

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

**CONTROL DE NIVEL DE UN TANQUE POR MEDIO
DE UNA SERVOVALVULA**

Nory Omar Cevallos Fernández

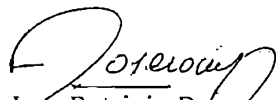
**Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en la
especialización de Electrónica y Control**

QUITO, JULIO 2000

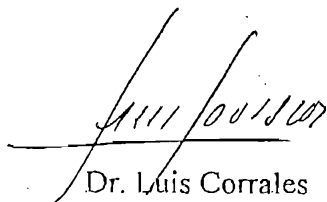
CERTIFICACION:

CERTIFICO QUE EL PRESENTE TRABAJO HA SIDO
DESARROLLADO EN SU TOTALIDAD POR EL
SEÑOR:

NORY OMAR CEVALLOS FERNANDEZ



Ing. Patricio Rosefo
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Luis Corrales
CODIRECTOR

DEDICATORIA

A DIOS, A MIS PADRES MARIA Y SIXTO, A MIS
HERMANOS WILLIAM, ELSA, KLEVER Y DENNIS,
POR SU APOYO Y COMPRENSION DURANTE
ESTOS AÑOS.

AGRADECIMIENTO

A LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL , Y EN PARTICULAR A LOS CATEDRATICOS DEL INSTITUTO DE CIENCIAS BASICAS Y LA FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA QUIENES CONTRIBUYERON A LA FORMACION DE MIS CONOCIMIENTOS.

DE MANERA MUY ESPECIAL AGRADEZCO AL INGENIERO PATRICIO ROSERO Y AL DOCTOR LUIS CORRALES DIRECTOR Y CODIRECTOR DE ESTE TRABAJO.

INDICE

CAPITULO I "GENERALIDADES"	1
1.1 Controlador PID.....	1
1.2 Formas de determinar las constantes K_P , K_I , K_D	2
Método de tanteo.....	2
Método de la curva de reacción.....	4
Método de la ganancia límite.....	6
Métodos de ajuste automático.....	7
1.3 Controlador PID digital.....	11
PID digital forma posicional.....	12
PID digital en forma de velocidad.....	12
1.4 Algoritmo PID digital.....	12
CAPITULO 2 "VALVULAS ELECTRICAS".....	14
2.1 Tipos de válvulas.....	14
Válvulas de globo.....	14
Válvulas de ángulo.....	14
Válvulas de tres vías.....	14
Válvulas de jaula.....	15
Válvula de compuerta.....	15
Válvula en Y.....	15
Válvula de cuerpo partido.....	16

Válvula Saunders.....	16
Válvula de compresión.....	16
Válvulas de obturador excéntrico rotativo.....	16
Válvula de obturador cilíndrico excéntrico.....	17
Válvula mariposa.....	17
Válvula de bola.....	17
Válvula de orificio ajustable.....	18
Válvula de flujo axial.....	20
2.2 Electroválvulas.....	20
Tipos de electroválvulas.....	21
Tipos de blindaje.....	22
2.3 Servoválvulas.....	24
2.3.1 Tipos de servomotores.....	25
Selección de actuadores.....	26
Ventajas y desventajas de los actuadores.....	27
2.4 Selección de válvulas de control.....	28
El fluido en la selección de la válvula.....	29
Límites de temperatura.....	29
Capacidad de cierre.....	30
Características del flujo.....	30
Materiales para empaquetadura.....	30
Tamaño de la válvula.....	30
Cavitación.....	31
Estudio de costos.....	31

Capítulo 3 "IMPLEMENTACION Y CALIBRACION DEL ALGORITMO DE CONTROL".	
3.1 Implementación del algoritmo de control.....	34
3.2 Calibración con datos de entrada simulados.....	40
3.3 Calibración con datos reales de entrada.....	42
3.4 Hardware desarrollado.....	43
Capítulo 4 "PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS".	
4.1 pruebas de seguimiento.....	44
4.2 Pruebas realizadas sin perturbación.....	45
4.3 Pruebas con perturbación.....	48
Capítulo 5 "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES".	
5.1 Conclusiones:.....	54
5.2 Recomendaciones.....	56
ANEXOS	
Anexo A "Glosario"	57
Anexo B "Características de la válvula".....	61
Anexo C "Diagramas".....	64
Anexo C "Bibliografía".....	69

INTRODUCCION

El presente trabajo, se basa en el trabajo desarrollado por el Ingeniero Mauricio Silva en su tesis que lleva como título " Diseño y construcción de un módulo didáctico y software para la simulación en un PC de un medidor de nivel de líquidos en tanques abiertos por medio de ultrasonido ", en donde recomienda para trabajos futuros la realización del control del nivel de un tanque de agua que representa el objetivo de este trabajo.

El objetivo básico que se persigue es diseñar y construir un sistema computarizado para el control del nivel por medio de una servoválvula. Para conseguir dicho objetivo, se ha utilizado el módulo existente en el Laboratorio de Instrumentación Industrial, el cual permite medir el nivel del líquido. Al software desarrollado para dicha aplicación se le agregó la parte necesaria para realizar el control, Las señales de control se las obtiene por las salidas analógicas de la tarjeta LABPC1200, disponible en mencionado laboratorio, los valores que se obtengan en estas salidas son las que permitirán el manejo de la servoválvula para obtener un control sobre el nivel del líquido. Debido a la gran cantidad de bibliografía existente sobre los temas tratados, no es prioridad de este trabajo profundizar en la parte teórica.

El lenguaje empleado en el computador es el LabVIEW, para producir un equipo que se emplee básicamente para entender el control de nivel de líquidos y que de alguna manera contribuya a afianzar los conocimientos.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 Controlador PID

Los controladores PID se utilizan con mucha frecuencia en sistemas de control industrial. La función de transferencia $G_c(s)$ del controlador es:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{Ec. 1-1}$$

Donde

K_p = ganancia proporcional

T_i = tiempo integral

T_d = tiempo derivativo

El controlador analógico PID ha sido empleado exitosamente en muchos de los sistemas de control industrial. Este sistema de control actúa directamente sobre la variable manipulada por medio de una apropiada combinación de tres acciones de control: proporcional, integral y diferencial.

Si la entrada al controlador PID es $e(t)$, la salida $m(t)$ del controlador analógico está dada por:

$$m(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad \text{Ec. 1-2}$$

Donde

T_i = tiempo integral

K_p = ganancia proporcional

T_d = tiempo derivativo

La ecuación 1-1 también se puede escribir como

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad \text{Ec.1-3}$$

Donde

K_p = ganancia proporcional

$K_i = K_p / T_i$ = ganancia integral

$K_d = K_p * T_d$ = ganancia derivativa

K_p , K_i , K_d son los parámetros del controlador.

1.2 Formas de determinar las constantes K_p , K_i , K_d

Si es posible deducir un modelo matemático de la planta, entonces se puede emplear varias técnicas para determinar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones transitorias y de estado estacionario del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, para plantas en las cuales es difícil obtener el modelo matemático, se hace imposible aplicar un método analítico de diseño de un controlador PID. En aquellos casos en los cuales no se puede obtener el modelo matemático de la planta, hay que determinar las constantes K_p , K_i , K_d , en forma experimental.

Método de tanteo, Este método requiere que el controlador y el proceso estén instalados completamente y trabajando en forma normal. El procedimiento en general se basa en poner KATSUHIKO, Ogata, INGENIERIA DE CONTROL MODERNA, PRENTICE HALL, 2^{da} Edición, 1992 Pags: 634, 636-640.
CREUS, Antonio, INSTRUMENTACION INDUSTRIAL, 3^{ra} EDICION, MARCOMBO, 1992 Pags: 469-474

en marcha el proceso con valores de K_p , K_i , K_d , cualquiera, e ir estrechando poco a poco cada parámetro, hasta obtener la estabilidad deseada.

Para provocar cambios de carga en el proceso, y observar sus reacciones, se mueve el punto de consigna arriba y abajo en las dos direcciones, lo suficiente para lograr una perturbación considerable pero no demasiado grande como para perjudicar la marcha de la planta o bien crear perturbaciones intolerables en los procesos asociados.

Es necesario que pase un tiempo suficiente después de cada desplazamiento del punto de consigna, para observar el efecto total del último ajuste.

Para ajustar los controladores PID, se procede del siguiente modo:

Con la banda derivada e integral puesta a 0, o al mínimo, se estrecha la banda proporcional hasta obtener una relación de amortiguamiento de 0.25.

Se aumenta lentamente la banda integral en la forma indicada anteriormente hasta acercarse al punto de inestabilidad.

Se aumenta la banda derivada en pequeños incrementos, creando al mismo tiempo desplazamientos del punto de consigna hasta obtener en el proceso un comportamiento cíclico, reduciendo ligeramente la última banda derivada. Después de estos ajustes, puede estrecharse normalmente la banda proporcional con mejores resultados en el control.

En otra forma de ajuste, para obtener una óptima banda derivada se trabaja primero con una banda proporcional que da lugar a una ligera oscilación ante una perturbación, con la acción integral reducida al mínimo. Se aumenta a continuación la acción derivada hasta eliminar el ciclo de la proporcional. Se estrecha de nuevo la acción proporcional hasta que los ciclos se inician, y se aumenta todavía más esta banda hasta eliminarlos, continuando con estos pasos hasta que el aumento de la acción derivada no mejore la eliminación de los ciclos producidos. Finalmente se ajusta la acción integral en la forma descrita anteriormente para eliminar el offset.

Método de curva de reacción. En éste método, se obtiene experimentalmente la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario, como se muestra en la figura 1-1. Si la planta no incluye integradores o polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta al escalón unitario puede tener el aspecto de una curva en forma de S. (Si la curva no tiene forma de S, no se puede aplicar este método). Estas curvas de respuesta al escalón unitario se pueden generar experimentalmente o, a partir de una simulación dinámica de la planta.

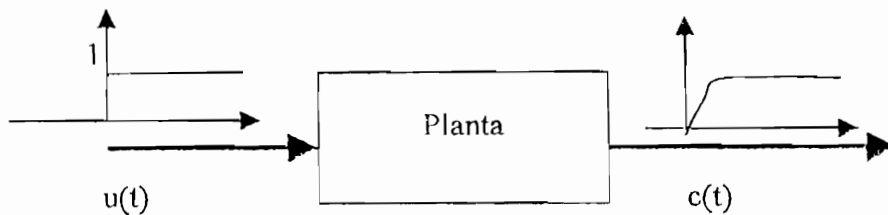


Figura 1-1
Respuesta al escalón unitario de una planta

La curva en forma de S se puede caracterizar con dos parámetros, el tiempo de atraso L y la constante de tiempo T . El tiempo de atraso y la constante de tiempo se determinan trazando una línea tangente a la curva en forma de S en el punto de inflexión se determinan las intersecciones de esta línea tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t) = K$, como se muestra en la figura 1-2. Entonces la función de transferencia $C(s) / U(s)$ se puede aproximar por un sistema de primer orden.

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Ec. 1-4

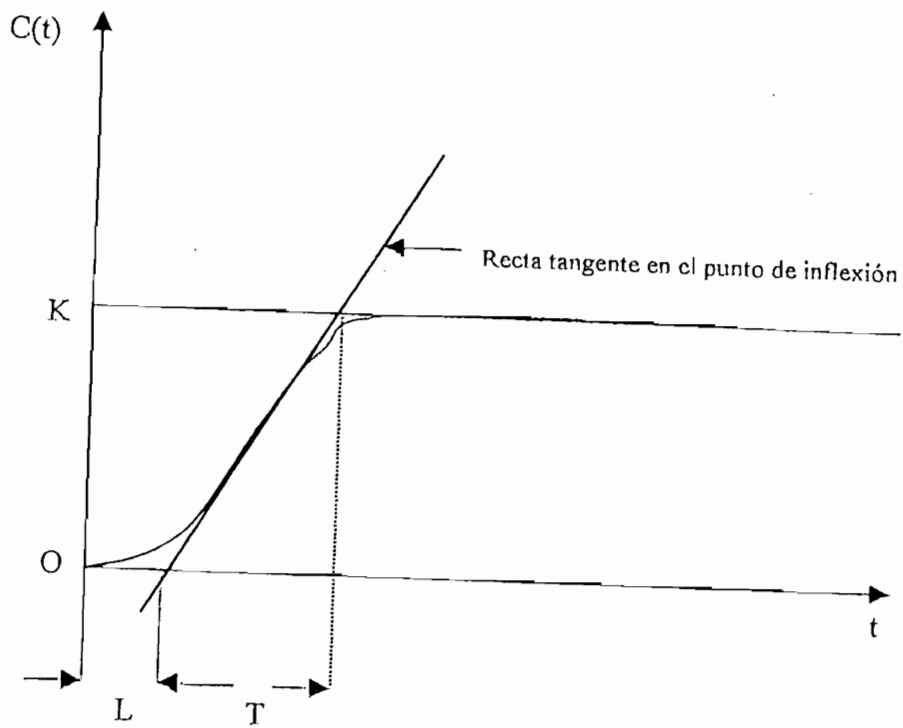


Figura 1-2
Curva de respuesta en forma de S

Ziegler y Nichols sugirieron fijar los valores de K_p , T_I y T_D con las ecuaciones que aparecen en la tabla 1.

Tipo de Controlador	K_p	T_I	T_D
P	T/L	Infinito	0
PI	$0.9 \times T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 \times T/L$	$2 \times L$	$0.5 \times L$

Tabla 1-1
Reglas de Ziegler-Nichols

Note que el controlador $G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$, aplicando los valores de la tabla 1-1,

resulta:

$$G_c(s) = 0.6.T' \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s}$$

Método de ganancia límite. En este método, primero se hace $T_i = \infty$ y $T_D = 0$. Usando solamente la acción de control proporcional (ver la figura 1-3), se incrementa K_p desde 0 hasta un valor crítico K_{cr} en la cual la salida exhiba por primera vez oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que puede tomar K_p , entonces no se puede aplicar este método). Así, se puede determinar experimentalmente la ganancia K_{cr} y el período correspondiente P_{cr} . Ziegler y Nichols sugirieron fijar los valores de K_p , T_i , y T_D según la tabla 1-2

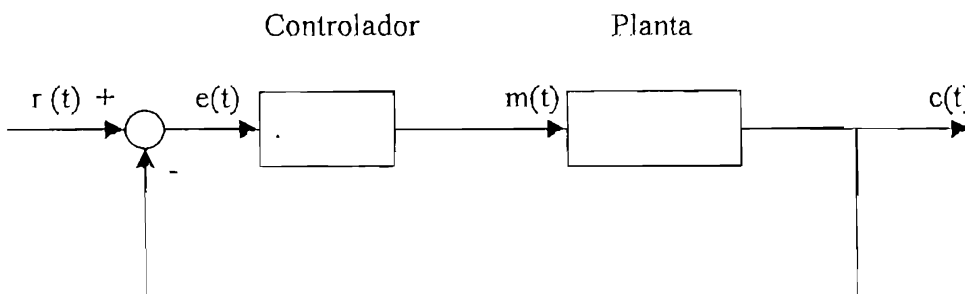


Figura 1-3
Sistema de lazo cerrado con control proporcional

Note que el controlador $G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$, aplicando los valores de la siguiente

tabla 1-2, resulta:

KATSUHICO, Ogata, INGENIERIA DE CONTROL MODERNA, PRENTICE HALL, 2^{da} Edición, 1992
Pags: 634, 636-640.

CREUS, Antonio, INSTRUMENTACION INDUSTRIAL, 3^{ra} EDICION, MARCOMBO, 1992 Pags: 469-474

$$G_c(s) = 0.075 K_{cr} P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}}\right)^2}{s}$$

Tipo de Controlador	K_P	T_I	T_D
P	$0.5 K_{cr}$	Infinito	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1 / 1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Tabla 1-2
Reglas de sintonización basadas en la ganancia K_{cr} y el periodo crítico P_{cr}

Las reglas de Ziegler-Nichols se pueden aplicar a plantas cuyas dinámicas son conocidas, se dispone de muchos procedimientos analíticos y gráficos para el diseño de controladores PID. Sin embargo, la utilidad real de las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols se hace visible cuando no se conoce la dinámica de la planta.

Métodos de ajuste automático. El controlador dispone de un algoritmo de autoajuste de las acciones de control que permite sintonizar con una amplia gama de procesos industriales. Existen varias formas de realizar el autoajuste:

a) La aplicación de una señal de prueba al proceso, el análisis de una respuesta con la obtención de un modelo matemático y el diseño analítico del controlador, o bien el uso de las formas del método de ganancia límite de Ziegler y Nichols.

En el primer caso, tal como el método de Nishikawa, Sannomiya, Ohta y Tanaka, el operador envía una señal de prueba y el sistema obtiene un modelo que minimiza la señal de error KATSUHIKO, Ogata, INGENIERIA DE CONTROL MODERNA, PRENTICE HALL, 2th Edición, 1992 Pags: 634, 636-640.
CREUS, Antonio, INSTRUMENTACION INDUSTRIAL, 3^{ra} EDICION, MARCOABRIL, 1992 Pags: 469-474

$\int_0^{\infty} e(t) \cdot e^{(\beta \cdot t)} dt$ donde β está relacionado con la razón de amortiguamiento. Una vez estimadas las características del modelo, lo que precisa un cierto tiempo, el ordenador calcula los parámetros PID que minimizan el error.

Los métodos de Chindambara, Kraus y de Myron están basados en el método de ganancia límite. Analizan la señal de error obtenida ante cambios en el punto de consigna o de carga del proceso, figura 1-4, y son fácilmente programables en el ordenador del proceso.

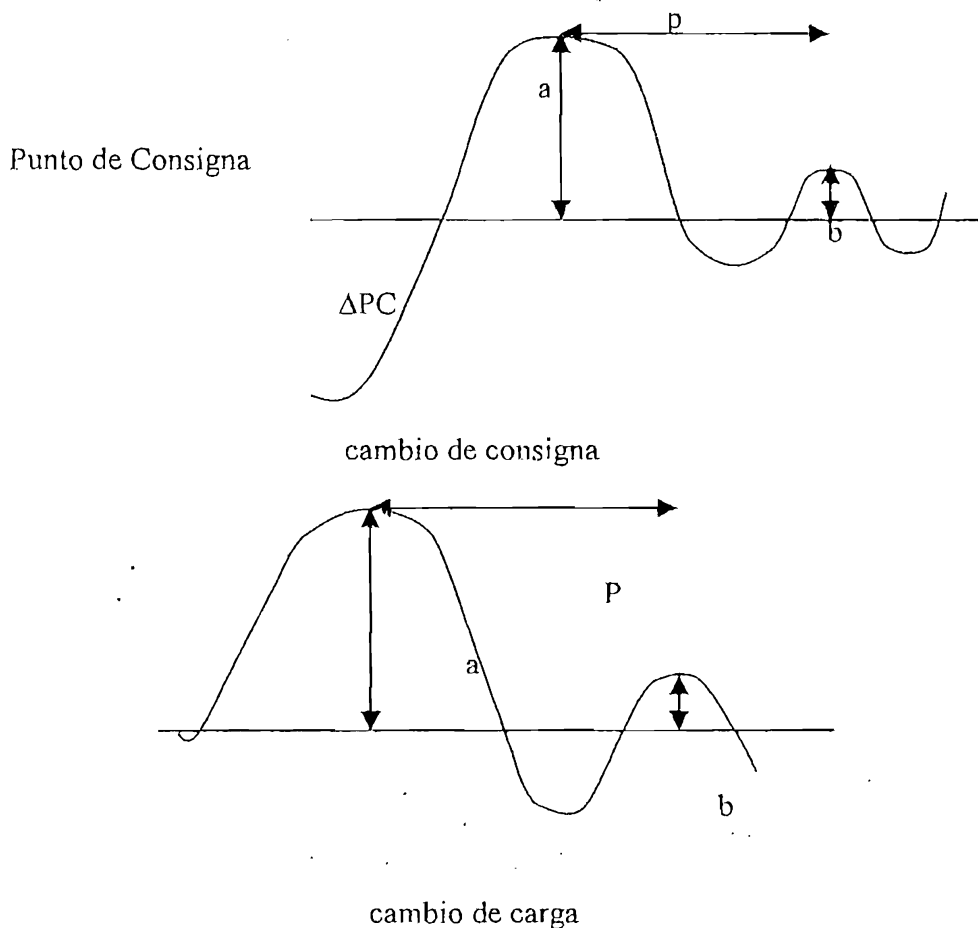


figura 1-4
métodos de Chindambara , Kraus y Myron

En el método de Chindambara se dan valores aproximados a las acciones del controlador y se aplican las fórmulas siguientes para obtener de forma iterativa los nuevos valores PID.

$$BP_{n+1} = \frac{BP_n}{(0.5 + 2.27 * R)} \quad TI = \frac{P}{2\sqrt{1+R^2}} \text{ min/rep}$$

$$TD = \frac{P}{8\sqrt{1+R^2}} \text{ min} \quad R = \frac{1}{2 * 3.14} \ln \frac{a}{b}$$

Siendo

R = Un valor ligado con la relación de amortiguación, (con R=22 se tiene una relación de amortiguación de 0.25).

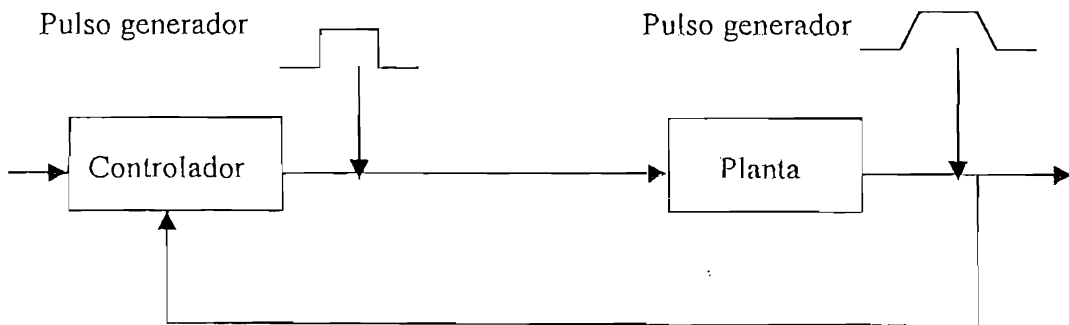
a y b = Longitudes de los picos

P = período de la oscilación amortiguada en minutos

En el método de Kraus y Myron se intenta obtener el mínimo tiempo de subida fijando limitaciones en el amortiguamiento b/a y en la primera recuperación a / ΔPC. Las fórmulas de Ziegler y Nychols dan: TI = P/2 y TD = P/8 que aplicados al controlador darán un nuevo amortiguamiento b/a y recuperación a / ΔPC que no deben sobrepasar los límites anteriores. Si lo hacen el controlador varía su ganancia para cumplir con esta condición y, por lo tanto calcula nuevos valores de TI y TD.

b) El análisis continuo u ocasional, ante una perturbación o una modificación del punto de consigna del proceso sin aplicar señales de prueba, ni tampoco perturbando el mismo, pero con el inconveniente de no detectar los cambios lentos del proceso. Se trata de controladores adaptivos. En la figura 1-5 pueden verse estos tipos de sistemas de ajuste.

El ordenador puede utilizarse para ajustar las acciones de control con técnicas, off-line, que trabajan con modelos dinámicos del proceso, y con técnicas, on-line, que identifican la dinámica del proceso con la planta en operación. El ordenador realiza los cálculos, verifica lo que ha hecho el operador y realiza los ajustes en el controlador. También se puede utilizar el ordenador personal en el análisis y ajuste del lazo de control, el programa debe obtener datos de la variable de proceso a partir de la respuesta en lazo cerrado a un escalón o impulso y guarda los valores de la variable medida y de la señal del controlador para analizarlos y calcular las constantes del controlador PID.



a) Ajuste automático

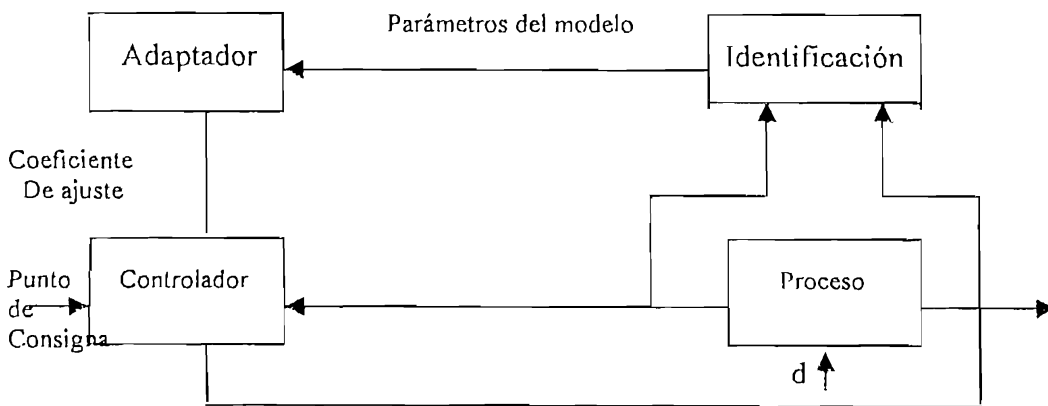


Figura 1-5
Métodos de ajuste automático

Los controladores digitales permiten ajustes exactos y repetitivos.

1.3 Controlador PID digital.

Un controlador digital PID se utiliza en situaciones en las cuales las plantas se controlan directamente mediante una sola computadora digital, en estos casos la mayoría de lazos de control se pueden manipular mediante esquemas de control PID.

PID digital forma posicional

Para obtener la función de transferencia pulso del controlador PID digital, se puede discretizar la ecuación 1-2.

$$m(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

El resultado que se obtiene viene dado por:

$$G_D(z) = \frac{M(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_I}{1 - \frac{1}{z}} + K_D \left(1 - \frac{1}{z} \right) \quad \text{Ec. 1-5}$$

Donde

$$K_p = K - \frac{KT}{2T_i} = K - \frac{K_I}{2} = \text{ganancia proporcional}$$

$$K_I = \frac{KT}{T_i} = \text{ganancia integral}$$

$$K_D = KT_d \frac{1}{T} = \text{ganancia derivativa}$$

PID digital en forma de velocidad

Para obtener la ecuación del controlador PID en forma de velocidad se considera la diferencia hacia atrás en $m(KT)$, esto es, la diferencia entre $m(KT)$ y $m((K-1)T)$.

$$M(z) = -K_p C(z) + K_I \frac{R(z) - C(z)}{1 - \frac{1}{z}} - K_D \left(1 - \frac{1}{z}\right) C(z) \quad \text{Ec.1-6}$$

Donde

$$R(z) = \text{entrada}$$

Este esquema de control no necesita la inicialización cuando se conmuta de operación manual a una automática. De este modo, si existen cambios súbitos grandes en el punto de ajuste o en el inicio de la puesta en operación del proceso, el esquema de control PID en forma de velocidad presenta mejores características de respuesta que en forma posicional.

1.4 Algoritmo PID digital

A partir de la ecuación 1-5 se puede implementar un algoritmo donde se utilice una ecuación de diferencias .

$$G_D(z) = \frac{M(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_I}{1 - \frac{1}{z}} + K_D \left(1 - \frac{1}{z}\right)$$

Esta ecuación puede ser implementada de la siguiente manera

$$(1 - z^{-1}) M(z) = (b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}) E(z)$$

Donde

$$b_0 = K_P + K_I + K_D$$

$$b_1 = -K_P - 2 K_D$$

$$b_2 = K_D$$

en ecuación de diferencias el algoritmo es

$$m(t) = m(t - 1) + b_0 e(t) + b_1 e(t - 1) + b_2 e(t - 2) \quad \text{Ec. 1-7}$$

Para la implementación de este algoritmo se necesita en el tiempo t el valor del error $e(t)$, y de los dos valores anteriores $e(t-1)$ y $e(t-2)$. Por la facilidad que presenta esta forma, fue la forma seleccionada para el presente trabajo.

CAPITULO 2

VALVULAS ELECTRICAS

2. 1 Tipos de válvulas.

Según sea el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador las válvulas pueden ser de los siguientes tipos.

Válvulas de movimiento lineal

Válvula de globo. Pueden verse en las figuras 2-1. a, b, c siendo de simple asiento, de doble asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado, respectivamente. Las válvulas de simple asiento precisan de un actuador de mayor tamaño para que el obturador cierre contra la presión diferencial del proceso. En las válvulas de doble asiento o de obturador equilibrado, la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es mejor que en la válvula de simple asiento, por lo cual se emplea en válvulas de gran tamaño, o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial.

Válvulas de ángulo. Esta válvula, representada en la figura 2-1. d, permite obtener un flujo de caudal regular sin excesivas turbulencias y es adecuada para disminuir la erosión cuando esta es considerable por las características del fluido o por la excesiva presión diferencial. El diseño de la válvula es idóneo para el control de fluidos que vaporizan, para trabajar con grandes presiones diferenciales y para los fluidos que contienen sólidos en suspensión.

Válvulas de tres vías. Este tipo de válvulas se emplean generalmente para mezclar fluidos como es el caso de las válvulas mezcladoras, figura 2-1.e, o bien para derivar de un flujo de

entrada dos de salida, válvulas divisoras, figura 2-1.f. Las válvulas de tres vías intervienen típicamente en el control de temperatura de intercambiadores de calor.

Válvula de jaula. Consiste de un obturador cilíndrico, figura 2-1.g., que se desliza en una jaula con orificios adecuados a las características de caudal deseadas en la válvula. Se caracterizan por el fácil desmontaje del obturador y porque este puede incorporar orificios que permiten eliminar prácticamente el desequilibrio de fuerzas producido por la presión diferencial favoreciendo la estabilidad del funcionamiento. Por este motivo, este tipo de obturador equilibrado se emplea en válvulas de gran tamaño o bien cuando deba trabajarse con una alta presión diferencial.

Válvula de compuerta. Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano, o cierta forma especial, que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse, figura 2-1.h. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo del fluido cuando está en posición de apertura total.

Válvula en Y. Una representación esquemática puede verse en la figura 2-1.i. Es adecuada como válvula de cierre y de control. Como válvula todo-nada se caracteriza por su baja pérdida de carga y como válvula de control tiene una gran capacidad de caudal. Posee además una característica de autodrenaje cuando está instalada con un cierto ángulo. Se emplea usualmente en instalaciones criogénicas.

Válvula de cuerpo partido. Esta válvula es una modificación de la válvula de globo de simple asiento, teniendo el cuerpo partido en dos partes, figura 2-1.j, entre las cuales está

presionado el asiento. Esta disposición permite una fácil sustitución del asiento y facilita un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Se emplea principalmente para fluidos viscosos y en la industria alimentaria.

Válvula Saunders. En la válvula Saunders, figura 2-1.k, el obturador es una membrana flexible que; a través de un vástago unido a un servomotor, es forzada contra un resalte del cuerpo, cerrando así el paso del líquido.

Válvula de compresión. Esta válvula, representada en la figura 2-1.i, funciona mediante el pinzamiento de dos o más elementos flexibles, por ejemplo, un tubo de goma. Igual que las válvulas de diafragma se caracterizan porque proporcionan un óptimo control en posición de cierre parcial y se aplican fundamentalmente en el manejo de fluidos negros corrosivos, viscosos o conteniendo partículas sólidas en suspensión.

Válvulas de movimiento circular

Válvulas de obturador excéntrico rotativo. Consiste en un obturador de superficie esférica que tiene un movimiento rotativo excéntrico y que está unido al eje de giro por uno o por dos brazos flexibles, como se puede ver en la figura 2-1 m.

El eje de giro sale al exterior del cuerpo y es accionado por el vástago de un servomotor. El par de este es reducido gracias al movimiento excéntrico de la cara esférica del obturador.

La válvula puede tener un cierre estanco mediante aros de teflón dispuestos en el asiento, se caracteriza por su gran capacidad de caudal, comparable a las válvulas de mariposa y a las de bola por su elevada pérdida de carga admisible.

Válvula de obturador cilíndrico excéntrico. Esta válvula tiene un obturador cilíndrico excéntrico que asienta contra un cuerpo cilíndrico, como se muestra en la figura 2-1.n. El cierre hermético se consigue con un revestimiento de goma o teflón en la carga donde asienta el obturador. La válvula es de bajo costo y tiene una capacidad relativamente alta. Es adecuada para fluidos corrosivos y líquidos viscosos o que contienen sólidos en suspensión.

Válvula de mariposa. El cuerpo está formado por un anillo cilíndrico dentro del cual gira transversalmente un disco circular, como se muestra en la figura 2-1.o, la válvula puede cerrar herméticamente mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo, un servomotor exterior acciona el eje de giro del disco y ejerce su par máximo cuando la válvula está totalmente abierta siempre que la presión diferencial permanezca constante. En la sección de la válvula es importante considerar las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre: se necesita una fuerza grande del obturador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada.

Las válvulas de mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión.

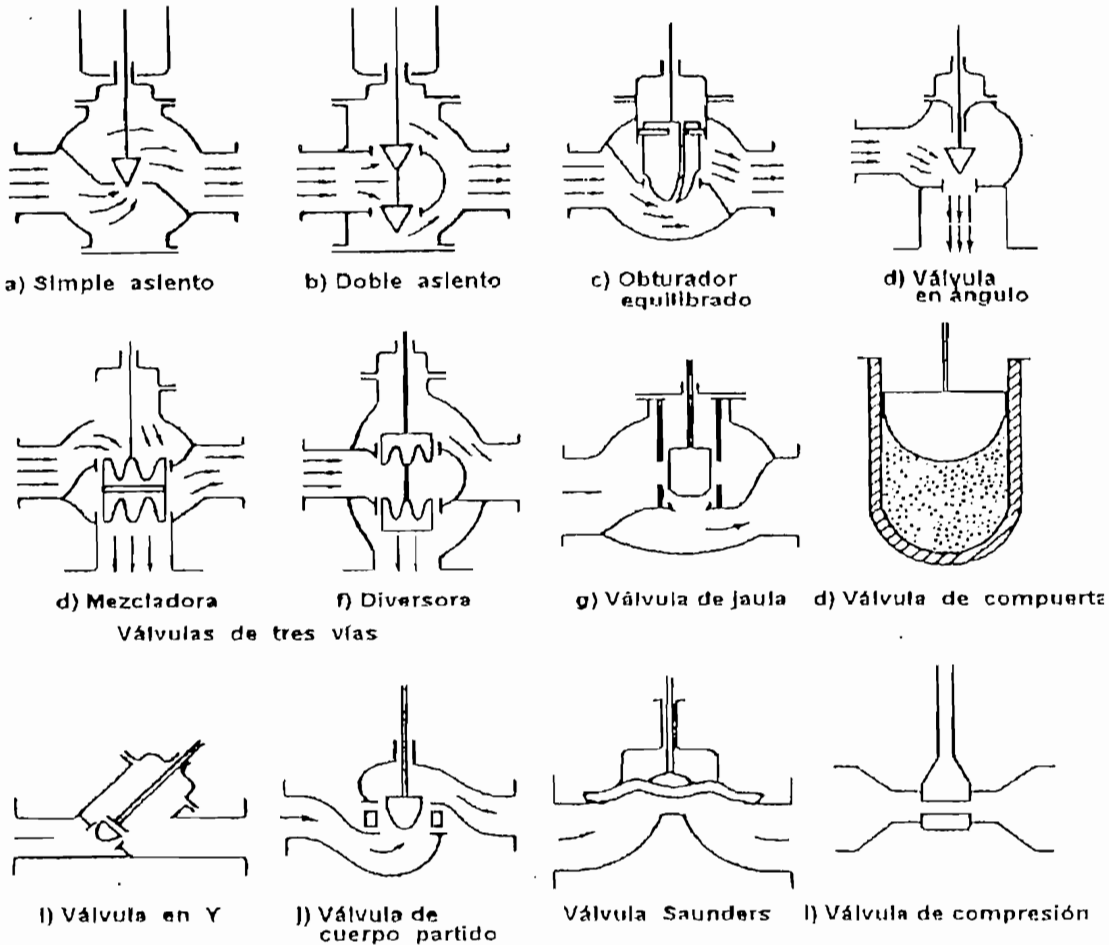
Válvula de bola. El cuerpo de la válvula, en la figura 2-1.p, tiene una cavidad interna esférica alberga un obturador en forma de esfera o de bola. La bola tiene un corte adecuado, usualmente en V, que fija la curva característica de la válvula, y gira transversalmente, accionada por un servomotor exterior. El cierre estanco se logra con un aro de teflón

incorporado al cuerpo, contra el cual asienta la bola cuando la válvula está cerrada. La válvula de bola se emplea principalmente en el control de caudal de fluidos negros, o bien de fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión.

Una válvula bola típica es la válvula macho de la figura 2-1.q, que consiste de un macho de forma cilíndrica o tronco cónica con un orificio transversal igual al diámetro interior de la tubería. El macho ajusta el cuerpo de la válvula y tiene un movimiento de giro de 90°. Se utiliza generalmente en control manual todo-nada de líquidos o gases.

Válvula de orificio ajustable. El obturador de esta válvula, figura 2-1.r, consiste en una camisa de forma cilíndrica que está perforada con dos orificios, uno de entrada y otro de salida y que gira mediante una palanca exterior accionada manualmente o por medio de un servomotor. El giro del obturador tapa parcial o totalmente las entradas y salidas de la válvula controlando así el caudal. La válvula incorpora además una tajadera que puede deslizarse dentro de la camisa gracias a un macho roscado de accionamiento exterior, la tajadera puede así fijarse manualmente en una posición determinada para limitar el caudal máximo.

OBTURADORES DE MOVIMIENTO LINEAL



OBTURADORES DE MOVIMIENTO CIRCULAR

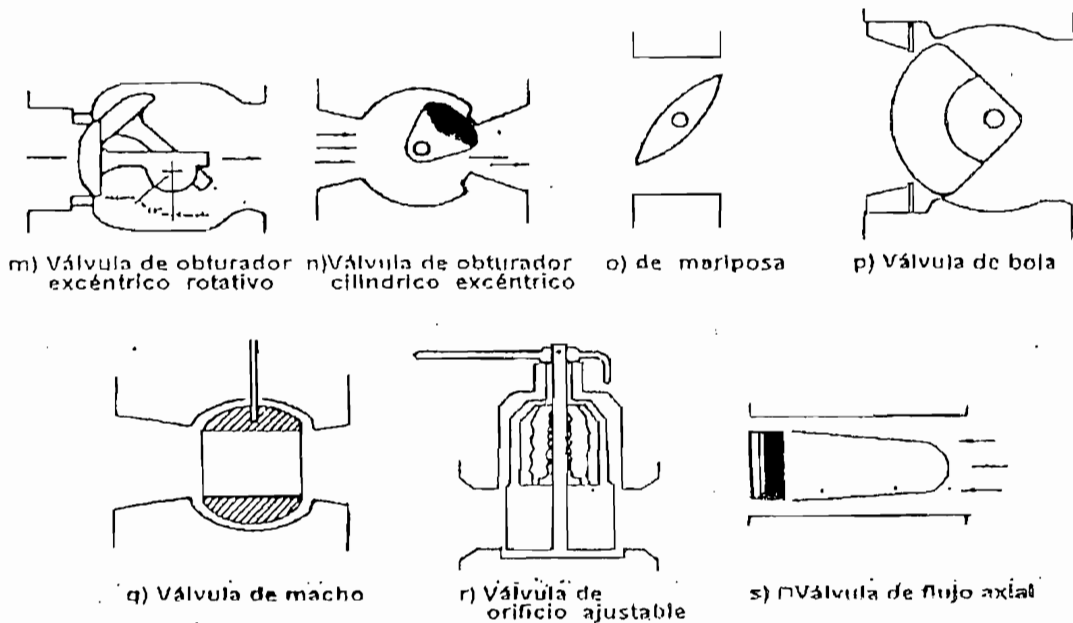


Figura 2-1
Tipo de válvulas

Válvula de flujo axial. Estas válvulas consisten en un diafragma accionado neumáticamente que mueve un pistón el cual a su vez comprime un fluido hidráulico contra un obturador formado por un material elastómero. De este modo, el obturador se expande para cerrar el flujo anular del fluido. Este tipo de válvulas se emplea para gases y es especialmente silencios. Otra variedad de la válvula de flujo axial es la válvula de manguito, que es accionada por compresión exterior del manguito por medio de un fluido auxiliar a una presión superior a la del propio fluido. Se utiliza también para gases, este tipo de válvula se muestra en la figura 2-1.s.

2.2 Electroválvulas

Las electroválvulas o válvulas de solenoide constituyen uno de los elementos más sencillos y posiblemente de empleo más común en los actuadores eléctricos. Estas válvulas son de acción todo-nada.

La válvula solenoide está constituida por una bobina solenoide devanada en un núcleo en forma de un tubo cilíndrico, en cuyo interior se desliza un núcleo móvil provisto en su extremo de un disco o tapón. La válvula actúa como un electroimán, su excitación alimenta eléctricamente la bobina que atrae el núcleo móvil o vástago, mientras que su desexcitación invierte la posición de este gracias a un resorte que empuja el disco contra el asiento.

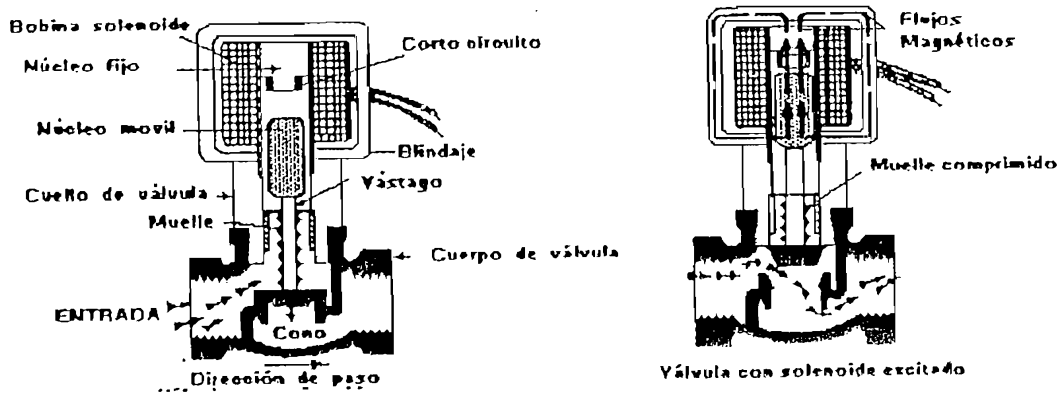


Figura 2.2
Válvula de solenoide típica.

Tipos de electroválvulas

Desde el punto de vista de seguridad de la instalación, en caso de avería o corte de corriente, la válvula de solenoide se fabrica en dos modelos que son:

1. Cerrada en fallo de corriente o abierta en excitación y
2. Abierta en fallos de corriente o cerrada en excitación.

En fluidos limpios pueden aplicarse otros modelos de electroválvulas que admiten mayores caudales de trabajo y presiones de servicio más elevadas con mayor tamaño de la válvula.

Estas reciben el nombre de electroválvulas operadas por piloto y aprovechan la presión del fluido para el accionamiento de la válvula principal y son:

1. Alimentada por propio fluido
2. Alimentada por un fluido exterior

Existen varios tipos de electroválvulas de acuerdo con el número de vías y toman el nombre de acuerdo al número de vías que disponga así:

1. Electroválvula de tres vías
2. Electroválvula de cuatro vías.

Tipos de blindaje

La bobina de las electroválvulas esta protegida por caja o blindaje que realiza la función adicional de completar el circuito magnético cerrado de la bobina solenoide.

Clase I Lugares en los que pueden estar presentes en el aire gases o vapores en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o susceptibles de ignición .

Grupo C Atmósferas conteniendo vapores de eter etílico, etileno o ciclopropano.

Grupo D Atmósferas conteniendo gasolina, hexano, nafta, benceno, butano, propano, alcohol, acetona, benzol, lacas, vapores de disolvente o gas natural.

Clase II Lugares en los que existe la presencia de polvo combustible.

Grupo E Atmósferas conteniendo polvo metálico con aluminio o magnesio y sus aleaciones comerciales y otros metales de características peligrosas semejantes.

Grupo F Atmósferas conteniendo carbón o polvo de carbón.

Grupo G Atmósferas conteniendo harina o polvo de almidón o de grano.

Las bobinas de la electroválvula están usualmente dimensionadas para servicio continuo, es decir, pueden estar alimentadas permanentemente sin que sufran daños o alcancen temperaturas excesivas, poseen una elevada resistencia a la humedad. Existen varias clases de bobinas según las temperaturas de trabajo y se fabrican en general para temperaturas totales de 100°C a 200°C. Otras características importantes de la electroválvula son las presiones diferenciales de servicio máxima y mínima, el tiempo de respuesta y los materiales constituyentes.

La presión diferencial máxima de servicio es la existente entre la entrada y la salida de la válvula y se refiere al valor que puede aplicarse en posición de cierre sin que se altere el funcionamiento normal de la electroválvula al abrir. Su valor es mucho menor que la presión máxima de servicio de la válvula. La presión diferencial mínima de servicio es la más baja necesaria para una operación segura.

El tiempo de respuesta es variable, dependiendo del tamaño de la válvula, de la temperatura del fluido, de la pérdida de carga y de las características eléctricas de la bobina. Este tiempo suele oscilar entre 4 y 8 milisegundos para una pequeña válvula de acción directa hasta los 100 milisegundos en una válvula de piloto interno.

2.3 Servoválvulas

El control efectivo de los procesos industriales requiere generalmente un amplio uso de elementos finales de control, de entre ellos, el más frecuente empleado en la industria es la válvula de control o servoválvula. Esta tiene como función variar el caudal del fluido de control, que a su vez modifica el valor de la variable medida, comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del lazo de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. En la figura de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador en la figura 2-3 podemos ver una válvula de control típica.

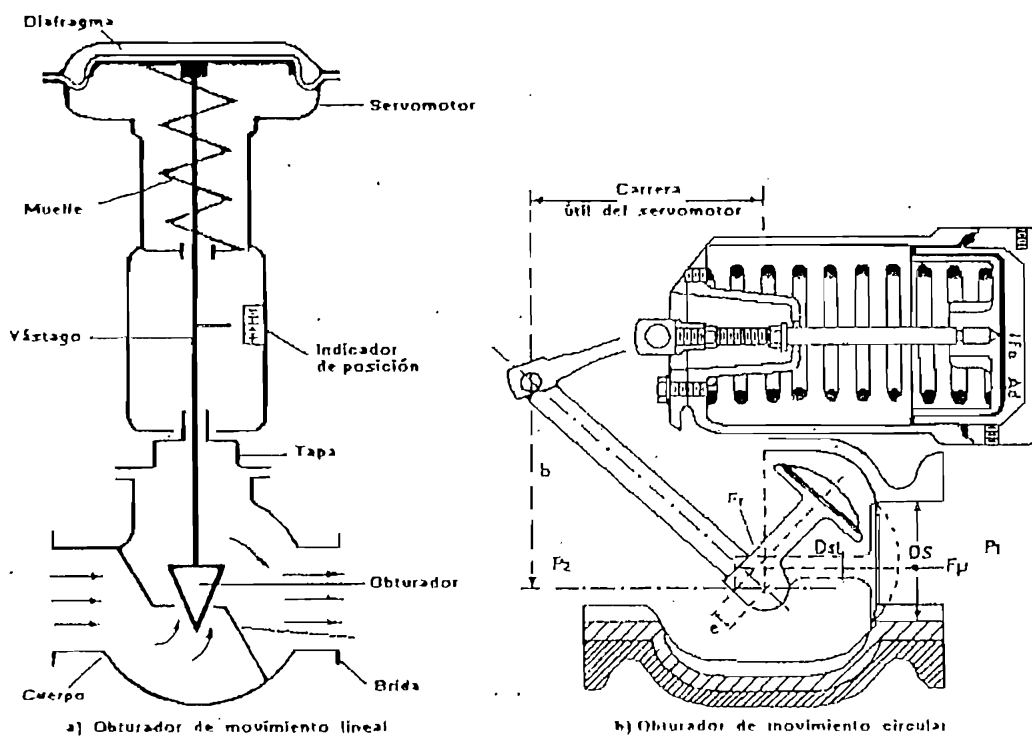


Figura 2-3
Válvula de control típica.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el obturador y los asientos y está provisto de rosca o de bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador realiza la función de control del paso del fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o bien tener un movimiento rotativo. Está unido a un vástago que atraviesa la tapa del cuerpo y que es accionado por el servomotor.

2.3.1 Tipos de servomotores.

Los servomotores empleados en las válvulas de control pueden ser neumáticos, eléctricos, hidráulicos y digitales, los más utilizados son los 2 primeros por ser más simples, de actuación más rápida y tener una gran capacidad de esfuerzo. En la práctica se dice que un 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente.

Los servomotores neumáticos son los primeros que se utilizaron en la industria, son los más simples y se caracterizan por poseer una gran rapidez de respuesta y una gran potencia disponible para accionar la servoválvula.

El aumento creciente del empleo de los instrumentos electrónicos de control en las modernas plantas de proceso ha promovido la creación de actuadores eléctricos o de sus combinaciones electroneumáticas o electrohidráulicas.

Los servomotores hidráulicos consisten de una bomba de accionamiento eléctrico que suministra fluido hidráulico a una servoválvula. La señal del instrumento de control actúa sobre la servoválvula que dirige el fluido hidráulico a los lados del pistón actuador hasta

conseguir mediante una retroalimentación, la posición exacta de la válvula. Se caracterizan por ser extremadamente rápidos, potentes y suaves, su costo es elevado, por lo que solo se emplean cuando los servomotores neumáticos no pueden cumplir con las especificaciones de servicio.

Los actuadores eléctricos utilizan básicamente el motor eléctrico rotativo para obtener un movimiento lineal del vástago de la válvula de control a través de un tren de engranajes.

El servomotor se caracteriza fundamentalmente por su par y por el tiempo requerido, usualmente 1 minuto, para hacer pasar la válvula de la posición abierta a la cerrada o viceversa. Existen tres tipos de circuitos eléctricos de control capaces de actuar sobre el motor: todo nada, flotante y proporcional.

Selección de actuadores. La selección de actuadores para válvulas motorizadas incluye su rendimiento y los factores económicos. La eficiencia de la válvula de control depende de lo bien que el actuador resista las fuerzas que se le aplican. Además un actuador puede ser parte importante del precio en especial cuando se emplea con una válvula pequeña. La gran variedad de tipos y tamaños de actuadores haría creer que la selección es compleja, pero no lo es. Si se tiene en cuenta algunas reglas sencillas, el conocimiento de las necesidades fundamentales del proceso facilitará mucho la selección.

Las características principales del actuador ayudarán a hacer la selección y son:

Fuente de potencia. La potencia disponible en el lugar en que está la válvula será la base para la selección del actuador.

Características de la protección contra fallas. Los sistemas de protección contra fallas incluidos en muchos actuadores detienen el proceso a fin de evitar posibles pérdidas del producto.

Capacidad del actuador. El actuador debe tener suficiente torsión o empuje para la aplicación específica, es recomendable en las válvulas grandes donde se requieren torsión o empuje altos, utilizar actuadores eléctricos o electrohidráulicos, pues no hay disponibles actuadores neumáticos de suficiente capacidad.

Resumen de ventajas y desventajas de los actuadores.

RESORTE Y DIAFRAGMA

Ventaja	Desventajas
Bajo costo	Baja torsión disponible
Sencillez	Gama limitada de temperaturas
Acción de falla sin peligro	Inflexibilidad en los cambios de servicio
Requiere baja presión	
Ajustable	
Facilidad de mantenimiento	
Puede estrangular sin ubicador	
Carrera a alta velocidad	

NEUMÁTICO DE PISTÓN

Ventajas	Desventajas
Alta capacidad de torsión	Requiere accesorios para falla sin peligro
Compacto	Necesita ubicador para estrangulación
Ligero peso	Precio más alto

Adaptable a alta temperatura

Necesita alta presión de suministro

Adaptable a requisitos de torsión de la válvula

Puede tener carrera rápida

Alta rigidez relativa del actuador

MOTOR ELECTRICO

Ventajas

Compacto

Adaptable para control remoto

Desventajas

Costo y relación de torsión elevados

No tiene falla sin peligro

Capacidad limitada para estrangulación

Carrera lenta

No es ajustable

ELECTROHIDRAULICO O HIDRAULICO

Ventajas

Alta torsión

Rigidez muy alta del actuador

Buena rigidez para estrangulación

Carrera rápida

Desventajas

Alto costo

Complejidad

Grande y pesado

Requiere accesorios para falla sin peligro

1.3 Selección de válvulas de control

Para seleccionar una válvula de control hay que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

1. El fluido.
2. Límites de temperatura.
3. Capacidad de cierre
4. Características de flujo

5. Materiales para empaquetadura
6. Tamaño de la válvula
7. Cavitación.

El fluido en la selección de la válvula. Según sea el fluido que se vaya a controlar se hará la selección de la válvula. No siempre se pueden obtener aleaciones con metales resistentes a la corrosión. Por fortuna, en la mayor parte de las aplicaciones son para líquidos que no son muy corrosivos a temperaturas y presiones razonables. Por ello, los materiales que más se utilizan para los cuerpos de válvulas son de hierro y el acero al carbono fundidos.

Límites de temperatura. La temperatura es otro aspecto importante del funcionamiento. En la tabla 2-1 se muestran los límites de temperatura sugeridos para los distintos materiales.

Material	Límites °F
Caucho	-60 a +160
Neopreno	-40 a +175
Nitrilo	-20 a +200
Poliuretano	-40 a +200
Butilo	-20 a +300
Etileno-propileno	-40 a +300
Tetrafluoroetileno	0 a +450
Siliconas	-65 a +400

Tabla 2-1
Límites sugerido de temperatura

Capacidad de cierre. Un aspecto que con frecuencia se descuida al seleccionar una válvula de control económica es el grado al cual debe cerrar la válvula, que puede ser desde una cantidad más o menos pequeña de escurrimiento en la posición cerrada, hasta fugas de menos de una burbuja por minuto en válvulas de globo con asientos blandos. Las especificaciones estrictas para el cierre aumentan el costo de una válvula.

Características del flujo. Las características del flujo sigue siendo uno de los factores que menos se entienden en la selección de las guarniciones de las válvulas. Las tres características más comunes: lineal, porcentaje igual y apertura rápida, determinan la capacidad de una válvula con una caída constante de presión en ella cuando se desplaza el macho.

La característica lineal se explica por si sola, la capacidad de la válvula varía en forma lineal de acuerdo con el recorrido del macho.

La característica de apertura rápida es lineal en la primera parte del recorrido y después, hay muy poca ganancia de capacidad.

La característica de porcentaje igual hace que la capacidad de flujo aumente el mismo porcentaje por cada distancia igual de carrera.

Materiales para empaquetadura. Una válvula de control tiene empaquetadura estándar del fabricante para aplicación. A veces, la experiencia del fabricante y su conocimiento de las ventajas y desventajas de los materiales de empaquetadura disponibles hacen que recomiende un determinado material para una aplicación específica.

Tamaño de la válvula. Una vez seleccionada la configuración y la característica del flujo en la válvula, hay que determinar el tamaño de la válvula de control. La determinación consiste en la técnica para establecer el tamaño de la válvula más adecuada para controlar el proceso. Eric

válvula muy pequeña no dejará pasar todo el volumen requerido, una muy grande puede ser un gasto innecesario y puede ocasionar problemas de desgaste de las guarniciones y de control, con cantidades muy pequeñas de recorrido.

Cavitación. La cavitación es la formación y aplastamiento de burbujas en la corriente de líquido. Hay tres clases de flujo o líquido en una válvula de control con cavitación, sin cavitación y de vaporización instantánea. Para el flujo de líquidos sin cavitación y de vaporización instantánea, las pruebas de laboratorio y la experiencia indican que la intensidad de ruido es menor y no suele ser un problema. El flujo con cavitación puede ocasionar un ruido considerable y daños que inutilizarán la válvula.

Estudio de costos.

Un estudio económico comparativo de los diversos sistemas disponibles debe considerar el costo real, por ejemplo, del sistema neumático formado por el servomotor neumático, el compresor de aire y las tuberías necesarias para la distribución de la energía neumática frente al costo del sistema eléctrico compuesto por el motor eléctrico o sus combinaciones y por el cable de potencia necesaria, así el costo adicional de la bomba de presión hidráulica o del convertidor electroneumático en el caso de utilizar un sistema híbrido.

Otras consideraciones que influyen en la elección son la rapidez de respuesta y la potencia disponible para el accionamiento de la válvula. Una solución híbrida, empleada con frecuencia en las plantas químicas industriales, es la instrumentación electrónica con válvulas neumáticas y un convertidor intermedio. No obstante, los sistemas totalmente eléctricos

resultan ya económicos y se emplean normalmente, siempre que la rapidez de respuesta o par necesario no sean importantes, y siempre que, como es natural, los instrumentos de control empleados no sean neumáticos, en cuyo caso, la elección natural es la válvula de control neumática

El precio de la válvula para un servicio específico como es el caso de la presente tesis depende de factores que incluyen tamaño, tipo de válvula, es así que la válvula utilizada para este trabajo es la INOX-GE modelo G-O que se presenta en la figura 2-4.

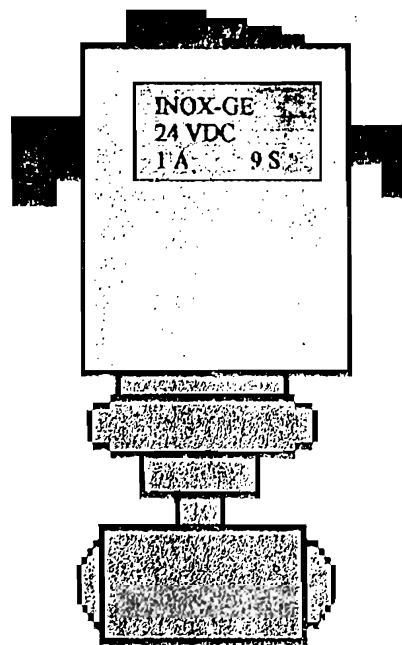


Figura 2-4
Servoválvula utilizada

El precio correspondiente a este modelo es de 9 150.000.00 sucres más el 12% de I.V.A., lo cual da un total de 10 248.000.00 sucres, este precio comparado con lo que cuesta una electroválvula resulta mucho más elevado.

Para realizar una instalación correcta de la válvula y no aumentar el precio del proyecto en gastos innecesarios, hay que tomar en cuenta dos las reglas empíricas que se presentan a continuación:

1. Tamaño de la válvula no menor que la mitad del tamaño de la tubería.
2. Tamaño de la de la válvula no menor de dos tamaños menos que de la tubería.

3.1 Implementación del algoritmo de control

Utilizando el software desarrollado en la tesis del Ingeniero Mauricio Silva que lleva como título: Diseño y construcción de un módulo didáctico y software para simulación en un PC de un medidor de líquidos en tanques abiertos por medio de ultrasonido y realizando la corrección presentada en la figura 3-1, con la cual se elimina la lectura incorrecta, tanque lleno presentada en el momento de la medición.

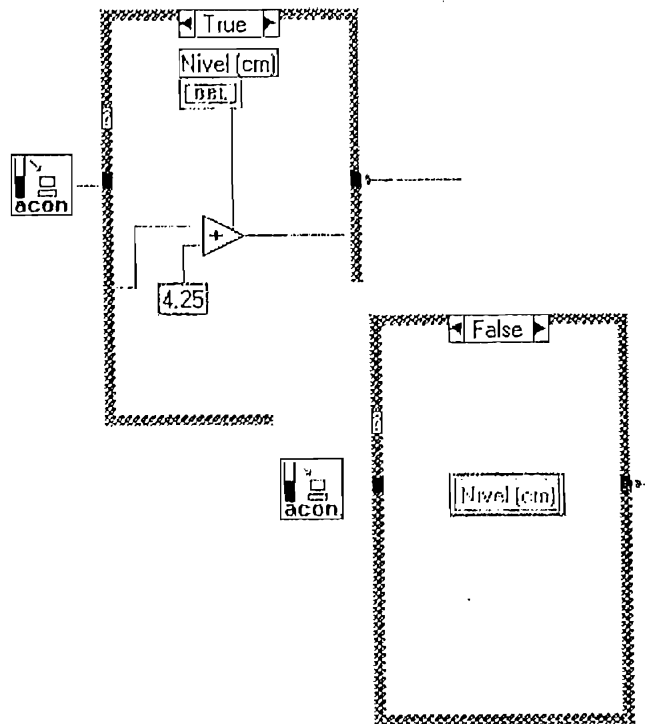


Figura 3-1
Solución de perturbación

La parte del programa mostrada en la figura 3-1 lo que hace es que cuando el PC recibe el dato del nivel del módulo, simplemente lo hace pasar, caso contrario cuando no ha recibido ninguna información presenta la lectura anterior del nivel.

Una vez realizada la corrección en la determinación del nivel se procedió a implementar un algoritmo de control PID dado por la ecuación 3-1.

$$Y = E_0 * (k_p + \frac{k_D}{T} + k_i * T) + (\frac{k_D}{T}) * E_1 + k_i * E_2 \quad \text{Ec. 3-1}$$

Donde:

E_0 representa el error al tiempo (t)

E_1 representa el error al tiempo (t-1)

E_2 representa el error al tiempo (t-2).

Aprovechando la facilidad que presenta el paquete LabVIEW para implementar este tipo de ecuaciones se procedió con el siguiente razonamiento: utilizando el dato de medida de nivel y con la introducción por parte del operador del set point (valor de referencia para el control), con estos dos valores se calculará el error necesario para esta forma de PID, el valor resultante de la operación matemática será manipulado de tal manera que se pueda tener valores manejables para el control.

El funcionamiento general se indica en la figura 3-2.

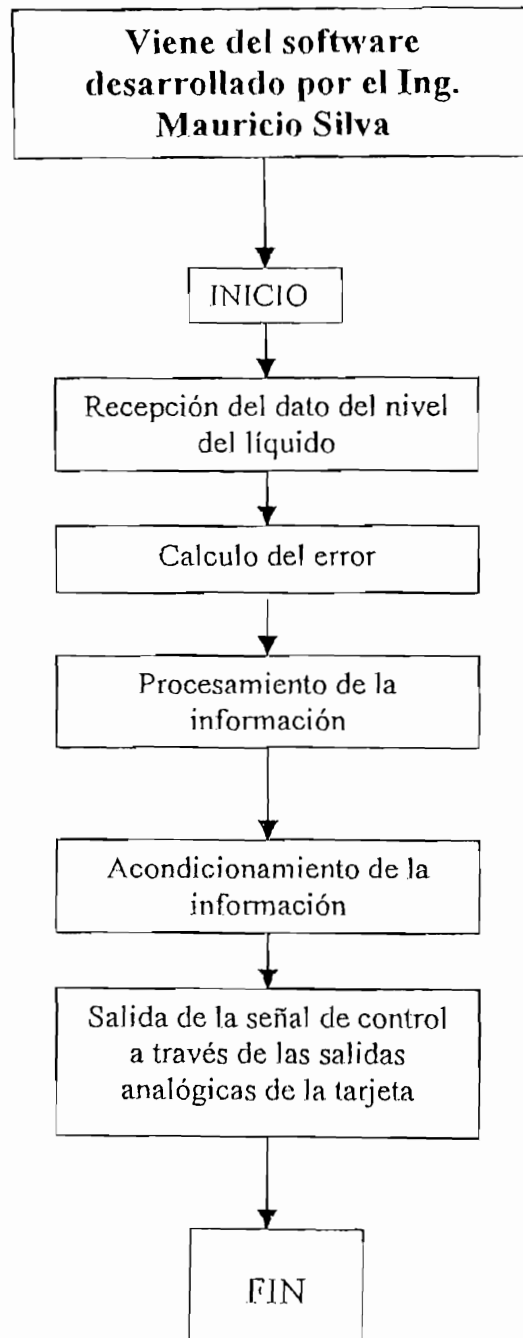


Figura 3-2
 Algoritmo del controlador

A continuación se presenta el algoritmo anterior desarrollado en lenguaje estructurado.

Recepción del dato del nivel del líquido

Determina el instante de la medición

Realiza la corrección, si es el caso

Fin tarea

Cálculo del error

Compara el valor del nivel con el del set point

Fin tarea

Procesamiento de la información

Determina el valor de la señal de control

Fin tarea

Acondicionamiento de la información

Compara el valor de la señal de control

Realiza el razonamiento necesario para la aplicación

Fin tarea

Salida de la señal de control a través de las salidas analógicas de la tarjeta

Activa las salidas analógicas

Fin tarea

PANTALLA PRINCIPAL

Mostrará:

El nivel del líquido

Si la válvula se encuentra abriendo o cerrando, de ser el caso

Si el programa se está ejecutando

Fecha y hora

El nivel de voltaje con el cual se activa a los transistores

El nivel de voltaje aplicado a la válvula

Si el voltaje de salida del PID, sigue o no al valor de set point seleccionado

Permitirá:

Poner el valor de set point deseado

Introducir los valores de las constantes del PID

Seleccionar el retardo con el que se desea tomar datos

Seleccionar el pórtilo serial como: 0 ó 1

Poner una pausa en la ejecución del programa

Esta pantalla la podemos observar en la figura 3-3 que se muestra a continuación

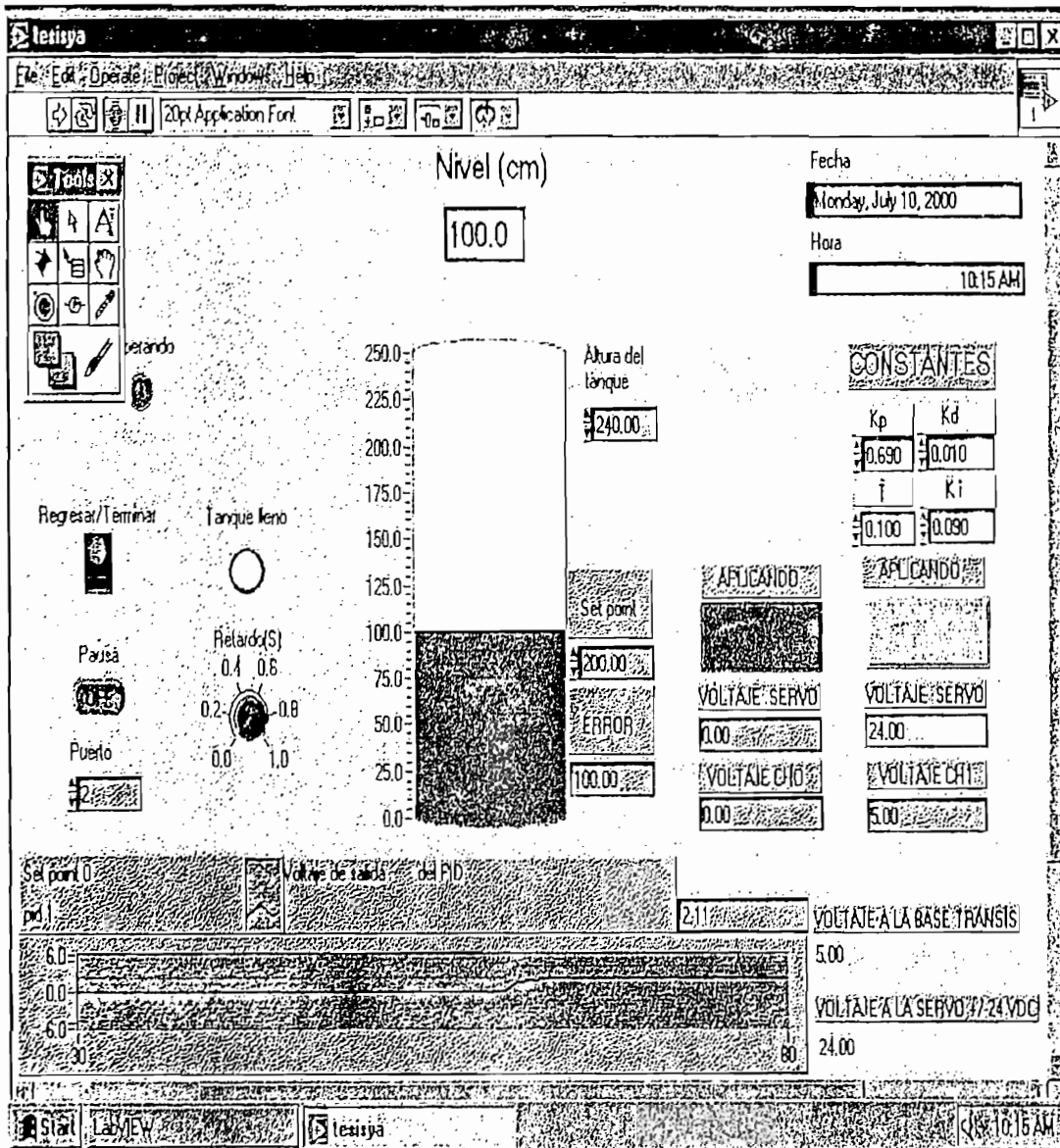


Figura 3-3
Pantalla principal

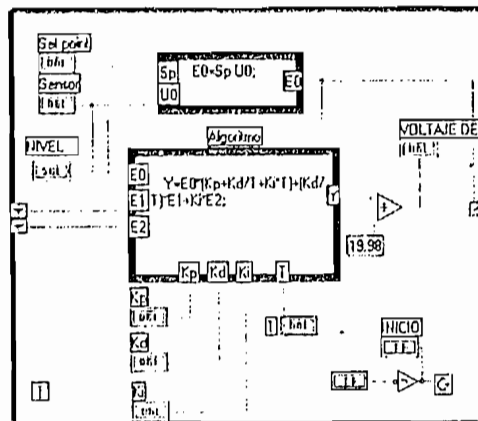
CALIBRACION

Para la calibración del sistema en una primera parte se simuló una entrada, para ver como reacciona el sistema para los diferentes valores de las constantes, en la segunda parte ya con datos reales a la entrada se realiza el mismo análisis.

3.2 Calibración con datos de entrada simulados

Esta parte servirá principalmente para tener una idea de los valores de las constantes, para esto se implementó el algoritmo PID dado en la ecuación 3-1.

$$Y = E_0 * (k_p + \frac{k_D}{T'} + k_i * T') + (\frac{k_D}{T'}) * E_1 + k_i * E_2$$



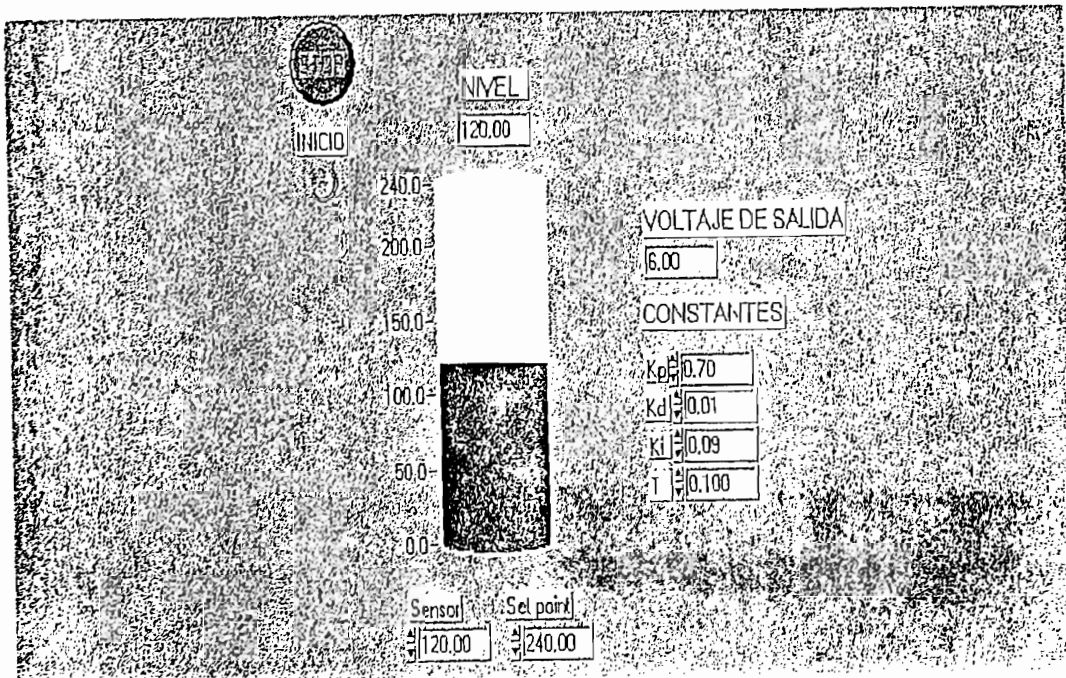


Figura 3-4
Simulación para la calibración del PID

La lógica seguida es la siguiente: Para un valor de error máximo (sensor = 0cm y set point = 240cm), la respuesta del sistema debe ser máxima y para un valor de error mínimo (sensor = set point), la respuesta del sistema debe ser cero en las posiciones intermedias la respuesta debe ser proporcional a los valores límites.

Teniendo en cuenta este criterio se aplica el método de tanteo explicado en el capítulo 1, obteniendo los siguientes valores para las constantes:

$$K_p = 0.7$$

$$K_i = 0.09$$

$$K_D = 0.01$$

3.3 Calibración con datos reales de entrada.

Utilizando el razonamiento ya explicado en la parte 3.2, se procedió de la siguiente manera: Con K_D y K_I igual a 0 se fue ajustando el valor de K_P , hasta obtener el valor más cercano al valor ideal el cual que permite tener la relación de amortiguamiento deseada.

Se varió la constante K_I , que corresponde a la banda integral, procurando que no sea ni demasiado lenta ni tampoco demasiado rápida, esto para lograr reducir el valor de las oscilaciones.

Luego se aumentó la constante K_D , que corresponde a la banda derivada, hasta obtener el mejor resultado; hay que tener en cuenta que la acción derivada no sea demasiado pequeña, porque en este caso estaríamos empeorando el tiempo de estabilización, en cambio con una acción derivada demasiado grande el control se distorsiona completamente y el tiempo de estabilización es mucho más grande.

Con este método de calibración se obtuvieron valores de las constantes parecidos a los arrojados en la primera parte, es así que podemos señalar que el sistema responde de la mejor forma con los valores de K_P , K_I , K_D , siguientes:

$$K_P = 0.69$$

$$K_D = 0.01$$

$$K_I = 0.09$$

Como se mencionó anteriormente estos son los valores que hacen que el sistema responda de la mejor manera, pero podría señalar que para ciertos rangos de valores de las constantes, el sistema responde ya de una forma satisfactoria.

3.4 Hardware desarrollado

Esta parte permite el control del motor por medio de la activación de los transistores correspondientes, los que dejarán que la válvula se abra o se cierre según sea la aplicación de los voltajes a los terminales del actuador eléctrico (anexo C).

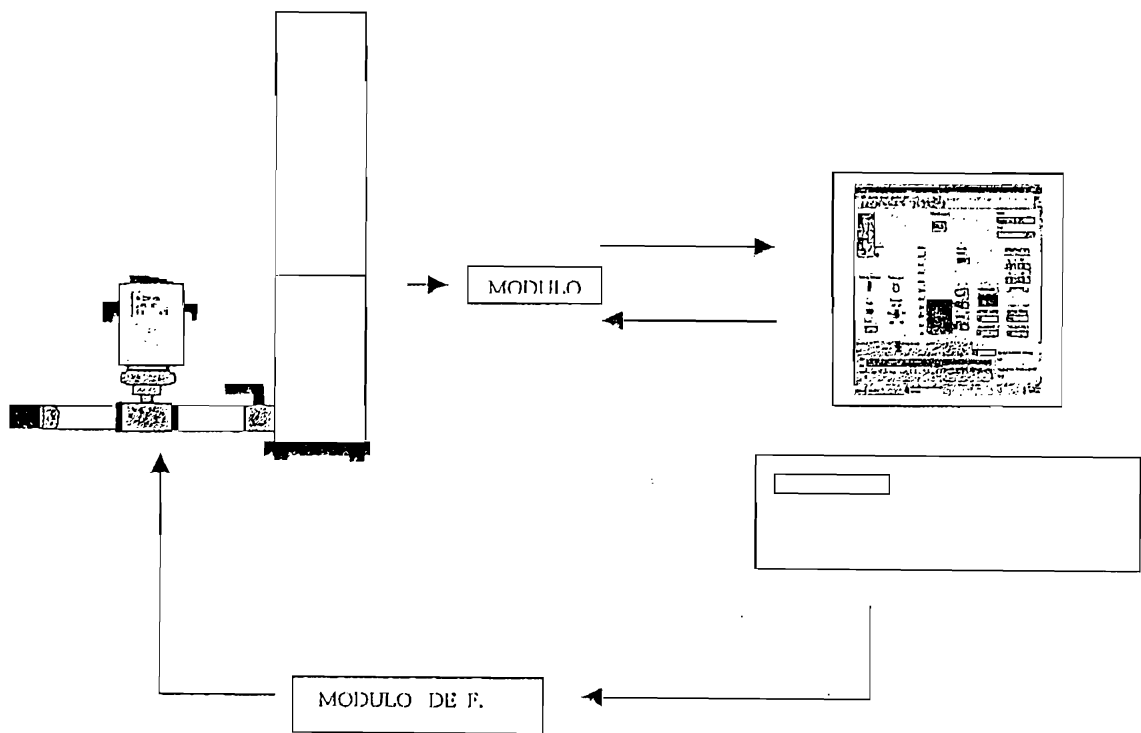


Figura 3-3
Hardware desarrollado

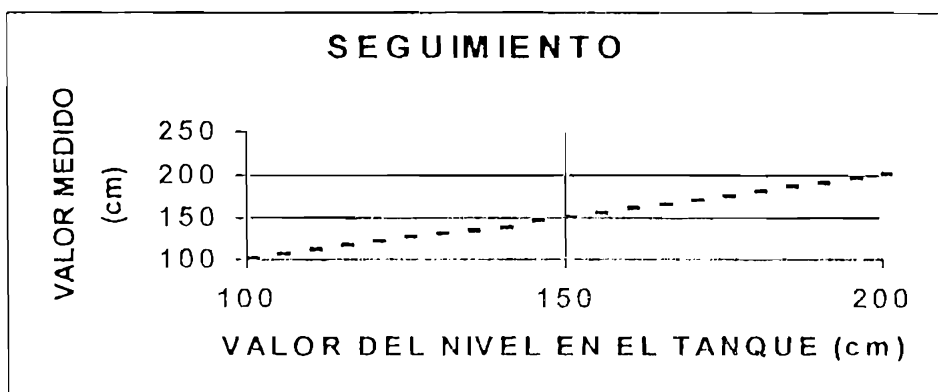
CAPITULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

4.1 Pruebas de seguimiento.

En esta prueba se dejará libre el paso de agua al tanque y se tomarán los valores de lectura entregados por el sistema de medición, esto permitirá tener una idea de qué tan exacto va a ser la lectura de la altura del nivel de agua.

Prueba de seguimiento



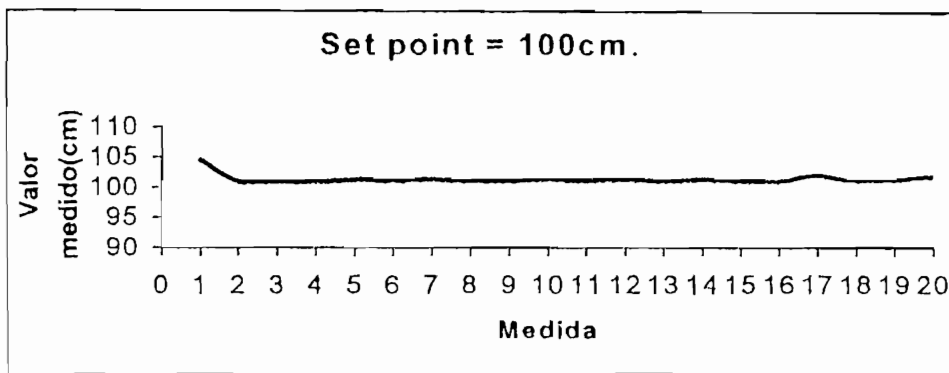
Esta prueba de seguimiento fue necesaria realizarla para tener seguridad de la capacidad del sistema para medir el nivel del líquido, es necesario señalar que esta prueba la encontramos con mayor detalle en la tesis del Ingeniero Mauricio Silva. A pesar de ello creo que es correcto mostrar que el módulo sigue trabajando.

Como podemos notar el seguimiento es casi lineal, esto da buenos augurios para el control del nivel, objetivo del presente trabajo de tesis.

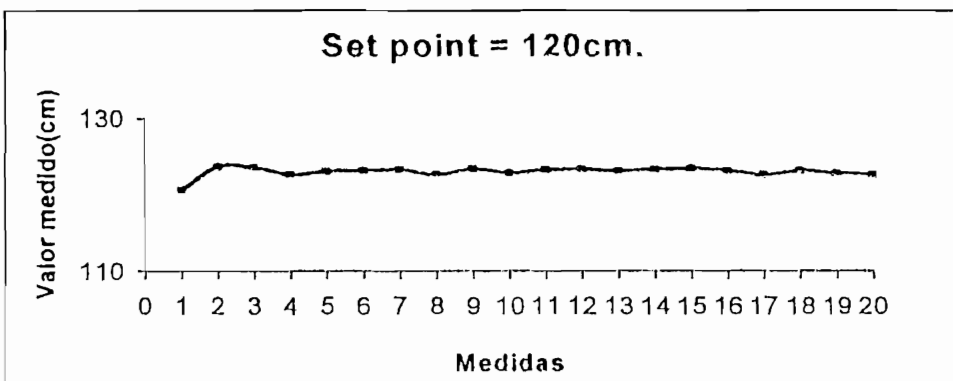
4.2 Pruebas realizadas sin perturbación.

Para esta prueba se asignó valores al set point iguales a: 100, 140, 160, 180, 200 y 220 cm., sin introducir perturbación al sistema, obteniendo los siguientes resultados:

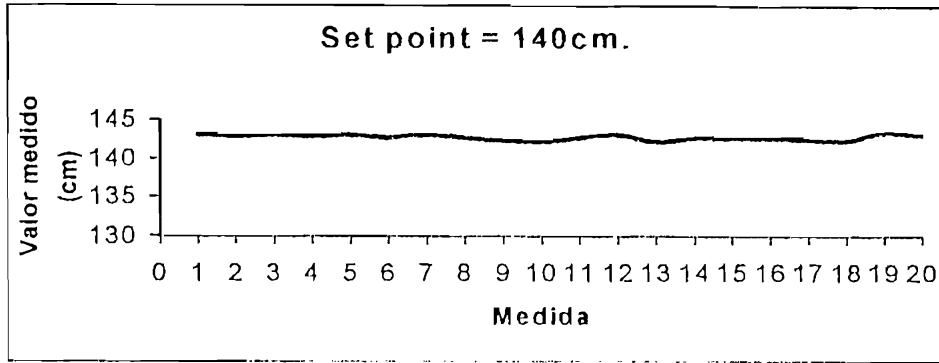
Set point = 100cm.



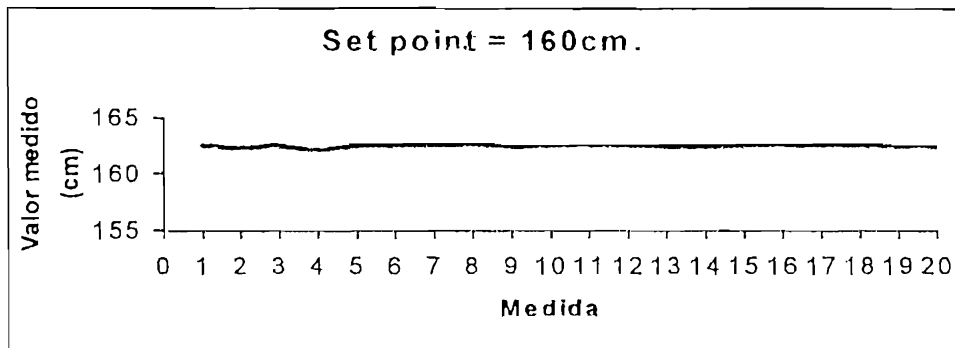
Set point = 120cm.



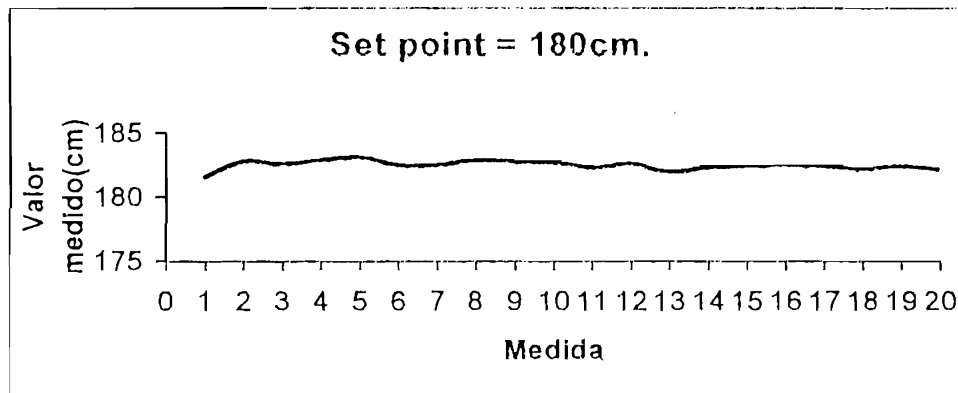
Set point = 140cm.



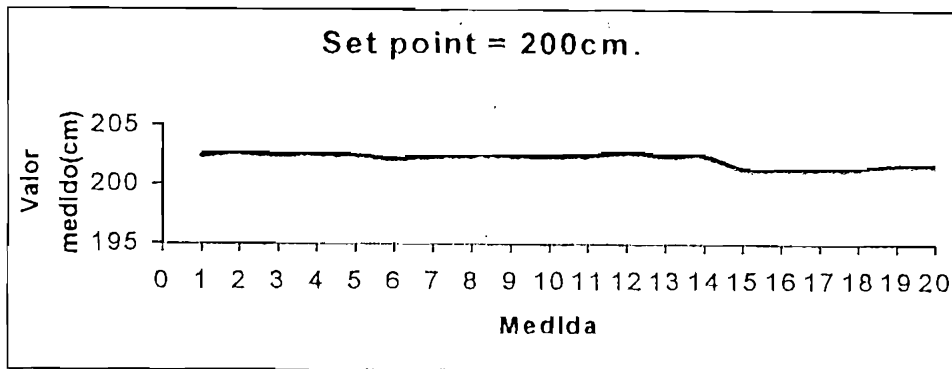
Set point = 160cm.



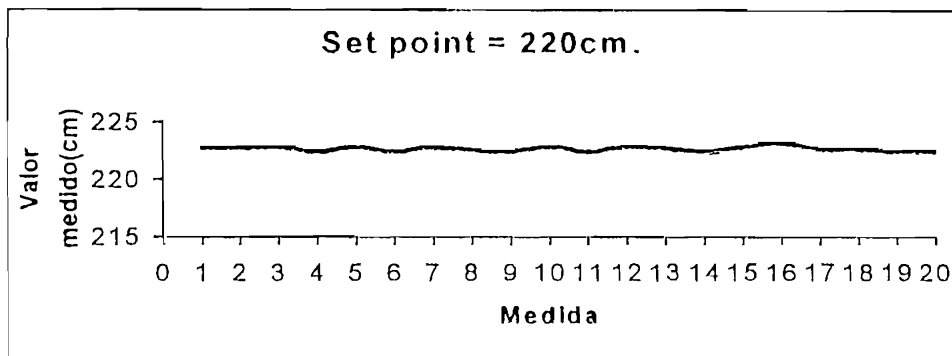
Set point = 180cm.



Set point = 200cm.



Set point = 220cm.



En estas pruebas realizadas el nivel del líquido en el tanque se mantuvo en un nivel constante, ya que no es posible la disminución del mismo debido a la que la válvula de salida se encuentra cerrada y por lo tanto no existe perturbación en el sistema que provoque que actúe el control. En la tabla 4-2, se indica los valores de nivel obtenidos para los distintos valores de set point.

Como podemos observar en los gráficos de las pruebas realizadas, las lecturas para un mismo nivel del líquido no son constantes, esto se debe principalmente al movimiento en la superficie del líquido que causa la diferencia entre una y otra lectura.

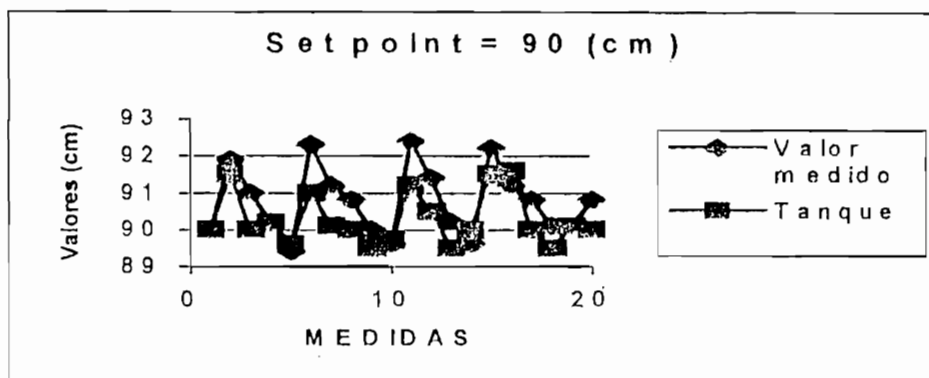
Set point (cm)	Nivel del tanque (cm)
100	99.5
120	119
140	143
160	161.8
180	181.6
200	200.15
220	221.5

Tabla 4-2
Comparación del nivel del líquido en el tanque con el valor de setpoint

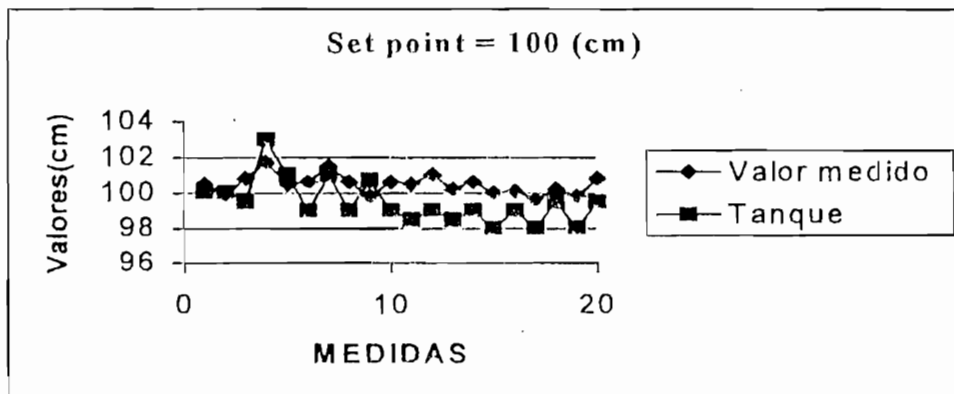
4.3 Pruebas con perturbación.

En la segunda parte se realizaron para los mismos valores de set point, pero esta vez introduciendo la perturbación que consiste en abrir la válvula de salida, y se obtuvo los siguientes resultados:

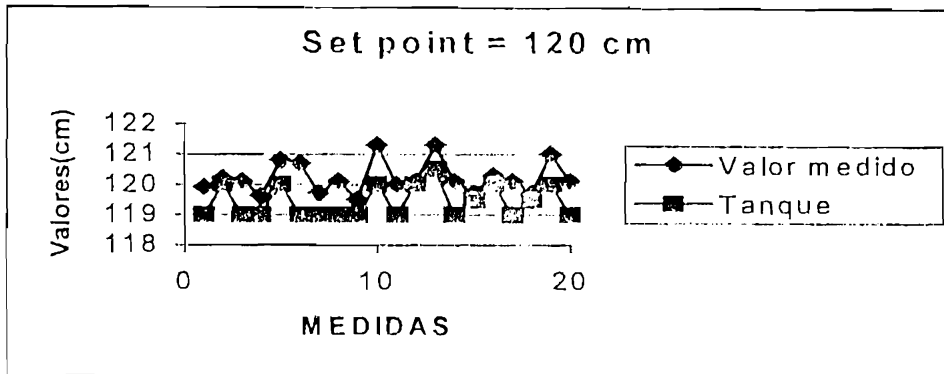
Set point = 90 cm.



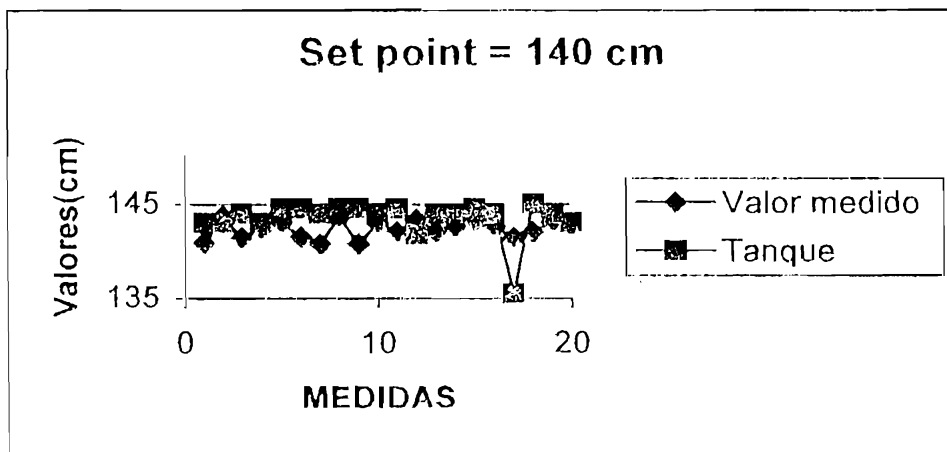
Set point = 100cm.



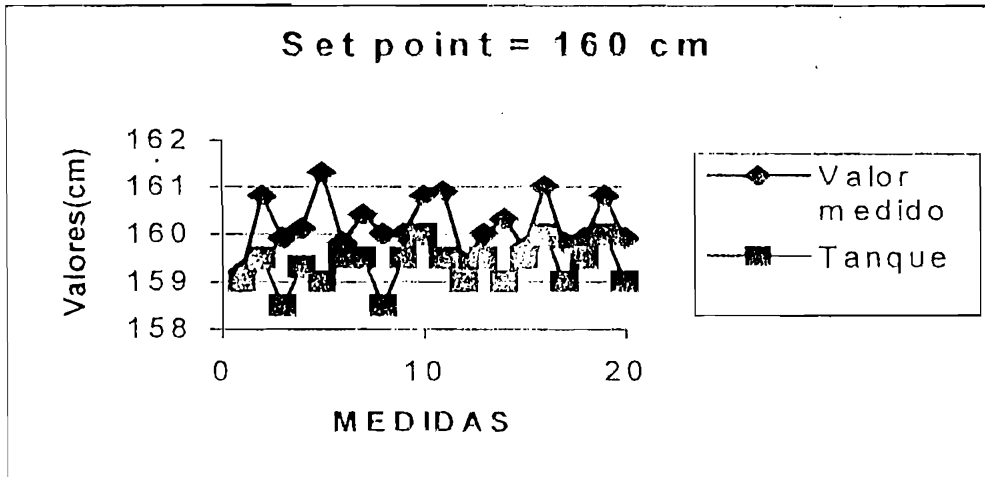
Set point = 120 cm.



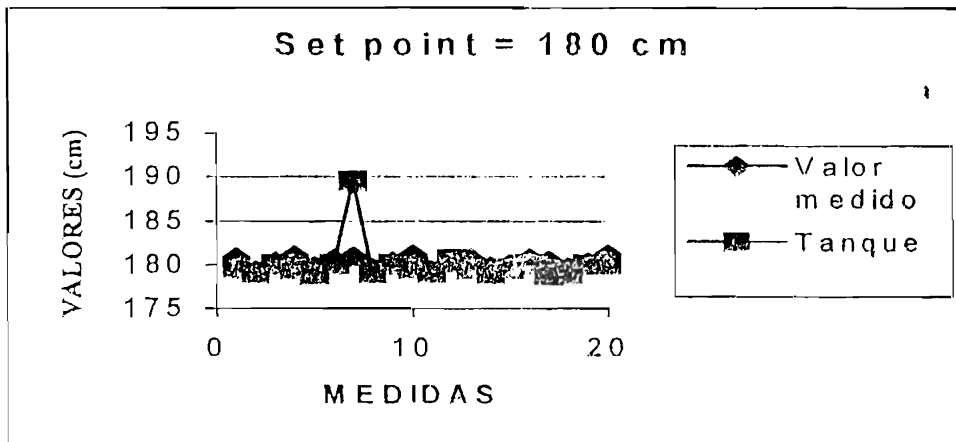
Set point = 140 cm.



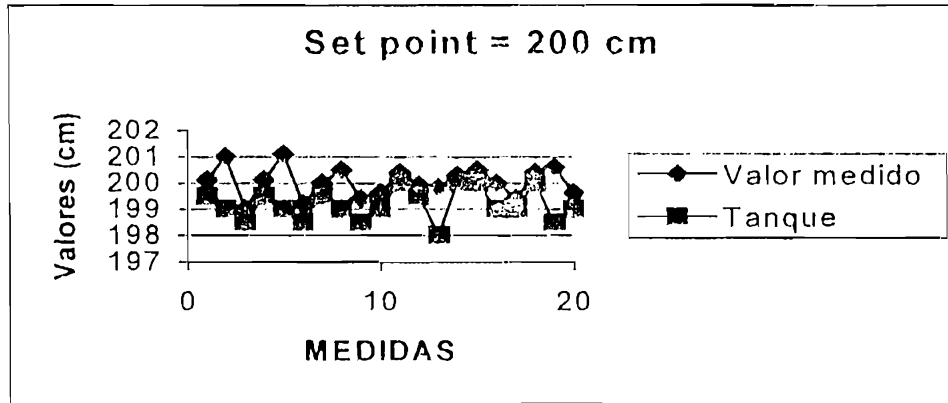
Set point = 160 cm.



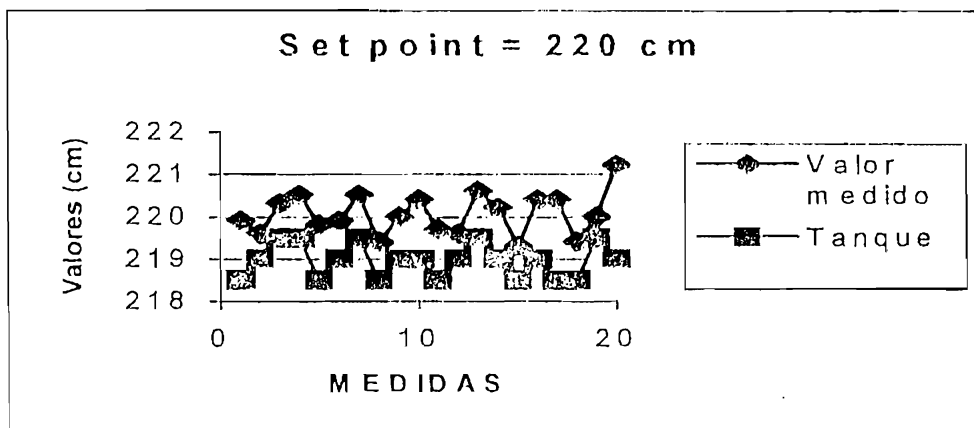
Set point = 180 cm.



Set point = 200 cm.



Set point = 220 cm.



En las pruebas realizadas se muestra el valor en la escala existente en el tanque y el valor que se muestra en la pantalla del computador (valor medido).

Estas pruebas muestran que la diferencia entre el nivel deseado y el nivel real del líquido en el tanque son muy cercanos, es así que si se pudiera tener una lectura exacta del nivel del tanque el control podría ser de mucha mejor calidad, sin embargo a pesar de estos problemas los resultados arrojados son muy alentadores con respecto al objetivo trazado en un inicio.

Cabe señalar que las lecturas tomadas tanto en el tanque como en la pantalla del computador a pesar de realizar el mejor esfuerzo no corresponden a un mismo instante de tiempo, esto es debido que la adquisición de datos se la realiza con retardos menores a 1 segundo, y el tiempo requerido para tomar valores es mayor, sin embargo los resultados obtenidos son lo más aproximados.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El tema de este trabajo de tesis, ha sido propuesta, en su primera parte, y luego desarrollada con el fin de consolidar las bases teóricas adquiridas a lo largo de la carrera en la especialización de Ingeniería Electrónica y Control.

De acuerdo a la serie de pruebas realizadas con el equipo, se puede asegurar que el mismo opera satisfactoriamente, cumpliendo de esta manera con el objetivo propuesto para este trabajo de tesis.

La velocidad de llenado del tanque fue mayor a la velocidad de vaciado, la primera depende de la presión del sistema de agua potable y la presión que ejerza la columna de agua en el tanque, mientras que la segunda depende exclusivamente de la presión ejercida por la columna de agua. Esto fue importante para poder cambiar el valor de set point a un valor más alto sin necesidad de cerrar la válvula de salida.

De las mediciones y pruebas realizadas se puede afirmar que el control varía en +/- 1.5 cm. del valor de set point deseado, esta desviación se debe principalmente a que la medida realizada no es constante para un mismo nivel del líquido. Esto hace pensar que las limitaciones que presenta el equipo de medición, hacen que el control realizado varíe con este margen de error.

Las pruebas realizadas permiten afirmar que el equipo trabaja sin problemas durante el tiempo que se requiera, de esto se puede decir que equipo es óptimo para aplicaciones en donde se requiera un control por mucho tiempo.

Debido a la desviación en la determinación del nivel del líquido, se obtiene una desviación en el nivel de control, esto ha ocasionado que se piense en una solución que involucre al software del sistema, esta solución fue muy buena para ciertos valores de nivel, pero para los niveles bajos (de cero a los 90cm.) los errores en la medición se acentúan mucho más esto ha ocasionado que el control en estos niveles sea mucho más complejo.

La ventaja más importante que presentó la servoválvula fue que el tiempo necesario para ir de una posición a otra es de 9 segundos, pudiendo detenerse en cualquier parte del recorrido y cambiar de dirección, si el control así lo requiere, esto fue aprovechado con cierta limitación debido a los errores en la medición de un mismo nivel ya señalas con anterioridad.

Aprovechando el software desarrollado en la parte de medición en el trabajo de tesis del Ingeniero Mauricio Silva y realizando las adecuaciones necesarias, se pudo llegar a la finalización de el presente trabajo con resultados aceptables dentro de el objetivo inicial.

5.2 RECOMENDACIONES

Es aconsejable utilizar la válvula de este trabajo de tesis en futuros trabajos que involucren sensores de caudal, donde se puedan aprovechar todas las ventajas que presenta esta herramienta de control.

Si bien es cierto que el equipo ha mostrado poder trabajar por varias horas, sin que se pierda ninguna de las características del mismo, se sugiere hacer trabajar solamente el tiempo que sea necesario, esta recomendación se la hace debido a que el equipo está sujeto a las limitaciones del computador. Para construir un equipo mucho más fiable será importante el uso de un PLC donde se tenga independencia del computador.

ANEXO A
GLOSARIO

Actuador. Parte de una válvula reguladora que convierte la energía térmica, eléctrica o de un fluido en energía mecánica para abrir o cerrar la válvula.

Anchura de banda. Gama de frecuencia dentro de la cual es exacto el funcionamiento de un componente y abarca por lo general desde cero hasta frecuencia de corte.

Banda proporcional. Cambio en la entrada, requerido para producir un cambio de gama total en la salida, debido a la acción de control proporcional.

Bucle. Serie de etapas que forman una trayectoria cerrada.

Bucle abierto. El bucle está abierto cuando se conmuta al controlador asociado para control manual.

Bucle cerrado. Trayectoria para señal que consiste en una trayectoria de avance, una trayectoria de retroalimentación y un punto sumador, todos conectados para formar un circuito cerrado.

Capacidad de cierre. Relación entre el flujo máximo y el mínimo dentro de la cual se mantiene todas las características de flujo dentro de los límites prescritos.

Característica lineal. Las mismas distancias de movimiento del macho producen cambios iguales en el coeficiente de flujo.

Controlador. Define y mide el error entre el punto de referencia y el valor real de la variable del proceso, y envía una señal correctora al elemento de control final, que es la válvula de control.

Constante de tiempo. Es el valor τ en la expresión $A^{-t/\tau}$ de la respuesta a una excitación del sistema o bien en las expresiones $1+s\tau$, $1+j\omega\tau$. En un sistema de primer orden, ante una excitación de impulso o escalón, es el tiempo, necesario para completar el 63,2% del camino total en la respuesta.

Control de realimentación. Sistema de control en el que se compara una variable medida con un valor deseado y la señal de error obtenida actúa de tal modo que reduce la magnitud del error.

Distorsión. Error sistemático o desplazamiento del valor medido u observado en relación con el real.

Elemento final de control. Elemento de un sistema de control que hace variar al componente de control.

Elevación del vástago. Recorrido del vástago de la válvula al accionarla.

Fugas (escurrimiento). Cantidad de fluido que pasa por una válvula cuando está cerrada. Se suele expresar en unidades de volumen y tiempo con presión diferencial y temperatura dadas.

Guarniciones de válvulas. Componentes internos de una válvula expuestos al fluido.

Macho. Parte de una válvula de globo o de macho que cierra el orificio para detener el flujo. A veces se le llama tapón.

Obturador. Dispositivo de ciertos aparatos que regulan el tiempo de exposición.

Regulador. Un bucle completo de control integrado con sensor, controlador y válvula.

Señal. Salida o información que emana de un instrumento. Información representativa de un valor cuantificado.

Señal de salida. Señal producida por un instrumento que es función de la variable medida.

Señal de salida analógica. Señal de salida del instrumento que es una función continua de la variable medida.

Variable medida. Cantidad, propiedad o condición física medible.

Válvula de control. Válvula que regula el flujo o la presión de un fluido que influye en algún proceso controlado. Suele funcionar con señales remotas desde actuadores eléctricos, neumáticos, electrohidráulicos, etc.

Válvula piloto. Válvula para controlar el paso de un fluido auxiliar utilizado para amplificar la potencia de un controlador en un sistema grande. Es más una válvula pequeña requiere poca potencia y se utiliza para accionar una válvula más grande.

Vida útil de servicio. Tiempo mínimo especificado durante el cual se aplican las características de servicio continuo o intermitente del instrumento sin que se presenten cambios en su comportamiento más allá de tolerancias especificadas.

ANEXO B

CARACTERISTICAS DE LA VALVULA

CARACTERISTICAS DE LA VALVULA

VALVULA INOX GE

MODELO: G – O

V: 24 VDC

ANGLE: 90°

TEMP. AMBIENT.: -10 , +50°C

WORKING TIME: 9 SEG.

DUTY: 35%

CURRENT: 1A.

No. 980610951

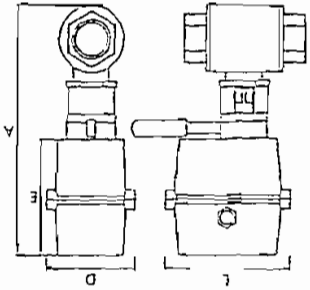
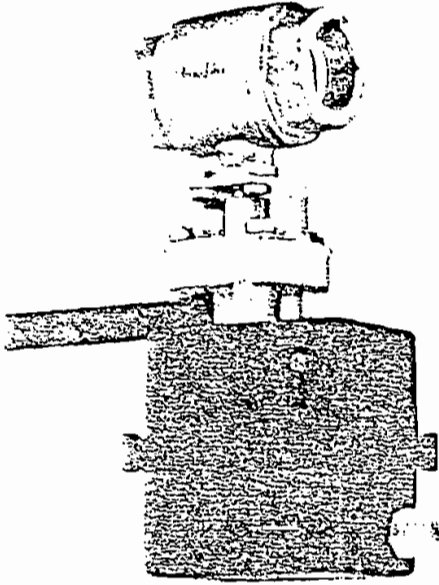
VALVULAS DE ESFERA - PASO TOTAL
CON ACTUADOR ELECTRICO

INNOX-GE

FIGURA
FIGURE

DESCRIPCION / DIMENSIONES
DESCRIPTION AND SIZE

CODIGO / MEDIDA / TIPO / PESO / PRECIO
CODE / LENGTH / TYPE / WEIGHT / PRICE



DN	A	E	L	D
1/2"	216	146	150	96
3/8"	216	146	150	96
1/2"	220	146	150	96
3/4"	234	146	150	96
1"	243	146	150	96
1 1/4"	279	164	155	99
1 1/2"	288	164	155	99
2"	307	164	155	99
2 1/2"	413	247	200	200
3"	452	247	200	200

ART. 5621
VALVULA ESFERA 2 PIEZAS
BALL VALVE 2-PIECE
CONST.:ACERO INOX. CF8M (316) MICROFUSION.
ASIENTOS Y JUNTAS: PTFE+PV
JUNTA TORICA EJE: FKM (VITON)
EXTREMOS: ROSCA GAS DIN-259

5621	02	50	1/4"	GEU-0	1,850	45,454	273,18
	02	51	1/4"	GE-0	1,850	45,454	273,18
	03	50	3/8"	GEU-0	1,840	38,026	222,54
	03	50	3/8"	GE-0	1,840	38,026	222,54
	04	50	1/2"	GEU-0	1,860	38,114	229,07
	04	51	1/2"	GE-0	1,860	45,543	273,72
	05	51	3/4"	GEU-0	2,150	38,660	232,35
	05	51	3/4"	GE-0	2,150	48,289	290,22
5621	07	52	1 1/4"	GE-1	3,450	69,814	419,59
	08	52	1 1/2"	GE-1	4,060	71,794	431,49
	09	52	2"	GE-1	5,240	77,474	465,63
5621	10	53	2 1/2"	GE-2	11,340	146,623	881,22
	10	53	3"	GE-2	16,050	187,460	1126,66

ART. 5635 / 5636 / 5637
VALVULA ESFERA 3 PIEZAS
BALL VALVE 3-PIECE

5635
5636
5637

VALVULAS DE ESFERA INOX-GE EQUIPADAS CON SERVOMOTOR ELECTRICO PARA ACCIONAMIENTO AUTOMATICO Y A DISTANCIA

CARACTERISTICAS DE LOS ACTUADORES

Alimentación: 12 y 24 V. DC.

24/48/110/220/240 V. 50 Hz.

Resistente a la corrosión.

Mando manual de emergencia. Se desembraga para accionar la válvula.

Indicador visual de posición.

Para motorizar válvulas de 2, 3 y 4 vías.

Contactos final de carrera incorporados, más 2 adicionales.

Protección IP - 65.

TIPOS DE ACTUADORES

CARACTERISTICAS TECNICAS

MODELO		GE-40	GE-0	GE-1	GE-2	GE-2+
POTENCIA	W	15	14	14	30	30
TIEMPO DE MANIOBRA 90°	SEG.	15	7,5	20	20	60
PAR DE ARRANQUE	Nm	15	25	60	170	350
PAR DE MANIOBRA	Nm	15	20	55	140	300
TIEMPO BAJO TENSION	%	35		50		
PROTECCION	-	IP65		IP-65		
ANGULO DE MANIOBRA	°	90	90/180	90	90/180	
PESO	Kg.	1,50	1,50	1,80	5,20	
TEMPERATURA	°C	-10 + 50		-10 + 50		
CONNECTORES		DIN-43650			DIN-43650	

ACCESORIOS OPCIONALES

Limitador de par electrónico

- Incluíble en la misma caja.

Posicionador 4/20 mA.

- Incluíble en la misma caja.

Termostato

- Incluíble en la misma caja.

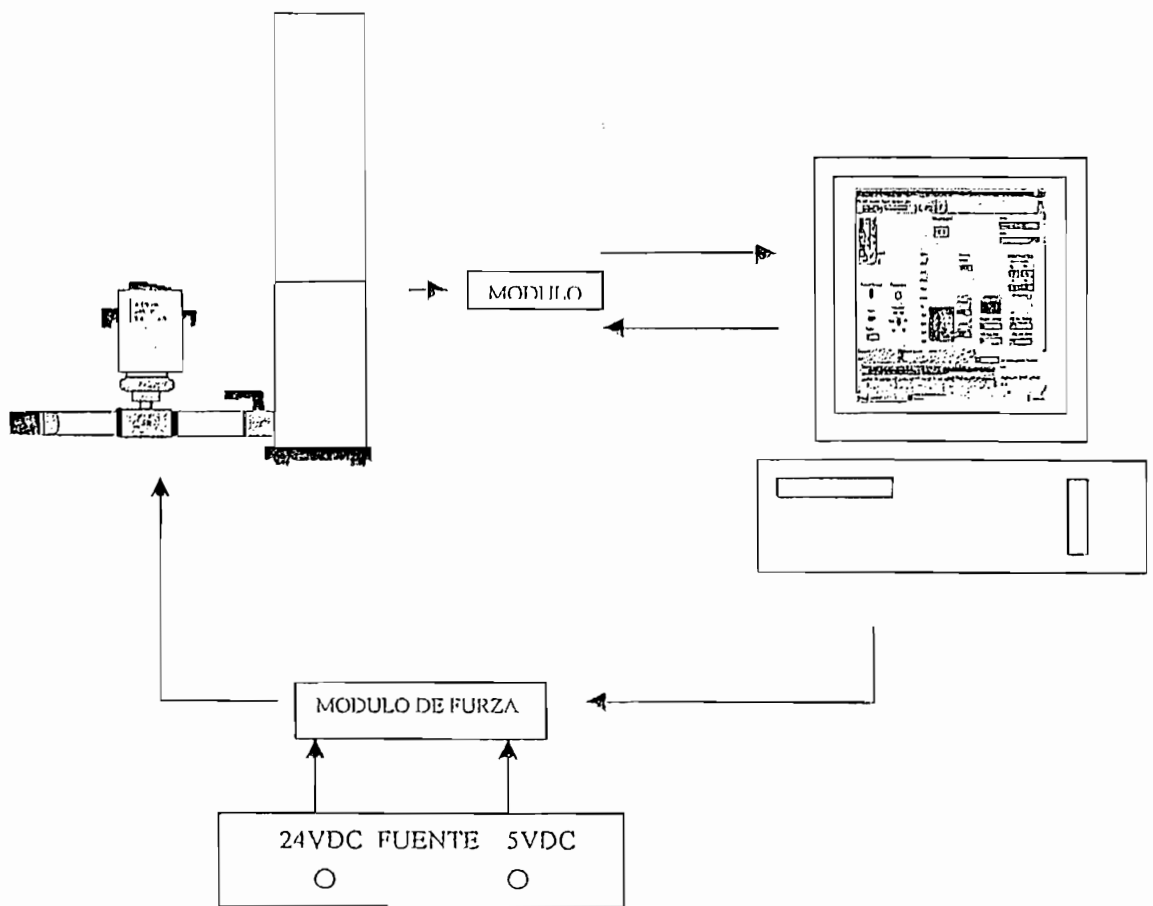
BLOQUE DE SEGURIDAD para G-0, G-1 y G-2. Este dispositivo permite situar la válvula en posición preferente (NC. ó NA.) convirtiendo el actuador a simple efecto, no en su sentido estricto, pero garantiza un número de movimientos, por fallo de suministro eléctrico.

Para actuadores de más potencia para acoplar a válvulas de diámetro superior, rogamos nos consulten.

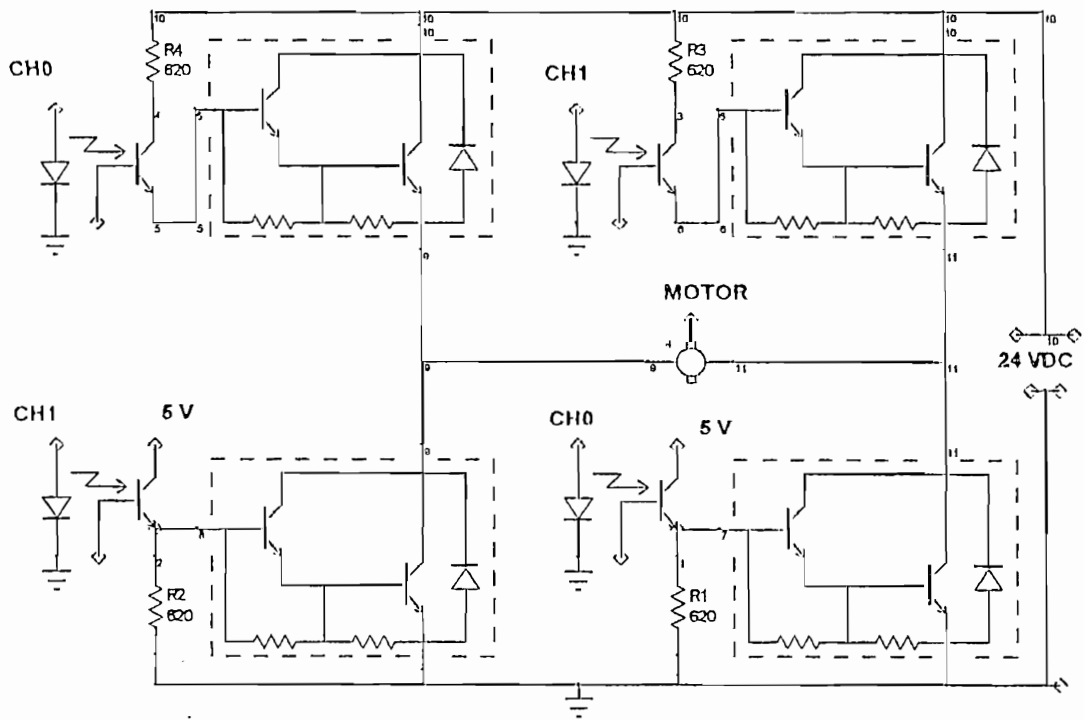
Rogamos consulten para características de los Servomotores modelos, GE-10, GE-13, GE-50; GE-60, GE-80 y GE-90, ya que pueden variar según aplicación

ANEXO C
DIAGRAMAS

DIAGRAMA DEL SISTEMA CONSTRUIDO



CIRCUITO DEL MODULO DE FUERZA



Diseño del circuito de fuerza o potencia.

La válvula, según sean las condiciones, debe estar abierta, cerrada o en una posición intermedia y es como se controla al actuador eléctrico lo que permitirá tener estas condiciones.

Como el actuador opera en los dos sentidos de giro de la válvula, esto llevó a pensar en un convertidor totalmente controlado debido a que permite una operación en dos cuadrantes, como elementos interruptores se eligió transistores amplificadores de corriente para estar seguros que la corriente sea la suficiente para la operación del motor, para aislar el circuito de potencia y el circuito de control se utilizaron opto acopladores, estos sirven principalmente para evitar daños a la tarjeta ya que se aísla de posibles retornos de corriente. Para estar seguro de la activación de los transistores a dos de ellos se permite el paso, nunca los dos al mismo tiempo, de una alimentación 5VDC, sometida a un divisor de corriente, con la señal proveniente de las salidas analógicas de la tarjeta LabPC-1200. A los otros dos se los activa, con lógica inversa, con 24 VDC (voltaje con que se alimenta a la servoválvula) limitado por una resistencia de 620 Ohmios.

Corriente necesaria para el motor 1 A.

Corriente máxima del transistor 8 A.

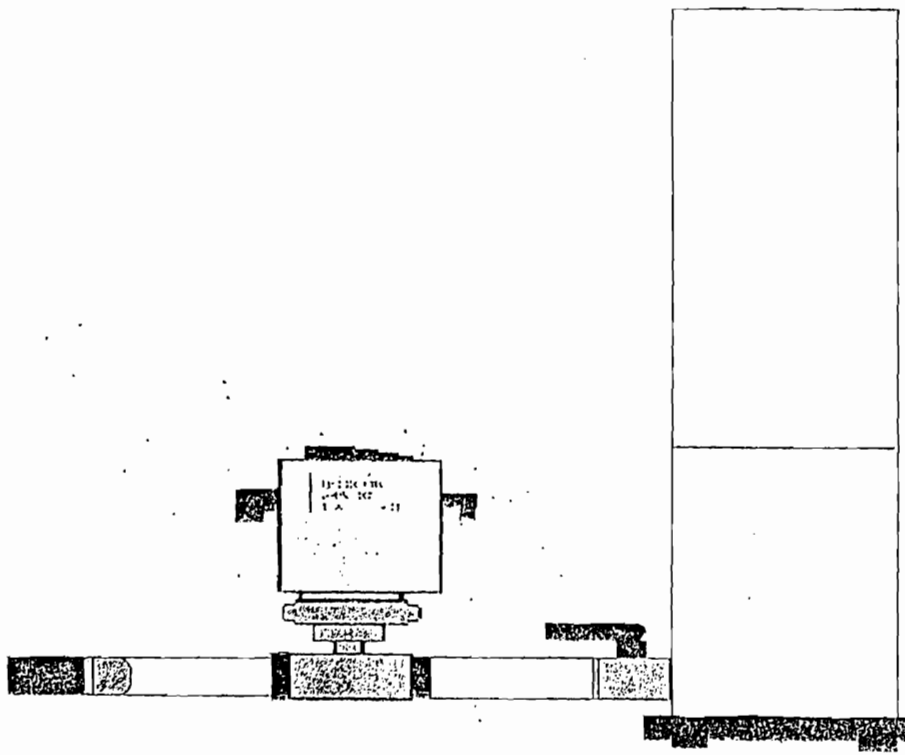
ELEMENTOS UTILIZADOS

Transistor utilizado: TIP – 110, TIP – 120

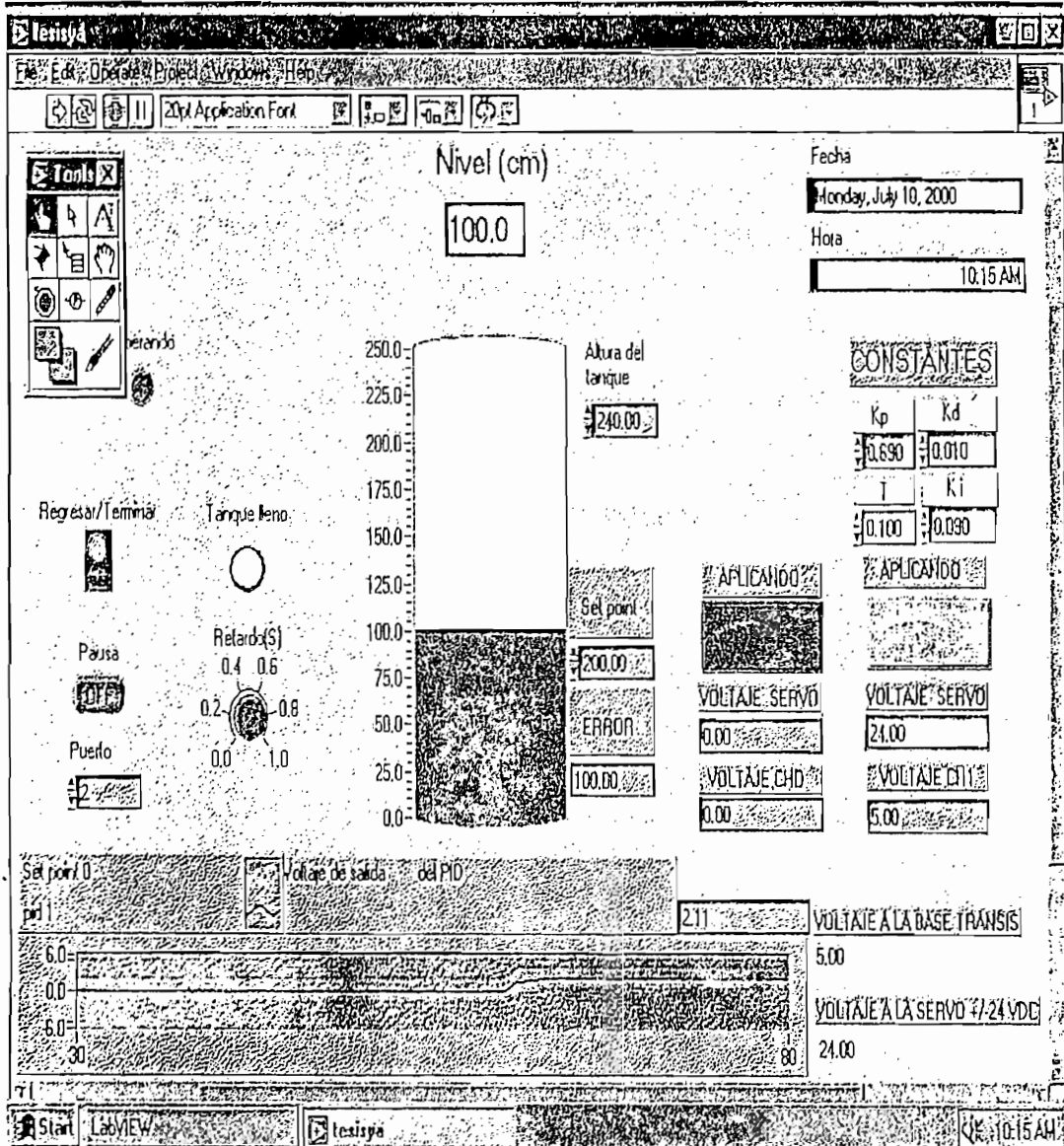
Optoacoplador: 4N25

Resistencia 620 ohmios.

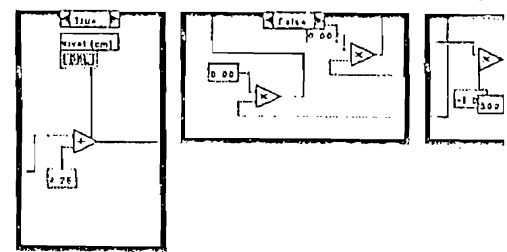
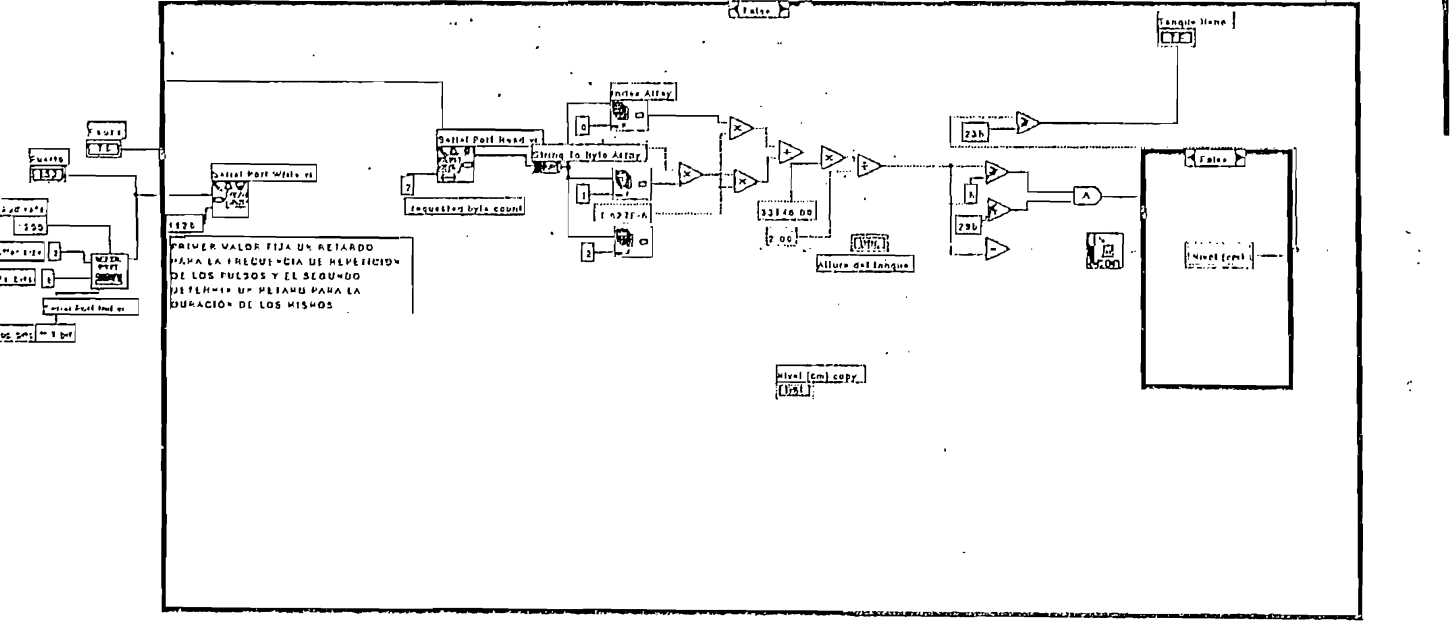
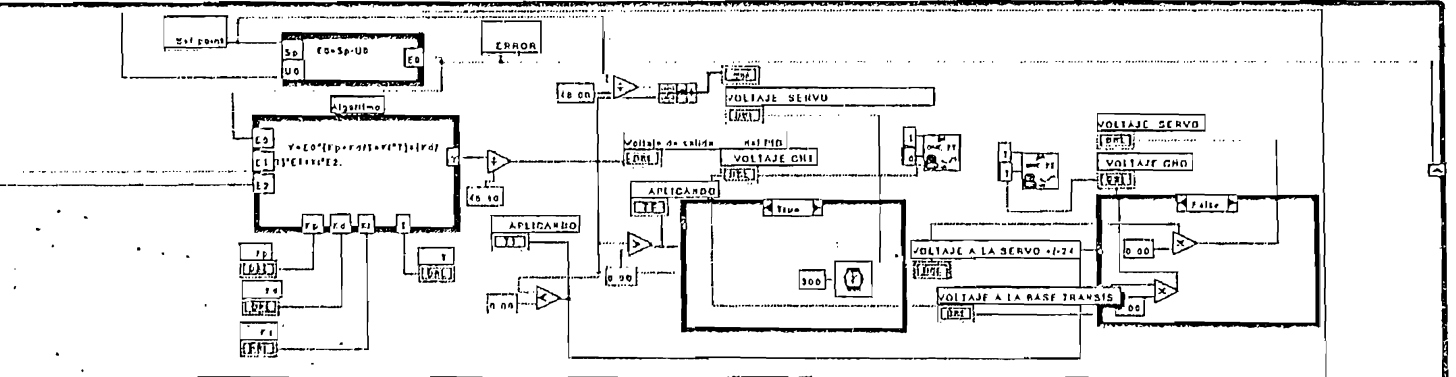
DIAGRAMA DEL SISTEMA CONSTRUIDO



PANTALLA PRINCIPAL DEL PROGRAMA NIVEL



istas\Omar Cevallos\nivel
odlled on 7/11/00 at 2:24 PM
d on 7/11/00 at 2:51 PM



ANEXO D
BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. KATSUHIKO, Ogata, "INGENIERIA DE CONTROL MODERNO", SEGUNDA EDICION, PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA, MEXICO, 1993.
2. CLARKE D. W., "PID ALGORITHMS AND THEIR COMPUTER IMPLEMENTATION",.
3. CREUS, Antonio, "INSTRUMENTACION INDUSTRIAL", EDITORIAL MARCOMBO, TERCERA EDICION, MEXICO, 1985.
4. GREENE, Richard, "VALVULAS SELECCIÓN, USO Y MANTENIMIENTO", EDITORIA McGRAW – HILL, MEXICO, 1992.
5. SILVA, Mauricio, "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODELO DIDACTICO Y SOFTWARE PARA SIMULACION EN UN PC DE UN MEDIDOR DE NIVEL DE LIQUIDOS EN TANQUE ABIERTOS POR MEDIO DE ULTRASONIDO", EDITORIAL POLITECNICA, QUITO, 1998.
6. CORRALES, Luis, "INSTRUMENTACION INDUSTRIAL", E.P.N., QUITO, JUNIO 1998.