

**CONTROL DE UN SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDO BASADO EN
LA TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS HUMUSOFT AD622**

TESIS

Que para obtener el Título de

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta

JULIO RODRÍGUEZ LÓPEZ

Asesor de Tesis

Dr. GILBERTO GONZALEZ ÁVALOS

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Octubre 2009

Contenido

Agradecimientos	VI
Resumen	VII
Bibliografía	VIII

Capítulo 1. Introducción

1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Justificación	2
1.4. Metodología	3
1.5. Organización de la tesis	4

Capítulo 2. Descripción del sistema

2.1. Tanque	5
2.2. Tanque cisterna	6
2.3. Bomba	7
2.4. Sensor de presión	8
2.5 ductos de transferencia de liquido	9
2.6. Sistema de adquisición de datos	9
2.7. Conector de comunicación	13

Capítulo 3. Modelado del un sistema de nivel de liquido

3.1. Resistencia y capacitancia del sistema de nivel de liquido ...	16
3.2. Ecuación del comportamiento del tanque	18
3.3. Ecuación del comportamiento de la Bomba	20
3.4. Diagrama de bloques del sistema de control	21
3.5. Obtención de los parámetros reales de la planta	23

Capítulo 4. Control automático basado en la tarjeta Humusoft AD622

4.1. Control Proporcional	33
4.2. Control Integral	35
4.3. Control Proporcional Integral	37
4.4. Herramientas de la librería Toolbox 4.0	39
4.5. Implementación de control con Humusoft AD622	43
4.5.1 Control proporcional con Humusoft AD622	43
4.5.2 Control integral con Humusoft AD622	46
4.5.3 Control proporcional integral con Humusoft AD622	50

CAPITULO 5

Conclusiones	53
Trabajos futuros	54

LISTA DE FIGURAS

- 2.1 tanque contenedor de acrílico semitransparente
- 2.2 Tanque cisterna
- 2.3 Bomba motor de CD
- 2.4 Sensor de presión
- 2.5 Vista superior de la tarjeta Humusoft AD622
- 2.6 Conector para puerto serial de comunicación
- 3.1 Dibujo esquemático del sistema completo
- 3.2 Dibujo esquemático del tanque contenedor
- 3.3 Relación entre voltaje y comportamiento de la bomba
- 3.4 Conexión en cascada de bomba y planta
- 3.5 Diagrama de bloques del sistema completo
- 3.6 Pendiente del comportamiento del caudal
- 3.7 Grafica de voltaje contra Caudal
- 3.8 Bloques del comportamiento de bomba y planta
- 3.8 Grafica del comportamiento del nivel con voltaje constante
- 3.9 Diagrama de bloques de Matlab Simulink del comportamiento de la altura con voltaje constante
- 3.10 simulación de tiempo de llenado a un voltaje constante de 4 volts.
- 4.1 Control proporcional en Matlab Simulink
- 4.2 respuesta del control proporcional simulado en Matlab

- 4.3 Diagrama control proporcional integral
- 4.4 Respuesta de la simulación del control integral
- 4.5 Diagrama de bloques, simulación de control PI.
- 4.6 Respuesta de la simulación control PI.
- 4.7 Menú grafico de la librería Toolbox 4.0
- 4.8 Bloque Adapter en modo automatico
- 4.9 Bloque RT In (Real Time Input).
- 4.10 Bloque RT OUT.
- 4.11 Control proporcional.
- 4.12 Señal de referencia ajustada a 5V.
- 4.13 Respuesta del sensor de presión
- 4.14 Señal real de control monitoreada con Matlab Simulink
- 4.15 Esquema de un control integral implementado en Matlab.
- 4.16 Señal de voltaje ,respuesta del sensor de nivel
- 4.17 Señal de control integral
- 4.18 Control proporcional-integral.
- 4.19 respuesta del control P.I.
- 4.20 Señal de control P.I.

AGRADECIMIENTOS

A Fernando y Cecilia, por la paciencia infinita, y por la belleza que tienen sus sonrisas cuando creen en mí.

Dr. Gilberto González Ávalos, por tener esa actitud de crecimiento constante que motiva, y por su orientación inteligente.

Y Otra vez a mis padres siempre.

RESUMEN

La implementación del sistema de control de nivel de líquido con la tarjeta de adquisición de datos Humusoft AD622 se realizó con éxito, utilizando herramientas computacionales de fácil acceso y con una interfaz amigable, lo que deriva en una comprensión de los sistemas de control en general.

Del presente trabajo en particular se implementan algunos tipos de control como El Control Proporcional, Control Integral, Control PI.

Para llevarse a cabo la implementación de control con dicha tarjeta fue necesario realizar los mismos pasos de elaboración de un sistema ordinario, o sea, el análisis del sistema, la construcción del modelo matemático y por medio de la experimentación con los elementos del sistema de manera aislada para obtener las funciones del comportamiento de dichos elementos.

Después se realizó la construcción del modelo del sistema completo que emula el comportamiento del esquema integrando las ecuaciones de cada una de las partes que conforman el sistema.

Luego de esto se realizaron simulaciones del sistema con ayuda de la herramienta Matlab, para más adelante compararse contra el comportamiento real de la planta, esto con el fin de validar su operación obteniéndose resultados positivos.

Durante la implementación del sistema de control, las mismas herramientas de MATLAB Simulink permitieron monitorear en tiempo real todas las señales que participan en el proceso. La facilidad para observar el comportamiento del sistema en cada etapa nos otorga un panorama más claro de la operación. Esto para en caso de algún desperfecto en el proceso es de gran utilidad para localizar el problema prontamente.

BIBLIOGRAFIA

1. Ingeniería de control Moderna
Katsuhiko Ogata
Editorial Prentice Hall.
2. Sistemas de Control Automático.
Benjamin C. Kuo.
Editorial Prentice Hall.
3. Solving Control Engineering Problems With Matlab
Katsuhiko Ogata
Editorial Prentice Hall
4. Manual del Husuario Humusoft AD622
HUMUSOFT
5. Manual Matlab Simulink
The Math Works

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

Existen sistemas de control de nivel de líquido en la actualidad, los cuales son implementados con técnicas diferentes. Empresas como "Filler Specialities" y la empresa mexicana "Lovato Electric" entre otras, poseen la patente de diseños para control de nivel de líquido que funcionan en base a componentes y paneles electrónicos, así como dosificadores de llenado para tanques industriales.

La problemática de los controladores automático de nivel de líquido ha sido resuelta de acuerdo a las necesidades específicas de cada sistema. Para algunos sistemas es suficiente un control de nivel de líquido con dosificadores temporizados, aunque para procesos de mayor precisión este sistema podría resultar insuficiente. Por otro lado, los controles automáticos construidos con componentes electrónicos tienen la precisión y funcionalidad, aunque también tienen la característica negativa de perder flexibilidad al momento de ser instalados.

La mayoría de los sistemas de control están compuestos de manera esencial por un transductor (sensor), que interactúa entre la salida del sistema a manera de retroalimentación y actúa sobre la señal de control.

Esta última parte es sumamente importante, dependiendo de la calidad, sensibilidad y precisión del sensor será posible llevar a cabo un buen tratamiento de las señales que controlan al sistema.

Tradicionalmente los sensores de los controles de nivel son construidos con electrodos, y existen en el mercado diversos sensores para control de nivel, llenado inteligente y trasiego de tanques. Con alimentación de corriente alterna o corriente directa según sean las necesidades del usuario y la capacidad del sitio para hospedar el sistema.

Esto a grandes rasgos es la manera en que se compone y actúa un sistema de control de nivel de líquido en general.

1.2. OBJETIVO

Diseñar y construir un control de nivel de líquido de un tanque contenedor basado en una computadora personal, teniendo comunicación con el sistema por medio de la tarjeta de adquisición de datos **Humusoft AD622**.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de un control de nivel de líquido con ayuda de una computadora personal por medio de una tarjeta de adquisición de datos proporciona flexibilidad a un sistema automatizado, es decir, que podría convertir **un control de nivel de líquido con una función específica** en un **sistema mutable de control** sin necesidad de realizar maniobras para alterar físicamente el sistema y modificar su funcionamiento. El hardware necesario se reduce al realizar el tratamiento de las señales que se obtienen del sistema con ayuda de un software especializado en el presente caso Matlab Simulink, sustituyendo gran parte de componentes electrónicos para las diferentes etapas de control por procesos internos del software antes mencionados.

Un control industrial clásico de nivel de líquido, consta en la mayoría de los casos con electrodos fijos que delimitan el nivel de líquido, estos elementos inmóviles ayudan a monitorear y al mismo tiempo activar o desactivar un relevador. El sistema a desarrollarse no está provisto de electrodos y sensores de humedad, en cambio utiliza un sensor de presión simple que permite conocer el nivel del líquido en cualquier instante del proceso gracias a la velocidad en la adquisición de muestras que es capaz de obtener la tarjeta de adquisición de datos. Por consiguiente la comunicación del sistema es permanente y por su velocidad de muestreo es muy precisa. Una computadora personal ya sea con el código o la función de software permitirá cambiar el límite del nivel de líquido a voluntad sin necesidad de realizar maniobras para alterar la configuración de los componentes.

También, de manera particular se propone la introducción de la tarjeta de adquisición de datos **Humusoft AD622** para la comunidad estudiantil de la facultad de Ingeniería Eléctrica como una opción de aprendizaje para el área de instrumentación y control de procesos.

1.4 METODOLOGIA

La metodología utilizada en el desarrollo del presente trabajo de tesis se describe a continuación;

- Investigación acerca de los controles de nivel existentes, y análisis comparativo para validación del proyecto al momento de presentar los resultados finales.
- Descripción de los elementos del sistema y su función dentro del mismo.
- Modelado matemático de cada elemento del sistema.
- Modelado de las ecuaciones que describen el comportamiento del sistema.
- Obtención de los parámetros reales de la planta por medio de pruebas al sistema.
- Descripción y simulación de diferentes tipos de control automático.
- Implementación del control automático con la tarjeta de adquisición de datos.
- Pruebas de control y análisis de resultados
- Validación del control automático basado en la tarjeta Humusoft AD622

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

CAPITULO 2.

Descripción detallada de los elementos que conforman el sistema de control de nivel de líquido, incluye componentes de la planta y se complementa la información describiendo la función que desempeñan en el sistema.

CAPITULO 3

En el tercer capítulo se describe el modelado del sistema de control de nivel de líquido. Se presenta el desarrollo matemático para obtener las ecuaciones que describen el comportamiento en todo momento del sistema y se muestra el ajuste de los parámetros reales obtenidos con las pruebas de velocidad de llenado, variación de voltaje censado, se anexan cálculos con los valores numéricos básicos que intervienen en el sistema para detallar el modelado.

CAPITULO 4

Control de nivel de líquido basado en la tarjeta de adquisición de datos HUMUSOFT AD622. Se explican algunos de los diferentes tipos de control automático, se implementan y se explican brevemente las herramientas necesarias para realizar el control del sistema de nivel de líquido. Se presentan procedimientos y aplicación de los controles por medio de diagramas de bloques.

Explicación de los bloques de la librería adicional de Matlab Simulink ,Real Time Toolbox 4.0 necesaria para controlar la tarjeta Humusoft AD22 en ambiente Matlab en tiempo real. Presentación de los resultados obtenidos con los controles implementados.

CAPITULO 5

Conclusiones del trabajo realizado, descripción de resultados y propuesta de trabajos futuros en tema de control automático basados en tarjetas de adquisición de datos.

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En éste capítulo se presentan lo elementos involucrados en el sistema de control de nivel de líquido, y se detalla sus características para dar un panorama de el funcionamiento específico de cada parte del sistema.

2.1.- TANQUE

El tanque contenedor está construido con paredes de acrílico semitransparente, el cual que se muestra en la figura 2.1 Se puede observar que está sentado sobre una base de madera que le da altura para homologar las condiciones de un sistema real, tiene como objetivo recibir el liquido bombeado desde el tanque cisterna para ser monitoreado. Se usan sus características particulares para ejemplificar el uso de los tipos de controles automáticos que aplican para la tarjeta de adquisición de datos que se utiliza. De las características de dicho contenedor se obtienen los datos para modelar el sistema, por lo cual es importante conocer con exactitud las dimensiones exactas, las cuales se presentan a continuación en la tabla 2.1

Cara frontal y lateral	0.25 X 0.1 (metros)
Base	0.1 X 0.1 (metros)

Tabla 2.1 Dimensiones del tanque contenedor



Figura 2.1 Tanque contenedor de acrílico semitransparente sentado en una base de madera

2.2.- TANQUE CISTERNA

El propósito de este tanque es proporcionar el líquido que es bombeado hacia al tanque contenedor para ser monitoreado. Este tanque esta construido con acrílico semitransparente de la misma manera que el tanque contenedor y cumple la función de almacenar el líquido que será bombeado. Las dimensiones de este tanque están especificadas en la tabla 2.2

Cara frontal y lateral	0.25 X 0.20 (metros)
Base	0.1 X 0.1 (metros)

Tabla 2.2 dimensiones del tanque cisterna



Figura 2.2 Tanque cisterna, montado a una altura menor que el contenedor

2.3.-BOMBA

La bomba consiste de un motor de CD de imán permanente, acoplado entre el tanque cisterna y el tanque controlado. Este elemento es primordial en el funcionamiento del sistema, este motor de CD aunque de dimensiones relativamente pequeñas tendrá la capacidad de llenar en segundos el tanque censado y puede funcionar como característica de los motores de CD a diferentes voltajes con el cual se regula su velocidad manteniendo un comportamiento regular por lo que se puede tomar como parte de las consideraciones en el modelado del sistema un flujo constante durante el llenado .el cual se observa en la figura 2.3 .

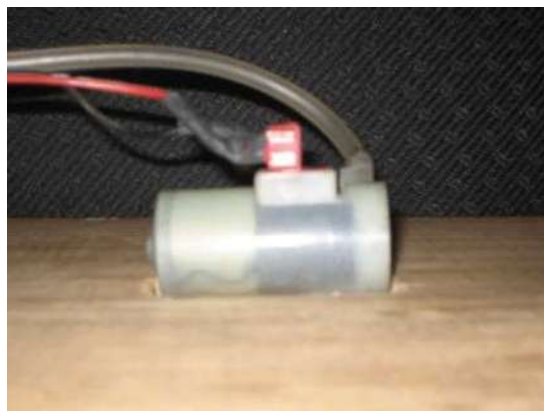


Figura 2.3 Bomba, motor de CD.

2.4.-SENSOR DE PRESIÓN

En este caso, el nivel de líquido es determinado por la presión ejercida sobre la base del tanque, el sensor de presión MX10PD de 10Kpa, sensor de presión de cilicio, está montado en baquelita con una fuente de alimentación independiente del resto del sistema, aunque para propósitos de montaje definitivo puede considerarse una derivación del mismo circuito para optimizar espacios. Este sensor se utilizó ya que era el que se tenía disponible, actualmente en desuso y reemplazado por su versión con capacidad de 400kpa, de sus bornes de salida se toma la señal de voltaje resultante de la presión ejercida por el agua contenida en el tanque, ésta será nuestra señal de retroalimentación con la que se harán los cálculos para generar la señal de control. El comportamiento de este transductor será detallado en lo sucesivo con algunos experimentos mismos que utilizamos para modelar el comportamiento del sistema y obtener los valores reales que servirán para el tratamiento de las señales durante la implementación del control de nivel.



Figura 2.4 Sensor de presión y fuente de voltaje

2.5.-DUCTOS DE TRANSFERENCIA DE LÍQUIDO

Los ductos de transferencia utilizados, fabricados con caucho, especialmente para evitar en la medida de lo posible cualquier clase de fricción que pueda resultar en un flujo turbulento.

Sólo existen dos ductos de transferencia de líquido acoplados entre la bomba y ambos tanques, y un ducto que se utiliza para el drenado que representa un flujo continuo de trasiego el cual también es considerado como parte del sistema.

2.6.- SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

La tarjeta HUMUSOFT AD622 tiene como propósito que una computadora personal interactúe con señales reales, será nuestro interprete entre señales analógicas y los procesos internos del computador, digitaliza la información de tal manera que un software pueda actuar sobre ella con alta velocidad lo que nos proporciona excelente definición y monitoreo de las señales con las que se trabajan.

Se observa en la figura 2.5, una vista superior de la tarjeta de adquisición de datos de HUMUSOFT que en este modelo está diseñada para adaptarse en un puerto PCI de un gabinete común de una computadora personal, se puede

observar que tiene un puerto serial el cual será descrito más adelante junto con las características principales de dicha tarjeta.



Figura 2.5 Vista superior de la tarjeta Humusoft AD622

En la tabla 2.3 se enlistan las características generales de la tarjeta de adquisición de de datos. En esta se aprecia que puede operar con señales analógicas y/o digitales como entradas o salidas.

Arquitectura de 32 bits
Convertidor analógico/digital con sampleo simultaneo
Tiempo de conversión de 1.6 μ s para un solo canal y 3.7 μ s para 8 canales simultáneos
8 terminales simples y entradas de multiplexor protegidas contra fallo.
Rango de entrada ± 10 V
Reloj interno y referencia de voltaje

Puerto de entrada digital de 8 bits compatible con dispositivos TTL
Puerto de salida digital de 8 bits compatible con dispositivos TTL
Interruptor interno

Tabla 2.3. Características generales Humusoft AD622

Esta tarjeta está predefinida para recibir un código en lenguaje de programación C, aunque puede utilizarse con otros diferentes lenguajes, además puede ser manipulado por programas de calculo que tiene plataformas de mas alto nivel como Matlab Simulink.

Las características de operación de la tarjeta de adquisición de datos Humusoft AD622 son:

- Para ser instalada requiere un slot PCI 2.3.
- Tiene un consumo de 500mA a 5V, 150mA a 12V.
- Su temperatura de operación es de 0 a 70 ° C.

ESPECIFICACIONES

CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL	
Resolución	14 bits.
Numero de canales	8 terminales simples
Tiempos de conversión	1.6µs para una sola terminal.
	1.9µs para 2 terminales simultaneas.
	2.5µs para 4 terminales simultaneas.
	3.7µs para 8 terminales simultaneas.
Rango de entrada	±10V.
Rango de protección	±18V.
Impedancia de entrada	>10 ¹⁰ Ohms
CONVERTIDOR DIGITAL / ANALOGICO	
Resolución	14 bits
Numero de canales	8 terminales simples.
Corriente de salida	min ±10mA
Impedancia de salida de CD	Max. 0.5 Ohms.
ENTRADAS DIGITALES	
Entradas de bit	8
NIVEL DE SEÑALES DE ENTRADA TTL	
O lógico	0.5V max, 24mA

1 lógico	2.0 V max, 15mA
SALIDAS DIGITALES	
Numero de bits	8
Niveles de señales de salida	TTL
0 Lógico	0.5 V max, 24mA.
1 lógico	2.0 V max, 15mA.

Tabla 2.4 especificaciones de entradas y convertidores

2.8 CONECTOR DE COMUNICACION

Conector para puerto de 36 pines figura 2.6, servirá para recibir las señales de control y por otra de sus terminales enviar la señal. La tarjeta tiene salidas analógicas para enviar señales de voltaje de corriente directa y de corriente alterna la distribución de las señales esta descrita en la tabla que se presenta a continuación. Tabla 2.4



Figura 2.6 conector para puerto serial de comunicación

CAPITULO 3

MODELADO DE UN SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDO

En el presente capítulo se presenta la construcción del modelo de un sistema que será utilizado para implementar el control sobre el mismo sistema. Con este modelo se valida los resultados obtenidos comparando contra una simulación hecha en Matlab con los valores reales de la planta.

Para el tratamiento óptimo de las señales de control es imprescindible conocer el comportamiento de cada elemento que conforma el sistema, de esta manera se diseña el control automático más apropiado.

En el presente estudio tenemos un tanque contenedor alimentado por medio de una bomba de CD cuyo comportamiento es controlado por una salida analógica de voltaje de la tarjeta de adquisición de datos. Teniendo como propósito modular el comportamiento de una bomba de dimensiones mínimas, es suficiente la propia señal que emita la tarjeta, ya que no excede los valores de impedancia delimitados por la tarjeta, para implementarse en cualquier otro tipo de sistema sería necesario acoplar la salida analógica de la tarjeta de adquisición de datos, como se hace tradicionalmente a un circuito seguidor o amplificador, según se requiera.

En la configuración de nuestro sistema se tiene alambrada a una entrada analógica de CD la señal de de sensor de presión acoplado al tanque contenedor dándonos una señal de retroalimentación, lo que convierte esta planta en un sistema de lazo cerrado con retroalimentación.

En la figura 3.1 se muestra un diagrama esquemático del sistema de control propuesto de nivel de líquido

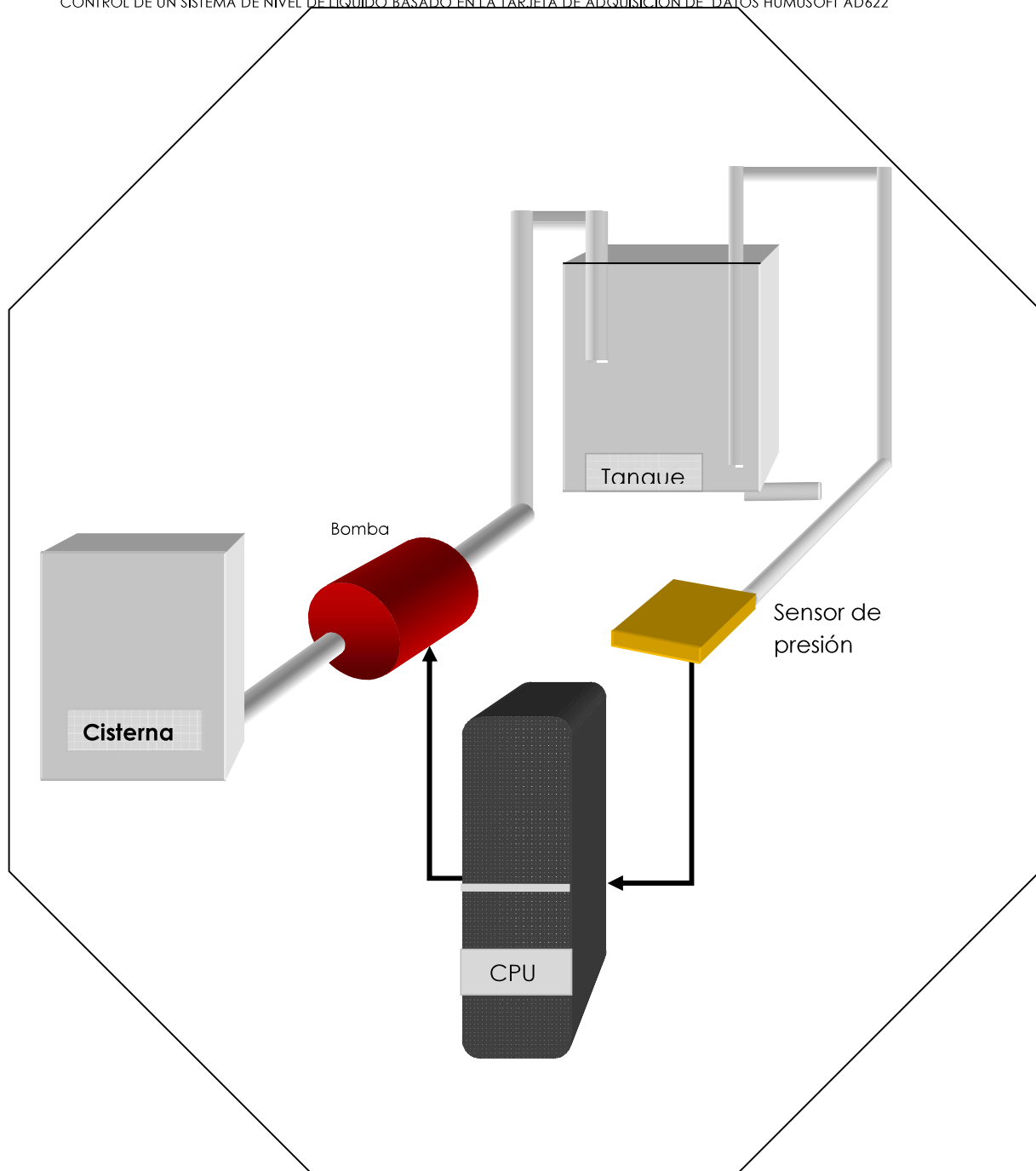


Figura 3.1 Diagrama esquemático del sistema completo

3.1 RESISTENCIA Y CAPACITANCIA DEL SISTEMA

En el modelo matemático de un sistema de nivel de líquido es necesario obtener los parámetros de Resistencia y Capacitancia del tanque (R y C).

Para esto consideramos el flujo a través de una ducto de transferencia por donde pasa el líquido para alimentar cualquier otro ajeno a la planta antes descrita.

La resistencia R para el flujo del liquido esta definido como *el cambio de nivel necesaria para producir un cambio de una unidad de velocidad en el flujo.*

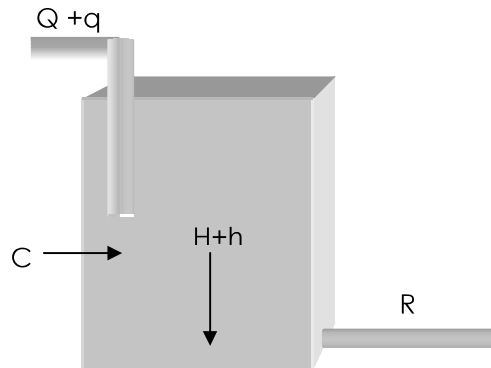


Figura 3.2. Dibujo esquemático del tanque contenedor, capacitancia y resistencia.

De esta forma,

R=cambio en la diferencia de nivel, m / cambio en la velocidad de flujo, m³/seg

La relación entre velocidad y flujo es diferente para el flujo laminar y flujo turbulento. En el presente trabajo se considera un flujo laminar por lo que el modelo del sistema de nivel de liquido es lineal.

Cuando el flujo es laminar el caudal

$$Q = KH \quad (3.1)$$

Donde Q es la velocidad del flujo del líquido en estado estable, m³/s

K es el coeficiente, m²/s

H es la altura en estado estable,

La resistencia se obtiene como

$$R = \frac{dh}{dq} \quad (3.2)$$

Es decir el cambio de altura de nivel de líquido respecto al cambio en el caudal.

Y para un flujo lineal sin turbulencias consideramos $R = \text{constante}$, de tal manera que.

$$R = \frac{h}{q} \quad (3.3)$$

La capacitancia del tanque esta definida como el cambio en la cantidad de líquido almacenado, para producir un cambio de una unidad en la altura.

$$C = \frac{\text{cambio en el liquido almacenado, } m^3}{\text{cambio en la altura, } m} \quad (3.4)$$

En este caso por tratarse de un tanque con las paredes lisas y de forma cubica la capacitancia se calcula como.

$$C = L \times L \quad (3.5)$$

3.2 ECUACION DEL COMPORTAMIENTO DEL TANQUE

Como se considero anteriormente, un flujo laminar deriva en un sistema lineal. Aunque el flujo sea turbulento se puede linealizar si los cambios en las variables se mantienen pequeños. A partir de esta de esta suposición la ecuación del sistema se obtiene como la diferencia entre el flujo de entrada y el flujo de salida durante un pequeño intervalo de tiempo dt es igual a la cantidad adicional almacenada en el tanque, es decir.

$$Cdh = (q_i - q_o)dt \quad (3.6)$$

A partir de la definición de la Resistencia de (3.3)

$$R = \frac{h}{q}$$

La ecuación diferencial para este sistema cuando la resistencia es constante será.

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_i \quad (3.7)$$

Aplicando transformada de Laplace en ambos miembros de la ecuación obtenemos.

$$\begin{aligned} RCsH(s) + H(s) &= RQ_i(s) \\ (RCs + 1)H(s) &= RQ_i(s) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Si se considera al caudal $Q_i(s)$ como la variable de entrada del sistema y la altura $H(s)$ como la salida, podemos obtener la función de transferencia .

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RCs + 1} \quad (3.9)$$

Además partiendo de la ecuación del sistema (3.7).

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_i$$

Despejamos la variable de interés.

$$RC \frac{dh}{dt} = h + Rq_i$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{h}{RC} + \frac{Rq_1}{RC}$$

$$\left[\frac{dh}{dt} \right] = \left[\frac{1}{RC} \right] h + \left[\frac{1}{C} \right] q_1 \quad (3.10)$$

Esta ecuación junto con la función de transferencia describe el comportamiento de nuestro sistema en lo que se refiere a la capacidad del tanque y el flujo de líquido a través de los ductos de transferencia.

3.3. ECUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA BOMBA

Considerando que el caudal será proporcional al voltaje que alimenta la bomba tenemos que el caudal de salida será igual a al voltaje que se le aplica y afectado de manera directa y proporcional por una constante de operación. Es decir

$$Q \approx kV \quad (3.11)$$

Donde:

Q es el caudal de salida.

V es el voltaje aplicado.

K es la constante del comportamiento de la bomba

El Diagrama de bloques muestra el comportamiento de la bomba (figura 3.3).

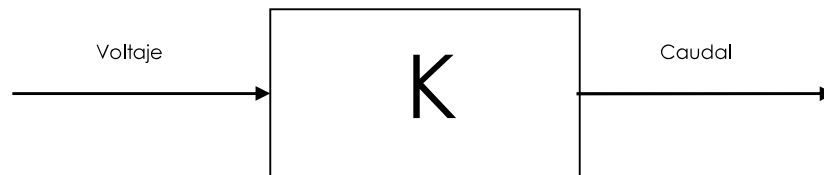


Figura 3.3 Relación entre voltaje y comportamiento de la bomba

El cual conectando encascada con la función de transferencia de la planta se obtiene el esquema hasta la etapa de salida de caudal y a su vez la altura del líquido en el tanque.

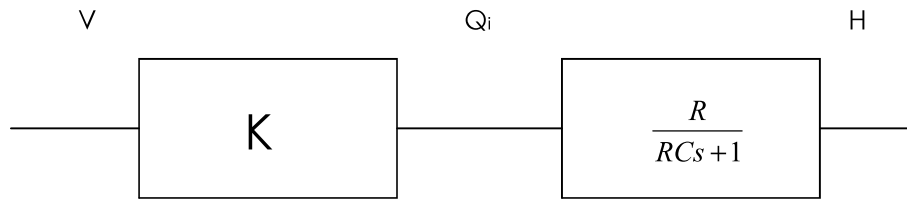


Figura 3.4 Conexión en cascada de bomba y planta.

En la figura 3.4 se presenta el diagrama de bloques del comportamiento de tres diferentes etapas del sistema, la entrada de voltaje que en conjunto con la constante del comportamiento de la bomba nos permite obtener un caudal, este mismo en conjunto con la ecuación del sistema nos permite calcular una altura **H** la cual consideraremos para establecer el control de nivel de líquido.

3.4 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE CONTROL

Mediante un diagrama de control del presente sistema de control se visualiza el comportamiento del sistema durante sus diferentes etapas.

A continuación en la figura 3.4 se presenta de bloques del sistema completo, en el área punteada se localizan los bloques que pertenecen al sistema de control de la tarjeta de adquisición de datos, el bloque de función aritmética que recibe las señales de referencia y de retroalimentación, el bloque siguiente es una etapa de amplificación que en el caso de el presente trabajo se lleva a cabo con un bloque de la librería de Matlab Simulink.

A continuación el actuador, que para propósitos de prueba se utiliza la salida de la tarjeta como tal, pero para otros sistemas que requieran una salida

con una corriente mayor o un voltaje que exceda los 10 volts de CD que tiene como límite la tarjeta será necesario utilizar una etapa de amplificación o simplemente un circuito seguidor que puede proveer de la corriente necesaria.

La siguiente etapa (bomba) es el motor de CD controlado que recibe un voltaje directamente de la tarjeta de adquisición de datos y que por medio de los ductos de transferencia de líquido alimenta al tanque contenedor.

El siguiente bloque (tanque), representa nuestro depósito que será sentido del que obtendremos un valor de altura que podremos determinar por medio del siguiente bloque.

EL bloque del sensor conectado entre el tanque y la entrada de la tarjeta de adquisición de datos es la manera de retroalimentar el sistema.

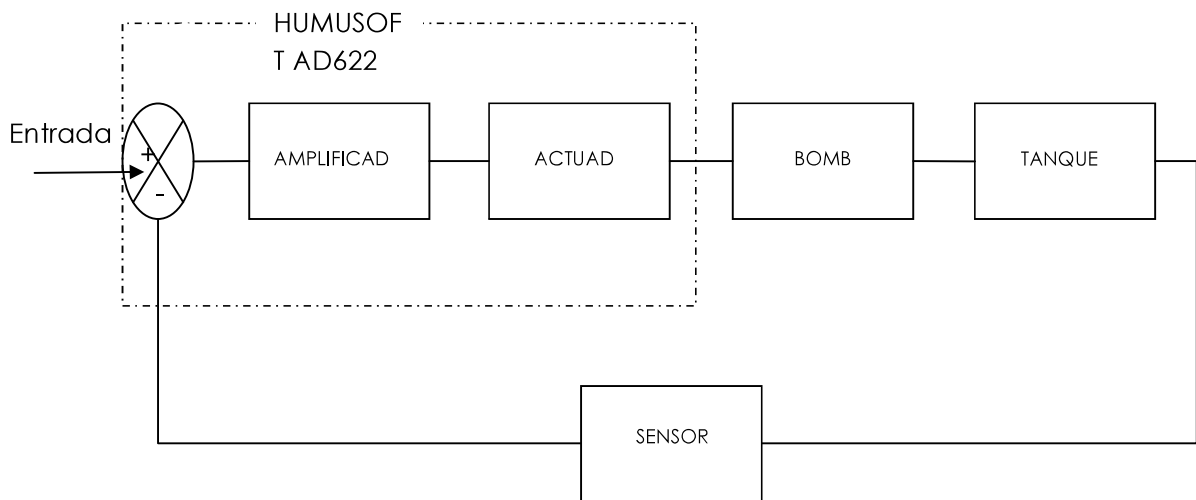


Figura 3.5 Diagrama de bloques del sistema completo

3.4 OBTENCIÓN DE LOS PARAMETROS REALES DE LA PLANTA

En esta sección se presentan las pruebas aplicadas a la planta en condiciones normales de operación con las que se obtuvieron los parámetros de cada elemento del sistema, en cada experimento se anexa una breve explicación de la realización, así mismo los resultados trascendentes de cada prueba.

CAPACITANCIA

Por tratarse de un contenedor de paredes lisas, calculamos la capacitancia de acuerdo a la ecuación (3.5)

$$C = L \times L$$

Tomando los valores reales medidos del tanque contenedor tenemos que

$$L_1 = 9.6\text{cm}$$

$$L_2 = 9.7\text{cm}$$

$$C = 9.6 * 9.7$$

$$C = 93.12\text{cm}^2$$

La resistencia será calculada de acuerdo a la ecuación 3.3

$$R = \frac{h}{q}$$

Se requiere saber el valor de caudal se realiza la prueba al tanque para conocer el comportamiento del caudal en comparación con el nivel del líquido.

$$Q = \frac{\text{altura}_{\text{inicial}} - \text{altura}_{\text{final}}}{\text{tiempo}_{\text{final}} - \text{tiempo}_{\text{inicial}}}$$

En esta serie de pruebas se obtiene la tabla 3.1 que describe comportamiento promedio del caudal

TABLA 3.1. Tiempo medido en segundos, altura medida en cm.

Altura(cm)	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Promedio	ΔT	q_0
22	0	0	0	0	0	0
21	4.82	6.64	6.92	6.12666667	6.12666667	15.2774755
20	11.62	13.41	12.98	12.67	6.54333333	14.3046358
19	17.41	19.36	19.41	18.7266667	6.05666667	15.4540451
18	24.62	26	25.17	25.2633333	6.53666667	14.3192249
17	30.85	32.79	31.62	31.7533333	6.49	14.422188
16	37.5	39.77	38.83	38.7	6.94666667	13.4740883
15	44.17	46.88	45.66	45.57	6.87	13.6244541
14	51.05	53.89	52.64	52.5266667	6.95666667	13.4547197
13	57.91	60.69	59.76	59.4533333	6.92666667	13.5129933
12	65.75	68.95	67.66	67.4533333	8	11.7
11	73.44	77.05	75.38	75.29	7.83666667	11.9438537
10	81.32	85.54	83.39	83.4166667	8.12666667	11.5176374
9	89.74	94.15	92.14	92.01	8.59333333	10.8921645
8	98.01	103.05	101.53	100.863333	8.85333333	10.5722892

7	107.67	112.22	110.33	110.073333	9.21	10.1628664
6	117.5	120.44	119.54	119.16	9.08666667	10.300807
5	128.23	131.77	130.54	130.18	11.02	8.49364791
4	138.12	141.1	141.62	140.28	10.1	9.26732673
3	150.98	152.33	152.87	152.06	11.78	7.94567063
2	163.56	163.87	166.31	164.58	12.52	7.47603834

Con las dos últimas columnas graficamos el comportamiento del caudal para obtener la pendiente y el factor de correlación entre la línea obtenida y una respuesta linealizada con la que se hará una aproximación del comportamiento del caudal.

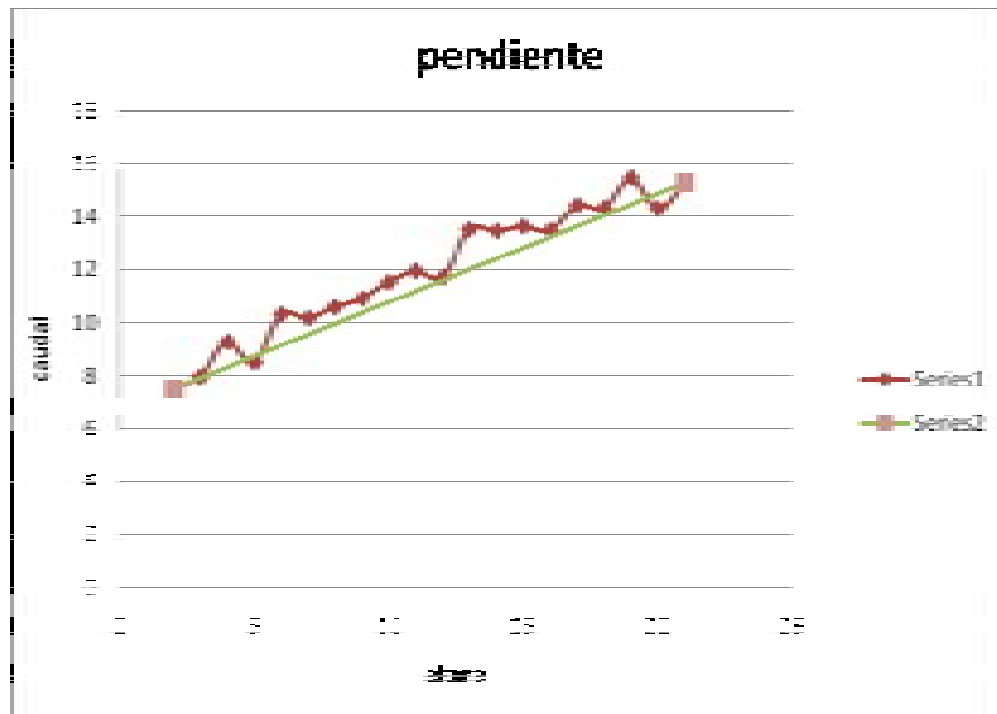


Figura 3.5 Pendiente de comportamiento del caudal

En la tabla 3.2 observamos el comportamiento del transductor de presión y la señal de voltaje medida desde sus bornes de salida a diferentes niveles de líquido, estos valores podrán ser utilizados para ajustar el nivel de líquido deseado.

Tabla 3.2 respuesta del transductor de presión a diferentes niveles de liquido

Altura cm	Voltage V
1	0
2	0
3	0
4	0.03
5	0.07
6	0.098
7	0.12
8	0.17
9	0.2
10	0.24
11	0.27
12	0.31
13	0.35
14	0.38
15	0.401
16	0.45
17	0.48
18	0.51
19	0.55
20	0.59
21	0.62
22	0.65
23	0.7
24	0.72

Obtenemos el valor de la pendiente

$$m = \frac{1}{R} * h \quad (3.7)$$

Sustituyendo

$$Q = \frac{1}{R} * h$$

Obtenemos el valor de $R=2.436$, y el porcentaje de error es de 0.97708 factor de correlación, entre ambas líneas.

Obtenidos los parámetros R y C , se calcula el parámetro de la bomba.

A partir del voltaje mínimo de funcionamiento de la bomba se incrementa el voltaje en rangos de 0.5 volts y se obtiene la gráfica que validará la hipótesis del comportamiento de la bomba y nos proporciona un valor de constante K antes mencionado.

Tabla 3.3. Tiempo de llenado del tanque a diferentes valores de voltaje

H	V=2.4 1	V=3	V=3.5	V=4	V=4.5	V=5	V=5.5	V=6	V=6.5	V=7	V=7.5	V=8	V=8.5
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20.73	9.52	8.16	5.73	3.6	4.16	3.78	3	3	2	2	2	2
4	31.49	20.53	14.82	11.9	9.07	8.62	7.33	6	6	5	5	4	4
5	42.79	30.41	21.97	17.5	13.78	12.7	11.41	10	9	8	8	7	7
6	61.53	39.1	29.77	23.5	18.2	16.7	14.95	13	12	11	11	10	9
7	82.15	50.23	36.28	29.3	22.75	20.5	19.24	17	15	14	13	12	11
8	103.2 3	60.01	43.39	34.3	27.55	24.5	22.78	20	18	17	16	15	14
9	123.8 5	69.9	50.6	40.6	31.69	28.9	26.36	23	21	19	19	17	17
10	147.9 1	79.96	58.07	46	36.17	33.5	30.55	26	24	22	21	20	19
11	169.9 3	90.35	65.05	51.9	41.09	37.6	34.3	30	28	25	24	22	21
12	190.6 4	100.2 8	72.02	57.6	45.76	41.4	38.1	33	31	28	27	25	24
13	213.1 4	110.9 4	79.17	61.5	50.65	46	41.88	37	34	31	29	27	26

14	236.1 5	122.5 6	86.66	69.3	55.18	50	45.66	40	37	34	32	30	28
15	255.0 4	130.9 6	93.87	74.7	59.41	54.1	49.11	43	40	37	35	32	31
16	276.0 5	140.2	100.6 6	80.6	63.85	58	53.03	47	43	40	38	35	33
17	300.3	150.9 5	108.5 8	86.4	68.6	62.2	56.45	50	46	42	40	38	36
18	318.2 3	160.5 1	115.1 2	91.9	73.08	66.5	60.3	54	49	45	43	40	38
19	341.2 7	170.3 5	122.5 8	97.9	77.72	70.4	64.01	57	52	48	46	43	41
20	363.5	181.7 2	130.7	103	82.05	74.8	68	61	55	51	49	45	43
21	384.7	191.1 2	136.5 2	109	86.45	78.6	71.44	64	58	54	51	48	46
22	406.3	201.3 7	143.9 3	115	90.82	82.7	75.52	67	62	57	54	51	49

La prueba consiste en cronometrar los tiempos de llenado con diferentes voltajes, en esta misma serie de pruebas se encuentra el umbral de valor de voltaje necesario para que actúe la bomba y comience a mover el líquido entre los tanques contenedores. En la **tabla 3.3** se describe el proceso de llenado del tanque centímetro a centímetro a diferentes voltajes. De donde obtenemos 13 puntos con lo que se construye la gráfica de caudal contra voltaje. En la figura 3.6 se muestra la grafica del comportamiento del voltaje respecto al caudal

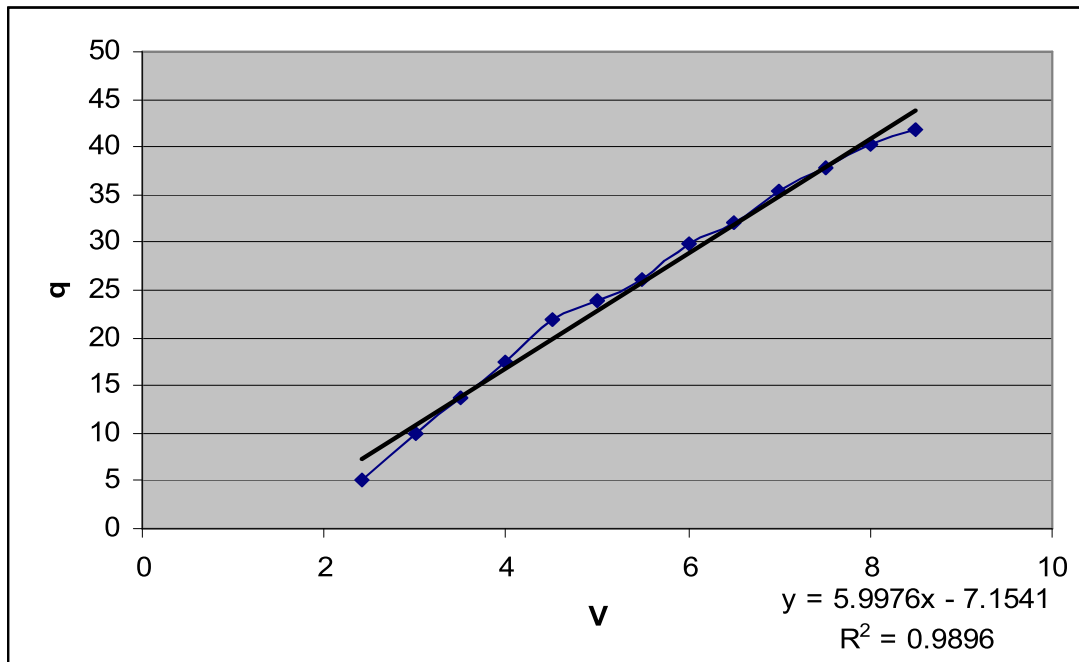


Figura 3.6. Grafica de voltaje contra caudal

De la tabla de resultados 3.3 obtenemos la ecuación característica de donde se determina la pendiente de la recta que consideramos como la constante proporcional aproximada, esto corroborado por el factor de correlación (0.9896) cercano a la unidad, que nos indica la estrecha relación entre la grafica obtenida de la prueba y la línea resultado linealizada.

La constante de la bomba es equivalente a la pendiente de la recta por lo cual sabemos que,

$$K=5.9976$$

Obtenidos los parámetros se hará una prueba para validar el modelo obtenido y los parámetros calculados. Con una simulación realizada en Matlab comparamos los resultados. En la figura 3.7 se ilustra en el diagrama de bloques para conocer el comportamiento de los parámetros.

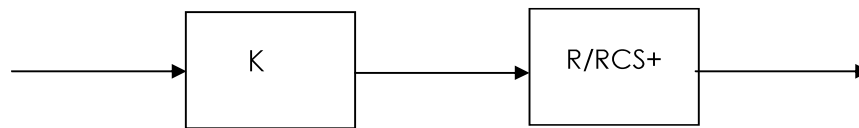


Figura 3.7 diagrama de bloques del comportamiento de la bomba y la planta que se usan para simular el comportamiento con los parámetros obtenidos.

Sabemos que el sistema esta modelado en esta ecuación.

$$H(S) = \frac{R}{RCS + 1} * Q(S) \quad (3.8)$$

La entrada del caudal aplicando un voltaje es modelada por la ecuación.

$$Q(S) = K * \frac{V}{S}$$

La altura en estado estacionario determina utilizando el Teorema de Valor Final,

$$h(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{R}{RCS + 1} \right) K \frac{V}{S}$$

Cuando s tiende a 0

$$h(\infty) = KVR$$

Haciendo la comparación entre la gráfica obtenida planta real de la figura 3.8 y la gráfica obtenida con el modelo probado en el simulador de Matlab en la figura 3.9. Las dos pruebas con un voltaje constante de 4V. Se observa el comportamiento del nivel de líquido respecto a un voltaje constante validando el modelo obtenido.

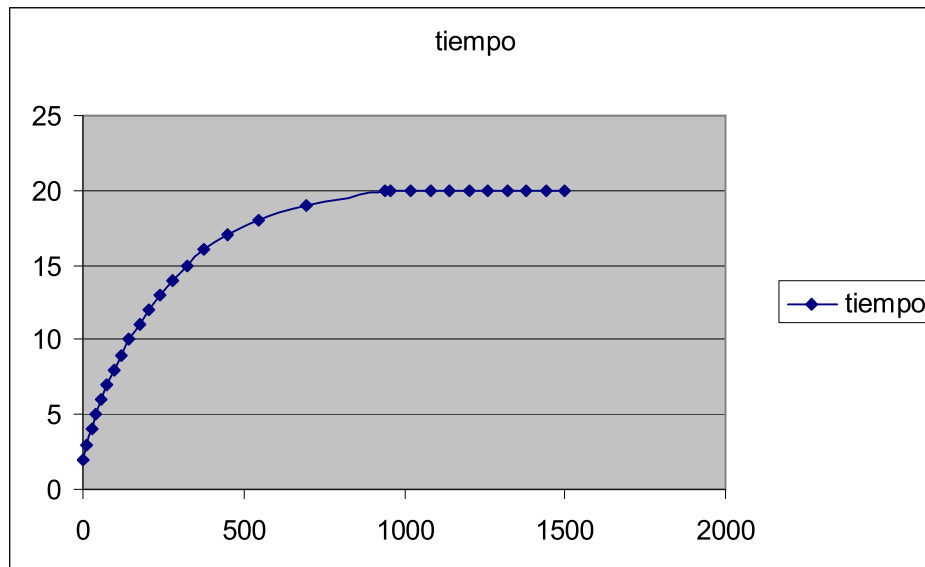


Figura 3.8. Grafica del comportamiento del nivel con voltaje constante .

En la figura 3.8 observamos el comportamiento de la altura del líquido en el tanque contra un tiempo de llenado con un flujo de salida constante.

A continuación el ajuste de bloques que se utilizó para la simulación de la prueba en Matlab con el fin de validar el modelo matemático obtenido y utilizando en la ecuación los valores calculados en las pruebas con el tanque.

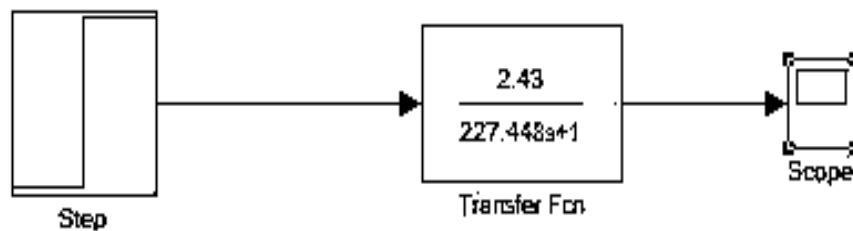


Figura 3.9 diagrama de bloques de Matlab Simulink del comportamiento de la altura con voltaje constante.

La grafica obtenida se visualiza en la figura 3.10 donde se puede observar la similitud en la forma de la señal obtenida del comportamiento de la planta en las pruebas realizadas y la simulación realizada con las ecuaciones que se obtuvieron y los parámetros calculados mediante las pruebas

En la figura 3.10 se observa el tiempo de llenado tomando como valor máximo de 10 unidades, equivalentes a la altura máxima del tanque 20 cm.

En el eje vertical observamos la respuesta de voltaje del transductor de presión.

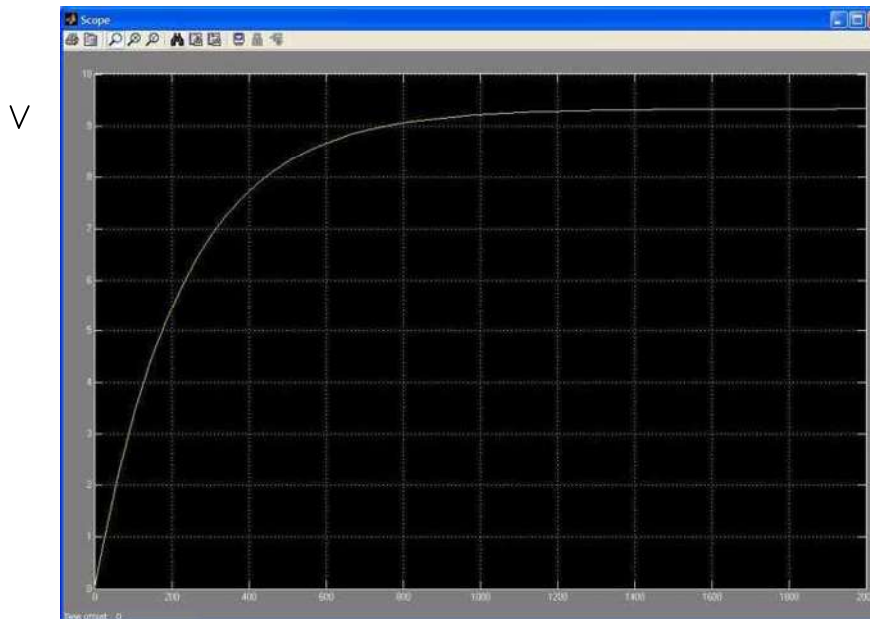


Figura 3.10 simulación de tiempo de llenado a un voltaje constante de 4 volts.

CAPITULO 4

CONTROL AUTOMATICO BASADO EN LA TARJETA HUMUSOFT AD622

El propósito de implementar un control automático de lazo cerrado para un sistema de llenado y trasiego de tanques contenedores de líquido de diferentes características es necesario, para otros sistemas en que la señal de salida no es necesaria para el funcionamiento correcto del sistema es posible implementar sistemas de control de lazo abierto, pero para este caso en particular es necesario monitorear la variable de salida, es decir, la altura del líquido. En el presente trabajo el controlador automático hace una comparación entre la señal de referencia que ajustaremos según el nivel de líquido deseado y el valor real obtenido directamente de la salida de la planta, reconoce la diferencia y genera la señal de control que reduce la desviación a un valor aproximado a cero. Las acciones de control son diversas, aquí se presentan algunas “acciones de control” aplicadas con ayuda de la tarjeta de Adquisición de datos y configurada a través de una herramienta computacional de fácil acceso como es Matlab Simulink.

4.1 CONTROL PROPORCIONAL

Un control proporcional tiene como objetivo proporcionar una respuesta rápida a un sistema que se desee controlar, el control proporcional (P) es el origen de los controles integral y derivativo, con los cuales se puede complementar un control particular dependiendo las necesidades del sistema.

El control proporcional es descrito por la siguiente ecuación.

$$u(t) = K_p e(t) \quad (4.1)$$

O bien

$$u(t) = K_p e(t)$$

En donde $u(t)$ representa la salida del sistema que esta directamente relacionada al producto de la constante de ganancia proporcional y el error entre la referencia y el valor de salida

En el dominio de Laplace se tiene.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (4.2)$$

Dependiendo de la magnitud de la constante de ganancia proporcional será la velocidad de respuesta obtenida para la operación del control sobre el sistema, El voltaje de la fuente controlada será afectado directamente por esta constante.

La simulación en Matlab para este control es como se puede observar en la figura 4.1. compuesta por bloque de suma entre la señal de referencia y la señal de retroalimentación la cual en el siguiente paso es afectada directamente por una ganancia para elevar el nivel de la señal ,esta aplicada al sistema para obtener la salida que se monitorea con un bloque de medición. Se conecta un bloque de medición para registrar el comportamiento de la salida del sistema, su comportamiento puede ser observado en la grafica de la figura 4.2 donde puede notarse que la señal de salida asciende lentamente para después establecerse en un nivel por debajo del establecido por la señal de referencia, este es un comportamiento típico de un control proporcional.

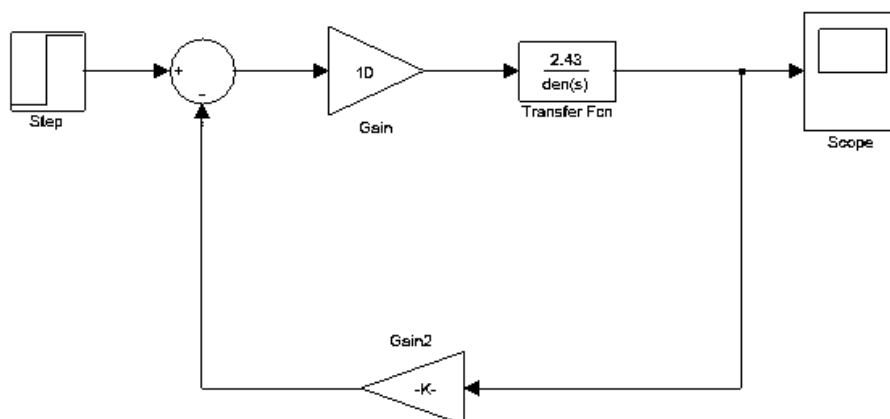


Figura 4.1 Control proporcional en Matlab Simulink

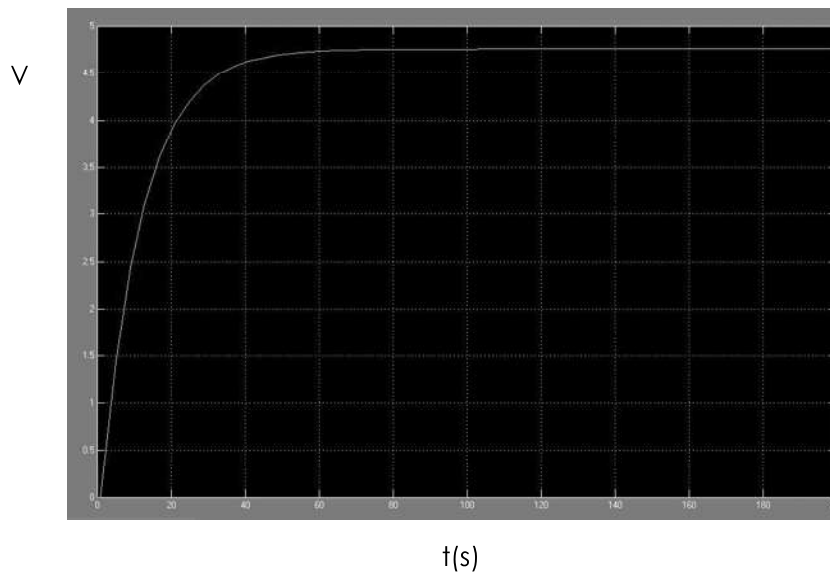


Figura 4.2 Respuesta del control proporcional simulado en Matlab.

La señal de referencia fue establecida en valor de 5 volts. Se puede apreciar el comportamiento simulado durante el llenado en un control proporcional, una curva en el estado transitorio la cual dependiendo la constante que se utilice tendremos un acercamiento por debajo de el valor que se requiere, puede ser útil en sistemas que no requieran la precisión de nivel alta.

4.2 CONTROL INTEGRAL

De la misma manera se presenta el control integral como otra opción en el tratamiento de la señales. En el control integral el valor de la salida $u(t)$ se cambia a una razón proporcional a la señal de error $e(t)$.

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (4.2)$$

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (4.3)$$

Donde K_i es una constante ajustable. La función de transferencia del controlador integral es.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (4.4)$$

La simulación en matlab para observar el comportamiento de este tipo de acción de control. Se muestra en el diagrama de la figura 4.3.

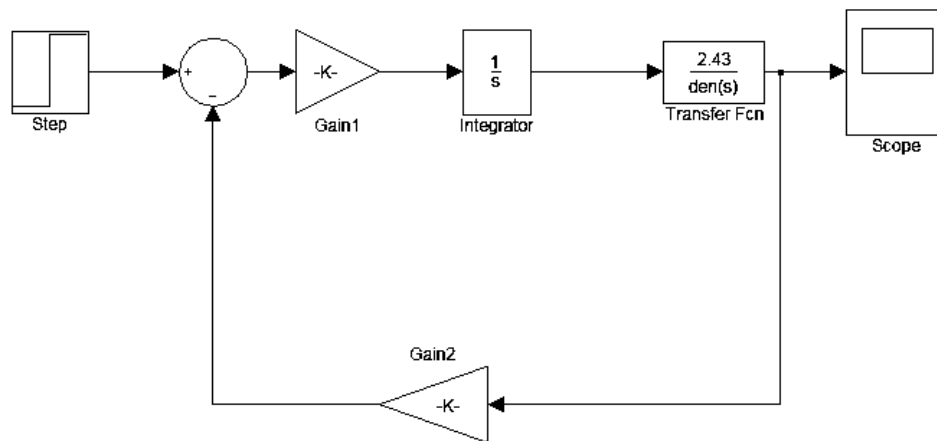


Figura 4.3 Diagrama control proporcional integral

En el diagrama de bloques 4.3 se encuentran los mismos elementos que contiene el control proporcional, un bloque de suma donde se introduce una señal de referencia y la retroalimentación directamente de la salida del sistema en donde se hace la comparación e inmediatamente un bloque de ganancia para amplificar la señal, se complementa adicionando un bloque integrador entre la ganancia de entrada y la función de transferencia. De la misma manera observamos la respuesta del control integral simulado para este sistema.

En la salida del sistema observamos el comportamiento como una curva que excede en magnitud a la señal de referencia por algunos segundos regresando nuevamente a un nivel bajo, así se mantiene oscilando hasta

establecerse en un valor cercano al especificado como referencia de entrada, que sigue siendo por debajo de el voltaje que esperamos a la salida.

En la figura 4.4 Se muestra el comportamiento del sistema de simulación de nivel de líquido con un control proporcional e integral.

Nótese que se obtiene una respuesta subamortiguada ya que el sistema en lazo cerrado es de segundo orden por la conexión en cascada de la planta de primer orden y el controlador de primer orden,

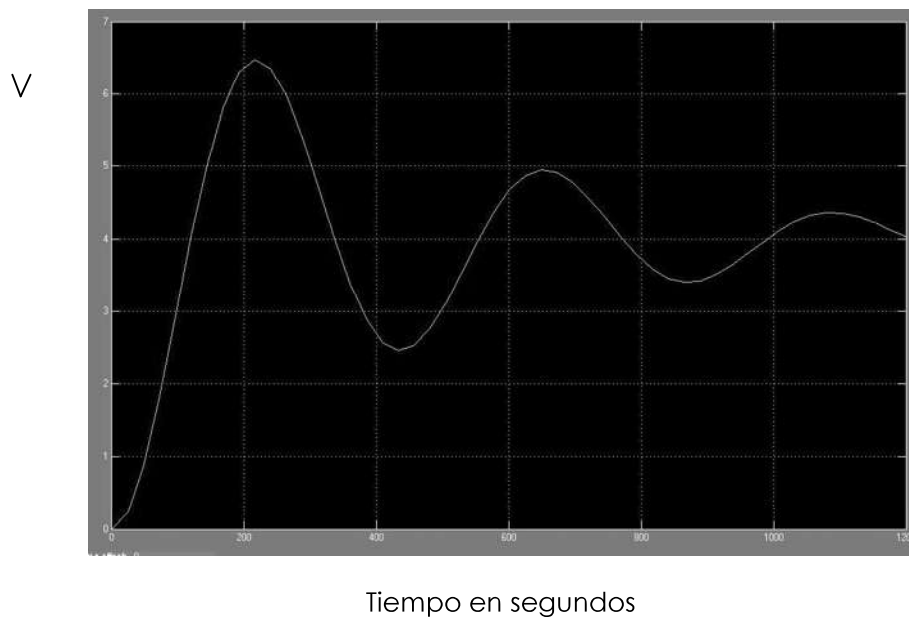


Figura 4.4 Respuesta de la simulación del control integral

4.3 CONTROL PROPORCIONAL- INTEGRAL (PI)

La acción de este controlador se puede definir como. La combinación de los dos tipos de controles antes mencionados, involucra la constante de ganancia proporcional y el bloque de integración que juntos proporcionan un tipo de control mas eficaz .

El control proporcional integral se define como sigue.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (4.5)$$

Por tanto función de transferencia del controlador es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (4.6)$$

Aplicando la acción de control proporcional e integral en un diagrama de bloques del Simulador de Matlab incluido todo el sistema con sus parámetros reales, los cuales fueron obtenidos previamente y documentados en el capítulo anterior.

En figura 4.5. Se presenta el diagrama de bloques con los elementos de ambos tipos de control anteriores, actúan en forma paralela el bloque de ganancia proporcional y el bloque integrador. Hacemos el análisis de la respuesta de este sistema para encontrar una mejor operación del sistema.

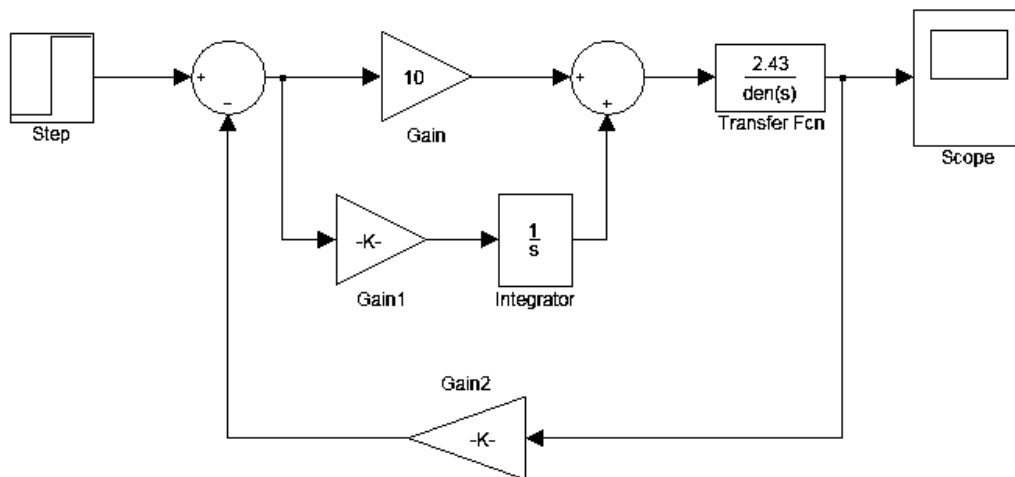


Figura 4.5 Diagrama de bloques, simulación de control PI.

La respuesta que observamos en la simulación es como se observa en la figura 4.6, una respuesta más rápida que en los controles anteriormente implementados, se observa que la señal toma un valor momentáneo que supera aproximadamente en un 15% el valor de referencia que se ajusta en el bloque de entrada. Cerca del segundo 60 se estabiliza el voltaje en el nivel deseado, por lo que podemos concluir que este control nos da una precisión mayor al momento de controlar una señal de salida.

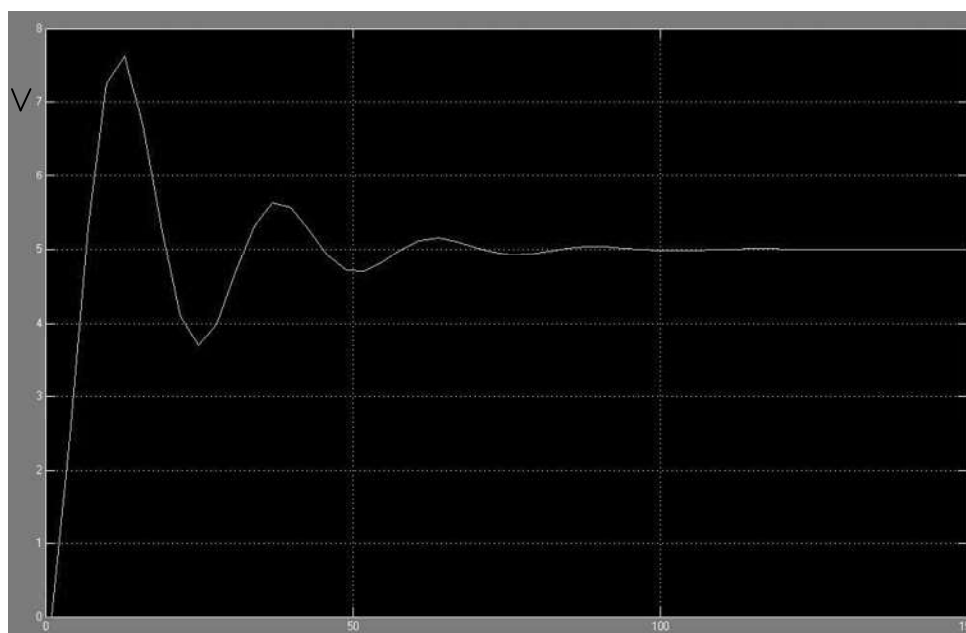


Figura 4.6 Respuesta de la simulación control PI.

4.4 HERRAMIENTAS DE LA LIBRERÍA Toolbox 4.0

Para la implementación del control se utilizan las herramientas obtenidas de la librería Toolbox 4.0 para control de la tarjeta de datos presentadas en la figura 4.7 en la cual encontramos los bloques básicos para complemento de Matlab Simulink, con el fin de que se pueda interactuar con señales reales que obtendremos por las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos.

Simplemente implementando algunos de estos objetos de manipulación grafica dentro de una simulación ordinaria del matlab simulink podemos interactuar en tiempo real con señales analógicas.

Real Time Toolbox 4.0

Copyright 1991-2006 Humusoft s.r.o.

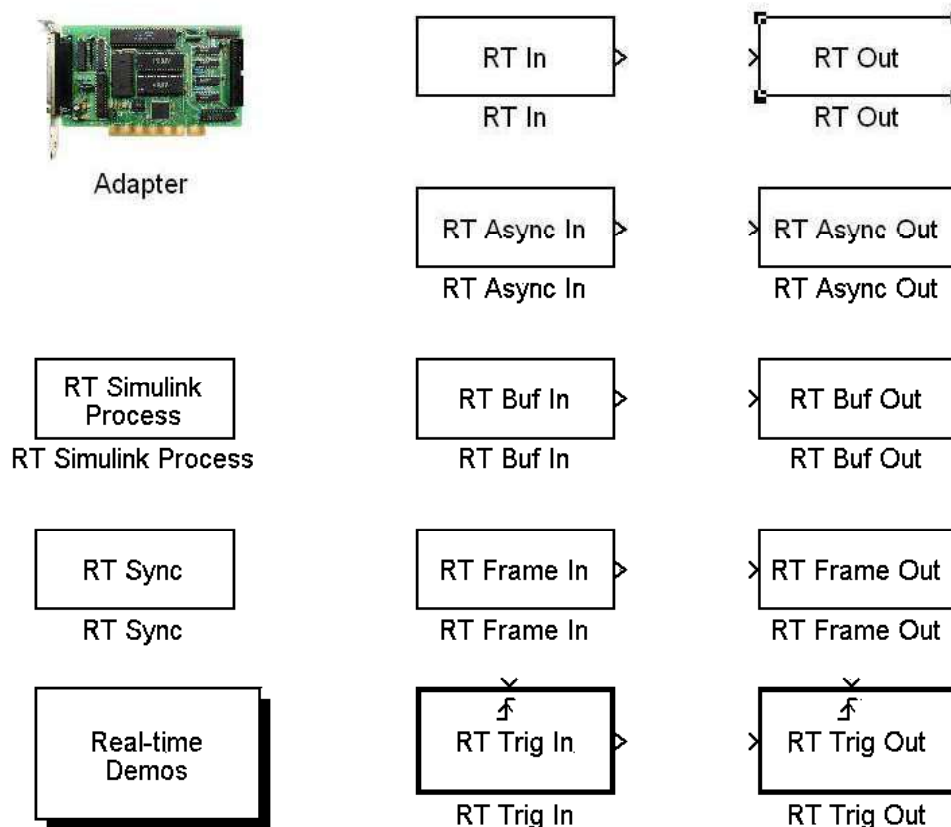
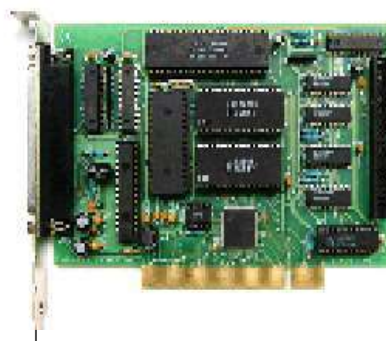


Figura 4.7 Menú grafico de la librería Toolbox 4.0

Bloque **Adapter**, sincroniza la tarjeta de adquisición con el resto de las librerías de Simulink para que puedan trabajar en conjunto y manipular las señales, este bloque que funciona como un icono para su propia configuración es un elemento indispensable si se desea utilizar el resto de los bloques de la librería, aunque no se ejecute ninguna función específica con él, de no estar presente en la ventana de simulink el resto de los bloques no funcionarían correctamente.



Adapter
Humusoft
AD622 (auto)

Figura 4.8 Bloque **Adapter** en modo automático

Bloque **RT In** (Real Time Input), este bloque se especifica el tipo de entrada que tendrá el sistema de manera física por medio de un canal de la tarjeta el cual se ajusta en las propiedades del bloque en la ventana de Matlab Simulink, en el presente caso se configura como una entrada de voltaje de C.D. Con un rango de 0 a 10 volts, en el mismo menú propio del bloque se especifica por cual de las entradas analógicas recibiremos la señal, a este canal se conecta la salida del sensor de presión directamente, de ser necesario para otras aplicaciones se sugiere un reductor de voltaje si la señal que estaremos recibiendo excede el umbral permitido con la finalidad de no tener atenuaciones en el monitoreo de la señal por saturación y a la vez evitar posibles daños en el equipo.

El presente caso, el voltaje recibido del transductor de presión tiene un límite de 8 volts, por lo que no será necesario usar un reductor conectándose directamente a una de las terminales de la tarjeta sin riesgo de dañarla.

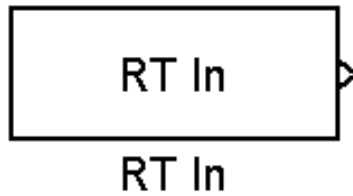


Figura 4.9 bloque RT In (Real Time Input).

Se utiliza únicamente un bloque con estas características en la aplicación de los controles, ya que las señales reales se digitalizan y pueden manipularse de cualquier manera con el resto de los bloques disponibles en Matlab simulink.

Bloque **RT Out** (Real Time Output) con posibilidad de proporcionarnos diferentes tipos de salida, con este bloque especificamos el tipo de señal que requerimos en la etapa de control así como el canal específico de la tarjeta de adquisición de datos, con un menú desplegable propio del objeto nos permite tener la señal en uno o en varios de los canales de salida de requerirse.

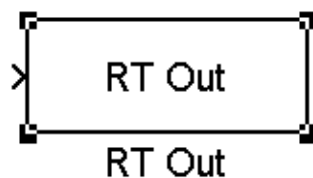


Figura 4.10 bloque RT out.

4.5. IMPLEMENTACION DE CONTROL CON HUMUSOFT AD622

Se presentaron las características de tres tipos de controles de lazo cerrado, el control proporcional, control integral y el control proporcional-integral. En esta sección se implementan estos controles con la tarjeta de adquisición de datos con ayuda de las librerías ya descritas y algunas otras básicas de Matlab Simulink.

4.5.1 CONTROL PROPORCIONAL CON HUMUSOFT AD622.

Trasladamos el control proporcional ya descrito en la sección 4.1 a la versión final utilizando las librerías necesarias para la tarjeta de adquisición de datos.

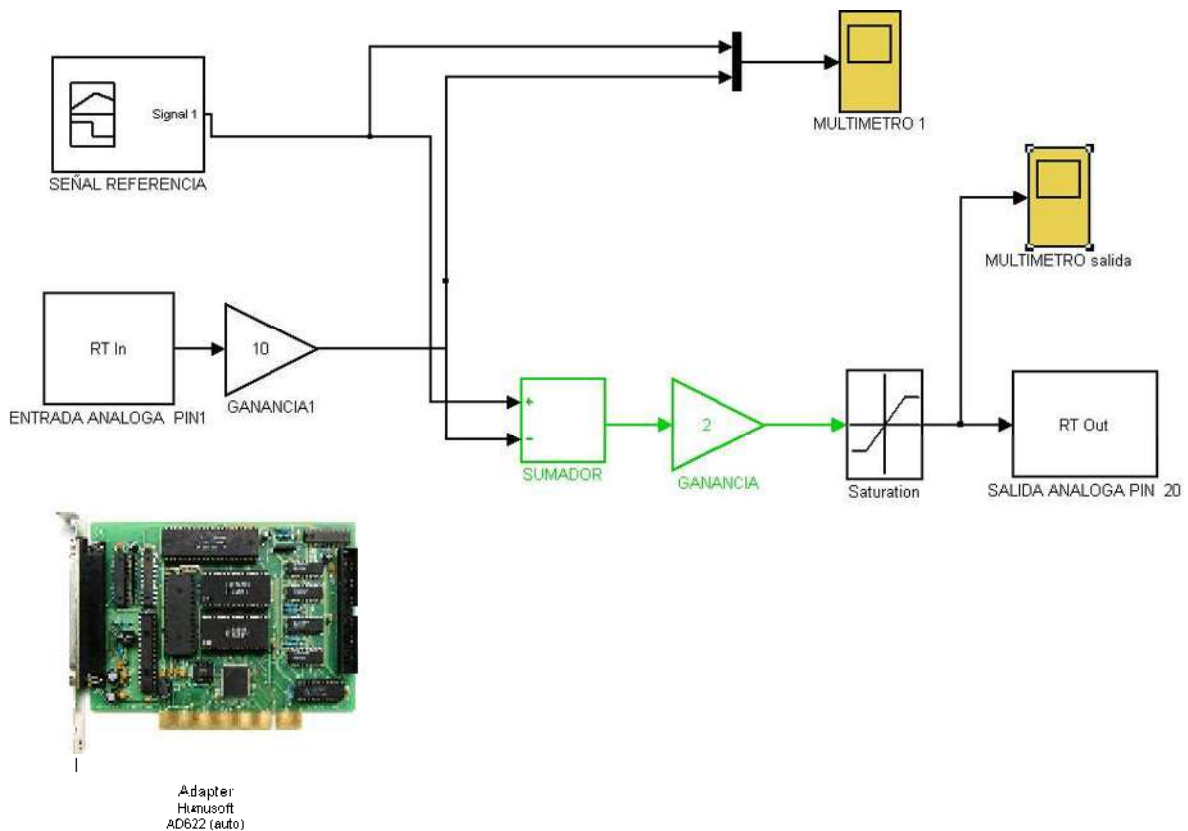


Figura 4.11 Diagrama de control proporcional en Matlab Simulink.

En el diagrama encontramos una señal de referencia que fue construida con un bloque ordinario de la librería de Matlab como una señal de voltaje ajustada en un nivel de 5 volts C.D que corresponde según la tabla 3.2 de respuesta del sensor a diez veces el voltaje registrado en a altura de 18cm equivalente 1800cm³ de agua en el tanque contenedor. Por lo que se ajusta un amplificador de señal con una ganancia de 10 para poder observar mejor el comportamiento de las señales.

Esta señal puede ser modificada para que cambie de valor en determinado tiempo o tenga un incremento constante dependiendo de las necesidades del proceso en que se utilice.

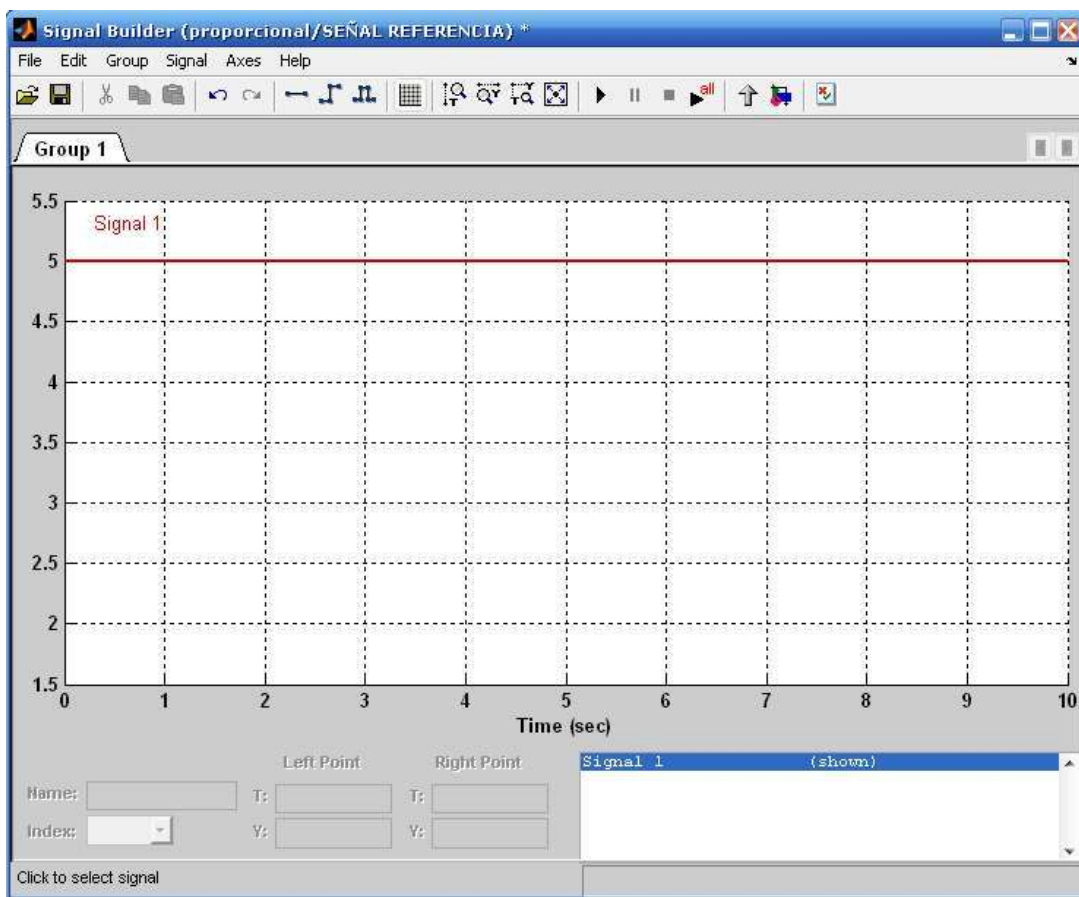


Figura 4.12, Señal de referencia ajustada a 5V.

Las señales obtenidas durante la ejecución del control proporcional de nivel de líquido nos permiten observar el comportamiento del sistema durante el tiempo de llenado del tanque contenedor

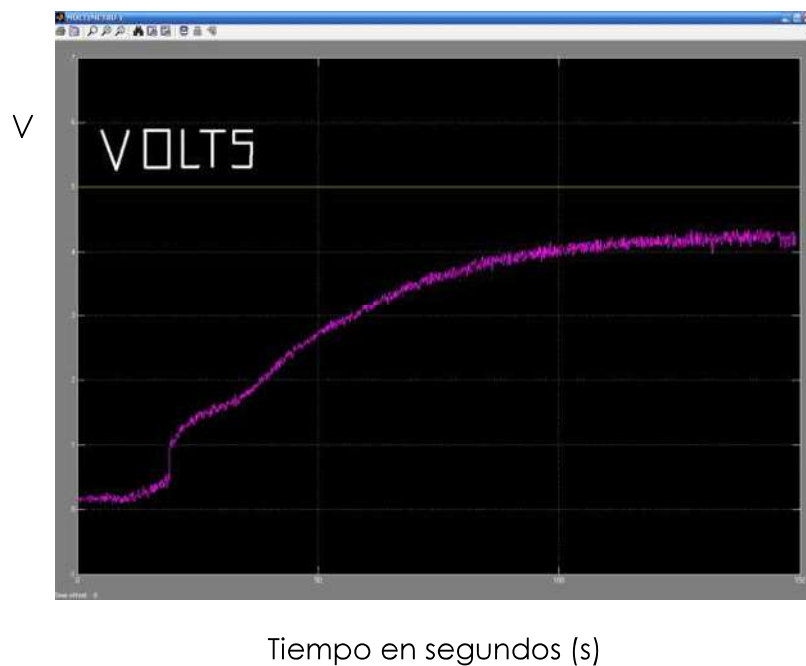


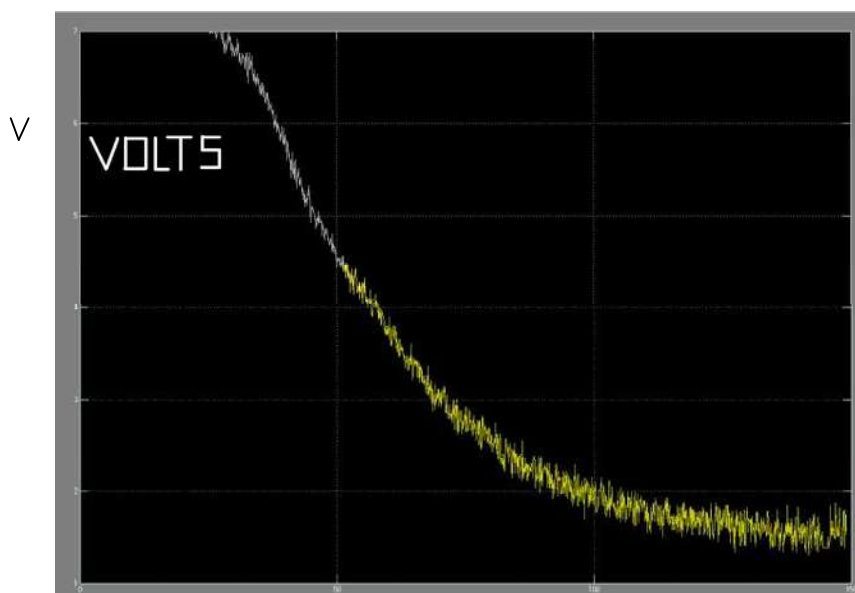
Figura 4.13 Respuesta del sensor de presión

Se observa en la grafica la señal de referencia ajustada en 5 volts y la respuesta del sensor durante el llenado del tanque. Como generalmente sucede en un control de tipo proporcional tiene un periodo transitorio largo para después ajustarse en un nivel por debajo de la señal de referencia, similar a la respuesta obtenida de la simulación hecha con Matlab figura 4.2

También se observa un poco de ruido en la señal debido a la velocidad de muestreo de la tarjeta de adquisición de datos, la cual pueden ser modificada según la necesidad de cada proceso.

También es posible monitorear el comportamiento de la señal de salida del transductor como se presenta a continuación.

En la figura 4.14 se observa la señal de control monitoreada con Matlab Simulink. Esta señal es el voltaje aplicado a la fuente controlada que regulara la bomba para la velocidad de llenado del tanque. AL inicio del llenado del tanque el voltaje es mayor y conforme el tanque eleva su nivel de líquido y la presión del líquido aumenta el voltaje de salida que será aplicado a la fuente controlada disminuye.



4.14 señal real de control monitoreada con Matlab Simulink

4.5.2 CONTROL INTEGRAL CON HUMUSOFT AD622.

De la misma manera trasladamos el modelo de la sección 4.2 de un control integral ejecutado el control con la tarjeta de adquisición de datos como se observa a continuación en la figura 4.15. Una señal de referencia que utilizaremos al mismo nivel de voltaje (5 VCD). Se incluye el bloque de integración acoplado entre el comparador de señales y la salida RT out direccionada al pin numero 20 de donde tomaremos la señal para controlar la bomba. Desde este mismo punto se toma una medición para monitorear la señal de salida.

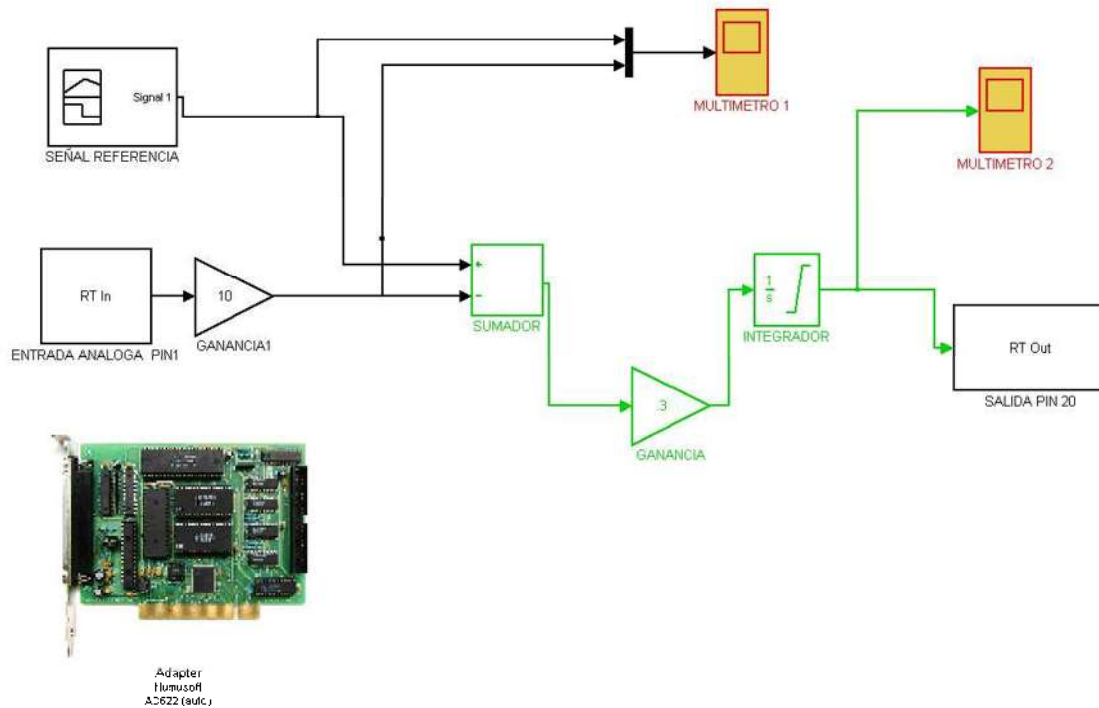
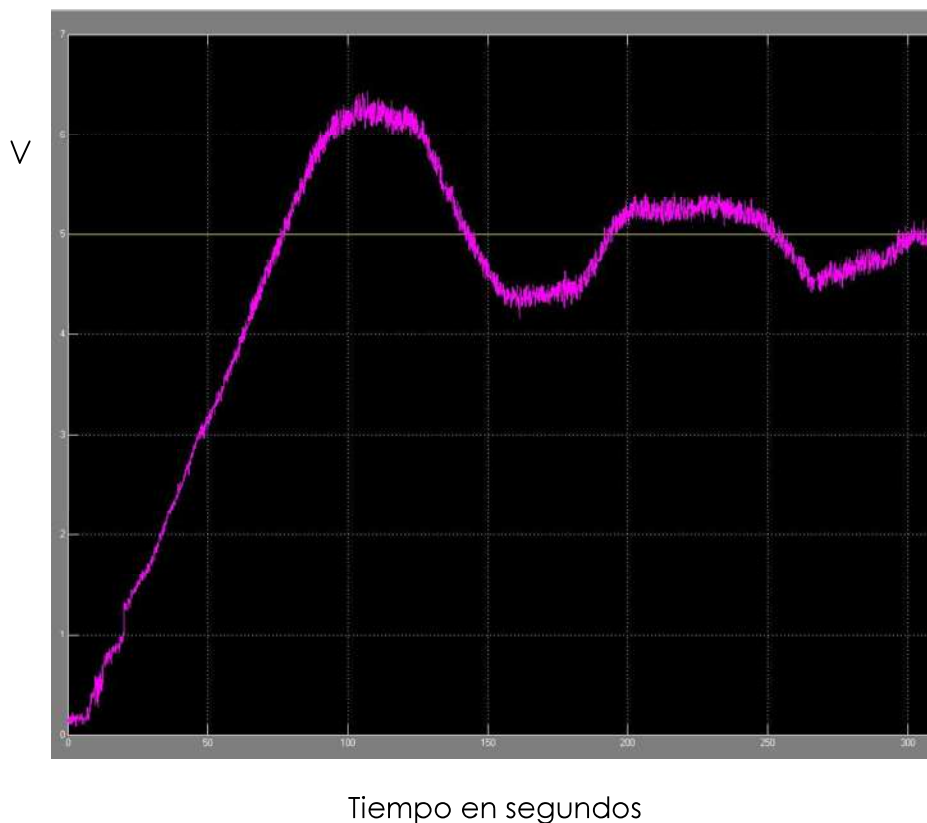


Figura 4.15 Esquema de un control integral implementado en Matlab.

El control integral nos proporciona los siguientes resultados en la prueba de nivel ajustado a 18 cm de altura con la misma señal de referencia de 5V. Notamos la oscilación de la señal de salida que en varias ocasiones sobrepasa por momentos la señal de referencia antes de establecerse en un valor cercano a la señal de referencia ajustada con un bloque de Simulink.

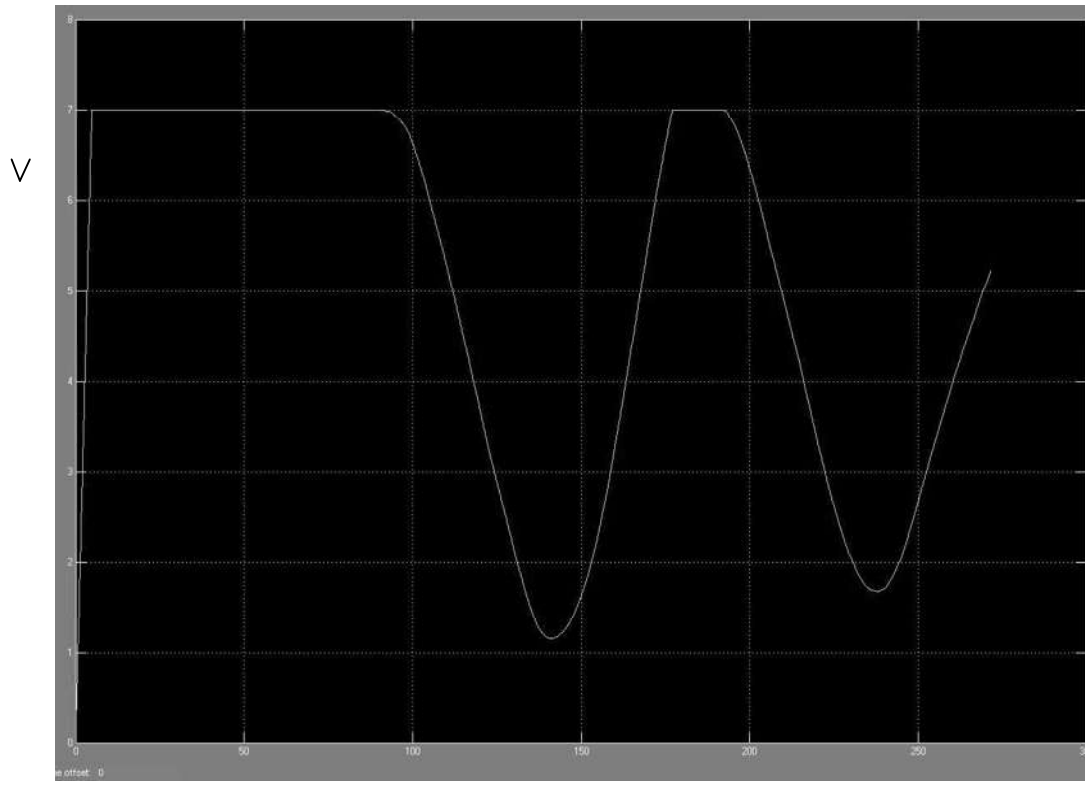
En la figura 4. 16 se muestra la señal de voltaje monitoreada con una de las entradas analógicas disponibles en la tarjeta Humusoft AD622, esta misma señal puede ser monitoreada e incluso utilizada para algún procedimiento de ser necesario.



4.16 Señal de voltaje, respuesta del sensor de nivel

La respuesta del control proporcional tiene una oscilación que momentáneamente supera el nivel establecido. También observamos que la respuesta del control integral en su estado es más cercana con el nivel de referencia deseado incluso durante su estado transitorio, para después establecerse en un nivel muy cercano al voltaje de referencia.

En La figura 4.17 Se visualiza el comportamiento de la señal de control que alimenta la bomba, en un principio se incrementa la señal rápidamente hasta el voltaje de saturación, después, cuando el nivel del tanque supera momentáneamente el nivel establecido por la referencia hace una disminución en el voltaje hasta casi apagar la bomba. Para nuevamente incrementarse hasta el voltaje de saturación, se puede interpretar como un interruptor de encendido y apagado.



Señal de voltaje contra tiempo en segundos

Figura 4.17 Señal de control integral

4.5.3 CONTROL PROPORCIONAL -INTEGRAL CON HUMUSOFT AD622.

Considerados los controles proporcional e integral, utilizamos la combinación de ambos y se construye el control proporcional-integral con el que esperamos una respuesta más rápida y con una mayor precisión. Como se hizo en los controles anteriores tomamos el diagrama de bloques para la simulación del control P.I. y lo adaptamos con los bloques necesarios de la librería Toolbox 4.0. Se obtiene el esquema siguiente.

El tratamiento de señales con Matlab simulink deriva en un método gráfico y sencillo para la implementación.

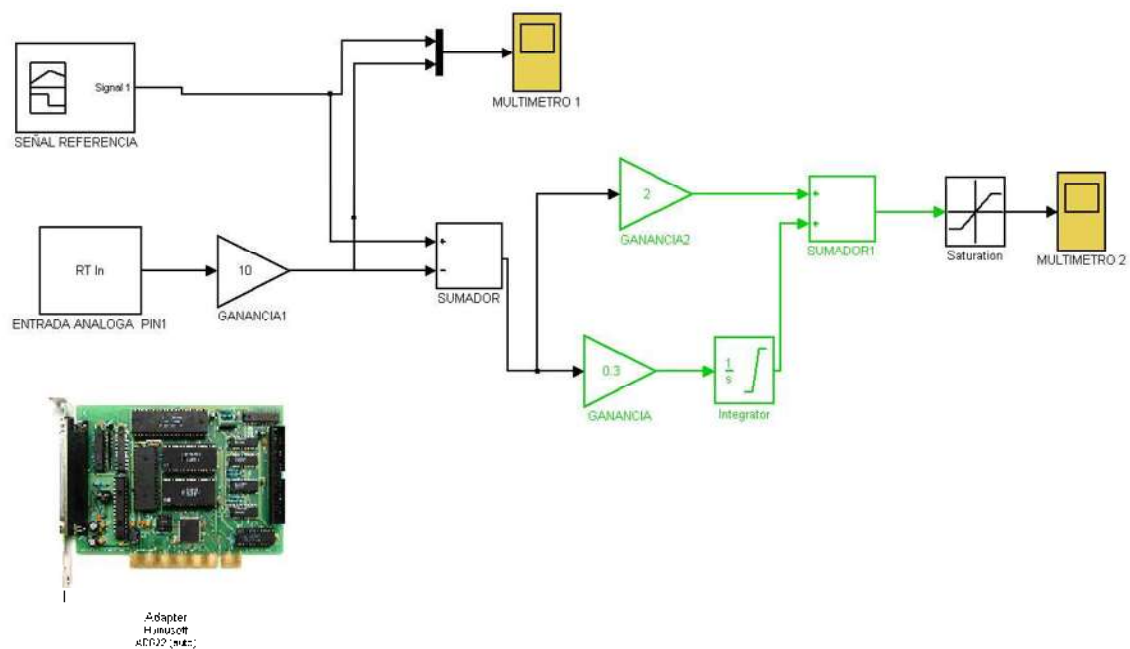


Figura 4.18 Control proporcional-integral implementado.

Igual que en los controles anteriores, incluimos un multímetro de la librería básica de Simulink para poder observar el comportamiento del voltaje de control antes de entrar al bloque sumador para comparar sus valores.

Con este control esperamos una respuesta más rápida y sobre todo mayor precisión en el nivel deseado.

En la figura 4.19 se muestra la salida analógica de el control proporcional integral, monitoreada con el mismo Matlab simulink. Podemos observar el comportamiento de la señal de control que por algunos momentos es mayor que la señal de referencia y oscila un tiempo hasta establecerse en un nivel de voltaje muy cercano al voltaje de referencia.

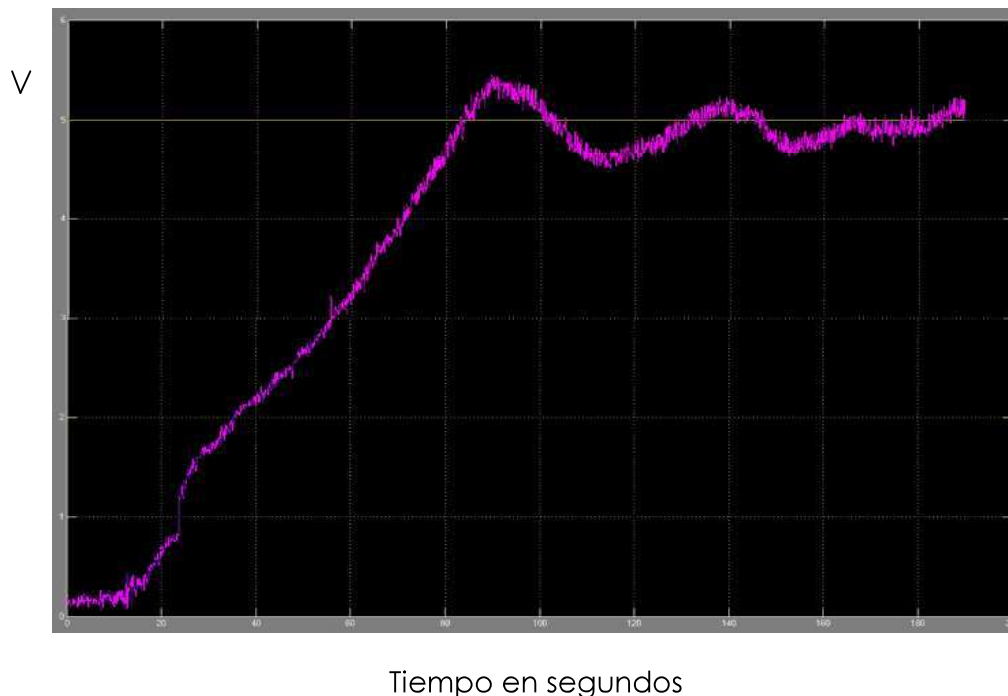


Figura 4.19 Respuesta del control PI.

Se observa en al grafica de la figura 4.19 una respuesta en un menor tiempo y el nivel del líquido deseado es mas cercano al que se estableció con la señal de referencia.

En la figura 4.20 se ilustra la señal de control PI en el sistema de nivel de líquido.

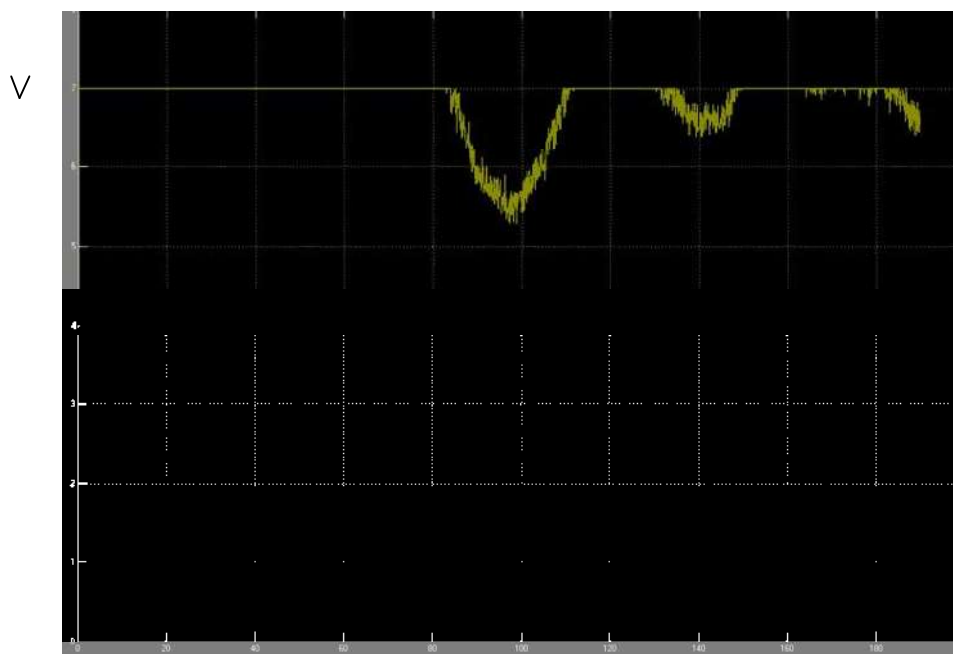


Figura 4.20 Señal de control PI

Se incluyo en el diagrama de bloques una bloque de saturación para evitar sobrevoltaje tanto en la tarjeta de adquisición de datos como en la bomba, a un nivel de 7 volts como máximo y 0 volts como voltaje mínimo.

Se puede visualizar que en el momento que se activa el control el voltaje se incrementa a más de 7 volts pero se queda regulado por el bloque de saturación, y se establece en este valor hasta que el sensor registra un voltaje superior a la referencia y entonces reduce el voltaje de control y hasta tener oscilaciones cada vez más pequeñas. Finalmente al llegar al estado estable se queda el valor ajustado en un nivel cercano al voltaje de referencia muy aceptable. Estos controles implementados son ejemplo de los posibles escenarios que se pueden tener utilizando como medio de comunicación con señales reales, dependiendo de la capacidad del ordenador donde se ejecuten los procesos se podan realizar más operaciones, ya que la tarjeta cuenta con varias entradas analógicas y digitales disponibles así como salidas programables de manera sencilla con ventanas de interacción típicas de Matlab simulink.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

Del presente trabajo se pretende resaltar la introducción de un sistema de adquisición de datos con la flexibilidad de interactuar de manera grafica con un software de fácil acceso y que a la vez resulta sumamente didáctico, en este trabajo se muestra el control automático en su versión aplicada al mundo moderno, donde la tecnología es dirigida por la computación y el software ha sustituido muchos de los procesos que en la anterioridad tenían que realizarse por medio de circuitería.

La aplicación de control automático en el que sus acciones se realizan en un procesador reduce el riesgo de error y se puede buscar la precisión a un nivel que en su forma de circuito sería difícil conseguir.

Durante la aplicación de los controles con la tarjeta de adquisición de datos, encontramos la facilidad de cambiar el tipo de control, ganancias y manipular las señales con la simpleza del simulador de Matlab. Esto significa un manejo sencillo, visual y de fácil comprensión de cualquier control que se quisiera implementar.

El sistema de control de nivel de líquido ejecutado con la ayuda de la tarjeta de adquisición de datos arroja resultados positivos, esto es, la funcionalidad y precisión que se tiene en el funcionamiento de la planta al ser controlada por medios computacionales. La planta de llenado y trasiego de tanques contenedores de líquido, por ser un sistema que no requiere un nivel muy alto de precisión o de rápida respuesta, el enfoque es la preparación para la implementación de dichos controles para el funcionamiento correcto de los mismos.

TRABAJOS FUTUROS

De la cuestión técnica

De la aplicación de control con la tarjeta de adquisición de datos se puede desarrollar un control con más niveles de procesamiento de señales, o aplicando una mayor cantidad de señales recibidas, pudiendo ejecutar procesos de forma paralela que nos darían más información acerca de cualquier sistema a controlar.

Un ejemplo particular, en el caso de tanques contenedores y flujo de líquidos es anexar otro tipo de transductores, que pudieran medir la densidad del material para controlar el par requerido para realizar el trabajo, incluso involucrar la velocidad del motor o la temperatura en los devanados, para mutar el control automático como un sistema integral de operación.

De la cuestión didáctica

Otro trabajo a desarrollar, en el caso de la tarjeta de adquisición de datos, es su aplicación de forma didáctica en la Facultad de Ingeniería eléctrica para materias afines como control automático, simulación, electrónica digital, máquinas eléctricas, esto como complemento a la preparación de los estudiantes miembros de la facultad, ya que en la actualidad el uso de tarjetas con estas características o muy similares es la realidad operante en el ramo de la electricidad, electrónica y computación.