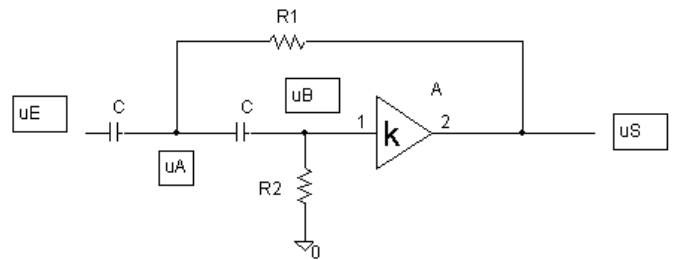


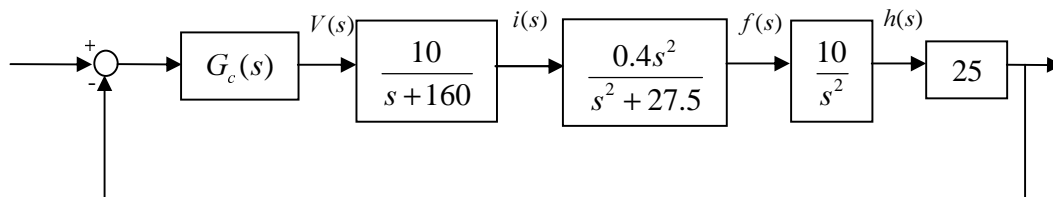
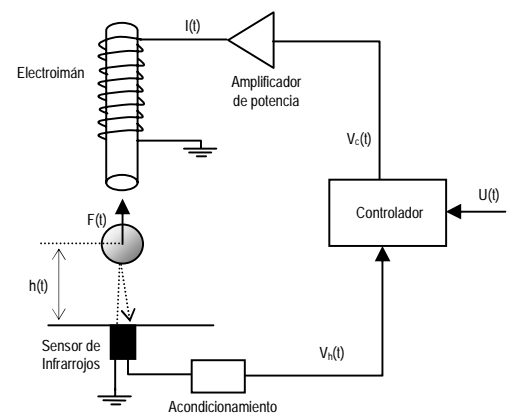
**Primer ejercicio**

El circuito de la figura representa una célula de Sallen-Key. El triángulo con el valor de ganancia  $k$  es una simplificación del amplificador de estructura no inversora con amplificador operacional ideal. Por tanto, la tensión de salida del amplificador es la de su entrada multiplicada por  $k$  y la impedancia de entrada de éste es infinita. Se pide:

1. El diagrama de bloques en el que aparecerán explícitamente las variables  $u_e(s)$ ,  $u_A(s)$ ,  $u_B(s)$  y  $u_s(s)$ .
2. FDT entre  $u_s(s)$  y  $u_e(s)$ .
3. Rango de  $k$  para que sea estable.
4. Respuesta en frecuencia, en diagrama de Bode, si la ganancia es la mitad del valor de la crítica. Considérese que  $C$  es de 10 nF y las resistencias son iguales con un valor de 10 k $\Omega$ .

**(45 minutos)****Segundo ejercicio**

Recientemente el departamento ha adquirido un levitador magnético para realizar prácticas de laboratorio. Un electroimán permite controlar la posición de una pieza de hierro que se encuentra flotando en el aire. A una altura de suspensión de 22 cm se ha encontrado un punto de equilibrio cuando la corriente que recorre el electroimán es de 6 Amperios. El sistema linealizado en este punto puede modelarse de forma simplificada por el diagrama de bloques mostrado a continuación:



Se pide:

- 1.- Diseñar el regulador de forma que el error de posición se haga nulo, la sobreoscilación sea inferior a un 25% y el tiempo de establecimiento sea inferior al 0.2s. **(3 puntos)**

El sistema viene preparado para ser controlado directamente desde el ordenador por medio de Simulink y la toolbox de RealTime. En este caso y dada la potencia de los equipos de laboratorio, se ha comprobado que Matlab sólo es capaz de cerrar el lazo de control a una frecuencia de 100Hz. Si en vez del regulador PID obtenido anteriormente se utiliza el siguiente regulador calculado considerando el sistema como continuo:

$$G_c(s) = 5(s + 6)$$

- 2.- Dibujar el diagrama de bloques del sistema controlado por ordenador e indíquese el cálculo del sistema discreto equivalente (basta con obtener la fdt expandida en fracciones). Estudiese la validez del tiempo de muestreo utilizado si los tres polos de la cadena cerrada se sitúan en caso de utilizar un regulador continuo en los puntos del eje real -121, -29.7 y -9.6. **(1.5 puntos)**

- 3.- Obtener la función de transferencia en Z de dicho regulador mediante su discretización. Escribir en pseudocódigo el algoritmo de ordenador que lo realiza. **(1.5 puntos)**

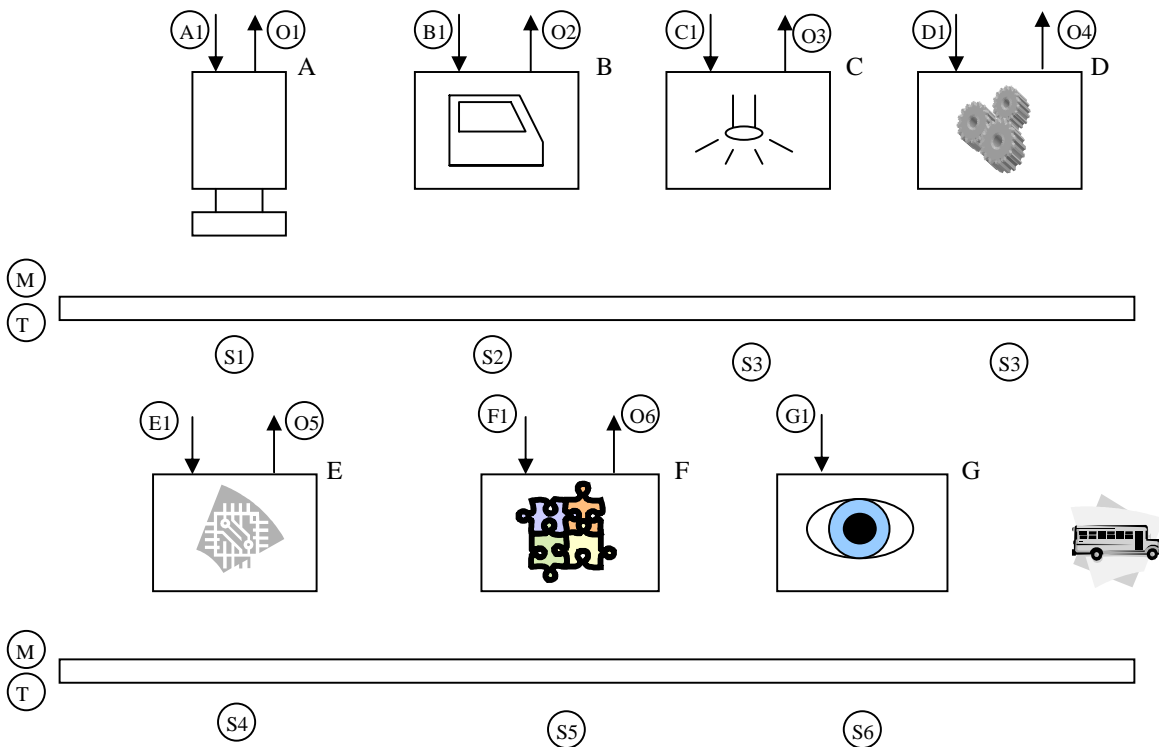
**(45 min)**

**Cuestión**

Dibujar los esquemas neumáticos para el control de un cilindro de doble efecto, utilizando válvulas distribuidoras 5/2 y 4/2. Incluir regulación de caudal en expansión.

**(10 min)****Problema**

El siguiente esquema representa un modelo simplificado de una cadena automática de montaje de vehículos automóviles. Todo el sistema de transporte es gestionado por la misma unidad motora M. Se supone que el carril de transporte se encuentra parado hasta que todas las operaciones involucradas en la cadena terminan. Cada actuación sobre el carril es sincronizada a través de una señal T proporcionada por un encoder solidario al eje del motor M (T se activa para determinar el final de avance del carril).



Se realizan siete operaciones simultáneas en el proceso:

- A.- Estampado de piezas. Activación estampado: A1, finalización: O1.
- B.- Ensamblado de las partes que forman la carrocería. Activación del ensamblado: B1, finalización: O2.
- C.- Protección y pintado de todas las piezas metálicas. Activación pintado: C1, finalización: O3.
- D.- Ensamblado de la mecánica (motor, transmisiones, suspensiones, etc ...). Activación ensamblado: D1, finalización: O4.
- E.- Instalación eléctrica (cableados, pilotos, faros, etc ...). Activación proceso de instalación: E1, finalización: O5.
- F.- Instalación de vidrios (parabrisas, luneta, ventanillas) y accesorios (asientos, ruedas, etc ...). Activación montaje: F1, finalización: O6.
- G.- Inspección y prueba de elementos eléctricos y mecánicos (arranque motor, conexión luces, etc... ). Activación del proceso de test: G1, finalización en 15 segundos como máximo.

Los sensores S1, S2, S3, S4, S5, S6 y S7 determinarán si existen o no piezas en la tarea correspondiente.

Se pide:

1. Grafcet de nivel 2 del proceso.
2. Mapeado de E/S y marcas sobre el autómatas S5-95U de Siemens.
3. Código AWL del automatismo.

**(50 min)**

**Resolución de examen****Primer ejercicio**

1. El conjunto de ecuaciones algebrao diferenciales son:

$$C(\dot{u}_e - \dot{u}_A) = C(\dot{u}_A - \dot{u}_B) + \frac{u_A - u_B}{R1}$$

$$C(\dot{u}_A - \dot{u}_B) = \frac{u_B}{R2}$$

$$u_s = k u_B$$

Aplicando transformadas de Laplace, se conseguirá el diagrama a bloques:

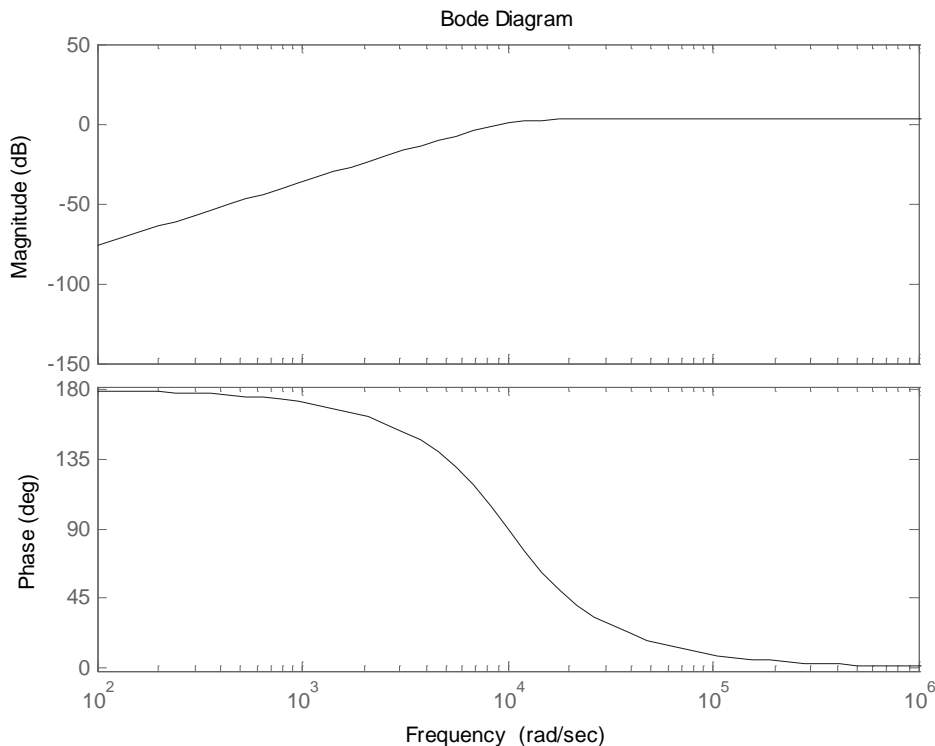
2. Empleando álgebra de bloques la FDT entre la tensión de salida y de entrada es:

$$A_v(s) = \frac{u_s(s)}{u_e(s)} = \frac{s^2 R1 \cdot R2 \cdot C^2 \cdot k}{s^2 R1 \cdot R2 \cdot C^2 + sC(2R1 + R2 - R2 \cdot k) + 1}$$

3. Por la condición de Cardano-Vietta, el coeficiente del polinomio característico deben ser todos mayor a cero. La misma conclusión se llega aplicando la tabla de Routh:

$$k_{cr} = \frac{2R1 + R2}{R2}$$

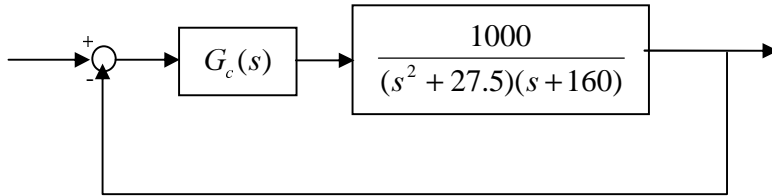
4. Para k = 1.5, el diagrama de Bode es:



**Segundo ejercicio**

1.- Diseñar el regulador de forma que el error de posición se haga nulo, la sobreoscilación sea inferior a un 25% y el tiempo de establecimiento sea inferior al 0.2s. **(5 puntos)**

El sistema queda tras operar los bloques como:



Para lograr la condición de error nulo debemos incluir una acción integral pura. Debido a las especificaciones dinámicas, posiblemente sea necesario agregar una acción derivativa. Suponemos inicialmente un PD, pero se observa que se desdoblará el cero resultante generando un PID:

Calculamos  $S_\Delta$  :

$$M_p = 0.25 \Rightarrow \theta \leq a \tan \frac{-\pi}{\ln 0.25} = 66^\circ$$

$$t_s = \frac{\pi}{\sigma} \leq 0.2s \Rightarrow \sigma \geq 15.7$$

$$S_\Delta = 16 \pm 35j$$

El regulador adopta inicialmente la forma  $G_c(s) = \frac{K(s+a)}{s}$ , aplicando el criterio del argumento (ojo hay que incluir ya el polo del regulador), obtenemos el ángulo que hay que aportar al LDR para que  $S_\Delta$  pertenezca:

$$\alpha_{160} + \alpha_{5.24j} + \alpha_{-5.24j} + \alpha_0 - 180(2k+1) = \varphi_c = \beta_a$$

$$13.6^\circ + 118^\circ + 111.7^\circ + 1140 - 180 = 176.6^\circ = \varphi_c$$

Este ángulo generaría un cero en el semiplano positivo, por lo que lo desdoblamos para obtener dos ceros (PID) con el mismo aporte angular:  $\beta_a = \frac{\varphi_c}{2} = 88.3^\circ$

$$\tan \frac{35}{a-16} = \tan 88 = 28.6 \Rightarrow a = 17.22$$

Obtenido  $a$  mediante el criterio del módulo ajustamos la acción proporcional del regulador:

$$R(s) = 6.8 \frac{(s+17.22)^2}{s}$$

El sistema viene preparado para ser controlado directamente desde el ordenador por medio de Simulink y la toolbox de RealTime. En este caso y dada la potencia de los equipos de laboratorio, se ha comprobado que Matlab sólo es capaz de cerrar el lazo de control a una frecuencia de 100Hz. Si en vez del regulador PID obtenido anteriormente se utiliza el siguiente regulador calculado considerando el sistema como continuo:

$$G_c(s) = 5(s+6)$$



2.- Dibujar el diagrama de bloques del sistema controlado por ordenador e indíquese el cálculo del sistema discreto equivalente (basta con obtener la fdt expandida en fracciones). Estudíese la validez del tiempo de muestreo utilizado si los tres polos de la cadena cerrada se sitúan en caso de utilizar un regulador continuo en los puntos del eje real -121, -29.7 y -9.6. **(2.5 puntos)**

Obtenemos por aplicación de la fórmula de los residuos el sistema discreto equivalente a la planta y el bloqueador.

$$BG(z) = (1 - z^{-1}) \sum_{\text{polos}_{\frac{G(s)}{s}}} \text{Re} s \left[ \frac{1000}{s(s+160)(s^2+27.5)} \frac{1}{1 - e^{sT} z^{-1}} \right] = \frac{0.0001(z+2.64)(z+0.17)}{(z-0.2)(z^2-1.99z+1)}$$

Comprobamos la validez del muestreo máximo permitido por el ordenador:

$$T \leq \min\left(\frac{t_s}{30}, \frac{2\pi}{10\omega_d}\right) = \min\left(\frac{t_s}{30}\right) = \frac{\pi}{30 \cdot 9.6} = 0.0109 \text{ luego } T=0.01 \text{ cumple con el criterio práctico de muestreo.}$$

3.- Obtener la función de transferencia en Z de dicho regulador mediante su discretización. Escribir en pseudocódigo del algoritmo de ordenador que lo realiza. **(2.5 puntos)**

Aplicando la transformada bilineal, obtenemos el regulador resultante de discretizar por aproximación del operador de integración del regulador continuo:

$$G_c(z) = G_c(s) \Big|_{s=\frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1}} = 1030 \left( \frac{z-0.9417}{z-1} \right)$$

Obtenemos la ecuación en diferencias que este regulador representa:

$$\{y_k\} = 1030\{x_k\} - 970\{x_{k-1}\} + \{y_{k-1}\}$$

y como consecuencia el algoritmo:

```
float itera(float ref, float in)
{
    static float y[2]={0,0}, x[2]={0,0};
    x[1]=x[0];
    x[0]=ref-in;
    y[1]=y[0];
    y[0]=1030*x[0]-970*x[1]+y[1];
    return y[0];
}
```

