	<p>Universidad de Costa Rica Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>	<p><b>EIE</b> Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>
<p><b>IE0431: Sistemas de Control</b></p>		<p><b>I-2017</b></p>

## EXAMEN PARCIAL 1

**Prof. Leonardo Marín Paniagua**  
**Prof. Ramón Vilanova Arbós**  
**Prof. Helber Meneses Navarro**

**Tiempo máximo: 2 horas 50 min**

### Instrucciones generales:

1. Cada problema debe resolverse en hojas aparte.
  2. Cada hoja de examen debe estar identificada en la parte superior derecha, con el nombre completo, número de carné y número de grupo en el que está matriculado.
  3. Los problemas deben resolverse en forma ordenada, indicando y justificando debidamente, todos los pasos intermedios para la solución.
  4. Todos los cálculos deberán realizarse considerando dos decimales.
  5. No se permite el uso de calculadora programable.
  6. Se supondrá que la calculadora debe resolver polinomios de a lo más, tercer orden.
  7. El examen debe realizarse con bolígrafo azul o negro. Si se hace a lápiz, no se aceptarán reclamos sobre el mismo.
1. En la figura 1 se muestra el esquema de control implementado por la empresa “*Bebidas Saludables S.A.*” para la fabricación de su nuevo refresco natural. Como se observa en dicha figura, para efectuar el envasado del producto el proceso debe pasar por dos etapas: A y B. En la etapa A se garantiza que la bebida posea el sabor y la consistencia que el cliente solicita. En la etapa B se asegura que el nivel del tanque se encuentre en el valor requerido para despechar la cantidad de botellas que demandan los clientes de manera diaria.

En el mes de mayo se estimó que para poder satisfacer a todos los clientes el nivel del tanque debía mantenerse en un 65% de su capacidad. Para lograr que la etapa B funcione correctamente, el sistema de control dispone de un transmisor neumático de nivel (LT) situado en la parte inferior del tanque, así como de un controlador indicador de nivel (LIC) y una válvula de nivel (LV) que se encarga de regular la cantidad de líquido que proviene de la etapa A.

La válvula 2 posee una apertura fija del 50% y el producto ya preparado que fluye a través de ésta va directamente a la etapa de llenado de botellas.



- 1.1 (1 punto) Dibuje un diagrama de bloques del proceso y su sistema de control, describiendo todas las variables físicas y las señales involucradas en él. Indique y describa dos variables que puedan ser consideradas perturbaciones del sistema de control.
- 1.2 (0.5 puntos) Determine el tipo de “Acción” (nombre y signo) requerida para el controlador. Describa el procedimiento seguido para su determinación.
- 1.3 (1 punto) Considere que el proceso controlado es de segundo orden, con ganancia unitaria y constantes de tiempo de 1 y 2 segundos. Si el sistema se controla con un controlador proporcional con  $K_p=1$ , dibuje a mano alzada la respuesta del sistema de control a un cambio tipo escalón unitario en el valor deseado e indique sobre la gráfica las mediciones de: sobrepaso máximo ( $M_p$ ), tiempo al sobrepaso máximo ( $t_p$ ), tiempo de asentamiento ( $t_a$ ), tiempo de levantamiento ( $t_l$ ) y tiempo de retardo ( $t_r$ ). No se requiere calcular el valor de las especificaciones mencionadas.

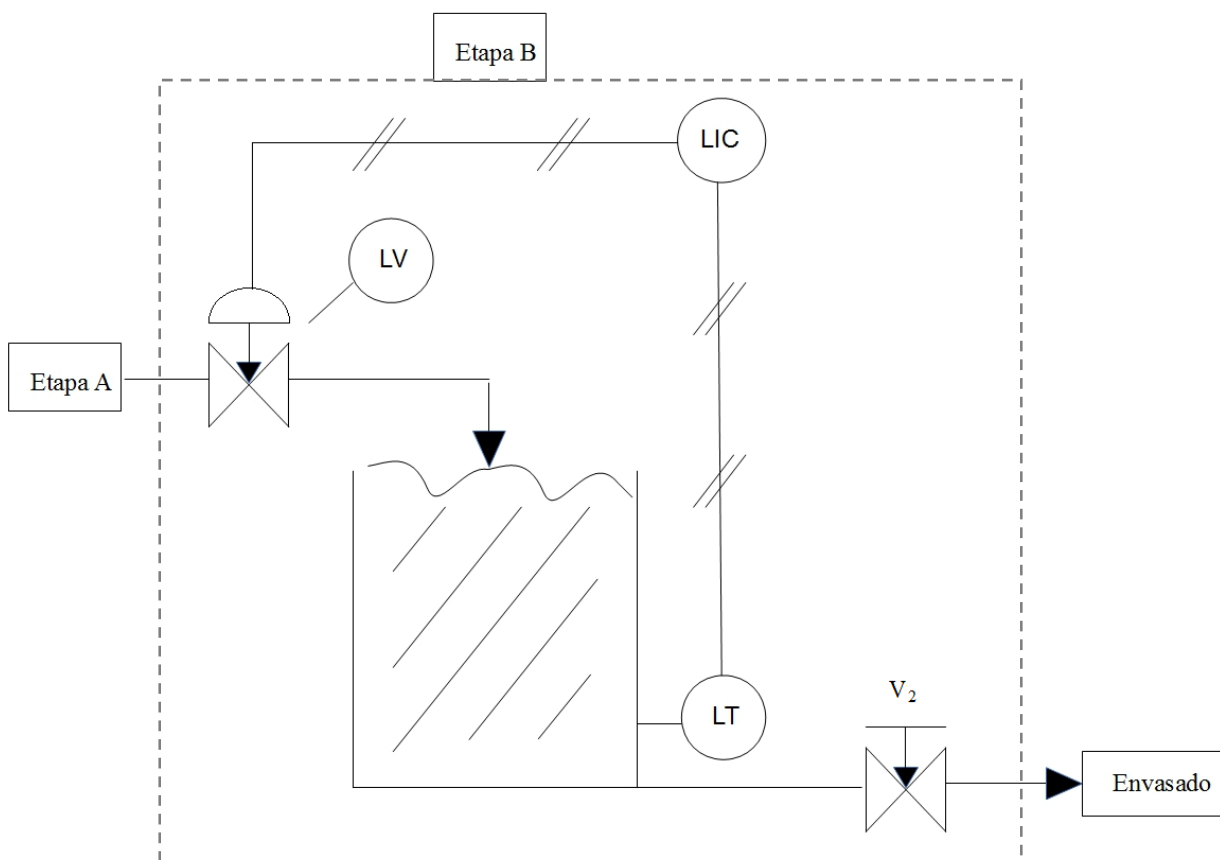


Figura N°1: Sistema de control de nivel



2. En la figura 2 se muestra el sistema de control de velocidad crucero de un automóvil. Para cada uno de los componentes indicados se tienen los siguientes valores:

- **Actuador electroneumático:** Una ganancia  $K_a=0.5$ ;
- **Motor:** Sistema de primer orden con ganancia  $K_m=3$  y constante de tiempo  $T_m=2$  segundos;
- **Sistema:** Sistema de primer orden con ganancia  $K_s=2$  y constante de tiempo  $T_s=1$  segundos;
- **Sensor de Velocidad:** Una ganancia  $K_s=1$ ;
- **Interface:** Una ganancia  $K_i=1$ ;

2.1 (0.75 puntos) Determine la expresión analítica para la salida del sistema de control  $y(s)$  (la velocidad del vehículo,  $v$ ) en términos de la referencia  $r(s)$  (velocidad de referencia,  $v_r$ ), y la perturbación  $d(s)$  (única a la entrada del motor).

2.2 (0.75 puntos) Suponiendo que el controlador es tipo P, determine el rango de valores para la ganancia del controlador, de forma que el error permanente ante una perturbación del tipo escalón, no sea mayor que el 5%.

2.3 (0.75 puntos) Suponiendo ahora que el controlador es tipo PI, con un tiempo integral igual a 0.5 segundos, determine el rango de valores de la ganancia del controlador que nos garantizan un error permanente menor del 10% ante un cambio de tipo escalón en la velocidad deseada. Debe garantizar que el sistema funciona adecuadamente, manteniendo la especificación de desempeño solicitada, para cualquier valor de la ganancia dentro del rango determinado.

2.4 (0.75 punto) Suponiendo ahora que el controlador es tipo PI, con un tiempo integral igual a 2 segundos, determine el valor de la ganancia del controlador para que la salida ante un cambio del tipo escalón en la velocidad deseada tenga una respuesta subamortiguada, con un sobrepaso no mayor al 10%.

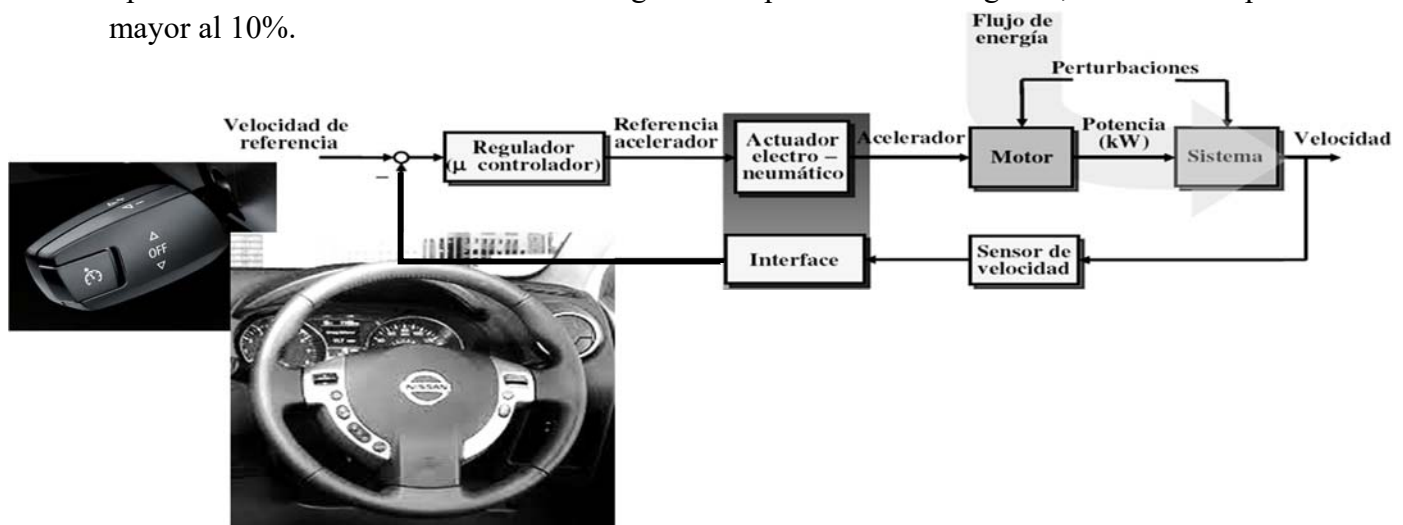



Figura N°2: Sistema de control de velocidad crucero de un automóvil

	<p>Universidad de Costa Rica Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>	<p><b>EIE</b> Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>
<p><b>IE0431: Sistemas de Control</b></p>		<p><b>I-2017</b></p>

3. Considere un sistema de control realimentado unitariamente y donde se tiene un controlador  $C(s)$  tipo PID estándar ideal y una planta  $P(s)$  de segundo orden subamortiguada, con los cuales se obtiene la siguiente función de transferencia en lazo abierto:

$$L_3(s) = \frac{K_p (s^2 + 2s + 1.25)}{s(s^2 + 2s + 2)}$$

- 3.1. (2.0 puntos) Realice un bosquejo del lugar geométrico de las raíces, calculando e indicando de forma precisa en el diagrama (si correspondiera), el resultado de las reglas **10** y **11** para el dibujo del LGR. Considere en su solución que se tiene como información adicional el resultado de la regla 8 dado por  $\sigma_1 = -1.16$ ,  $\sigma_2 = -2.16$  y  $\sigma_3 = -0.34 \pm 0.94j$ .
- 3.2. (0.5 punto) Indique el valor mínimo de la ganancia  $K_p$  del controlador, para que la respuesta del sistema de control a una entrada escalón en el valor deseado, no presente oscilaciones.
4. (2.0 puntos) Considere un sistema de control cuya función de transferencia de lazo abierto es

$$L_4(s) = \frac{K(2s+1)^3}{s^2(s-1)}$$

Determine si el sistema de control es estable o no para todo valor de  $K$ , empleando el criterio de estabilidad de Nyquist, y en caso de no serlo, determinar el número de raíces inestables. Si correspondiera, dibuje por separado el diagrama de Nyquist para valores bajos y altos de  $K$ .



## Reglas de Evans para el dibujo del lugar geométrico de las raíces (LGR)

1. Simetría del LGR
2. Inicio y final del LGR
3. Número de ramas del LGR
4. LGR sobre el eje real
5. Angulos de las asíntotas

$$\alpha_k = \frac{(2k+1)180^\circ}{n-m}, \quad k=0,1,2,\dots,(n-m-1)$$

6. Intersección de las asíntotas con el eje real

$$\sigma_a = \frac{\sum_{j=1}^n \Re(p_j) - \sum_{i=1}^m \Re(z_i)}{n-m}, \quad (n-m) \geq 2$$

7. Centroide de las raíces

$$\sigma_r = \frac{\sum_{j=1}^n \Re(p_j)}{n}, \quad (n-m) \geq 2$$

8. Puntos de salida o entrada al eje real

$$\frac{dK(\sigma)}{d\sigma} = 0$$

9. Ángulos de salida o entrada al eje real

$$\alpha_{c,k} = \frac{(2k+1)180^\circ}{p}, \quad p=2,3,\dots \quad k=0,1,\dots,(p-1)$$

10. Angulo de partida (de llegada) de un polo (a un cero) complejo

$$\angle(s+p_x) = \left( \sum_{i=1}^m \angle(s+z_i) - \sum_{j=1, j \neq x}^n \angle(s+p_j) \right) - 180^\circ$$

$$\angle(s+z_x) = 180^\circ - \left( \sum_{i=1, i \neq x}^m \angle(s+z_i) - \sum_{j=1}^n \angle(s+p_j) \right)$$

11. Punto de cruce del eje imaginario
12. Cálculo de la ganancia en un punto del LGR

$$|K|_{s=s_1} = \frac{1}{|C'(s_1)P'(s_1)|} = \frac{\prod_{j=1}^n |s_1+p_j|}{\prod_{i=1}^m |s_1+z_i|}$$