

Apellidos, Nombre, DNI: PROFESOR DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS

Resuelva las siguientes cuestiones. **Justifique** y explique con claridad sus respuestas. Indique en qué **figuras** se apoya para sus razonamientos, y **acote** donde haga mediciones. Aparte de la corrección en las respuestas se valorará la presentación del documento (legibilidad, ortografía, expresión, etc.). Utilice esta hoja para responder. Puede usar los márgenes para cálculos y planteamientos.

1. El laboratorio 2.2.19 del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática dispone de unos módulos electrónicos para la realización de prácticas de laboratorio. Uno de los módulos sirve como fuente de alimentación de $\pm 15V$ para el resto, y como generador de señales. El resto son un regulador PID, y sistemas electrónicos de primer y segundo orden, con entradas y salidas de tensión en los niveles indicados.

Uno de los módulos de primer orden se conecta en serie con otro de segundo orden, tal como muestra la figura 1. Para caracterizar la planta formada se conecta el generador de señales a la entrada del sistema de primer orden, como muestra la figura 1, y se fijan las sondas del osciloscopio a la entrada de la planta (Y_1) y a la salida (Y_2). Imponiendo en la entrada señales senoidales a distintas frecuencias, se observan las respuestas que se muestran en la figura 3. La figura 3(a) corresponde a la mínima frecuencia disponible con el generador, y puede considerarse baja frecuencia.

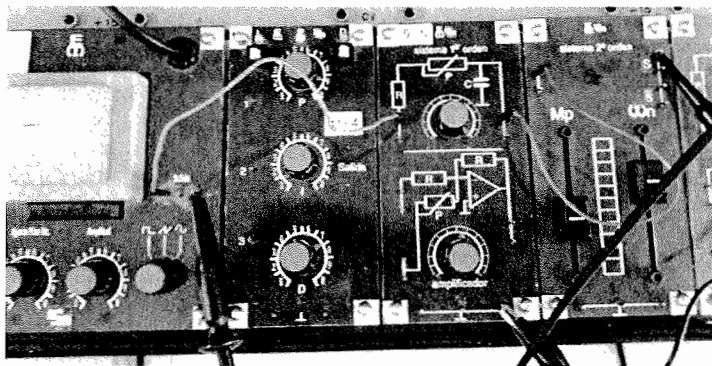


Figura 1: Configuración de la planta

Posteriormente, para poder controlar la tensión de salida de dicha planta se añade el módulo PID, que incorpora un sumador de sus tres entradas ($++-$), conectando a la entrada 3, de signo menos, la señal de salida de la planta, como puede verse en la figura 2. La referencia la proporciona el generador de señales que se conecta a la entrada 1 del módulo PID, y se colocan las sondas del osciloscopio en la referencia (Y_1) y en la salida de la planta (Y_2). Utilizando referencias de tipo escalón de distintos valores se obtienen las respuestas que se observan en la figura 4, manteniendo en todos los casos las **ganancias del regulador invariables**. Nótese que el nivel de referencia para ambos canales es la línea inferior de la pantalla.

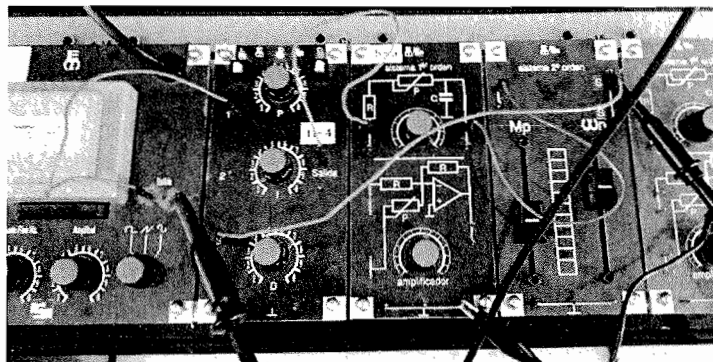


Figura 2: Configuración del sistema de control

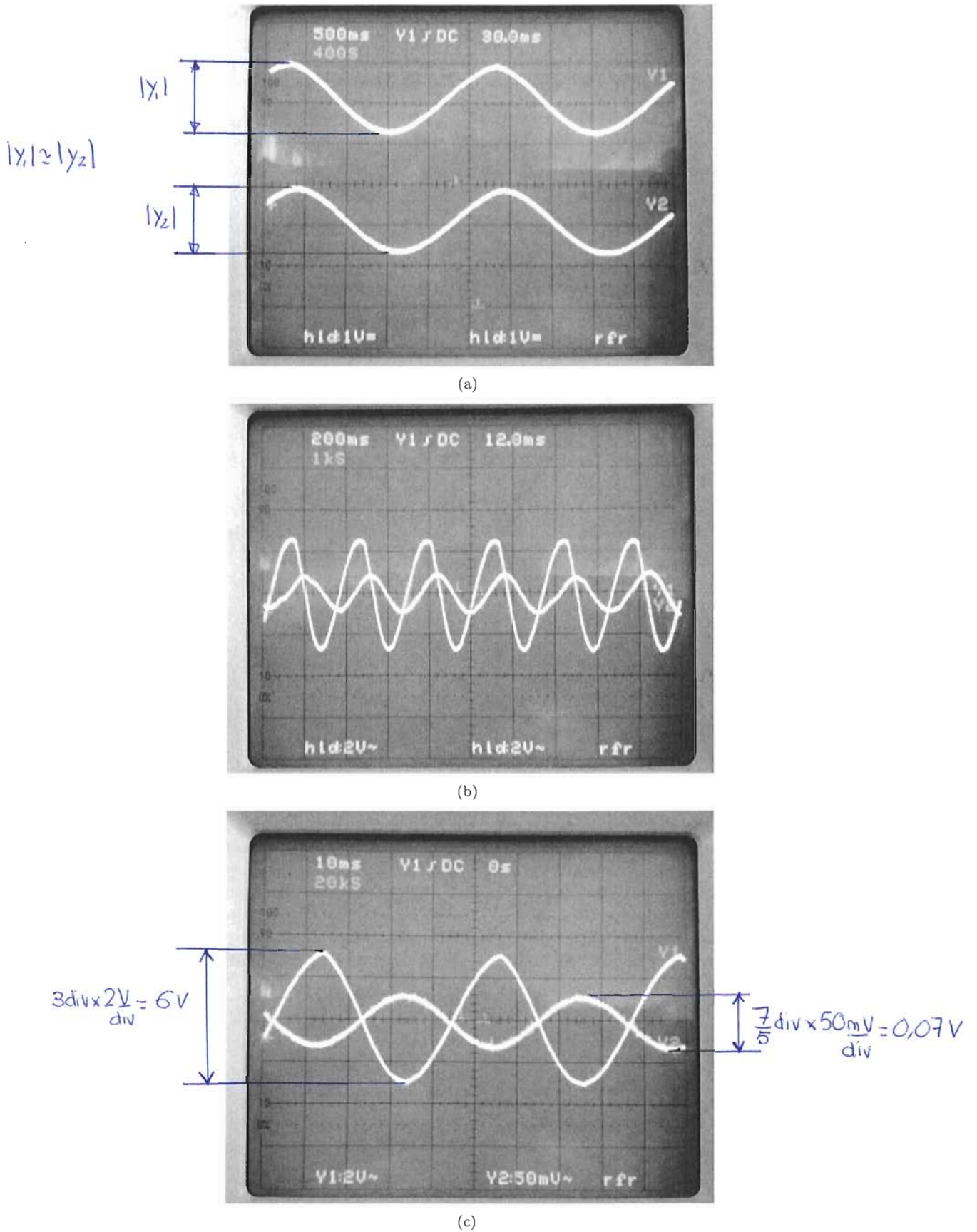
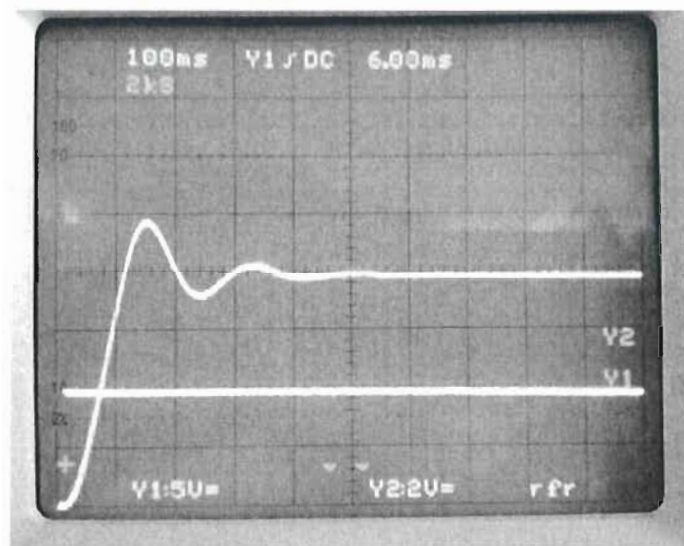
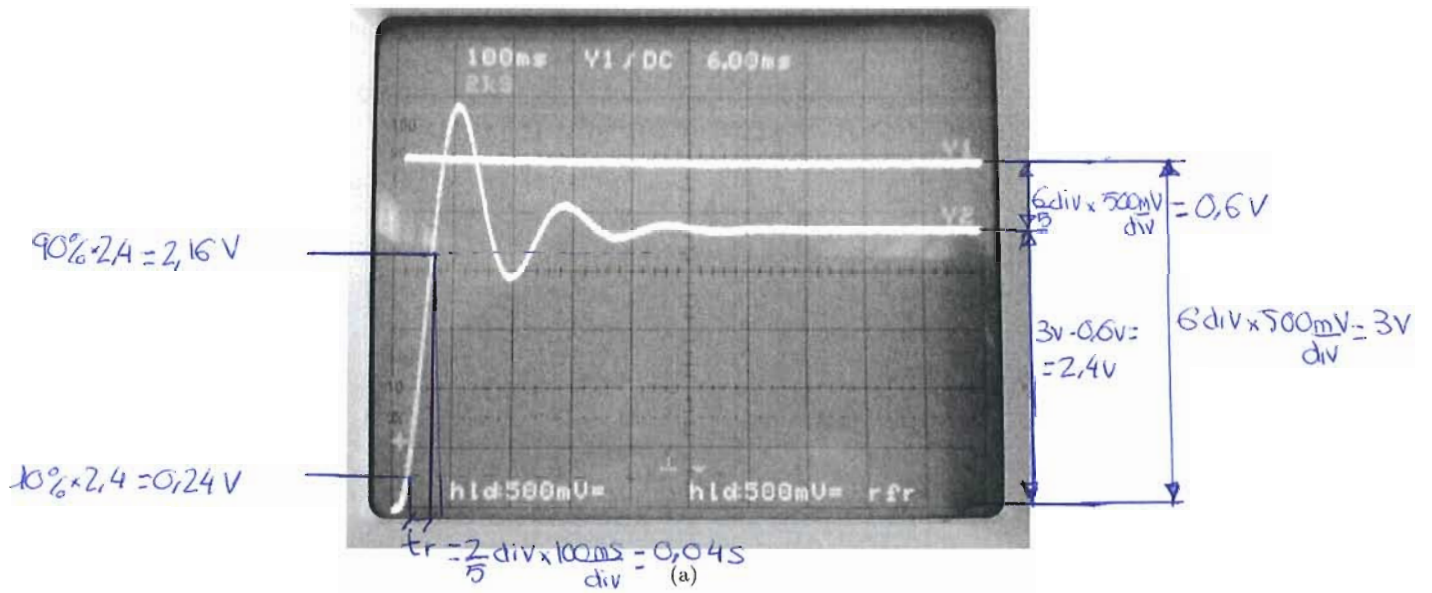
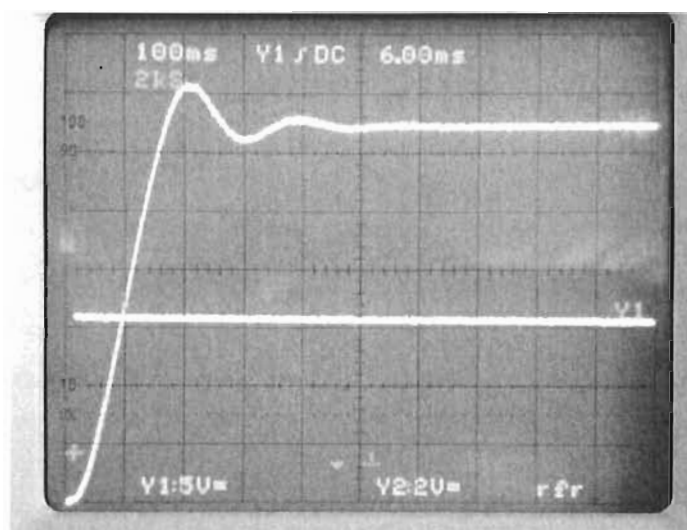


Figura 3: Respuesta de la planta ante entradas senoidales a distintas frecuencias. Nota: preste atención a las escalas.



(b)



(c)

Figura 4: Respuesta del sistema de control ante entrada escalón. Nota: preste atención a las escalas.

(a) (1.5 pt.) Si se utilizara un regulador proporcional ¿cuál sería la ganancia límite para controlar la planta?

El margen de ganancia lo obtenemos de la figura 3.c, donde las señales están desplazadas $+180^\circ$.

$$MG = \frac{|Y_1|}{|Y_2| \cdot 180^\circ} = \frac{6}{0,07} = \underline{\underline{85,7}}$$

(b) (1.5 pt.) ¿Cuál es el margen de fase de la planta?

La planta es de tercer orden, por tanto a frecuencia cero tiene desfase nulo. Como se ve en la figura 3.a, la amplitud de entrada y salida es prácticamente igual, con la frecuencia más baja disponible en el generador, por tanto podemos suponer que a frecuencia 0, $|G(s)| = 1$. Esto nos da un margen de fase $MF = 180^\circ$.

(c) (2 pt.) Sabiendo que el regulador utilizado para controlar la planta tiene el formato $k_p + \frac{k_i}{s}$, determine el valor de las ganancias k_p y k_i .

En la figura 4.a podemos observar que la respuesta tiene error de posición, por tanto $k_i = 0$. De esta figura podemos obtener $e_p = \frac{0,6}{3} = 0,2 = 20\%$. Como $e_p = \frac{1}{1+K_p} \rightarrow K_p = 4$

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} D(s)G(s) = k_p \cdot G(s) = k_p \cdot 1 \rightarrow k_p = \underline{\underline{4}}$$

↙ ganancia proporcional

(d) (2.5 pt.) Determine el ancho de banda del sistema controlado. Valore la exactitud de su respuesta e indique cómo podría mejorar la misma.

Aunque el sistema es de tercer orden, la respuesta está claramente dominada por dos polos complejos conjugados, por tanto podemos usar la aproximación $tr \approx 1,8$ válida para un sistema de estas características para obtener ω_n . Como el ancho ω_n de banda está a una frecuencia próxima a ω_n ($\omega_n \leq \omega_{bw} \leq 2\omega_n$) podemos usar dicho valor como aproximación.

El tiempo de subida t_r podemos obtener de la figura 4.a $\rightarrow tr = 0,04s$, por tanto

$$\omega_n = \frac{1,8}{0,04} = 45 \text{ rad/s} \rightarrow 45 \text{ rad/s} \leq \omega_{bw} \leq 90 \text{ rad/s}$$

Podríamos mejorar la exactitud disminuyendo el T/div del osciloscopio, para aumentar la precisión en la medida de tiempos.

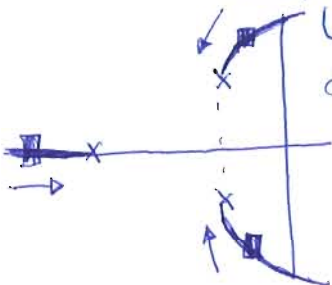
(e) (2.5 pt.) En la figura 4 se observan diferencias en las respuestas ante entrada escalón, aún cuando la planta y el controlador son idénticos en todos los casos. Explique cuáles son esas diferencias y exponga razonadamente el origen de las mismas.

Al aumentar el escalón de referencia, observamos que disminuye el valor de la sobrees oscilación y aumenta el tiempo de pico. Esto no se corresponde a un comportamiento lineal.

La razón es la saturación de la acción de control. La tensión de alimentación de los módulos es de 15V, por tanto, con una ganancia proporcional de 4, la acción de control se saturará (si partimos de referencia 0) con referencias superiores a $\frac{15}{4} = 3,75V$, desde el instante inicial y hasta que el error sea menor que este valor.

Esta saturación hace que el sistema de control vea una ganancia efectiva inferior a la del regulador mientras dura la saturación. En nuestro caso, el lugar de las raíces correspondiente al sistema es similar al dibujado a continuación. Durante la saturación,

la disminución de la ganancia efectiva hace que los polos en cadena con cada se desplacen de acuerdo indican las flechas, hacia posiciones de menor sobrees oscilación y menor ω_d (más t_p), que concuerda con los resultados experimentales. El error de posición no varía ya que el régimen permanente está por debajo de 15V en todos los casos.



No olvide escribir el nombre y apellidos antes de entregar.