1. Un tren de laminación está compuesto por cajas de rodillos que ejercen presión sobre la banda de acero para conseguir reducir su espesor desde el espesor de entrada H al espesor objetivo h^*. El espesor obtenido realmente h es función de la distancia entre rodillos en vacío (*roll gap*) g, sobre el que se puede actuar.

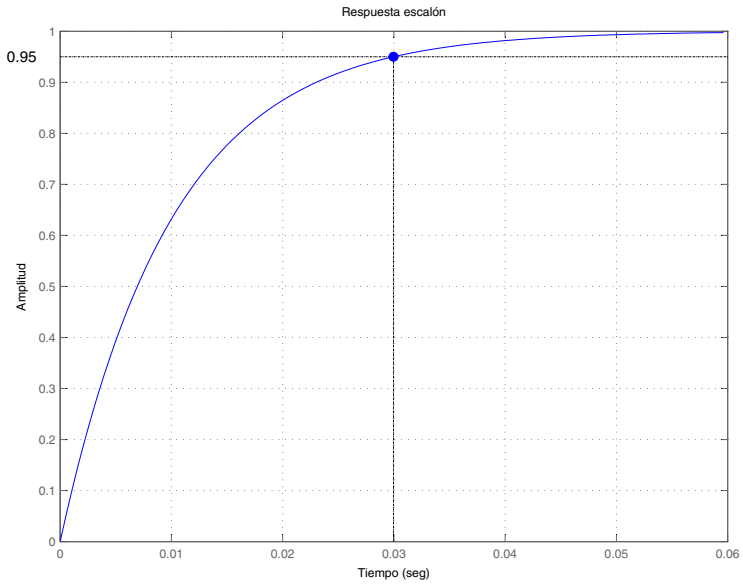
   La ecuación que relaciona el espesor obtenido, h, con el *roll gap* , g, es:

$$h(t) = \frac{W}{M+W}H(t) + \frac{M}{M+W}g(t)$$

   donde M y W son constantes y donde, además, generalmente en un tren de laminación se cumple que:

$$\frac{M}{M+W} = 1/3, \text{ y } \frac{W}{M+W} = 2/3$$

   La distancia entre rodillos se controla mediante un sistema de accionamiento cuya respuesta escalón es la de la figura.



   El espesor de entrada H se puede considerar como una perturbación que debe anularse, por ello se suele utilizar un regulador PI del tipo:

$$R(s) = K_i\frac{1}{s} + K_p$$

   cuya salida es la señal de referencia para el sistema de accionamiento. Unos valores típicos para las constantes son $K_i = 4$ y $K_p = 2$.

   (a) Dibujar el diagrama de bloques completo indicando todas las señales involucradas (h, H, h^* y g al menos).

   (b) Dibujar el mapa de polos y ceros del sistema e indicar, de manera aproximada, la respuesta cuando ocurre un escalón de 3 unidades en el espesor objetivo h^* en el instante $t = 0$ s y otro en el espesor de entrada H de una unidad en el instante $t = 10$ s.

   (c) Generalmente las variaciones en el espesor de entrada H se pueden modelar como senoidales. Si necesitamos que el sistema atenúe con al menos 3 dBs las variaciones de este espesor de entrada y suponemos que generalmente éstas tienen frecuencias inferiores a 10 rad/s, razonar si el sistema compensado cumple dicho requerimiento.

2. Dado un sistema cuya función de transferencia viene dada por la ecuación:

$$G(s) = \frac{13500}{s^4 + 43s^3 + 870s^2 + 6750s + 13500} = \frac{13500}{(s+3)(s+10)(s^2+30s+450)}$$

Para controlarlo se pretende implementar un control por computador del mismo.

Se pide:

(a) Calcular la **ecuación en diferencias** que se de debe implementar en el computador para que el sistema resultante tenga un tiempo de establecimiento (t_s) menor o igual a 0.314 s, y una sobreoscilación (M_p) menor o igual a un 2 % (escoger para ello el periodo de muestreo que se considere apropiado) [1].

(b) Dibujar la respuesta aproximada del sistema resultante ante una variación de tipo escalón unitario en la referencia.

[1] Si es necesario usar una acción diferencial, se recomienda calcular el regulador ideal