

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA E INSTRUMENTACION

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO DE EJECUCION EN ELECTRONICA E
INSTRUMENTACION**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
INTELIGENTE DE CONTROL DE PRESIÓN, NIVEL,
TEMPERATURA Y FLUJO EN UN SISTEMA DE AGUA DE
USO DOMÈSTICO**

ELABORADO POR:

CHRISTIAN XAVIER TAPIA CADENA

JUAN CARLOS NARVAEZ GUERRA

Latacunga – Ecuador

2006

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los señores: Christian Xavier Tapia Cadena y Juan Carlos Narváez Guerra, como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero de Ejecución en Electrónica e Instrumentación.

Fecha

ING. JOSÉ BUCHELI.

DIRECTOR

ING. JULIO ACOSTA

CODIRECTOR

DEDICATORIA

A mi esposa Ángela Ocaña

A mi hijo Christian Addair

CHRISTIAN

A mi papá Lauro Narváez

A mi mamá Magdalena Guerra

JUAN CARLOS

AGRADECIMIENTO

A LA ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO, POR BRINDARNOS
LAS FACILIDADES PARA LA CULMINACION DE ESTE PROYECTO

AL ING. JOSÉ BUCHELI Y AL ING. JULIO ACOSTA POR SU
VALIOSA Y DESINTERESADA COLABORACION.

CHRISTIAN Y JUAN CARLOS

INDICE DE CONTENIDOS

Pág.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

1.1.- INTRODUCCION	1
1.1.1.- CONTROL DE DOS POSICIONES	3
1.1.1.1.- EFECTOS DEL CONTROL DOS-POSICIONES EN UN PROCESO	5
1.1.2.- CONTROL PROPORCIONAL.	5
1.1.2.1.- BANDA PROPORCIONAL.	7
1.1.2.2.- EFECTOS DE CAMBIAR EL ANCHO DE BANDA DE UN PROPORCIONAL.	7
1.1.3.- CONTROL INTEGRAL.	9
1.1.4.- CONTROL DERIVATIVO.	10
1.1.5.- CONTROL PID.	11
1.1.6.- IMPORTANCIA DE TENER LA CANTIDAD APROPIADA DE CONTROL PROPORCIONAL	11
1.2.- CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES	13
1.2.1.- CAMPOS DE APLICACIÓN	13
1.2.2.- APLICACIONES GENERALES	13
1.2.3.- VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS PLC'S	14
1.2.4.- ESTRUCTURA EXTERNA	15
1.2.5.- ESTRUCTURA INTERNA	16
1.2.5.1.- CPU	16
1.2.5.2.- UNIDADES DE E/S	17
1.2.5.3.- MEMORIA	18
1.2.5.4.- INTERFACES	19
1.2.6.- LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	21
1.2.6.1.- GRÁFICO SECUENCIAL DE FUNCIONES (GRAFSET)	21
1.2.6.2.- LISTA DE INSTRUCCIONES	21
1.2.6.3.- TEXTO ESTRUCTURADO	21
1.2.6.4.- DIAGRAMA DE CONTACTOS	22
1.3.- TRANSMISORES	22
1.3.1.- TRANSMISOR DE NIVEL	23
1.3.1.1.- MEDICIÓN DE LÍQUIDOS	23
1.3.1.2.- MEDICIÓN DE SÓLIDOS	23
1.3.2.- TRANSMISOR DE PRESIÓN	24

1.3.2.1.- ELEMENTOS MECÁNICOS	25
1.3.2.2.- ELEMENTOS PRIMARIOS ELÁSTICOS	25
1.3.2.3.- ELEMENTOS NEUMÁTICOS	25
1.3.2.4.- ELEMENTOS ELECTROMECAÓNICOS	26
1.3.2.5.- ELEMENTOS ELECTRÓNICOS DE VACÍO	26
1.3.3.- TRANSMISOR DE FLUJO	26
1.3.3.1.- TRANSMISORES DE FUELLE Y DIAFRAGMA	27
1.3.4.- TRANSMISOR DE TEMPERATURA	31
1.4.- MOTORES Y BOMBAS	32
1.4.1.- MOTORES	32
1.4.1.1.- FUNDAMENTOS DE OPERACIÓN	33
1.4.1.2.- TIPOS Y CARACTERÍSTICAS	34
1.4.1.3.- PARTES FUNDAMENTALES DE UN MOTOR	35
1.4.1.4.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES	38
1.4.1.5.- MOTORES MONOFASICOS	41
1.4.2.-BOMBAS	43
1.4.2.1.-BOMBAS CENTRÍFUGAS	43
1.4.2.2.-BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO	44
1.5.- VÁLVULAS Y ACTUADORES	44
1.5.1.- VÁLVULAS	44
1.5.1.1.- VÁLVULA DE CONTROL.	45
1.5.1.2.- PARTES DE LA VÁLVULA DE CONTROL.	45
1.5.1.3.- CLASES DE VÁLVULAS	46
1.5.2.- ACTUADORES	50
1.5.2.1.- ACTUADORES HIDRÁULICOS	51
1.5.2.2.- ACTUADORES NEUMÁTICOS	53
1.5.2.3.- ACTUADORES ELÉCTRICOS	53
1.6.- TANQUES	55
1.6.1. TIPOS DE TANQUES	56
1.6.2. SELECCIÓN DE TANQUES	57

CAPITULO II

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL, PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA PARA USO DOMESTICO.

2.1.1.- NECESIDAD	58
2.1.2.- SOLUCIÓN PROPUESTA	59

2.1.3.- OBTENCIÓN DE LOS SET-POINT DEL PROCESO	61
2.2.- SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL	63
2.3.- LAZO DE CONTROL DE NIVEL	65
2.3.1.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE NIVEL	65
2.3.2.- DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS.	66
2.4.- LAZO DE CONTROL DE PRESIÓN	70
2.4.1.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE PRESIÓN	71
2.4.2.- DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS	72
2.5.- LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA	81
2.5.1.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	82
2.5.2.- DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS	83
2.6.- TABLERO DE CONTROL	84
2.6.1.- ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL	85
2.7.- DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PLC	89
2.7.1.-DISEÑO DEL PROGRAMA	92
2.8.- SELECCIÓN, DESCRIPCIÓN Y HOJAS TÉCNICAS DE LOS INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	97
2.9.- COSTOS	98

CAPITULO III

PUESTA EN MARCHA

3.1.- CONSTRUCCIÓN	99
3.2.- CALIBRACIÓN	116
3.3.- ARRANQUE	130
3.4.- OPERACIÓN	131
3.5.- MANTENIMIENTO	133

CAPITULO IV

4.1.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
4.2.- BIBLIOGRAFIA	137
4.3.- ANEXOS	137

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

FIGURA 1.1. - LAZO DE CONTROL ABIERTO	1
FIGURA 1.2. - LAZO DE CONTROL CERRADO	2
FIGURA 1.3. - EJEMPLO DE CONTROL DE DOS POSICIONES (ON-OFF)	4
FIGURA 1.4. - GRAFICO DONDE SE INDICA LAS OSCILACIONES DE LA VARIABLE DE SALIDA UTILIZANDO UN SISTEMA DE CONTROL (ON-OFF)	5
FIGURA 1.5. -EJEMPLO DE CONTROL PROPORCIONAL	6
FIGURA 1.6.- EFECTO DE CAMBIAR EL ANCHO DE BANDA	8
FIGURA 1.7.-EFECTO DE LA ACCIÓN DEL CONTROL INTEGRAL	10
FIGURA 1.8.-INSUFICIENTE ACCIÓN DE CONTROL	12
FIGURA 1.9.-EFECTO DE UNA BANDA PROPORCIONAL DEMASIADO ANGOSTA	12
FIGURA 1.10.-EFECTO DE BANDA PROPORCIONAL DEMASIADO ANCHA	12
FIGURA 1.11.-EJEMPLO DE LA VARIEDAD DE ESTRUCTURAS DE PLC'S	15
FIGURA 1.12.-UNIDAD CENTRAL DE PROCESO CPU	16
FIGURA 1.13.-UNIDADES E/S	17
FIGURA 1.14.-EJEMPLO DE DIVISIÓN DE MEMORIA EN UN AUTÓMATA.	19
FIGURA 1.15.-UNIDAD DE PROGRAMACIÓN	20
FIGURA 1.16A.- TRANSMISORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL	27
FIGURA 1.16B.- TRANSMISORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL	28
FIGURA 1.17.- CONEXIONES ENTRE EL ELEMENTO Y EL TRANSMISOR DE CAUDAL DEPENDIENDO DEL FLUIDO.	29
FIGURA 1.18.- TRANSMISORES DE CAUDAL DE PRESIÓN DIFERENCIAL	31
FIGURA 1.19.- GENERACIÓN DEL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN	33
FIGURA 1.20.- PARTES DE UN MOTOR DE C.A.	35
FIGURA 1.21.- TIPOS DE ESTADORES	36
FIGURA 1.22.- TIPOS DE ROTORES	36
FIGURA 1.23.- COJINETE DE DESLIZAMIENTO	38
FIGURA 1.24.- COJINETE DE RODAMIENTO	38
FIGURA 1.25.- SENTIDO DE GIRO DE LAS BOBINAS	42
FIGURA 1.26.- PARTES DE LA VÁLVULA DE CONTROL.	45

FIGURA 1.27 VÁLVULA DE COMPUERTA.	47
FIGURA 1.28 VÁLVULA DE MACHO.	47
FIGURA 1.29 VÁLVULA DE GLOBO.	47
FIGURA 1.30 VÁLVULA DE BOLA.	48
FIGURA 1.31 VÁLVULA DE MARIPOSA.	48
FIGURA 1.32 VÁLVULA DE DIAFRAGMA.	48
FIGURA 1.33 VÁLVULA DE APRIETE	49
FIGURA 1.34 VÁLVULA DE RETENSIÓN (TIPO DE ELEVACIÓN).	49
FIGURA 1.35 VÁLVULA DE DESAHOGO (ALIVIO).	50
FIGURA 1.36.- FOTOGRAFÍA DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO	55

CAPITULO II

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL, PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA PARA USO DOMESTICO.

FIGURA 2.1.-ESQUEMA DEL PROCESO PROPUESTO PARA EL CONTROL DE NIVEL, PRESIÓN Y TEMPERATURA PARA UN SISTEMA DE AGUA DE USO DOMÉSTICO E INDUSTRIAL	59
FIGURA 2.2.-CONTROL TODO-NADA CON BANDA DIFERENCIAL	64
FIGURA 2.3.-LAZO DE CONTROL DE NIVEL	65
FIGURA 2.4.-ELEMENTOS DEL CONTROL DE NIVEL	66
FIGURA 2.5.- LAZO DE CONTROL DE PRESIÓN	70
FIGURA 2.6.-ELEMENTOS DEL CONTROL DE PRESIÓN	71
FIGURA 2.7.-DISEÑO DEL TANQUE DE PRESIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA.	72
FIGURA 2.8.-APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE BERNOULLI	74
FIGURA 2.9.- LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA	81
FIGURA 2.10.-ELEMENTOS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	82
FIGURA 2.11.- CONEXIÓN CON LAS ENTRADAS ANALÓGICAS	91
FIGURAS A Y B .- CONVERSIÓN DE NIVELES	94

CAPITULO III

PUESTA EN MARCHA

FIGURA 3.1.- DIAGRAMA P&ID	112
FIGURA 3.2.- CONEXIONES DE DC	113
FIGURA 3.3.- CONEXIONES DE CORRIENTE ALTERNA	114
FIGURA 3.4.- PARTE FRONTAL DEL SKID	115
FIGURA 3.5.- CIRCUITO HIDRÁULICO PARA PRUEBA DE PRESIÓN EN MANÓMETROS	116
FIGURA 3.6.- ERRORES DE UN INSTRUMENTO	117
FIGURA 3.7.-GRAFICO DEL INSTRUMENTO A CALIBRAR.	118
FIGURA 3.8.- TORNILLOS DE AJUSTE DE UN MANÓMETRO.	119
FIGURA 3.9.-CALIBRACIÓN DE CERO.	119
FIGURA 3.10.-CALIBRACIÓN DE SPAN.	120
FIGURA 3.11.-CALIBRACIÓN DE CERO Y SPAN	120
FIGURA 3.12.- CALIBRACIÓN DE CERO Y SPAN	121
FIGURA 3.13.- INSTRUMENTO CALIBRADO.	121
FIGURA 3.14.- HORNO SECO PARA CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS.	122
FIGURA 3.15.- TORNILLOS DE AJUSTE DE UN TERMÓMETRO BIMETÁLICO	124
FIGURA 3.16.- CIRCUITO DE CALIBRACIÓN PARA TRASMISORES DE PRESIÓN.	124
FIGURA 3.17.- CIRCUITO DE CALIBRACIÓN PARA INTERRUPTORES DE PRESIÓN.	126
FIGURA 3.18.- CIRCUITO DE CALIBRACIÓN PARA TRASMISORES DE TEMPERATURA.	127
FIGURA 3.19 . CIRCUITO DE CALIBRACIÓN PARA INTERRUPTORES DE NIVEL	129

LISTADO DE TABLAS

CAPITULO II

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL, PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA PARA USO DOMESTICO.

TABLA 2.1.-CAUDALES USADOS EN ACTIVIDADES DOMÉSTICAS	61
TABLA 2.2.-SET POINTS DEL PROCESO	63
TABLA 2.3.-CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE CONTROL	63
TABLA 2.4.- ESPECIFICACIONES GENERALES DEL PLC	90
TABLA 2.5.- ESPECIFICACIONES DE LAS ENTRADAS ANÁLOGAS	91
TABLA 2.6. CARACTERÍSTICAS DE CABLEADO NECESARIO PARA EL PLC	91

CAPITULO III

PUESTA EN MARCHA

TABLA 3.1. CODIFICACIÓN DEL CABLEADO DEL TABLERO DE CONTROL	100
TABLA 3.2.- CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO.	134

LISTADO DE ANEXOS

- ANEXO A.- CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS
- ANEXO B.- VISTA INTERIOR DEL TABLERO DE CONTROL
- ANEXO C.- VISTA EXTERIOR DEL TABLERO DE CONTROL
- ANEXO D.- DIAGRAMA DE ENTRADAS DEL PLC
- ANEXO E.- DIAGRAMA DE SALIDAS DEL PLC
- ANEXO F.- ESPECIFICACIONES DEL PLC
- ANEXO G.- ESPECIFICACIONES DEL TRANSMISOR DE PRESIÓN
- ANEXO H.- ESPECIFICACIONES DEL RTD
- ANEXO I.- ESPECIFICACIONES DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA
- ANEXO J.- ESPECIFICACIONES DE LOS CONTACTORES
- ANEXO K.- ESPECIFICACIONES DE LOS RELÉS
- ANEXO L.- ESPECIFICACIONES DE LOS TERMÓMETROS
- ANEXO M.- ESPECIFICACIONES DE LOS MANÓMETROS
- ANEXO N.- ESPECIFICACIONES DE LA VÁLVULA AUTORREGULADORA
DE PRESIÓN
- ANEXO O.- ESPECIFICACIONES DE LA VÁLVULA DE SEGURIDAD
- ANEXO P.- ESPECIFICACIONES DE LA VÁLVULA CHECK
- ANEXO Q.- ESPECIFICACIONES DE LA ELECTROVÁLVULA
- ANEXO R.- ESPECIFICACIONES DEL INTERRUPTOR DE NIVEL
- ANEXO S.- ESPECIFICACIONES DE LOS INTERRUPTORES DE PRESIÓN
- ANEXO T.- ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA
- ANEXO U.- COSTOS DEL PROYECTO
- ANEXO V.- GRÁFICOS DE LAS PARTES MECÁNICAS DEL SKID
- ANEXO W.- SOFTWARE UTILIZADO

INTRODUCCIÓN

En la época moderna debido al los avances tecnológicos y a la búsqueda de reducción de costos cada día se hace más necesario que los equipos de uso doméstico entre ellos el sistema de agua potable donde se controla nivel, temperatura, presión y flujo sean automáticos e inteligentes.

Existen sistemas de agua potable de uso doméstico en muchos hogares que debido a su tecnología no cumplen las expectativas de rendimiento, confiabilidad y costos de mantenimiento.

Por este motivo nos vemos en la necesidad de implementar un sistema para uso doméstico que tenga estas características y que cumpla con los requerimientos modernos.

ANTECEDENTES

Actualmente en el mercado nacional se venden sistemas de agua que realizan funciones similares; cuyas características consisten en que esos sistemas para controlar temperatura utilizan un equipo llamado termostato, otro equipo adicional para controlar la presión y otro equipo para controlar el nivel, además utilizan sistemas mecánicos de control que fácilmente se dañan y el rango de las variables que controlan es demasiado limitado.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema inteligente para uso domestico que permita al usuario tener dentro de su hogar agua caliente, presurizada y con suficiente reserva en caso de que la empresa de distribución pública no este proveyendo en determinado momento el líquido vital.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender de manera teórica y práctica el control de variables
- Familiarizarse con los diferentes tipos de señales que llegan a los PLC`s
- Familiarizarse y aplicar los conocimientos de programación
- Aprender a buscar soluciones prácticas a necesidades cotidianas

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA A RESOLVER

En algunos barrios de las ciudades existe escasez de agua potable, mediante la distribución por parte de la empresa de suministro ya que sólo llega durante algunas horas del día con poco flujo y presión. Por lo que se necesita la implementación de una cisterna de almacenamiento de agua con control de nivel automático para que funcione en el momento que ésta sea suministrada.

Además también existen casos donde las viviendas tienen mas de un piso y según el número de habitantes de cada departamento y el número de pisos de la casa también provoca una reducción sustancial de la presión cuando se hace uso en la cocina, ducha, lavandería, etc. Por esta razón se necesita un sistema automático que controle la presión para que haya suficiente agua para todos los habitantes de la casa o edificio.

Adicionalmente podemos implementar un sistema de control de temperatura de agua y como muchos edificios modernos son inteligentes éste sistema de agua debe tener la capacidad también de comunicación para lo cual utilizaremos un PLC.

Este sistema va a tener las siguientes características mejoradas:

- Reducción de costos por reducción de espacio ya que todos los equipos van a estar montados en un solo módulo.
- Reducción de costos por el mantenimiento.
- Control más preciso de las variables
- Flexibilidad del rango de control de las variables
- Posibilidad de comunicación y monitoreo del sistema

CAPITULO I

FUNDAMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

En todo proceso industrial donde existan variables que controlar tales como: presión, temperatura, nivel, flujo, etc. amerita realizar un control que dependiendo de la complejidad de dicho proceso puede pasar desde manual hasta complicados sistemas automáticos de control.

Existen dos grandes grupos de métodos de control: control en lazo abierto y control en lazo cerrado.

El control de lazo abierto esta formado como indica la figura 1.1 de un bloque de control propio, bloque del elemento de control final y del proceso.

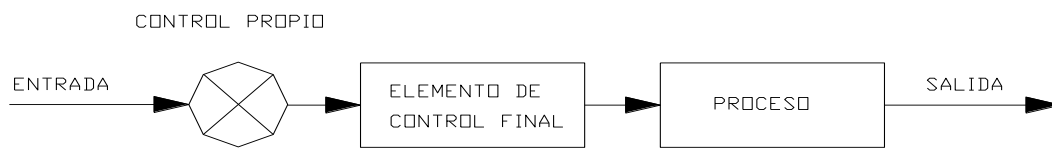


Figura 1.1. -Lazo de control abierto

En el bloque de control propio se encuentran los valores a los que se quiere que las variables de salida lleguen o también llamados set-point y es donde además se realiza el ajuste de la señal que controlará el elemento de control final quien es el que va a influir directamente en las magnitudes de las variables como regulador de las mismas basándose en la señal de control.

En el proceso es donde se conseguirá el producto final influenciado por la actividad del elemento final de control para que tengamos a la salida las magnitudes de las variables a las que se quería llegar.

El problema de este tipo de control es que no permite supervisar y corregir las magnitudes de salida para un cambio en la entrada que no haya estado previsto, para corregir esto se puede utilizar un sistema de control de lazo cerrado como indica la figura 1.2

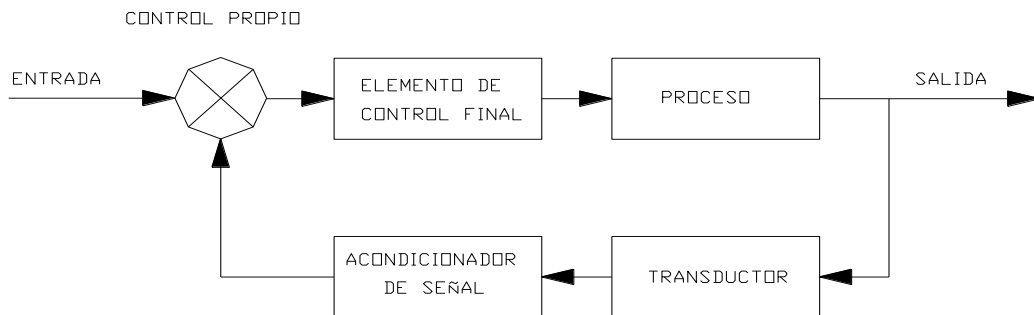


Figura 1.2. -Lazo de control cerrado

Como se puede observar en la figura 1.2, a parte de los bloques existentes en el lazo de control abierto existen el transductor el cual va a monitorear constantemente la magnitud de las variables de salida, el acondicionador de señal para que la señal del transductor pueda ser entendida por el controlador quien a su vez la va a comparar con el set-point para emitir una señal de corrección al elemento final de control y así sucesivamente hasta conseguir a la salida los valores deseados (set-point) de las variables que se controlen en dicho proceso.

Se puede explicar de una manera mas práctica en un proceso típico, en este normalmente incluye un sensor, un transmisor un controlador, y un elemento final de control. El sensor mide el valor de la variable controlada, estos valores son convertidos a una señal estándar por el transmisor. El transmisor envía esta señal al controlador. El controlador compara la señal con el set point, y basado en la desviación, decide cual es la acción adecuada a realizar.

La señal de salida del controlador posiciona el elemento final de control. El elemento final de control responde a la señal de salida cambiando el valor de la variable manipulada.

Hay cuatro modos de control por lazo cerrado: control dos-posiciones, control proporcional, control integral, y el control derivativo.

Los modos de control proporcional, integral y derivativo son continuos. Un controlador puede estar equipado con uno o más modos de control continuo.

Control de dos Posiciones.

El control de dos posiciones se basa en la apertura o cierre de un elemento final de control que va a regular o controlar la variable de entrada del proceso dependiendo de que la magnitud de la variable de salida del proceso llegue al set-point tanto en sentido ascendente como descendente.

En procesos en los que no se requiere un control muy preciso, el control dos-posiciones on/off, puede ser el adecuado. El funcionamiento del control dos-posiciones se ilustra en la figura 1.3.

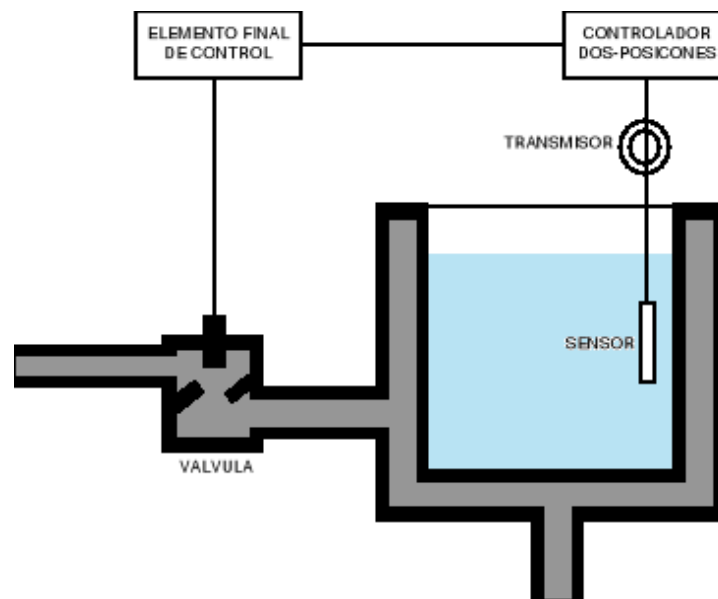


Figura 1.3. - Ejemplo de control de dos posiciones (ON-OFF)

El líquido en el tanque puede ser mantenido en una temperatura específica, la temperatura es la variable controlada en este ejemplo, los componentes en este lazo son: un sensor, un transmisor, un controlador dos-posiciones, y un elemento final de control, que en este caso es una válvula.

La válvula solo tiene dos posiciones: abierto o cerrado. Cualquier cambio en la temperatura del producto almacenado en el tanque es detectado por el sensor, la señal detectada es transmitida al controlador.

El controlador determina que la temperatura este por debajo del set point y envía una señal para abrir la válvula del vapor. La válvula abre incrementando el flujo de vapor (variable manipulada), para calentar el tanque.

Cuando el flujo de vapor en el tanque es iniciado, la temperatura regresará al valor del set point. La temperatura continuará subiendo hasta que una nueva acción sea tomada. Cuando la temperatura del líquido excede el set point, una señal para cerrar la válvula es enviada al elemento final de control.

1.1.1.1. Efectos del Control Dos-Posiciones en un Proceso.

En el ejemplo anterior se nota que el lazo de control no puede responder inmediatamente a los cambios. Dos factores son los que impiden la inmediata respuesta, el tiempo de respuesta del sensor y el tiempo requerido por el líquido en el tanque para responder a los cambios en la variable manipulada este efecto se puede observar en la figura 1.4

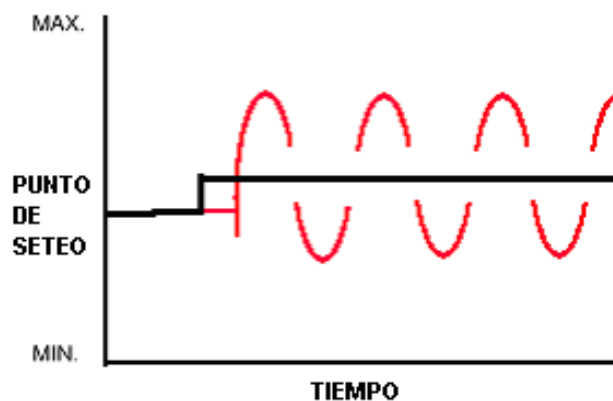


Figura 1.4. -Gráfico donde se indica las oscilaciones de la variable de salida utilizando un sistema de control (ON-OFF)

Consecuentemente, el control dos-posiciones puede causar oscilaciones significativas en el proceso. Si el proceso puede tolerar las oscilaciones en la variable controlada, el control dos-posiciones es el adecuado. Si el proceso no tolera las oscilaciones, debe ser usado otro modo de control.

Control Proporcional

El control continuo, posiciona el elemento final de control en más de dos posiciones, el control proporcional es usado a menudo en sistemas donde el valor de la variable controlada cambia constantemente en respuesta a los disturbios. El principio de operación del control proporcional puede ser ilustrado considerando como se controla la presión en un calentador ver figura 1.5.

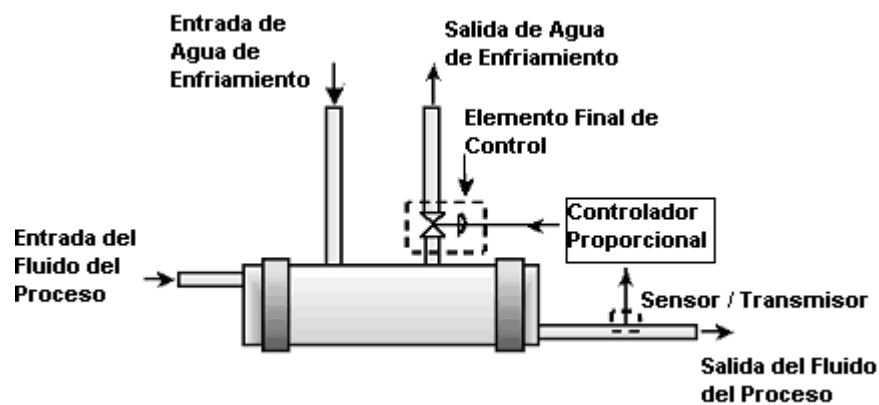


Figura 1.5. -Ejemplo de control proporcional

El vapor producido es la variable controlada. La proporción del flujo del combustible es la variable manipulada.

La dinámica del proceso, prohíbe el uso del modo de control dos-posiciones. El control dos-posiciones no puede mantener la presión del calentador dentro de los límites tolerables.

La acción de control proporcional puede tranquilizar mucho al control/proceso y reducir oscilaciones. Cuando el controlador proporcional recibe

la señal del sensor, la cual es la presión transmitida por el vapor caliente, el controlador responde a cualquier desviación del set point en el elemento final de control. El elemento final de control, una válvula de control de combustible puede estar en posición abierta, cerrada, o en cualquier otra posición intermedia, también será posicionada en proporción a la desviación, la capacidad de ajustar la posición de la válvula, permite un mayor ajuste gradual del flujo de combustible como los cambios de presión del calentador.

Los controladores proporcionales son diseñados para mantener una continua relación entre la variable controlada y la posición del elemento final de control.

1.1.2.1. Banda Proporcional.

El término banda proporcional designa la cantidad de cambios que necesita la entrada para proveer un completo rango de cambios a la salida, y puede ser calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$PB = \frac{1}{Ganancia} (100\%) \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Por ejemplo, si la ganancia es 1.33, la banda proporcional es ajustada al 75%.

$$PB = \frac{1}{1.33} (100\%) \quad (\text{Ec. 1.2})$$

$$PB = 75\% \quad (\text{Ec. 1.3})$$

Los cambios en la acción de control proporcional son expresados como cambios en ganancia proporcional. Ganancia proporcional es la relación del cambio en la entrada al cambio en la salida. La ganancia proporcional se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Ganancia = \frac{100\%}{PB} \quad (\text{Ec. 1.4})$$

1.1.2.2. Efectos de cambiar el ancho de banda de un Proporcional

La acción de control proporcional tomada en el sistema, ha sido ajustada a la mitad en la entrada como se ve en la figura 1.6.

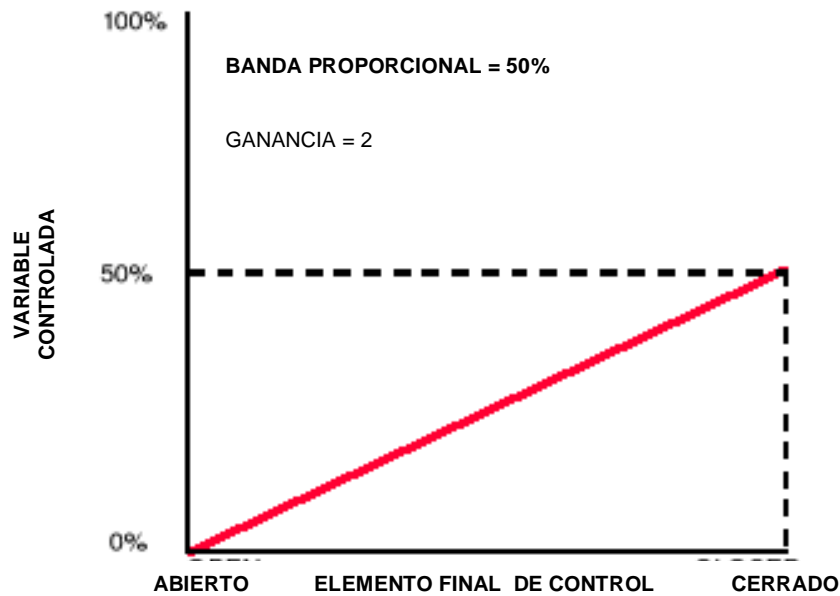


Figura 1.6 Efecto de cambiar el ancho de banda

Entonces la misma salida sería alcanzada con la mitad de la entrada. Porque solo el 50 % de entrada es requerido para obtener un rango completo de salida, la banda proporcional es del 50 % y la ganancia es 2.

$$PB = \frac{1}{2}(100\%) \quad PB = 50\% \quad (\text{Ec. 1.5})$$

$$Ganancia = \frac{100\%}{50\%} \quad (\text{Ec. 1.6})$$

El efecto opuesto puede ser alcanzado ajustando la banda proporcional en la dirección opuesta. Tomando un cambio en el rango completo de la entrada, representa un cambio del 50 por ciento en la salida. El resultado es que la misma entrada alcanza solo la mitad, tanto como la salida.

$$PB = \frac{100\%}{50\%} (100\%) \quad (\text{Ec. 1.7})$$

$$PB = (2)100\% \quad (\text{Ec. 1.8})$$

$$PB = 200\% \quad (\text{Ec. 1.9})$$

$$Ganancia = \frac{50\%}{100\%} \quad (\text{Ec. 1.10})$$

$$Ganancia = 0.5 \quad (\text{Ec. 1.11})$$

La banda proporcional es igual 200% y la ganancia es de 0.5.-Una banda proporcional ancha o una ganancia baja corresponde a una baja respuesta. Una banda proporcional angosta o una ganancia alta, corresponde a una mayor respuesta.

Resumiendo este tipo de control tiene dos características principales:

- Acelera la respuesta del proceso controlado
- Produce un offset (excepto integradores puros)

Control Integral

Los controladores proporcionales industriales usualmente tienen una segunda acción de control para eliminar el offset con la misma secuencia de pasos, chequeo, ajuste, y rechequeo del estado de la variable controlada hasta que regrese al set point.

La acción integral a menudo es llamada reajuste (reset) porque reajusta (resetea) la salida del controlador hasta que el set point sea alcanzado. La acción de reajuste (reset) está determinada en “repeticiones por minuto” o “minutos por repetición”.

Idealmente, la proporción en que acción integral es implementada, no se tiene un impacto negativo en la estabilidad del proceso.

El único tipo de aplicación en la que el periodo de tiempo no es un problema, es en el control de flujo.

La acción de control integral es adicionada al controlador feedforward en lazos de flujo para proveer una acción de amortiguamiento o filtración para el lazo. La acción de control puede regresar la variable del proceso al set point tan rápido como sea posible, sin provocar grandes oscilaciones en el sistema. Esta acción de control puede ser ajustada de la misma manera que la acción proporcional. El control integral no puede ser usado para estabilizar un proceso, esta diseñado para eliminar el offset.

La figura 1.7 muestra el efecto de la acción integral de control.

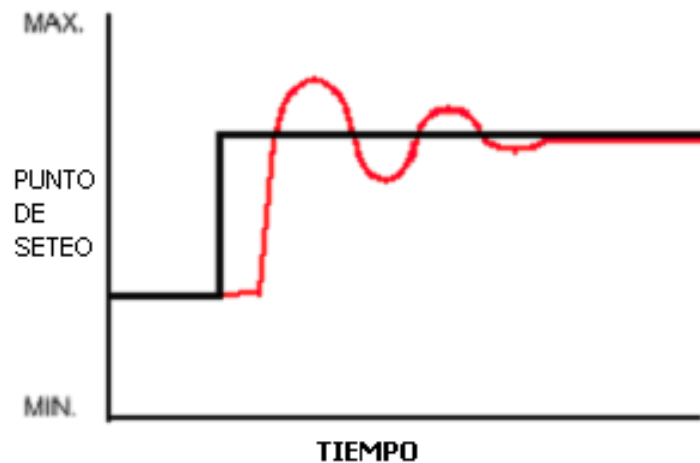


Figura 1.7.-Efecto de la acción del control integral

La acción integral provee salida al elemento final de control hasta que el proceso regresa al set point. Cuando el control proporcional es combinado con el control integral, la acción de control proporcional es repetida hasta que el elemento final de control es posicionado para corregir el offset.

Este tipo de control tiene como característica:

- Elimina todo offset

- Eleva las desviaciones máximas
- Produce respuestas arrastradas y largas oscilaciones
- El aumento de K_c aumenta acelera la respuesta pero produce más oscilaciones y puede llegar a desestabilizar el sistema

Control Derivativo

La acción derivativa responde tan rápido como ocurre la desviación del set point.

Control DERIVATIVO puro: $G_C = K_C r_D s$ (Ec. 1.12)

Las principales características del control derivativo son:

- Se anticipa al error y actúa en función del error que va a ocurrir
- Estabiliza la respuesta del bucle cerrado

1.1.5. CONTROL PID.

Las acciones proporcional e integral, pueden ser combinadas con la acción derivativa para compensar los procesos que tienen una respuesta lenta.-El control PID es el más complejo de los modos de control.

En función de su puesta a punto, los controladores PID requieren tres ajustes. De tal forma es propiamente ajustada, el controlador puede proveer un control muy preciso del proceso. Los controladores PID son comúnmente encontrados en procesos en donde la temperatura es la variable controlada, porque el tiempo de respuesta es relativamente lento.

El control derivativo habilita al controlador para responder más rápido y posicionar el elemento final de control más rápido que con solo las acciones proporcional e integral.

1.1.6. Importancia de tener la cantidad apropiada de Control Proporcional.

Una apropiada acción de control provee una rápida respuesta, cuando la acción proporcional es excesiva, pequeñas desviaciones desde el set point resultan en cambios significativos en la salida. Con una insuficiente acción de control (ver figura 1.8), virtualmente no hay control; grandes cambios en la entrada solo causan cambios pequeños en la salida. Generalmente una acción de control adecuada está entre alguno de estos dos extremos.

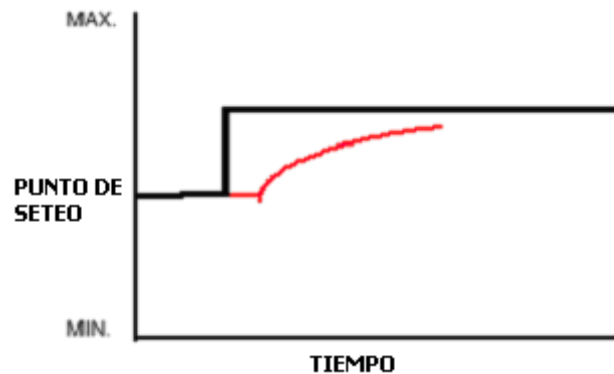


Figura 1.8.-Insuficiente acción de control

Este es el efecto de una banda proporcional que es demasiado angosta (ver figura 1.9 el pequeño cambio relativo en el set point resulta en un cambio significativo en la salida, causando un efecto de oscilación similar al de la acción de control dos-posiciones.

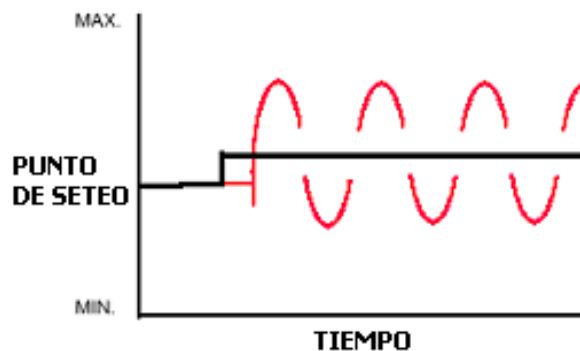


Figura 1.9-Efecto de una banda proporcional demasiado angosta

Por el otro lado, una banda proporcional que es demasiado ancha (ver figura 1.10, también crea dificultades. Un gran cambio en la entrada causa un pequeño cambio en la salida, OFFSET.

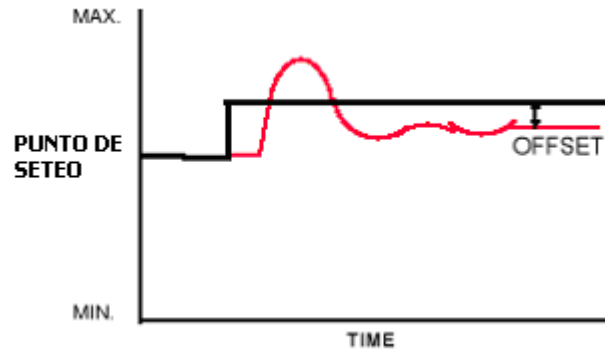


Figura 1.10-Efecto de banda proporcional demasiado ancha

El termino utilizado para expresar la diferencia entre el set point y el valor de la variable de proceso es “offset”. El offset es inherente al modo de control proporcional, y puede ser corregido, porque el control proporcional produce correcciones proporcionales a las desviaciones.

1.2. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Se entiende por controlador lógico programable (PLC), o autómeta programable, a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.

Esta definición se está quedando un poco desfasada, ya que han aparecido los micro-plc's, destinados a pequeñas necesidades y al alcance de cualquier persona.

1.2.1. Campos de Aplicación

Un autómeta programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.

- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

1.2.2. Aplicaciones Generales:

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

Tal y como se dijo anteriormente, esto se refiere a los autómatas programables industriales, dejando de lado los pequeños autómatas para uso más personal (que se pueden emplear, incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de una cochera o las luces de la casa).

1.2.3. Ventajas e Inconvenientes de los PLC's

Entre las ventajas se tiene:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómata.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.

Si el autómata queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

Y entre los inconvenientes:

- Adiestramiento de técnicos
- Costo.

Al día de hoy los inconvenientes se han hecho nulos, ya que todas las carreras de ingeniería incluyen la automatización como una de sus asignaturas. En cuanto al costo tampoco hay problema, ya que hay autómatas para todas las necesidades y a precios ajustados.

1.2.4. Estructura Externa

Existen varias estructuras externas como indica la figura 1.11



Figura 1.11.- Ejemplo de la variedad de estructuras de PLC's

Todos los autómatas programables, poseen una de las siguientes estructuras:

- Compacta: en un solo bloque están todos los elementos
- Modular:
 - Estructura americana: separa las E/S del resto del autómata.
 - Estructura europea: cada módulo es una función (fuente de alimentación, CPU, E/S, etc..)

Exteriormente nos encontraremos con cajas que contienen una de estas estructuras, las cuales poseen indicadores y conectores en función del modelo y fabricante.

Para el caso de una estructura modular se dispone de la posibilidad de fijar los distintos módulos en rieles normalizados, para que el conjunto sea compacto y resistente.

Los micro-autómatas suelen venir sin caja, en formato kit, ya que su empleo no es determinado y se suele incluir dentro de un conjunto más grande de control o dentro de la misma maquinaria que se debe controlar.

1.2.5. Estructura Interna

Los elementos esenciales, que todo autómata programable posee como mínimo son:

1.2.5.1 CPU

La CPU es el corazón del autómata programable (ver figura 1.12)

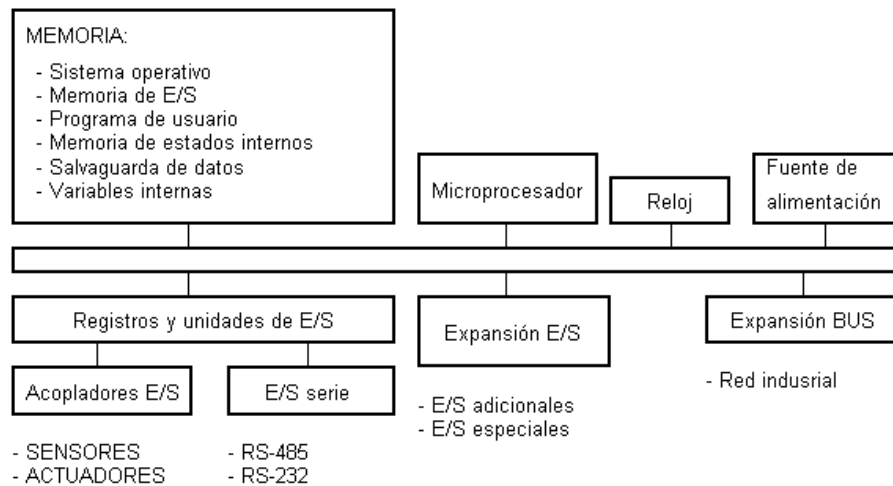


Figura 1.12.- Unidad central de proceso CPU

Es la encargada de ejecutar el programa de usuario mediante el programa del sistema (es decir, el programa de usuario es interpretado por el programa del sistema). Sus funciones son:

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no excede un determinado tiempo máximo (tiempo de ciclo máximo. A esta función se le suele denominar Watchdog (perro guardián.
- Ejecutar el programa de usuario.
- Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas obtenida al final del ciclo de ejecución del programa de usuario.
- Chequeo del sistema.
- Adicionalmente, en determinados modelos más avanzados, podemos disponer de funciones ya integradas en la CPU; como reguladores PID, control de posición, etc.

1.2.5.2 Unidades de E/S

Las unidades E/S son tarjetas de entradas y salidas del PLC (ver figura 1.13).



Figura 1.13.-Unidades E/S

Sección de entradas: se trata de líneas de entrada, las cuales pueden ser de tipo digital o analógico. En ambos casos se tiene rangos de tensión característicos, los cuales se encuentran en las hojas de características del fabricante. A estas líneas conectaremos los sensores.

Sección de salidas: son una serie de líneas de salida, que también pueden ser de carácter digital o analógico. A estas líneas conectaremos los actuadores.

Tanto las entradas como las salidas están aisladas de la CPU según el tipo de autómeta que se utilice.

Normalmente se suelen emplear opto acopladores en las entradas y relés opto acopladores en las salidas.

Generalmente se dispone dos tipos de E/S:

- Digital.
- Analógica.

Las E/S digitales se basan en el principio de todo o nada, es decir o no conducen señal alguna o poseen un nivel mínimo de tensión.-Estas E/S se manejan a nivel de bit dentro del programa de usuario.

Las E/S analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado especificado por el fabricante. Se basan en conversores A/D y D/A aislados de la CPU (ópticamente o por etapa de potencia). Estas señales se manejan a nivel de byte o palabra (8/16 bits) dentro del programa de usuario.

Las E/S son leídas y escritas dependiendo del modelo y del fabricante, es decir pueden estar incluidas sus imágenes dentro del área de memoria o ser manejadas a través de instrucciones específicas de E/S.

1.2.5.3 MEMORIA

Dentro de la CPU se dispone de un área de memoria, la cual emplearemos para diversas funciones:

- Memoria del programa de usuario: aquí se introduce el programa que el autómeta va a ejecutar cíclicamente.
- Memoria de la tabla de datos: se suele subdividir en zonas según el tipo de datos (como marcas de memoria, temporizadores, contadores, etc..)

- Memoria del sistema: aquí se encuentra el programa en código máquina que monitoriza el sistema (programa del sistema o firmware). Este programa es ejecutado directamente por el microprocesador / microcontrolador que posea el autómata.
- Memoria de almacenamiento: se trata de memoria externa que empleamos para almacenar el programa de usuario, y en ciertos casos parte de la memoria de la tabla de datos. Suele ser de uno de los siguientes tipos: EPROM, EEPROM, o FLASH.

Cada autómata divide su memoria de esta forma genérica, haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante, como se ilustra en el ejemplo 1.14.

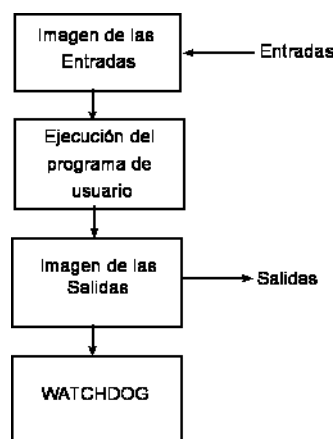


Figura 1.14.-Ejemplo de división de memoria en un autómata.

1.2.5.4 INTERFACES

Todo autómata, salvo casos excepcionales, posee la virtud de poder comunicarse con otros dispositivos (como un PC).

Lo normal es que posea una E/S serie del tipo RS-232 / RS-422.

A través de esta línea se pueden manejar todas las características internas del autómata, incluida la programación del mismo, y suele emplearse para monitorización del proceso en otro lugar separado.

El autómata debe disponer de alguna forma de programación, la cual se suele realizar empleando alguno de los siguientes elementos:

- Unidad de programación: suele ser en forma de calculadora ver figura 1.15.



Figura 1.15.-Unidad de programación

Es la forma más simple de programar el autómata, y se suele reservar para pequeñas modificaciones del programa o la lectura de datos en el lugar de colocación del autómata.

- **PC:** es el modo más potente y empleado en la actualidad. Permite programar desde un ordenador personal estándar, con todo lo que ello supone: herramientas más potentes, posibilidad de almacenamiento en soporte magnético, impresión, transferencia de datos, monitorización mediante software SCADA, etc. Para cada caso el fabricante proporciona lo necesario, bien el equipo o el software y cables adecuados. Cada equipo, dependiendo del modelo y fabricante, puede poseer una conexión a uno o varios de los elementos anteriores. En el caso de los micro-plc se escoge la programación por PC o por unidad de programación integrada en la propia CPU.

- **Dispositivos periféricos:** El autómata programable, en la mayoría de los casos, puede ser ampliable. Las ampliaciones abarcan un gran abanico de posibilidades, que van desde las redes internas (LAN, etc.), módulos auxiliares de E/S, memoria adicional... hasta la conexión con otros autómatas del mismo modelo.

Cada fabricante facilita las posibilidades de ampliación de sus modelos, los cuales pueden variar incluso entre modelos de la misma serie.

1.2.6. Lenguajes de Programación

Los principales Lenguajes de Programación son:

- Gráfico secuencial de funciones (grafcet).
- Lista de instrucciones (LDI o AWL).
- Texto estructurado.
- Diagrama de contactos.

1.2.6.1. Gráfico secuencial de funciones (GRAF CET)

El gráfico secuencial de funciones (SFC o Grafcet) es un lenguaje gráfico que proporciona una representación en forma de diagrama de las secuencias del programa. Soporta selecciones alternativas de secuencia y secuencias paralelas.

Los elementos básicos son pasos y transiciones. Los pasos consisten de piezas de programa que son inhibidas hasta que una condición especificada por las transiciones es conocida. Como consecuencia de que las aplicaciones industriales funcionan en forma de pasos, el SFC es la forma lógica de especificar y programar el más alto nivel de un programa para PLC.

1.2.6.2. Lista de instrucciones

La lista de instrucciones (IL o AWL) es un lenguaje de bajo nivel, similar al lenguaje ensamblador. Con IL solo una operación es permitida por línea (ej.

almacenar un valor en un registro). Este lenguaje es adecuado para pequeñas aplicaciones y para optimizar partes de una aplicación.

1.2.6.3. Texto estructurado

El texto estructurado (structured text o ST) es un lenguaje de alto nivel estructurado por bloques que posee una sintaxis parecida al PASCAL. El ST puede ser empleado para realizar rápidamente sentencias complejas que manejen variables con un amplio rango de diferentes tipos de datos, incluyendo valores analógicos y digitales.

También se especifica tipos de datos para el manejo de horas, fechas y temporizaciones, algo importante en procesos industriales. El lenguaje posee soporte para bucles iterantes como REPEAT UNTIL, ejecuciones condicionales empleando sentencias IF-THEN-ELSE y funciones como SQRT() y SIN().

1.2.6.4. Diagrama de contactos

El diagrama de contactos (ladder diagram LD) es un lenguaje que utiliza un juego estandarizado de símbolos de programación. En el estándar IEC los símbolos han sido racionalizados (se ha reducido su número).

1.3.- TRANSMISOR

El transmisor es un dispositivo que acondiciona la señal de un sensor (que puede detectar temperatura, presión, nivel , etc.) para ser enviada a un instrumento de control, registro o visualización.-El sensor puede o no estar integrado al transmisor.

El acondicionamiento consiste en convertir la señal del sensor que puede tener valores mV, ohmios, mA, etc. que no están estandarizados sino dependen de la variable detectada y el tipo de sensor, a una señal estandarizada de 4-20 mA, 0-10 Vcd , 3-15 PSI, etc de acuerdo a normas internacionales de

instrumentación y control, que puedan ser interpretados por otros instrumentos involucrados en el control.

Estos instrumentos tienen dispositivos que nos permiten calibrar (de una manera manual, automática o utilizando un software específico) la señal de salida con respecto a la entrada, aquí entra la calibración de cero que consiste en poner a la entrada una magnitud de la variable correspondiente al valor mínimo del rango de medición del transmisor por ejemplo en un rango de 0-100 PSI sería 0 PSI y hacerlo coincidir con el valor mínimo que vamos a tener a la salida por ejemplo cuando la salida tenga 4-20 mA será 4 mA.-La calibración de span consiste en poner a la entrada un valor de la variable que sea igual a la máxima magnitud del rango del instrumento por ejemplo en el rango de 0-100 PSI sería 100 PSI y ajustar a la salida un valor correspondiente al valor máximo de salida utilizando 4-20mA sería igual a 20 mA.

1.3.1. TRANSMISOR DE NIVEL

La salida de un transmisor de nivel es la misma explicada arriba, que puede ser una señal estandarizada de corriente, voltaje, valor de resistencia, diversos tipos de comunicación, etc.;pero a la entrada de dicho transmisor se pueden utilizar muchos métodos que van a depender del proceso, costos y otros criterios.

Tenemos instrumentos para medir líquidos y sólidos.

1.3.1.1. Medición de líquidos

Dentro de la medición de líquidos se tiene:

- **Medición directa.-** Se realiza mediante el uso de cintas graduadas, sondas, flotadores y tubos de cristal graduados.

- **Medición de presión hidrostática.-** Para la medición de presión hidrostática se usan medidores manométricos, de membrana, de tipo burbujeo y de presión diferencial con diafragma.
- **Medidor de desplazamiento.-**Aprovecha la fuerza producida por la presión del líquido para causar un desplazamiento.
- **Medidor de características eléctricas del líquido.-** Se clasifican en resistivos, conductivos, capacitivos, ultrasónicos, de radiación y láser.

1.3.1.2. Medición de sólidos:

Dentro de la medición de sólidos se tiene:

- **Medidor de nivel de punto fijo.-** Se realiza mediante un detector de diafragma.
- **Medidor de nivel continuo.-** Para este método tenemos los siguientes medidores:
 - Medidor de nivel de sondeo electromecánico
 - Medidor de nivel de bascula
 - Medidor de nivel capacitivo
- **Medidor de presión diferencial**
- **Medidor de nivel de ultrasonidos**
- **Medidor de radar de microondas**
- **Medidor de nivel de radiación**

1.3.2. TRANSMISOR DE PRESIÓN

El transmisor de presión se usa para interpretar la medida de una variable de presión y convertirla a una variable eléctrica proporcional o una salida neumática.

Los transmisores de presión disponen de una gran variedad de elementos primarios de control. La selección de un transmisor de basa en el rango de presiones que van a ser medidas.

Los elementos primarios para la medición de presión se usan para satisfacer varias aplicaciones. Las cápsulas y los fuelles son comúnmente usados para bajas presiones. Los tubos de Bourdon se usan para medianas, altas y muy altas presiones. Los diafragmas cubren de bajas a altas presiones; estos algunas veces son usados con elementos medidores de deformación para producir salidas eléctricas proporcionales a la medida de presión.

Los transmisores de presión generalmente tienen dos parámetros para ajustar la magnitud de la variable medida en la señal de salida. Estos ajustes son el cero y el rango de expansión. El ajuste de cero es el valor mínimo a la salida del transmisor cuando se aplica una presión mínima. El ajuste de la expansión o el rango es la salida del transmisor a su máximo valor cuando se aplica una presión máxima.

Cuando estos dos ajustes han sido establecidos y verificados, el transmisor esta calibrado.

Para la medición de presión se tiene:

1.3.2.1.- Elementos mecánicos

- Elementos primarios de medida directa
- Barómetro cubeta
- Manómetros de tubo en:
 - Manómetros de tubo inclinado
 - Manómetros de toro pendular
 - Manómetros de campana

1.3.2.2. Elementos primarios elásticos:

- Tubo Bourdon
- Elemento en espiral
- Elemento helicoidal

- Diafragma
- Fuelle

1.3.2.3. Elementos neumáticos:

Que se basan en el sistema tobera-obturador, el cual convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.

1.3.2.4. Elementos electromecánicos:

Usan un elemento mecánico elástico (tubo bourdon, hélice, diafragma, fuelle o combinación de ellos), combinado con un transductor eléctrico, el cual genera una señal eléctrica correspondiente.

Los elementos electromecánicos se dividen en:

- Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas
- Resistivos
- Magnéticos
- Capacitivos
- Extensiométricos
- Piezoeléctricos

1.3.2.5. Elementos electrónicos de vacío:

Son empleados para la medición de alto vacío, se clasifican en:

- Mecánicos.- Fuelle y diafragma.
- Medidor McLeod.- Se usa para calibración de preescisión
- Térmicos.- Termopar, pirani, bimetal.
- Ionización.- filamento caliente, cátodo frío, radiación.

1.3.3. TRANSMISOR DE FLUJO

Existe una gran variedad de medidores principales de flujo, los mismos que son usados en un sinnúmero de aplicaciones industriales. Los medidores principales de flujo operan sobre el principio de colocar una restricción en el chorro del fluido causando una caída de presión. La presión diferencial resultante puede ser medida para proporcionar información acerca del flujo.

Tubos venturi, boquillas de flujo y tubos pitot son algunos de los elementos primarios usados en la medición del flujo. Estos elementos primarios producen una presión diferencial proporcional a la razón de flujo de un fluido. Si los elementos primarios usados producen una presión diferencial, entonces se necesita un transmisor de presión diferencial para la medición del flujo. El transmisor convierte la presión diferencial medida a un estándar neumático o una señal eléctrica.

Como ya se ha dicho el transmisor de presión diferencial tiene dos ajustes: el cero y el de expansión o rango.

1.3.3.1. TRANSMISORES DE FUELLE Y DIAFRAGMA

La presión diferencial creada por la placa, la tobera o el tubo Venturi, puede medirse con un tubo en U de mercurio o bien, transmitirse con los instrumentos llamados convertidores diferenciales.

Los transmisores de fuelle (fig. 1.16a) contienen dos cámaras para la alta y la baja presión. La alta presión comprime el fuelle correspondiente, arrastrando la palanca de unión, el cable y un eje exterior, cuyo movimiento actúa sobre el transductor neumático eléctrico. Un muelle de margen permite disponer de varias gamas de presión diferencial. La protección contra sobrecargas está asegurada por dos anillos de sello que cierran herméticamente el paso del líquido de llenado de un fuelle al otro, e impiden su destrucción ante una maniobra incorrecta. Otro accesorio es una válvula contra pulsaciones de caudal.

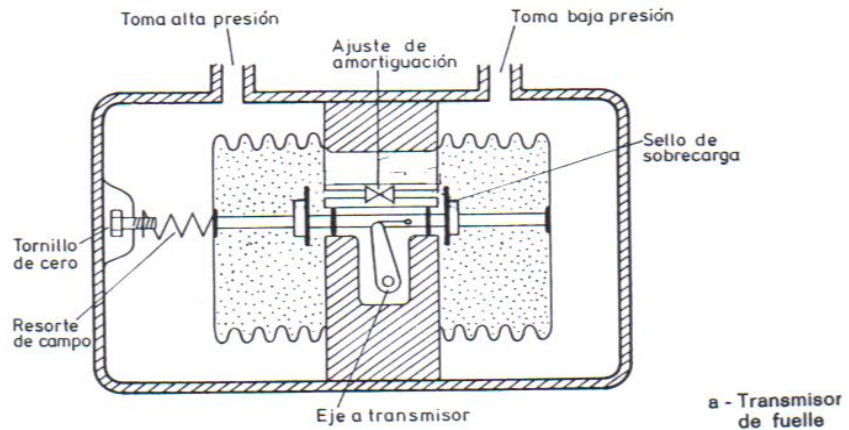


Figura 1.16a.- Transmisores de presión diferencial

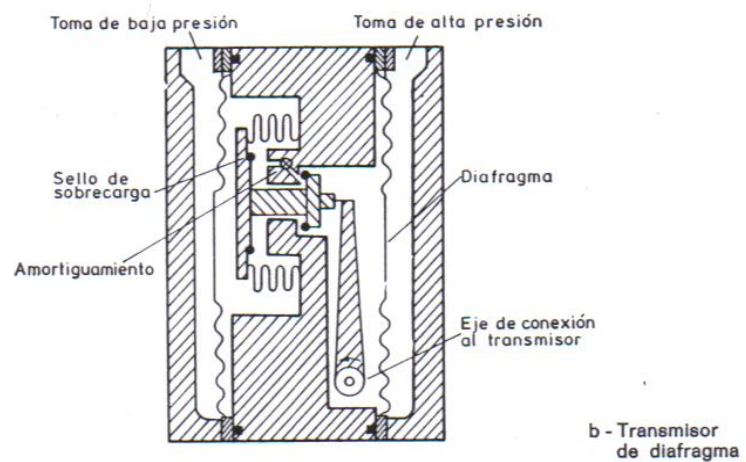


Figura 1.16b.- Transmisores de presión diferencial

Los transmisores de diafragma (fig. 1.16b) se diferencian de los anteriores en que la separación entre las dos cámaras se efectúa mediante diafragmas, en lugar de fuelles, con lo cual el desplazamiento volumétrico es casi nulo.

El cuerpo de estos transmisores suele ser acero al carbono, acero inoxidable o aluminio, el fuelle o diafragma de acero inoxidable 316 (disponible también en Monel, Hastelloy C, Teflón en inoxidable o Kel -F en monel) y el líquido de llenado silicona.

Las conexiones entre las tomas del diafragma y el convertidor de presión diferencial deben ser adecuadas al fluido a medir (fig. 1.17. Con el objeto de aislar el instrumento se prevén 3 válvulas que constituyen lo que se denomina un manifold; este tiene una doble misión, aislar el instrumento del proceso para su

mantenimiento e igualar las presiones en las dos cámaras del instrumento en la puesta en marcha de la instalación.

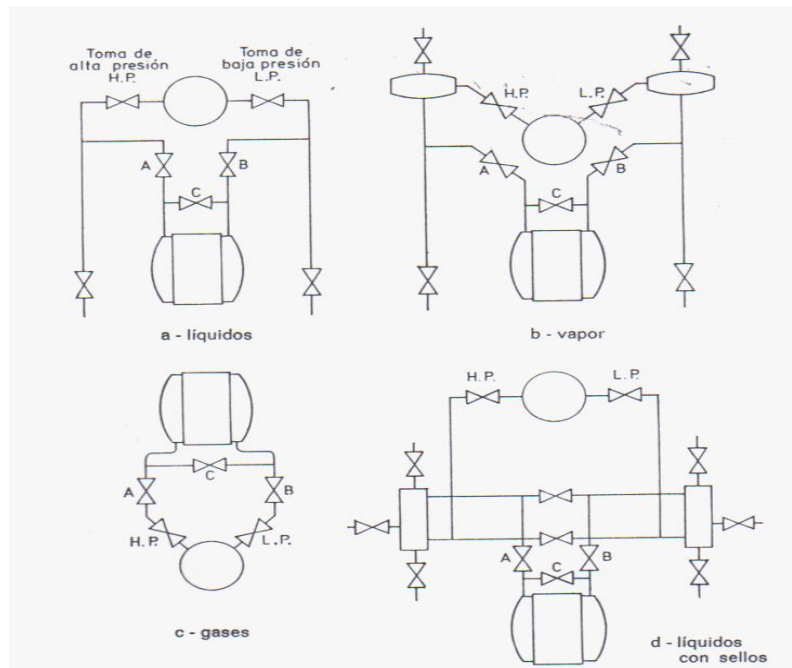


Figura 1.17.- Conexiones entre el elemento y el transmisor de Caudal dependiendo del fluido.

Si la tubería está sometida a una vibración fuerte, es aconsejable unir el instrumento al sistema mediante conexiones flexibles adecuadas a las condiciones de trabajo de la instalación.

Si el fluido es corrosivo o viscoso, o bien condensa o se evapora, o bien se congela o solidifica, es necesario utilizar sistemas de sello que aíslen el instrumento del proceso. Un caso típico es la medida de caudal de vapor en la que el fluido de sello es el propio condensado del vapor. En otros casos suele emplearse una mezcla de 50% de glicerina y 50% de agua.

Hay que señalar que, en la medida de caudal de vapor con transmisores de fuelle, es preciso utilizar cámaras de condensación para compensar los cambios de volumen de las cámaras del fuelle al variar el caudal. Esto no es necesario en los transmisores de diafragma por ser el desplazamiento volumétrico despreciable.

Cuando los problemas de condensación o de evaporación del fluido o de obturación del elemento no pueden resolverse de otra forma, es necesario utilizar un sistema de purga que introduzca un fluido de purga en la zona de medida del elemento diferencial.

Es un sistema que sólo debe utilizarse cuando sea estrictamente necesario debido a la necesidad de un mantenimiento frecuente o a la posible generación de falsas presiones diferenciales.

El fluido de purga debe ser limpio, no debe reaccionar con el fluido medido, debe circular a un caudal bajo y constante ($0.6 \text{ cm}^3 / \text{s}$ para líquidos y $60 \text{ cm}^3 / \text{s}$ para gas) y debe disponerse de un sistema que impida la entrada del fluido del proceso en caso de un fallo en la purga.

Si el fluido de proceso es susceptible de condensación, solidificación o congelación a las temperaturas ambiente más bajas que puedan encontrarse en las tuberías, es necesario disponer de un sistema de calentamiento, en general con vapor a baja presión que impida ese fenómeno.

El suministro de vapor debe ser seguro e independiente para que en caso necesario siga calentando durante los períodos de paro de la planta. La calefacción eléctrica, si bien no está muy extendida es cómoda y admite un buen control de temperatura.

Los transmisores citados utilizan, bien un transmisor neumático de equilibrio de fuerzas, bien un transductor eléctrico de equilibrio de fuerzas o bien un transductor de silicio difundido.

En la figura 1.19 pueden verse estos transductores de caudal.

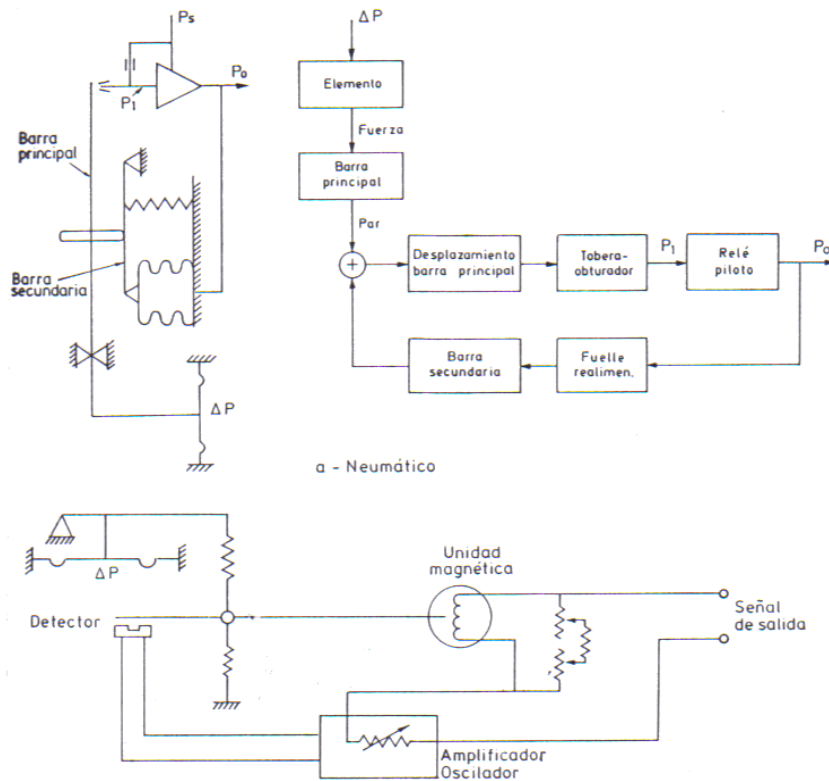


Figura 1.18.- Transmisores de caudal de presión diferencial

1.3.4. TRANSMISOR DE TEMPERATURA

La termocupla es un dispositivo medidor de temperatura que produce una salida de milivoltios proporcional a la diferencia entre la temperatura en su junta de medición y la temperatura en la junta de referencia. Un transmisor de termocupla es un instrumento que capta la señal de milivoltio producida por una termocupla y convierte dicha señal de milivoltio en una señal que puede ser usada por otro instrumento para medir la temperatura.

El ajuste cero se usa para observar el transmisor en su mas bajo valor de salida cuando la medición de la temperatura esta en su menor rango. La calibración de un transmisor es el proceso de enfrentar los valores máximo y mínimo del transmisor con la máxima y mínima temperatura a ser medida.

La medición de temperatura es una de las variables más importantes en los procesos industriales.

Los instrumentos de temperatura utilizan una variedad de fenómenos que son influidos por la temperatura, entre los cuales tenemos:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variaciones de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variaciones de resistencia de un semiconductor (termistores)
- F.E.M. creada en la unión de dos metales distintos (Termopares).
- Intensidad de radiación total emitida por el cuerpo (Pirómetros de radiación)

Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal).

Algunos instrumentos para la medición de temperatura son los siguientes:

- Termómetro de vidrio
- Termómetro bimetalico
- Elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de liquido, gas o vapor.
- Termopares
- Pirómetros de radiación
- Termómetro de resistencia
- Termómetros ultrasónicos
- Termómetros de cristal de cuarzo

1.4. MOTORES Y BOMBAS

1.4.1. MOTORES

Los motores eléctricos están por todas partes, en la casa, y casi en cada movimiento mecánico que se observe alrededor es ocasionado por un motor eléctrico AC o DC.

El principio de la inducción de Faraday, científico británico, n. en Newington Butts (Londres). Ayudante de laboratorio de sir Humphry Davy en la Royal Institution, en 1825 llegó a ser director de la misma. Hizo numerosos descubrimientos científicos, entre ellos el de que un imán debe ser capaz de producir electricidad.

En 1834 anunció el método de descomponer las soluciones salinas, que hoy se conoce con el nombre de electrólisis, establece que el movimiento de un conductor integrante de un circuito cerrado en un campo magnético produce corriente en dicho circuito, y en ello se basa el funcionamiento del generador eléctrico. Pero, recíprocamente, una corriente eléctrica que pasa por un conductor situado en un campo magnético crea una fuerza que tiende a desplazar al conductor con respecto al campo, y esta es la base del motor eléctrico. De modo que, en esencia, una misma máquina puede emplearse como generador o como motor; si se le aplica energía mecánica, generará electricidad, y si se le aplica electricidad, producirá energía mecánica.

1.4.1.1. FUNDAMENTOS DE OPERACIÓN

En magnetismo se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. En la figura 1.19 se muestra como se produce el movimiento de rotación en un motor eléctrico.

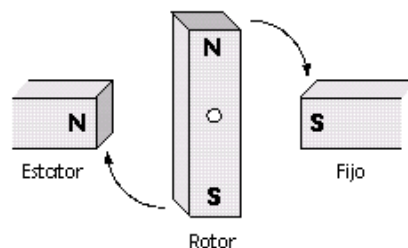


Figura 1.19.- Generación del movimiento de rotación

Un motor eléctrico opera primordialmente en base a dos principios: El de inducción, descubierto por Michael Faraday en 1831; que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y el principio que André Ampère observó en 1820, en el que establece: Que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o f.e.m. (fuerza electromotriz), sobre el conductor.

1.4.1.2. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS

Existen básicamente tres tipos de motores eléctricos:

Motores de Corriente Directa [C.D.] o Corriente Continua [C.C.].-Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías.

Este tipo de motores debe tener en el rotor y el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones. Los motores de corriente directa pueden ser de tres tipos:

- Serie
- Paralelo
- Mixto

Motores de Corriente Alterna [C.A.].-Son los tipos de motores más usados en la industria, ya que estos equipos se alimentan con los sistemas de distribución de energías “normales”. De acuerdo a su alimentación se dividen en tres tipos:

- Monofásicos (1 fase)
- Bifásicos (2 fase)
- Trifásicos (3 fases)

Motores Universales.-Tienen la forma de un motor de corriente continua, la principal diferencia es que esta diseñado para funcionar con corriente alterna. El inconveniente de este tipo de motores es su eficiencia, ya que es baja (del orden del 51%), pero como se utilizan en maquinas de pequeña potencia, ésta no se considera importante, además, su operación debe ser intermitente, de lo contrario, éste se quemaría. Estos motores son utilizados en taladros, aspiradoras, licuadoras, etc.

1.4.1.3. PARTES FUNDAMENTALES DE UN MOTOR

Dentro de las características fundamentales de los motores eléctricos, éstos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes (véase fig. 1.20). No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y el rotor.

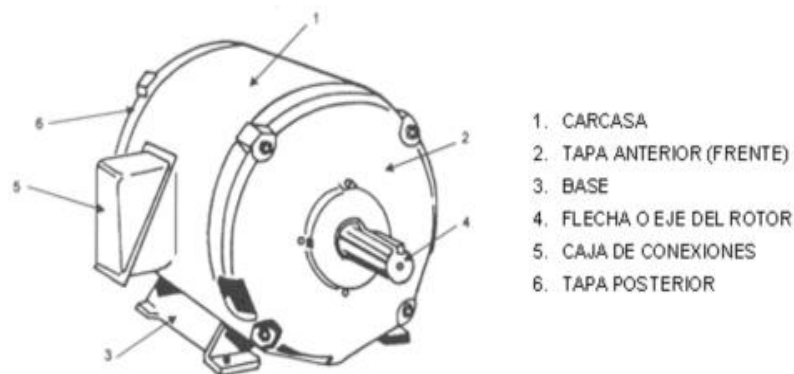


Figura 1.20.- Partes de un motor de C.A.

Estator.- El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos de estatores (ver figura 1.21):

- Estator de polos salientes
- Estator ranurado

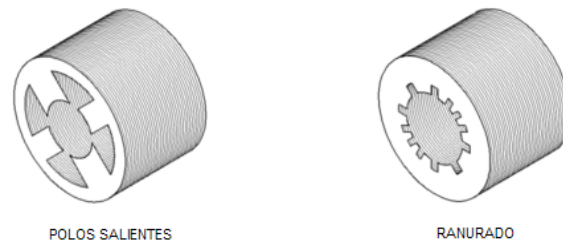


Figura 1.21.- Tipos de estatores

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (y se les llama “paquete”), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos.

Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

Rotor.- El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos (figura 1.22):

- Rotor ranurado
- Rotor de polos salientes
- Rotor jaula de ardilla

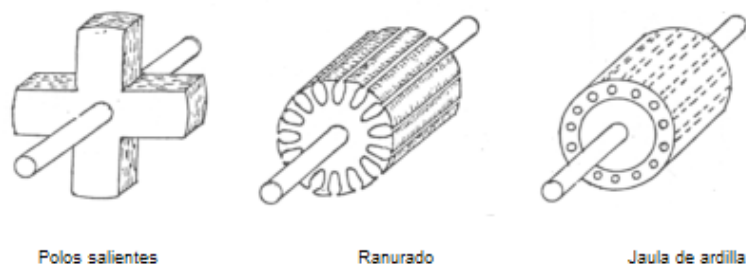


Figura 1.22.- Tipos de Rotores

Carcasa.- La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- Totalmente cerrada
- Abierta
- A prueba de goteo
- A prueba de explosiones
- De tipo sumergible

Base.- La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

- Base frontal
- Base lateral

Caja de conexiones.- Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones. La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

Tapas.- Son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor.

Cojinetes.- También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

- Cojinetes de deslizamiento (ver figura 1.23).- Operan el base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo.



Figura 1.23.- Cojinete de deslizamiento

- Cojinetes de rodamiento (véase figura 1.24).- Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:
 - Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
 - Son compactos en su diseño
 - Tienen una alta precisión de operación.
 - No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
 - Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares



Figura 1.24.- Cojinete de rodamiento

1.4.1.4.- CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES

Los parámetros de operación de un motor designan sus características, es importante determinarlas, ya que con ellas conoceremos los parámetros determinantes para la operación del motor. Las principales características de los motores de C.A. son:

- **Voltaje.-** También llamada tensión eléctrica o diferencia de potencial, existe entre dos puntos, y es el trabajo necesario para desplazar una carga positiva de un punto a otro.-La diferencia de tensión es importante en la operación de un motor, ya que de esto dependerá la obtención de un mejor

aprovechamiento de la operación. Los voltajes empleados más comúnmente son: 127 V, 220 V, 380 V, 440 V, 2300 V y 6000 V.

- **Corriente.-** La corriente eléctrica [I], es la rapidez del flujo de carga [Q] que pasa por un punto dado [P] en un conductor eléctrico en un tiempo [t] determinado. La unidad de corriente eléctrica es el ampere. Un ampere [A] representa un flujo de carga con la rapidez de un coulomb por segundo, al pasar por cualquier punto.-Los motores eléctricos esgrimen distintos tipos de corriente, que fundamentalmente son: corriente nominal, corriente de vacío, corriente de arranque y corriente a rotor bloqueado.
- **Corriente nominal.-** En un motor, el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá el motor en condiciones normales de operación.
- **Corriente de vacío.-** Es la corriente que consumirá el motor cuando no se encuentre operando con carga y es aproximadamente del 20% al 30% de su corriente nominal.
- **Corriente de arranque.-** Todos los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior.
- **Corriente a rotor bloqueado.-** Es la corriente máxima que soportara el motor cuando su rotor esté totalmente detenido.
- **Revoluciones por minuto (R.P.M.) o velocidad angular.-** Se define como la cantidad de vueltas completas que da el rotor en el lapso de un minuto; el símbolo de la velocidad angular es omega [ω], no obstante, en la industria se utilizan también para referirse, la letras: "N" o simplemente las siglas R.P.M.
- **Factor de potencia.-** El factor de potencia [$\cos \Phi$] se define como la razón que existe entre Potencia Real [P] y Potencia Aparente [S], siendo la potencia aparente el producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente.-El factor de potencia nunca puede ser mayor que la unidad, regularmente oscila entre 0.8 y 0.85. En la práctica el factor de potencia se expresa, generalmente, en tanto por ciento, siendo el 100% el factor máximo de potencia posible. Un factor de potencia bajo es una característica desfavorable de cualquier carga.

- **Factor de servicio:** El factor de servicio de un motor se obtiene considerando la aplicación del motor, para demandarle más, o menos potencia, y depende directamente del tipo de maquinaria impulsada.
- **Número de fases.-** Depende directamente del motor y del lugar de instalación, por ejemplo: Para motores con potencia menor o igual a 1 HP (a nivel domestico), generalmente, se alimentan a corriente monofásica (127 V.); cuando la potencia del motor oscila entre 1 y 5 HP lo más recomendable es conectarlo a corriente bifásica o trifásica (220 V.); y para motores que demanden una potencia de 5 HP o más, se utilizan sistemas trifásicos o polifásicos.
- **Par.-**Un par de fuerzas es un conjunto de dos fuerzas de magnitudes iguales pero de sentido contrario. El momento del par de fuerzas o torque, se representa por un vector perpendicular al plano del par.
- **Par Nominal.-** Es el par que se produce en un motor eléctrico para que pueda desarrollar sus condiciones de diseño.
- **Par de arranque.-** Es el par que va a desarrollar el motor para romper sus condiciones iniciales de inercia y pueda comenzar a operar.
- **Par máximo.-** También llamado par pico, es el par que puede desarrollar el motor sin perder sus condiciones de diseño, es decir, que es el limite en el que trabaja el motor sin consumir más corriente y voltaje, asimismo de que sus revoluciones son constantes, y conjuntamente esta relacionado con el factor de servicio.
- **Par de aceleración.-** Es el par que desarrolla el motor hasta que alcanza su velocidad nominal.
- **Par de desaceleración.-** Es el par en sentido inverso que debe emplearse para que el motor se detenga.
- **Par a rotor bloqueado.-** Se considera como el par máximo que desarrolla un motor cuando se detiene su rotor.
- **Frecuencia.-** Es el número de ciclos o repeticiones del mismo movimiento durante un segundo, su unidad es el segundo⁻¹ que corresponde a un Hertz [Hz] también se llama ciclo [Seg⁻¹ = Hertz= ciclo]. La frecuencia y el periodo están relacionados inversamente.
- **Deslizamiento.-** El deslizamiento es la relación que existe entre la velocidad de los campos del estator y la velocidad de giro del rotor.-En los

motores de corriente alterna de inducción, específicamente de jaula de ardilla, el deslizamiento es fundamental para su operación, ya que de él depende que opere o no el motor.

- **Eficiencia.**- Es un factor que indica el grado de pérdida de energía, trabajo o potencia de cualquier aparato eléctrico o mecánico, La eficiencia $[\eta]$ de una maquina se define como la relación del trabajo de salida entre el trabajo de entrada, en términos de potencia, la eficiencia es igual al cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada.-La eficiencia se expresa en porcentaje, por lo tanto se le multiplicará por cien, pero al efectuar operaciones se deberá de expresar en decimales.

1.4.1.5.- MOTORES MONOFASICOS

Fueron los primeros motores utilizados en la industria. Cuando este tipo de motores está en operación, desarrolla un campo magnético rotatorio, pero antes de que inicie la rotación, el estator produce un campo estacionario pulsante.

Para producir un campo rotatorio y un par de arranque, se debe tener un devanado auxiliar desfasado 90° con respecto al devanado principal. Una vez que el motor ha arrancado, el devanado auxiliar se desconecta del circuito.

Debido a que un motor de corriente alterna (C.A.) monofásico tiene dificultades para arrancar, esta constituido de dos grupos de devanados: El primer grupo se conoce como el devanado principal o de trabajo, y el segundo, se le conoce como devanado auxiliar o de arranque. Los devanados difieren entre sí, física y eléctricamente. El devanado de trabajo está formado de conductor grueso y tiene más espiras que el devanado de arranque.

Es importante señalar, que el sentido de giro de las bobinas involucra la polaridad magnética correspondiente, como puede verse en la figura 1.25.

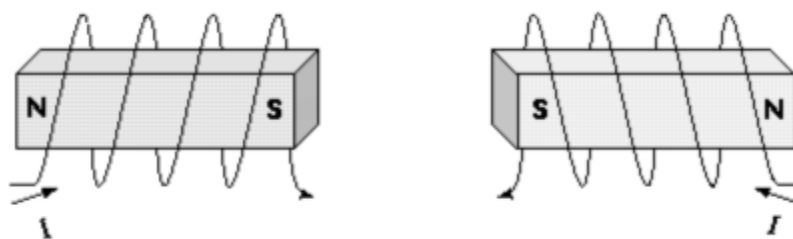


Figura 1.25.- Sentido de giro de las bobinas

Los motores monofásicos han sido perfeccionados a través de los años, a partir del tipo original de repulsión, en varios tipos mejorados, y en la actualidad se conocen:

- **Motores de fase partida.-** En general consta de una carcasa, un estator formado por laminaciones, en cuyas ranuras aloja las bobinas de los devanados principal y auxiliar, un rotor formado por conductores a base de barras de cobre o aluminio embebidas en el rotor y conectados por medio de anillos de cobre en ambos extremos, denominado lo que se conoce como una jaula de ardilla. Se les llama así, por que se asemeja a una jaula de ardilla. Fueron de los primeros motores monofásicos usados en la industria, y aún permanece su aplicación en forma popular. Estos motores se usan en: máquinas herramientas, ventiladores, bombas, lavadoras, secadoras y una gran variedad de aplicaciones; la mayoría de ellos se fabrican en el rango de 1/30 (24.9 W) a 1/2 HP (373 W).
- **Motores de arranque con capacitor:** Este tipo de motor es similar en su construcción al de fase partida, excepto que se conecta un capacitor en serie con el devanado de arranque para tener un mayor par de arranque. Su rango de operación va desde fracciones de HP hasta 15 HP. Es utilizado ampliamente en muchas aplicaciones de tipo monofásico, tales como accionamiento de máquinas herramientas (taladros, pulidoras, etcétera), compresores de aire, refrigeradores, etc.

1.4.2. BOMBAS

Cuando en un proceso industrial existen fluidos que deben ser movidos de un lugar a otro, presurizados o tratados de alguna manera, se utilizan bombas para controlar el caudal, la presión, cabeza o columna del fluido, etc.

Cuando se habla de bombas aparece un termino nuevo llamado cabeza de la bomba.-Al hablar de cabeza de la bomba se refiere a la columna máxima del fluido que puede elevar una bomba y se da a una altura donde el caudal de descarga es igual cero.

Existen dos grandes grupos de bombas: bombas centrífugas y bombas de desplazamiento positivo.

1.4.2.1. Bombas Centrífugas

La bomba centrífuga produce un diferencial de cabeza y un flujo aumentando la velocidad del líquido por la máquina con un impeler que gira interiormente en el cuerpo de la bomba.

Las bombas centrífugas se clasifican a su vez en:

- Bomba final de succión
- Bomba de línea
- Bomba de doble succión
- Bomba vertical de multistage
- Bomba horizontal de multistage
- Bomba sumergible
- Bombas de auto preparado
- Bombas de flujo axial
- Bomba regenerativa

1.4.2.2. Bombas de desplazamiento positivo

Las bombas de desplazamiento positivo operan llenando una cavidad de manera alternada y desplazando un volumen dado de líquido.

La bomba de desplazamiento positivo entrega un volumen constante de líquido contra una cabeza variada de descarga.

Se clasifican en:

- Bomba reciprocante
- Bomba de poder
- Bomba de vapor
- Bomba rotaria

1.5. VÁLVULAS Y ACTUADORES

1.5.1. Válvulas

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30 ft (9 m) o más de diámetro. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20000 lb/in² (140 Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500 °F (815 °C). En algunas

instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia.

La palabra flujo expresa el movimiento de un fluido, pero también significa para nosotros la cantidad total de fluido que ha pasado por una sección determinada de un conducto. Caudal es el flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de fluido que circula por una sección determinada del conducto en la unidad de tiempo.

1.5.1.1. Válvula de control.

La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

1.5.1.2. 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.

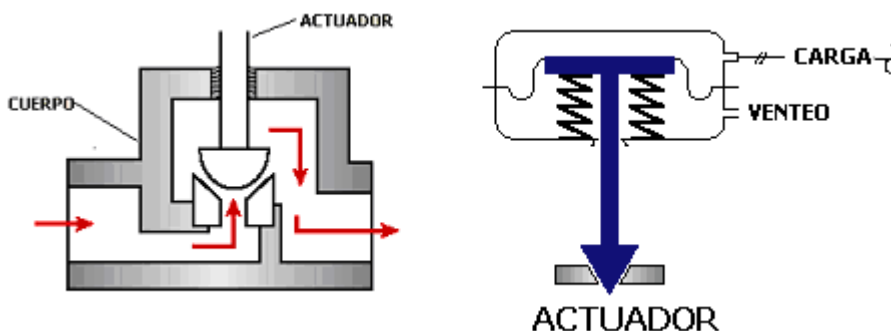


Figura 1.26.- Partes de la válvula de control.

Actuador.- El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuaciones. 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. 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 lbs/pulg² 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 lbs/pulg², produzca un desplazamiento del vástago igual al 100% del total de la carrera.

Cuerpo de la válvula.- Este 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. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

1.5.1.3. Clases de válvulas.

Debido a las diferentes variables, no puede haber una válvula universal; por tanto, para satisfacer los cambiantes requisitos de la industria se han creado innumerables diseños y variantes con el paso de los años, conforme se han desarrollado nuevos materiales. Todos los tipos de válvulas recaen en nueve categorías: válvulas de compuerta, válvulas de globo, válvulas de bola, válvulas de mariposa, válvulas de apriete, válvulas de diafragma, válvulas de macho, válvulas de retención y válvulas de desahogo (alivio).

Estas categorías básicas se describen a continuación. Sería imposible mencionar todas las características de cada tipo de válvula que se fabrica y no se ha intentado hacerlo. Más bien se presenta una descripción general de cada tipo en un formato general, se dan recomendaciones para servicio, aplicaciones, ventajas, desventajas y otra información útil para el lector.

Válvulas de compuerta.- La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento (fig. 1.27).

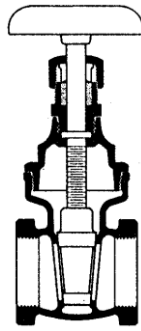


Figura 1.27 Válvula de compuerta.

Válvulas de macho.- La válvula de macho es de $\frac{1}{4}$ de vuelta, que controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico que tiene un agujero en el centro, que se puede mover de la posición abierta a la cerrada mediante un giro de 90° (fig. 1.28).

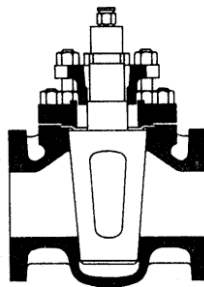


Figura 1.28 Válvula de macho.

Válvulas de globo.- Una válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería (fig. 1.29).

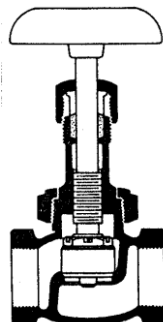


Figura 1.29 Válvula de globo.

Válvulas de bola.- Las válvulas de bola son de $\frac{1}{4}$ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto (fig. 1.30).

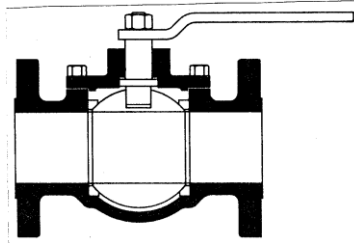


Figura 1.30 Válvula de bola.

Válvulas de mariposa.- La válvula de mariposa es de $\frac{1}{4}$ de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación (fig. 1.31).



Figura 1.31 Válvula de mariposa.

Válvulas de diafragma.- Las válvulas de diafragma son de vueltas múltiples y efectúan el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto a un compresor. Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación (fig. 1.32).

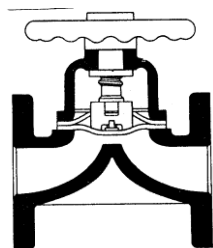


Figura 1.32 Válvula de diafragma.

Válvulas de apriete.- La válvula de apriete es de vueltas múltiples y efectúa el cierre por medio de uno o más elementos flexibles, como diafragmas o tubos de caucho que se pueden apretar u oprimir entre si para cortar la circulación (fig. 1.33).

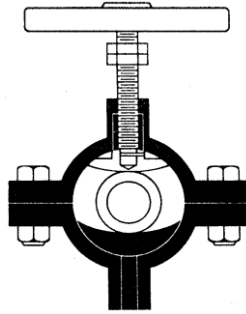


Figura 1.33 Válvula de apriete.

Válvulas de retención de elevación.- Una válvula de retención de elevación es similar a la válvula de globo, excepto que el disco se eleva con la presión normal de la tubería y se cierra por gravedad y la circulación inversa.

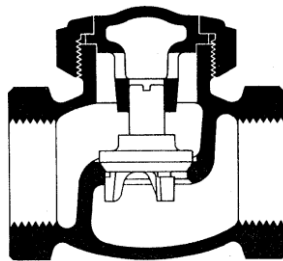


Figura 1.34 Válvula de retención (tipo de elevación).

Válvulas de desahogo (alivio).- Una válvula de desahogo (fig. 1.35) es de acción automática para tener regulación automática de la presión. El uso principal de esta válvula es para servicio no comprimible y se abre con lentitud conforme aumenta la presión, para regularla.

La válvula de seguridad es similar a la válvula de desahogo y se abre con rapidez con un "salto" para descargar la presión excesiva ocasionada por gases o líquidos comprimibles.

El tamaño de las válvulas de desahogo es muy importante y se determina mediante formulas específicas.

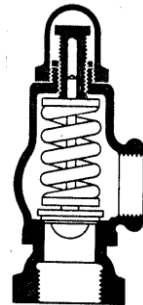


Figura 1.35 Válvula de desahogo (alivio).

1.5.2. ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

Existen tres tipos de actuadores:

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatronicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizaran en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento

Por todo esto es necesario conocer muy bien las características de cada actuador para utilizarlos correctamente de acuerdo a su aplicación específica

1.5.2.1. Actuadores hidráulicos

Los actuadores hidráulicos, que son los de mayor antigüedad, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, funcionan en base a fluidos a presión. Existen tres grandes grupos:

- a. cilindro hidráulico
- b. motor hidráulico

a. Cilindro hidráulico

De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos: de Efecto simple y de acción doble. En el primer tipo se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer. El segundo tipo se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones. El control de dirección se lleva a cabo mediante un solenoide que se muestra a continuación

En el interior poseen un resorte que cambia su constante elástica con el paso de la corriente. Es decir, si circula corriente por el pistón eléctrico este puede ser extendido fácilmente.

▪ **Cilindro de Efecto simple.**

La barra esta solo en uno de los extremos del pistón, el cual se contrae mediante resortes o por la misma gravedad. La carga puede colocarse solo en un extremo del cilindro.

- **Cilindro de Efecto doble.**

La carga puede colocarse en cualquiera de los lados del cilindro. Se genera un impulso horizontal debido a la diferencia de presión entre los extremos del pistón

- **Cilindro telescópico.**

La barra de tipo tubo multietápico es empujada sucesivamente conforme se va aplicando al cilindro aceite a presión. Se puede lograr una carrera relativamente en comparación con la longitud del cilindro

b. Motor hidráulico

En los motores hidráulicos el movimiento rotatorio es generado por la presión. Estos motores los podemos clasificar en dos grandes grupo: El primero es uno de tipo rotatorio en el que los engranes son accionados directamente por aceite a presión, y el segundo, de tipo oscilante, el movimiento rotatorio es generado por la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia.

- **Motor de Engranaje.**

El aceite a presión fluye desde la entrada que actúa sobre la cara dentada de cada engranaje generando torque en la dirección de la flecha. La estructura del motor es simple, por lo que es muy recomendable su uso en operaciones a alta velocidad.

- **Motor con pistón eje inclinado**

El aceite a presión que fluye desde la entrada empuja el pistón contra la brida y la fuerza resultante en la dirección radial hace que el eje y el bloque del cilindro giren en la dirección de la flecha. Este tipo de motor es muy conveniente para usos a alta presión y a alta velocidad. Es posible modificar su capacidad al cambiar el ángulo de inclinación del eje.

- Motor oscilante con pistón axial

Tiene como función, el absorber un determinado volumen de fluido a presión y devolverlo al circuito en el momento que éste lo precise.

1.5.2.2. Actuadores Neumáticos

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.

En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención.

- Cremallera

Transforman un movimiento lineal en un movimiento rotacional y no superan los 360

- Rotativos de Paletas

Son elemento motrices destinados a proporcionar un giro limitado en un eje de salida. La presión del aire actúa directamente sobre una o dos palas imprimiendo un movimiento de giro. Estos no superan los 270° y los de paleta doble no superan los 90°.

1.5.2.3. Actuadores Eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua.

La forma más sencilla para el accionamiento con un pistón, sería la instalación de una palanca solidaria a una bisagra adherida a una superficie paralela al eje del pistón de accionamiento y a las entradas roscadas.

El pistón eléctrico puede ser accionado por una corriente, con lo cual para su accionamiento, solo hará falta utilizar un simple relé. En caso que se decidiera alimentarlo con cc, la corriente deberá ser del mismo valor pudiendo ser activado por una salida a transistor de un PLC.

▪ **Accionamiento con Alambres Musculares.**

Los Alambres Musculares, también son actuadores. Tienen una apariencia semejante a la de un pelo, con la gran diferencia que al activarlos con corriente eléctrica estos se contraen generando fuerzas desde los 20 a los 2000 gramos, dependiendo de su diámetro.-Podría construirse un sistema semejante al utilizado con el pistón, lográndose aun una mayor rapidez para el accionamiento del mecanismo.-También podrían implementarse montajes más sencillos, como el de un alambre en V invertida que posea los dos terminales del alambre solidarios a un chasis montado por debajo de la base de la válvula, de tal manera que el vértice de la V invertida este sobre el mecanismo de cierre de la válvula

▪ **Motores a paso**

Es un dispositivo electromecánico que convierte pulsos eléctricos en movimientos mecánicos distintos. El eje de un motor a pasos gira con incrementos discretos a paso del paso cuando pulsos eléctricos son aplicados en la secuencia apropiada. Existen tres tipos básicos de motores a Pasos. Ellos son:

- Reluctancia variable
- Imán permanente
- Híbrido

1.6. TANQUES

La porción relativa de agua que trabaja en las modalidades de impulsión y convección, respectivamente, cambia dependiendo de la geometría del tanque. Mientras más pequeña sea la proporción de diámetro con relación a la altura del tanque (es decir, tanques altos y delgados), más agua trabajará en la modalidad de impulsión. Mientras más grande sea la proporción de diámetro con relación a la altura (es decir, tanques pequeños y anchos) más agua trabajará en la modalidad de convección. En la figura 1.36. Se observa la imagen de un tanque típico



Figura 1.36.- Fotografía de un Tanque de almacenamiento

El desplazamiento de oscilatorio del agua debe ser tomado en cuenta en el diseño del tanque, ya que puede impartir carga sobre el techo del tanque. El techo puede o no estar diseñado para resistir estas cargas. Para mitigar este tipo de daño, proporcione una mayor altura entre el nivel de agua y el borde del tanque

para resistir este desplazamiento oscilatorio. Las pruebas empíricas y análisis dinámicos recientes han mostrado que las alturas reales del oleaje puede exceder las alturas calculadas por un factor de hasta 1.8.

En la industria petrolera, petroquímica, y otras industrias son utilizados distintos tipos de recipientes para almacenar una gran variedad de productos como son: crudos y sus derivados, butano, propano, glp, solventes, agua, etc.

Los tanques de almacenamiento forman parte de distintas operaciones en la industria tales como:

- Producción
- Tratamiento
- Transporte
- Refinación
- Distribución
- Inventario / Reservas
- Servicios

1.6.1. TIPOS DE TANQUES

Atmosféricos y baja presión: $P \leq 2.5$ psig

- Techo fijo
- Techo flotante
- Tope abierto

Media presión: $2.5 < P \leq 15$ psig

- Refrigerados
- No refrigerados

Presurizados: $P > 2.5$ psig

- Cilindros
- Esferas

1.6.2. SELECCIÓN DE TANQUES

La selección del tipo de recipiente y su presión de trabajo dependerá de la presión de vapor verdadera del producto a la temperatura de almacenamiento. De manera de garantizar que el producto se encuentre en fase líquida y evitar las mermas (pérdidas de vaporación) y de ésta manera optimizar el volumen. Esto se logra si la presión de almacenamiento es mayor que la presión de vapor verdadera correspondiente a la temperatura de almacenamiento del producto, o que la temperatura sea menor a la temperatura de saturación correspondiente a la presión de almacenamiento del producto. Para decidir que combinación de presión y temperatura usar, es importante hacer un análisis técnico – económico que garantice la mejor relación costo – beneficio.

CAPITULO II

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL, PRESIÓN Y TEMPERATURA DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO.

2.1.- INTRODUCCION

2.1.1.- NECESIDAD

En muchas zonas urbanas y rurales del país a veces existe escasez de agua potable. Adicionalmente cuando las viviendas tienen más de un piso de altura o el consumo de agua es grande debido a la cantidad de personas que habitan ahí el flujo del agua (en el grifo, ducha, lavabo del baño o de la cocina) es muy pequeña, impidiendo realizar actividades como bañarse, lavar el auto, regar el césped, lavar ropa, cocinar, etc.

El primer problema se podría solucionar construyendo cisternas de almacenamiento de agua, y el segundo problema se lo podría resolver construyendo tanques elevados; pero cuando no es posible esta solución debido a factores como:

- Altura del edificio o condiciones no aptas del edificio.
- El peso que tendría una cantidad de agua sobre el edificio.
- El consumo que puede ser mayor al flujo de agua que caería por gravedad, desde el tanque hasta todos los puntos de consumo del edificio, etc.

Es necesario buscar otro tipo de solución. Hay que tomar en cuenta que en algunos edificios de viviendas se utiliza el agua caliente, por lo que normalmente, éstos cuentan con sistemas de calentamiento de agua como equipos adicionales ubicados en diferentes lugares del edificio.

Actualmente existen sistemas con los cuales se solucionan algunos de estos inconvenientes; pero se caracterizan en que:

- Son contruidos de forma separada aumentando el espacio necesario y el costo por equipo.

- El control es electromecánico por lo que es poco confiable ante posibles fallas y es muy poco preciso en el control de los valores de set-point.
- Para realizar cambios en el set-point se necesita modificar físicamente a éstos equipos lo que aumenta los costos por materiales nuevos, mano de obra y tiempo perdido en estas modificaciones.
- No permiten el monitoreo de las variables desde un PC, debido a que carecen de alguna comunicación.
- No tiene ningún dispositivo recordatorio o de registro para realizar el mantenimiento por lo que esta sujeto al criterio del usuario, que por lo general lo hace solo cuando se daña.

2.1.2.- SOLUCIÓN PROPUESTA

Por las razones expuestas arriba se ha propuesto un sistema controlado de almacenamiento, presurización y calentamiento de agua utilizando un PLC, una cisterna, una bomba, un tanque de presión y una niquelina.

El sistema funciona de acuerdo al siguiente esquema de control (figura 2.1).

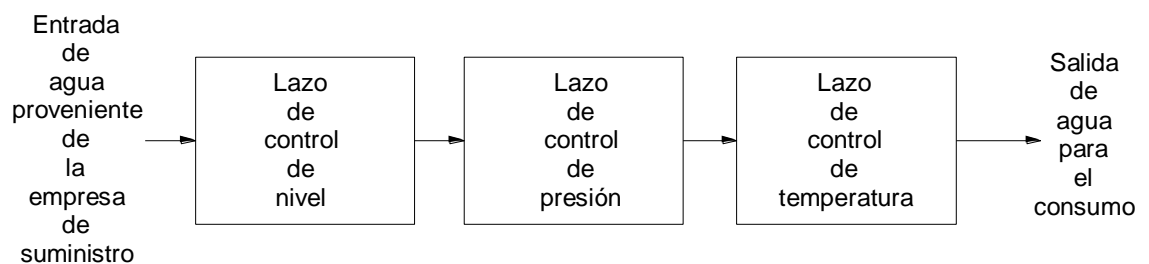


Figura 2.1.-Esquema del proceso propuesto para el control de nivel, presión y temperatura para un sistema de agua de uso doméstico e industrial

Este proceso está caracterizado por:

- Controlado de manera automática utilizando un PLC, mejorando de ésta manera su confiabilidad operativa.
- En caso de que el proceso requiera cambios debido a nuevas necesidades del usuario, éstos se lo puede hacer vía software y pequeños cambios físicos abaratando el costo de éstos.
- El PLC tiene capacidad de comunicación lo que permitirá que el proceso pueda ser monitoreado y

de ser necesario manipulado desde un PC si el usuario lo requiere.

- Además utilizando una salida del PLC se puede encender un indicador para mantenimiento, luego de que el proceso haya cumplido un determinado número de ciclos.
- Utilizando transmisores de presión y temperatura el PLC o el PC puede monitorear en tiempo real el valor de las variables.
- Ahorra energía eléctrica ya que los dispositivos como motores, electroválvulas, niquelinas, etc. funcionan solo cuando el programa del PLC los activa dependiendo de las necesidades del proceso.
- Todo el sistema estará construido en un solo módulo para reducir el espacio necesario dentro de la casa o edificio.
- Debido a que será modular el sistema se lo podrá transportar a otro lugar de manera más fácil y sencilla.
- También al ser modular se lo puede conectar y desconectar fácilmente para ubicarlo en otra

localidad, para fines de mantenimiento, pruebas de laboratorio, modificaciones, etc.

Todo este proceso va a ser controlado de una manera automática con valores de set-point en el nivel, presión y temperatura predeterminados que podrán ser modificados por software según las necesidades del usuario.

Además para abaratar costos en espacio utilizado del edificio todo este sistema tiene que estar construido en un solo módulo de manera compacta.

2.1.3.- OBTENCIÓN DE LOS SET-POINT DEL PROCESO

Debido a que el proceso esta dirigido a solucionar necesidades domésticas se han tomado los valores mínimos y máximos de nivel, presión, caudal y temperatura utilizados usualmente por las personas en sus domicilios.

- El nivel de agua que será almacenado va a depender del consumo diario al que va a ser expuesto este sistema, en vista de que éste será utilizado en un laboratorio en calidad de prototipo el consumo será mínimo por lo que aquí se utilizará un reservorio con capacidad de 0.75 m³ con una altura máxima de 0.75 m .-El nivel máximo será de 0.5 m y el nivel mínimo de 0.2 m.
- La cantidad de agua por minuto es decir el caudal dependerá de las actividades domésticas que se realicen en el hogar, como se indica en la tabla 2.1 y que ha sido el resultado de observaciones reales.

CAUDAL DE AGUA MAS UTILIZADO EN ACTIVIDADES DOMÉSTICAS		
ACTIVIDAD	cantidad	PROMEDIO / ACTIVIDAD
LAVAR UN AUTO	3 a 5	GALONES POR MINUTO
AGUA DEL BAÑO	1 a 3	GALONES POR MINUTO
AGUA DE LAVADORA	2 a 4	GALONES POR MINUTO
AGUA DE COCINA	1 a 2	GALONES POR MINUTO
REGAR EL CÉSPED	1 a 2	GALONES POR MINUTO
PROMEDIO APROXIMADO	2 a 4	GALONES POR MINUTO

Tabla 2.1.-Caudales usados en actividades domésticas

Como se puede observar las actividades críticas donde más agua se utiliza es en el lavado de ropa y en el lavado del auto, éstas actividades normalmente se las realiza el fin de semana y al mismo tiempo, por lo que el sistema a diseñar debe proveer la cantidad de agua suficiente para solventar ésta demanda.

Lavado de auto = 3 a 5 gal/min

Lavado de ropa = 2 a 4 gal/min

Sumando da un total de = 5 a 9 gal/min

Éste valor del set-point del caudal ayudará a seleccionar la bomba y el tanque de presión más adecuados.

- Así mismo se hizo pruebas de presión de agua en actividades domésticas e igualmente la actividad más crítica es el lavado de auto donde luego de

hacer varias pruebas se consigue un chorro lo suficientemente fuerte como para desprender un poco de tierra adherida al auto fruto de salpicaduras de lodo, la presión de éste chorro oscila entre los 20 y 50 PSI; pero debemos tomar en cuenta que ésta presión va a depender del caudal que tengamos a disposición, del diámetro de la manguera, de la obstrucción en la boquilla, por lo que va a variar en la práctica, además también debemos tomar en cuenta la resistencia de la piel humana a éstas presiones para que el usuario no tenga molestias al bañarse, lavar ropa, platos o cualquier otra actividad, de todas formas la presión se la puede dejar entre los 10 y 50 psi.

- En lo que se refiere a la temperatura tenemos tres actividades donde más se utiliza el agua caliente y son: bañarse, lavar ropa y lavar platos donde la temperatura puede oscilar entre los 20 y 40 C° éstos valores según observaciones reales no hacen daño a la piel humana que es la que va a estar en contacto directo con el agua caliente.

Resumiendo las magnitudes de los valores de las variables que se van a manejar en éste proceso deben estar dentro, de los siguientes rangos:

SET-POINTS DEL PROCESO			
VARIABLE	VALORES		UNID. ING.
	MÍNIMO	MÁXIMO	
NIVEL	10	50	cm
CAUDAL	5	9	gal/min
PRESIÓN	10	50	psi
TEMPERATURA	20	40	C°

Tabla 2.2.-Set points del proceso

2.2.- SELECCIÓN DEL TIPO DE CONTROL

Para seleccionar adecuadamente un tipo de control para este proceso hay que observar la siguiente tabla de características de varios tipos de control (ver tabla 2.3)

CONTROL	PROCESO		CAMBIOS DE CARGA	APLICACIONES
	CAPACITANCIA	RESISTENCIA		
Todo-nada	Grande	Cualquiera	Cualquiera	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad
Flotante	Media	Cualquiera	Cualquiera	Procesos con pequeños

				tiempos de retardo
Proporcional	Pequeña a media	Pequeña	Moderados	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente
Proporcional +integral	Cualquiera	Pequeña	Cualquiera	La mayor parte de aplicaciones incluyendo el caudal
Proporcional +derivada	Media	Pequeña	Cualquiera	Cuando es necesario una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral
Proporcional+integral+ derivada	Cualquiera	Grande	Rápido	Procesos con cambios rápidos y retardos apreciables (control de temperaturas en intercambiador de calor)

Tabla 2.3.-Características de los tipos de control

De acuerdo a la tabla de características podemos ver que el control más adecuado es el proporcional, debido a que en éste proceso el offset no es inconveniente, también la capacitancia del proceso es medio, la resistencia es pequeña y los cambios en la carga van a ser moderados; pero como este proceso va a ser de uso doméstico éste tipo de control no se lo debe implementar por su costo ya que para esto deberíamos usar actuadores proporcionales y sensores analógicos que lo encarecerían mucho, además no se necesita precisión en el control de las variables, vasta con que éstos valores se encuentren dentro de un cierto rango.

Por lo que es muy aconsejable el control todo-nada con banda diferencial, éste lo podemos entender viendo la figura 2.2 o revisando la información del capítulo I en lo que se refiere al control ON-OFF.

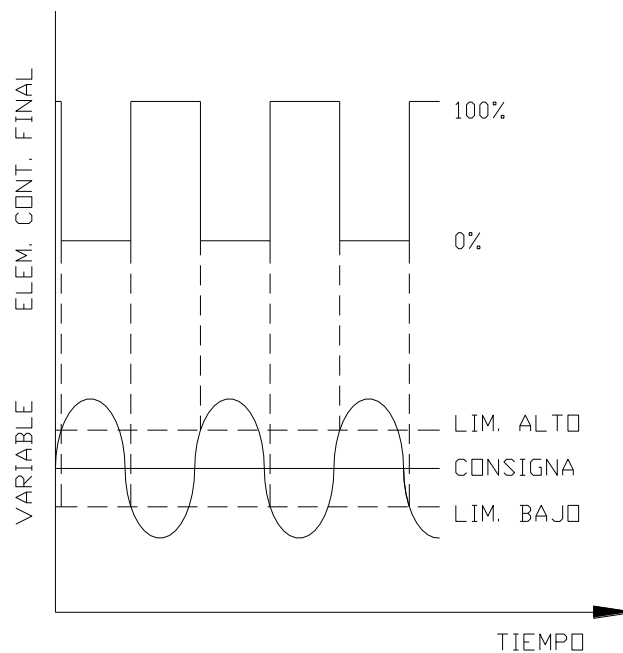


Figura 2.2.-Control todo-nada con banda diferencial

Como se puede observar el elemento de control final actúa solo en un 0% o 100% de su capacidad y se mantiene en una de éstas dos posiciones y no cambia para los valores de la variable comprendidos en la banda diferencial.

2.3.- LAZO DE CONTROL DE NIVEL

El lazo de control de nivel es el siguiente:

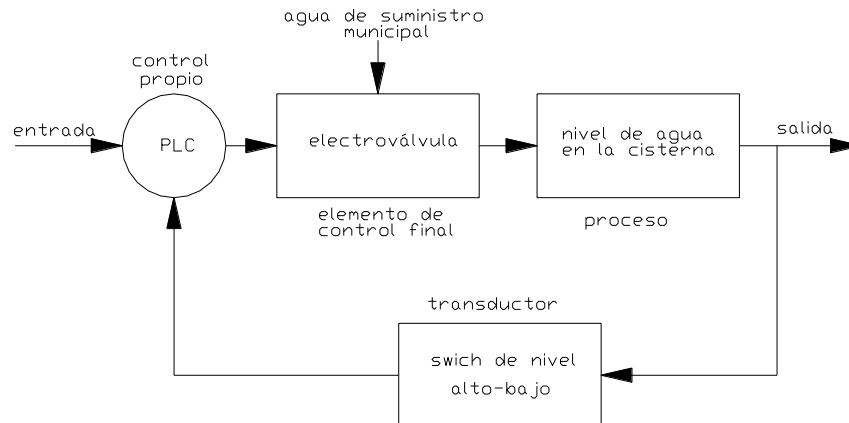


Figura 2.3.-Lazo de control de nivel

Como se observa en la figura 2.3 el agua proveniente del suministro municipal pasa por medio de una electro válvula hasta un tanque o cisterna donde se almacena, el nivel de agua es sensado por medio de dos swich de nivel (alto y bajo) y dicha información es enviada hasta un PLC, éste toma decisiones dependiendo de los valores de set-point almacenados y controla la electroválvula hasta conseguir los valores deseados en el proceso.

2.3.1.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE NIVEL

Como se puede observar en la figura 2.4 el sensado de nivel será digital para lo cual se utilizara un switch para nivel alto y un switch para nivel bajo, y para permitir el paso de agua hacia la cisterna una electro válvula tipo ON-OFF , adiconamelmente a este lazo se utilizará un switch de presión que le dirá al PLC si hay agua de suministro antes de la electroválvula y servirá de permisivo en la actuación del programa de éste, además se instalará un indicador de presión para que el operador pueda visualizar la presión de entrada del agua de suministro.

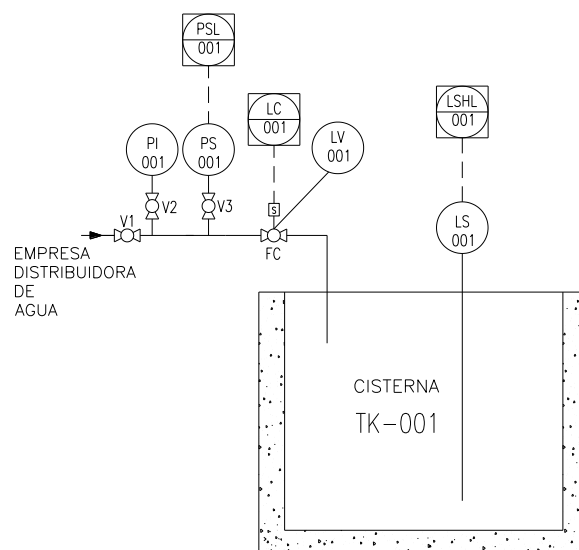


Figura 2.4.-Elementos del control de nivel

Para poder cerrar el lazo de control se utilizarán los siguientes elementos:

- Equipos y actuadores
 - Cisterna TK-001
 - Electroválvula LV-001
 - Válvulas manuales V1,V2,V3
 - Tubería
- Sensores e indicadores
 - Indicador de presión PI-001
 - Swich de presión PS-001
 - Swich de nivel LS-001

2.3.2.- DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

a.- Cisterna (TK-001)

Debido a que el equipo será implementado en un laboratorio didáctico, se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Preferiblemente el reservorio será de plástico para evitar corrosión, disminuir peso y facilitar la manipulación.
- Debe ser traslúcida y graduada para que el operador pueda visualizar el nivel de agua.
- Su capacidad no excederá de 1 m³.

b.- Electro válvula (LV-001)

La electro válvula que se utilizará será la responsable de permitir o no el paso de agua potable del suministro hasta la cisterna y deberá tener las siguientes características básicas:

- La solenoide debe funcionar con alimentación de 110 Vac porque éste voltaje es el que se tiene disponible en las viviendas y evitaría utilizar fuentes adicionales que aumentarían los costos.
- La válvula debe ser de dos vías y debe tener una entrada y salida roscada FNPT de ½"; porque es la medida de tubería que normalmente se dispone para uso doméstico.

- No importa la capacidad de flujo de la válvula ya que va a servir para llenar una cisterna y ésta última es la que va proveer de la cantidad de agua suficiente.
- Debe ser normalmente cerrada para utilizar energía sólo cuando se lo requiera para reducir gastos, además va a permitir mantenerla cerrada en un apagado de emergencia aún sin energía de suministro local.
- Debe ser fabricada con material para áreas no peligrosas, sin embargo como referencia se presenta una tabla de la clasificación para áreas peligrosas que en situaciones reales en las diferentes industrias se utilizan dichos materiales (ver anexo A). En nuestro caso una clasificación de áreas peligrosas no se ve necesaria puesto que esta aplicación es para uso doméstico.
- Debe cumplir normas ANSI 150 (ver anexo B).

c.- Válvulas manuales (V1,V2,V3)

La válvula V1 que se ven en la figura 2.4 servirá para aislar todo este sistema y desconectarlo si es necesario por motivos de mantenimiento, traslado, etc., la V2 y V3 servirán para aislar el PI y el PS, igualmente por motivos de mantenimiento, cambio, etc. Éstas deben cumplir con las siguientes características:

- Serán válvulas manuales de dos vías.
- Preferiblemente de bola, ya que éste tipo de válvula nos permite una apertura rápida.
- Deben tener dos entradas FMPT de ½”
- El material de fabricación debe estar sujeto a normas para áreas no peligrosas (ver anexo A)
- Deben cumplir normas ANSI 150 (ver anexo B)

d.- Tubería

Ésta tubería es la más utilizada en uso doméstico y debe cumplir con las siguientes características:

- El material puede ser PVC o metal galvanizado.
- Se recomienda de ½” pulgada de diámetro interno.
- Debe cumplir con las normas de seguridad del anexo A y de fabricación del anexo B.
- No hay que olvidarse de los accesorios como codos, uniones, etc. los mismos que deben cumplir con las mismas normas.

e.- Indicador de presión (PI-001)

El indicador de presión va a servir para que el operador pueda visualizar el valor de ésta variable para fines de calibración del switch de presión, operación, etc.-Éste debe cumplir las siguientes características:

- El tamaño del indicador debe ser pequeño, para reducir gastos y espacio.
- El rango de indicación será de 0-200 PSI que se ajusta a valores máximos de presión del agua

potable de suministro y da un margen de seguridad para evitar daños del mismo.

- Debe cumplir normas de seguridad para áreas no peligrosas (ver anexo A).
- El diámetro de la toma puede ser de 1/4", 3/8" o 1/2" MNPT.

f.- Switch de presión (PS-001)

El switch de presión va indicar si existe un mínimo valor de presión de agua de suministro cuando la válvula LV-001 esta cerrada.-Si existe una presión mínima de 10 psi va a permitir que haya flujo de agua al abrir LV-001 permitiendo que la cisterna se llene aunque muy lentamente.-Por lo que el elemento a seleccionar debe cumplir con los siguientes requisitos básicos:

- Debe tener un rango de ajuste entre los 5 y 70 psi, ya que éste es el rango aproximado de los valores de suministro de agua potable.

- Los contactos del switch deben tener por lo menos un N/C resistir mín. 3 amperios que es la corriente máxima se utilizaría para enviar la señal a un PLC.
- Los contactos deben resistir un voltaje de 120Vac o 24 Vdc que son los voltajes que están disponibles dentro del diseño.
- Debe tener una toma FNPT de máx. ½” que corresponde al diámetro de la tubería de entrada de agua.

g.- Switch de nivel (LS-001)

El switch de nivel va a indicar mediante dos señales digitales cuando el nivel en la cisterna este alto y cuando este bajo para lo cual los requerimientos básicos que debe cumplir para la selección son:

- Debe poseer dos contactos N/C que tengan características similares a los del switch de presión

- Debe utilizar flotadores como elemento primario debido a que el fluido es agua potable a temperatura ambiente y éste es el método más barato.
- La extensión que sujetan a los flotadores que puede ser una cuerda debe ser regulable para ubicar a los flotadores en el set-point necesario.
- El rango de medición va a depender del tanque almacenamiento y los set point que para éste caso es de 50 cm como se expuso en el punto 2.1.3 de ésta unidad.
- Debe cumplir normas de seguridad para áreas no peligrosas (ver anexo A).

2.4.- LAZO DE CONTROL DE PRESIÓN

Para éste proyecto debemos diseñar un lazo de control de presión por lo que nos guiaremos partiendo del siguiente gráfico:

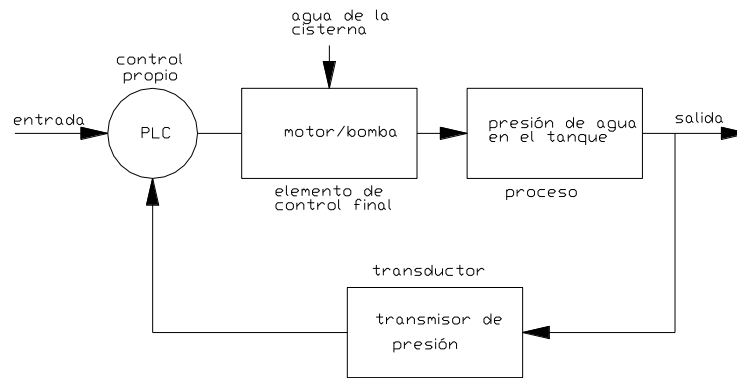


Figura 2.5.- Lazo de control de presión

Como se observa en la figura 2.5 el líquido va a ser absorbido desde una cisterna y enviado al tanque donde la presión se va a elevar debido al aire atrapado dentro de él y que a su vez está siendo comprimido por la presión que ejerce el agua proveniente de la bomba. Esta variable será sensada y enviada al PLC mediante un transmisor para que éste tome las decisiones según el valor de set-point programado y a su vez actúe sobre el motor que acciona la bomba de agua y se vuelva a cumplir el ciclo hasta tener los valores deseados de presión a la salida del proceso.

2.4.1.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE PRESIÓN

En la figura 2.6 se puede observar que a parte de los elementos más básicos para el control de presión como la bomba, el tanque, el transmisor de presión y el PLC se está utilizando una válvula reguladora de presión de aire del tanque , una válvula de seguridad, una switch de presión y un indicador de presión, los mismos que serán explicados con mas detalle a continuación.

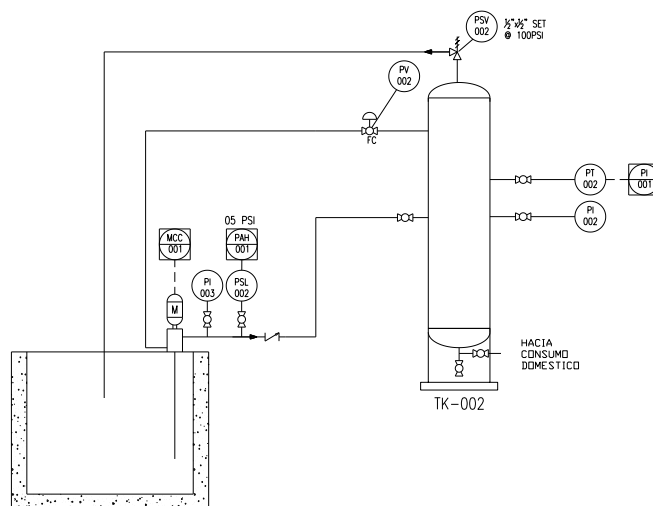


Figura 2.6.-Elementos del control de presión

Para este lazo de control se utilizará los siguientes elementos.

- Equipos y actuadores
 - Tanque de presión TK-001
 - Bomba de agua MCC-001

- Válvula de seguridad PRV-001
- Válvula reguladora de presión PRV-001
- Válvulas manuales
- Tubería
- Sensores, transmisores e indicadores
 - Transmisor de presión PT-001
 - Swich de presión PS-002
 - Indicadores de presión PI-001 y 002

2.4.2.- DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

a.- Tanque de presión (TK-002)

Para diseñar este tanque es importante tomar en cuenta que se lo va a utilizar como prototipo de un tanque de uso doméstico y estará continuamente en un laboratorio, por lo que la capacidad es pequeña y se ajustará a los siguientes parámetros:

- La capacidad máxima de almacenamiento será 20 litros de agua.
- La presión máxima dentro del tanque 100 PSI
- La temperatura máxima 100 °C
- Debe ser un tanque cerrado cilíndrico apropiado para presión.
- Debido a la presión que se manejará tendrá que ser metálico.

En el diseño del tanque hay que tomar en cuenta la instalación del transmisor de presión, la válvula de seguridad, la válvula reguladora de presión de aire, las tomas de salida y de entrada de agua, y además como veremos al estudiar el lazo de temperatura también se necesitará una toma para instalar un transmisor de temperatura y otra para la niquelina.-Para lo cual se ha propuesto el diseño que se lo puede observar en la figura 2.7.

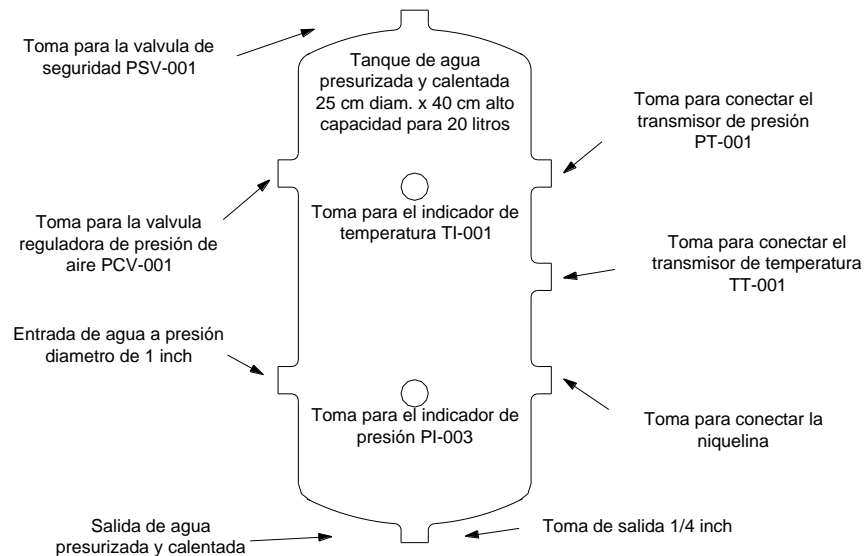


Figura 2.7.-Diseño del tanque de presión y almacenamiento de agua.

b.- Bomba de agua (P-001)

La bomba de agua debe proveer del flujo suficiente para abastecer los requerimientos del sistema ver la tabla 2.2 sobre set-points del proceso, ahí está indicado que el flujo mínimo que debe proveer ésta bomba es de 5 a 9 gal/min., como se estudió en la unidad I en el numeral 4.2 sobre bombas se puede observar que hay dos tipos de bombas, las centrífugas y las de desplazamiento positivo. La bomba de desplazamiento positivo entrega un volumen constante de líquido contra una cabeza variada de descarga, para éste proyecto se necesita un determinado valor de la presión máxima que debe llegar a alcanzar por lo

que las bombas de desplazamiento positivo se descartan automáticamente ya que no se quiere una elevada presión a la salida sino un flujo que abastezca suficientemente el consumo a una presión moderada.

Las bombas centrífugas provocan un flujo dependiendo de la velocidad del impeler, y el flujo a su vez provoca una elevación de la presión en la descarga si ésta se encuentra bloqueada; pero esta elevación de la presión va a depender de la cabeza de la bomba que se la calcula con la siguiente fórmula:

$$H = (P_2 - P_1) / \rho g + V_2^2 / 2g \quad (\text{Ec. 2.1})$$

dónde

H = cabeza total en m	= ?
P ₂ = la presión en salida en Nm ² (Pa)	= ?
P ₁ = la presión entrada en Nm ² (Pa)	= casi cero Pa
ρ = densidad en kg/m ³ (agua)	= 1000 Kg/m ³
g = aceleración de la gravedad	= 9,81 m/s ²
V ₂ = la velocidad de salida m/s	= ?

Como se puede apreciar faltan los datos de H, P₂ y V₂ por lo que para encontrar éstos valores primero se debe encontrar el valor máximo y mínimo de presión

del tanque (set-point) para que a la salida de éste se tenga un flujo mínimo de 5 gal/min y un máximo de 9 gal/min. Ya que éstos son los requerimientos, se puede ver en la figura 2.7 que las dimensiones del tanque son:

$$\text{altura} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{radio} = 0,125 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = \pi r^2 x h$$

$$V = 3,1416 x (0,125 \text{ m})^2 x 0,4 \text{ m} = 1,9635 x 10^{-2} \text{ m}^3$$

O en litros sería:

$$\frac{1,9635 x 10^{-2} \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 x 10^3 \text{ litros}}{1} = 19,635 \text{ litros}$$

Equivalente a 20 litros.

Para encontrar las presiones mínimas y máximas utilizaremos la ecuación de Bernuolli para el gráfico de la figura 2.8.

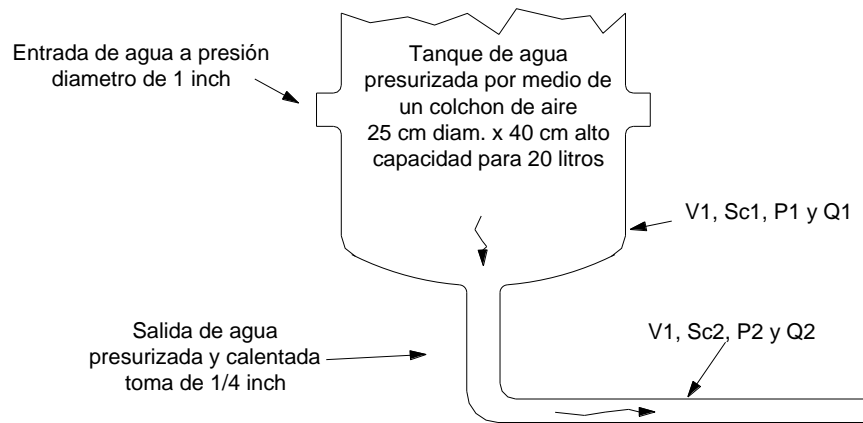


Figura 2.8.-Aplicación de la ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli que se muestra a continuación indica:

$$\frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2 = \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g h_1 + P_1$$

(Ec. 2.2)

2

2

Donde:

ρ = Densidad del agua = 1000

Kg/cm²

g = gravedad = 9,81 m/s²

V_1 = Velocidad en el tramo ancho = casi cero

m/s

V_2 = Velocidad en el tramo angosto = ? m/s

$$P_1 = \text{Presión en el tramo ancho} = ? \text{ Pa} \\ (\text{Nm}^2)$$

$$P_2 = \text{Presión en el tramo angosto} = ? \text{ Pa} \\ (\text{Nm}^2)$$

$$h_1 = \text{Altura del tanque} = 0,4 \text{ m}$$

$$h_2 = \text{Altura en el punto más angosto} = 0,0 \text{ m}$$

Reemplazando los valores en la fórmula queda:

$$\frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2 = \frac{\rho(0)^2}{2} + \rho g(0) + P_1 \\ (\text{Ec. 2.3})$$

$$\frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2 = 0 + 0 + P_1 \\ (\text{Ec. 2.4})$$

2

despejando P_1 y P_2 da:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2 \\ (\text{Ec. 2.5})$$

2

pero

$$P_1 = P + P_a$$

(Ec. 2.6)

donde:

P = Presión que se necesita en el tanque para conseguir el flujo deseado a la salida. = ? Pa

P_a = Presión atmosférica

Y en el punto más bajo donde esta P_2 es:

$$P_2 = P_a$$

Reemplazando ⁽⁹⁾ y ⁽¹⁰⁾ en ⁽⁸⁾ queda:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2$$

(Ec. 2.7)

2

$$P + P_a - P_a = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2$$

(Ec. 2.8)

2

$$P = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2$$

(Ec. 2.9)

2

Aún falta saber el valor de V_2 , por lo que se va a aplicar la formula de caudal para despejar V :

$$Q_v = S_{ec} \times V$$

(Ec. 2.10)

Donde se tiene los datos basados en la necesidad de consumo doméstico según la tabla 2.2 de set-points del proceso:

$$Q_{vmax.} = \text{Caudal volumétrico máx} \\ = 9 \text{ gal/min}$$

$$Q_{vmin} = \text{Caudal volumétrico mín} \\ = 5 \text{ gal/min.}$$

$$S_{ec} = \text{Area de la sección de tubería} \\ = ?$$

$$V = \text{Velocidad del fluido en ésta sección} \\ = V_2$$

$$d = \text{Diámetro del tubo} = 0.25 \text{ inch}$$

La formula del área de una sección circular es:

$$S_c = (\pi \times (d)^2) / 4$$

(Ec. 2.11)

Pero el diámetro debe estar en metros por lo que amerita convertir las unidades como sigue:

$$\frac{0.25 \text{ inch}}{1} \times \frac{2.54 \text{ Cm}}{\text{Inch}} \times \frac{1 \text{ M}}{100 \text{ Cm}} = 6,35 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Reemplazando el diámetro en la ecuación queda:

$$S_C = (3,1416 \times (6,35 \times 10^{-3} \text{ m})^2) / 4$$

(Ec. 2.12)

$$S_C = 3,17 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Ahora, de la ecuación se despeja V.

$$Q_v = S_{ec} \times V$$

$$V = \frac{Q_v}{S_c}$$

(Ec. 2.13)

$$S_c$$

Antes de resolver la ecuación hay que transformar las unidades de caudal que están en gal/min a m³/s y queda:

$$\frac{5 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{3,785 \text{ l}}{1 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 3,15 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\frac{9 \text{ gal}}{\text{min}} \cdot \frac{3,785 \text{ l}}{1 \text{ gal}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 5,68 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Entonces:

$$Q_{v\min} = 3,15 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

(Ec. 2.14)

$$Q_{v\max} = 5,68 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

(Ec. 2.15)

Se reemplaza ^(Ec. 2.14) y ^(Ec. 2.12) en ^(Ec. 2.13) y queda:

$$V_{\min} = \frac{Q_{v\min}}{S_c}$$

(Ec. 2.16)

$$V_{\min} = \frac{3,15 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}{3,17 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$V_{\min} = 9,94 \text{ m/seg}$$

(Ec. 2.17)

Se reemplaza ⁽²⁰⁾ y ⁽¹⁷⁾ en ⁽¹⁸⁾ y queda:

$$V_{\max} = \frac{Q_{v\max}}{S_c}$$

(Ec. 2.18)

$$V_{\max} = \frac{5,68 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}}{S_c}$$

$$3,17 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$V_{\max} = 17,75 \text{ m/seg}$$

(Ec. 2.19)

Para encontrar las presiones mínima y máxima en el tanque de presión se reemplazará los valores ^(Ec. 2.17) y ^(Ec. 2.18) en la ecuación ^(Ec. 2.20)

$$P = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2$$

(Ec. 2.20)

2

$$P_{\min} = \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3)(9,94 \text{ m/seg})^2}{2} + (1000 \text{ Kg/m}^3)(9,81 \text{ m/seg}^2)(0,4 \text{ m})$$

$$P_{\min} = 53325,8 \text{ Pa (Nm}^2\text{)}$$

(Ec. 2.21)

$$P_{\max} = \frac{(1000 \text{ Kg/m}^3)(17,75 \text{ m/seg})^2}{2} + (1000 \text{ Kg/m}^3)(9,81 \text{ m/seg}^2)(0,4 \text{ m})$$

$$P_{\max} = 161455,25 \text{ Pa (Nm}^2\text{)}$$

(Ec. 2.22)

Estos valores en Pa se debe transformar a PSI para tener los set-point de presión que serán programados en el PLC quedando así:

$$\frac{53325,8 \text{ Pa}}{1} \times 0,000145 \frac{\text{PSI}}{\text{Pa}} = 7,73 \text{ PSI}$$

$$\frac{161455,25 \text{ Pa}}{1} \times 0,000145 \frac{\text{PSI}}{\text{Pa}} = 23,41 \text{ PSI}$$

Quedando:

- Presión mín. del tanque para proveer 5 gal/min a la salida = 7,73 PSI que redondeando se la puede dejar en 10 PSI

(Ec. 2.23)

- Presión máx. del tanque para proveer 9 gal/min a la salida = 23,41 PSI que redondeando se la puede dejar en 25 PSI

(Ec. 2.24)

Con éstos valores se puede dimensionar la bomba, ya que ésta se basa en el valor de su cabeza H , por lo que se trabajará con la ecuación ^(2.1)

$$H = (P_2 - P_1) / \rho g + V_2^2 / 2g \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

$$P_2 = P_{\min} \text{ y } P_{\max}$$

$P_1 =$ casi cero, por lo que se la desprecia

Quedando:

$$H = (P_{\max} \text{ o } P_{\min} - 0) / \rho g + V_2^2 / 2g$$

$$H = (P_{\max} \text{ o } P_{\min}) / \rho g + V_2^2 / 2g \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Ahora reemplazando los valores (Ec. 2.17), (Ec. 18), (Ec. 2.19) y (Ec. 2.20) en (Ec. 2.25) queda:

$$H_{\min} = (53325,8 \text{ Pa}) / (1000 \text{ Kg/m}^3)(9,81 \text{ m/seg}^2) + (9,94 \text{ m/seg})^2 / 2(9,81 \text{ m/seg}^2)$$

$$H_{\min} = 10,47 \text{ m.} \quad (\text{Ec. 2.26})$$

$$H_{\max} = (161455,25 \text{ Pa}) / (1000 \text{ Kg/m}^3)(9,81 \text{ m/seg}^2) + (17,75 \text{ m/seg})^2 / 2(9,81 \text{ m/seg}^2)$$

$$H_{\max} = 32,52 \text{ m.} \quad (\text{Ec. 2.27})$$

Para seleccionar la bomba adecuada se debe tomar en cuenta el valor más crítico que correspondería al $H_{\max.}$, además se puede calcular el caudal crítico que sería igual al caudal máx de salida 9 gal/min.

$$\frac{9 \text{ gal}}{\text{min}} \cdot \frac{3,785 \text{ Lit.}}{1 \text{ gal}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 5,68 \times 10^{-1} \text{ lit/seg}$$

Resumiendo para elegir la bomba de agua adecuada se tomará en cuenta los siguientes valores y condiciones:

- Debe ser una bomba centrífuga
- El valor de cabezal H igual o mayor a 32,52 m.
- La capacidad de flujo igual o mayor a $5,68 \times 10^{-1}$ lit/seg
- El diámetro de descarga igual a 1inch o 2,54 cm
- La potencia del motor mayor a $\frac{1}{2}$ HP
- El voltaje de alimentación de 110 Vac
- La frecuencia de alimentación del motor 60 Hz

El set-point de alta presión en el tanque queda en 25 PSI y el de baja presión en 10 PSI.

c.- Válvula de control de volumen de aire (PRV – 001)

Como se sabe una válvula de control de volumen de aire o válvula autorreguladora está diseñada para mantener el volumen de aire en un sistema de un tanque de agua con presión mientras se reduce la frecuencia de los ciclos. Esta válvula es controlada por aire, mientras que al un extremo de la válvula está al ambiente es decir teniendo la presión atmosférica y el otro extremo de la válvula está conectada al tanque.

Con respecto a la línea de control está colocada en la succión de la bomba provocando un vacío en la línea de control en el momento del arranque de la bomba y como resultado, la válvula permanecerá abierta mientras la bomba se encuentre encendida. En este punto se dan dos casos: el primer caso es suponiendo que el tanque no está presurizado y necesita tomar aire, es decir la presión del tanque es menor a la presión atmosférica en la toma de válvula, por diferencia de presiones la presión externa o atmosférica ingresará por la válvula y el aire ayudará a que el tanque se presurice. El segundo caso es si el tanque está presurizado y como la válvula está abierta eso querría decir que la presión en el tanque va a ser mayor que la presión atmosférica por lo que la presión del tanque saldrá por el extremo de la válvula que está al ambiente. En conclusión la válvula mantendrá el aire suficiente en el tanque para que este se presurice y de esta manera entregar el fluido a presión.

d.- Válvula de seguridad (PSV – 002)

Esta válvula se a colocado en el tanque en caso de seguridad, la cual funcionará si en alguna situación dada el tanque se llega a presurizar excesivamente como por ejemplo en el caso en que la válvula autorreguladora no funcione. Su presión de seteo es 150 psi.

2.5.- LAZO DE CONTROL DE TEMPERATURA

Adicionalmente a los lazos de control anteriores, se debe diseñar un lazo de control de temperatura por lo que nos guiaremos partiendo del siguiente gráfico:

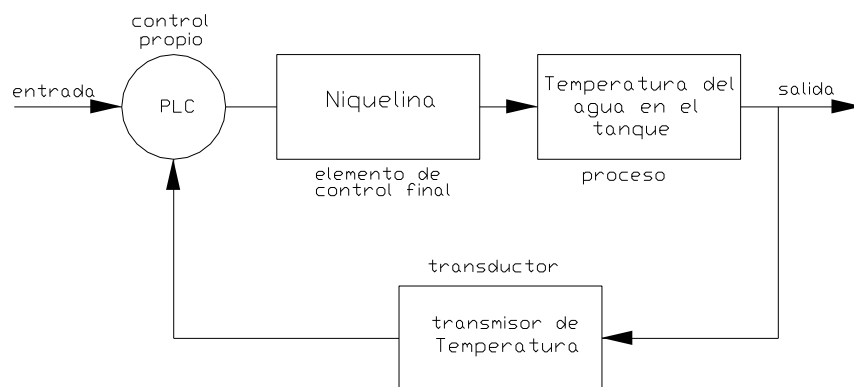


Figura 2.9.- Lazo de control de temperatura

Como se observa en la figura 2.9 el líquido va a ser absorbido desde una cisterna y enviado al tanque donde la temperatura en el mismo va a oscilar en un cierto rango térmico el cual no será dañino ni perjudicial para el consumo humano, dicha

temperatura será censada y enviada al PLC mediante un transmisor para que éste tome las decisiones según el valor de set-point programado y a su vez actúe sobre un contactor que concurrentemente actuará sobre una niquelina encendiéndola o apagándola según las condiciones que se presenten en ese momento y así sucesivamente se vuelva a cumplir el ciclo hasta tener los valores deseados de temperatura del agua a la salida del proceso.

2.5.1.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE TEMPERATURA

En la figura 2.10 se puede observar los elementos básicos utilizados para el control de temperatura en el tanque de agua como son la RTD, el transmisor de temperatura, el PLC, la niquelina pero también se muestra un elemento adicional que ayudarán a visualizar la variable en el tanque como es un indicador de temperatura.

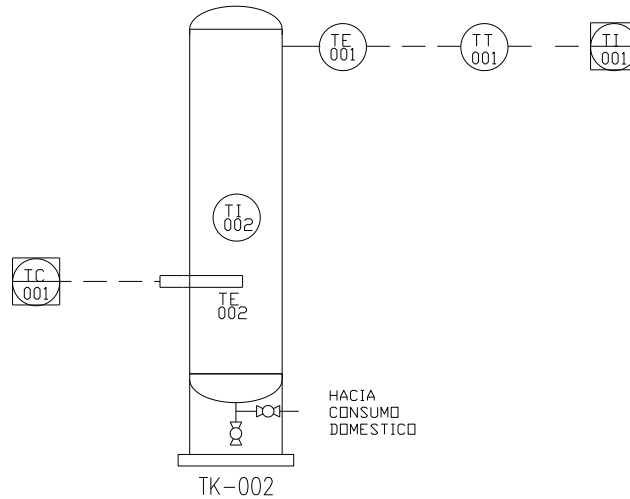


Figura 2.10.-Elementos del control de Temperatura

Para este lazo de control se utilizará los siguientes elementos.

- Equipos
 - Tanque de presión TK-001
 - Tubería
 - Niquelina TE – 002

- Sensores, transmisores e indicadores
 - Transmisor de temperatura TT-001
 - Sensor de temperatura RTD TE- 001
 - Indicador de temperatura TI-002

2.5.2.- DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

a.- Tanque de presión (TK-002)

Como se mencionó anteriormente, este tanque se lo va a utilizar como prototipo de un tanque de uso doméstico y estará continuamente en un laboratorio, ajustándose a las características mostradas en la sección 1.6.2.; el aspecto más relevante para el control de temperatura es que el tanque soporte una temperatura máxima de 100 °C, ya que el rango en que oscilará la temperatura real en tanque será de 20 °C a 40 °C. La distribución de las entradas y salidas del tanque se las puede observar en la figura 2.7.

b.- Niquelina (TE002)

Con respecto a la selección de niquelina se decidió utilizar una disponible en el mercado para posteriormente calcular los tiempos necesarios para obtener el rango de temperatura deseado según los

requerimientos de temperatura especificados en la tabla 2.2 de set points donde el rango de temperatura que se requiere en el tanque será de veinte a cuarenta grados centígrados, para lo cual tenemos lo siguiente datos:

Temp₀= temperatura de calentamiento de la niquelina inicial = 20° C

Temp₁= temperatura de calentamiento de la niquelina final= 40 ° C

V= volumen del tanque de almacenamiento= 20 litros

P= potencia nominal de la niquelina= 1500 W

T_{20° C}= tiempo requerido para temperatura en el tanque a 20° C= ?

T_{40° C}= tiempo requerido para temperatura en el tanque a 40° C= ?

C_p= capacidad calorífica del agua= 1 Cal/g° C

ρ= densidad del agua= 1 g/cm³

V=20lt =20000 cm³

W= Peso

W= V ρ (Ec. 2.28)

W= 20000 cm³ x 1g/cm³ = 2000g= 20Kg

E= W C_p Temp =Energía (Ec. 2.29)

De la ecuación (30)

$E_0 =$ Energía requerida para calentar el agua a 20°C

$E_1 =$ Energía requerida para calentar el agua a 40°C

$$E_0 = 2000 \text{ g} \times 1 \text{ Cal/g}^\circ\text{C} \times 20^\circ \text{C} = 40000 \text{ Cal} = 40 \text{Kcal}$$

$$E_0 = 40 \text{ Kcal} \times 4186 \text{ J/1Kcal} = 167440 \text{ J}$$

$$E_1 = 2000 \text{ g} \times 1 \text{ Cal/g}^\circ\text{C} \times 40^\circ \text{C} = 80000 \text{ Cal} = 80 \text{Kcal}$$

$$E_1 = 80 \text{ Kcal} \times 4186 \text{ J/1Kcal} = 334880 \text{ J}$$

P= Potencia

$$P = E/T$$

(Ec. 2.30)

De la ecuación (31)

$$T = E/P$$

$$T_{20^\circ \text{C}} = 167440 \text{ J} / 1500 \text{ W} = 111.62 \text{ seg}$$

$$T_{40^\circ \text{C}} = 334880 \text{ J} / 1500 \text{ W} = 223.25 \text{ seg}$$

2.6.- TABLERO DE CONTROL

El Tablero de control será el panel desde donde podremos manipular, visualizar y controlar todo el proceso de este proyecto, es decir dicho tablero será el control de mandos que actuarán sobre el proceso,

siendo este de fácil manipulación para el usuario (Ver Anexo C y D).

2.6.1.-ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL Y DIMENSIONAMIENTO

a.- PLC

El PLC como es de conocimiento, es la unidad de procesamiento que se encargará de tomar los datos provenientes de las variables que forman parte del proceso y de acuerdo al programa realizado en este actuar sobre dicho proceso para asegura el buen funcionamiento de este equipo diseñado para este proyecto.

En vista de que el proceso posee seis entradas digitales, dos entradas análogas (Ver Anexo E) y ocho salidas digitales (Ver anexo F), se procedió a seleccionar un PLC que reúna las características anteriormente mencionadas, es una PLC marca Allen Bradley modelo Micrologix 1000 el cual posee doce

entradas digitales, cuatro entradas análogas y ocho salidas digitales, lo cual quiere decir que siete de las entradas digitales que tiene el PLC anteriormente mencionado han sido utilizadas, mientras que dos de las cuatro entradas análogas han sido utilizadas y finalmente las ocho salidas análogas de las ocho salidas disponibles han sido utilizadas.

El motivo por el que éste PLC ha sido seleccionado ha sido por sus características en cuanto a la disponibilidad de entradas/salidas que posee el mismo y por otro lado la marca de este controlador lógico programable es muy conocida tanto en aplicaciones industriales como en el sector petrolero, es de este hecho que como la finalidad de este proyecto tendrá como fin una demostración didáctica se desea presentar un PLC de una marca muy comercial de desempeño eficiente y de una muy reconocida fama en el mundo de la industria y del petróleo en sus diferentes procesos en los que el mismo es aplicado.

b.- Relés

El tablero de control posee tres relés los mismos que se encargarán de realizar independientemente las siguientes funciones:

- Realizar el control del contactor que activará el motor de la bomba
- Realizar el control del contactor que activará la niquelina que estará colocada en el tanque
- Realizar el control de la solenoide de la válvula LV1 que es la electroválvula que trabajará con el reservorio

Como se sabe se utilizarán tres relés los mismos que se encargarán de activar al contactor que activará la bomba, activar al contactor que activará la niquelina en el tanque, activar a la solenoide LV1 que es la electroválvula que trabajará con el reservorio, es por esta razón que se decidió utilizar relés de 24 Vdc con el objeto de manejar mediana potencia es decir una

especie de interfase entre la señal de los relés y los elementos de potencia si cabe el término como son los contactores

c.- Contactores

El tablero de control posee dos contactores los mismos que a diferencia de los relés manejan mayores corrientes y es de este hecho que para que estos trabajen se han utilizado dos relés que a su vez controlarán a dispositivos de mayor potencia como son los contactores los mismo realizan independientemente las siguientes funciones:

- Realizar el control del motor, en otras palabras es la que actúa directamente sobre el motor, permitiendo la energización del mismo por medio de un contacto normalmente abierto.
- Realizar el control de la niquelina, dicho de otra manera es la que actúa directamente sobre la niquelina que estará colocada en el tanque, permitiendo la energización de la misma por medio de un contacto normalmente abierto.

El tablero de control utiliza dos contactores los mismos que como es sabido activará el motor de la bomba, activará la niquelina de tanque, por lo tanto estos elementos manejan potencias mayores a los relés por esta razón se utilizan dos contactores de 120 Vac.

d.- Portafusible

Dentro del tablero de control se ha colocado un portafusible que además se desempeña como interruptor, es el elemento encargado de proteger a la energía DC utilizada en el tablero. Como es sabido el portafusible protege a la alimentación DC y es de 6A / 500V que es una corriente superior a la corriente máxima que puede consumir todo el circuito DC antes de que el fusible se queme y abra el circuito.

e.- Interruptor Térmico

Se ha colocado un interruptor térmico para proteger la fase de la energía A.C. utilizada en el tablero de control. Dicho interruptor térmico es de tipo unipolar de 12 A.

f.- Lámparas Indicadoras

El tablero de control posee ocho lámparas indicadoras las mismas que nos ayudarán a visualizar e informar las diferentes condiciones que se podrían en el proceso de este proyecto. Cabe resaltar que las luces de color verde indican el funcionamiento normal del proceso, mientras que las de color rojo muestran una alarma. Las funciones que desempeñan las lámparas son las siguientes:

N1: Indica el funcionamiento de la niquelina que se encuentra colocada en el tanque, es decir que ésta se encuentra energizada. Las lámparas que forman parte del tablero de control son de 110 Vac y utilizarán la alimentación del tendido eléctrico doméstico que tenemos disponible en todo lugar.

M1: Indica el funcionamiento del motor de la bomba, es decir que éste se encuentra energizado para permitirle trabajar a la bomba.

LV1: Indica el funcionamiento de la electroválvula de nivel, es decir que ésta se encuentra trabajando de tal manera que permita la entrada de agua para compensar el nivel del tanque.

START: Indica el funcionamiento del proceso en general es decir éste se activará una vez que el pulsador de Start sea activado, esta lámpara permanecerá encendida mientras el proceso funcione en condiciones normales.

F. P, T: Esta lámpara indica una falla de presión o temperatura en el tanque, es decir si existe un exceso de temperatura o presión que sobrepasen los valores especificados de estas dos variables en la tabla 2.2

F. M1: Esta lámpara indica un fallo en la bomba, está directamente relacionado con el switch de presión 002, el mismo que después de un cierto tiempo de haberse encendido el sistema deberá cerrarse al detectar una mayor presión en la línea en que este instrumento se encuentra colocado y enviar dicha señal a una entrada digital del PLC, esto querría decir que si después de este tiempo mencionado anteriormente el switch no ha cambiado de estado, significaría que el la bomba no está funcionando.

F. LV1: Esta lámpara en términos generales indica un fallo en el sistema de nivel en el reservorio TK001, las causas podrían ser varias como el que la solenoide de la electroválvula LV1 haya sufrido un daño, que el switch de nivel LS001 haya sufrido un daño y no esté funcionando o a su vez que no exista suministro de agua por parte de la empresa suministradora de agua. Este tipo de alarma está directamente relacionado con los instrumentos: PS001, LV1, LS001.

Esto significa que el PS001 estaría sensando el suministro de agua y de hecho debería cambiar de estado inmediatamente se encienda el sistema, por otro lado después de un cierto tiempo el switch de nivel que posee dos contactos uno para detectar el alto nivel y otro para detectar el bajo nivel de agua debería cambiar de estado el momento en que tengan el nivel adecuado de agua en el reservorio TK001, otro caso sería cuando el contacto para alto nivel de agua cambie de estado debido a un exceso de alto nivel, si esto ocurriera se activaría dicha alarma.

F.SA: Esta lámpara indica una falla en el servicio de agua, es decir está directamente relacionada con el interruptor de presión PS001, el cual debe cambiar de estado cuando se detecte un presión en este punto, en caso de no cambiar de estado el PLC interpretará el mismo como un falla en el servicio de agua es decir no hay fluido en ésta línea, o a su vez el interruptor de presión mencionado anteriormente ha sufrido un daño.

g.- Pulsadores

El tablero posee en total tres pulsadores simples normalmente abiertos que se utilizarán para dar una señal al PLC. Dichos pulsadores se encuentran en un solo cuerpo y otro pulsador independiente que se encuentra en la parte derecha inferior del tablero, la función de dichos pulsadores se detallan a continuación:

- El pulsador de color verde es utilizado para dar al proceso una señal de arranque.
- El pulsador de color rojo es para realizar un paro del proceso en el momento que el usuario lo decida.
- El pulsador independiente de color negro que se encuentra en la parte inferior derecha del panel frontal del tablero se lo utiliza para realizar un reset del sistema después de que se ha dado un paro del sistema por alarma.

2.7.- DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PLC

Como se mencionó anteriormente el PLC es marca ALLEN BRADLEY de modelo Micrologix 1000 dentro de este modelo de PLC se tienen 14 sub modelos entre los cuales varían sus voltajes de alimentación, su número de entradas - salidas, etc. EL modelo de este PLC es el **1761-L20BWB-5A** Entre las especificaciones principales del PLC que se utiliza en este proyecto se enuncian a continuación, sin embargo para profundizar las especificaciones del mismo referirse al anexo G:

Especificaciones Generales

24V dc Sensor Power	200 mA max. con 200 µF de carga capacitiva max.
Ciclos de Poder	50,000 mínimo
Temperatura de Operación	
Montaje Horizontal	0-55 °C (32-131 °F)
Montaje Vertical	0-40 °C (32-104 °F)
Temperatura de Almacenamiento	-40-85 °C (-40-185 °F)
Humedad	5-95% (sin condensación)
Vibración, Operación	5 Hz a 2 kHz, 0.381 mm (0.015 in) pico-a-pico / 2.5 g montado en el panel*, 1hr por eje
Vibración, No-Operación	5 Hz a 2 kHz, 0.762 mm (0.030 in) pico-to-pico / 5 g montado en el panel, 1hr por eje
Torque de tornillos	0.9 N-m máximo (8.0 libras-pulgada)
Aislamiento	1500V ac

Tipo de Memoria	EEPROM
Tamaño de Memoria	1K palabras (aproximadamente 737 instruction palabras, 437 tabla de datos palabras)
Temporizadores/Contadores, Max.	40 temporizadores; 32 contadores (fixed)
Tiempo de búsqueda de programas/Kword, Típico	2 ms
Tiempo de Búsqueda E/S, Típico	0.21 ms
Puerto de Comunicación	RS-232-C (Puede ser configurado para comunicación a través de 1761 - NET en una red DH-485)
Dimensión	Peso: 0.2Kg, Altura: 3.15in, Ancho 4.72in, Profundidad: 1.57in

Tabla 2.4.- Especificaciones Generales del PLC

Rango de Voltaje	$\pm 10.5V$ -1LSB
Rango de Corriente	0...20 mA -1LSB
Formato de Datos	Binario natural 16-bit enteros
Impedancia del voltaje de entrada	210 kW
Impedancia de corriente de entrada	160 kW
Resolución	16 bits*
Exactitud 0...55 °C	$\pm 0.7\%$ de escala completa

Tabla 2.5.- Especificaciones de las entradas análogas

Con respecto al cableado del controlador son necesarios los siguientes cables.

Tipo de Cable	Tamaño de Cable (Maximo 2 cables por tornillo Terminal)
Sólido	#14 a #22 AWG
Trenzado	#16 a #22 AWG

Tabla 2.6. Características de cableado necesario para el PLC

El controlador no proporciona alimentación eléctrica de lazo para las entradas analógicas, entonces se debe utilizar una fuente de alimentación eléctrica que coincida con las especificaciones del transmisor, tal como se muestra en la Figura 2.11 .

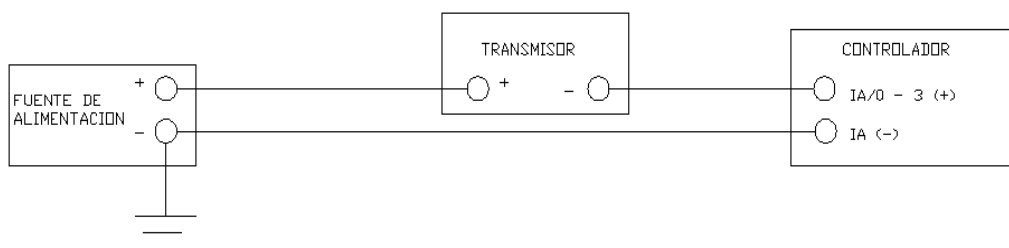


Figura 2.11.- Conexión con las entradas analógicas

Las ventajas principales de este PLC son:

- Programa de 1K pre configurado y memoria de datos de fácil configuración (bit, enteros, contadores, temporizadores, etc.)
- Memoria EEPROM incorporada, retiene todo el programa ladder en caso de pérdida de la fuente de poder, eliminando la necesidad de una batería de respaldo o un módulo de memoria separado.
- Procesamiento rápido permite un tiempo de 1.5 ms por 500 instrucciones del programa.
- Canal de comunicación RS-232 permite una simple conectividad a una computadora personal durante la carga de programas, descarga de programas y monitoreo.
- Contador de alta velocidad incorporado (6.6kHz)
- Filtros de entrada DC ajustables, permiten personalizar los tiempos de respuesta de entrada y rechazo de ruidos.
- Certificaciones en el mercado internacional (CE, C-Tick, UL, c-UL, incluye Clase 1 División 2 Locaciones riesgosas)

2.7.1.- DISEÑO DEL PROGRAMA

Luego de haber definido en detalle todos y cada uno de los elementos físicos (sensores, transmisores, motor, bomba, etc) que conforman el sistema a implementarse, es necesario especificar una secuencia de operación, de tal manera que los tres lazos de control puedan interactuar entre si para

obtener los resultados deseados de manera satisfactoria.

Rutina de Control de Nivel

El lazo de control de nivel tiene un permisivo que es la señal del pressure switch (I:0.3) de suministro de agua. Al activar el pulsador de arranque (I:0.0), a más de encenderse la luz indicadora correspondiente a “funcionamiento”, si hay presión en la línea de suministro, el PLC envía la señal de activación a la válvula de control de nivel, permitiendo de esta manera el ingreso de agua a la cisterna. En el caso de no existir presión de entrada de agua, el programa espera 5 segundos (Timer T4:3) antes de activar el relé de falla de suministro de agua (RFSA, O:0.4) con lo cual se desactiva la salida O:0.0 (luz de encendido) y la rutina concluye.

En condiciones normales de operación, es decir cuando la presión de suministro de agua es suficiente, el pressure switch debería estar activado, por lo tanto

el PLC activa la salida O:0.3 (válvula de control de nivel) y el timer T4:1 con un retardo de 4 seg. Una vez que se cumple este tiempo (4 seg), se incrementa el acumulador del contador C5:2, el mismo que cuenta los ciclos que se demora el nivel de agua en llegar a alto. Si después de 5 ciclos (aproximadamente 20 seg) el switch de nivel alto no ha actuado, se activa la salida O:0.5 que indica falla de la válvula de control de nivel. Por el contrario, si antes de que el contador C5:2 llegue a 5, el switch ya actuó, en este caso se activa un contacto permisivo (B3:1.4) para encender el motor de la bomba, pero esto no quiere decir que la bomba se va a encender en ese instante.

El encendido de la bomba no depende únicamente de la rutina de control de nivel, sino también de la rutina de control de presión. El control de nivel solamente cumple con una de las condiciones requeridas para que la bomba pueda entrar en funcionamiento, las demás condiciones necesarias se explicarán en la rutina de control de presión.

Una vez que la bomba se haya encendido, el nivel de agua de la cisterna debe comenzar a bajar hasta llegar al límite bajo. En ese momento la bomba se apaga ya que la rutina de control de nivel si es mandatoria para el apagado de la bomba. Con esto se asegura que la bomba no trabaje en vacío.

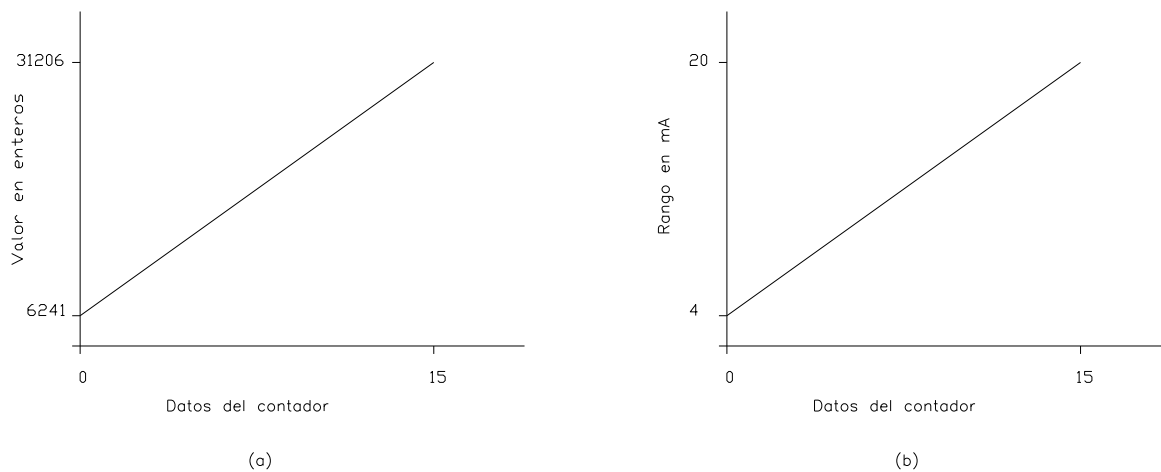
Rutina de Control de Presión

Al igual que la rutina anterior, al accionar el pulsador de inicio (I:0.0) se activa la luz de indicación de encendido (O:0.0) y el contador C5:0 comienza a contar los pulsos producidos por el transmisor de presión (I:0.7). El dato del acumulador de este contador se va almacenando en el registro N7:0 para comprobar si el dato está dentro del rango de 0-15.

Si el dato está dentro del rango, se realiza el acondicionamiento de la señal del transmisor de presión de la siguiente manera:

1. Se multiplica el dato de N7:0 por 10 y se almacena el resultado en N7:1
2. Se multiplica el dato de N7:1 por 100 y se almacena el resultado en N7:2.
3. Se acondiciona el valor contenido en N7:2 con el objetivo de obtener el valor de entrada en mA. Esta acción se la realiza con dos instrucciones de programa; en la primera se multiplica el dato de N7:2 por un factor de 1.6643 y se le suma un offset de 6241 obteniéndose el valor de PT1 en enteros. El resultado se almacena en N7:3.

En la segunda instrucción de escalamiento se multiplica el dato de N7:3 por 0.0006 obteniendo de esta manera el valor en mA del transmisor de presión y este resultado se almacena en N7:4.



Figuras a y b .- Conversión de niveles

Las figuras a y b muestran la conversión de niveles que se realiza con estas dos instrucciones. Con la conversión o acondicionamiento mostrado en la figura (a) se puede manejar una salida analógica del PLC, y de hecho este dato se lo envía a la salida O:0.4 mientras que la conversión de la figura (b) nos sirve para tener una indicación en mA de la señal de entrada en el PLC.

4. Al mismo tiempo que se realiza el acondicionamiento de la señal del transmisor, también se efectúa la corrección de dicha señal. Para esto se almacena el dato que el transmisor envía (I:0.7) directamente al PLC en el registro N7:5.

Para obtener los valores para corregir el error en PT1 se escala el dato de N7:2 multiplicándolo por -0.3946 y sumándole a este resultado un offset de 4773. El resultado final se almacena en N7:6.

5. Se resta N7:6 de N7:5 y se almacena el resultado, que es el valor corregido en enteros, en N7:7 .
6. Se escala este último dato para obtener el valor corregido de PT1 en mA multiplicándolo por 0.006 más un offset de -36. El resultado se almacena en N7:8.

Luego de hacer todas estas operaciones de acondicionamiento y corrección de PT1, se comprueba que el dato obtenido esté dentro del rango mostrado en la figura (a). Además se comprueba si el valor de PT1 está en los límites de baja, alta o muy alta presión, activándose los contactos auxiliares B3:0.3, B3:0.2 o B3:0.6 respectivamente si es el caso.

Si se activa el auxiliar de baja presión (B3:0.3) se da la señal de encendido a la bomba, la misma que se encenderá solamente si el permisivo de la rutina de

control de nivel está habilitado (estas condiciones se describieron en la rutina de control de nivel).

Con la señal de encendido de la bomba (O:0.2), se activa el timer T4:0 con un retardo de 5 seg, que será el tiempo máximo que la bomba esté funcionando sin haber presión en la descarga de la misma. Transcurrido este tiempo, si no ha actuado el pressure switch de la descarga (I:0.6), la bomba se apaga y se activa la salida O:0.6 que indica “falla en la descarga de la bomba”. La salida O:0.6 a su vez activa el auxiliar de parada de emergencia (B3:0.5).

En funcionamiento normal, la bomba se puede apagar por dos motivos: cuando se ha alcanzado el valor de alta presión en el tanque o cuando se llegue al nivel bajo en la cisterna.

En caso de que se produzca una falla para que la bomba no se prenda, o para que tenga que apagarse, se debe accionar el pulsador de reset (I:0.2) luego que se haya restablecido la falla; de lo contrario no se podría iniciar nuevamente el proceso.

Rutina de Control de Temperatura

Para la rutina de temperatura, al igual que en los casos anteriores, el momento de accionarse el pulsador de “Start”, el PLC inicia la adquisición de los datos del transmisor TT1 (I:0.6) y los almacena en la localidad N7:10. Al mismo tiempo se inicia un temporizador (T4:1) con un retardo de 4 seg. y se comprueba que la información del transmisor (dato digital) esté dentro del rango mínimo 6241 y máximo 31206. Si se cumple esta última condición, se activa el contacto auxiliar B3:1.3 con lo cual el temporizador se detiene. Es decir el temporizador T4:1 sirve para comprobar que no existan errores (transmisor fuera de rango, falla en la conexión, etc) con el elemento de medida.

Si el temporizador alcanza el valor prefijado, se activa la salida O:0.7 que es el indicador de falla en los instrumentos del sistema.

En condiciones normales de funcionamiento, luego de adquirir la información del transmisor TT1, se realiza el escalamiento de la misma para obtener la información en grados Celsius. Para esto se multiplica el dato contenido en N7:10 por 0.004 y se le añade un offset de -25; el resultado se almacena en la localidad N7:11.

Se compara el dato de N7:11 con los límites bajo, alto y muy alto de temperatura prefijados que son 20°C, 30°C y 70°C respectivamente. Con estas condiciones se activan los contactos auxiliares B3:1.0 para el límite bajo, B3:1.1 para el límite alto y B3:1.2 para el límite muy alto.

Si se activa el auxiliar B3:1.0 (límite bajo) la niquelina se enciende mediante la salida O:0.1. Esta salida permanece activada hasta que se alcance el nivel alto con lo cual se activa el auxiliar B3:1.1 y se desactiva la salida O:0.1

2.8.- HOJAS TECNICAS DE LOS INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

De acuerdo a la Tabla 2.2 se tiene que la presión en el tanque oscilará entre 10 – 50 psi, mientras que la temperatura variará entre 20 – 40 °C, por lo que se seleccionó un Transmisor de presión de 0 – 16 Bar, Mientras que para la variable de la temperatura se ha escogido una RTD PT-100 con su respectivo termo pozo y además un transmisor de temperatura. En el anexo H, I, J se puede observar las hojas técnicas del transmisor de presión, el RTD, y el transmisor de temperatura respectivamente.

En lo que concierne al tablero de control, este posee tres relés y dos contactores, los relés son de 24Vdc mientras que los contactores son de 110Vac. Las descripciones técnicas de los contactores se observan en el anexo K donde el modelo de dichos contactores es MUFR. Las especificaciones de los tres relés se observan en el anexo L.

Por otro lado para el medidor de termómetro se escogió un termómetro de 10°C a 150 °C, la hoja de datos de este indicador se muestra en el anexo M

Mientras que las especificaciones de los dos manómetros utilizados en el proyecto se encuentran en el anexo N.

En lo referente a la válvula autorreguladora o de control de volumen de aire, la válvula de seguridad, las válvulas check y la electroválvula se pueden observar sus especificaciones en los anexos O, P, Q, R respectivamente.

En la parte del reservorio se tiene un interruptor de nivel para alto y otro para bajo, su especificaciones se muestran en el anexo S, mientras las hojas de datos de los interruptores de presión se observan en el anexo T; por último la hoja de datos de la bomba se observa en el anexo U.

2.9.- COSTOS

Los costos realizados para este proyecto se los ha clasificado en grupos para tener descrito los gastos hechos en cada área. Dichos costos se describen en el anexo V.

CAPITULO III

PUESTA EN MARCHA

La puesta en marcha de este proyecto se la realizó después de haber calculado y dimensionado cada uno de los elementos que forman parte de este equipo. A continuación se detallan cada una de las etapas de la misma:

3.1. CONSTRUCCION

Con respecto a la construcción de este proyecto partiremos del diagrama P&ID (piping and instrumentation diagram) con el objeto de tener una idea completa del equipo elaborado en este proyecto de acuerdo a la figura 3.1.

Como se observa en la figura anterior, este tipo de plano se lo utiliza para mostrar las dimensiones de tubería, descripción de instrumentos y equipos que forman parte de nuestro proyecto, donde cada uno de los elementos están detallados de acuerdo a las normas internacionales.

Mientras que la parte eléctrica del proyecto se la detalla en la figura 3.2 donde se muestran las conexiones de DC, por otro lado las conexiones de corriente alterna se muestra en la figura 3.3.

En cuanto al cableado para una fácil identificación en el tablero de control se ha utilizado una codificación como se muestra en la tabla 3.1.

Cableado DC	Calibre 16 AWG flexible	Cables de color Rojo - Polo Positivo de corriente D.C. Cables de color Negro - Polo negativo de corriente D.C.
Cableado de Instrumentación	Calibre Multipar 22 AWG flexible de 4 conductores con malla	N/A
Cableado A.C.	Calibre 10 AWG flexible	Cable de color Verde – Tierra de corriente A.C. Cable de Color Blanco – Neutro de corriente A.C. Cable de Color Azul – Fase de corriente A.C.

Tabla 3.1. Codificación del cableado del Tablero de Control

Con respecto a la parte mecánica de este proyecto se ha creído conveniente hacerlo de las características que se detallan en la figura 3.4, en vista de que el uso del mismo será con objeto didáctico. En la siguiente figura se presenta un gráfico general de la parte mecánica del proyecto y por otro lado en el anexo W se muestran fotografías de la parte mecánica del skid de este proyecto.

Como se observa en la figura 3.4. en el gráfico del lado izquierdo se presenta la parte frontal del skid, mientras que en la parte derecha superior se tiene una vista superior del skid donde se detallan las dimensiones de la base donde se encuentran montados el tablero y el soporte del tanque, las dimensiones del tablero de control y del tanque de 20 litros de capacidad. Mientras que la parte inferior derecha se muestra una vista superior de los soportes del tablero de control y del tanque principal los mismos que están montados sobre la base principal.

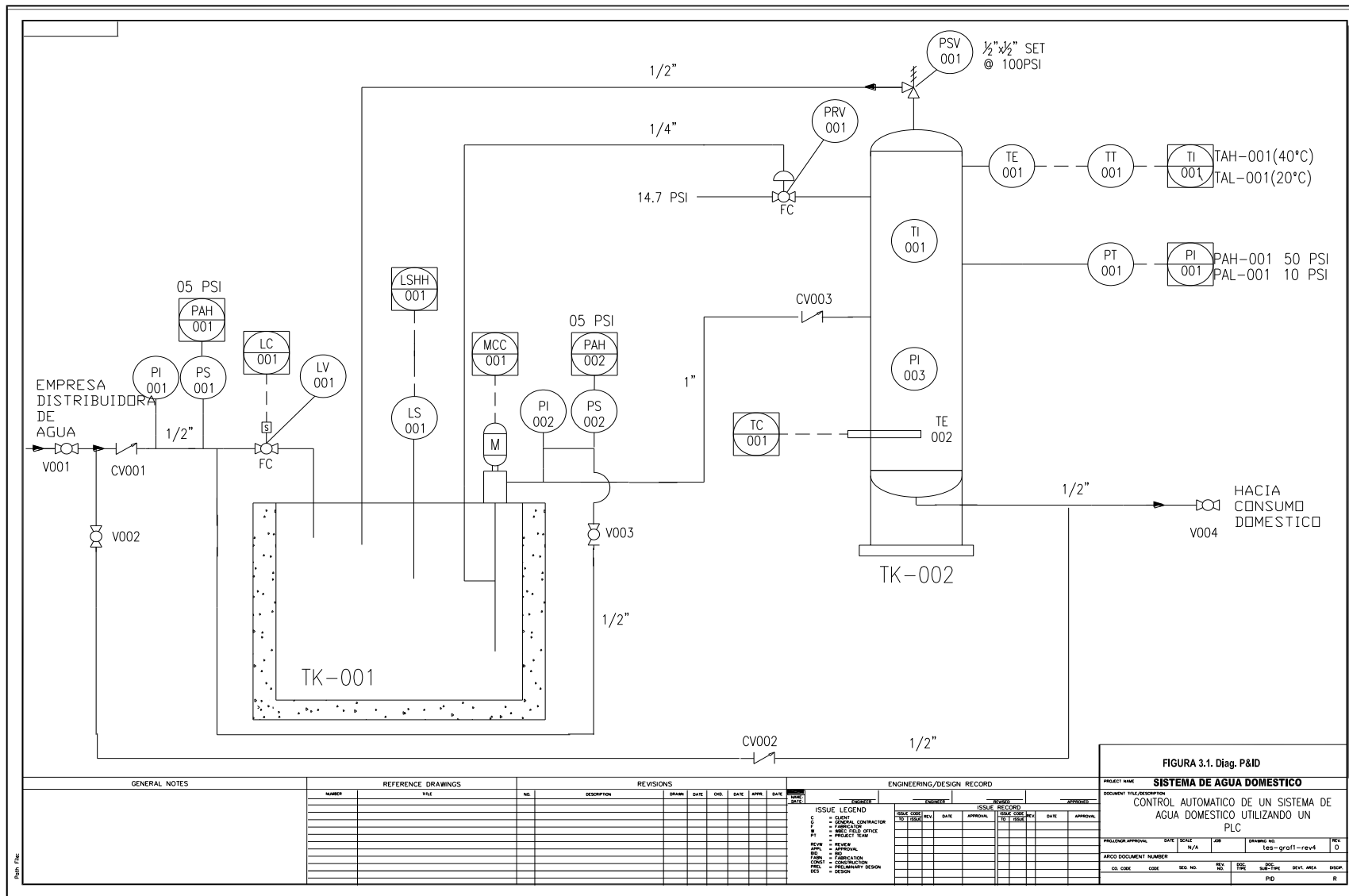


Figura. 3.1

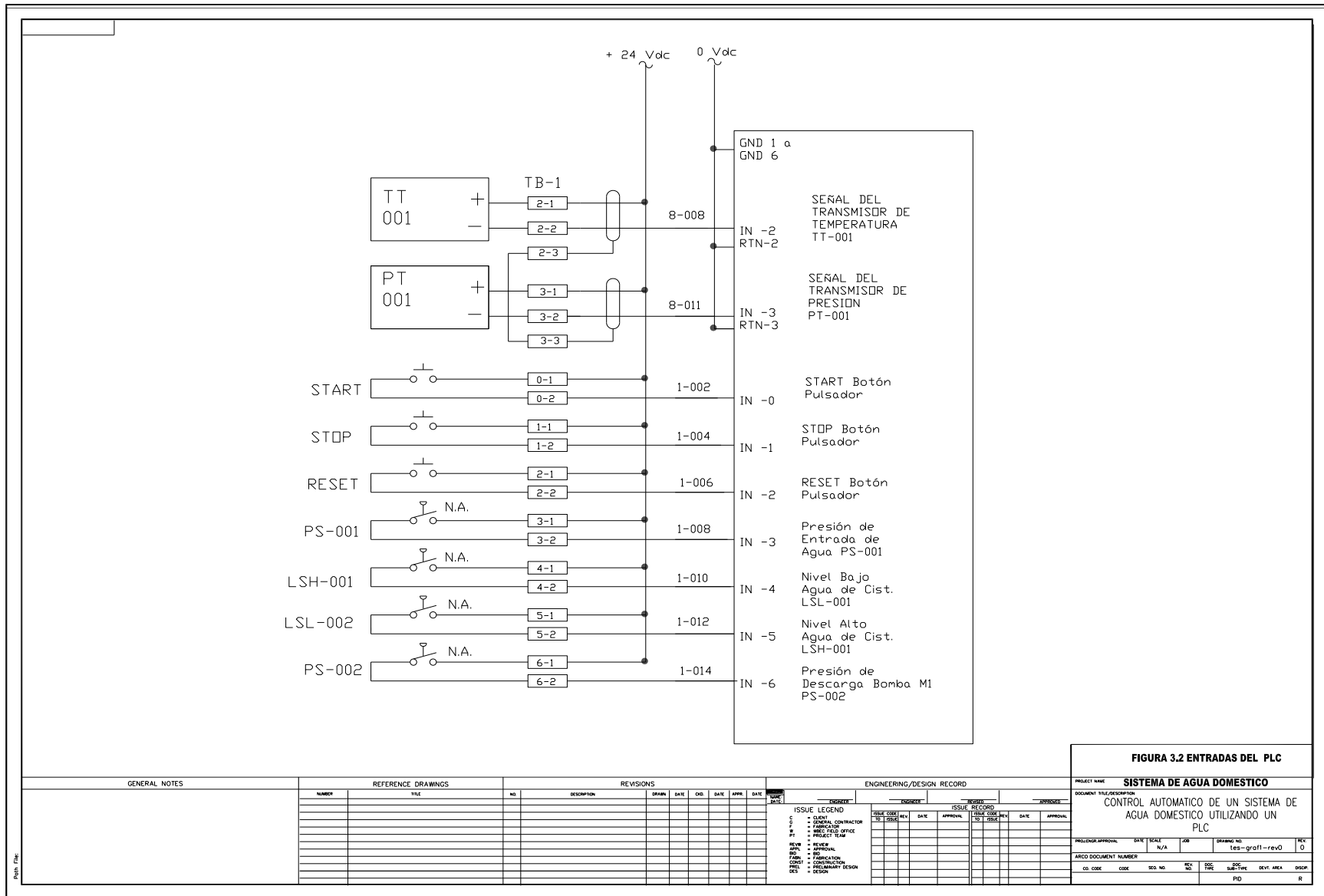


Figura. 3.2

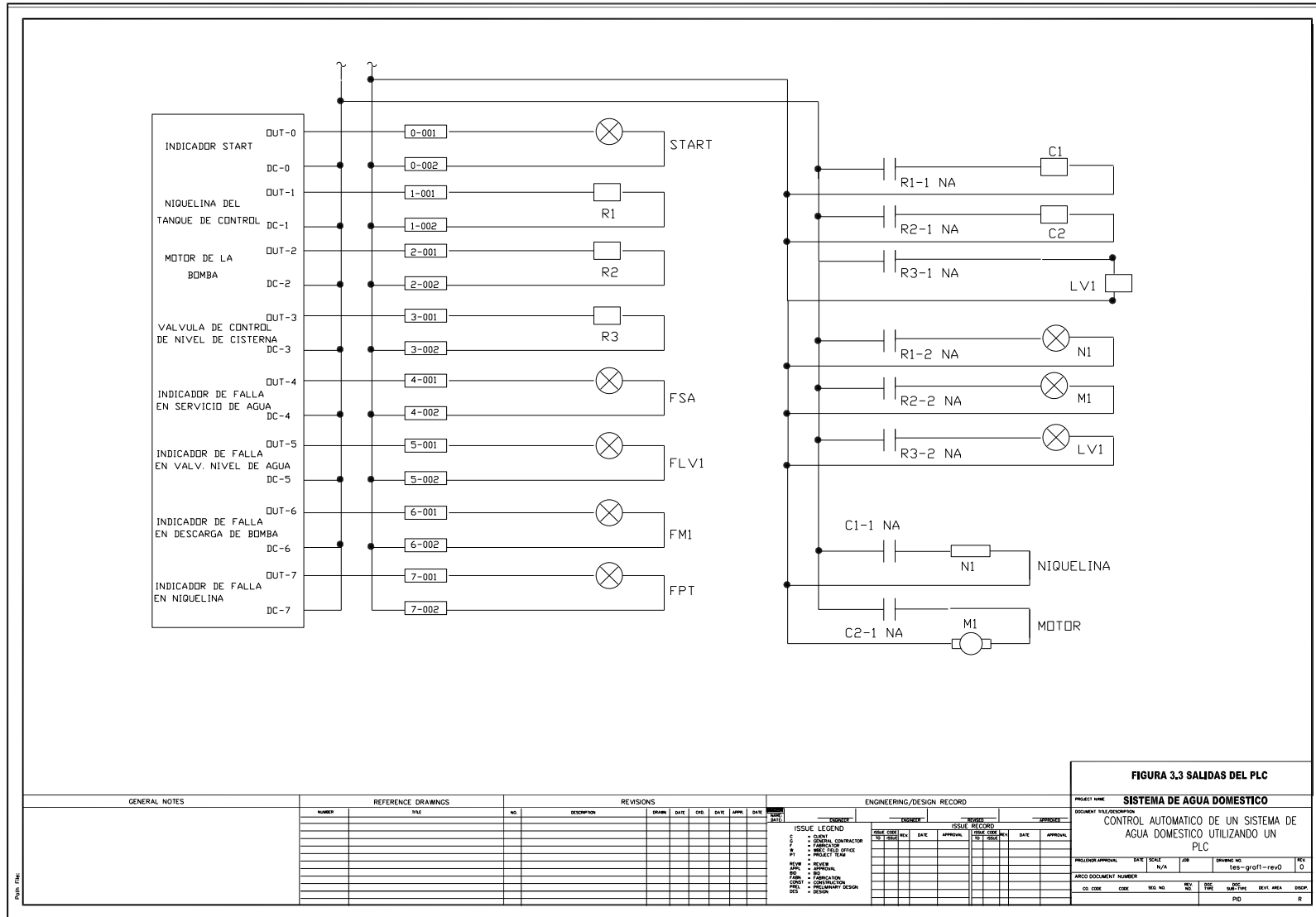


Figura. 3.3

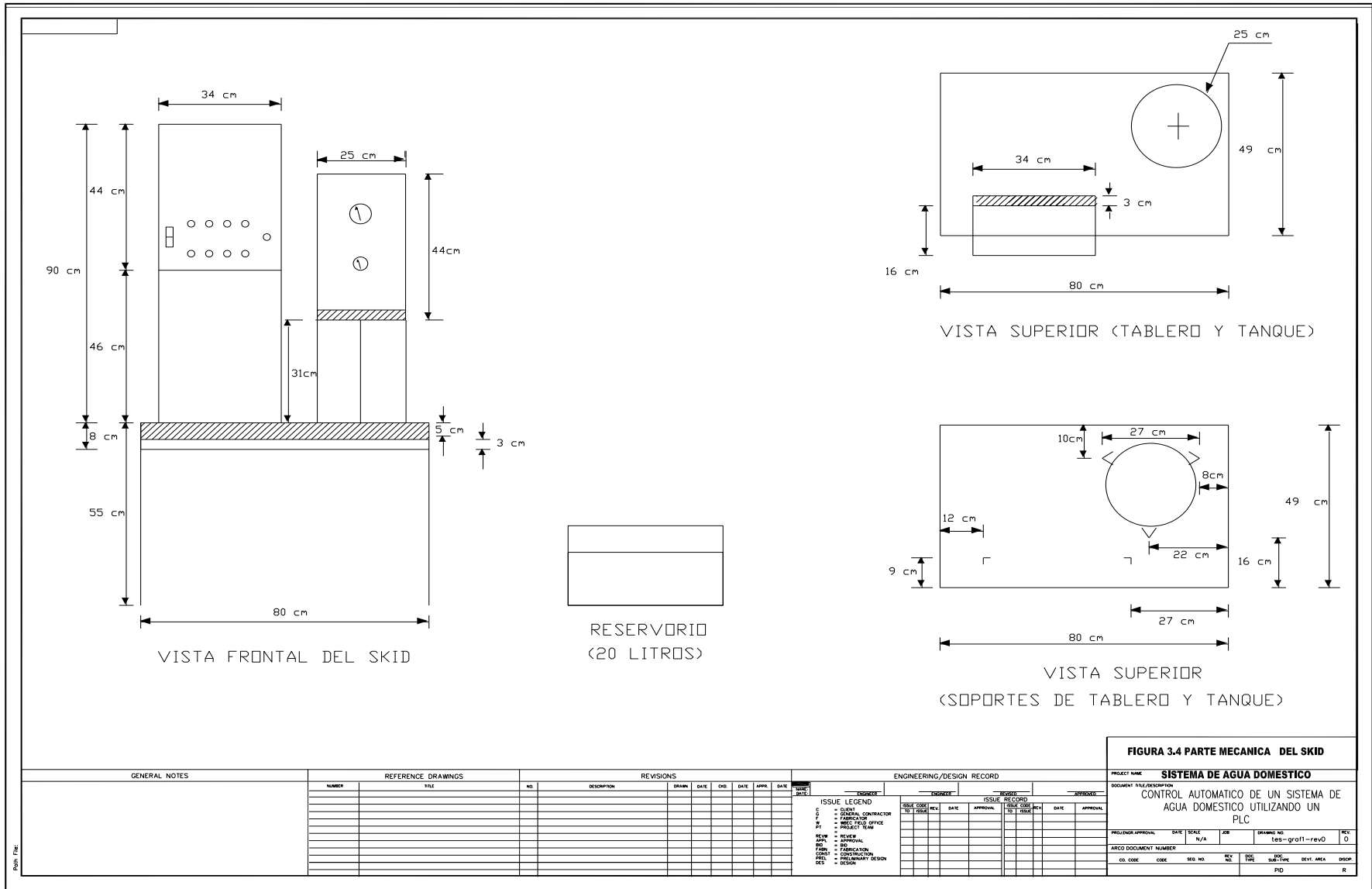


Figura. 3.4

3.2. CALIBRACIÓN

Debido al avance de la tecnología en lo que se refiere a automatización industrial cada día es mas importante la exactitud de los instrumentos y elementos de control final ya que la automatización ayuda a mejorar la calidad del producto final de un proceso ahorrando dinero, horas-hombre, riesgos humanos, riesgos hacia la propiedad, gastos por mantenimiento correctivo, etc. Todo la tecnología usada para lograr lo expuesto perdería su utilidad si los dispositivos que lo conforman (instrumentos, válvulas, PLC, etc.) carecen de exactitud y precisión, para lo que es necesario contar con un procedimiento que servirá como guía para la prueba y calibración de instrumentos y válvulas. A continuación se detallan los procedimientos de calibración para cada uno de los elementos utilizados en este proyecto.

a.- Indicadores de Presión (Manómetros)

- Armar el circuito hidráulico como indica la figura 3.5

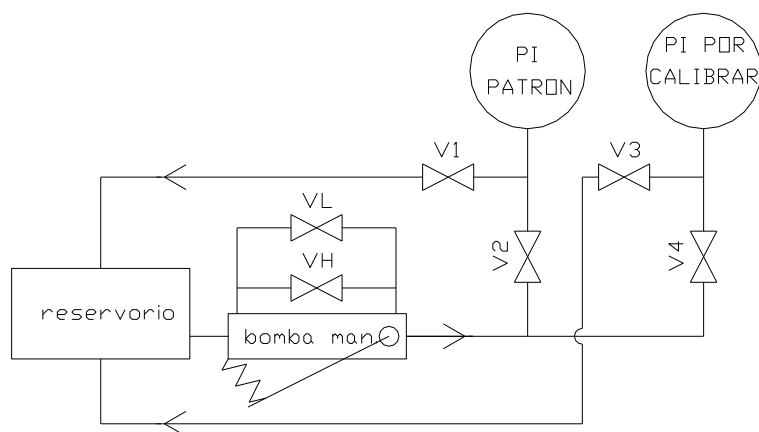


Figura 3.5.- Circuito hidráulico para prueba de presión en manómetros

- Verificar el ajuste y el teflón en las roscas para evitar fugas, además que no exista presión en la descarga de la bomba ni en las líneas, para empezar tomando las mediciones desde cero presión.
- Anotar la lectura inicial e ir subiendo la presión al 25, 50, 75 y 100% del rango del manómetro a que se esta probando y anotar las lecturas de los instrumentos en el casillero correspondiente en la hoja de calibración para cada valor de porcentaje.
- Proceder a bajar la presión desde el 100, 75, 50, 25 y 0% del rango del manómetro que se esta probando y anotar las lecturas de los instrumentos en el casillero correspondiente en la hoja de calibración para cada valor de porcentaje.
- Con los valores anotados hacer los cálculos del error porcentual con la formula:

$$\%Error = 100 \times \frac{(Instrumentoprobado - Instrumentopatrón)}{RangoInstrumentoprobado} \quad (Ec. 3.1)$$

- Si el error es inferior al $\pm 1\%$ en todos los casos, se considera calibrado al instrumento.
- Si el error es mayor al $\pm 1\%$, entonces este instrumento debe ser calibrado. En la figura 3.6 se muestra los errores que podrían encontrarse en el instrumento,

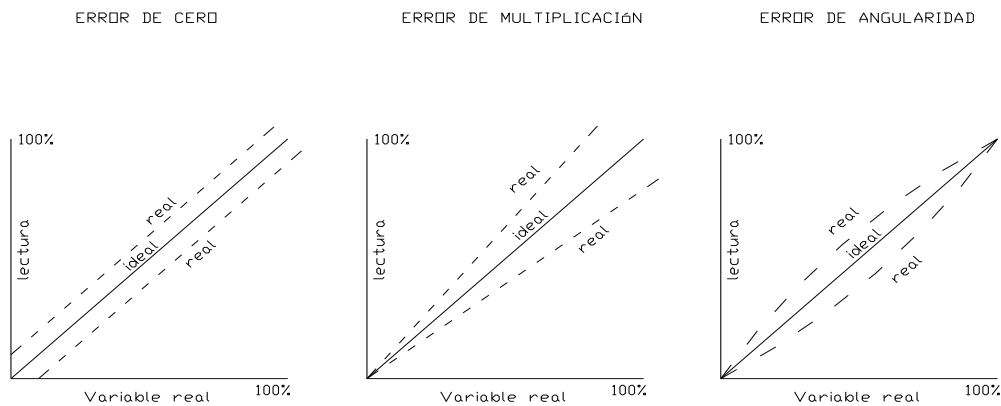


Figura 3.6.- Errores de un instrumento

Después de haber armado el circuito de prueba del manómetro se tienen la parte de la calibración propiamente dicha, a continuación se muestran los pasos a seguir para obtener la calibración de dichos instrumentos.

a) Analizando los gráficos de la figura 3.6 y comparándolo con el gráfico que resulte de los datos del manómetro probado (figura 3.7) se puede diagnosticar si la tendencia del error es:

- Error de cero
- Error de multiplicación
- Error de angularidad
- una mezcla de algunos de ellos.

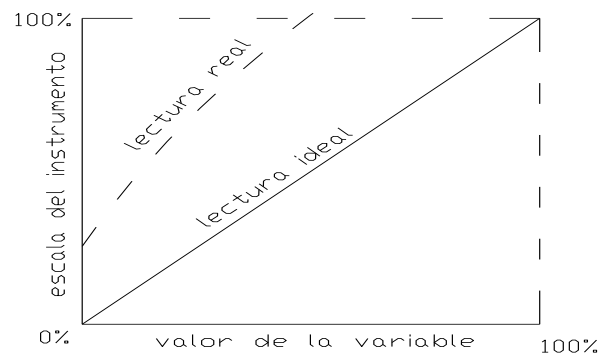


Figura 3.7.-Gráfico del instrumento a calibrar.

b) Una vez diagnosticado el error procedemos a destornillar la tapa del manómetro que se va a calibrar para ver los mecanismos que se muestran en la figura 3.8.

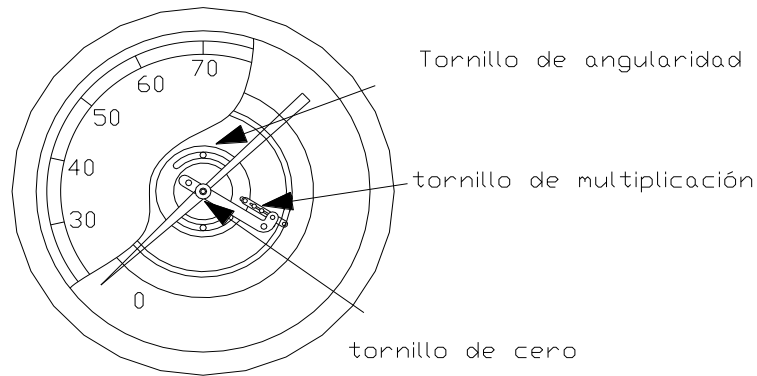


Figura 3.8.- Tornillos de ajuste de un manómetro.

c) Disminuir la presión hasta llegar al 0% del rango, girando el “tornillo de cero” movemos la aguja hasta que señale el 0% de la lectura. Ver figura 3.9.

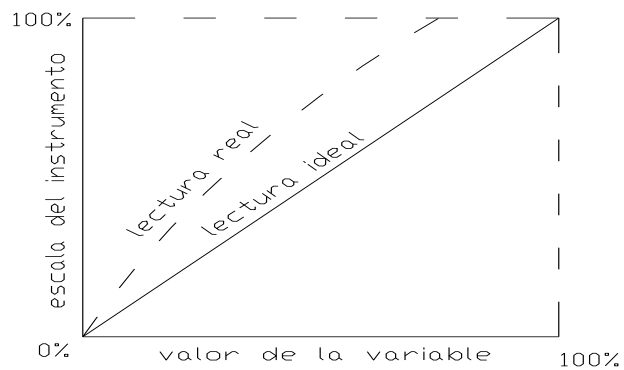


Figura 3.9.-Calibración de cero.

d) Fijar la presión en el 100% del rango y girar el “tornillo de multiplicación” hasta que la aguja marca el 100% de la lectura, Ver figura 3.10.

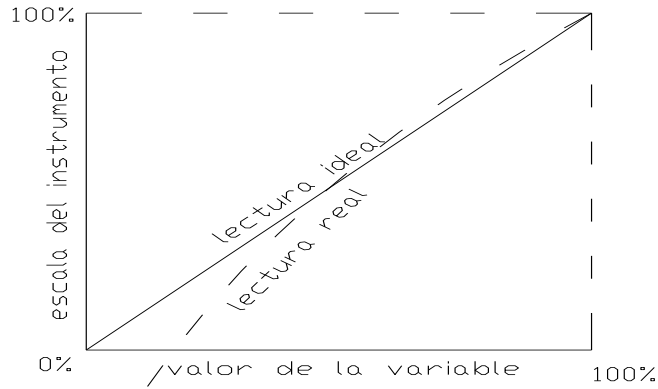


Figura 3.10.-Calibración de span.

e) Repetir los pasos anteriores c y d y así sucesivamente hasta que la aguja marque las lecturas correctas en los valores de 0% y 100%, ver figura 3.11.

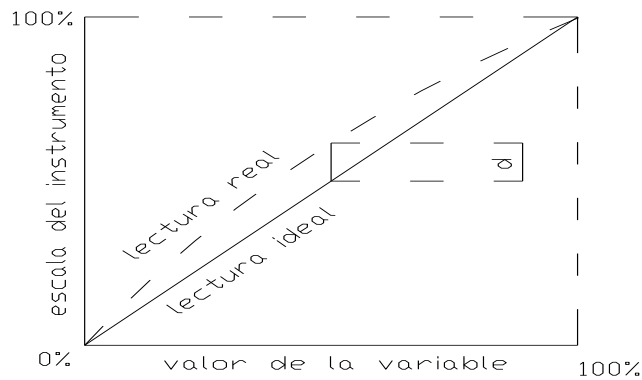


Figura 3.11.-Calibración de cero y span

f) Colocar la presión al 50% del rango y medir la diferencia que existe entre el valor ideal y el valor leído de la presión, luego girar el “tornillo de angularidad” hasta que la lectura se desvíe 5 veces la diferencia medida, ver figura 3.12.

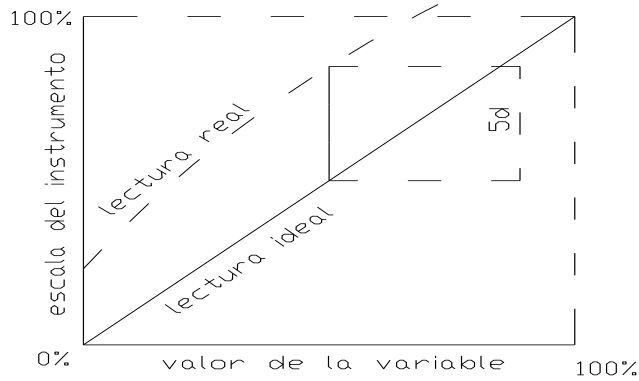


Figura 3.12.- Calibración de cero y span

g) Repetir los pasos c, d y e hasta conseguir las lecturas deseadas del instrumento, se puede hacer un ajuste de angularidad (paso f) de ser necesario y volver a repetir los pasos c, d y e.

h) Una vez calibrado el instrumento como se muestra en la figura 3.13 volver a armar el circuito de prueba como se indica en la figura 3.5 y verificar si el instrumento tiene un error no mayor al $\pm 1\%$, en caso de que esto suceda el instrumento estará calibrado, caso contrario se debe repetir el procedimiento de calibración nuevamente.

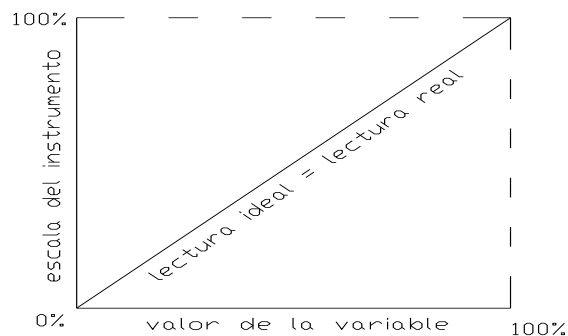


Figura 3.13.- Instrumento calibrado.

b.- Indicadores de temperatura (Termómetros)

a) Determinar un delta de temperatura de 25% del rango que vamos a medir, para ello, con el indicador patrón anotar la temperatura ambiente, anotar la temperatura máxima del instrumento y proceder con la siguiente ecuación:

$$dT = \frac{T_{\max} - T_{\text{amb}}}{4} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

*Ejemplo: si la temperatura ambiente es 86°F y la temperatura máxima del instrumento es 250°F, entonces tenemos como delta de temperatura de $(250-86)/4$ °F = 41°F

b) Armar el circuito de calibración según la figura 3.14.

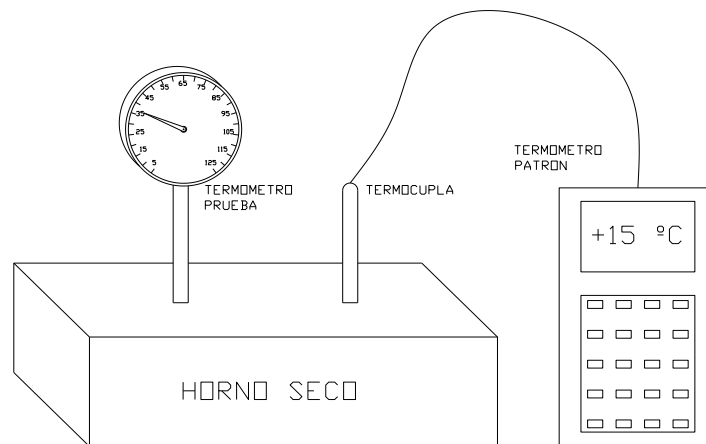


Figura 3.14.- Horno seco para calibración de termómetros.

c) Tomar la temperatura ambiente como la primera lectura, luego encender el "Horno seco portátil" y fijar un set 25% superior a la temperatura ambiente, según

el ejemplo anterior sería $86^{\circ}\text{F}+41^{\circ}\text{F}=127^{\circ}\text{F}$, esperar unos minutos a que la lectura se estabilice, la tercera lectura que corresponde al 50% sería $127^{\circ}\text{F}+41^{\circ}\text{F}=168^{\circ}\text{F}$, luego al 75%, que sería $168^{\circ}\text{F}+41^{\circ}\text{F}=209^{\circ}\text{F}$ y finalmente $209^{\circ}\text{F}+41^{\circ}\text{F}=250^{\circ}\text{F}$.

d) Proceder a bajar la temperatura desde el 100, 75, 50, 25 y 0% del rango establecido y anotar las lecturas de los instrumentos en el casillero correspondiente en la hoja de calibración para cada valor de porcentaje.

e) Con los valores anotados hacer los cálculos del error porcentual con la formula:

$$\text{i. } \% \text{Error} = 100 \times \frac{(\text{Instrumento probado} - \text{Instrumento patrón})}{\text{Rango Instrumento probado}} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

ii. *Ejemplo: si la lectura del instrumento probado es 173°F , la lectura del instrumento patrón es 168°F y el rango del instrumento es 250°F ($250^{\circ}\text{F}-0^{\circ}\text{F}$), el resultado será: $((173^{\circ}\text{F}-168^{\circ}\text{F})/250^{\circ}\text{F}) \times 100\% = 2\%$.

f) Si el error es inferior al $\pm 1\%$ en todos los casos, se considera calibrado al instrumento.

g) Con los valores obtenidos, realizar un gráfico de la temperatura vs el porcentaje de la variable para diagnosticar el estado del instrumento, dependiendo del resultado proceder a calibrar el instrumento girando el tornillo de calibración que se indica en la figura 3.15.

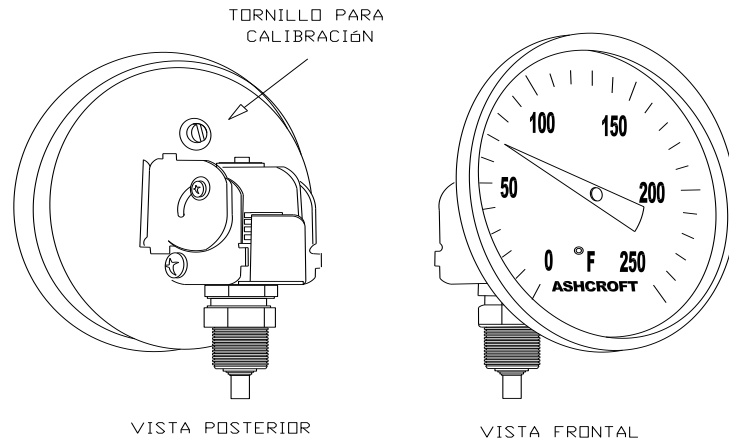


Figura 3.15.- Tornillos de ajuste de un termómetro bimetalico

h) Una vez que haya finalizado la calibración o si los resultados indican que no se requiere de calibración volver a repetir los pasos del “a” al “g” pero esta vez anotando los resultados en el lado de la hoja de datos.

c.- Transmisor de Presión.

a) Armar el circuito como se indica en la figura 3.16.

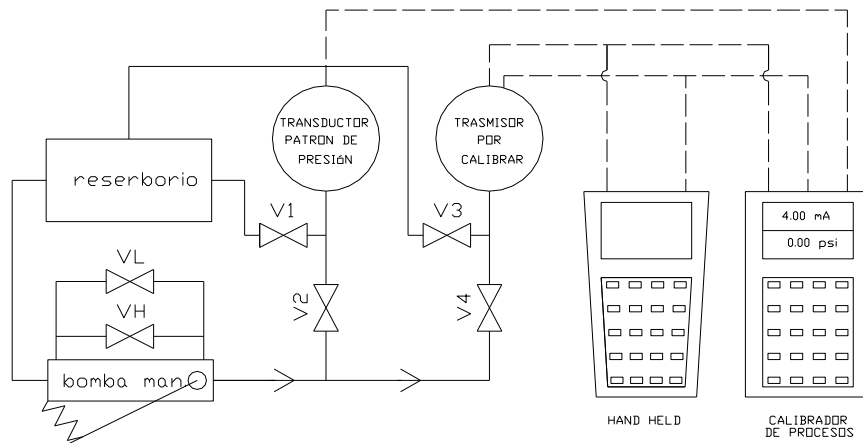


Figura 3.16.- Circuito de calibración para transmisores de presión.

- b) Verificar que la bomba manual y las líneas de conexión al transductor y transmisor estén despresurizadas.

- c) Encender el calibrador de procesos y ponerlo en la triple función de fuente para el bucle con 24 vdc , medidor de corriente en mA y medidor de presión en las unidades que se utilicen en el proyecto.

- d) Verificar que el transmisor este energizado y funcionando correctamente, es decir que el display esté encendido, que proporcione lecturas estables, etc.

- e) Encender Hand Held, ponerlo en inicio y navegar en él para elegir la marca y modelo del transmisor que debe estar en el software interno, esperar que lo reconozca y aparezca el menú de inicio.

- f) Navegando en el Hand Held configurar los datos mas importantes como es el TAG, la fecha, rango, setpoint, etc. de acuerdo a lo que pida el software, para esto se puede ver el diagrama de navegación que viene impreso en el manual de cada transmisor.

- g) Con todo despresurizado navegar en el transmisor mediante el Hand Held e ir a calibración de cero, setear para el valor de cero de la variable el cero del transmisor.

- h) Elevar la presión hasta el 100% del rango y navegar en el transmisor hasta encontrar calibración de span, setear el valor como span.

- i) Volver a despresurizar todo el circuito de presión.

- j) Ir aumentando la presión desde el 0 al 100%, anotar las mediciones en cada valor de porcentaje tanto los valores de presión como los de corriente.
- k) Bajar la presión desde 100% hasta 0% y anotar los valores de presión y corriente que indique el calibrador de procesos.
- l) Hacer un gráfico de la presión vs el porcentaje de la variable de entrada y diagnosticar el error existente.
- m) Si existe error repetir los pasos g y h , caso contrario ir al siguiente paso.
- n) Desarmar el circuito

d.- Interruptores de Presión.

- a) Armar el circuito como se indica en la figura 3.17.

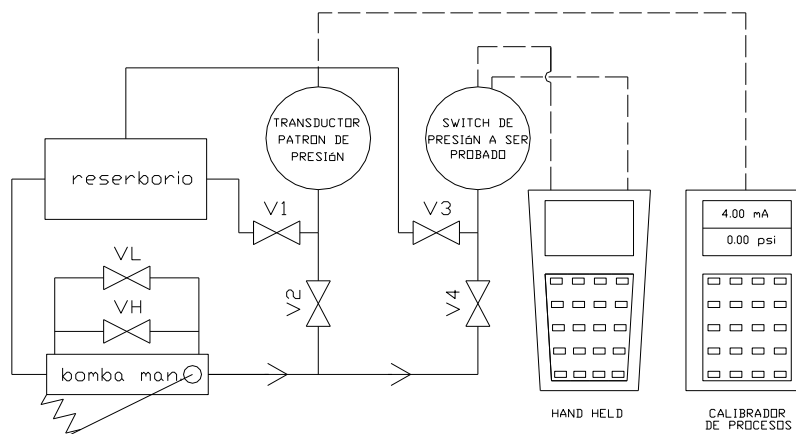


Figura 3.17.- Circuito de calibración para interruptores de presión.

- b) Verificar que la bomba manual y las líneas de conexión al transductor y trasmisor estén despresurizadas.
- c) Encender el calibrador de procesos y ponerlo en la función de medición de presión.
- d) Aumentar la presión lentamente hasta que los contactos del switch cambien de posición y tomar las mediciones de presión en ese punto.
- e) Verificar que la presión a la que cambia de posición los switch sea igual al set-point solicitado, caso contrario proceder a mover la tuerca de set del instrumento y volver a repetir los dos últimos pasos.
- f) Si esta ajustado el set terminar la prueba.
- g) Desarmar el circuito

e.- Transmisor de Temperatura

- a) Armar el circuito como se indica en la figura 3.18.

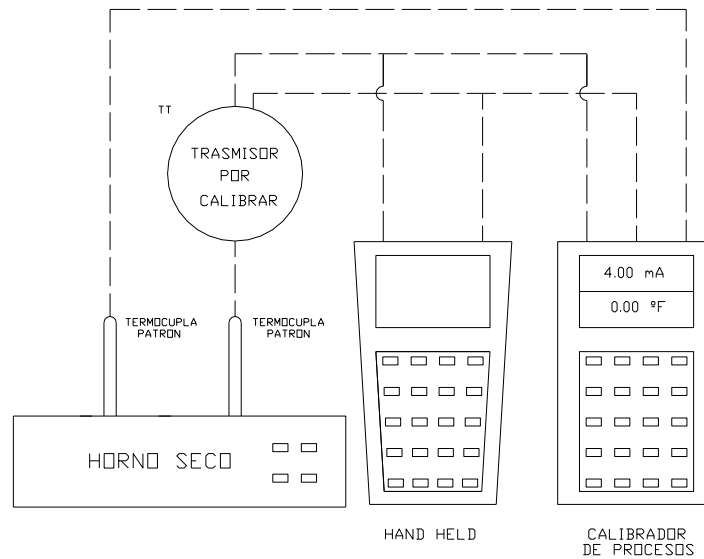


Figura 3.18.- Circuito de calibración para transmisores de temperatura.

- b) Encender el calibrador de procesos y ponerlo en la triple función de fuente para el bucle con 24 vdc , medidor de voltaje mV o resistencia (dependiendo si es RTD o termocupla) y medidor de temperatura en las unidades que se utilicen en el proyecto.
- c) Sin encender el horno tomar la primera lectura de temperatura del instrumento patrón como los valores de voltaje o resistencia y de temperatura del calibrador de procesos, luego ir subiendo la temperatura del horno y tomar unas 5 medidas en valores inferiores al 70% del rango del elemento de temperatura, esto para no someter a desgaste por uso excesivo del elemento.
- d) Reduciendo la temperatura deteniéndose a tomar lecturas en los mismos valores que se tomaron en el paso anterior.
- e) Utilizando los datos tomados en el proceso hacer un gráfico de la temperatura del horno vs la resistencia o el voltaje del elemento de temperatura según sea el caso.
- f) Comparar los valores tomados con los valores estándar para cada tipo de elemento de temperatura según sea su tipo y modelo.

- g) Diagnosticar si es que éste elemento cumple con los estándares de precisión, caso contrario desecharlo y reemplazarlo por uno que sí cumpla.
- h) Desarmar el circuito.

f.- Interruptor de Nivel

- a) Arme el circuito como indica la figura 3.19.
- b) Inicialmente el recipiente debe estar vacío la válvula V1 cerrada y la V2 abierta.
- c) Para mayor detalle ver el diagrama del manual del instrumento emitido por el fabricante ahí se podrá observar los contactos de los switch de alto y bajo nivel y de acuerdo a esto terminar las conexiones utilizando un multímetro.

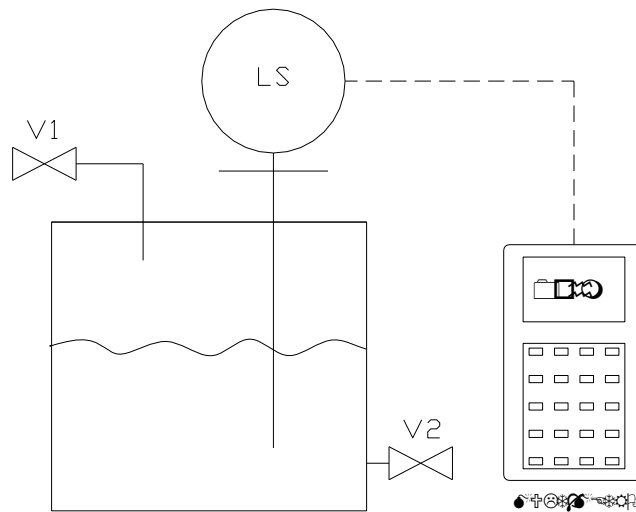


Figura 3.19 . Circuito de Calibración para interruptores de nivel

- d) Poner y armar de acuerdo a la posición de ohmios o continuidad del multímetro.
- e) Energice el circuito mediante el ohmetro y tome las lecturas de la resistencia de los contactos de alto y bajo nivel.

- f) Cierre la V2 y abra lentamente la V1 para permitir que entre fluido (puede ser agua) al recipiente y observe el comportamiento del elemento primario de medición (puede ser un flotador, desplazador ,etc.)
- g) Verifique que a medida que sube el nivel de agua el elemento primario se desliza provocando que los switch cambien de posición (éste comportamiento va a depender del tipo de elemento primario) y a note las lecturas del ohmetro tanto del switch de alta como de baja .
- h) Observe la hoja de datos y verifique que el rango de valores a los que cambia la posición de los switch coincida con lo requerido en ésta.
- i) Si los switch no cambian de posición al cambiar el nivel o si la resistencia de éstos al cerrarse es muy grande hay que reemplazarlos con nuevos luego volver a realizar el procedimiento de prueba.
- j) Desarmar el circuito, guardar todas las cosas en su lugar y limpiar el área de trabajo.

3.3.- ARRANQUE

Antes del de hablar de la operación del equipo es estrictamente necesario el realizar una serie de pasos para verificar que todos los instrumentos y demás elementos que conforman este equipo se encuentran listos para ser operados.

a.- Hardware

- De acuerdo al Diagrama P&ID de la figura 3.1, verificar que todos los elementos mencionados en el mismo se encuentren físicamente colocados en el skid.
- Verificar que todos los instrumentos hayan sido calibrados previamente
- Verificar que todos los instrumentos se encuentren correctamente ajustados o empotrados.
- Verificar que las tuberías se encuentren correctamente ajustadas, de tal manera que no existan fugas en el futuro.

- Verificar que los cables de los instrumentos se encuentren en buen estado.
- Verificar que el cableado del tablero de control se encuentre en buen estado.
- Realizar pruebas de cables esto implica continuidad y aislamiento,
- Verificar que los cables del tablero de control se encuentren correctamente ajustados en las borneras de las regletas de conexiones.

b.- Software

Inicialmente el software que está cargado en el PLC se lo realizó en diferentes etapas como son las siguientes:

- Lazo de Control de Nivel
- Lazo de Control de Temperatura
- Lazo de control de Presión.

Consecuentemente se debe realizar una prueba de escritorio para uno de los lazos enumerados anteriormente:

- Realizar una prueba de escritorio del control de nivel
- Realizar una prueba de escritorio del control de temperatura
- Realizar una prueba de escritorio del control de presión.
- Posteriormente el programa se lo compiló en un solo archivo como se muestra en el anexo X.
- Realizar varias pruebas de simulación del programa en el computador antes de bajarlo al PLC.
- Bajar el software al PLC.

3.4. OPERACIÓN

En lo concerniente al equipo de este proyecto a continuación se detalla la operación normal que de este equipo:

- a. Debido a que este equipo nos va a servir para controlar el nivel, presión y temperatura de agua es necesario conectarlo a la red de agua municipal mediante una manguera a la boquilla de entrada. La válvula que nos permitirá el paso del suministro de agua potable en el skid del proyecto es la válvula V001. Por otro lado la válvula V002 debe permanecer cerrada ya que esta se lo utilizaría solamente como un bypass a todo el proceso es decir enviar directamente el fluido de la entrada a la salida del proceso.
- b. Es importante realizar el cebado de la bomba con el objeto de evitar el recalentamiento de la bomba en el momento del arranque es decir cuando comienza a succionar la misma. La válvula V003 debe permanecer abierta un tiempo aproximado de 7 segundos, dicho tiempo será suficiente para cebar la bomba, posteriormente cerrarla.
- c. Activar el breaker principal para que todo el equipo este energizado y proceder a pulsar el botón de inicio del tablero de control (START).
- d. Verificar que el proceso cumpla con lo siguiente:
 - Inicialmente debe estar encendido la lámpara de arranque (START) y la lámpara de falla en el suministro de agua potable (FSA), puesto que aún no ha entrado agua al reservorio.
 - Luego se debe encender la lámpara de “válvula de nivel” LV001 dicha lámpara es denominada en el tablero como LV1 , esto nos dirá cuando se envió energía a la solenoide de la electro válvula que permite el paso del fluido proveniente del suministro de agua hacia el reservorio del skid TK-001.
 - Dentro del reservorio el agua subirá de nivel hasta que el flotador active el switch de nivel alto, que su vez provocará que se apague la lámpara de válvula de nivel LV1 provocando que se desenergice la electroválvula de alimentación de agua.

- Luego de unos instantes se encenderá la lámpara de Bomba M1 que indica que ésta se encuentra energizada y debe empezar a bombear agua hacia el tanque metálico de presión TK002 y efectuarse el calentamiento del agua.
- En la descarga de la bomba existe un switch de presión PS002 que nos va a indicar si en la descarga de la bomba se eleva la presión debido al paso de agua, de no ser así luego de un tiempo que lo determina un temporizador programado en el PLC provoca un apagado general y para volver a empezar es necesario presionar el botón de reestablecer en el tablero de control (RESET); pero antes resolver el problema que provocó dicho apagado.
- Si la bomba trabaja normalmente o ya se corrigió el problema la presión en el tanque metálico TK 002 cerrado se irá elevando a medida que éste se llene de agua, a la vez en el reservorio el nivel de agua irá bajando hasta que la bomba de agua se apague o el switch de nivel bajo active el control de nivel que se explicó antes.
- Cuando la presión en el tanque haya llegado al valor del set-point guardado en el PLC, la bomba se apagará como también la lámpara de la bomba M1, entonces se encenderá la lámpara de la niquelina N1, la misma que muestra que la niquelina se ha encendido y comienza a trabajar para calentar el agua del tanque cerrado Tk002, debido a la temperatura la presión puede elevarse a niveles críticos antes de que la temperatura haya alcanzado su set-point, por lo que existe una válvula de seguridad o alivio en la parte superior del tanque PSV002, dicha válvula tiene un set establecido de presión, entonces cuando la presión del tanque se eleve a igual o mayor presión de seteo, ésta válvula se abrirá permitiendo que se despresurice el tanque Tk002 hasta bajar de éste set y provocando que la válvula se vuelva a cerrar.
- Con la presión debidamente controlada mediante la bomba de agua, la válvula de alivio y una válvula adicional autorregula que controla la cantidad de aire dentro del tanque la temperatura irá subiendo debido a que la

niquelina esta energizada hasta que llegue al set-point de temperatura, cuando se desconectará apagando también el foco de “niquelina”.

- En este punto ya tenemos un nivel adecuado de agua en el reservorio Tk001, la presión del agua en el tanque cerrado requerida a la temperatura seteada en el PLC, y esto permitirá que se abra una electroválvula en la descarga que alimentará a la red de agua potable para una vivienda o una industria, esto lo definirá la capacidad de procesamiento de agua del sistema y las necesidades del propietario.

3.5. MANTENIMIENTO

El mantenimiento puede ajustarse al siguiente cronograma como se presenta en la siguiente tabla:

DETALLE	PERIODO DE MANTENIMIENTO
PARTE MECANICA	
Ajuste de soportes (tornillos y tuercas) del skid	Cada año
Ajuste de roscas de instrumentos	Cada año
Ajuste de tuberías	Cada año
PARTE ELECTRICA & INSTRUMENTACION	
Ajuste de cableado en regletas de conexiones del tablero de control	Cada seis meses
Cambio de lámparas indicadoras del tablero de control	Cada año
Calibración de instrumentos	Cada dos años
SOFTWARE	
Descarga de software al PLC	Cada dos años

Tabla 3.2.- Cronograma de Mantenimiento.

CAPITULO IV

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Como se puede observar éste equipo ha sido diseñado y construido con fines didácticos por lo que dependiendo de la aplicación se lo puede hacer una serie de modificaciones que influirían directamente en el costo, capacidad y rendimiento.
- Las mejoras que este proyecto podría tener pueden ser las siguientes:
- Monitoreo desde un computador central utilizando el puerto de comunicación que posee el PLC.
- Aislamiento térmico al tanque TK002 para alargar el tiempo de conservación de temperatura del fluido.
- Control de presión de agua reemplazando la válvula autorregulada por una válvula controlada.
- Control de temperatura mediante el control de potencia hacia las niquelinas.
- La electro válvula LV001 del diagrama P&ID de la figura 3.1 permitirá el paso del fluido proveniente del suministro de agua potable hacia el reservorio TK001. Dicha solenoide se activará luego de que el interruptor de presión PS001 haya enviado la señal al PLC para que este a su vez energice a la electro válvula.
- El motor de la bomba será activado por una señal generada por el PLC, la misma que se activará después de que el interruptor de nivel LS001 de alto envió una señal al PLC indicado que el reservorio alcanzado su nivel alto.

- El fluido que proviene de la descarga de la bomba está conectado con la entrada del tanque del proceso TK002 que es donde se llevará a cabo el proceso de control de temperatura y presión.
- La válvula autorregulada PRV002 es la encargada de mantener la cantidad de aire suficiente en el tanque TK002 para que este presurice al mismo y provoque que el fluido salga a presión.
- El transmisor de presión se comunica con el PLC para informar por medio de una señal de 4 – 20 mA sobre la presión que se encuentra en el tanque del proceso TK002
- Con respecto al control de temperatura, la niquelina se encenderá o apagará de acuerdo a la definición del PLC que a su vez será informado por el transmisor de temperatura sobre lo que está ocurriendo en el tanque.
- La válvula PSV001 se la ha colocado por seguridad está se encargará de descargar la presión excedente que se pudiera presentar en el tanque Tk002 en caso de que la válvula autorreguladora falle. Dicho exceso de presión será descargado en el reservorio TK001
- Se han colocado válvulas check con el objeto de evitar el retorno de los fluidos como son: CV001, CV002, CV003.
- El proyecto posee un bypass que puede ser habilitado por medio de la apertura de la válvula V002 en caso de que el equipo entre en mantenimiento.
- Se recomienda realizar el cebado de de la bomba por medio de la apertura de la válvula manual V003, el cebado de la bomba es necesario para evitar el calentamiento de la bomba.
- Se recomienda cumplir con el cronograma de mantenimiento del equipo para no acortar el tiempo de vida útil del equipo.
- El equipo de este proyecto ha sido concebido con fines didácticos con el objeto de mostrar la filosofía de construcción de un equipo de similares características en la industria real.

4.2.- BIBLIOGRAFIA

- **LL. KOSOW, “MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES”, Primera edicion , Editorial reverté s.a., España 1982.**
- **SOR, “General catalog for process instrumentation, Kansas-EEUU**
- **WIKA Instrument Corporation, “Product Catalogo 550”, Georgia-EEUU**
- **SMAR, “INDUSTRIAL AUTOMATION”, book 2004”, Houston-EEUU**
- **Allen-Bradley, “ Controles Industriales”, publicacion A113-CA004A-ES-P- mayo 2001,Barcelo-España.**
- **B. W. Haywood: “Ciclos Termodinámicos de Potencia y Refrigeración” Segunda Edición, Editorial Limusa, México 1995.**
- **Luces M. FaulKenberry: “Introducción a los Amplificadores Operacionales con Aplicaciones ACI Lineales”, Primera Edición, Editorial Limusa, México 1992.**

ENLACES

- <http://www.ascovalve.com>
- <http://www.kingsolar.com/catalog/mfg/other/4030e.html>
- http://www.conbraco.com/products/safety/techtemplate_1.asp
- <http://www.kasuga-ew.co.jp>
- <http://www.teltru.com>
- <http://www.crydom.co.uk>

ANEXO A

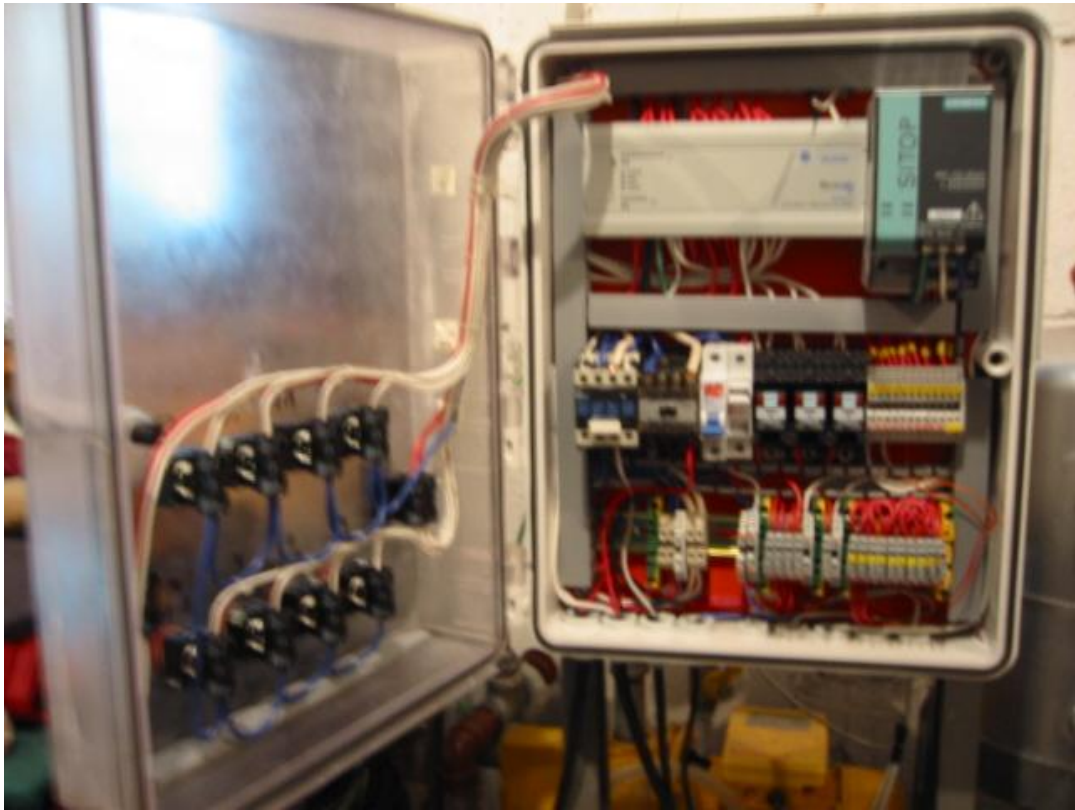
Clasificación de Materiales Peligrosos

No. Clase Peligro Naciones Unidas	DESCRIPCIÓN
1	Explosivos claves 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5
2	Gases inflamables, no inflamables y venenosos
3	Líquidos inflamables
4	Sólidos inflamables, sustancias de combustión espontánea y sustancias que reaccionan con el agua
5	Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos
6	Sustancias venenosas y sustancias infecciosas
7	Sustancias radioactivas
8	Sustancias corrosivas
9	Materiales peligrosos misceláneos no cubiertos por ninguna de las otras clases (peligrosas varias)

CLASIFICACION DE MATERIALES PELIGROSOS

ANEXO B

Vista Interior del Tablero de Control



Vista Interior del Tablero de Control

ANEXO C

Vista Exterior del Tablero de Control



Vista Exterior del Tablero de Control

ANEXO D

Diagrama de Entradas del PLC

ANEXO E

Diagrama de Salidas del PLC

ANEXO F

Especificaciones del PLC

ANEXO G

Especificaciones del Transmisor de Presión

ANEXO H

Especificaciones del RTD

ANEXO I

Especificaciones del Transmisor de Temperatura

ANEXO J

Especificaciones de los contactores

ANEXO K

Especificaciones de los relés

ANEXO L

Especificaciones de los Termómetros

ANEXO M

Especificaciones de los manómetros

ANEXO N

Especificaciones de la válvula autorreguladora de presión

ANEXO O

Especificaciones de la válvula de seguridad

ANEXO P

Especificaciones de la válvula check

ANEXO Q

Especificaciones de la electroválvula

ANEXO R

Especificaciones del interruptor de nivel

ANEXO S

Especificaciones de los interruptores de presión

ANEXO T

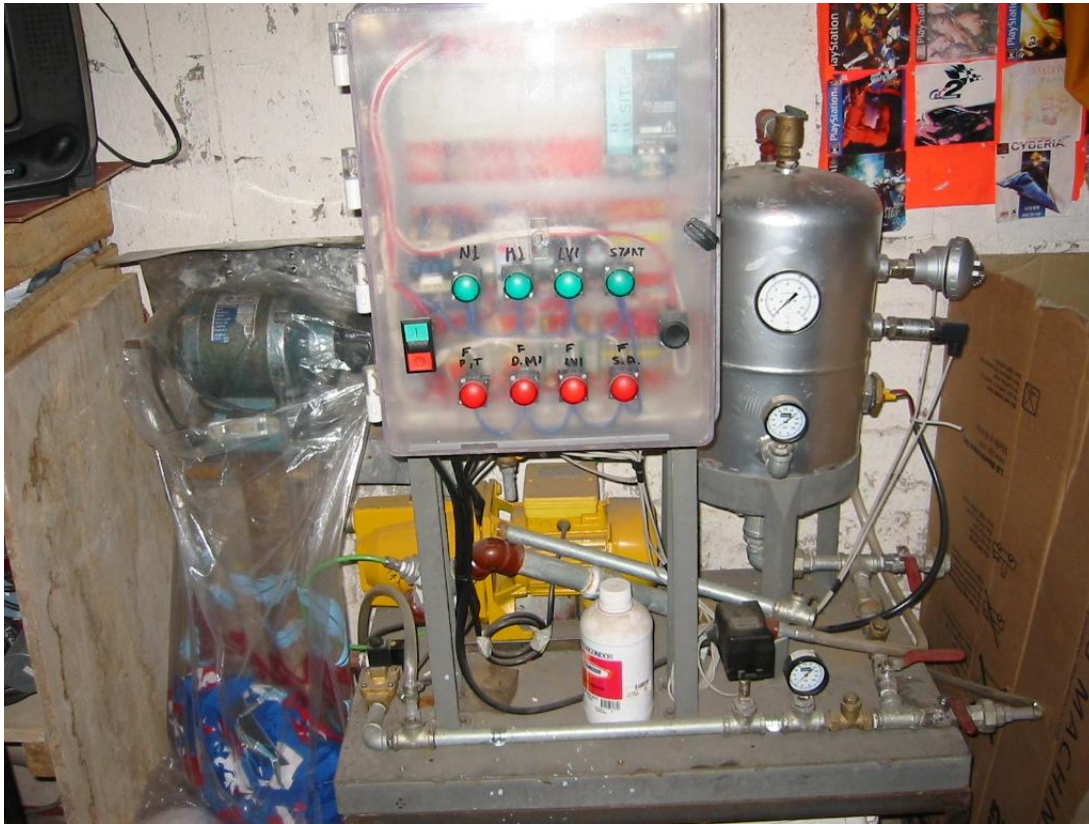
Especificaciones de la bomba

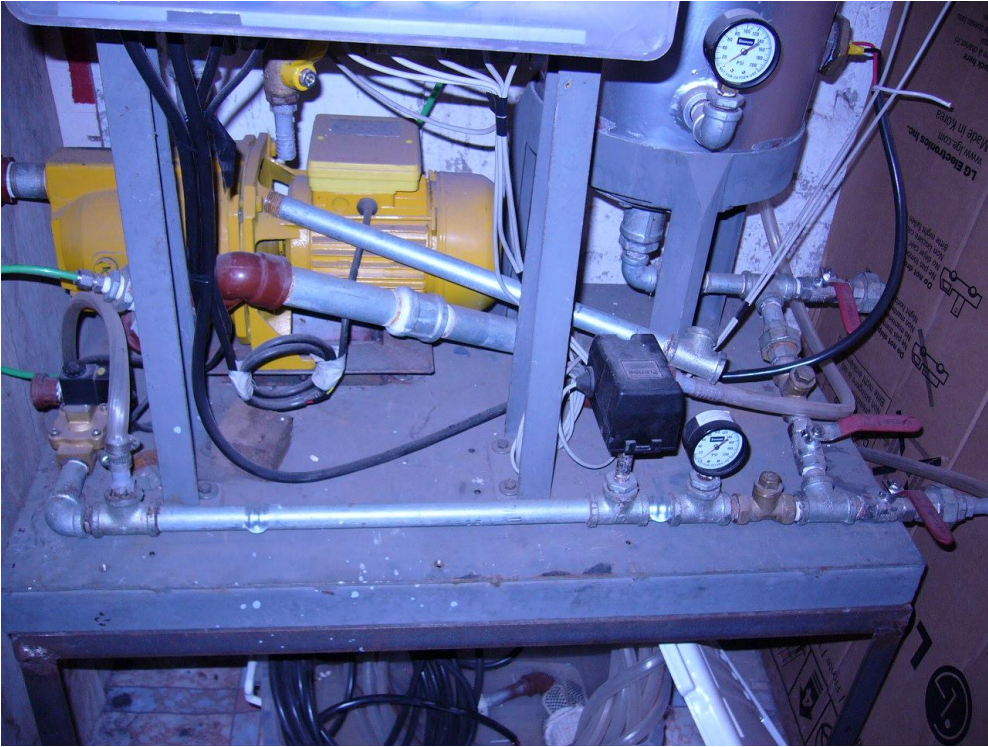
ANEXO U

Costos del Proyecto

ANEXO V

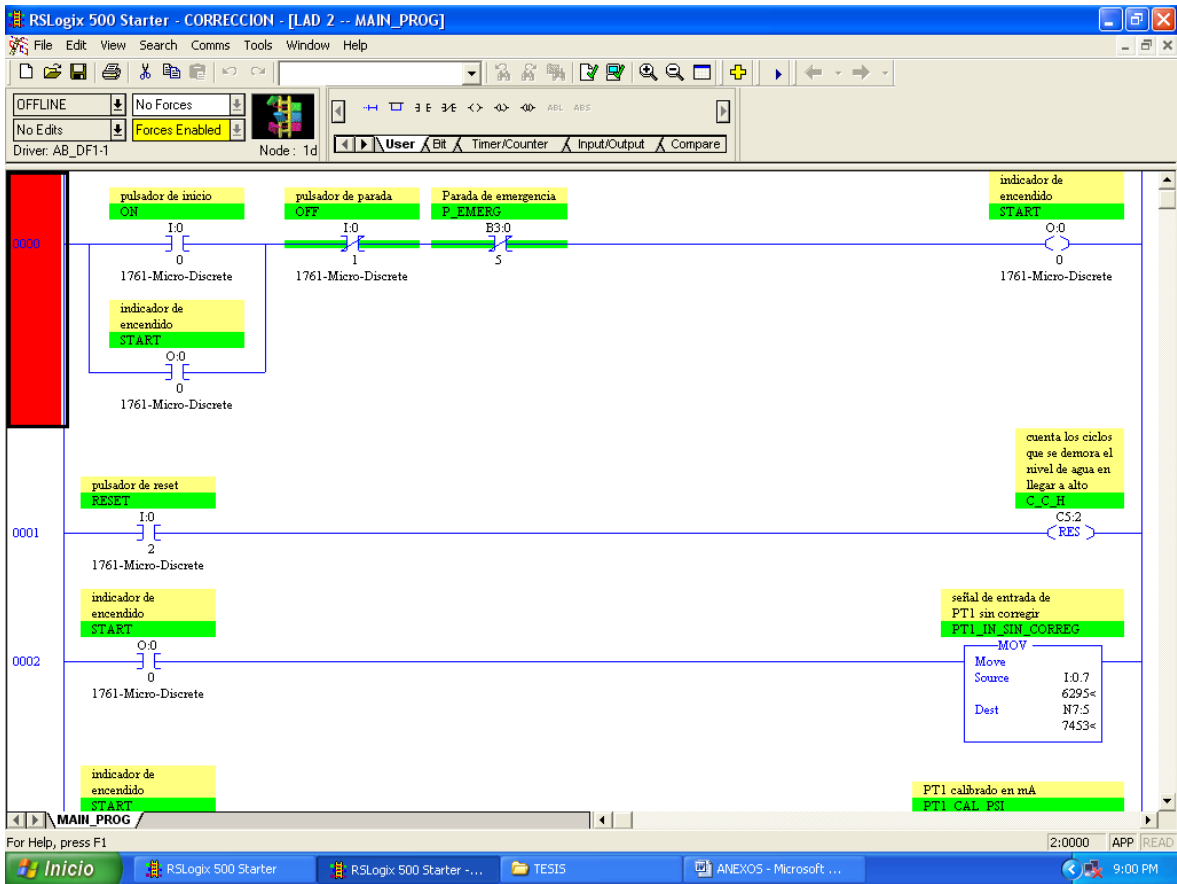
Gráficos de las partes mecánicas del SKID

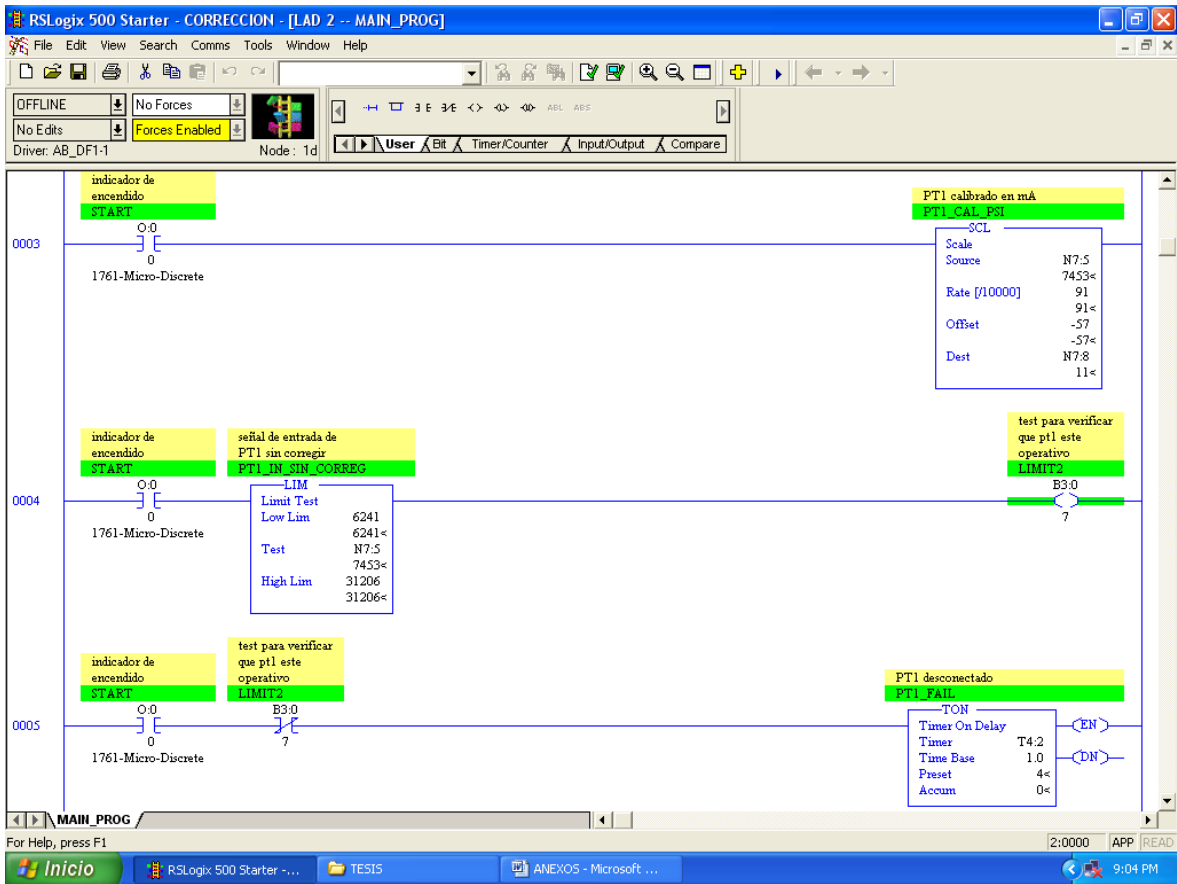


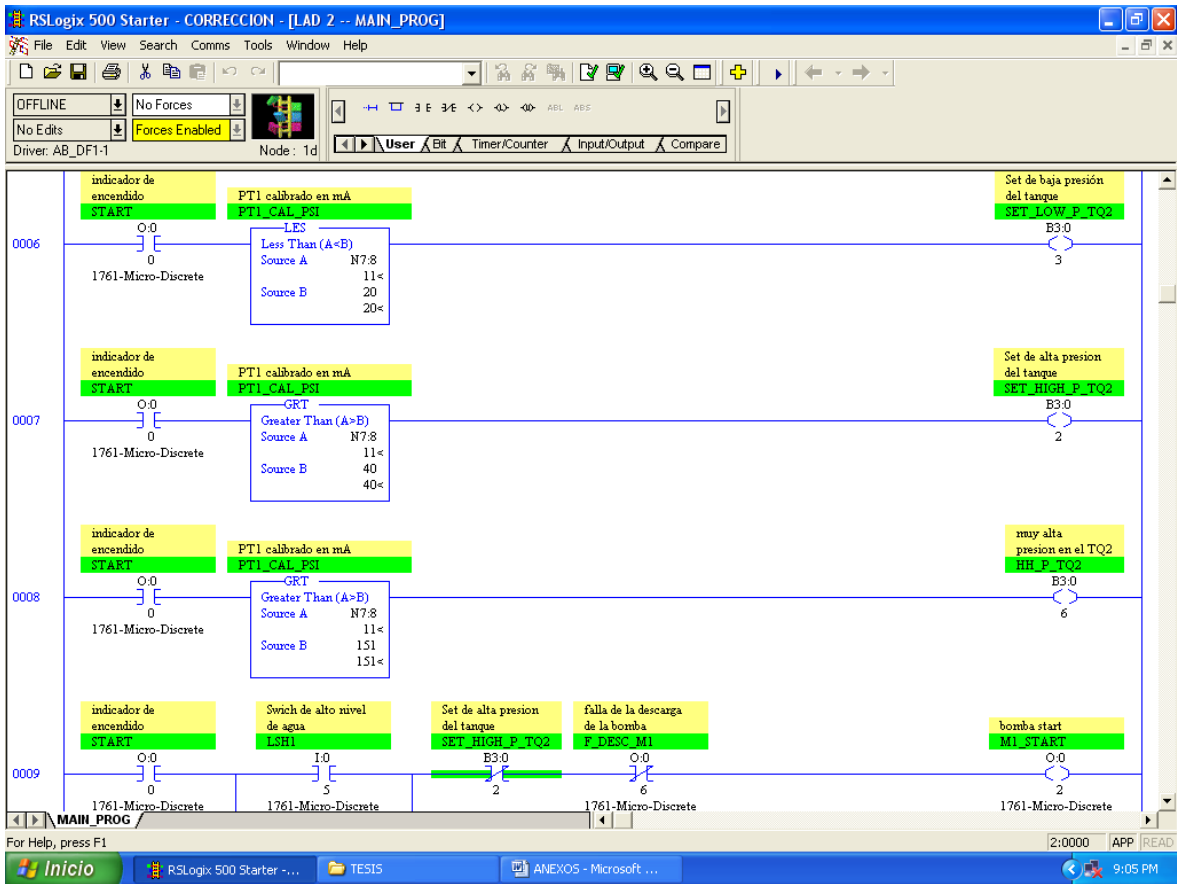


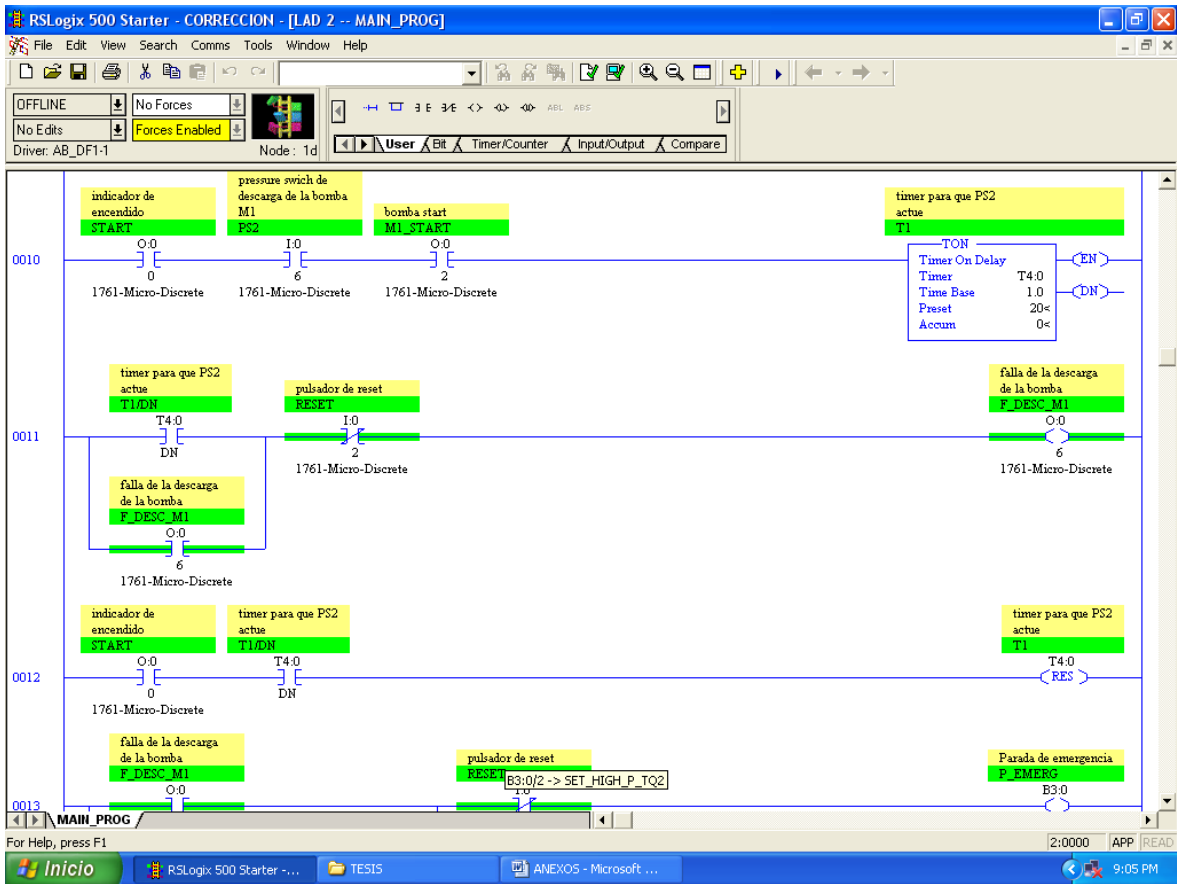
ANEXO W

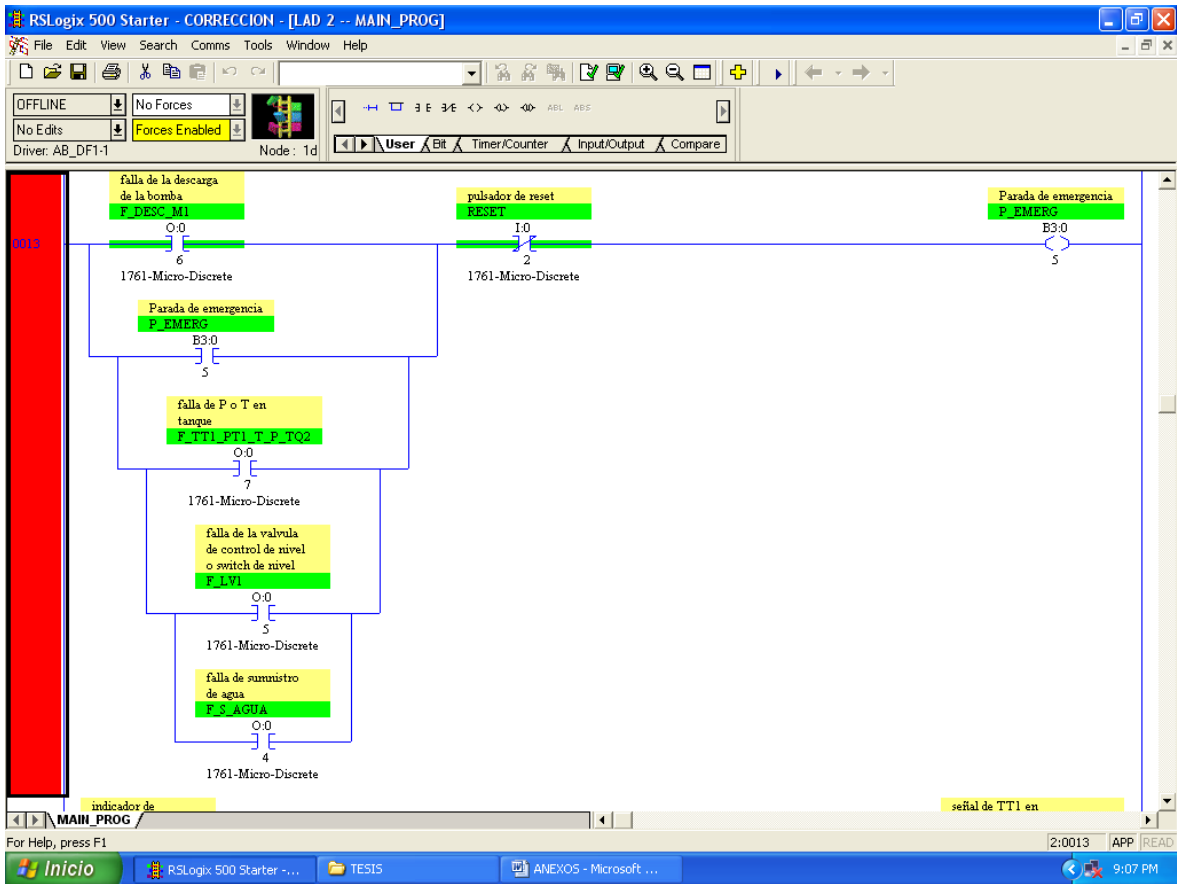
Software Utilizado

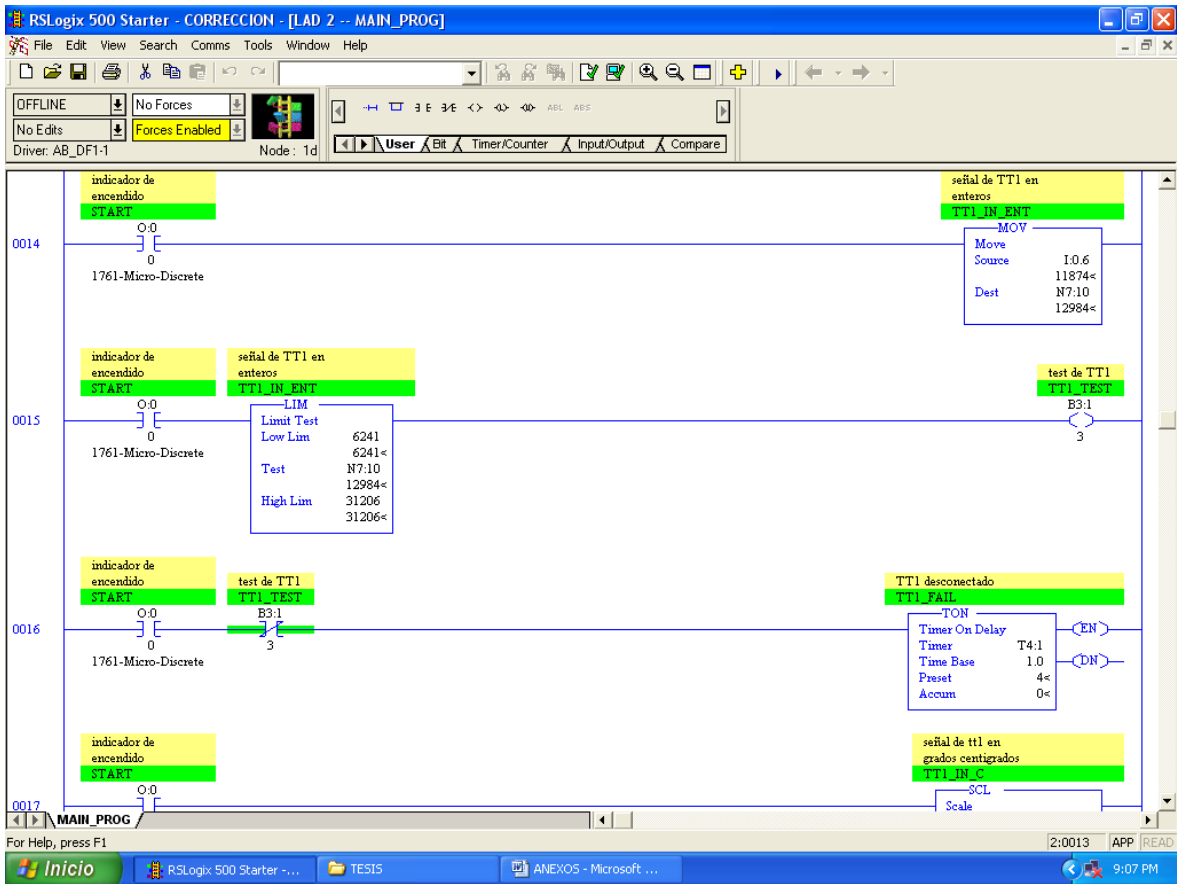


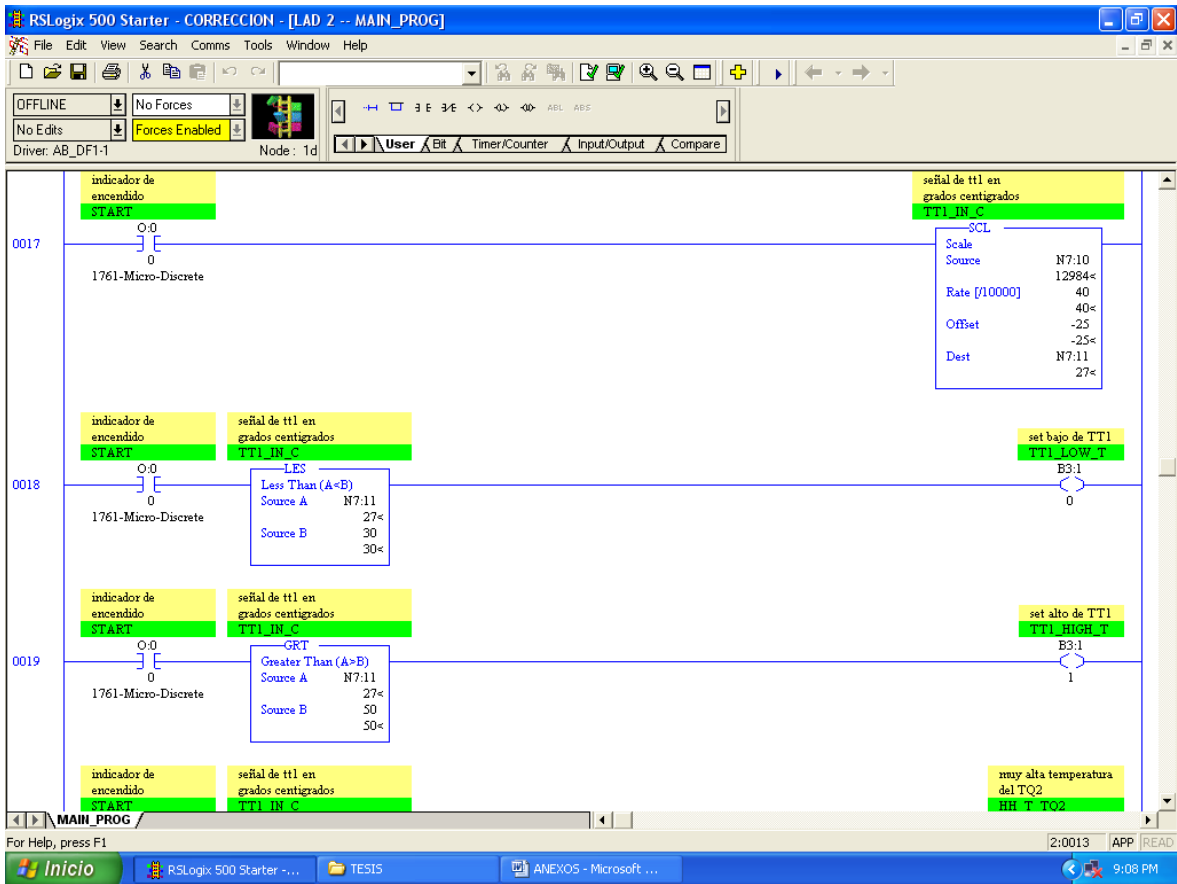


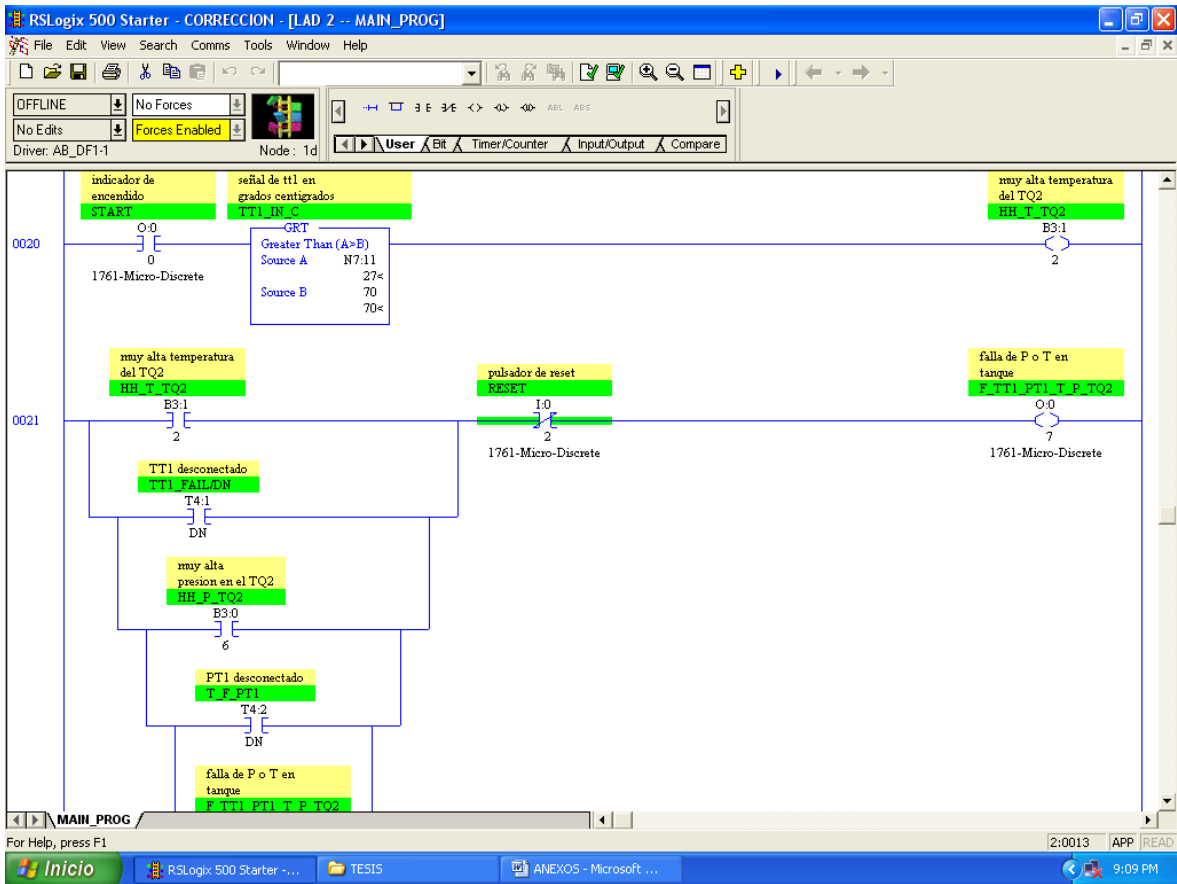


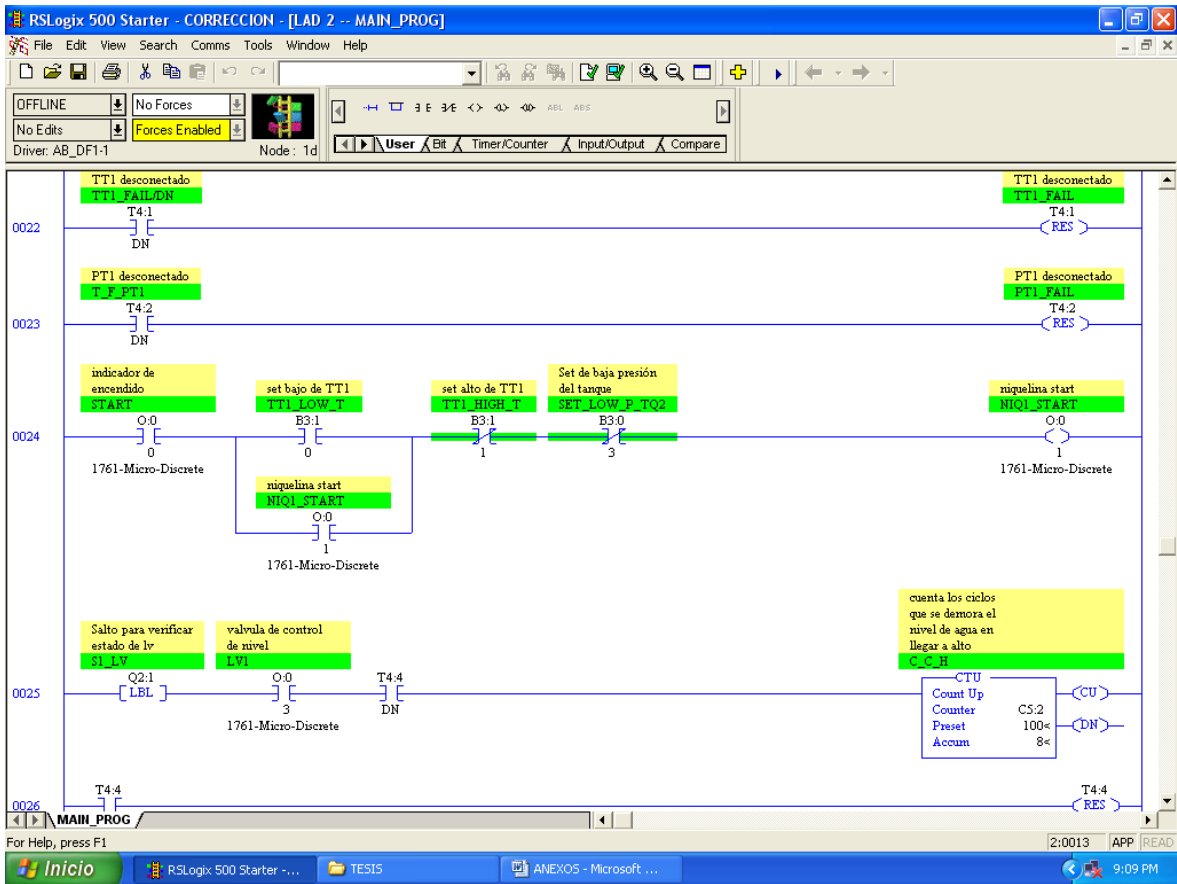


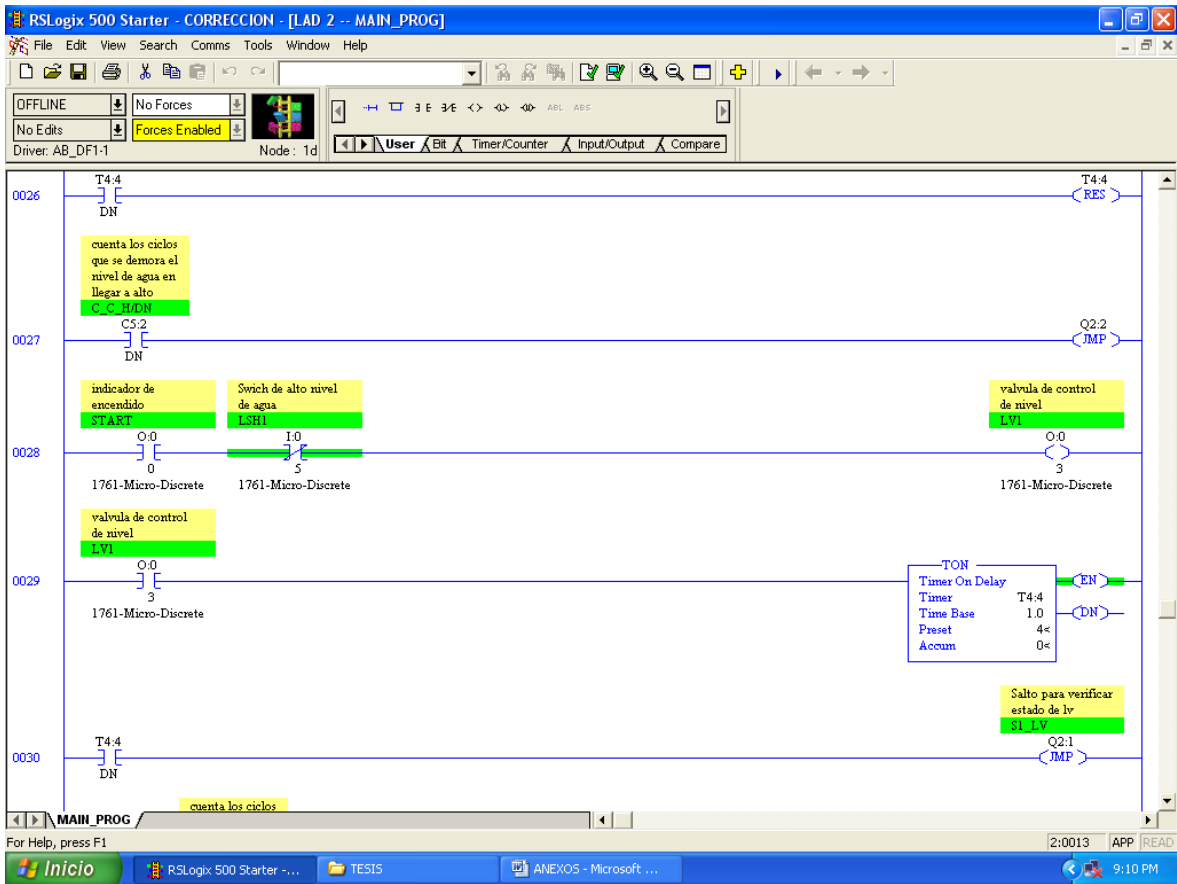


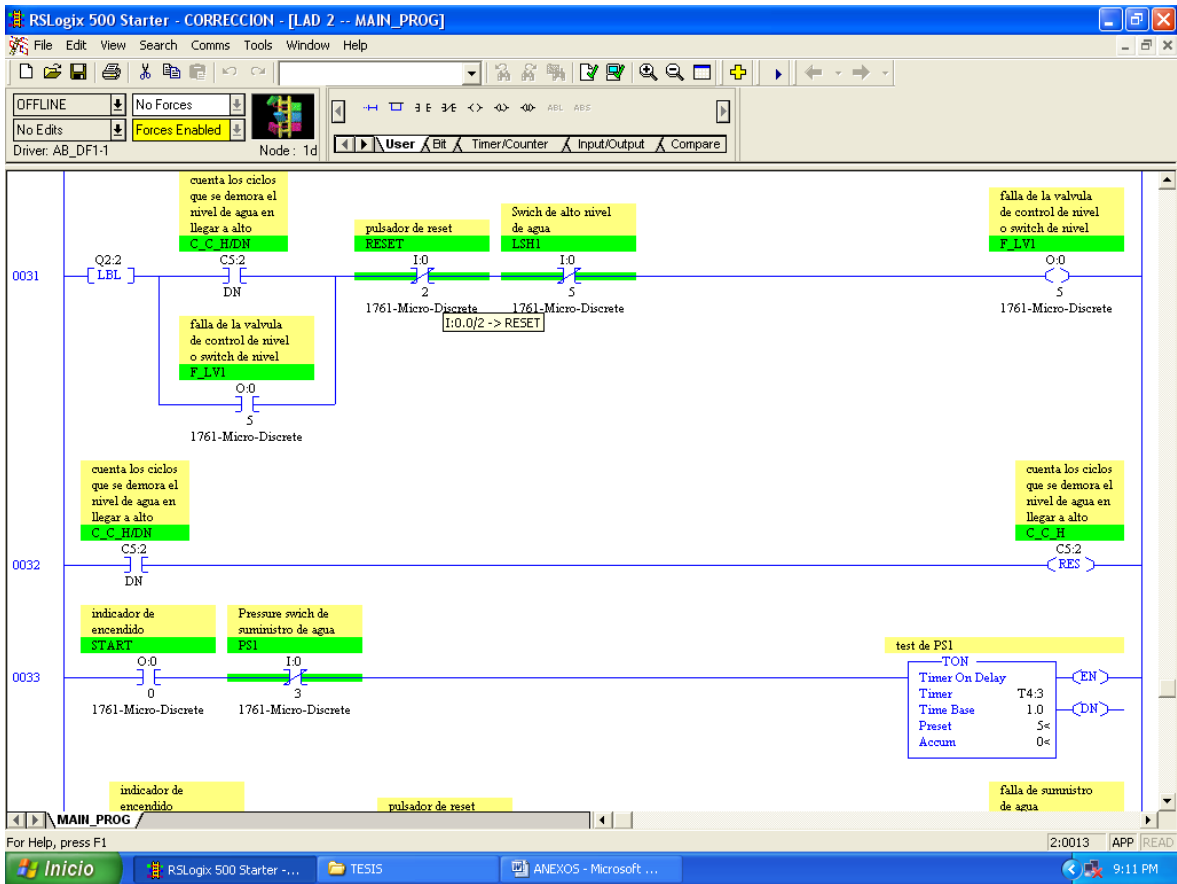


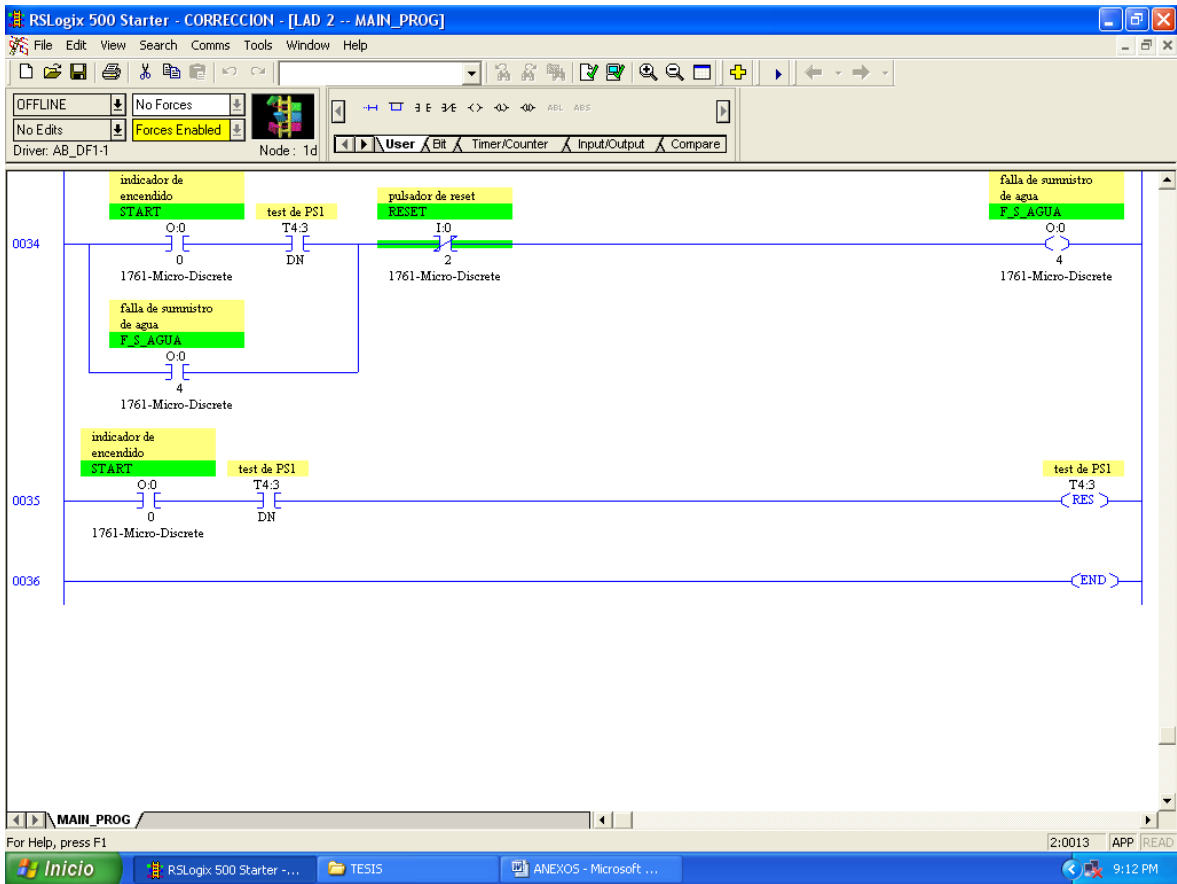












CHRISTIAN XAVIER TAPIA CADENA

JUAN CARLOS NARVÁEZ GUERRA

ING. ARMANDO ÁLVAREZ
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA E
INTRUMENTACION

DR. EDUARDO VÁSQUEZ ALCÁZAR
SECRETARIO ACADEMICO