



ESCUELA DE POSGRADO

Curso:

Control por Computadora

Tema:

Diseño de controladores en el dominio de la frecuencia

Presentado por:

CONTRERAS MARTINEZ, DIMEL ARTURO

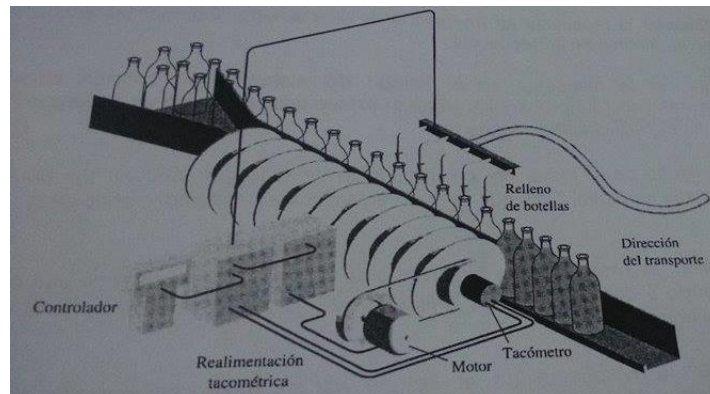
Docente:

Dr. Juan Javier Sotomayor Moriano

Msc. Luis Enciso Salas

2016

1.-Una línea de llenado de botellas utiliza un mecanismo de tornillo de alimentación, tal como se muestra en la figura. Se requiere un sistema de control para mantener una velocidad deseada durante el traslado de botellas.



El diagrama de bloques del motor-tornillo (velocidad lineal / variable de control amplif.), viene dada por:



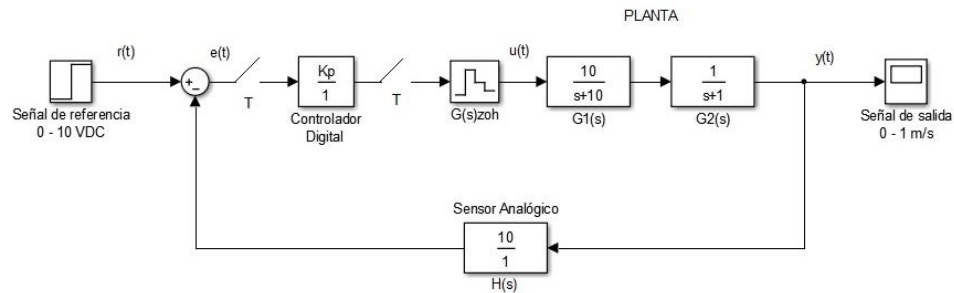
Luego del llenado simultaneo de 5 botellas (que dura de 2 seg. a 4 seg. dependiendo del volumen de la botella) se produce el traslado y posicionamiento del siguiente grupo de botellas (ciclo de llenado).

Se requiere:

- Que la velocidad deseada sea controlada en un rango de 0 a 1 m/seg., con una señal de referencia de 0 a 10 VDC,
- Que el error estacionario = 0,
- Alcanzar una velocidad deseada en aprox. 2 seg. y
- Con mínimo sobreimpulso ($m_p=0$).
- Realizar el llenado de aprox. de 2500 botellas por hora.

Sistema de control digital

- a) Trazar el diagrama de bloques del sistema de control digital de la planta dada. Asumir elementos adicionales necesarios para el lazo de control digital: sensor, controlador digital, etc. Seleccionar el periodo de muestreo T' . fundamentar la elección del controlador a emplear.



Para seleccionar el periodo de muestreo obtenemos las constantes de tiempo de la planta, y de ellas elegimos la menor, el periodo de muestreo será igual o menor a la quinta parte de esta constante de tiempo elegida.

$$G_p(s) = \frac{1}{(0.1s+1)(s+1)}$$

$$\tau_1 = 0.1 \quad \tau_2 = 1$$

$$\tau_{\min} = 0.1$$

$$T = \frac{\tau_{\min}}{5} = \frac{0.1}{5} = 0.02 \text{ seg}$$

Diseño del controlador digital en el Dominio de la Frecuencia

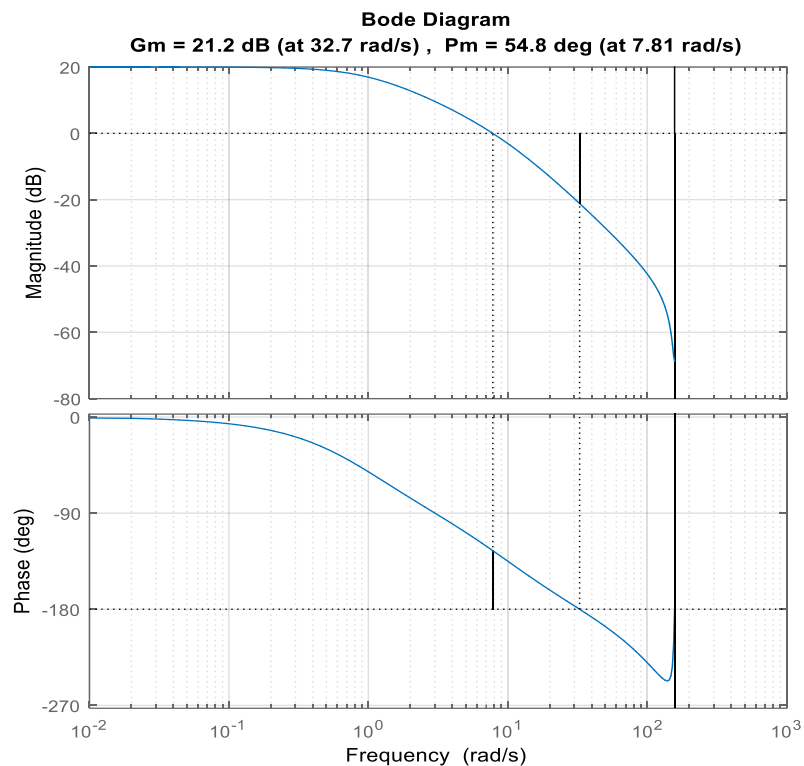
- b) Obtener la respuesta en frecuencia de lazo abierto. Obtener las especificaciones en el dominio de la frecuencia.

Función de transferencia en lazo abierto:

$$GH(z) = z \{ G_{zoh}(s) G_p(s) H(s) \}$$

$$GH(z) = z \left\{ \frac{1 - e^{-sT}}{s} \times \frac{10}{s^2 + 11s + 10} \times 10 \right\}$$

$$GH(z) = \frac{0.0186z + 0.01729}{z^2 - 1.799z + 0.8025}$$

Diagrama de Bode:

MG	21.2 dB
w'_g	7.83
MF	54.8°
w'_f	31.2

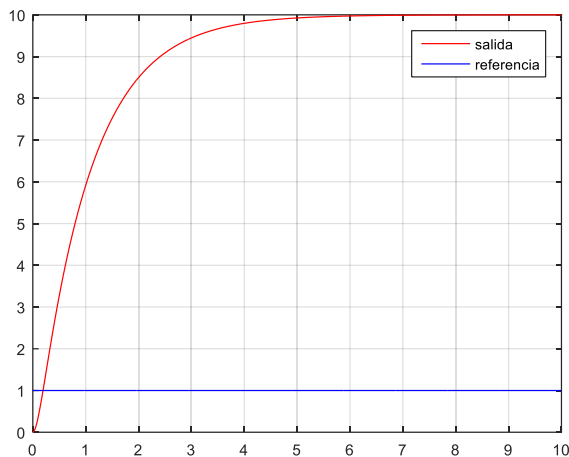
Graficar la respuesta en el tiempo del sistema con entrada escalón y sin controlador. Comprobar si el sistema exhibe una respuesta en el tiempo de acuerdo a las especificaciones deseadas.

Utilizando la función de transferencia en lazo abierto:

$$GH(z) = \frac{0.0186z + 0.01729}{z^2 - 1.799z + 0.8025}$$

Aplicamos un escalón a la planta, la lectura de la variable de salida es la que se obtiene con el sensor.

```
[y, t] = step(GHz,10)
ref = ones(1,length(y));
plot(t,y,'-r',t,ref,'-b')
grid on
legend('salida','referencia')
```



Observamos que el sistema sin controlador no cumple con las especificaciones deseadas. Para una entrada escalón unitario la respuesta debería ser 1VDC y podemos ver que el sistema no llega a ese valor, el error estacionario no es cero.

- c) **Partiendo de la respuesta en frecuencia del sistema, calcular los parámetros del controlador digital $D(z)$, que permita alcanzar las especificaciones deseadas.**

Para las condiciones deseadas, se elige un control PI debido a que se quiere que el error estacionario sea "0".

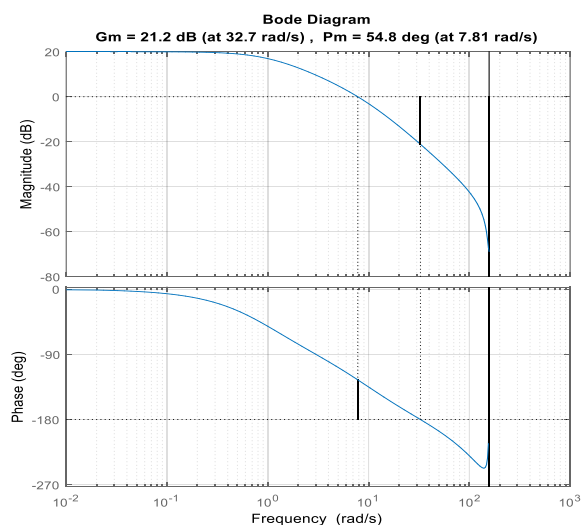
Controlador PI:

$$D(w) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i w} \right)$$

Metodología:

- a. Se construye el diagrama de Bode de la FT de lazo abierto $GH(jw)$. Determinar MF y MG.

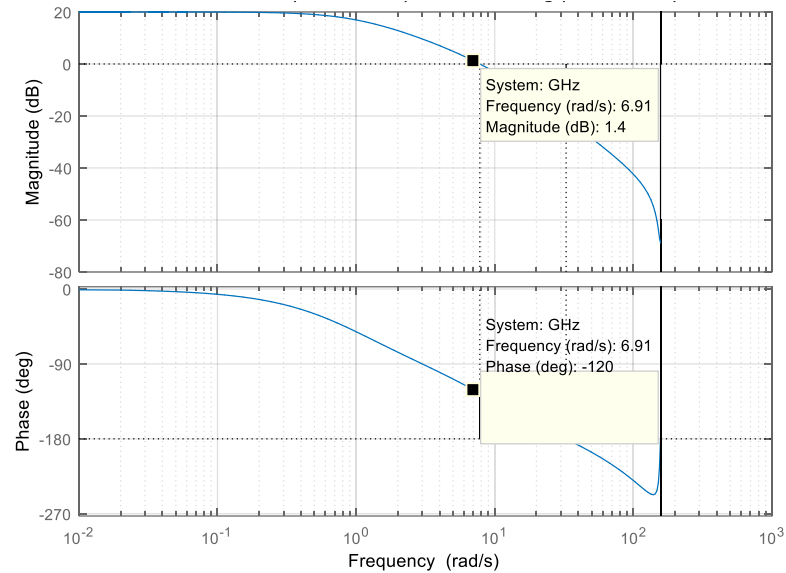
➔ Esto ya se calculó anteriormente:



- b. Obtenemos la frecuencia de cruce de ganancia(w'_{wg}) para el MF' deseado.

Luego de las pruebas realizadas, el valor elegido para el Margen de fase deseado es:

$$MF' = 60^\circ$$



A partir del diagrama de bode, se encuentra el cruce de ganancia:

$$w'_{wg} = 6.91 \text{ rad/s}$$

- c. Se calcula la atenuación que el controlador deberá proveer para que el sistema compensado tenga w'_{wg} :

$$|G_p(jw)|_{db} = -20\text{Log}(K_p)$$

$$1.4 = -20\text{Log}(K_p)$$

La ganancia proporcional resulta:

$$K_p = 0.8511$$

- d. Se determina el valor de T_i :

$$\frac{1}{T_i} = \frac{w'_{wg}}{10} \text{ (rad/s)}$$

$$T_i = \frac{10}{w'_{wg}}$$

$$T_i = 1.4472$$

- e. Se obtiene la FT del controlador $D(w)$ y se pasa al plano z : $D(z)$

$$D(w) = 0.8511 \left(1 + \frac{0.691}{w} \right)$$

Para pasar de $w \rightarrow z$, hacemos uso de la transformación bilineal o Tustin:

$$w = \frac{2z - 1}{Tz + 1}$$

Resulta:

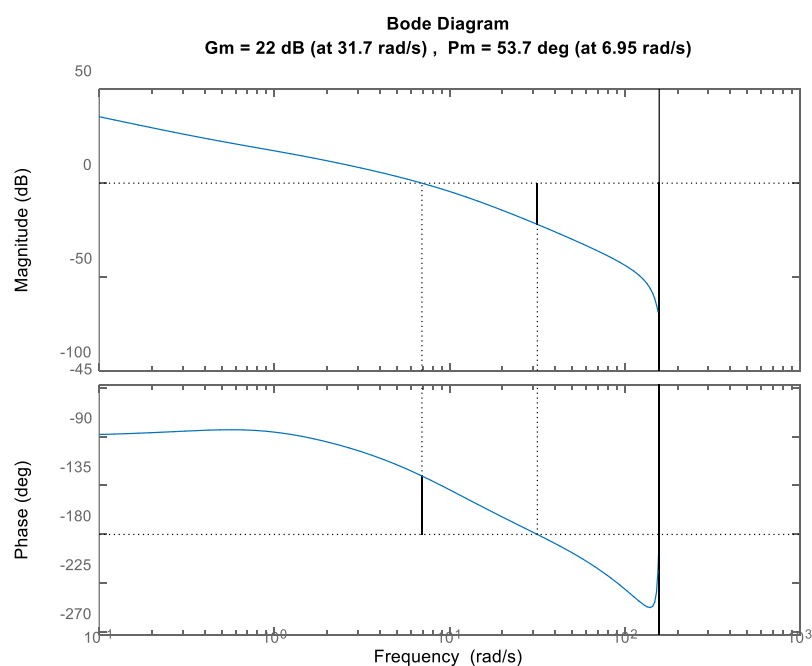
$$D(z) = \frac{124z - 122.3}{144.7z - 144.7}$$

- d) **Obtener la respuesta en frecuencia de lazo abierto del sistema con el controlador diseñado y comparar con la respuesta en frecuencia del sistema sin controlador. De sus conclusiones.**

>> Script en Matlab:

```
% Controlador
Kp = 0.8511;%
Ti = 1.4472;
z = tf('z',T);
w = (2/T)*((z-1)/(z+1))
Dz = Kp*(1+1/(Ti*w));
DGHZ = Dz*GHZ;

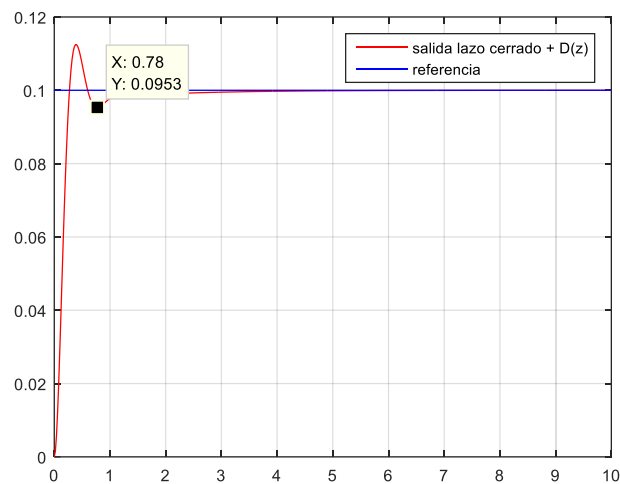
figure(4)
margin(DGHZ)
```



Graficar la respuesta en el tiempo del sistema con entrada escalón y con controlador, comprobar si el sistema exhibe una respuesta en el tiempo de acuerdo a las especificaciones deseadas. De sus conclusiones.

>> Script en Matlab:

```
figure(5)
FTz = feedback(Dz*Gz,Hz); %FT lazo cerrado
[y, t] = step(FTz,10)
ref = ones(1,length(y));
plot(t,y,'-r',t,ref/Hz,'-b')
grid on
legend('salida lazo cerrado + D(z)', 'referencia')
```



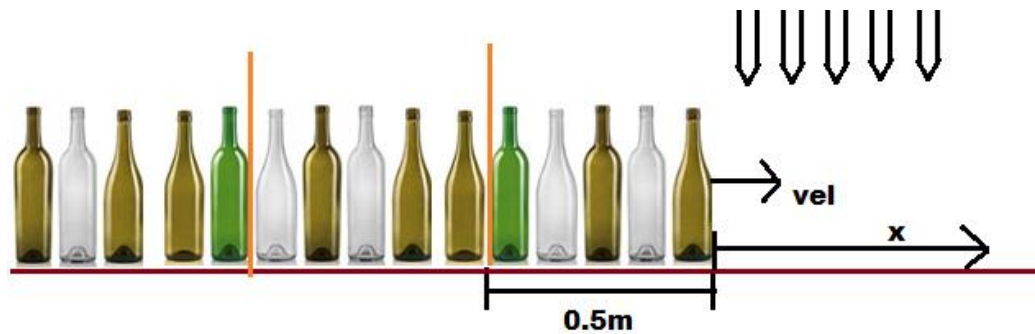
Tras realizar varias pruebas, con diferentes MF deseados, no se eliminó por completo el sobreimpulso ya que la respuesta del sistema se hace muy lenta, y en este caso el tiempo es muy importante porque es un proceso industrial rápido.

Se obtuvo:

<u>Características</u>	<u>Valor</u>
Error estacionario	0
Tiempo de asentamiento (para 5%)	1 seg
Sobreimpulso mp	11%

Funcionamiento de la línea de llenado

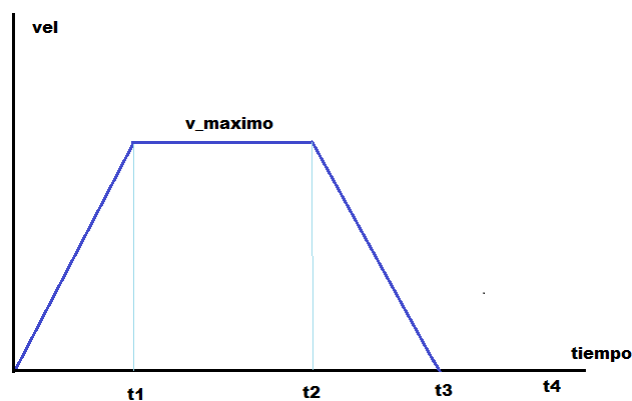
- e) Elabore la señal de referencia apropiada para que el traslado de las botellas cubra la distancia prevista, sin sobreimpulsos significativos y con suficiente velocidad. Lo anterior, a fin de cumplir el requerimiento de botellas llenadas por hora.



Distancia prevista por ciclo:

$$X = 0.5\text{m}$$

Señal de referencia de velocidad:

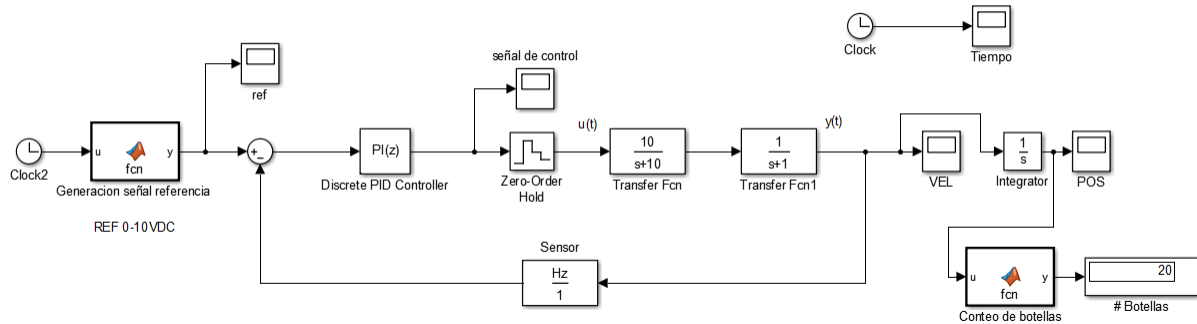


Se va a considerar los siguientes tiempos, luego de haber hecho pruebas de tiempos para lograr alcanzar $x = 0.5\text{m}$ cada ciclo:

Proceso	Tiempo
Tiempo de posicionamiento * $v_{\text{max}} = 2.5\text{VDC} (0.25\text{m/s})$	4 seg, total $t1 = 1\text{s}$ $t2 = 2\text{s}$ $t3 = 3\text{s}$ $t4 = 4\text{s}$ (hasta que la respuesta se establezca)
Tiempo de llenado	2s

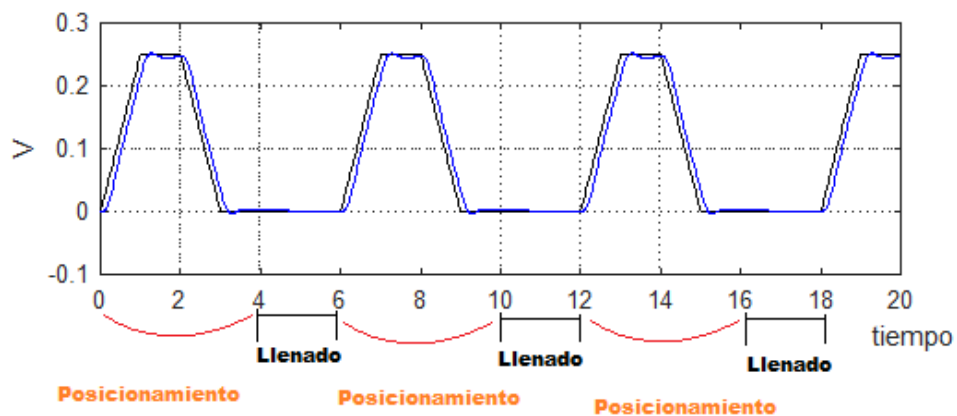
Graficar la velocidad (variable de velocidad) y recorrido (variable de posición) de traslado de las botellas desde su posición inicial (previa a llenado) hasta la posición de llenado (considerar más de un ciclo de llenado).

Diagrama de control en SIMULINK:

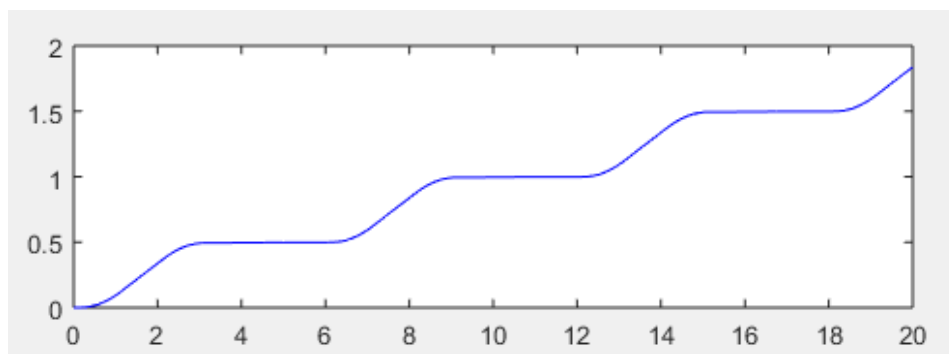


Velocidad y recorrido:

La velocidad de referencia y la controlada se muestran a continuación:



La posición de avance de la faja es:



Se puede observar que el posicionamiento se establece en 4 segundos, luego se espera 2 segundos para el llenado y se repite en ciclo.

Calcular el número de botellas por hora que produce esta línea de llenado. De sus conclusiones. Asumir que cada botella mide 10 cm (probar con llenado de 5 botellas en simultáneo).

Se aprecia que el periodo dura 6 segundos, y que cada periodo se terminan 5 botellas.

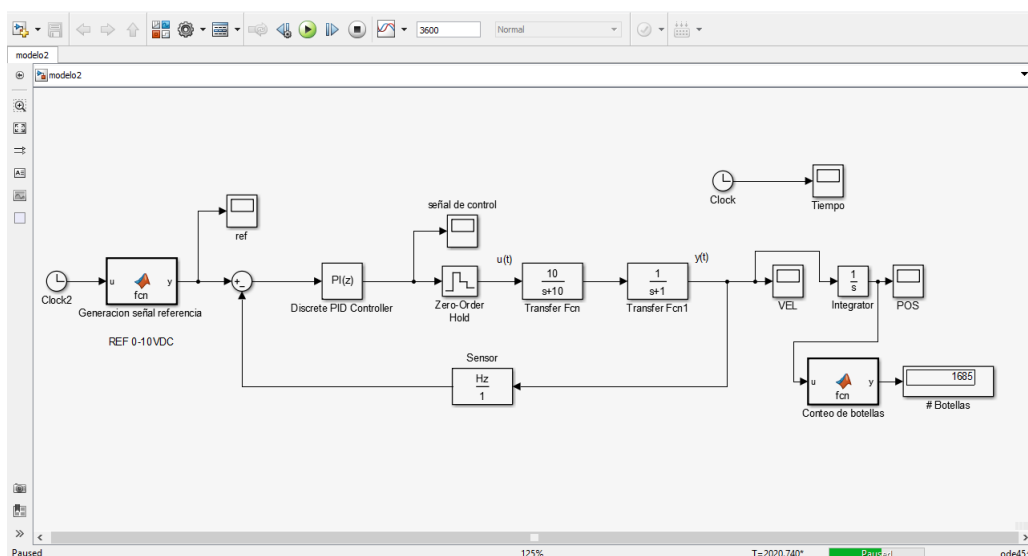
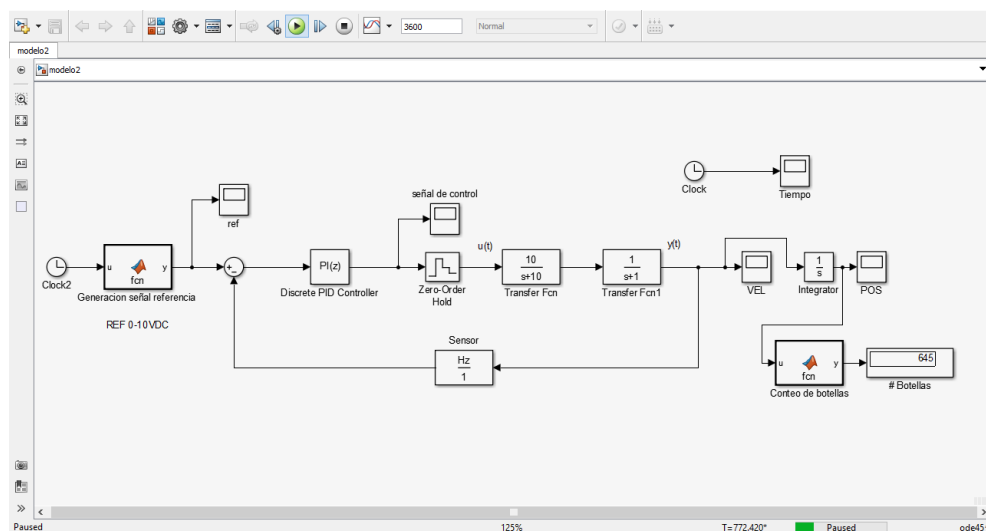
➔ Entonces en 1hora:

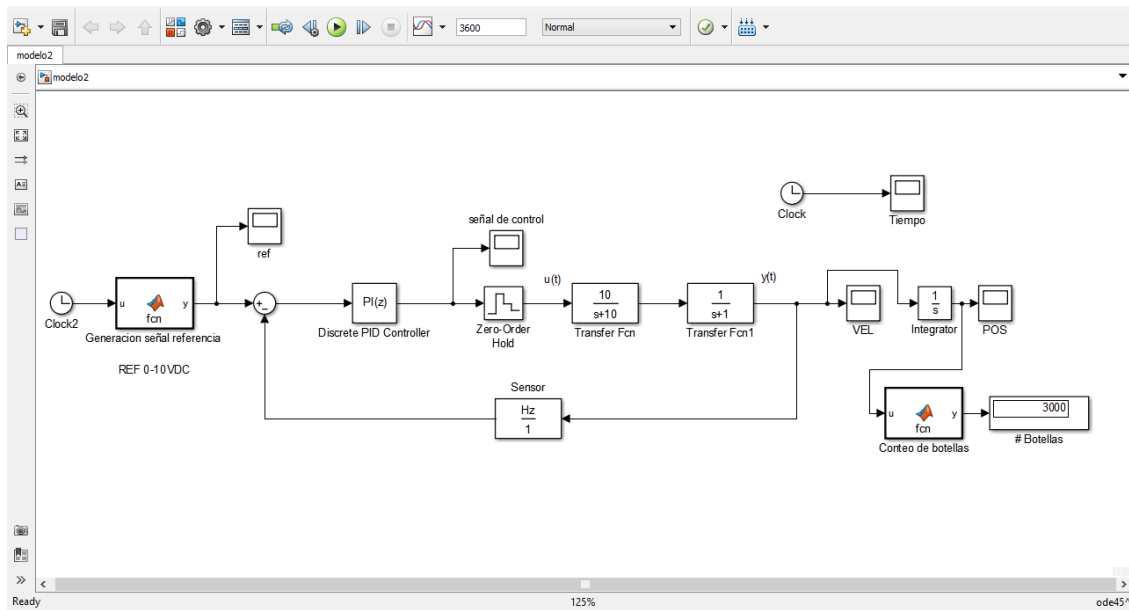
1hora = 3600s

$$\#botellas = \frac{3600}{6} * 5$$

$$\#botellas = 3000$$

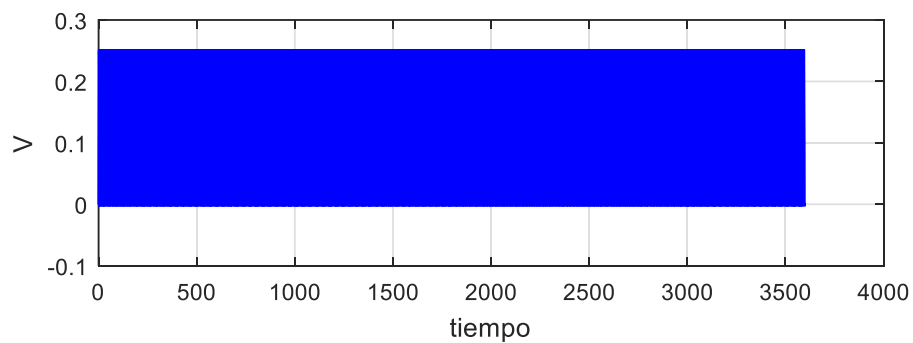
Realizamos la simulación para un tiempo de 3600s:



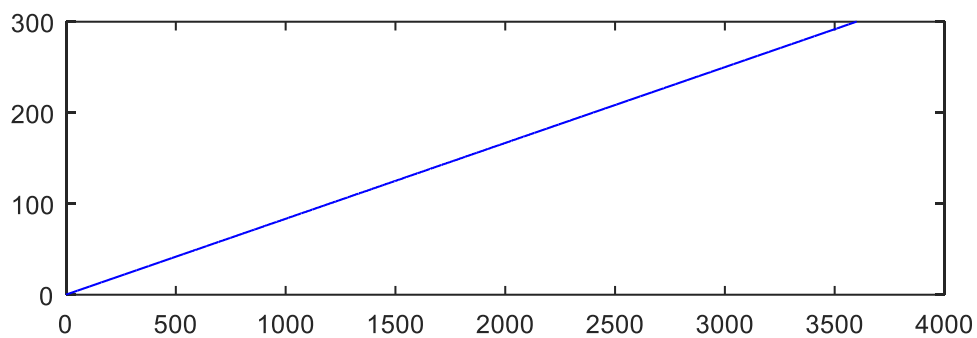


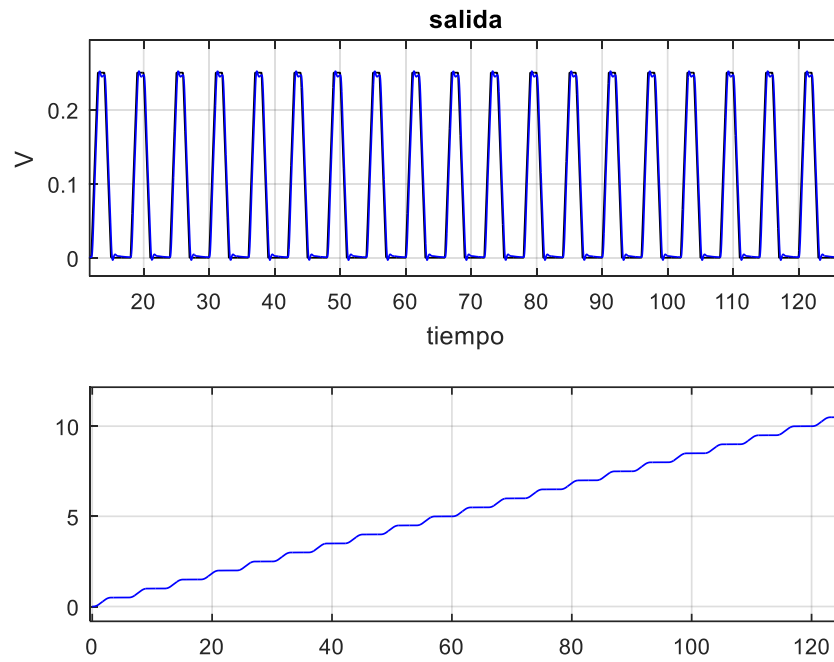
En la simulación se puede observar el conteo de botellas en el Display “# Botellas”

Velocidad :

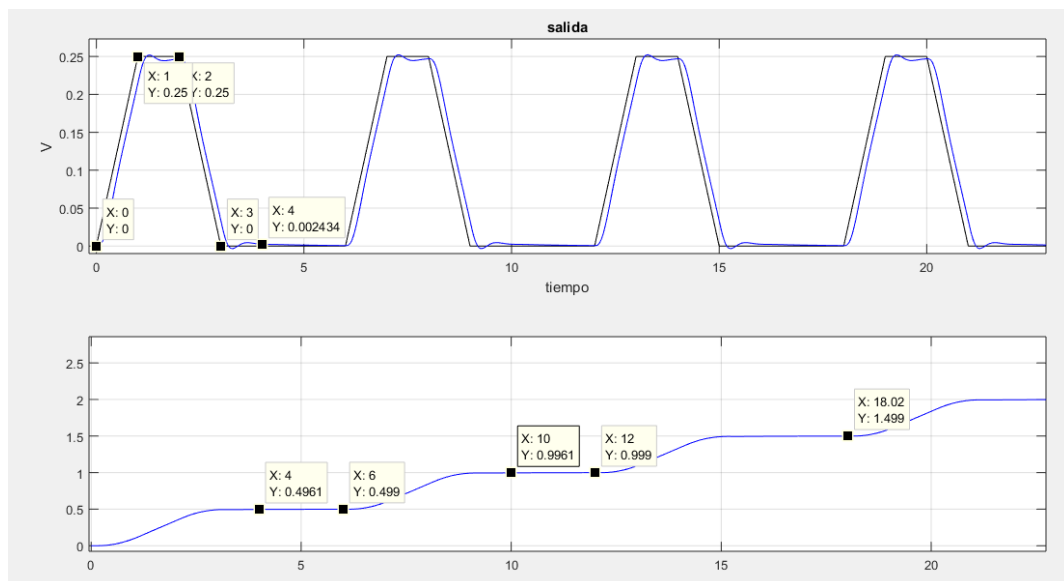


Posición:





Visualizando una región:



Conclusiones:

1. Sad
2. S
- 3.

