

Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Cómputo

Instrumentación y Control

REPORTE PROYECTO FINAL

Controlador PID para Nivel de Tanque

Profesor

Ortega Gonzales Rubén

Alumnos:

Gutiérrez Pérez Lizbeth Alejandra

López González César Alexander

Luciano Hernández Jonathan

Moreno Saucedo Oscar Samuel

Grupo:

5CM2

Índice

Objetivo	3
Introducción.	3
Modelado dinámico (Sistema de control en lazo cerrado).	4
Caracterización de los subsistemas.	4
Controlador.	4
Sensor.	5
Planta.	5
Desarrollo	5
Función de transferencia	5
Nivel del Tanque	6
Calculo de Error en estado estacionario[5]	7
Cálculo de respuesta general en entrada de escalón unitario	8
Desarrollo usando MATLAB	8
➤ Comportamiento del sistema ante la entrada de una señal escalon sin ninguna clase de control implementada.	9
➤ Controlador haciendo uso únicamente de un proporcional.	9
➤ Controlador PD con un tiempo de respuesta de 15 milisegundos.	10
➤ Controlador PI.	10
➤ Controlador PID.	12
➤ Tiempo de respuesta PID presentada por los autores del artículo.	13
Conclusión	13
● General	13
● Gutiérrez Pérez Lizbeth Alejandra	13
● López González César Alexander	14
● Luciano Hernández Jonathan	14
● Moreno Saucedo Oscar Samuel	14
Bibliografía.	14

Objetivo

Nuestro proyecto trata de la implementación de un controlador PID didáctico para el control del nivel de agua. El hardware integra una bomba centrífuga, tuberías y elementos conectores varios, válvulas de flujo, una válvula proporcional, un sensor, etc.

Y nuestros objetivos son:

- Analizar, diseñar, simular circuitos para implementar PID análogos con amplificadores operacionales.
- Explorar a un elevado nivel los programas para el diseño de sistemas de control asistido por computador (MATLAB).
- Ampliar y consolidar de una manera práctica los conocimientos adquiridos en todo este curso.

Introducción.

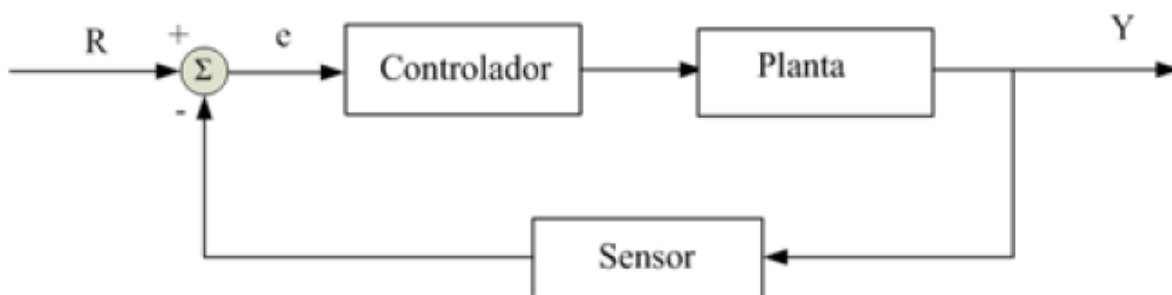
El control de nivel de tanques son procesos utilizados en aplicaciones industriales (subestaciones de almacenamiento y distribución del acueducto, procesos químicos, entre otros) y residenciales (llenado del tanque del sanitario, del tanque aéreo de almacenamiento, entre otros), los cuales son operados de forma manual o automática. En las grandes industrias o en los procesos donde se requiere precisión, el control y la automatización del proceso es la herramienta más eficiente a la hora de comparar los resultados. La finalidad del proyecto consiste en analizar el sistema sin y con controlador, encontrar el mejor diseño e implementarlo.

En teoría se conoce que la forma rápida, eficiente e instantánea de hacer control a un proceso, es a través del control automático. En los procesos donde se requiere mantener constante el nivel de tanques, bien sea para asegurar mezclas perfectas, evitar daños en la etapa de succión de motobombas, evitar reboses de tanques, o simplemente asegurar flujos constantes a la salida del tanque, se recurre al monitoreo del nivel del tanque para controlar el flujo de entrada o de salida al tanque, asegurando de esta forma, que el nivel permanezca siempre en un valor deseado.

Los controladores PID (proporcionales, integrales y derivativos) son muy comunes en la industria. Los controladores industriales se utilizan para controlar procesos como los que se encuentran en plantas químicas, control de temperatura, algunas aplicaciones automotrices, etc. El propósito de un controlador es suprimir los efectos de interrupciones en variables del proceso y forzar a una variable a seguir un punto de referencia deseado.

El controlador PID mide la salida del proceso y calcula la diferencia (error) entre lo que se ha medido y el punto de referencia. Si existe un error, el controlador ajusta su salida para alterar el proceso con el fin de acercarlo al punto de referencia, disminuyendo así el error. Cada vez que se calcula un error, el controlador debe decidir cuánto altera el proceso. Si el controlador es demasiado agresivo (bajo amortiguación), puede provocar que el proceso se vuelva inestable y oscile. Si por otro lado no es lo suficientemente agresivo (sobre amortiguación), el sistema puede necesitar demasiado tiempo para recuperarse.

Modelado dinámico (Sistema de control en lazo cerrado).



Caracterización de los subsistemas.

Controlador.

Permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. El controlador PID está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativa. Estas tres acciones son las que dan nombre al controlador PID.[1]

Un controlador PID puede aplicarse a cualquier sistema o aplicación. Se usa comúnmente para controlar la posición de algún elemento mecánico, como puede ser un servomotor. Sin embargo, su uso se puede extender a controles de temperatura, velocidad, potencia, entre otros.[1]

Esta será la parte en la que nos enfocaremos para su análisis y realización tomando en cuenta los siguientes factores.

Sensor.

Detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible (o, a veces, una señal digital) convertido en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional.[2]

Planta.

Para este caso, la planta o tanque es modelado con base en las ecuaciones establecidas.[3]

En otras palabras una planta es un equipo, quizá simplemente un juego de piezas de una máquina, funcionando conjuntamente, cuyo objetivo es realizar una operación determinada. Llamaremos planta a cualquier objeto físico que deba controlarse.[4]

Para el caso del proyecto tenemos como objetivo un tanque de agua.

Desarrollo

Función de transferencia

Establecemos la función de transferencia para sistemas de nivel de líquido como:

$$q_1 - q_o = \frac{dh}{dt} C \quad (\text{Ec. 1}),$$

$$q_o = \frac{h}{R} \quad (\text{Ec. 2}),$$

$$C dh = (q_1 - q_o) dt \quad (\text{Ec. 3})$$

- Reemplazando (Ec. 2) en (Ec. 3), se obtiene

$$C \frac{dh}{dt} = q_1 - \frac{h}{R}$$

- Resolviendo

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

- Organizando

$$RC \frac{dh}{dt} + h = Rq_1 \quad (\text{Ec. 4})$$

- Aplicando Laplace a (Ec. 4), se obtiene

$$RCsH(s) + H(s) = RQ1(s)$$

$$H(s)(RCs + 1) = RQ1(s)$$

- Por lo tanto la función de transferencia queda:

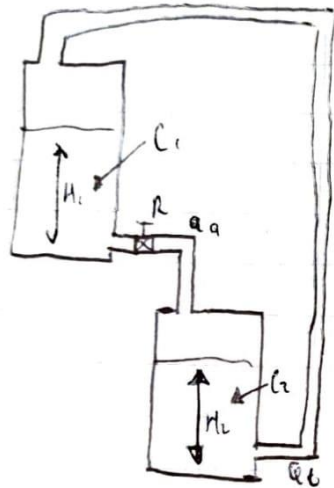
$$\frac{H(s)}{Q1(s)} = \frac{R}{RCs+1} \quad (\text{Ec. 5})$$

- R, representa la resistencia hidráulica a la salida del tanque.
- C, representa la capacidad del tanque o lo que es lo mismo, el área transversal del tanque A.

Nivel del Tanque

La idea esencial del proyecto es tener un **tanque principal** en el cual vamos a realizar la medición de nivel y posteriormente el control de nivel de altura. Este tanque tendrá instalado una válvula manual en la parte inferior, con el cual vamos a simular la demanda de salida de nivel.

Tendremos un segundo tanque que va a funcionar como **reservorio**, este tanque va a recibir el líquido que sale del tanque principal por medio de la válvula manual.



$$C_1 \frac{dh_1(t)}{dt} = q_d(t) - q_a(t)$$

$$C_2 \frac{dh_2(t)}{dt} = q_a(t) - q_b(t)$$

$$q_b(t) = h_2(t)$$

$$q_a(t) = \frac{h_1(t)}{R}$$

$$S(H_1(s)) = Q_b(s) - Q_a(s)$$

$$S(H_2(s)) = Q_a(s) - Q_b(s)$$

$$Q_b(s) = H_2(s)$$

$$Q_a(s) = \frac{H_1(s)}{R}$$

$$S(H_1(s)) = H_2(s) - \frac{H_1(s)}{R}$$

$$H_1(s) \left(s + \frac{1}{R} \right) = H_2(s)$$

$$\frac{H_1(s)}{H_2(s)} = \frac{1}{s + \frac{1}{R}} = G(s)$$

Calculo de Error en estado estacionario[5]

$$e_{ee} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s R(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad \text{donde } R(s) = \frac{1}{s} \text{ * escalon unitario}$$

$$e_{ee} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + \frac{1}{s(R+1)}} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{\frac{s(R+1)}{s(R+1)} + 1} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s(R+1)}{s(R+1) + 1} = \frac{1}{2} = 50\%$$

∴ Necesita control

$$e_{ee} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s R(s)}{1 + G(s)k_p H(s)}$$

$$e_{ee} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + \frac{k_p}{s(R+1)}} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{\frac{s(R+1) + k_p}{s(R+1)}} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s(R+1)}{s(R+1) + k_p} = \frac{1}{1 + k_p} \approx 0$$

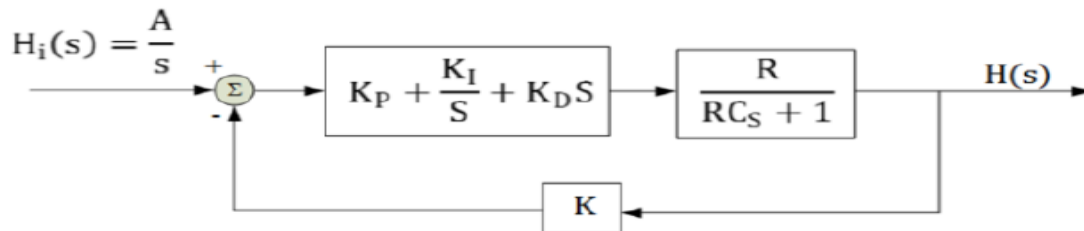
Cálculo de respuesta general en entrada de escalón unitario

Considerando $h(s) = \frac{\frac{1}{\tau}}{s + \frac{1}{\tau}} = \frac{1}{s(\tau R + 1)} = \frac{\frac{1}{CR}}{s + \frac{1}{CR}}$

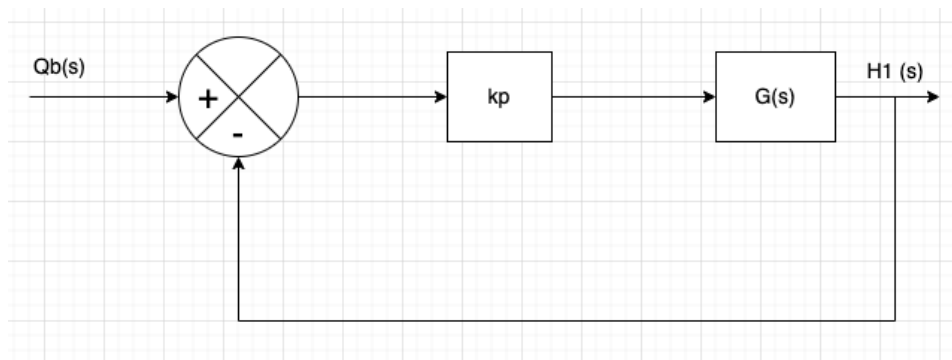
$\Rightarrow \frac{1}{\tau} = \frac{1}{CR}$
 $\tau = CR$

$c(t) = [1 - e^{-t/CR}] K \cdot E$

❖ Esta es la función de transferencia de la planta que propone el autor así como su respectivo control(PID)



❖ Esta es la función de transferencia de la planta propuesta por nosotros(se puede observar que se llegó a la misma función).



$$G(s) = 1 / (SCR + 1)$$

Desarrollo usando MATLAB

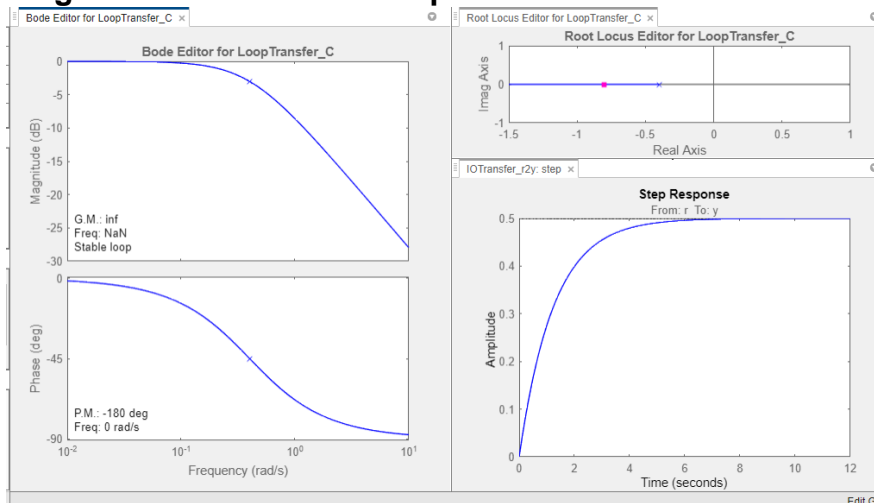
- Código[6]

```
close all;
clear all;
s=tf('s');
%B=1;
Gr= (1) / (5*.5*s + 1);
bode(Gr);
sisotool
```

- Simulaciones

Después de lo anterior, mediante el uso del software mathworks: Matlab, para diseñar y determinar el controlador más eficiente, primero haciendo pruebas unitarias con sistemas de control P, PI y el PD, para posteriormente incluirlas juntas con un PID y comparar sus tiempos de respuesta y la estabilidad del sistema con cada una de ellas.

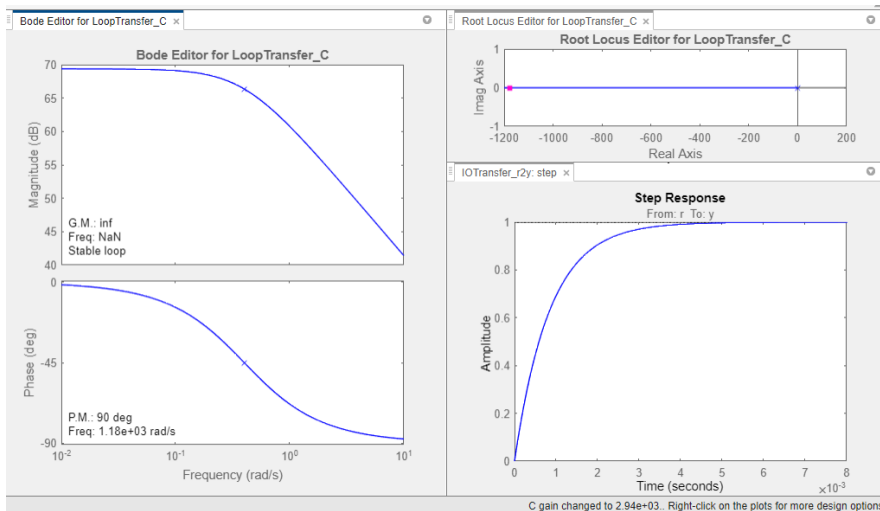
➤ **Comportamiento del sistema ante la entrada de una señal escalon sin ninguna clase de control implementada.**



Observaciones:

- Como ya se había preestablecido en los cálculos, el sistema se comporta con un error del 50%, pues como se nota en la gráfica, sin ningún tipo de control, la planta no sigue la referencia, mostrando que los cálculos están correctos.

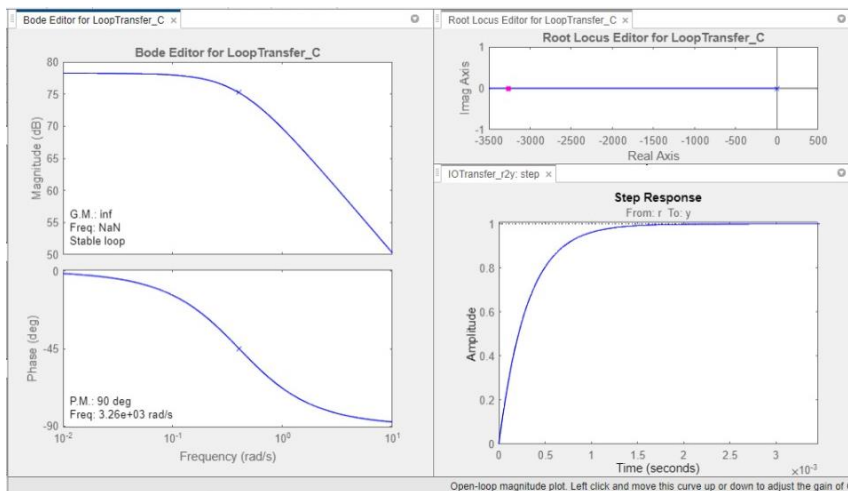
➤ **Controlador haciendo uso únicamente de un proporcional.**



Observaciones:

- Como primer prueba unitaria del controlador de la planta, se puede observar como los cálculos previamente mostrados son correctos, pues mediante con el control proporcional queda corregido el error en estado estacionario del sistema, pues no seguía la referencia.

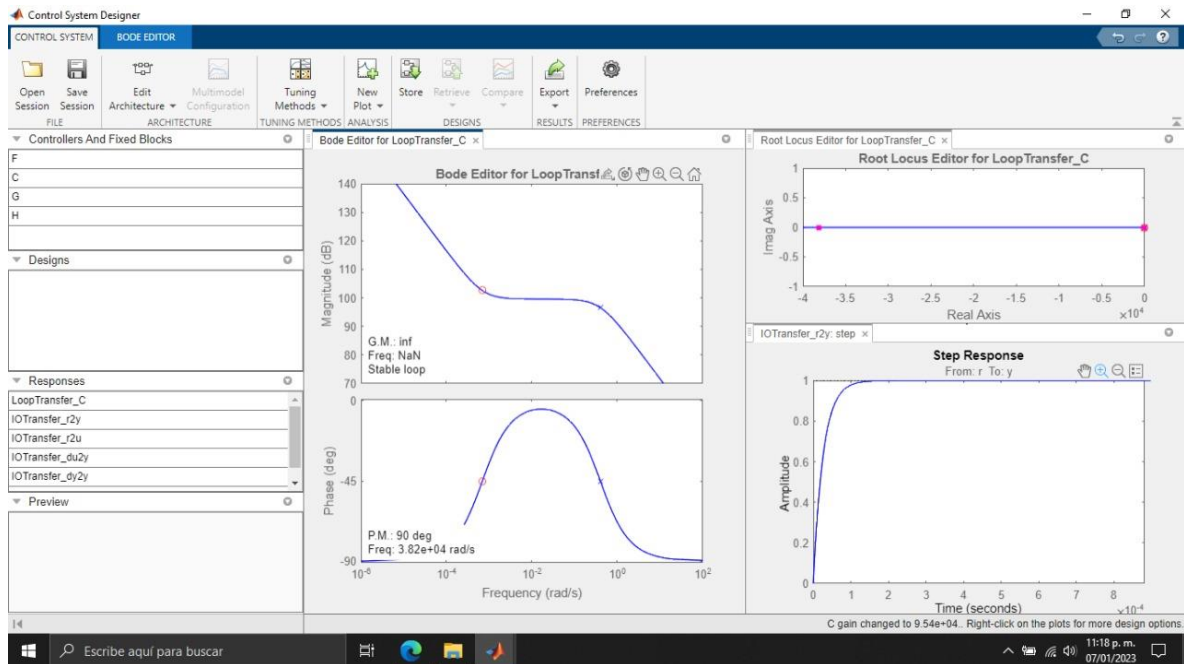
➤ **Controlador PD con un tiempo de respuesta de 15 milisegundos.**



Observaciones:

- Como segunda propuesta de implementación de control tenemos el PD, que como se observa funciona de manera correcta, pues su gráfica de respuesta ante una señal de entrada escalón al sistema sigue la referencia y tiene un buen tiempo de respuesta, por lo que además de mejorar el tiempo de respuesta con respecto al proporcional, se mantiene corregido el error.

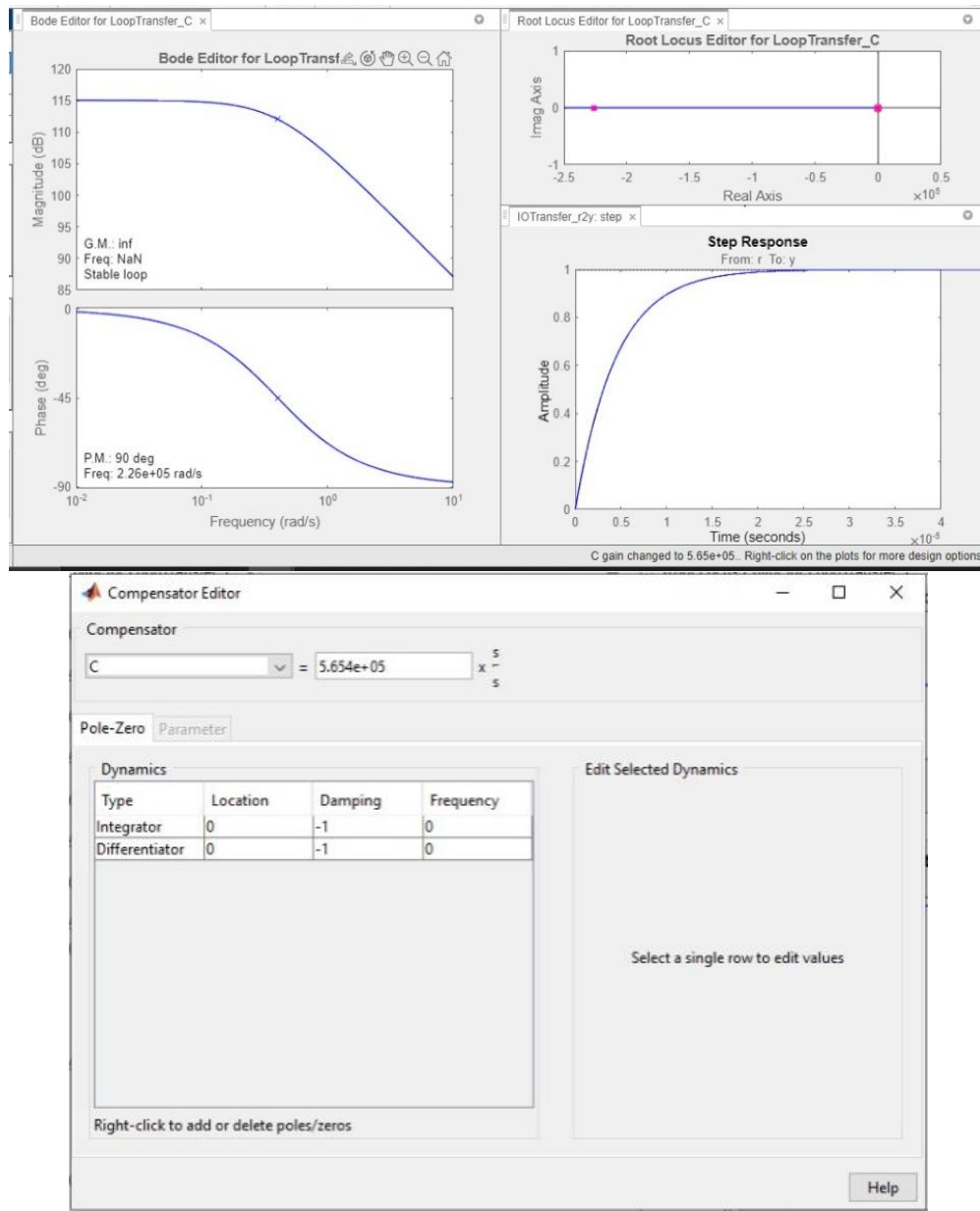
➤ **Controlador PI.**



Observaciones:

- Al PD le ajustamos el diagrama de bode, hasta que tuviera los 90° , y vimos que ya seguía la referencia y en un buen tiempo de respuesta, lo mismo con el PI pero con mejor tiempo.
- En la gráfica del plano complejo del controlador PD se ve como el sistema está del lado estable, por lo que no hay ningún problema en implementar tampoco este diseño de control.

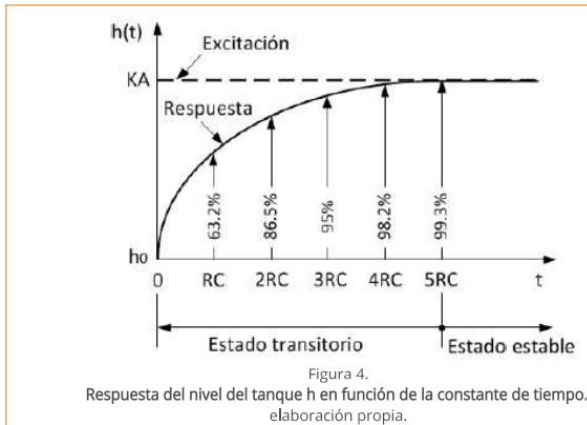
➤ Controlador PID.



Observaciones:

- Una vez teniendo ya realizadas las pruebas unitarias de cada uno de los controles en el sistema, el resultado es el esperado, pues con el control PID tuvo un tiempo de respuesta menor, además de conservar la estabilidad del sistema, sigue la referencia y el diagrama de bode está en los 90 grados, obteniendo además un tiempo mejor al que los autores presentan.

➤ **Tiempo de respuesta PID presentada por los autores del artículo.**



Conclusión

- **General**

Realizar un sistema de control automático para estabilizar el nivel de agua tuvo su grado de dificultad, pues fue necesario la implementación de métodos específicos que se encuentran estipulados en la ingeniería de control, además de tener ya claro los conocimientos matemáticos previos.

Al realizar la implementación del control a la planta mediante los lineamientos requeridos, observamos que, a esta planta se le puede implementar sistemas de control sencillos como un PD o un PI obteniendo buenos resultados, pues sus ecuaciones muestran que son un sistema estable y con un tiempo de respuesta bastante corto, lo necesario para que funcione de manera correcta.

Sin embargo, si fuera necesario un tiempo de respuesta aún más reducido, también se le fue implementado un sistemas de control PID; que, al igual que con los anteriores, obtuvimos tiempos de respuesta satisfactorios y una buena estabilidad en el sistema. Posterior a esto, al hacer los ajustes necesarios en la constante proporcional, se obtuvo un sistema más eficiente que los anteriores. Esto va de acuerdo con la teoría de ingeniería de control, debido que al ser un sistema de mayor complejidad este tiene mejor tiempo de respuesta.

Para finalizar con las conclusiones, es importante tomar en cuenta que como se mostró durante el desarrollo, con un sistema de control menos complejo(y por consiguiente menos costoso) es más que suficiente para llevar a cabo la realización del proyecto.

- **Gutiérrez Pérez Lizbeth Alejandra**

La implementación del tipo de control PID mostró ser la más eficiente en los tiempos de respuesta del sistema de la planta con respecto a los controles del tipo PI y PD, por los menores tiempos de respuesta, además manteniendo la estabilidad en la planta, al seguir la referencia y no tener ningún porcentaje de error en estado estacionario frente a una entrada de señal repentina en el sistema.

- **López González César Alexander**

Dada la entrada de una señal escalón en el sistema, el controlador ajusta su salida para alterar el proceso con el fin de llevarlo al punto de referencia, evitando además algún porcentaje de error en estado estacionario (recordando que solo puede estar en $\pm 2\%$, sin embargo, al tener un sistema sencillo, no presenta ningún porcentaje de error), para que el sistema continúe trabajando en una forma deseada.

- **Luciano Hernández Jonathan**

Durante todo el proceso del proyecto se pudo ir observando todo el proceso que lleva la implementación de control en cualquier sistema. Siguiendo de forma adecuada el método indicado, llegamos a resultados favorables y teniendo un tiempo de respuesta menor ante una entrada escalón, con respecto a la propuesta por los autores. Además de observar como se comporta la planta ante esta señal según los distintos sistemas de control propuestos.

- **Moreno Saucedo Oscar Samuel**

Los resultados de simulación del sistema de control diseñado muestran la efectividad en el control del nivel de agua cuando se aplican los controladores digitales diseñados. Por lo que la planta trabajará de forma adecuada durante su funcionamiento, pues además, mediante las gráficas, también se logra apreciar que el control se encuentra en la fase adecuada.

Bibliografía.

[1]

P. Castillo. "Definiciones de control". Share and Discover Knowledge on SlideShare. https://es.slideshare.net/ptah_enki/definiciones-de-control-326816 (accedido el 7 de enero de 2023).

[2]

A. Montes. "[PDF] 1.1.-DEFINICIONES...3 - free download PDF". SILO of research documents. <https://silo.tips/download/11-definiciones3#:~:text=Planta:,un%20sistema%20de%20navegaci3n%20etc> (accedido el 6 de enero de 2023).

[3]

G. Maloy. "¿Qué es un sensor y qué hace? | dewesoft". Data Acquisition Systems (DAQ) and Solutions | Dewesoft. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor#what-do-sensors-do>(accedido el 7 de enero de 2023).

[4]

A. Camarillo. "¿Qué es un control PID?" 330 ohms. <https://blog.330ohms.com/2021/06/02/que-es-un-control-pid/> (accedido el 6 de enero de 2023).

[5]

R. C, *Sistemas De Control Moderno*, 10^a ed. University of California: Pearson, 2005.

[6]

B. E. Arnáez, "Enfoque práctico del control moderno. con aplicaciones en matlab [capítulo 1]", bookPart, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2014. Accedido el 11 de enero de 2023. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10757/345716>

[7]

R. Morales y R. A. Ramírez, *Sistemas De Control Moderno., vol. 1, Sistemas de tiempo continuo*. nstituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México: Editorial Digital, 2013. Accedido el 10 de enero de 2023. [En línea]. Disponible: <http://prod77ms.itesm.mx/podcast/EDTM/ID295.pdf>