

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Informe Laboratorio de control e instrumentación

Laboratorio n°1: Modelación de Sistemas.

Jocelyn Matus Ancavil.
Rafael Burgos Yousuff.

Profesor, Juan Pablo Segovia Vera.

*Ayudantes: Alejandro Avilés Rio.
Roberto Contreras Merino.*

Concepción, miércoles 28 de septiembre 2020.

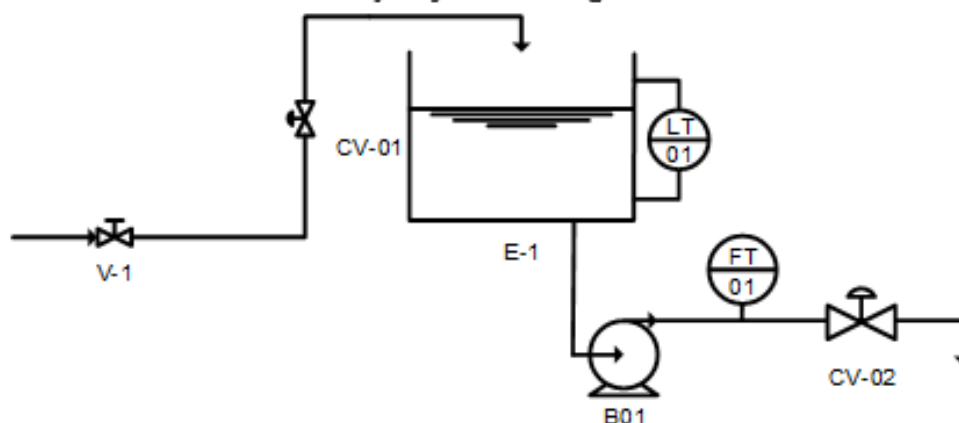
Enunciado

LABORATORIO DE CONTROL E INSTRUMENTACION LABORATORIO DE APLICACIÓN (SECCIÓN 1)

Laboratorio N°1: Modelación de Sistemas.

Objetivos: Modelar un Sistema de alimentación y nivel a un estanque de agua, obtener los modelos estáticos y dinámicos para las variables de Nivel y flujo de descarga.

Desarrollo: Para el proceso descrito en la siguiente figura diseñar las experiencias para modelación de nivel y flujo de descarga.



- Modelar fenomenológicamente una planta piloto usando modelos continuos y discretos. Diseñar las experiencias para contrastar la modelación empírica vs modelación fenomenológica, simular el sistema, usando Matlab validar la precisión de los modelos.
- Estudiar la operación de los controlador industriales para lazos SISO, para operación manual (PLC Control Logix).
- Aplicar la teoría de modelación y los aspectos prácticos de obtención de parámetros.

Informe:

- Modelación fenomenológica y/o experimental. Contrastar de resultados entre métodos teóricos y prácticos, utilizando la data capturada desde historiador, obtener modelos continuos y discretos.(4 pts)
- Plantear índices de comparación y contrastar los modelos continuos y discretos.(1 pto)
- Conclusiones y Resultados.(1 pto).

Diagramas de la planta

Diagrama P&ID (Piping And Instrument Diagram)

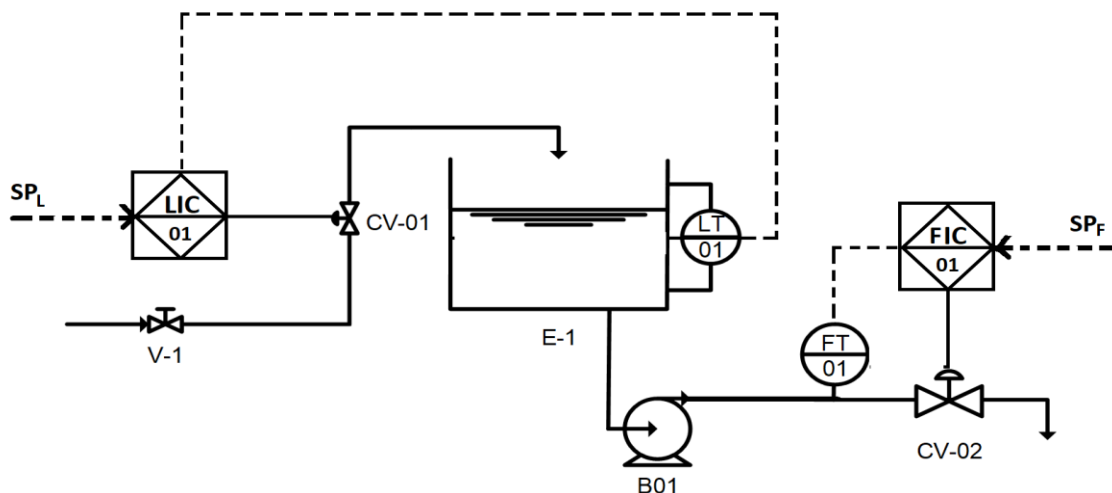


Figura N°1, Diagrama P&ID de la planta. Obtenido mediante Paint.

Figura N°2,

Diagrama SAMA (Scientific Apparatus Manufacture Asociación)

El diagrama SAMA ejemplifica el control del proceso de manera funcional a través símbolos que ayudan a representa las funciones matemáticas, instrumentación, bloques de control, sensores y actuadores, con la finalidad de guiar el diseño para la programación.

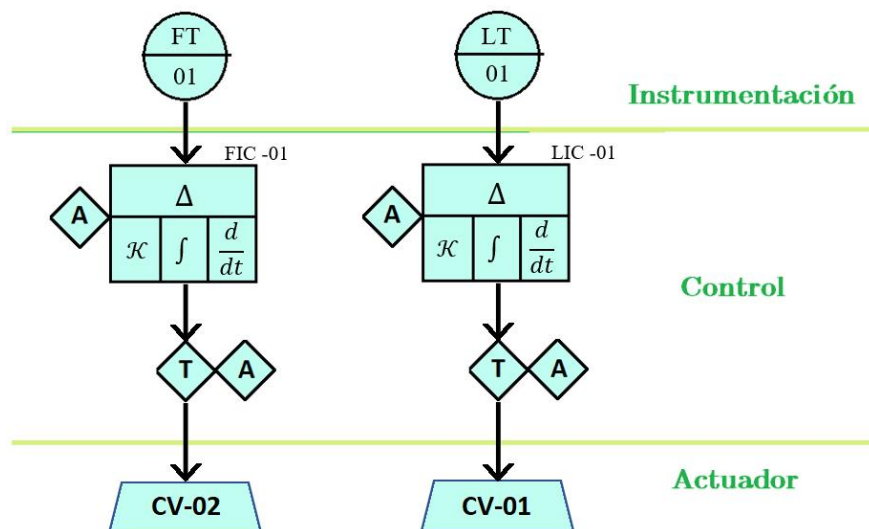


Figura N°3, Diagrama SAMA de la planta, obtenido mediante Paint.

Proceso

El Proceso mostrado en la Figura N°1 posee un estanque, dos válvulas de control de agua, una válvula de control manual, una placa orificio, una bomba centrífuga con un enclavamiento de corriente, un sensor transmisor de nivel y uno de flujo, dos controladores de indicador uno de nivel y otro de flujo.

Tiene dos lazos de control cuyo propósito es mantener el nivel de agua constante. El lazo de control de nivel, tiene como finalidad controlar el nivel de agua en estanque mediante la abertura o cierre de la válvula CV-01, para conseguir aquellos se obtiene la altura del agua del estanque a través de un transmisor de nivel y en conjunto con el controlador indicador de nivel, se selecciona la manipulación de la válvula CV-01. El lazo de control de flujo, controla el flujo de salida. El sensor transmisor de flujo recibe el dato de la cantidad de flujo, el cual es enviado a el control indicador de flujo, quien manipulan la válvula CV-02, para controla el flujo de descarga.

Modelamiento fenomenológico de la planta

Modelamiento general de la planta

Por temas de simplicidad se va a asumir que el sistema es conservativo, por ende no se considerara perdida por evaporación, además se asume que el liquido es puro, sin sedimento, densidad y flujo constante. Además de que no se considerar variaciones de temperatura en el proceso.

No se considerará perdidas por transporte y se asumirán posiciones contiguas entre cada elemento de la planta. De acuerdo a lo visto en clases es posible tener la similitud de este sistema como si fuera un circuito resistivo, en donde, las resistencias se ocasionan debido a la restricción del flujo pudiendo ser generado por válvulas, placas orificios, bombas y alturas del estanque.

Modelos fenomenológicos de los componentes de la planta

1. Modelamiento fenomenológico del estanque

Mediante la ecuación de Reynolds, es posible obtener una expresión para la variación del nivel de altura en estanque, como se muestra a continuación.

Donde:

m_{tk} = masa de estanque.

q_e = caudal de entrada.

q_s = caudal de salida.

ρ = densidad del fluido.

V_{tk} = Volumen del tanque.

A_{tk} = area del cilindro del estanque.

h = altura del estanque.

$$\frac{dm_{tk}}{dt} = m_{entra} - m_{sale}$$
$$\frac{dm_k}{dt} = \rho q_e - \rho q_s$$

Se sabe que, si el sistema es de parámetros concentrados y de densidad constante, la masa puede ser expresada por

$$m_k = \rho V_{tk}$$

Para expresar el volumen en función del área, se asumirá que el estanque es perfectamente cilíndrico, quedando así

$$m_k = \rho A_{tk} * h$$

Reemplazando

$$\frac{d(\rho A_{tk} * h)}{dt} = \rho q_e - \rho q_s$$

Como la densidad y el área del estanque son constante

$$\rho A_{tk} \frac{dh(t)}{dt} = \rho q_e - \rho q_s$$

$$\rho A_{tk} \frac{dh(t)}{dt} = \rho (q_e - q_s)$$

$$A_{tk} \frac{dh(t)}{dt} = (q_e - q_s)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{(q_e - q_s)}{A_{tk}}$$

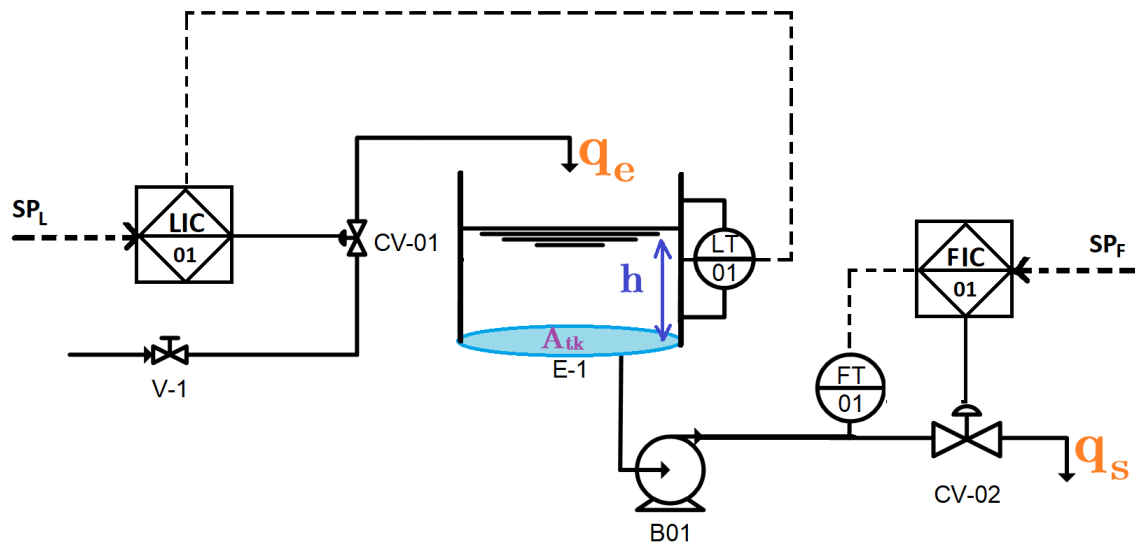


Figura N°4, Diagrama P&ID de la planta, reconociendo las variables de la expresión final . Obtenido mediante Paint.

2. Modelamiento de la válvula.

3. Modelamiento de la bomba.

4. Modelamiento de la altura de nivel.

5. Modelamiento fenomenológico de la placa orificio.

Mediante la ecuación de Bernoulli se puede realizar el balance de las presiones en ambos extremos de la placa orificio.

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \gamma z = cte$$

Donde:

P_1 =presión antes de la placa orificio.

P_2 =presión después de la placa orificio.

ρ =densidad del fluido.

V_1 =velocidad antes de la placa orificio.

V_2 =velocidad después de la placa orificio.

γz_1 =presión Hidrostática antes de la placa orificio.

γz_2 =presión Hidrostática después de la placa orificio.

Plantean la ecuación de balance

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 + \gamma z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 + \gamma z_2$$

Las presiones hidrostáticas de antes y después de la placa orificio se consideran iguales, ya que, se asume que el fluido circula perfectamente de forma horizontal, sin cambios de altura que pudieran generar cambios de energía potencial.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho V_2^2 - \frac{1}{2}\rho V_1^2$$

Para expresar el volumen 1 (V_1) en función del volumen 2 (V_2), se recurre a la ecuación de caudal, asumiendo que el caudal antes y después de la placa orificio son iguales.

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Despejando V_1

$$V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2$$

Reemplazando lo anterior en la expresión de Bernoulli.

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho V_2^2 - \frac{1}{2}\rho \left[\frac{A_2}{A_1} V_2 \right]^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho V_2^2 \left(1 - \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^2 \right)$$

$$2[P_1 - P_2] = \rho V_2^2 \left(1 - \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^2 \right)$$

$$\sqrt{\frac{2[P_1 - P_2]}{\rho \left(1 - \left[\frac{A_2}{A_1}\right]^2\right)}} = V_2$$

Reemplazando esto último, en la expresión del caudal.

$$Q = A_2 * \sqrt{\frac{2[P_1 - P_2]}{\rho \left(1 - \left[\frac{A_2}{A_1}\right]^2\right)}}$$

$$Q = K\sqrt{2\Delta P}$$

$$\text{Con } K = \frac{2[P_1 - P_2]}{\rho \left(1 - \left[\frac{A_2}{A_1}\right]^2\right)} \text{ y } \Delta P = P_1 - P_2$$

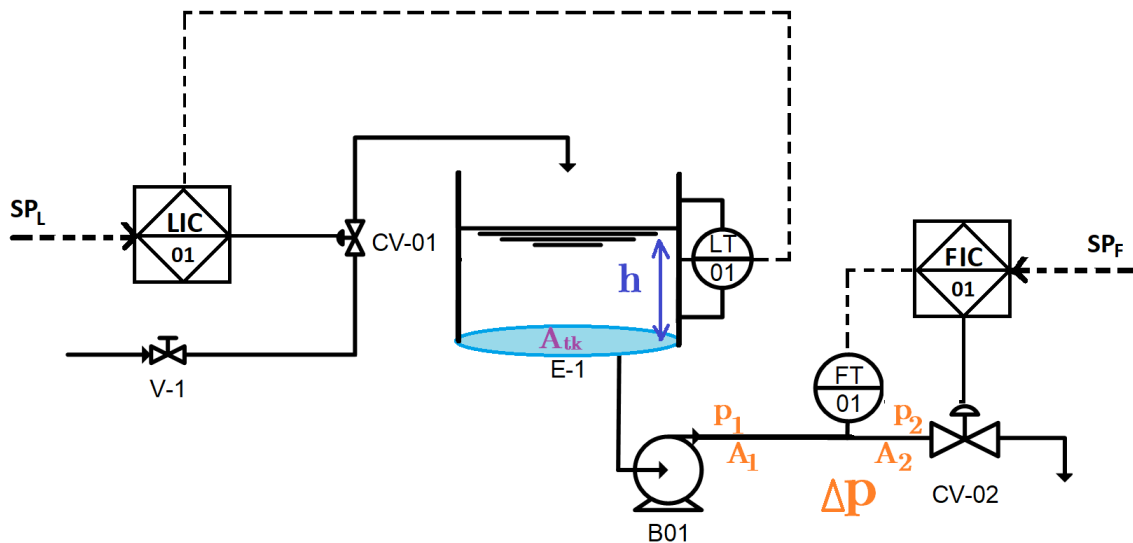


Figura N°5, Diagrama P&ID de la planta, reconociendo las variables de la expresión final. Obtenido mediante Paint.

Lo que busca emular la placa orificio es generar el efecto de vena contracta, esto ocurre cuando el diámetro del flujo1 es mucho mayor al diámetro del flujo2, debido a esto la aceleración de fluido aumenta después del paso de la placa orificio, pero disminuye la presión. Se debe tener especial cuidado con no disminuir en exceso el orificio ya que a muy baja presión aparecerían burbujas en el flujo.

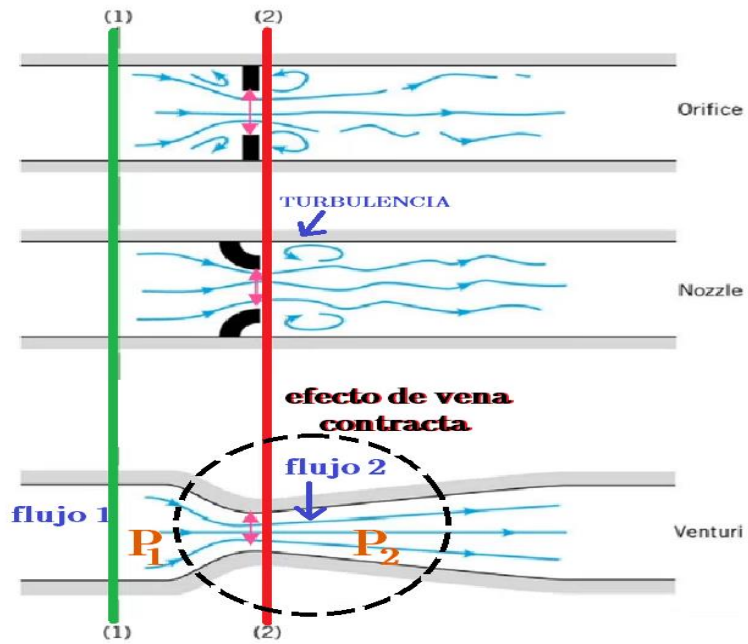


Figura N°6, Dibujo con ejemplo de comportamiento a la restricción del paso de un fluido, dependiendo del diámetro del orificio.

Modelos en Laplace, en tiempo continuo, en el plano \mathbb{Z} y en tiempo discreto

Modelo en el plano Laplaciano para la válvula

La función de transferencia en Laplace, para la válvula es:

$$\frac{y(s)}{U(s)} = \frac{K_v}{(\tau s + 1)} e^{-\theta_0 s}$$

Modelo en el tiempo continuo para la válvula

Sea $U(s)$ una entrada escalón con retardo de primer orden y amplitud α y despejando la salida a la expresión anterior se tiene:

$$y(s) = \left[\frac{K_v}{(\tau s + 1)} e^{-\theta_0 s} \right] * \left[\frac{\alpha}{s} e^{-t_0 s} \right]$$
$$y(s) = \alpha K_v \left[\frac{1}{s(\tau s + 1)} \right] e^{-(\theta_0 + t_0)s}$$

Mediante ecuaciones parciales se obtiene

$$y(s) = \alpha K_v \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{(\tau s + 1)} \right] e^{-(\theta_0 + t_0)s}$$

aplicando la transformada de Laplace inversa,

$$y(t) = \alpha K_v * \mathcal{L}^{-1} \left\{ \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{(\tau s + 1)} \right] e^{-(\theta_0 + t_0)s} \right\}$$
$$y(t) = \alpha K_v * \mathcal{L}^{-1} \left\{ \left[\frac{1}{s} - \frac{\tau}{(\tau s + 1)} \right] \right\} \Big|_{t=t-(\theta_0 + t_0)}$$
$$y(t) = \alpha K_v * U(t) * \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \Big|_{t=t-(\theta_0 + t_0)}$$

$$y(t) = \alpha K_v * U(t - (\theta_0 + t_0)) * \left[1 - e^{-\frac{-(t-(\theta_0 + t_0))}{\tau}} \right]$$

Modelo en el plano \mathbb{Z} para la válvula

Para obtener el modelo equivalente en plano \mathbb{Z} se va a asumir que el sistema equivalente a obtener es sin retado equivalente en \mathbb{Z} y la entrada al sistema es un escalón. Por lo que se deduce que la formula a emplear es:

$$\frac{y(z)}{U(z)} = \frac{z-1}{z} * \mathbb{Z} \left[\mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s} * h(s) \right\} \right] \Big|_{t=KT}$$

O lo que es equivalente a

$$\frac{y(z^{-1})}{U(z^{-1})} = (1 - z^{-1}) * \mathbb{Z} \left[\mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s} * h(s) \right\} \right] \Big|_{t=KT}$$

Así para la válvula se procede a obtener su modelo en el \mathbb{Z} de la siguiente manera

$$\frac{y(z^{-1})}{U(z^{-1})} = (1 - z^{-1}) * \mathbb{Z} \left[\mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s} * \frac{K_v}{(\tau s + 1)} e^{-\theta_0 s} \right\} \right] \Big|_{t=KT_0}$$

Por ecuaciones parciales y reemplazando $z^{-N} = \mathbb{Z}[e^{-\theta_0 s}]$, donde $N = \frac{\theta}{T_0}$

$$\frac{y(z^{-1})}{U(z^{-1})} = (1 - z^{-1}) * z^{-N} * \mathbb{Z} \left[\mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s} - \frac{1}{(s + 1/\tau)} \right\} \right]_{t=KT_0}$$

Por ecuaciones parciales,

$$\begin{aligned} \frac{y(z^{-1})}{U(z^{-1})} &= K_v * (1 - z^{-1}) * \mathbb{Z} \left[\left(\frac{1}{1 - z^{-1}} - \frac{1}{\left(1 - e^{-\frac{T_0}{\tau}} * z^{-1}\right)} \right) \right] \\ \frac{y(z^{-1})}{U(z^{-1})} &= K_v * (1 - z^{-1}) * \mathbb{Z} \left[\left(\frac{z^{-1} \left(1 - e^{-\frac{T_0}{\tau}}\right)}{\left(1 - z^{-1}\right) \left(1 - e^{-\frac{T_0}{\tau}} * z^{-1}\right)} \right) \right] \\ \frac{y(z^{-1})}{U(z^{-1})} &= K_v * z^{-(N+1)} * \frac{\left(1 - e^{-\frac{T_0}{\tau}}\right)}{\left(1 - e^{-\frac{T_0}{\tau}} * z^{-1}\right)} \end{aligned}$$

Sea

$$\begin{aligned} \alpha &= e^{-\frac{T_0}{\tau}} \\ \beta &= K * \left(1 - e^{-\frac{T_0}{\tau}}\right) (1 - \alpha) \end{aligned}$$

Se puede definir la función de transferencia como,

$$\frac{y(z^{-1})}{U(z^{-1})} = \frac{\beta * z^{-(N+1)}}{(1 - z^{-(1)})}$$

Despejando la salida

$$y(z^{-1}) = \alpha * z^{-1} * y(z^{-1}) + \beta * z^{-(N+1)} * U(z^{-1})$$

Modelo en el tiempo discreto

Aplicando la transformada \mathbb{Z} inversa

$$\begin{aligned} y[kT_0] &= \mathbb{Z}^{-1}\{Y(z^{-1})\} \\ y[kT_0] &= \alpha * z^{-1} * Y[kT_0 - T_0] + \beta * z^{-(N+1)} * U[kT_0 - T_0] \\ Y_k &= \alpha * Y_{k-1} + \beta * U_{k-1} \end{aligned}$$

Modelo en el tiempo continuo para el estanque

El modelo en el tiempo continuo se obtuvo fenomenológicamente

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{(q_e - q_s)}{A_{tk}}$$

Modelo en el plano Laplaciano para el estanque

Sea $U(s) = q_e - q_s$

$$\frac{U(s)}{A_{tk}} = sHe(s) - He(0)$$

$$He(s) = \frac{1}{sA_{tk}} U(s)$$

$$\frac{He(s)}{U(s)} = \frac{1}{sA_{tk}}$$

Si la entrada escalón tiene un retado $U(s) = \frac{a}{s} e^{-t_0 s}$

$$He(s) = \frac{1}{sA_{tk}} U(s)$$

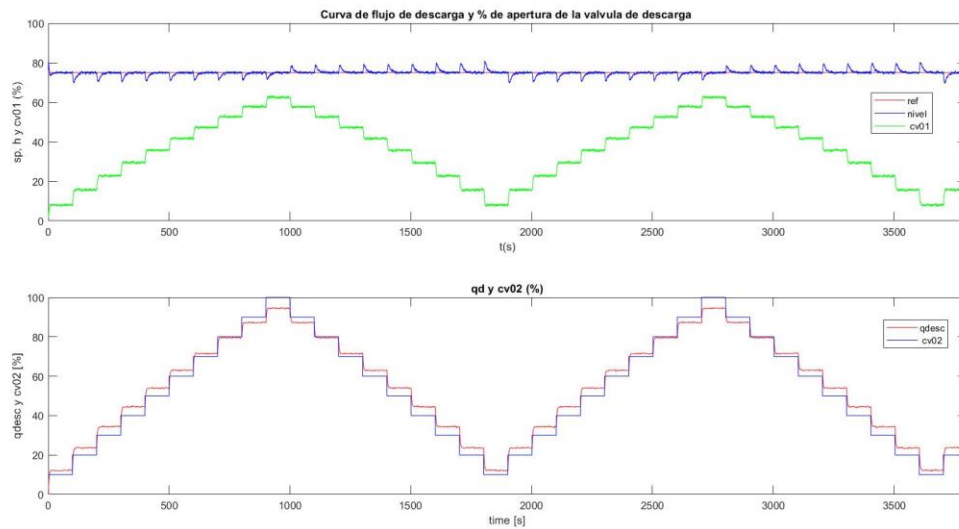
$$He(s) = \frac{1}{sA_{tk}} * \frac{a}{s} e^{-t_0 s}$$

Aplicando Laplace inversa

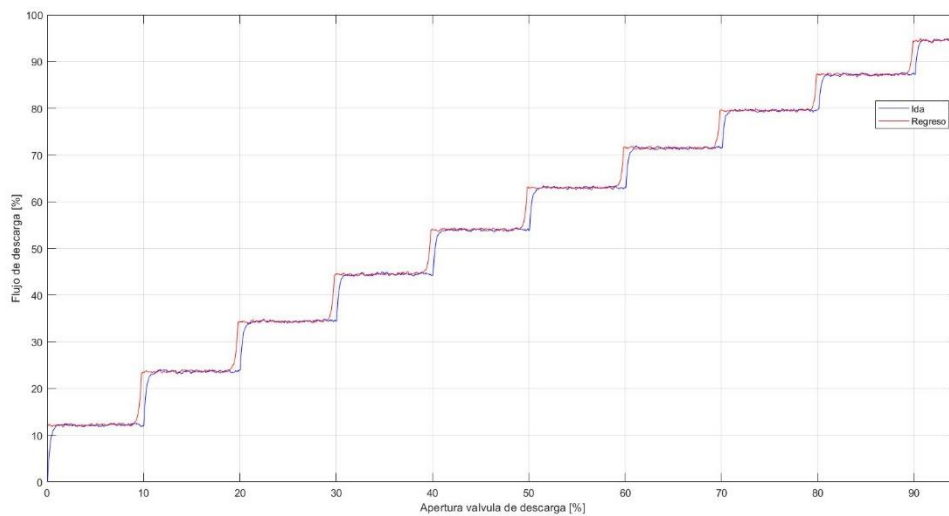
$$He(t) = \frac{a}{sA_{tk}} (t - t_0) * U(t - t_0)$$

Resultados de la histéresis

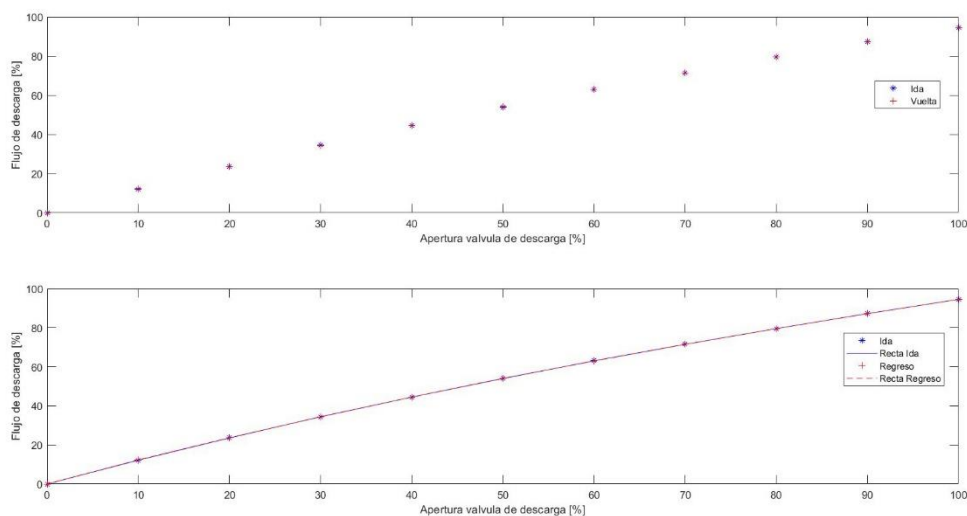
Según lo proporcionado por el profesor, a través de una planilla excel, se tiene que la curva de flujo de descarga y porcentaje de la válvula de escape es el siguiente:



A esta se le aplico escalones de 10% a la válvula para saber la respuesta que tiene el flujo a estos cambios, desde 0% a 10%, hasta llegar a 100% (carga), y después de 100% hacia 0%, con escalones de 10% (descarga), para poder saber si el sistema actúa con histéresis. Por esto, se graficó, separadamente, el flujo desde 0% a 10% (Ida, curva azul) y desde 100% a % (Regreso, curva roja):

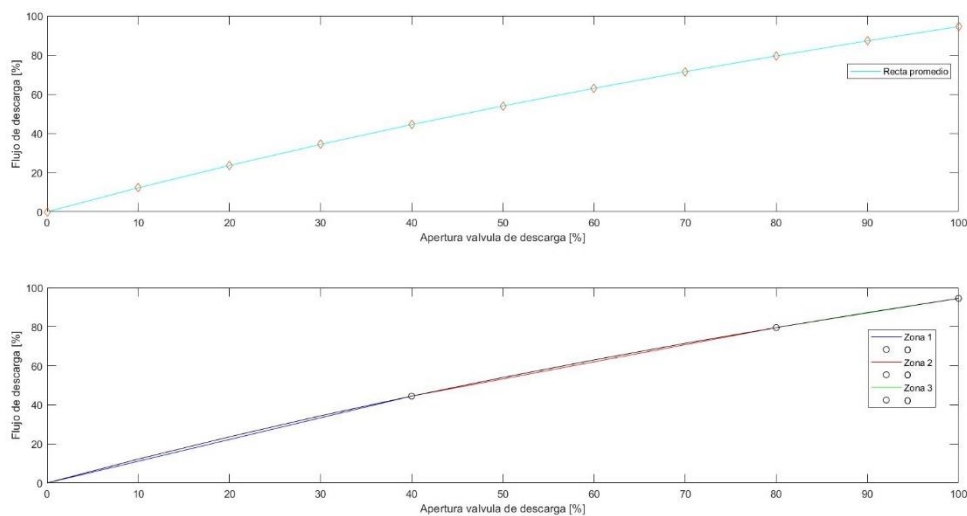


Se nota que no hubo una histéresis notable, pero, aun así, en el siguiente grafico se realizó un promedio de los valores de los flujos de ida y salida, para después encontrar zonas en cuales se puede analizar el sistema:



En esta gráfica, creando rectas desde un punto a otro, se puede ver que las líneas azules (Ida) y roja (Regreso) no tienen mucha diferencia, lo cual se deduce que no existe una histéresis notable.

En la siguiente gráfica, se realiza el mismo procedimiento, pero esta vez de promedian los niveles del flujo de ida y de regreso al mismo tiempo, y promediando esos puntos entre si, obteniendo solamente una recta, la cual es la que se ve debajo, con color celeste.



En la última gráfica, se dividió en 3 zonas de apertura de la válvula: zona 1, la cual comprende entre 0% y 40%, zona 2, entre 40% y 80%, y zona 3, 80% y 100%.

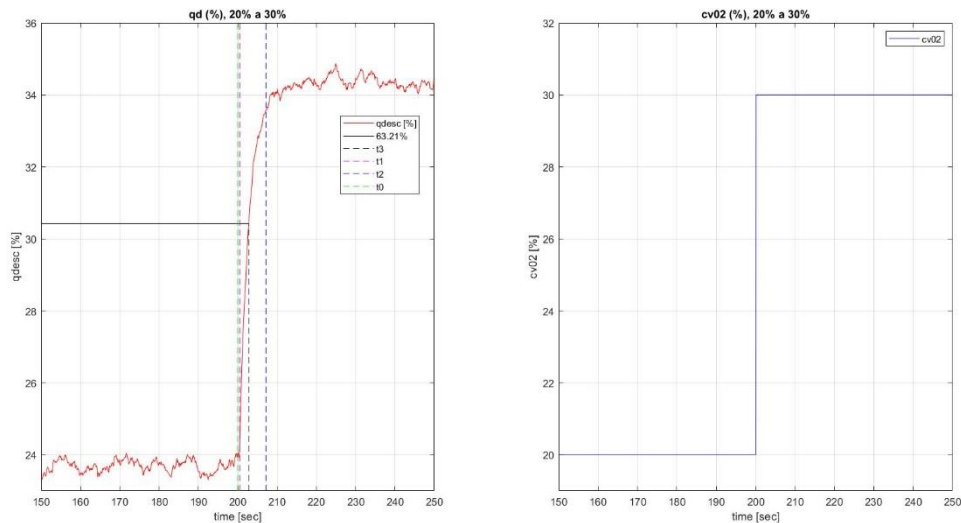
Entonces, al demarcar estas 3 zonas, se procede a analizar, para estas respectivas zonas, su respuesta dinámica. Para esto, se utilizan los datos entregados: se analiza una zona donde se haya aplicado un escalón de 10%, y se analiza su respuesta a esta. Los métodos de análisis que se van a utilizar son los de:

- Zieger-Nichols
- Müller
- Mínimos cuadrados

Los primeros dos métodos son de análisis gráfico, mientras que el método de mínimos cuadrados es recursivo.

Zieger-Nichols y Müller

Para la primera zona, se analizó, gráficamente, en qué lugar se aplicó el escalón para pasar de 20% a 30%, en la curva de flujo de carga (Ida). De esto, se analiza la respuesta dinámica.



Gráficamente, se obtuvieron los siguientes datos:

	Y0	Yoo	ui	uf	t0	t1	t2	t3
Zona 1	23.5492	34.4209	20	30	200	200.5	207.2	202.8

Con estos datos, ahora se calcula los valores de ganancia, desfase y constante de tiempo a través de los dos métodos:

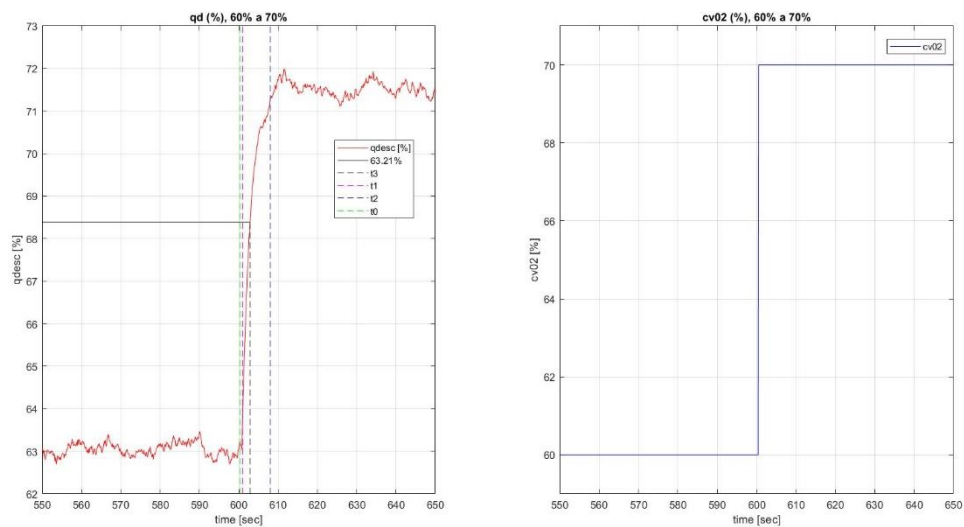
Zieger-Nichols:

	K	θ	τ
Zona 1	1.08717	0.5	6.7

Müller

	K	θ	τ
Zona 1	1.08717	0.5	2.3

Realizando el mismo análisis para la zona 2, para un escalón de 10% que se aplico para pasar de 60% a 70% en la flujo de carga (Ida), se tiene lo siguiente:



Se obtuvieron los siguientes datos:

	Y0	Yoo	ui	uf	t0	t1	t2	t3
Zona 2	63.0294	71.5023	60	70	600.4	601	608	602.9

Y se obtuvo los siguientes parámetros:

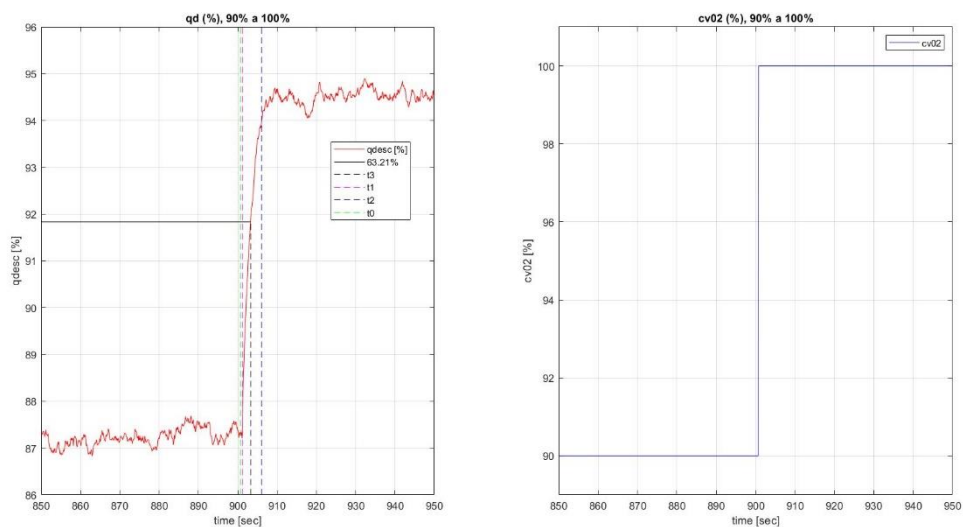
Zieger-Nichols:

	K	θ	τ
Zona 2	0.84729	0.6	7

Müller:

	K	θ	τ
Zona 2	0.84729	0.6	1.9

Y, realizando el último análisis gráfico, para la zona 3, se realizó el análisis cuando se aplicó un escalón de 10% entre el 90% y 100% de flujo de carga (Ida):



Se obtuvieron los siguientes datos:

	Y0	Yoo	ui	uf	t0	t1	t2	t3
Zona 3	87.2131	94.5245	90	100	900.7	901.2	906.1	903.3

Y se aplicaron los métodos:

Zieger-Nichols:

	K	θ	τ
Zona 3	0.73114	0.5	4.9

Müller

	K	θ	τ
Zona 3	0.73114	0.5	2.1

Y los resultados obtenidos por el uso de mínimos cuadrados son los siguientes:

	α	β	K	τ
Zona 1	0.9734	0.0309	1.1624	3.7160
Zona 2	0.9810	0.0197	1.0380	5.2155
Zona 3	0.9854	0.0140	1.3491	6.7939

Conclusiones y comentarios:

- Comparando los 3 métodos utilizados, el método de mínimos cuadrados pareciera ser el más moderado en las estimaciones correspondientes, lo cual se podría inferir que el que este más cercano a la realidad. Aun así, idealmente, se tendría que realizar los otros métodos, ya que pueden ayudar para delimitar los valores de ganancia, desfase y constante de tiempo aceptables.
- En lo referente a la histéresis, a través de los datos, se puede concluir que no hubo un efecto de histéresis notable, lo cual pareciera seria agradable para el análisis.
- Se puede ver que la ganancia va disminuyendo por el paso de las zonas. Por esto, en los valores bajos de porcentajes, pasa una cantidad mayor de flujo, en comparación con el porcentaje de abertura de la válvula y, en los valores altos de porcentaje, pasa menos flujo, en comparación con la abertura de la válvula. Este comportamiento no es tan favorable, ya que, si tuviera una ganancia unitaria en todas las zonas, sería mucho más fácil predecir el comportamiento de válvula comparado con el flujo.
- Se puede ver que, dinámicamente, el sistema válvula-flujo se comporta, a una respuesta escalón de 10%, como un sistema de primer orden. Además, en las zonas altas de abertura, el sistema válvula-presión, al igual que el de válvula-flujo, se saturan en su comportamiento, comportándose no linealmente, lo cual puede acarrear problemas en su análisis, si este no se hiciera por zonas.

Anexo: Codigos de Matlab utilizados:

```
close all
clear
clc
filename = "testdata.xlsx";
opts = detectImportOptions(filename);
data = readtable(filename,'TextType','char');
head(data);
w=table2array(data);

Datos_Histeresis_Ida_10= w([108:1000], 6);
Datos_Histeresis_Ida_20= w([1027:2001], 6);
Datos_Histeresis_Ida_30= w([2167:3002], 6);
Datos_Histeresis_Ida_40= w([3078:4003], 6);
Datos_Histeresis_Ida_50= w([4117:5004], 6);
Datos_Histeresis_Ida_60= w([5112:6005], 6);
Datos_Histeresis_Ida_70= w([6084:7006], 6);
Datos_Histeresis_Ida_80= w([7092:8007], 6);
Datos_Histeresis_Ida_90= w([8077:9008], 6);
Datos_Histeresis_Ida_100= w([9081:9503], 6);

Datos_Histeresis_Vuelta_10= w([18111:18501], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_20= w([17121:18001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_30= w([16141:17001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_40= w([15141:16001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_50= w([14101:15001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_60= w([13111:14001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_70= w([12101:13001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_80= w([11091:12001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_90= w([10101:11001], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta_100= w([9503:10001], 6);

figure

subplot(2,1,1)
plot(w(:,1),w(:,2),'r'), hold, plot(w(:,1),w(:,3),'b'), title('Curva de flujo de
descarga y % de apertura de la valvula de descarga '),
plot(w(:,1),w(:,4),'g'),ylabel('sp, h y cv01 (%)'),xlabel('t(s)'),legend(['ref
';'nivel';' cv01']));
xlim([0 3800])

subplot(2,1,2)
plot(w(:,1),w(:,6),'r'), hold,plot(w(:,1),w(:,5),'b'), title('qd y cv02
(%)'),xlabel('time [s]'),ylabel('qdesc y cv02 [%]'),legend(['qdesc';' cv02']);
xlim([0 3800])

figure
Datos_Histeresis_Ida= w([1:9503], 6);
Datos_Histeresis_Vuelta= w([19000:-1:9503], 6);
plot(Datos_Histeresis_Ida, 'b');
hold on
plot(Datos_Histeresis_Vuelta, 'r');
hold on
xticklabels([0:10:100])
xlim([0 9461])
grid on
legend('Ida', 'Regreso')
xlabel('Apertura valvula de descarga [%]')
ylabel('Flujo de descarga [%]')

Punto_Ida_10= mean(Datos_Histeresis_Ida_10);
```

```

Punto_Ida_20= mean(Datos_Histeresis_Ida_20);
Punto_Ida_30= mean(Datos_Histeresis_Ida_30);
Punto_Ida_40= mean(Datos_Histeresis_Ida_40);
Punto_Ida_50= mean(Datos_Histeresis_Ida_50);
Punto_Ida_60= mean(Datos_Histeresis_Ida_60);
Punto_Ida_70= mean(Datos_Histeresis_Ida_70);
Punto_Ida_80= mean(Datos_Histeresis_Ida_80);
Punto_Ida_90= mean(Datos_Histeresis_Ida_90);
Punto_Ida_100= mean(Datos_Histeresis_Ida_100);

Punto_Regreso_10= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_10);
Punto_Regreso_20= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_20);
Punto_Regreso_30= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_30);
Punto_Regreso_40= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_40);
Punto_Regreso_50= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_50);
Punto_Regreso_60= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_60);
Punto_Regreso_70= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_70);
Punto_Regreso_80= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_80);
Punto_Regreso_90= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_90);
Punto_Regreso_100= mean(Datos_Histeresis_Vuelta_100);

Puntos_Ida = [0 Punto_Ida_10 Punto_Ida_20 Punto_Ida_30 Punto_Ida_40 Punto_Ida_50
Punto_Ida_60 Punto_Ida_70 Punto_Ida_80 Punto_Ida_90 Punto_Ida_100];
Puntos_Regreso = [0 Punto_Regreso_10 Punto_Regreso_20 Punto_Regreso_30
Punto_Regreso_40 Punto_Regreso_50 Punto_Regreso_60 Punto_Regreso_70
Punto_Regreso_80 Punto_Regreso_90 Punto_Regreso_100];
Porcentajes = [0:10:100];
Porcentajes_finos= [0:0.0001:100];

figure
subplot(2,1,1)
plot(Porcentajes, Puntos_Ida, '*b', Porcentajes, Puntos_Regreso, '+r');
legend('Ida', 'Vuelta')
xlabel('Apertura valvula de descarga [%]')
ylabel('Flujo de descarga [%]')

subplot(2,1,2)
vqIda = interp1(Porcentajes,Puntos_Ida, Porcentajes_finos);
vqRegreso = interp1(Porcentajes,Puntos_Regreso, Porcentajes_finos);
plot(Porcentajes, Puntos_Ida, '*b', Porcentajes_finos, vqIda, 'b', Porcentajes,
Puntos_Regreso, '+r', Porcentajes_finos, vqRegreso, '--r');
legend('Ida', 'Recta Ida', 'Regreso', 'Recta Regreso')
xlabel('Apertura valvula de descarga [%]')
ylabel('Flujo de descarga [%]')

figure
subplot(2,1,1)
Puntos_promedio = [0 mean([Puntos_Ida(2), Puntos_Regreso(2)])
mean([Puntos_Ida(3), Puntos_Regreso(3)]) mean([Puntos_Ida(4), Puntos_Regreso(4)])
mean([Puntos_Ida(5), Puntos_Regreso(5)]) mean([Puntos_Ida(6), Puntos_Regreso(6)])
mean([Puntos_Ida(7), Puntos_Regreso(7)]) mean([Puntos_Ida(8), Puntos_Regreso(8)])
mean([Puntos_Ida(9), Puntos_Regreso(9)]) mean([Puntos_Ida(10),
Puntos_Regreso(10)]) mean([Puntos_Ida(11), Puntos_Regreso(11)])];
vqPromedio = interp1(Porcentajes,Puntos_promedio, Porcentajes_finos);
plot(Porcentajes_finos, vqPromedio, 'c', Porcentajes, Puntos_promedio, 'd')
legend('Recta promedio')
xlabel('Apertura valvula de descarga [%]')
ylabel('Flujo de descarga [%]')

rectal=[0 40; 0 Puntos_promedio(5)];
recta2=[40 80; Puntos_promedio(5) Puntos_promedio(9)];
recta3=[80 100; Puntos_promedio(9) Puntos_promedio(11)];
subplot(2,1,2)

```

```

plot(recta1(1,:), recta1(2,:), 'b', recta1(1,2), recta1(2,2), 'ok', recta2(1,:),
recta2(2,:), 'r', recta2(1,2), recta2(2,2), 'ok', recta3(1,:), recta3(2,:), 'g',
recta3(1,2), recta3(2,2), 'ok', Porcentajes_finos, vqPromedio, 'k')
legend('Zona 1', 'O', 'Zona 2', 'O', 'Zona 3', 'O')
xlabel('Apertura valvula de descarga [%]')
ylabel('Flujo de descarga [%]')

```

```
%Zonas
```

```
%Zona 1, 20% a 30%
```

```

valor_zona1_6321= (((Punto_Ida_30-Punto_Ida_20)*63.21)/100)+Punto_Ida_20;
recta_horizontal_zona1= [150 202.8; valor_zona1_6321 valor_zona1_6321];
recta_vertical_zona1= [202.8 202.8; 23 valor_zona1_6321];

```

```

figure
subplot(1,2,1)
plot(w(:,1),w(:,6),'r', recta_horizontal_zona1(1, :),
recta_horizontal_zona1(2,:), 'k', recta_vertical_zona1(1, :),
recta_vertical_zona1(2, :), '--k', [200.5 200.5], [23 36], '--m', [207.2 207.2],
[23 36], '--b', [200 200], [23 36], '--g');
title('qd (%), 20% a 30%')
xlabel('time [sec]')
ylabel('qdesc [%]')
legend('qdesc [%]', '63.21%', 't3', 't1', 't2', 't0')
grid on
xlim([150 250])
ylim([23 36])
legend

```

```

subplot(1,2,2)
plot(w(:,1),w(:,5),'b');
title('cv02 (%), 20% a 30%')
xlabel('time [sec]')
ylabel('cv02 [%]')
legend('cv02')
grid on
xlim([150 250])
ylim([19 32])

```

```
%Zona 2, 60% a 70%
```

```

valor_zona2_6321= (((Punto_Ida_70-Punto_Ida_60)*63.21)/100)+Punto_Ida_60;
recta_horizontal_zona2= [550 602.9; valor_zona2_6321 valor_zona2_6321];
recta_vertical_zona2= [602.9 602.9; 62 valor_zona2_6321];

```

```

figure
subplot(1,2,1)
plot(w(:,1),w(:,6),'r', recta_horizontal_zona2(1, :),
recta_horizontal_zona2(2,:), 'k', recta_vertical_zona2(1, :),
recta_vertical_zona2(2, :), '--k', [601 601], [62 73], '--m', [608 608], [62 73],
'--b', [600.4 600.4], [62 73], '--g');
title('qd (%), 60% a 70%')
xlabel('time [sec]')
ylabel('qdesc [%]')
legend('qdesc [%]', '63.21%', 't3', 't1', 't2', 't0')
grid on
xlim([550 650])
ylim([62 73])

```

```

subplot(1,2,2)
plot(w(:,1),w(:,5),'b');
title('cv02 (%), 60% a 70%')

```

```

xlabel('time [sec]')
ylabel('cv02 [%]')
legend('cv02')
grid on
xlim([550 650])
ylim([59 71])

%Zona 3, 90% a 100%

valor_zona3_6321= (((Punto_Ida_100-Punto_Ida_90)*63.21)/100)+Punto_Ida_90;
recta_horizontal_zona3= [850 903.3; valor_zona3_6321 valor_zona3_6321];
recta_vertical_zona3= [903.3 903.3; 0 valor_zona3_6321];

figure
subplot(1,2,1)
plot(w(:,1),w(:,6),'r', recta_horizontal_zona3(1, :),
recta_horizontal_zona3(2,:), 'k', recta_vertical_zona3(1, :),
recta_vertical_zona3(2, :), '--k', [901.2 901.2], [86 96], '--m', [906.1 906.1],
[86 96], '--b', [900.7 900.7], [86 96], '--g');
title('qd (%), 90% a 100%')
xlabel('time [sec]')
ylabel('qdesc [%]')
legend('qdesc [%]', '63.21%', 't3', 't1', 't2', 't0')
grid on
xlim([850 950])
ylim([86 96])

subplot(1,2,2)
plot(w(:,1),w(:,5),'b');
title('cv02 (%), 90% a 100%')
xlabel('time [sec]')
ylabel('cv02 [%]')
legend('cv02')
grid on
xlim([850 950])
ylim([89 101])

%Minimos cuadrados

Tmuestreo=0.1;

%Zona 1, 20% a 30%

cv02_zona1= w(1501:2501, 5);
ft01_zona1= w(1501:2501, 6);

Matriz_pasada_zona1= [ft01_zona1(1:end-1) cv02_zona1(1:end-1)];
Matriz_actual_zona1= ft01_zona1(2:end);

Calculo_zona1= mldivide(Matriz_pasada_zona1, Matriz_actual_zona1);

alfa_zona1= Calculo_zona1(1)
beta_zona1= Calculo_zona1(2)

Tau_min_zona1= -(Tmuestreo/(log(alfa_zona1)))
K_min_zona1= beta_zona1/(1-alfa_zona1)

%Zona 2, 60% a 70%

cv02_zona2= w(5505:6505, 5);
ft01_zona2= w(5505:6505, 6);

Matriz_pasada_zona2= [ft01_zona2(1:end-1) cv02_zona2(1:end-1)];

```

```

Matriz_actual_zona2= ft01_zona2(2:end);

Calculo_zona2= mldivide(Matriz_pasada_zona2, Matriz_actual_zona2);

alfa_zona2= Calculo_zona2(1)
beta_zona2= Calculo_zona2(2)

Tau_min_zona2= -(Tmuestreo/(log(alfa_zona2)))
K_min_zona2= beta_zona2/(1-alfa_zona2)

%Zona 3, 90% a 100%

cv02_zona3= w(8508:9508, 5);
ft01_zona3= w(8508:9508, 6);

Matriz_pasada_zona3= [ft01_zona3(1:end-1) cv02_zona3(1:end-1)];
Matriz_actual_zona3= ft01_zona3(2:end);

Calculo_zona3= mldivide(Matriz_pasada_zona3, Matriz_actual_zona3);

alfa_zona3= Calculo_zona3(1)
beta_zona3= Calculo_zona3(2)

Tau_min_zona3= -(Tmuestreo/(log(alfa_zona3)))
K_min_zona3= beta_zona2/(1-alfa_zona3)

```
