

**DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL PARA SIMULACIÓN DE
PROCESO DE LA VARIABLE NIVEL**

**CONTROL SYSTEMS DESIGN FOR SIMULATION TO THE LEVEL
VARIABLE PROCESS.**

Recibido: 11-11-2008 / Aceptado: 24-03-2009

Llelysmar Crespo

Profesora Asistente, adscrita al Programa Ciencias del Agro y del Agro y del Mar, UNELLEZ- San Carlos, Estado Cojedes,
Venezuela. *llelysmar@latinmail.com*

RESUMEN

Dentro del campo de la automatización electrónica, existen diversos tipos de control, uno de los más empleados es el esquema PID, el cual posee varios criterios para la estimación de los parámetros del sistema y una adecuada implementación. A continuación se describen las consideraciones del diseño de un sistema de control automático de nivel para el llenado y vaciado de líquidos en un tanque, el cual puede mantener la medición de nivel dentro de límites aceptables, usando Sensores entre dos puntos, uno alto y otro bajo, así como también originar alarmas de alto nivel y bajo nivel. La precisión y exactitud de respuesta del controlador depende de un tiempo mínimo que podrá regularse a través de la configuración.

Palabras clave: automatización, sistema, control.

SUMMARY

In electronic automation area are a lot of control type, the PID scheme is the most employ, it has several judgments to estimate the system parameters and a correct installation. Next, it describes the design considerations an level automatic control system to the liquids filled and vacuum in a tank, which can maintain the level measure inside the limits using sensors between two points, one high and other low likewise to originate alarms of high and low levels. The controller reply precision depends of the minimum time, this could be regulate through configuration.

Key words: automation, systems, control.

INTRODUCCION

Un sistema de control automático de nivel para el llenado y vaciado de líquidos en un tanque, puede mantener la medición de nivel dentro de límites aceptables, usando sensores entre dos puntos, uno alto y otro bajo, así como también originar alarmas de alto nivel y bajo nivel. La precisión y exactitud de respuesta del controlador depende de un tiempo mínimo que podrá regularse a través de tres tipos de configuración como lo son: el proporcional (P), el integral (I) y el derivativo (D).

Dependiendo de la señal de los sensores, del transmisor, y del tiempo de respuesta del controlador, este hará actuar el elemento final de control, el cual regula el suministro de energía o material al proceso y cambia la señal de medición. Este elemento final de control será una válvula, un posicionador, un motor o una bomba.

En un control automático puede estudiarse el comportamiento del proceso, ya que en el pueden simularse averías y condiciones anormales que pueden afectar los rendimientos e incrementos de la productividad. Estas simulaciones de fallas pueden ser corregidas, ya que en el diseño del sistema de control de nivel simulado puede detectarse si el sistema de realimentación esta cerrado o si algún otro dispositivo está fallando.

El diseño del sistema de control de nivel para el proceso de llenado y vaciado de líquidos en un tanque será capaz de modelar la operación de una parte del proceso de una planta, el cual podrá utilizarse para medir y monitorear volúmenes de líquidos para evitar que el mismo se derrame.

Contará con dispositivos que serán escogidos para que realicen el control automático, ya que por las características de los líquidos a utilizar (agua, leche,

concentrados), el recipiente de almacenamiento será completamente sellado, de tal manera de tal manera de controlar todos los parámetros que puedan dar seguimiento a las condiciones reales de operación de una planta industrial.

Estos dispositivos electrónicos podrán controlar diversas variables dentro del proceso, de tal forma que puedan realizar sus labores de la mejor manera tanto en operación normal como en situaciones críticas.

SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Para seleccionar los componentes del sistema de control es necesario que recordemos cual es la labor que cumple dentro del mismo.

1. ELEMENTO PRIMARIO

Sinónimo de sensor, es la parte de un lazo o un instrumento que primero detecta el valor de una variable de proceso y que asume una correspondencia, predeterminación, y estado inteligible o salida. El sensor puede ser integrado o separado de un elemento funcional o de un lazo. Al sensor también se le conoce como detector o elemento primario.

En base a la definición expuesta y tomando en cuenta las características fisicoquímicas tabuladas del agua y la leche, que son los fluidos de estudio se decide utilizar el medidor de nivel de tipo conductivo NE de Kobold.

2. ELEMENTO FINAL DE CONTROL

De acuerdo con las características del fluido y las condiciones de flujo que serán simuladas a través de matlab se escoge una válvula de mariposa de disco excéntrico, en este tipo de válvula el eje de rotación no pasa por el centro de simetría del mismo, de manera que la trayectoria de los bordes del mismo es tal que salen del contacto del sello tan pronto como se comienza la apertura, por lo que se reduce la fricción y el desgaste. Además dadas las condiciones adecuadas las válvulas de mariposa son una excelente

válvula de control con la ventaja de sus menores dimensiones, menor peso y más confiabilidad al sello que muchas otras válvulas. Y más económicas.

Como con cualquier otra válvula, su vida útil depende de unas condiciones de servicio adecuadas y una buena selección.

Según el catalogo de FISHER que se encuentra en el anexo n° 2 la válvula es la del tipo 8560 de acero inoxidable.

El posicionador utilizado es también de la marca FISHER modelo W4741-1, tipo 1051 código 1370.

3. TRANSMISOR

Este instrumento envía la señal medible remotamente como una señal electrónica o neumática. Estos instrumentos mantienen la comunicación entre un proceso y su operador, así el operador conocerá que esta sucediendo en el proceso y podrá hacer ajustes para lograr que el producto final se encuentre dentro de las especificaciones.

En este orden de ideas se utilizará un transmisor con señal electrónica, de la casa comercial ABB, MODELOS 262/264 G/A Campos L, U, R, V.

4. CONTROLADOR

Teniendo como base la definición del controlador y apoyándose en la herramienta Matlab se procede a utilizar un controlador indicador PID del tipo DPC-481 de la casa comercial LIBRATHERMTM INSTRUMENTS (ver anexo n°5), el mismo será entonado a través de las técnicas de BODE y de NYQUIST, que tienen por finalidad establecer criterios de estabilidad.

El diseño de sistemas en lazo cerrado basado en las aproximaciones de bode y nyquist es particularmente útil por las siguientes razones:

- En el diagrama de bode, la asíntota de baja frecuencia de la curva de magnitud indica una de las constantes de error estáticas K_p (indica la parte proporcional del controlador), K_v o K_a .
- Las especificaciones de la respuesta transitoria se

pueden traducir a las respuestas en frecuencia en términos de margen de fase, margen de ganancia, ancho de banda y así sucesivamente. Estas especificaciones se pueden manejar fácilmente en el diagrama de BODE. En particular, los márgenes de fase y de ganancia se pueden leer directamente del diagrama y el compensador o controlador se diseña de una manera simple y directa.

Para tomar la decisión de entonar el controlador como PID (compensador adelanto-atraso) se debe tomar en cuenta lo siguiente:

La compensación por adelanto de fase (solo la acción derivativa) se usa comúnmente para mejorar los márgenes de estabilidad y aumentar el ancho de la banda en el sistema, por lo que tendrá una velocidad de respuesta más rápida. Sin embargo, cuando un sistema utiliza compensación por adelanto de fase, esta sujeto a problemas

- de ruidos en alta frecuencia debido a su incremento en las ganancias de alta frecuencia.

La compensación por retardo de fase (solo la acción integral) reduce la ganancia del sistema a altas frecuencias sin reducir las ganancias del sistema a bajas frecuencias. Se reduce el ancho de banda del sistema y el mismo tiene una velocidad de respuesta más lenta. Al reducirse la ganancia en alta frecuencia, se puede incrementar la ganancia total del sistema y por tanto se puede incrementar la ganancia a bajas frecuencias y mejorar la precisión en el estado estacionario. También es

- posible atenuar cualquier ruido a alta frecuencia que tenga el sistema.

En las aplicaciones de sistemas como el representado en este proyecto lo ideal es utilizar un compensador retardo-adelanto de fase donde se puede incrementar la ganancia a bajas frecuencias (lo que significa una mejora en la precisión del estado estacionario), mientras al mismo tiempo se incrementa el ancho de la banda y los márgenes de estabilidad del sistema.

En la parte destinada al diseño del sistema de control se dedicara un espacio para entonar el controlador utilizando los diagramas de bode y nyquist, con el fin de verificar el diseño basado en métodos convencionales. El alcance de este trabajo se limita al

uso de MATLAB para comprobar los resultados de los sistemas diseñados.

DISEÑO DEL SISTEMA

A continuación se realizará una descripción de cada parte del sistema de control.

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La planta consta básicamente de un tanque alimentador que será el encargado de suministrar el líquido a un segundo tanque, en el cual se hará el control de nivel del líquido, dependiendo del set point {sp} del sistema.

El abastecimiento del líquido al tanque secundario se realiza por medio de una electrobomba.

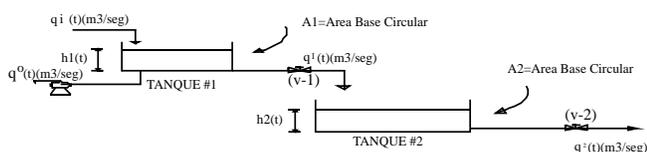


Figura 1: Sistema interactivo de dos tanques en serie.

CÁLCULOS

Los cálculos para la bomba se muestran de manera simplificada en la siguiente tabla:

Tabla 3: Parámetros para la Selección de la Bomba y el Motor

| | | | |
|---|---|--|--|
| Dotación: Qi=1700lts/h | Cap del tanque inf. Vn= 2000 m ³ | Cap del tanque sup. V= 1200 m ³ | Diámetro de la tubería =3/4 pulg |
| Pérdidas por fricción hfs= 3m | Cap de la bomba Q= 0.12 lts/s | Carga de al bomba H= 17.50 m | Potencia de bomba hp=0.05 |

Potencia motor = 0.07 hp

De acuerdo con las curvas características de las bombas (ver anexo n°1), se selecciona una electrobomba de 1/2 hp, la misma permite bombear 0.12 lts/s hasta H=27 m y/o Q=1.63 lts/s hasta una altura de diseño de H=17.5 m.

DESCRIPCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL

El medidor de nivel es de tipo conductivo NE de

Kobold se puede usar para monitorear el nivel de fluidos débilmente a fuertemente conductivos. El dispositivo trabaja a través de la medición de la resistencia eléctrica entre un electrodo sensor y un electrodo de conexión a tierra. Este diseño simple no incorpora ninguna parte móvil y hace este dispositivo especialmente adecuado para aplicaciones difíciles, como el monitoreo de nivel de fluidos de baja densidad, fluidos de alta viscosidad, o fluidos que contienen grandes cantidades de partículas suspendida

SISTEMA DE CONTROL

Para diseñar el sistema de control se utilizo como técnica la simulación dinámica del proceso con el programa Matlab opción simulink.

Matlab es una técnica de computación para cálculo numérico y operaciones de visualización de alta capacidad. Matlab permite el análisis numérico, operaciones con matrices, procesamiento de señales, y operaciones graficas en forma amigable, en los cuales, los planteamientos de los problemas y sus soluciones son expresados en la forma matemática usual, sin necesidad de utilizar los lenguajes de computación ampliamente conocidos.

Matlab es un avanzado programa matemático con una poderosa interfase gráfica utilizando para el análisis, diseño, simulación y control de complejos sistemas dinámicos. Por esta razón, se ha convertido en la principal herramienta de los ingenieros de control de procesos.

Matlab posee aplicaciones, denominadas tool-boxes que permiten realizar, de una forma relativamente sencilla, complicados diseños y cálculos, como son: estadística, control de procesos, lógica difusa, redes neuronales, identificación de sistemas, simulación dinámica de procesos (SIMULINK), procesamiento de señales, entre otros.

ENTONACION DEL CONTROLADOR

En la entonación del controlador primero se

determina la función de transferencia en lazo abierto, tal que la constante del error de velocidad estática sea igual o mayor a 10 seg^{-1} , el margen de fase no supere los 50° y el margen de ganancia sea igual o superior a 10 dB, para que el sistema sea óptimo.

A continuación se presentan las simulaciones que permiten afirmar que el controlador seleccionado anteriormente es el más adecuado para las condiciones de este sistema.



Gráfica 1: Altura de tanque 2 en función del tiempo, con la bomba apagada y el flujo cambia a los 60 min.



Gráfica 2: Altura de tanque 2 en función del tiempo, con encendido de la bomba a los 25 min



Gráfica 3: Altura de tanque 2 en función del tiempo, con cambio de flujo y encendido simultaneo de la bomba a los 25 min.



Gráfica 4: Altura de tanque 2 en función del tiempo, con la bomba apagada y caída del flujo a los 25 min.

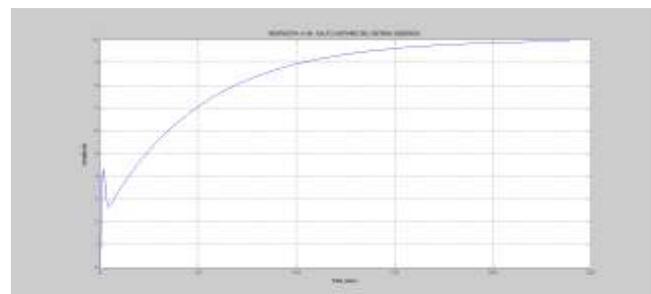


Figura 4: Diagrama de la respuesta a un salto unitario el sistema diseñado

SISTEMA DE CONTROL.



Figura 3: Sistema General de Control.

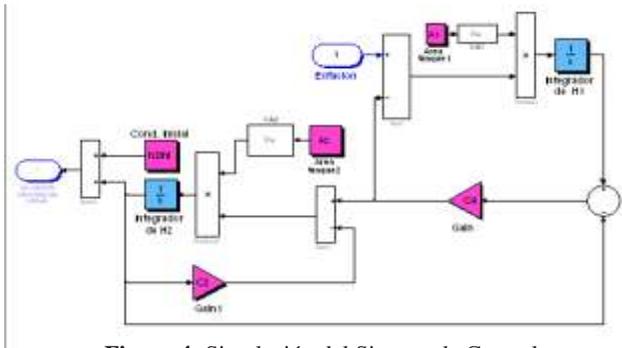


Figura 4: Simulación del Sistema de Control.

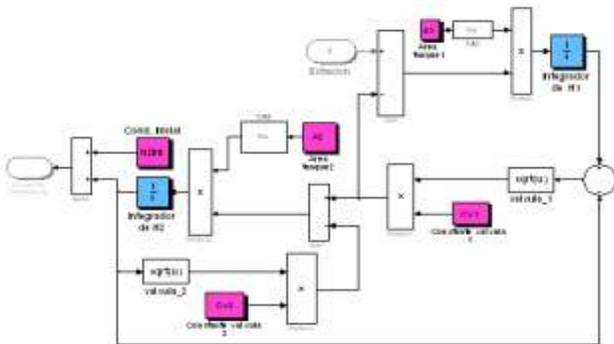


Figura 5: Representación de la Ecuación Diferencial Lineal del Sistema de Control

CONCLUSIONES.

El sistema logrado es una interesante aplicación de control por sus alcances y el contraste que se logra entre la teoría y las aproximaciones matemáticas con el comportamiento físico que se presenta en la realidad.

Además, el trabajo en conjunto con las simulaciones de los modelos simplificados deja en evidencia los alcances de estos modelos y los compromisos que se manejan, tal como los problemas con la respuesta no lineal del sistema en algunos casos.

Es importante evidenciar la dificultad que se tiene para caracterizar de una forma óptima un sistema de control, aún a pequeña escala, puesto que buscar un punto de operación para una variable supone tratar de controlar el comportamiento de otras, como lo podemos observar en los gráficos, donde los mejores resultados desde el punto de vista del control se obtuvieron en la simulación 4.

Esta simulación 4, muestra un buen desempeño al llevar las variables a controlar a su valor de referencia, lo que se considera una buena robustez del controlador y una relación lineal en función de los cambios de la dinámica de la instrumentación.

El diseño del controlador (compensador) por adelanto atraso a través de método de Bode es sin duda el mejor a utilizar para este diseño de sistemas, ya que es posible realizar con facilidad alguna optimización simple. Como el margen de fase tiende a un valor pico cuando la frecuencia de cruce se acerca a la mitad del corredor de diseño, se puede incrementar al máximo el margen de fase ϕ_m , alternativamente, incrementar al máximo ω_c , al mismo tiempo que se conserva ϕ_m por encima de un valor mínimo. Muchas variaciones son posibles, incluida la variación de las especificaciones del ancho de la banda y la supresión del ruido para satisfacer las restricciones en el margen de fase y la frecuencia de cruce. Para comprobar si el sistema se encuentra bien diseñado (entonado), se utilizó como herramienta MATLAB. Por otra parte al observar la figura n°11 se puede ver claramente que el sistema está bien

entonado y que todos los elementos del lazo de control están respondiendo de manera eficiente, ya que la respuesta del sistema alcanza estabilidad, lo que indica que cualquier variación que se haga en las variables secundarias no afectaran a la variable principal que es el nivel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KUO, Benjamín. *Sistemas de Control Automático*. Editorial Prentice Hall. 1996.
- OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de Control Moderna*. Editorial Prentice Hall. 2004.
- OGATA, Katsuhiko. *Problemas de Ingeniería de Control Moderna, Utilizando MATLAB*. Editorial Prentice Hall. Madrid 2004. 359p.
- NATIONAL INSTRUMENT. *Labview basic course manual*. April 1998 Edition.
- MARTON, Fred. *Level Measurement and Control: Tabular Survey of Level measurement Techniques, Instrum. and contr. Sust., series:* February, March, May 1965.
- SMITH AND CORRIPIO. "*Principles and Practice of Automatic Process Control*". Second Edition. John Wiley and Sons, 2007.
- SMITH AND CORRIPIO. "*Sistemas Automáticos de Control*". Editorial Limusa, 2007.
- CREUS, ANTONIO. "*Instrumentación Industrial*". 2007. México. 634 p.
- HARRIOT, Peter. "*Process Control*". 1era Edición. New Delhi. Mc Graw-Hill. 374 p.