

## Ejercicio N° 2 EL42D: Control de Sistemas.

Profesora: Dra. Doris Sáez H.  
Ayudante: Gabriel Moreno C.  
(gmoreno@ing.uchile.cl)

### Diseño de Estrategias de Control para un Estanque Piloto

#### a) Objetivos

Diseñar e implementar controladores continuos y discretos, utilizando las técnicas gráficas de control en el dominio del tiempo (LGR).

#### b) Instrucciones

A continuación se exponen los tópicos a atender para el desarrollo del Ejercicio 1:

- Trabajar en equipo, respondiendo a los roles asignados.
- Calendario de actividades.

Actividad	Fecha de entrega	Lugar de entrega
<b>Informe 1: Diseño de Controladores</b>	Viernes 26 de octubre, a las 12:00	Secretaría Docente, 1° piso DIE.
<b>Sesión de Laboratorio</b>	Semana 14: 5 al 9 de noviembre	Laboratorio de Automática
<b>Informe 2: Parte Experimental</b>	Dos días después de la sesión de Laboratorio	Secretaría Docente, 1° piso DIE.
<b>Presentaciones</b>	Martes 13 de noviembre, a las 14:15	Sala de clases

- Pauta de evaluación:

Actividad	Nota Ejercicio 1
Informe 1	50%
Informe 2	20%
Trabajo en Laboratorio.	30% (5% Auto-evaluación, 10% Co-Evaluación y 15% Evaluación Docente)
Presentación	% asignado como **

\*\* Se promedia nota de presentación con 30% parte experimental. Alumnos cronistas presentarán los resultados del ejercicio. Preparar cinco minutos de presentación para cada parte seleccionada por la Profesora.

## c) Introducción

En muchas actividades productivas es necesaria la presencia de estanques para almacenar líquidos. Las aplicaciones resultan muy diversas. Por ejemplo el proceso de tratamiento de grandes cantidades de aguas servidas previo a su descarga en el mar, ríos o lagos, requiere de estanques como elemento principal para su funcionamiento.

Dependiendo de la aplicación que se desea dar al estanque, muchas veces es necesaria la mantención del nivel del fluido almacenado a una altura constante la mayor parte del tiempo, a pesar de la existencia de flujos de entrada y salida permanentes. Así se evitan rebalses o la descarga total del estanque mientras se renueva el contenido de éste a medida que transcurre el tiempo.



*Figura 1: Planta de agua potable.*

En este ejercicio abordaremos el diseño de estrategias de control de nivel para un estanque de nivel piloto del Laboratorio de Automática.

## d) Estanque de Nivel

La planta de nivel a estudiar consiste en un sistema hidráulico en el que se encuentran conectados un estanque cónico y un estanque cuadrado, junto con un estanque de recirculación y una bomba hidráulica. También se cuenta con válvulas que regulan los flujos de entrada y salida de los estanques cónico y cuadrado, además del flujo de salida del estanque de recirculación.

**En este trabajo, sólo se diseñará una estrategia del control de nivel para el estanque cónico.** No se considerará el estanque cuadrado, por lo que en las experiencias de laboratorio las válvulas asociadas a esa parte del sistema permanecerán cerradas, impidiendo la entrada y salida de agua a ese estanque.



Figura 2: Imagen de la planta de nivel del Laboratorio de Automática.

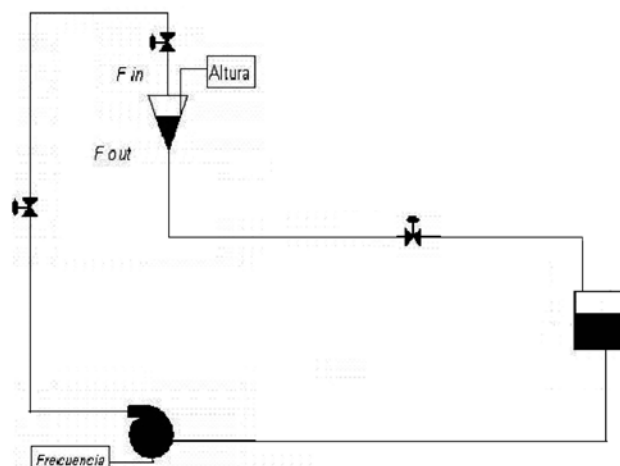


Figura 3: Diagrama de la planta de nivel.

La bomba impulsa agua desde el estanque de recirculación hacia los estanques cónico y cuadrado, generando un flujo de entrada en los estanques.

La función de transferencia entre el flujo impulsado [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ]<sup>1</sup> y la frecuencia de excitación de la bomba [rpm] (que tiene una velocidad máxima de giro de 2900 rpm) está dada por:

$$\frac{F_{in}(s)}{f(s)} = \frac{1.4308}{s + 0.15468}$$

Los estanques cónico y cuadrado poseen una abertura en la parte inferior para que se produzca un flujo de salida de agua por gravitación. Este flujo es captado por cañerías y devuelto al estanque de recirculación, formando un circuito cerrado de flujo de agua.

En el caso de los estanques, el nivel (en cm.) es medido mediante un sensor ultra sónico, mientras que el nivel del estanque de recirculación es medido mediante un sensor de presión.

La ecuación diferencial que rige el nivel de agua en el estanque cónico está dada por:

$$\frac{dh}{dt} = a \frac{F_{in} - F_{out}}{h^2}$$

Donde  $a = 0.4687$  es una constante que depende del ángulo entre el eje de simetría del cono y su superficie. Considerar el modelo en unidades CGS. La ecuación diferencial corresponde a una ecuación de conservación de flujo.

Dada la forma del estanque, la función de transferencia es no lineal. Para facilitar el cálculo de controladores es conveniente linealizar la ecuación en torno a un punto de operación. Para la linealización, supondremos que la válvula neumática de flujo de entrada se encuentra completamente abierta; es decir, que el flujo que entra al estanque cónico es el que la bomba impulsa.

Si realizaremos la linealización en torno a  $h = 20[\text{cm}]$ , bajo el supuesto que el flujo de salida es cercano a cero (válvula que regula el flujo de salida se encuentra casi cerrada), obtenemos la siguiente función de transferencia:

$$\frac{H(s)}{F_{in}(s)} = \frac{0.0011035}{s}$$

Con esta función, junto con la función de transferencia del actuador, es posible obtener la ecuación característica del sistema retroalimentado correspondiente, y de ese modo, obtener los controladores necesarios para el estanque, dados los requerimientos.

Antes de comenzar su análisis recuerde que todos los parámetros están expresados en el sistema CGS.

---

<sup>1</sup> Considere todos los modelos medidos en el sistema de unidades CGS.

### e) Diseño de Controladores para el Estanque Cónico

- 1) Realice un diagrama de bloques del sistema e indique posibles perturbaciones de la planta.
- 2) Encuentre el lugar geométrico de las raíces de la planta sin compensar. ¿Es posible realizar un control proporcional de la planta? Si fuera posible, proponga un controlador de este tipo que establezca con una sobreoscilación de 5%. Realice una simulación utilizando MATLAB SIMULINK usando una referencia de 20 [cm].
- 3) Diseñe un controlador PI continuo, utilizando la técnica gráfica de control en el dominio del tiempo (LGR), de tal forma que se alcance la referencia con un tiempo de estabilización de 60 segundos, con una sobreoscilación de 10%. Realice simulaciones utilizando MATLAB SIMULINK para una referencia cercana al punto de linealización y para una referencia lejana.
- 4) Diseñe un controlador "Atraso de Fase" continuo, utilizando la técnica gráfica de control en el dominio del tiempo (LGR), de tal forma que se alcance la referencia con un tiempo de estabilización de 60 segundos, con una sobreoscilación de 10%. Realice simulaciones utilizando MATLAB SIMULINK para una referencia cercana al punto de linealización y para una referencia lejana.
- 5) Diseñe un controlador "Atraso de Fase" discreto, utilizando la técnica gráfica de control en el dominio del tiempo (LGR), de tal forma que se alcance la referencia con un tiempo de estabilización de 60 segundos, con una sobreoscilación de 10%. Para eso use una discretización de la planta con un tiempo de muestreo de 3 segundos y encuentre el LGR del sistema sin compensar. Realice simulaciones utilizando MATLAB SIMULINK para una referencia cercana al punto de linealización y para una referencia lejana.

### f) Control del Estanque Cónico en el Laboratorio de Automática

- 1) Implemente en el estanque cónico real los controladores PI y "Atraso de Fase" continuos. Utilice solamente una referencia de 20 [cm] y un tiempo de simulación de 200 [s].
- 2) Explique y comente sus resultados experimentales.