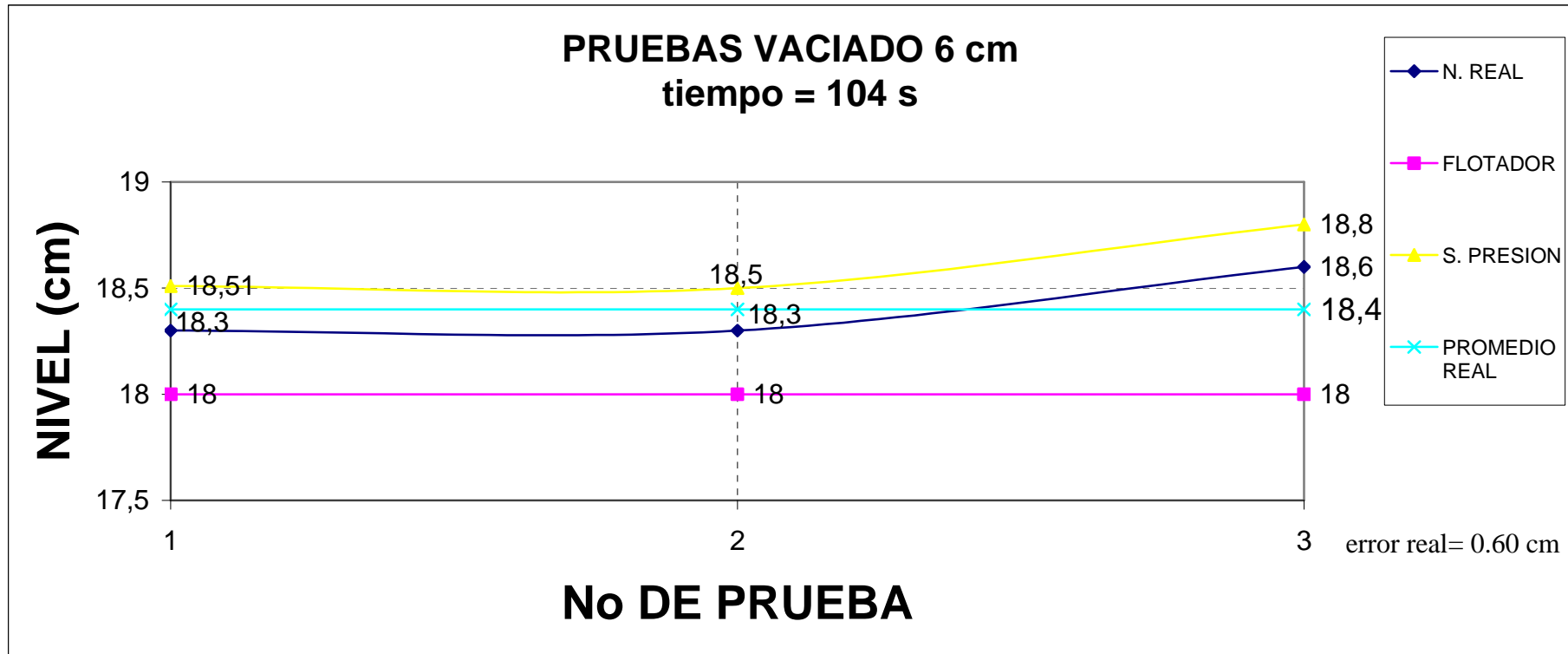


Figura 4.16: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 6cm en 104s.

En la figura 4.17 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 8cm en 129s.

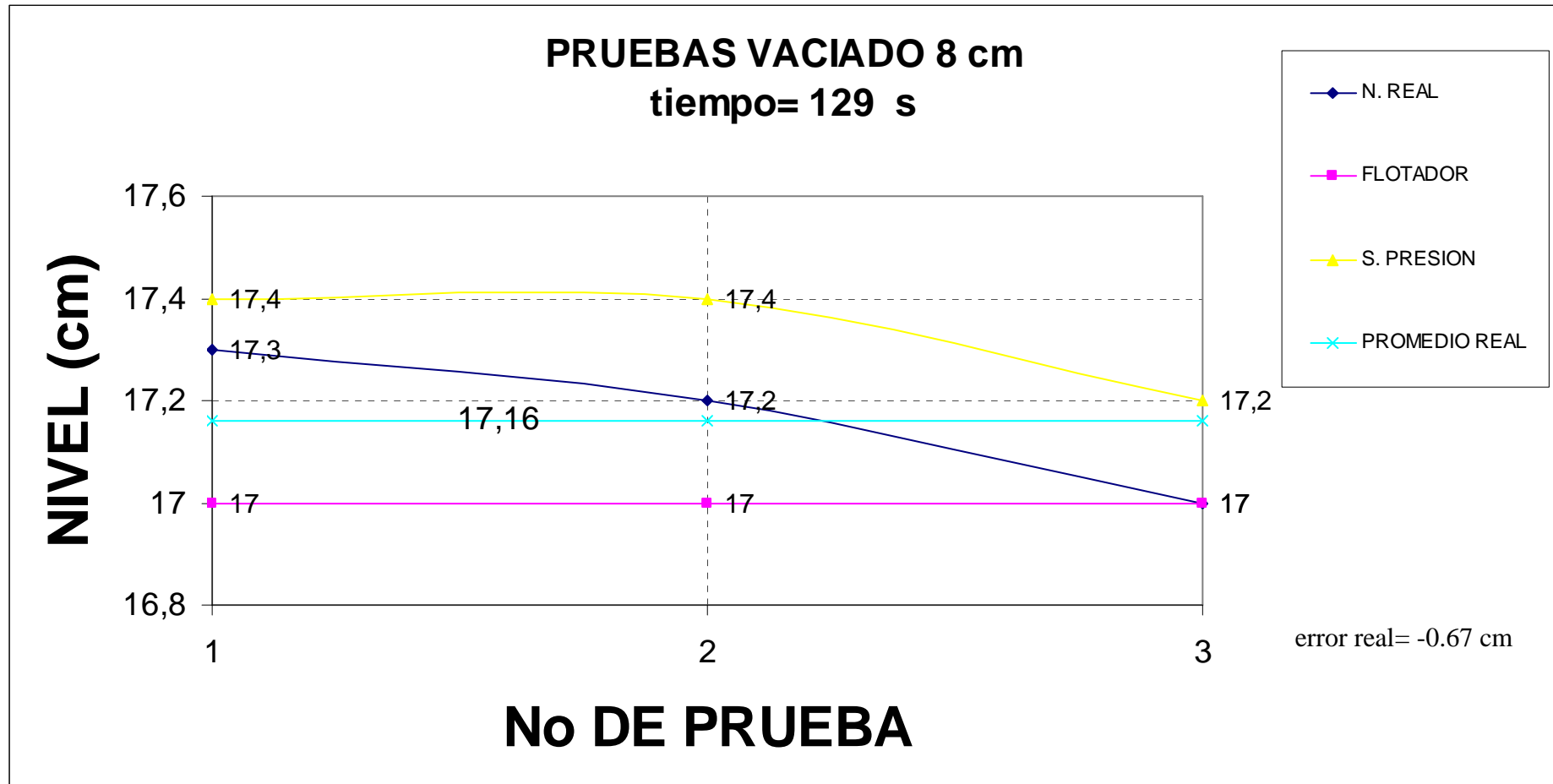


Figura 4.17: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 8cm en 129s.

	NIVEL A VACIAR	NIVEL INICIAL (cm)	NIVEL FINAL (cm)	TIEMPO (s)		NIVEL FINAL (cm)		
				CRONOMETRO	SISTEMA	N. REAL	FLOTADOR	S. PRESION
PRUEBA 1	2	25	23	21	20	23	23	23,1
	4	25	21	45	44	20,8	21	20,7
	6	25	19	61	60	19	19	19,1
	8	25	17	85	84	17,2	17	17
PRUEBA 2	2	25	23	21	20	22,7	23	23
	4	25	21	45	44	20,8	21	20,7
	6	25	19	61	60	19,4	19	19,3
	8	25	17	85	84	17	17	16,9
PRUEBA 3	2	25	23	21	20	22,8	23	22,9
	4	25	21	45	44	20,6	21	20,6
	6	25	19	61	60	19,2	19	19
	8	25	17	85	84	16,9	17	16,9
PROMEDIO (cm)	2	25	23	21	20	22,83	23	23,00
	4	25	21	45	44	20,73	21	20,67
	6	25	19	61	60	19,20	19	19,13
	8	25	17	85	84	17,03	17	16,93
ERROR (cm)					1	0,17	0	0,00
					1	0,27	0	0,33
					1	-0,20	0	-0,13
					1	-0,03	0	0,07

Tabla 4.22: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.18 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 2cm en 20s.

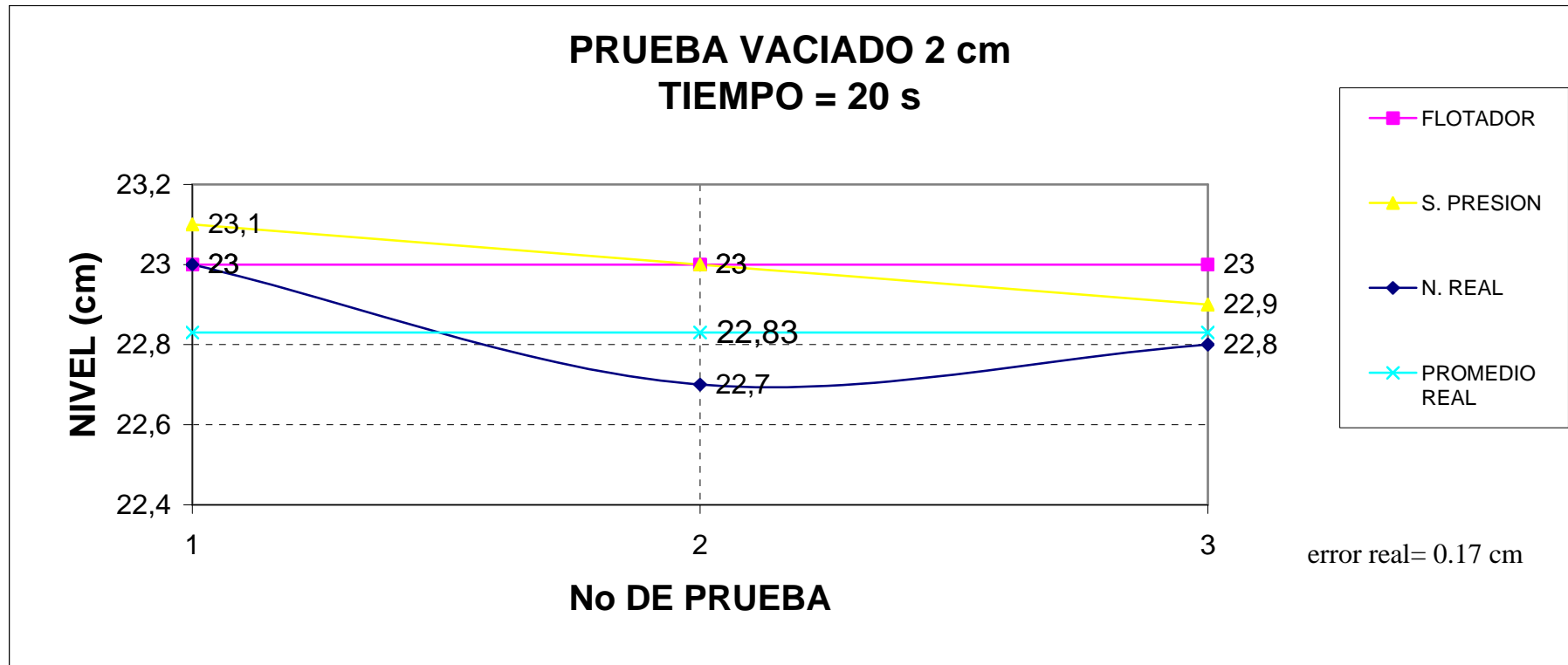


Figura 4.18: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 2cm en 20s.

En la figura 4.19 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 4cm en 44s.

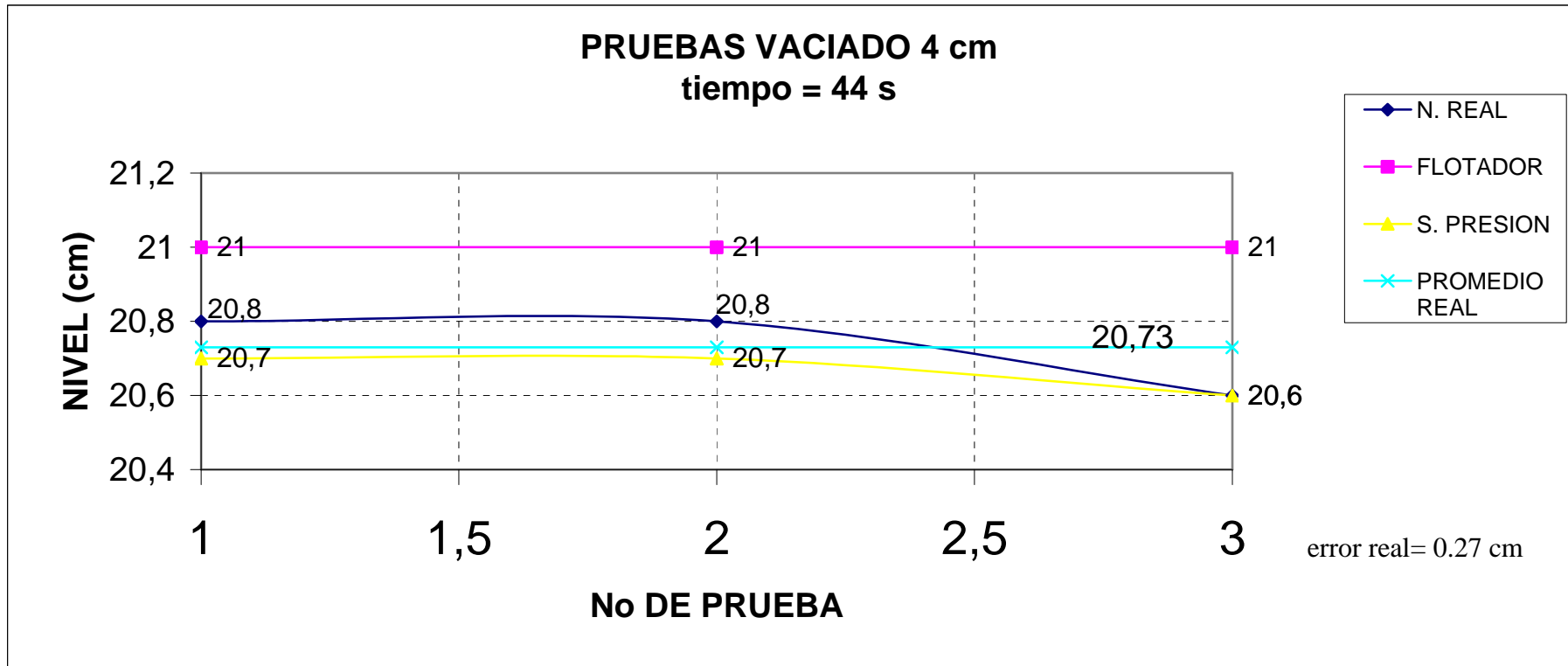


Figura 4.19: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 4cm en 44s.

En la figura 4.20 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 6cm en 60s.

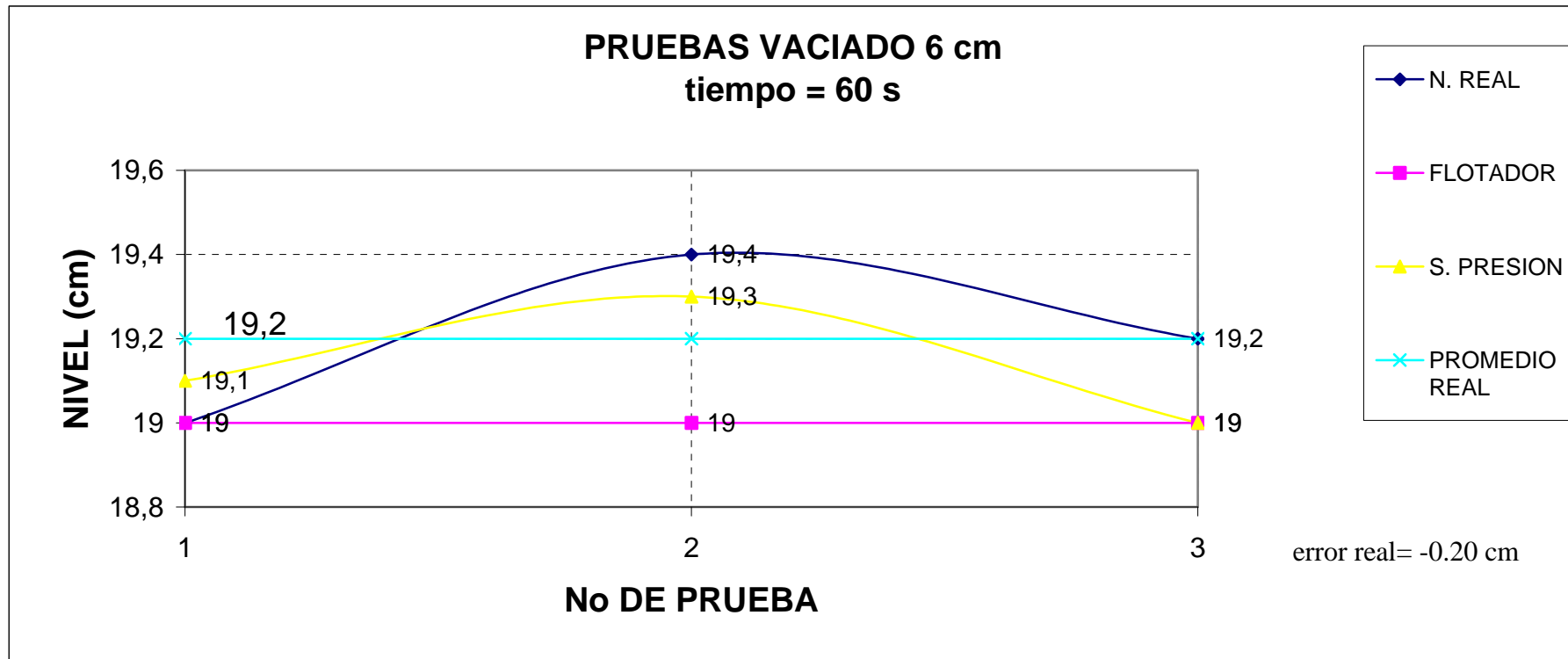


Figura 4.20: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 6cm en 60s.

En la figura 4.21 se muestra la fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 8cm en 84s.

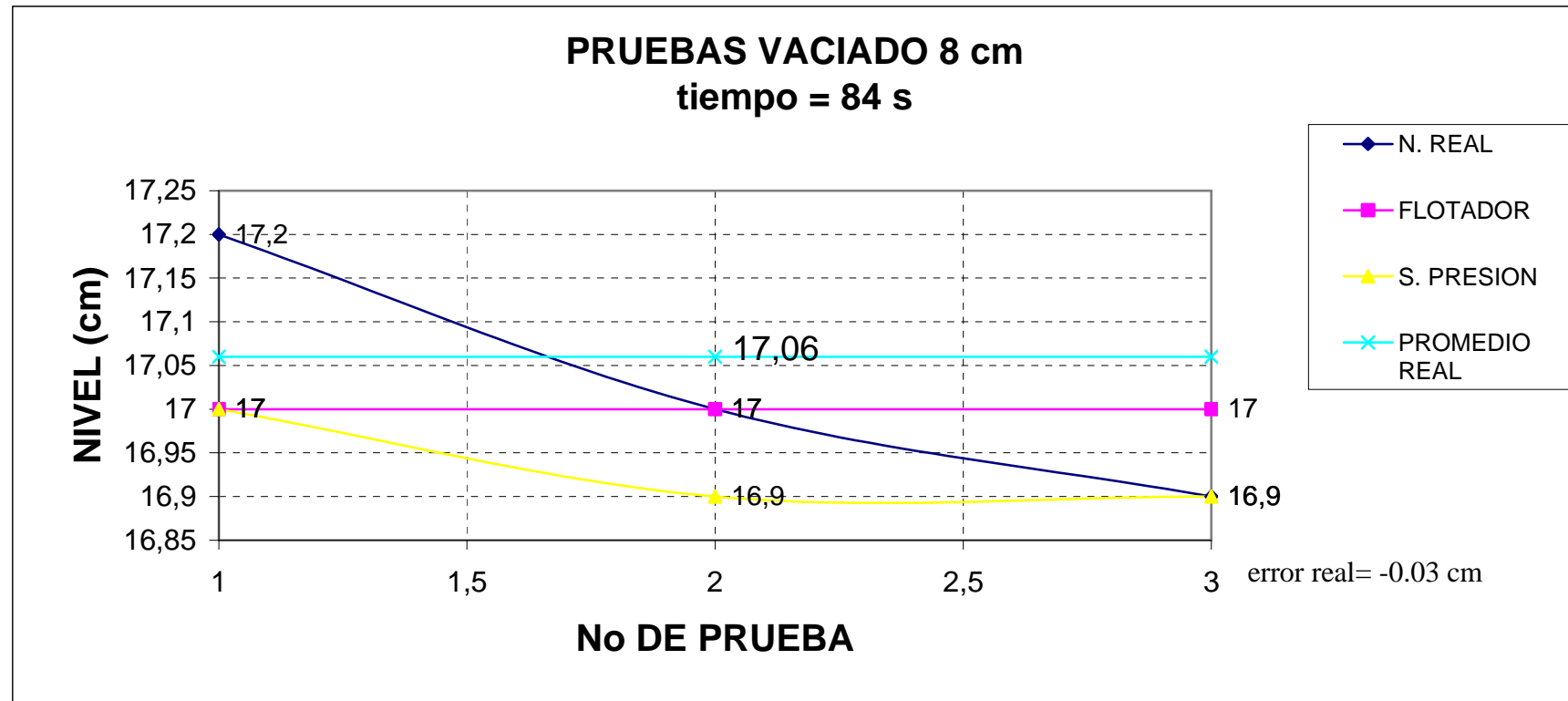


Figura 4.21: Fluctuación de los parámetros cuando se desalojan 8cm en 84s.

En la figura 4.18, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.23:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0	0	0	0,5	1	0,4

Tabla 4.23: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.19, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.24:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0,4	0	0,1	0,5	1	0,7

Tabla 4.24: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.20, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.25:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0	0	0	0,7	1	0,51

Tabla 4.25: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.21, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.26:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0,3	0	0,4	0	0	0

Tabla 4.26: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.22, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.27:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0	0	0,1	0,7	0	0,3

Tabla 4.27: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.23, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.28:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0	0	0	0,2	0	0,4

Tabla 4.28: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.24, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.29:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0,4	0	0,3	0	1	0

Tabla 4.29: Datos de repetibilidad de desalojo

En la figura 4.25, la máxima dispersión que se tiene es la que se indica en la tabla 4.30:

Dispersión Máxima (cm)					
Hacia Arriba			Hacia Abajo		
N. Real	N. Flotador	N. Presión	N. Real	N. Flotador	N. Presión
0,2	0	0	0	0	0,1

Tabla 4.30: Datos de repetibilidad de desalojo

De acuerdo a los resultados obtenidos, la máxima dispersión que se puede presentar es de: hacia arriba 0,4cm; hacia abajo 0,7 cm; por lo cual se establece un rango de tolerancia de: cm's a desalojar - 1 \leq cm's a desalojar \leq cm's a desalojar + 1

El error máximo que se puede tener es de 1cm lo cual se considera dentro de un rango aceptable para este tipo de prueba realizada.

Los valores promedios de nivel real varían en 0,13cm como máximo con respecto al nivel real para el caso de vaciado de 2cm, siendo esta una desviación aceptable.

Los valores promedios de nivel real varían en 0,61cm como máximo con respecto al nivel real para el caso de vaciado de 4cm, siendo esta una desviación aceptable.

Los valores promedios de nivel real varían en 0.2 cm como máximo con respecto al nivel real para el caso de vaciado de 6cm, siendo esta una desviación aceptable.

Los valores promedios de nivel real varían en 0,44cm como máximo con respecto al nivel real para el caso de vaciado de 8cm, siendo esta una desviación aceptable

CAPÍTULO

6.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.1 CONCLUSIONES

- El proyecto realizado y analizado en el presente trabajo cumple con los objetivos propuestos inicialmente que son, el diseño y construcción de un módulo didáctico para control de nivel de líquidos que puede ser manejado con un control local ó remoto. Su operación es sencilla y fácil de entender, de manera que los estudiantes puedan realizar la práctica del control de nivel de líquidos de una manera provechosa.
- Con las pruebas realizadas acerca del comportamiento de cada uno de los elementos constitutivos del módulo, como por ejemplo los tiempos de vaciado del tanque, tiempo que se demora la servoválvula en sacar una determinada cantidad de agua, tiempo que se demora la bomba en llegar a un determinado nivel, etc, se pueden estructurar prácticas de laboratorio para que el módulo sea aprovechado por los estudiantes para que puedan trabajar con la variable nivel, con los sensores y vean las maneras de controlar dicha variable.
- El modelo de la planta corresponde a un modelo de primer orden razón por la que un control on / off con histéresis, que a fin de cuentas equivale a un control proporcional, da buenos resultados ya que los errores están por debajo del 2% como lo demuestran las pruebas de funcionamiento.
- La acción resultante de control equivale a una acción PI (Proporcional-Integral) debido a la presencia del integrador intrínseco de la planta, por esta razón el error es mínimo al ser el PI un controlador dedicado que procura errores nulos.
- La protección contra sobrepresión para la bomba a través del presostato actúa únicamente en caso de taponamiento de la tubería de descarga, es

decir, cuando la presión sea bastante grande, condición en la cual el manómetro puede marcar la presión existente en la tubería de descarga. En condiciones normales de operación el manómetro marca 0 Psi por no ser lo suficientemente sensible a presiones bajas. Se puede complementar la protección para la bomba con un relé térmico.

- El sensor potenciométrico utilizado para medir el nivel presenta una respuesta no lineal ni estable por lo que se linealizó la medida a través de una tabla de valores para tener una lectura adecuada del nivel. Con ello se pierde exactitud y el nivel se lo puede monitorear de centímetro en centímetro. Sin embargo, para fines didácticos esta precisión es suficiente.
- El sensor de presión diferencial para gases presenta una respuesta lineal y estable por lo cual se puede trabajar directamente con los valores de respuesta del sensor para los diferentes valores de nivel. La precisión de este sensor es de un milímetro el cual supera ampliamente a la respuesta del sensor potenciométrico. Sin embargo, los dos se complementan para asegurar que la medida es la correcta.
- El ruido electromagnético de alta frecuencia causa problemas en el manejo de los datos análogos de entrada a los canales AD del microcontrolador ATMEGA8. Esto provoca lecturas erróneas de dichos datos. Para solucionar ese problema fue necesario colocar capacitores de tantalio de 0.1uF directamente en cada uno de los pines de los canales AD del microcontrolador ATMEGA8.

6.1.2 RECOMENDACIONES

- En diseño y construcción, hardware y software deben ir de la mano, de preferencia se recomienda realizar primeramente el diseño completo del hardware para luego tener una idea más clara de cómo desarrollar un software óptimo para el hardware ya diseñado y armado.
- No siempre se tienen buenos resultados al usar absolutamente todos los recursos de un microprocesador, pueden presentar fallas como datos erróneos de conversión o demoras excesivas en la toma de acciones. En proyectos grandes, lo mejor es dividir las tareas entre al menos dos microcontroladores, uno que se dedique a adquisición y a comunicación, y otro que haga tareas de interrupciones, lectura, escritura, etc.
- En el caso de manejar señales análogas y digitales en la misma tarjeta, se recomienda separar las dos referencias simplemente nombrando a la referencia digital como GND y a la referencia análoga como AGND al momento de realizar el ruteo. Otra opción es hacer una conversión AD diferencial en la que el AD tiene como entradas el voltaje análogo y la referencia análoga AGND, con esto se logra una sola referencia que es GND.
- Se recomienda también colocar filtros pasivos en la tarjeta para la polarización lo más cercano posible a cada integrado, de igual manera en cada canal del conversor AD si lo hay. Los filtros que dan mejores resultados son los capacitores de tantalio.
- Se recomienda accionar la bomba periódicamente, al menos una vez por semana, para evitar que se trabe el eje por oxidación. Aunque la bomba no es de auto-cebado, no necesita ser cebada ya que por su ubicación siempre hay agua en la tubería. En caso de querer sacar la bomba para mantenimiento se lo puede hacer fácilmente desde los acoples universales.

- El cableado interno del módulo tiene etiquetas que muestran su conexión respectiva, por lo que en caso de desconexión es fácil hallar su lugar. Además los esquemáticos anexados indican las conexiones internas.
- Al iniciar el módulo, colocar los selectores en modo de operación Manual / Control Local para evitar posibles funcionamientos no deseados debidos a la inicialización de los registros internos del PLC.
- Se debe cambiar el agua de los recipientes al menos una vez por mes para evitar la acumulación de materiales que puedan taponar el tubo fusible (capilar de vidrio) a través del cual se mide el nivel, ó incluso la bomba.
- Futuros proyectos pueden esta relacionados con la prueba de otros sensores que lleven a la correcta selección de los mismos. Además se pueden realizar otras interfaces usando por ejemplo Intouch, Lookout, para observar su funcionamiento y realizar un estudio comparativo entre dichas interfaces para seleccionar la más adecuada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benítez Cadena, Víctor Manuel; Salamea Balladares, José Mauricio; “CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE NIVEL DE LÍQUIDOS”; Octubre 2003; Director: Castro Macancela Germán Ing.
- Cuzco Silva, Edgar Giovanny; “CONTROL Y MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS MEDIANTE INTOUCH ”; Mayo 2001; Director: Corrales Paucar Luis Phd.
- Ogata Katsuhiko; “INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA”; Año 2003; Cuarta Edición.
- Creus Solé, Antonio; “INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL”; Año 1992; Cuarta Edición.
- Pallás Ramón; “ADQUISICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES”; Año 1993.
- “VÁLVULAS: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL”
www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml
- “SISTEMAS SCADA”
personal.redestb.es/efigueras/memoria.htm
- “Diseño e implementación de un módulo de proceso de Monitoreo y control de nivel y flujo basado en PC bajo plataforma Labview”
www.esi.com.co/Semillero1.pdf