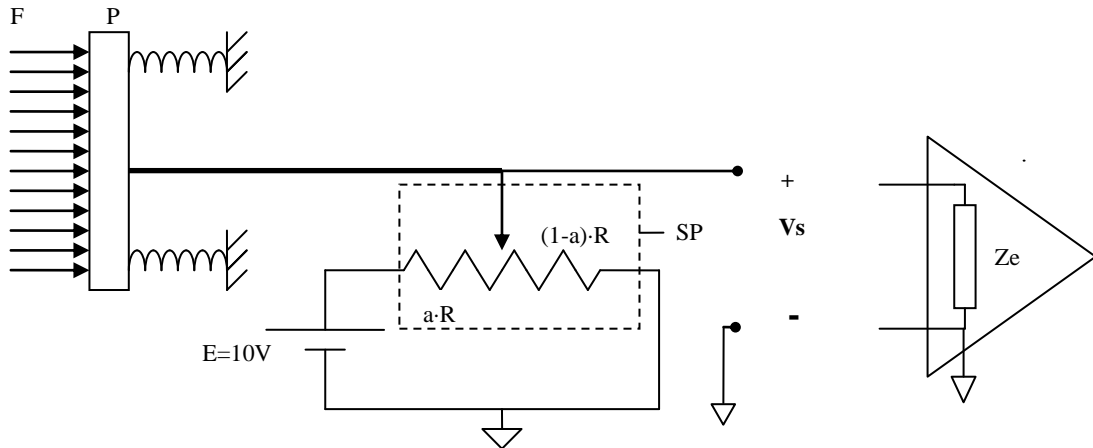


### Problema 1

El esquema de la figura representa el funcionamiento de un transductor de fuerza elástico para la medición de la fuerza ( $F$ ) ejercida sobre una plataforma ( $P$ ). Para ello se recurre al empleo de un sensor de posición potenciométrico (SP). El funcionamiento es el siguiente: la plataforma está unida a una varilla solidaria al extremo del cursor central de un potenciómetro, si la fuerza aplicada es nula el valor de "a" es nulo, mientras que si es máxima el valor de "a" es 1. Se pide:

1. Calcular el equivalente de Thévenin del sistema de señal.
2. Determinar su topología.
3. Representar gráficamente la evolución de la impedancia de salida del sistema en función del parámetro "a".

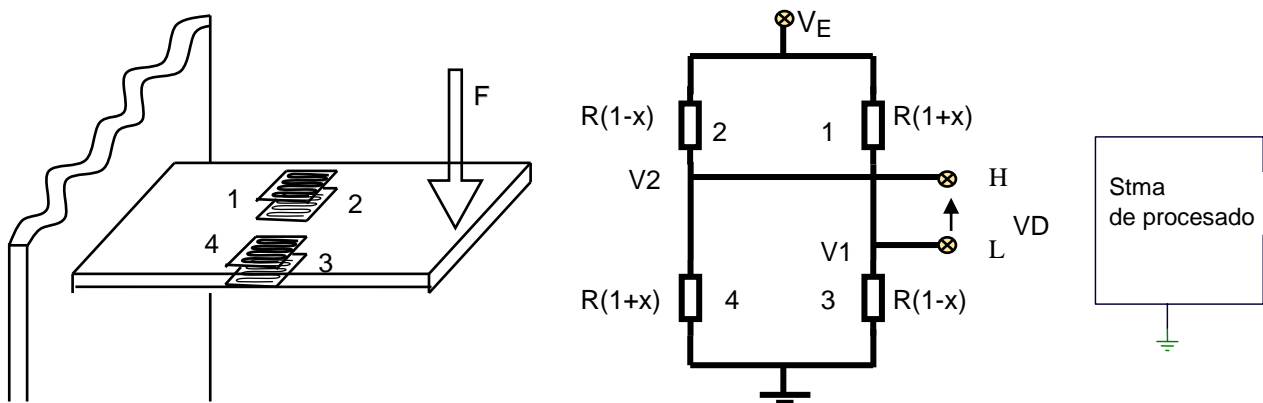


### Problema 2

Se nos encarga la elaboración de un sistema electrónico que suministre información acerca de la elasticidad estructural de una nave industrial. Para resolver dicho problema se decide situar cuatro galgas extensiométricas en los puntos de soldadura entre vigas que soporten el máximo peso de la estructura. Las galgas están conectadas a un segundo bloque que amplificará y gestionará la información mediante una tarjeta de adquisición de datos, con 16 canales no diferenciales y 8 diferenciales.

Nota: Las galgas extensiométricos son sensores resistivos utilizados en la medida de esfuerzos mecánicos en materiales, en los que la resistencia efectiva entre sus extremos se modifica con el esfuerzo aplicado sobre la galga.

1. Calcular el equivalente de Thévenin del sistema de señal visto desde los terminales H y L.
2. Determinar su topología
3. Serviría para procesar esta señal un sistema cuya etapa de entrada fuera no diferencial



### Problema 3

Se denomina condensador diferencial al formado por tres placas planas paralelas. En general las placas exteriores suelen ser fijas y la placa central móvil, en respuesta a la variable a detectar. Se forman así dos condensadores de capacidades  $C_1$  y  $C_2$  ( figura 1) cuyo valor está dado por:

$$C_1 = \frac{\varepsilon A}{d-x} \quad C_2 = \frac{\varepsilon A}{d+x}$$

Siendo:

$\varepsilon$ : constante dieléctrica del medio

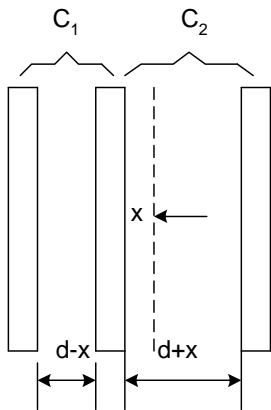
A: Área de las placas

d: Punto medio de la distancia entre las placas externas.

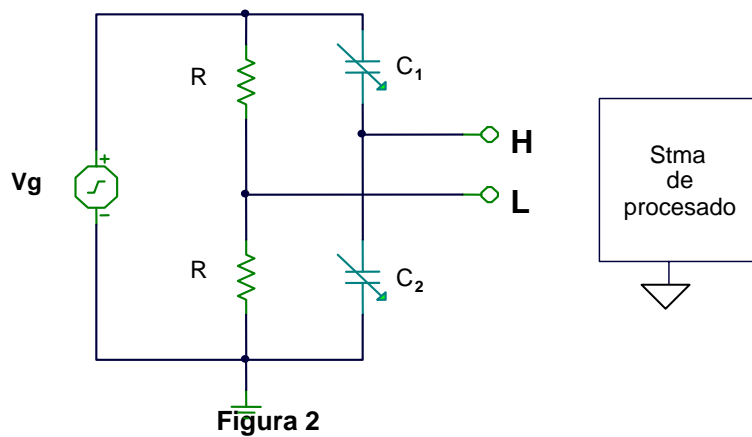
Aplicaciones típicas de este tipo de sensores son los micrómetros, acelerómetros e inclinómetros

Los cambios en la capacidad pueden ser medidos mediante puentes de alterna, siendo especialmente atractivos en el caso del condensador diferencial. (Figura 1)

1. Calcular el equivalente de Thevenin del puente de alterna de la Figura 2 donde  $C_1$  y  $C_2$  representan las dos capacidades de un condensador diferencial
2. Determinar la topología de la señal
3. ¿Por qué se utiliza una fuente de alterna  $V_g$ ?
4. Serviría para procesar esta señal un sistema cuya etapa de entrada fuera no diferencial



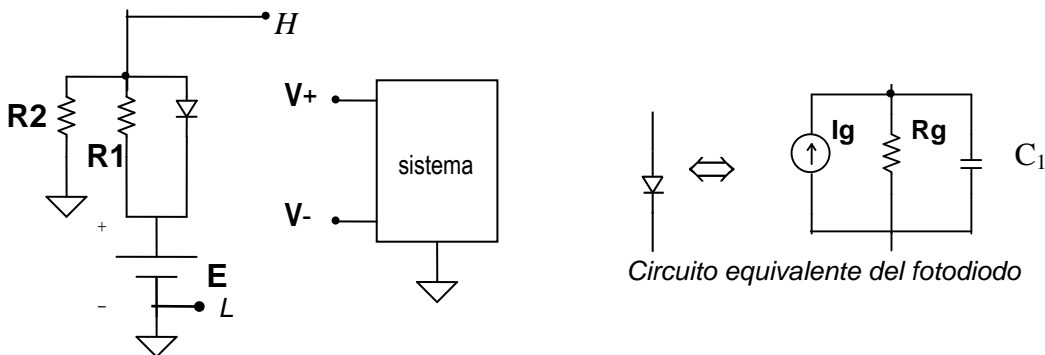
**Figura 1**



**Figura 2**

### Problema 4

En el esquema eléctrico de la Figura 1 se representa el circuito de polarización de un sensor de luz implementado por un fotodiodo. Se desea realizar un análisis de la señal entregada por dicho circuito para el posterior diseño de un sistema acondicionador de señal.



**Figura 1**

Se pide:

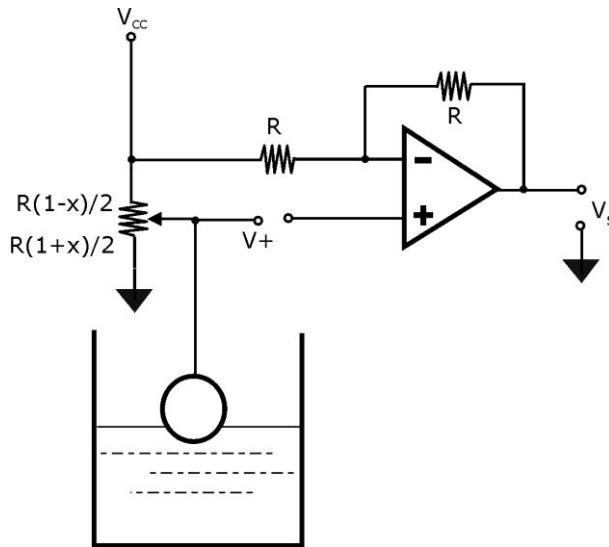
1. Representar y calcular el equivalente de Norton visto desde H y L. Se considerará la impedancia compleja del condensador,  $1/j\omega C_1$ . *Sugerencia:* para obtener la intensidad del equivalente de Norton, se conectará el terminal H a masa y se aplicará el teorema de superposición.
2. Justificar la topología de la señal y el tipo de entrada (diferencial versus no diferencial) del sistema de procesado.

**Datos:**  $I_g=0.070 \mu A$ ;  $R_1=3 k\Omega$ ;  $R_2=2 k\Omega$ ;  $C_1=1.5 pF$ ;  $R_g=1 M\Omega$ ;  $E= 5 V$ .

---

### Problema 5

En el esquema eléctrico de la figura se representa un detector de nivel de líquido de un tanque que se basa en medir la posición de una boya flotante. El sistema está constituido por un puente resistivo que incluye un sensor de posición potenciómetro unido a la boya. La variable  $x$  indica el nivel de líquido y su valor está comprendido entre -1 (depósito vacío) y +1 (depósito lleno).



Se pide:

1. Representar y calcular el equivalente de Thévenin visto desde  $V+$ .
2. Justificar la tipología de la señal.
3. Calcular la tensión de salida ( $V_s$ ) para el depósito a media carga.

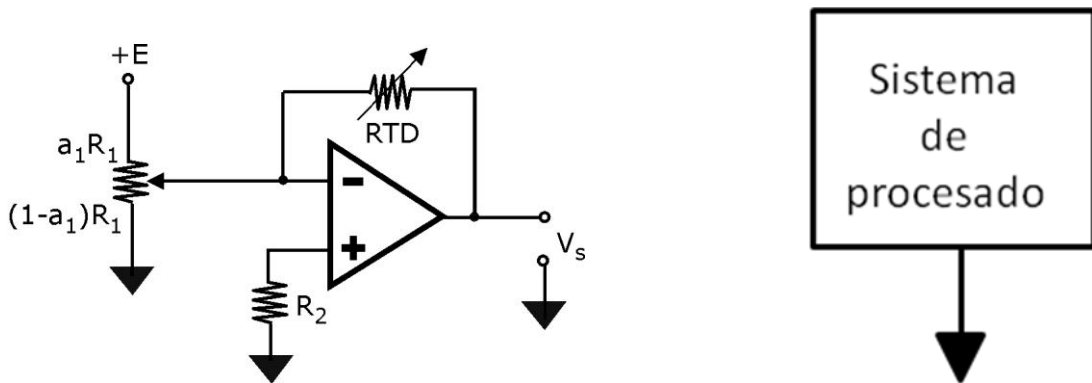
Datos:  $R = 1 k\Omega$ ;  $V_{cc} = 15 V$

**Problema 6**

Se desea medir la temperatura de un invernadero empleando un sensor resistivo tipo RTD (*Resistor Temperature Detector*), es decir mediante una resistencia cuyo valor varía en función de la temperatura (T). El sistema de señal se muestra en la siguiente figura. Se pide obtener el equivalente de Thevenin del sistema de señal y determinar su tipología.

La RTD tiene una expresión que depende de la temperatura de la forma  $R(T) = R_0 (1 + \alpha (T - T_0))$  donde  $R_0 = 100 \Omega$ ,  $\alpha = 0.001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \Omega$ ,  $a_1 = 0.5$ ,  $E = 10 \text{ V}$ .

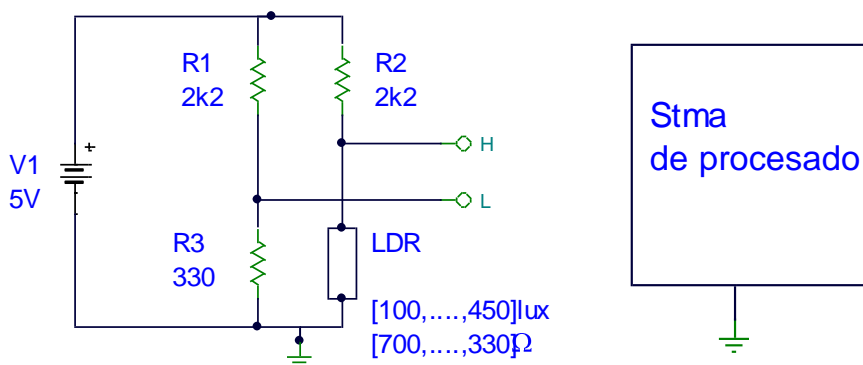


**Problema 7**

La siguiente figura representa un sistema de señal y un sistema de procesado, basado en amplificadores operacionales. Los rangos de luminosidad y resistencia del sensor (LDR) están especificados en la figura. Se pide:

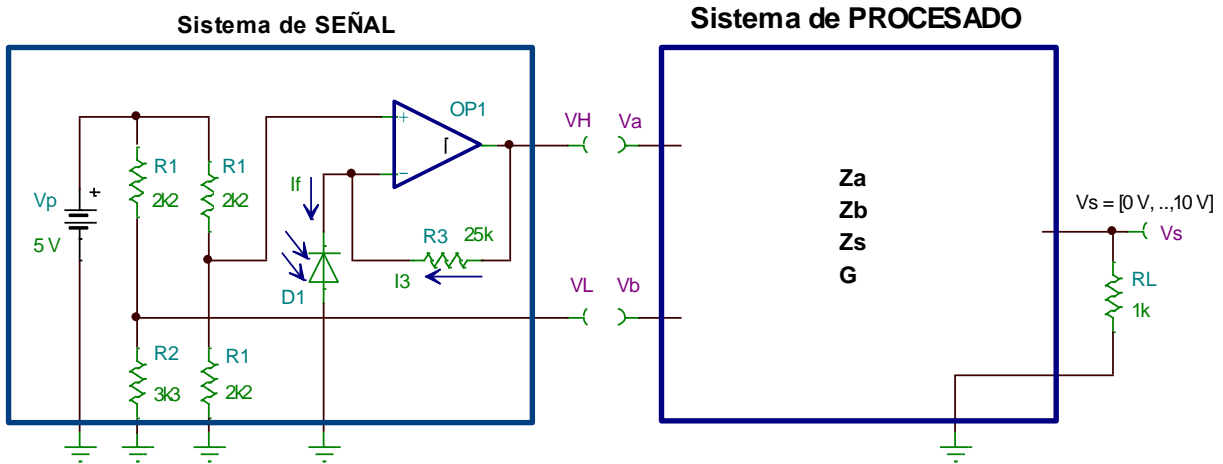
1. Calcular el equivalente de Thèvenin visto desde los terminales H y L.
2. Razona la topología del sistema de señal.
3. ¿Podría el sistema de procesado tener una entrada no diferencial?

**Nota:** Las LDR son fotorresistencias que se emplean en la medida y detección de cambios en la luminosidad. Se trata de sensores bastante sensible para bajos niveles de luminosidad, aunque su dependencia con la temperatura es muy acusada. Otro inconveniente es su lentitud de respuesta ya que presentan constantes de tiempo del orden de segundos lo que limita su uso a aplicaciones de baja frecuencia.

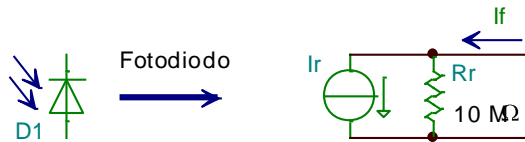


**Problema 8**

El esquema adjunto permite detectar el nivel de iluminación de una sala mediante el empleo de un fotodiodo (D1).



El elemento sensor del sistema de señal es un fotodiodo cuyo circuito equivalente es el siguiente:



y cuyo rango de  $I_f$  está entre  $20 \mu A$  y  $50 \mu A$ .

Para el sistema de señal:

1. Calcula y dibuja el circuito equivalente de Thévenin visto desde el terminal VH a masa y desde el terminal VL a masa, para el rango de trabajo especificado para el fotodiodo. Considerar el amplificador operacional (OP1) como ideal.
2. Razona e indica la topología del sistema de señal.

Para el sistema de procesado:

3. Dibuja el cuadripolo equivalente al sistema de procesado. Razona la topología del sistema de procesado.  $Z_a$  y  $Z_b$  son impedancias de entrada por cada rama.
4. Suponiendo nulo el error por adaptación de impedancias, calcular el valor ideal de la ganancia del sistema de procesado (G) para que se cumpla el rango de tensiones de salida especificado en la figura.
5. Calcula los valores de  $Z_a$  y  $Z_b$  para que el error relativo cometido por la desadaptación de las impedancias, al conectar el sistema de señal al sistema de procesado, sea inferior al 0,01 % en cada caso (por cada rama).

### Problema 9

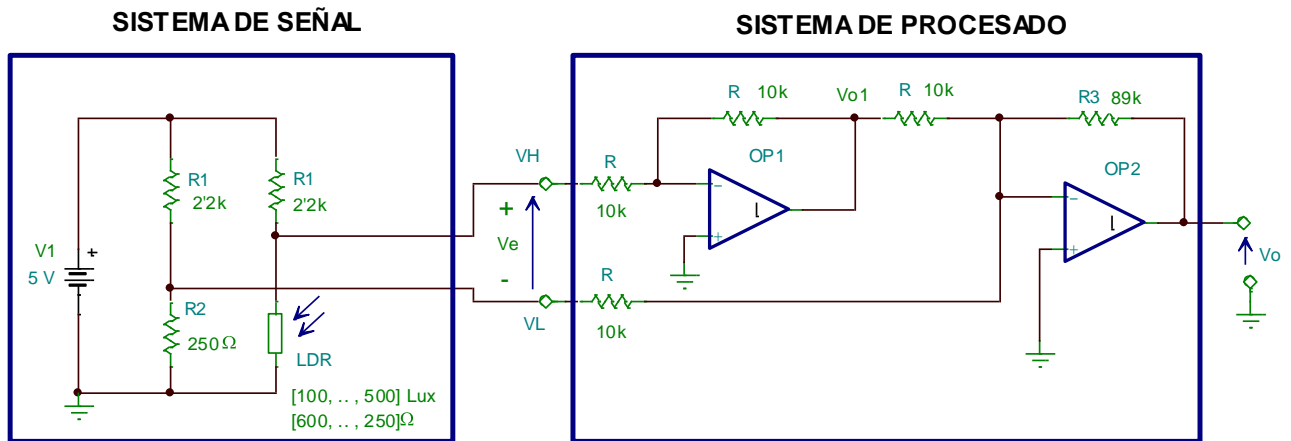
La figura representa un sistema de señal y un sistema de procesado, basado en amplificadores operacionales. Los rangos de luminosidad y resistencia del sensor (LDR) están especificados en la figura. Calcular:

Para el sistema de señal:

- 1) Circuito equivalente de Thevenin, del sistema de señal, visto desde los terminales  $V_H$  y  $V_L$ .
- 2) Razona la topología del sistema de señal.

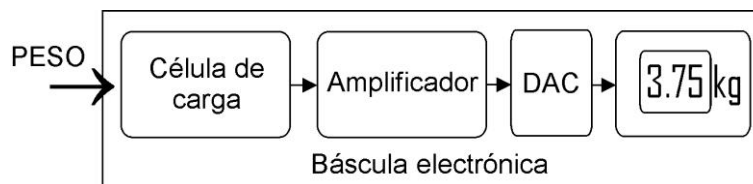
Para el sistema de procesado:

- 3) Expresión de la tensión de salida,  $V_o$ , en función de  $V_H$  y  $V_L$  y valor que toma dicha tensión para los límites del rango de iluminación de la LDR:  $V_o$  (100 Lux) y  $V_o$  (500 Lux).
- 4) Dibuja el cuadripolo equivalente al sistema de procesado y calcula sus parámetros:  $G$ ,  $Z_{eH}$ ,  $Z_{eL}$  y  $Z_s$ .
- 5) A partir del circuito equivalente de Thevenin, para el sistema de señal, y del cuadripolo equivalente al sistema de procesado, calcula el error por desadaptación de impedancias, respecto a cada terminal  $V_H$  y  $V_L$  por separado, que se comete al unir ambos sistemas. ¿Cómo se podría mejorar dicho error? Dibuja el sistema de procesado con los bloques necesarios según tu solución.



### Problema 10. Diseño de una báscula electrónica y estimación de sus errores

Una báscula electrónica es un equipo que permite medir peso, por ejemplo el peso de una persona. Para ello se usa un sensor o transductor denominado célula de carga, el cual entrega una tensión eléctrica proporcional al peso aplicado. La Fig. 10-1 muestra un posible esquema de bloques del equipo completo. La señal proporcionada por la célula de carga se amplifica, se digitaliza mediante un convertidor analógico-digital (ADC), y el resultado se visualiza en un display.



Las características de la célula de carga son:

Resistencia de salida:  $300-600\Omega$       Sensibilidad (ganancia):  $10\text{ mV/kg}$

Peso máximo (fondo de escala):  $250\text{ kg}$

En este problema se deberán realizar cálculos que permitan, por un lado, determinar algunos parámetros de diseño, y por otro, caracterizar el error de la báscula electrónica de cara a confeccionar unas hojas de especificaciones del equipo completo.

- 1) El primer paso de diseño es seleccionar la ganancia del amplificador. Teniendo en cuenta que lo que se pretende es que la báscula sea de uso humano y su límite de peso sea de 200 kg, selecciona la ganancia que deberá tener el amplificador para que la entrada del DAC sea 10 V cuando el peso es máximo.
- 2) Representa la función de transferencia ideal de los subsistemas célula de carga, amplificador, y del sistema célula de carga+amplificador.
- 3) Teniendo en cuenta que el amplificador tiene una impedancia de entrada de 10 MΩ. Calcula el error por desadaptación de impedancias entre la salida de la célula de carga y la entrada del amplificador. Explica que significa este error desde el punto de vista del usuario.

Teniendo en cuenta que el amplificador tiene las siguientes características:

- Tensión de alimentación de 10 V, y corriente consumida 400 mA
- Error de offset (RTI, referida a la entrada): 1 mV
- Error de ganancia:  $\pm 0.1\%$
- Ruido interno (RTI, referido a la entrada): 20  $\mu\text{V}$  (pico a pico)

Realizar los siguientes cálculos:

- 4) Calcula la potencia disipada por el módulo amplificador.
- 5) Calcula el error de medida (expresado en kg) debido al error de offset del amplificador.
- 6) Calcula el error de medida (expresado en kg) debido al ruido interno del amplificador.
- 7) Combinando los resultados de los apartados 3, 5 y 6, y teniendo en cuenta el error de ganancia del amplificador, estima el error de medida total (expresado en kg) de la báscula electrónica.

=====

**Problema 11.** Sistema de amplificación multietapa para amplificar una señal de vibración

El registro de las vibraciones es de gran importancia no sólo para aplicaciones en sismología, sino por ejemplo para monitorizar las incidencias en un envío de mensajería. Para poder registrar vibraciones se puede hacer uso de un acelerómetro. Consideremos que se necesita montar un sistema para registrar vibraciones a partir de un acelerómetro que mide en el rango de  $\pm 0.5$  G y que proporciona una señal simétrica de  $\pm 2$  mV. La idea es convertir la señal proveniente del sensor en una señal con una amplitud de unidades de voltios, para por ejemplo, ser registrada digitalmente. Para ello se requerirá de una ganancia de aproximadamente 1000 V/V. Se decide conectar en cascada (serie) dos módulos amplificadores de los que ya se dispone, y que ninguno de ellos llega a los 1000 V/V de ganancia. Las características de cada uno de los subsistemas se detallan a continuación.

	<b>Módulo 1</b>	<b>Módulo 2</b>
<b>Tensión de offset (RTO)</b>	6 mV	5 mV
<b>Ganancia de tensión ideal</b>	100 (40dB)	10 (20dB)
<b>Ganancia de tensión real</b>	40 $\pm$ 0.02 dB	20 $\pm$ 0.018 dB
<b>Ruido máximo a la salida</b>	15 $\mu\text{V}$ (pico a pico)	10 $\mu\text{V}$ (pico a pico)
<b>Máxima corriente a la salida</b>	500 mA	700 mA
<b>Capacidad a la salida</b>	2 nF	1 nF
<b>Tensión de alimentación (simétrica)</b>	$\pm 15$ V	$\pm 15$ V
<b>Corriente consumida</b>	1.5 A	1.8 A

Ancho de banda (pequeña señal)	10 kHz	15 kHz
--------------------------------	--------	--------

Una vez conectados en serie, se desea valorar cuál será la exactitud del sistema completo, así como otras características de funcionamiento. Por ello se pide:

- 1) Calcular la ganancia (sensibilidad) del acelerómetro.
- 2) Calcular la exactitud del circuito completo de amplificación expresada como unidades de aceleración. Calcular el valor exacto del error para el caso de no aceleración (0 G) y para el fondo de escala.
- 3) Representar la función de transferencia ideal del sistema amplificador completo.
- 4) Las señales de vibración contienen frecuencias entre 0 y 10 kHz. Para comprobar si con el sistema propuesto es posible cubrir ese margen, estimar la máxima frecuencia de la señal de entrada que se puede procesar a partir de las especificaciones de máxima corriente y capacidad a la salida de cada amplificador, así como del ancho de banda en pequeña señal.
- 5) Estimar la potencia total disipada en el sistema.

=====

### Problema 12. Modificación de la respuesta en baja frecuencia de un amplificador DC

Se dispone de un módulo amplificador que tiene las siguientes características:

- Ganancia = 40 dB
- Frecuencia de corte superior = 10 kHz
- Entrada diferencial
- Impedancia de entrada vista desde cada terminal a masa =  $10\text{ M}\Omega$
- Impedancia de salida =  $50\ \Omega$
- Tensión de alimentación = 20 V (consumo de 0.75 A)

Se quiere seguir utilizando el módulo pero se requiere bloquear las frecuencias bajas, en concreto aquellas por debajo de 100 Hz. Para ello se decide montar una red diferencial a la entrada formada por un condensador C y una resistencia R. Habrá que diseñar convenientemente los valores de estos dos componentes.

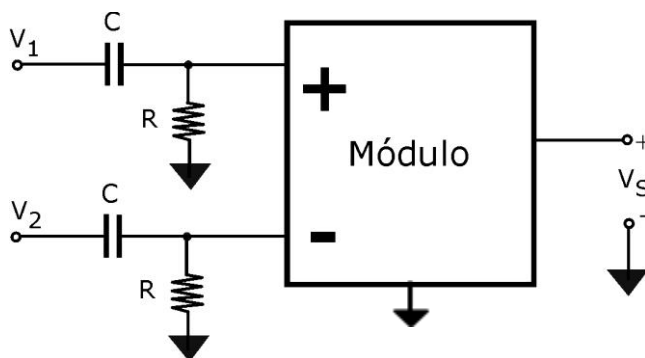


Figura 12-1



- 1) Calcular el valor de R y de C para que el nuevo sistema bloquee las frecuencias por debajo de 100 Hz y la impedancia de entrada desde cada terminal ( $V_1$  y  $V_2$ ) del conjunto siga siendo superior a  $1\text{ M}\Omega$ . Para el cálculo de la impedancia suponer frecuencias medias (C se puede considerar en cortocircuito).
- 2) Calcular la expresión de la ganancia total del nuevo sistema (red RC + módulo amplificador) en función de  $j\omega$ , o sea, la expresión.

$$G_T(j\omega) = \frac{V_s}{V_1 - V_2}(j\omega)$$

- 3) Representar el diagrama de Bode (módulo y fase) de dicha función
- 4) Potencia disipada por el módulo amplificador.

**Problema 13.** Sistema electrónico para la medida de presión hidráulica

El sensor de presión hidráulica es un sensor basado en un puente con cuatro galgas extensiométricas (resistencias que varían su valor óhmico con la deformación) posicionadas sobre un diafragma de silicona que flexa por efecto de la presión. El circuito eléctrico del sensor de presión es el que se muestra en la Fig. 13-1. El fabricante del sensor proporciona las siguientes características:

- Sensibilidad =  $50\ \mu\text{V}/\text{mmHg}$
- Alimentación =  $10\ \text{V}$
- Resistencias del puente =  $150\text{-}200\ \Omega$

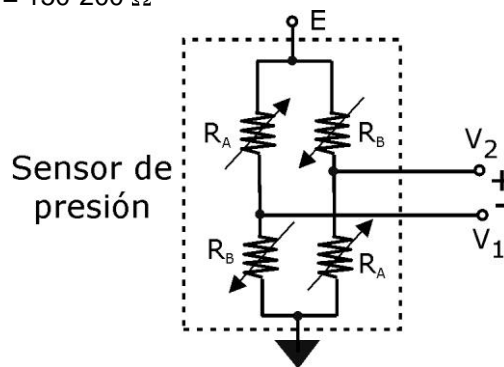


Figura 13-1

Para poder amplificar la señal proveniente del sensor se empleará un amplificador de entrada diferencial  $V_e = V_2 - V_1$  y salida no diferencial  $V_s$  basado en un AO y conectado a una resistencia de carga  $R_L$  (Fig. 13-2).

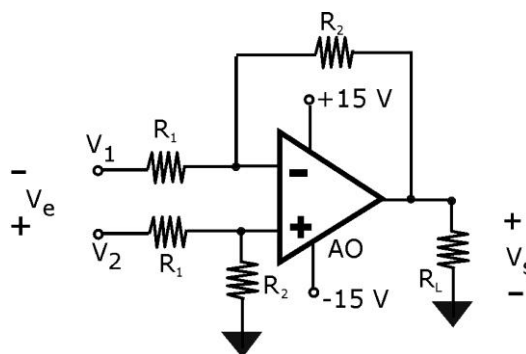


Figura 13-2

- 1) Calcular el equivalente de Thevenin de señal del sensor de presión.

- 2) Calcular el valor de los componentes  $R_1$  y  $R_2$  para lograr una ganancia tal que permita tener a la salida del amplificador una tensión de  $\pm 10$  V para una presión de  $\pm 200$  mmHg, y al mismo tiempo el error por desadaptación de impedancias entre el sensor y el amplificador sea del 0.1%.
- 3) Calcular la corriente máxima que circula por la salida del AO y determinar los posibles valores de resistencia de carga ( $R_L$ ) a conectar en la salida del AO.
- 4) Si la señal de presión tiene componentes de frecuencia entre 0 Hz (continua) y 20 Hz, estimar si el amplificador cumpliría permitiendo trabajar a estas frecuencias si se emplea un AO 741 o un AO TL081.

**Problema 14.** Amplificador de audio de dos etapas

Se dispone de dispositivo de almacenamiento digital de audio (MP3) y se desea poder oír la música mediante un pequeño altavoz de 5 W y 10  $\Omega$ . El reproductor tiene una salida de  $\pm 7$  mV de amplitud y una impedancia de salida de 50  $\Omega$ . Se necesitará diseñar un amplificador para conectar la salida del MP3 al altavoz. Dicho amplificador deberá tener una ganancia adecuada y ser capaz de reproducir sólo las frecuencias de audio, es decir entre 20 Hz y 20 kHz. La Fig. 14-1 muestra un esquema posible del circuito a diseñar. Está basado en dos AOs 741 alimentados a  $\pm 15$  V.

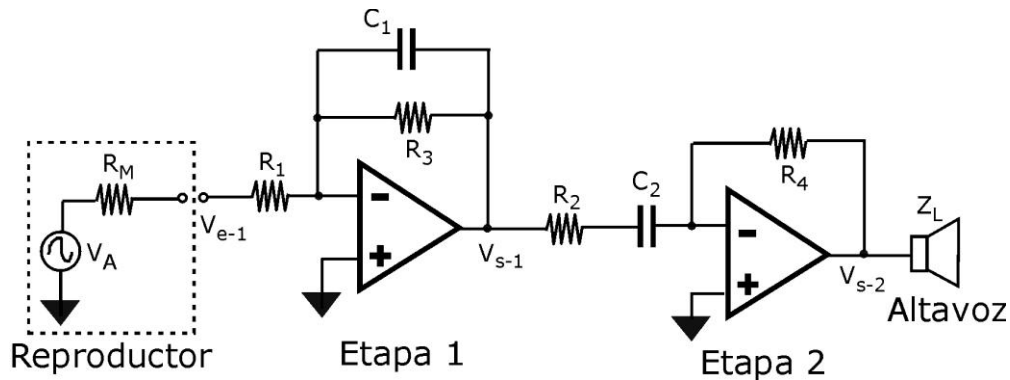


Figura 14-1

- 1) Determinar la ganancia en tensión de ambas etapas para lograr una máxima potencia de 5 W en el altavoz para una tensión de entrada de 1 mV. Elegir una ganancia para la primera etapa diez veces mayor que la segunda.
- 2) Determinar la impedancia de entrada de la etapa 1 para que el error de adaptación de impedancias entre la salida del reproductor y la entrada de la primera etapa sea 1%.
- 3) Analizar el circuito por etapas, obteniendo la función de transferencia en función de  $j\omega$  de cada etapa, es decir la expresión  $V_{s-1}/V_{e-1}$  y  $V_{s-2}/V_{s-1}$ . Dibujar el diagrama de Bode en módulo y fase de cada etapa, y también del conjunto. De este modo se podrá determinar la expresión de las frecuencias de corte superior e inferior.
- 4) Determinar el valor de los componentes  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_1$  y  $C_2$  para poder cumplir con las especificaciones.
- 5) El valor de la frecuencia de corte superior (20 kHz) ha sido establecido mediante la elección de los componentes externos del apartado anterior. Sin embargo, es necesario chequear si los AOs (741) en la configuración de la Fig. 14-1 podrán procesar señales de hasta 20 kHz. Para ello analizar el posible efecto del *Slew Rate* y del  $G \times BW$  sobre el ancho de banda del conjunto de las dos etapas.
- 6) Además, se debe chequear si los AOs se llegan a saturar en algún momento. La saturación puede ser por tensión y/o por corriente. Para chequear la tensión, calcular los valores máximos de las tensiones de salida de los AOs, o sea, los valores máximos de  $V_{s-1}$  y  $V_{s-2}$ . Para chequear si hay saturación por

corriente, calcular la máxima corriente a las salidas de los AOs. ¿Existe saturación por tensión y/o por corriente?

7) Finalmente, habrá que estimar el consumo de corriente total del sistema formado por las dos etapas.

=====

**Problema 15.** Diseño de un filtro paso-alto de entrada diferencial

Se pretende diseñar un filtro paso-alto con en entrada diferencial que tenga las siguientes especificaciones:

- Ganancia de 20 dB en la banda pasante
- Frecuencia de corte inferior de 10 Hz
- Impedancia de entrada diferencial de 100 kΩ
- Máxima potencia disipada 45 W

Para ello se propone el circuito de la Fig. 15-1 que tiene una entrada diferencial  $V_2-V_1$  y una salida no diferencial  $V_s$ . Para poder implementar el filtro, será necesario hacer cálculos del valor de los componentes y para ello se sugieren los siguientes pasos.

- 1) Analizar el circuito y calcular la ganancia a frecuencias medias, y la frecuencia de corte inferior. Para ello, se deberá obtener la respuesta en frecuencia de la ganancia del sistema  $V_s/(V_2-V_1)$ , y representar el diagrama de Bode de módulo y fase.
- 2) Calcular el valor de los componentes  $R_1$  y  $R_2$ ,  $R$  y  $C$  para cumplir con las especificaciones.
- 3) Si la tensión de entrada diferencial ( $V_2-V_1$ ) puede variar entre  $\pm 100$  mV, calcular la variación máxima en la tensión de salida ( $V_s$ ).
- 4) Si los AOs son alimentados a  $\pm 15$  V. Estimar la corriente total necesaria para alimentar el filtro.

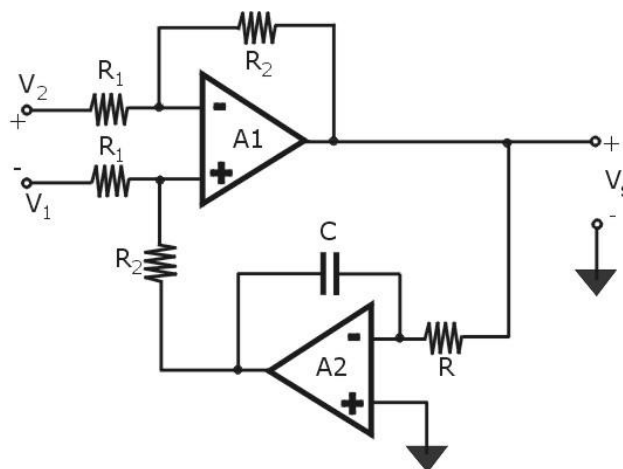


Figura 15-1

**Problema 16.** Análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia

- 1) Analizar en el dominio de la frecuencia el circuito de la Fig. 16-1, es decir obtener la expresión  $V_O/V_I$  en función de  $j\omega$ .
- 2) A partir de la expresión en el dominio de la frecuencia, obtener la expresión en función del tiempo, es decir la expresión  $V_O(t) = f(V_I(t))$ .
- 3) Dibujar la forma de onda de la señal de salida ( $V_O$ ) en función del tiempo (al menos un periodo) para una señal de entrada cuadrada de amplitud 1 V, ciclo de trabajo del 25%, frecuencia 1kHz, y sin nivel de continua. Dibujar también en el mismo gráfico la señal de entrada  $V_I$ .
- 4) ¿Qué efecto puede tener disminuir reducir el valor R o de C a su décima parte si el AO está alimentado a  $\pm 15$  V?

DATOS:  $R=100$  k $\Omega$ ,  $C=100$  nF. Considerar los condensadores inicialmente descargados.

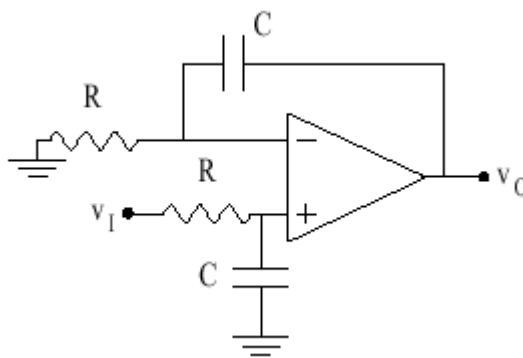


Figura 16-1

=====

**Problema 17.** Sistema de procesado multicanal (1)

Dados los circuitos equivalentes de los dos sensores de la figura 17-1, se desea obtener un sistema de procesado que realice la resta de las señales suministradas por los sensores y que a su salida entregue, en forma de tensión, una señal entre -1 y +1 V. El sistema de procesado constará de los tres bloques mostrados en la figura.

1. Dibujar los bloques 1 y 2, con los circuitos equivalentes en cuadripolos.
2. Suponiendo bloques ideales, sin error de adaptación de impedancias, calcular las Ganancias de cada bloque e indicar la función que cumple cada uno de ellos.

**Restricción:** Debido a restricciones de frecuencia de trabajo, la ganancia individual de cada bloque no puede superar el valor de 1000 V/V o 1000V/ $\mu$ A

3. Suponiendo los valores de Ganancia, calculadas en el punto anterior, y siendo los valores de:  $Z_{e1} = 20$  M $\Omega$ ,  $Z_{s1} = 75$   $\Omega$ ,  $Z_{e2} = 75$   $\Omega$  y  $Z_{s2} = 75$   $\Omega$ , se pide calcular  $Z_a$  y  $Z_b$  para que en cada una de las entradas,  $V_a$  y  $V_b$ , los errores de adaptación de impedancias sean inferiores al 0.01% de sus valores ideales.

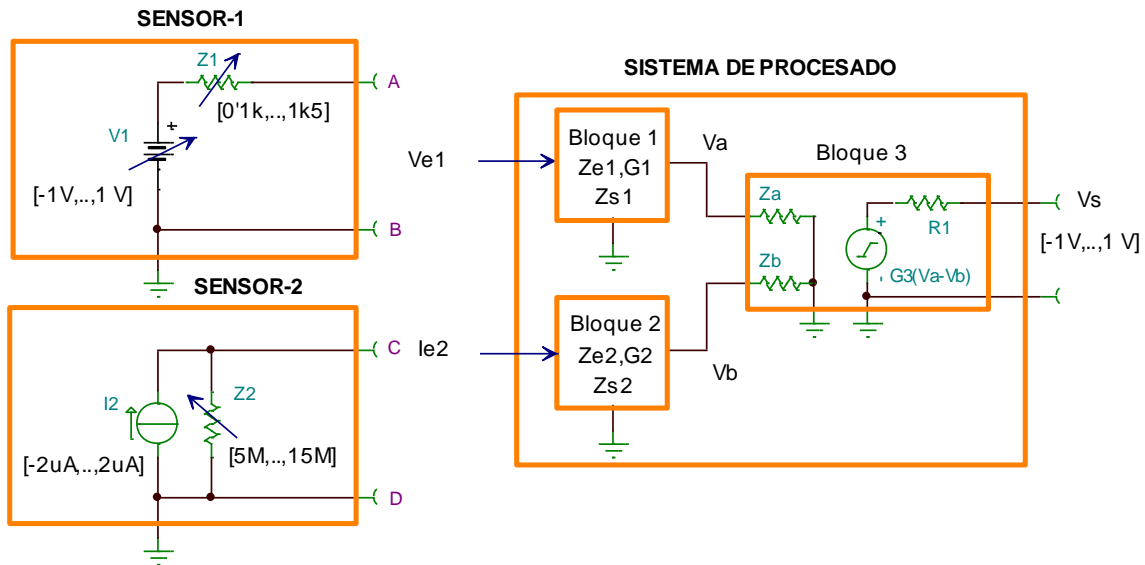


Figura 17-1

**Problema 18. Sistema de procesado multicanal (2)**

Dados los circuitos equivalentes de los dos sensores de la figura 18-1, se desea obtener un sistema de procesado que realice la resta de las señales suministradas por los sensores y que a su salida entregue, en forma de intensidad, una señal entre  $-10\text{ mA}$  y  $10\text{ mA}$ . El Sistema de Procesado constará de los tres bloques mostrados en la figura.

1. Dibujar los bloques 1 y 2, con los circuitos equivalentes en cuadripolos.
2. Suponiendo bloques ideales, sin error de adaptación de impedancias, calcular las Ganancias de cada bloque e indicar la función que cumple cada uno de ellos. Debe cumplirse que la intensidad de salida,  $I_s$ , tenga valores comprendidos entre  $-10\text{ mA}$  y  $10\text{ mA}$ .

**Restricción:** Debido a restricciones de frecuencia de trabajo, la ganancia individual de cada bloque no puede superar el valor de  $G_i \leq 1000\text{ V/V}$  o  $1000\text{V}/\mu\text{A}$

3. Suponiendo los valores de Ganancia calculadas en el punto anterior, y siendo los valores de:  $Z_{e1} = 20\text{ M}\Omega$ ,  $Z_{s1} = 20\text{ M}\Omega$ ,  $Z_{e2} = 75\ \Omega$  y  $Z_{s2} = 20\text{ M}\Omega$ , se pide calcular  $Z_a$  y  $Z_b$  para que en cada una de las entradas,  $I_a$  e  $I_b$ , los errores de adaptación de impedancias sean inferiores al  $0.01\%$  de sus valores ideales.

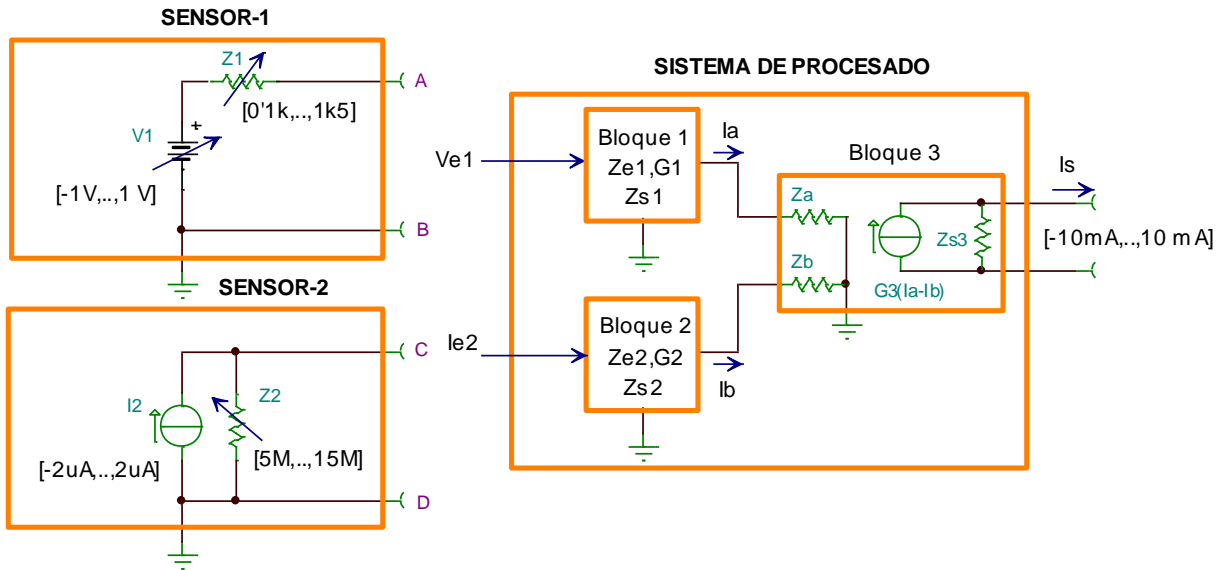


Figura 18-1

### Problema 19. Termómetro digital basado en el circuito integrado AD590

Se quiere acondicionar la salida de un sensor de temperatura basado en unión semiconductora. Dado que el sensor genera una corriente proporcional a la temperatura, es más adecuado esquematizarlo por su equivalente de Norton tal y como se muestra en la Fig. 19-1. Se desea obtener una salida en tensión comprendida entre -1 y +1 V. El sensor proporciona un margen de corrientes entre  $-0.5 \mu\text{A}$  y  $+0.5 \mu\text{A}$  ( $I_G$ ).

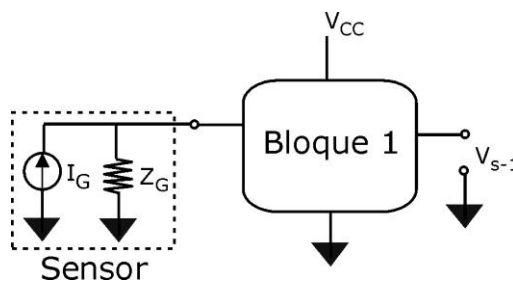


Figura 19-1

1. Dibujar el cuadripolo equivalente del bloque 1 indicando los valores ideales de los parámetros asociados a un bloque de este tipo. Considerando la fuente ideal, calcular la ganancia que debe tener el bloque 1 para cumplir las especificaciones de tensión a la salida.
2. Calcular los errores asociados a las adaptaciones de impedancias si la impedancia de fuente  $Z_G$  es  $1 \text{ M}\Omega$ , las impedancias de entrada y de salida del bloque 1 son de  $75 \Omega$  cada una y se conecta a la salida una carga de  $500 \Omega$ .
3. Se quiere obtener una tensión de salida ( $V_{s2}$ ) comprendida entre 0 y -5 V, para ello el sistema anterior se conecta al circuito de procesamiento mostrado en la Figura 19-2. Suponiendo la impedancia de la fuente ideal, calcular la tensión de salida del circuito. ¿Qué observas a vista de la expresión de la tensión de salida? ¿Qué harías al respecto, introducirías algún otro bloque?  
DATOS:  $R_1 = 14 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $a = 0.8$ .

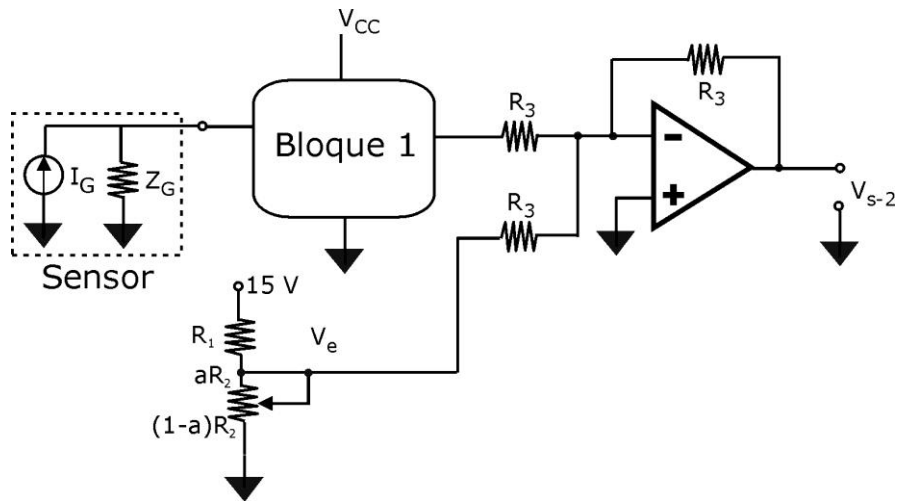


Figura 19-2

**Problema 20.** Convertidor de corriente a tensión en un sistema de telemetría

A menudo las señales provenientes de sensores industriales deben ser transmitidas a distancia ya que el sensor se encuentra a bastantes metros del sistema de procesamiento. Hay varias formas de transmitir estas señales. Una de las más habituales es mediante el protocolo de corriente 4-20 mA. La idea es que la información está contenida en la corriente que circula por un bucle. Una vez en destino, esta corriente debe ser convertida a tensión, para por ejemplo, ser digitalizada en una tarjeta de adquisición de datos de un ordenador. Para poder hacer esto se propone el circuito de la Fig. 20-1, donde la corriente del bucle es  $I_e$ .

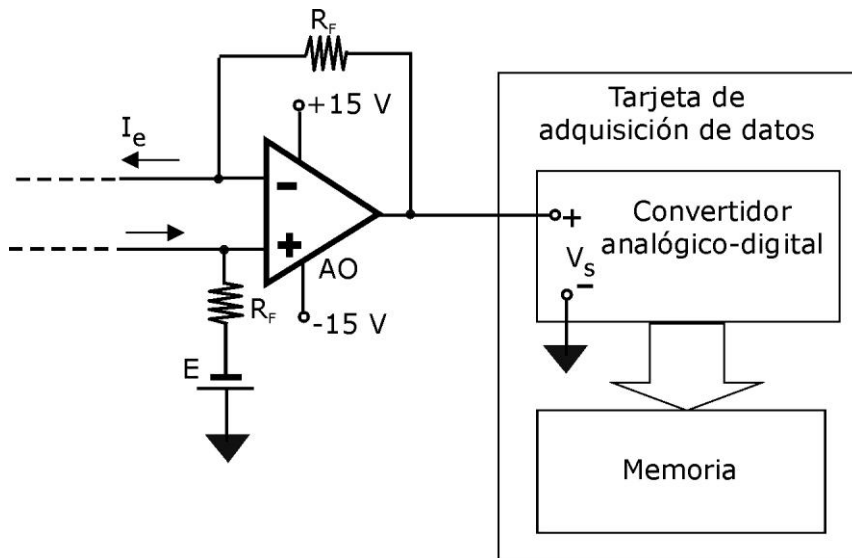


Figura 20-1

Para poder implementar el circuito se necesita calcular los valores de los componentes. Para ello se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1) Calcular el valor de  $R_F$  y de la tensión  $E$  para que el margen de corrientes del bucle ( $I_e$ ) 4-20 mA se conviertan en un margen de tensiones a la entrada de la tarjeta ( $V_s$ ) de 0 a 10 V.
- 2) Dibujar el cuadripolo equivalente del convertidor  $I \rightarrow V$  y justificar si cumple, o no, con las especificaciones estudiadas para este tipo de convertidores.

**Problema 21.** Análisis de bloques de un sistema de procesamiento diferencial

La figura 21-1 representa dos bloques con los circuitos correspondientes implementados con A.O.

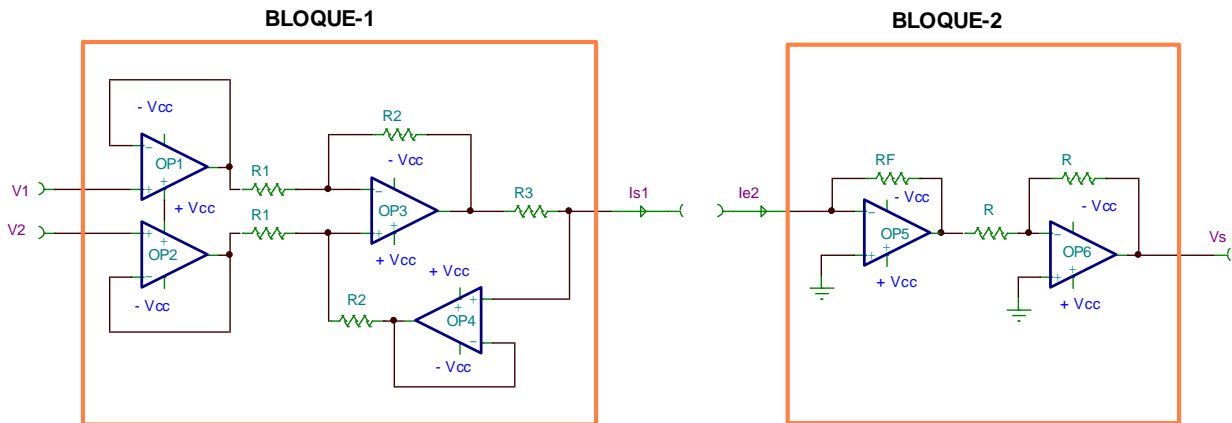


Figura 21-1

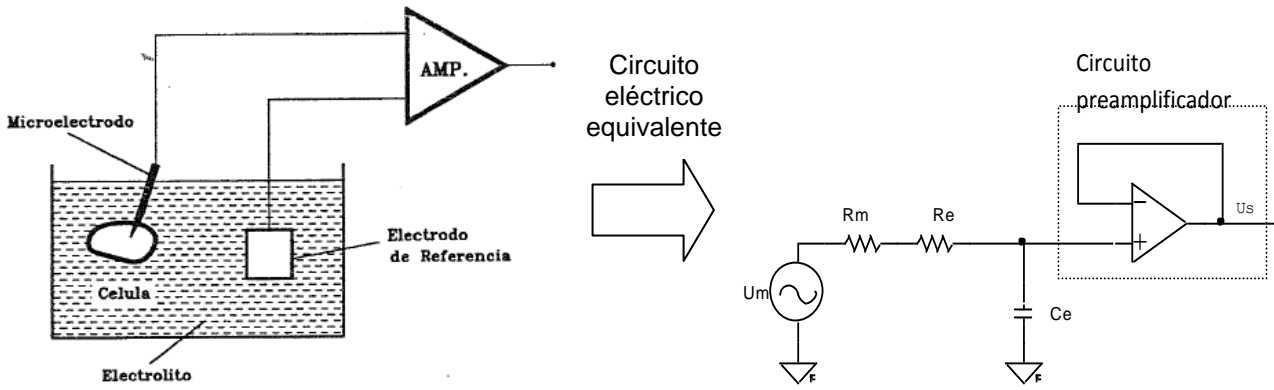
Se pide:

- 1) Para el bloque-1:
  - a) Expresión de la función de transferencia  $G1 = Is1/(V2-V1)$
  - b) Impedancia de entrada diferencial,  $Ze1$
  - c) Función que realiza dicho bloque-1
  
- 2) Para el bloque-2:
  - a) Expresión de la función de transferencia  $G2 = Vs/Ie2$
  - b)  $Ze2$
  - c) Función que realiza dicho bloque-2
  
- 3) Utilizando los dos bloques conjuntamente:
  - a) Describe y justifica una posible aplicación, teniendo en cuenta como entrada la diferencia de las dos señales ( $V2-V1$ ), la salida en tensión ( $Vs$ ) y la conexión entre los bloques en intensidad ( $Is1 = Ie2$ ).

**Problema 22\*.** Sistema de amplificación de señales bioeléctricas

En el esquema eléctrico de la figura se representa el sistema de preamplificación de una señal bioeléctrica. Dicha señal  $U_m$  representa el potencial de membrana celular, es decir, la diferencia de potencial existente entre el medio intracelular y el medio extracelular para una célula determinada. Debido a la alta impedancia de membrana  $R_m$  y a la impedancia de salida del electrodo de medida  $R_e$ , la señal a amplificar posee una impedancia de salida representada por  $R_m$  y  $R_e$  en serie. El circuito preamplificador consta de un buffer para la adaptación de impedancias. De este modo se acondiciona la señal para su posterior amplificación. Sin embargo, en el propio sistema de medida se crean capacidades parásitas representadas en el esquema mediante su equivalente  $C_e$ .

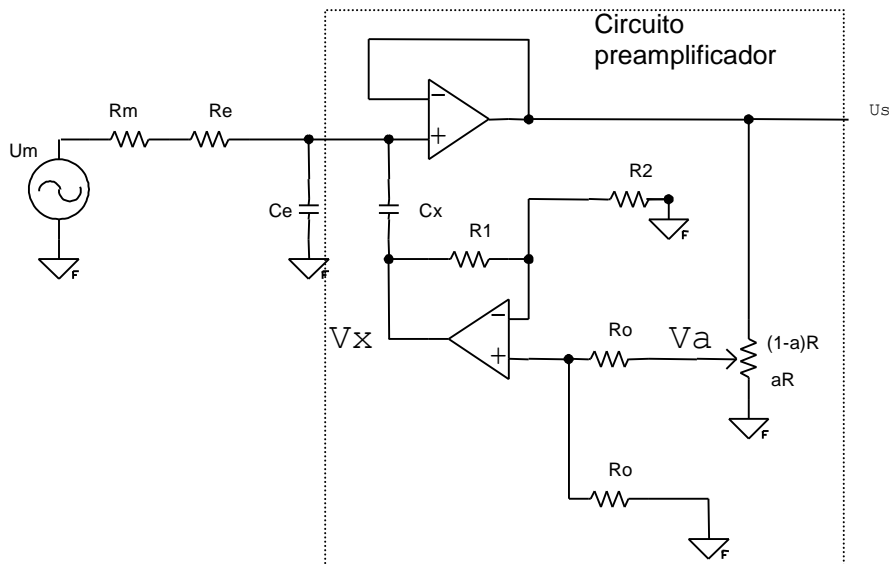




Se pide:

1. ¿Cuál sería el valor de la tensión  $U_s$  a la salida del preamplificador en ausencia de  $C_e$ ?
2. Calcular la función de transferencia  $G_1=U_s/U_m$  en presencia de  $C_e$ . Tomar los valores:  $C_e=20\text{pF}$ ,  $R_m=100\text{M}\Omega$ ;  $R_e=5\text{M}\Omega$ . Representar el diagrama de Bode. ¿Qué efecto tiene la capacidad  $C_e$ ? Este sistema ¿amplificaría correctamente la señal  $U_m$  cuyas componentes tienen frecuencias comprendidas entre 1Hz y 1kHz?

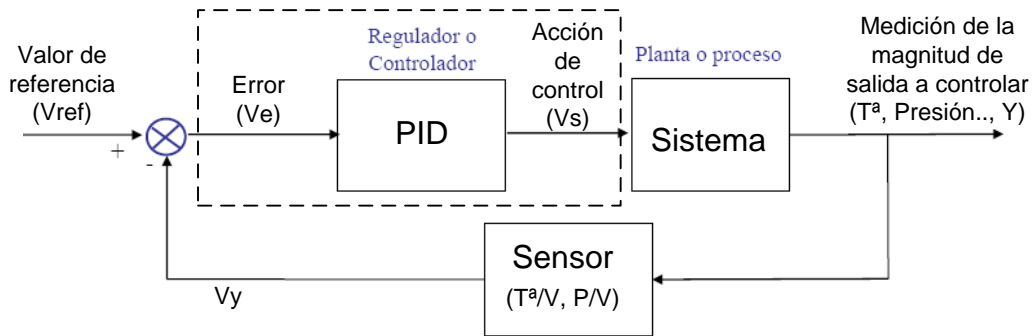
II. Para compensar el efecto de la capacidad  $C_e$ , se conecta en el sistema preamplificador el circuito siguiente:



1. ¿Cuál será la nueva función de transferencia del sistema  $G_2=U_s/U_m$ ?
2. ¿Para qué valor de  $C_x$  se anularía completamente el efecto de  $C_e$ ?

**Problema 23.** Controladores PID I.

Los controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) se utilizan en numerosas aplicaciones de regulación automática. En el esquema de la figura se muestra la estructura típica de aplicación de un PID para el control de un sistema en bucle cerrado donde:  $V_s$  es la señal de control que se envía al sistema,  $Y$  es la medición que se hace de la señal de salida,  $V_{ref}$  es la salida deseada y  $V_e$  el error definido como  $V_e = V_{ref} - V_y$ .



La expresión de un regulador regulador PID en el dominio frecuencial es del tipo:

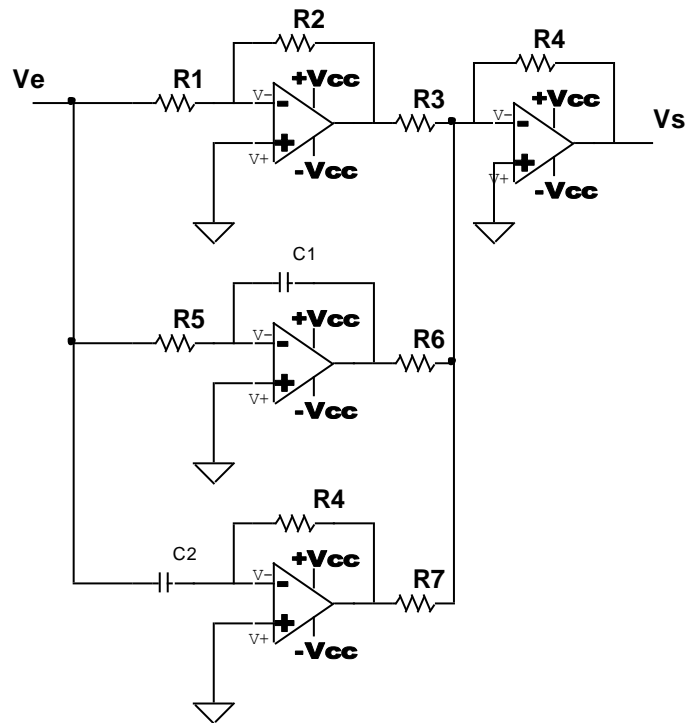
$$V_s = K_r \left( 1 + \frac{1}{T_i j\omega} + j\omega T_d \right) \times V_e \quad (23.1)$$

Puede observarse que un regulador proporcional-integral-derivativo o PID tiene en cuenta el error, la integral del error y la derivada del error. La acción de control se calcula multiplicando los tres valores por una constante y sumando los resultados. Los valores de las constantes, que reciben el nombre de constante proporcional ( $K_r$ ), integral ( $T_i$ ) y derivativa ( $T_d$ ), definen el comportamiento del regulador.

La acción proporcional hace que el PID responda enérgicamente cuando el error es grande, condición que aparentemente es necesaria y suficiente, puesto que puede ocurrir que la variable regulada aumente o disminuya si no existe una acción que la mantenga invariable (descenso de un cuerpo por gravedad). Por esta razón se deduce la conveniencia de añadir otra acción que responda si el error se mantiene a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta la evolución del error. Así actúa la acción integral, que se encarga de mantener una respuesta cuando el error se anula. Por otra parte, aunque el error disminuye al aumentar la constante proporcional, no es conveniente aumentar dicha acción todo lo necesario para conseguir un error muy pequeño, puesto que si la acción proporcional es grande, la variable regulada se acercará al punto deseado demasiado deprisa y será inevitable un sobrepasamiento. De ahí la necesidad de añadir otra acción que contrarreste la inercia del proceso, frenándolo cuando evoluciona demasiado rápido y acelerándolo en caso contrario, algo parecido a una visión de futuro que se anticipa a lo que previsiblemente ocurrirá. Así actúa la acción derivativa, conocida también como anticipativa por ese motivo.

El circuito de la figura es un regulador PID. Se pide hallar la función de transferencia del sistema y expresarla de manera que se identifiquen claramente los valores de las constantes proporcional ( $K_r$ ), integral ( $T_i$ ) y derivativa ( $T_d$ ). Para ello, seguir los siguientes pasos:

1. Expresar en el dominio de la frecuencia la tensión de salida  $V_s$  en función de la tensión de entrada  $V_e$ .
2. Expresar la ecuación de la forma indicada en la fórmula 23.1 y determinar los valores de  $K_r$ ,  $T_d$  y  $T_i$  en función de los componentes del circuito.

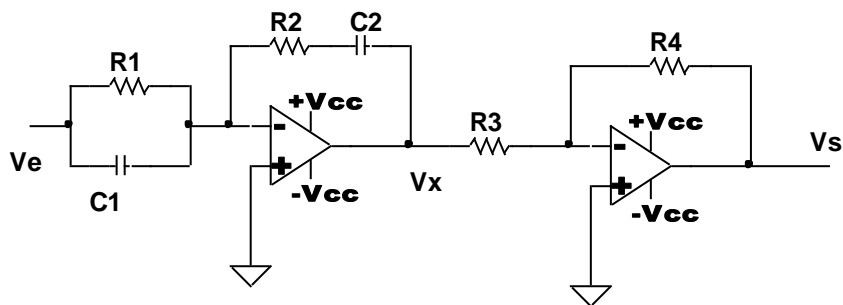


Datos:  $R_2=R_1$        $R_3=R_6=R_7$

**Problema 24. Controladores PID II.**

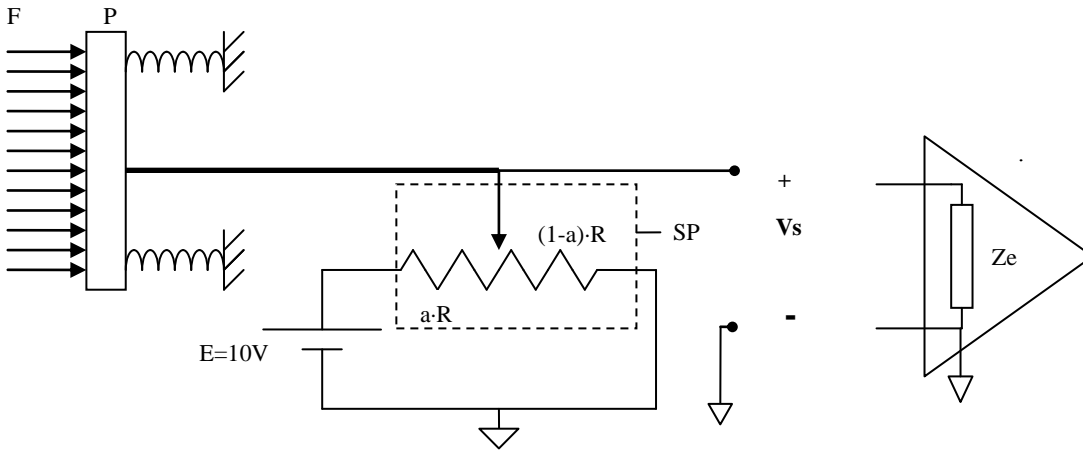
El circuito de la figura corresponde también a un regulador PID. Se pide:

- Hallar la función de transferencia del sistema y expresarla de manera que queden claramente distinguidos los efectos proporcional, integral y derivador.
- Expresar en el dominio temporal la tensión de salida  $V_s$  en función de la tensión de entrada  $V_e$ , partiendo de la expresión hallada en el apartado anterior.



**Problema 25. Transductor de fuerza elástico**

El esquema de la figura representa el funcionamiento de un transductor de fuerza elástico para la medición de la fuerza (F) ejercida sobre una plataforma (P). Para ello se recurre al empleo de un sensor de posición potenciométrico (SP). El funcionamiento es el siguiente: la plataforma está unida a una varilla solidaria al extremo del cursor central de un potenciómetro, si la fuerza aplicada es nula el valor de "a" es nulo, mientras que si es máxima el valor de "a" es 1.



Para el sistema de procesado, calcular:

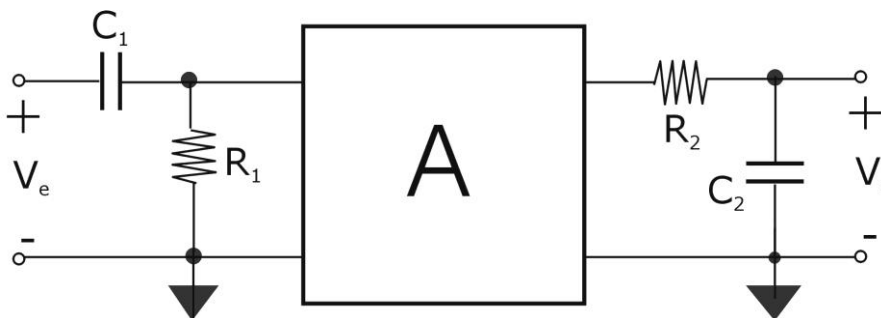
- 1) Mínimo valor de la impedancia de entrada ( $Z_e$ ) para que el error debido a desadaptación de impedancias sea menor del 0.1%. Considerar todas las impedancias exclusivamente resistivas.
- 2) Este error de desadaptación de impedancias ¿es un error de offset o de ganancia?, es decir, ¿cómo se manifiesta en la gráfica de la función de transferencia real?

### Problema 26. Amplificador de audio

Se dispone de un amplificador DC de banda ancha (100 kHz) con el que diseñar un amplificador de audio (20 Hz -20 kHz). El amplificador de banda ancha (bloque A) tiene la siguiente función de transferencia en función de  $j\omega$ : ganancia de 80 dB, y  $\omega_0=2\cdot\pi\cdot100\cdot10^3$  rad/s. Además se considerará que la impedancia de entrada del bloque A es infinita.

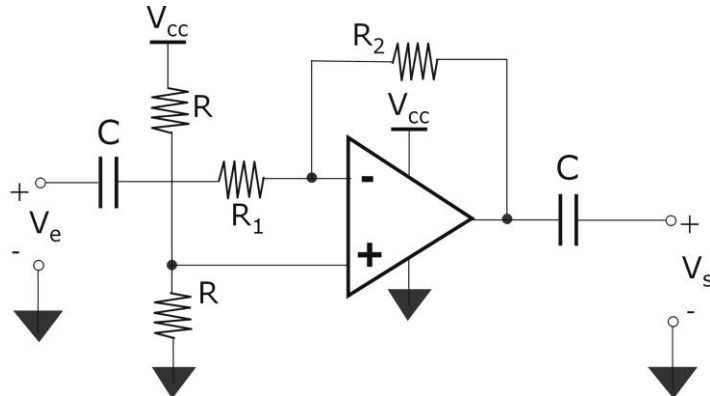
$$A(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

- a) Calcular la función de transferencia del amplificador de audio ( $V_s/V_e$ ) en función de  $j\omega$ .
- b) Dibujar su diagrama de Bode (módulo y fase).
- c) Diseñar los componentes externos ( $C_1, R_1, C_2, R_2$ ) para disponer de un amplificador de audio.
- d) Si se añade una carga  $R_L$  de  $1k\Omega$  a la salida del amplificador, obtener la expresión de  $V_s/V_e$  en este caso para los valores de  $C_1, R_1, C_2, R_2$  fijados en el apartado anterior y representar su diagrama de Bode de magnitud.



**Problema 27.** Sistemas alimentados a baterías

Cada vez más los sistemas de procesamiento de señal deben ser alimentados con baterías. Cuando los AO son alimentados, por ejemplo con una única pila de 3 V ( $V_{cc}=3$  V), sólo pueden proporcionar a su salida señales entre 0 y  $\approx 3$  V. Sin embargo, con objeto de poder amplificar señales de rango  $\pm 2$ mV (Ve), es posible insertar elementos externos como los mostrados en la figura ( $C=10$   $\mu$ F,  $R=R_1=10$  k $\Omega$ ,  $R_2=100$  k $\Omega$ ).



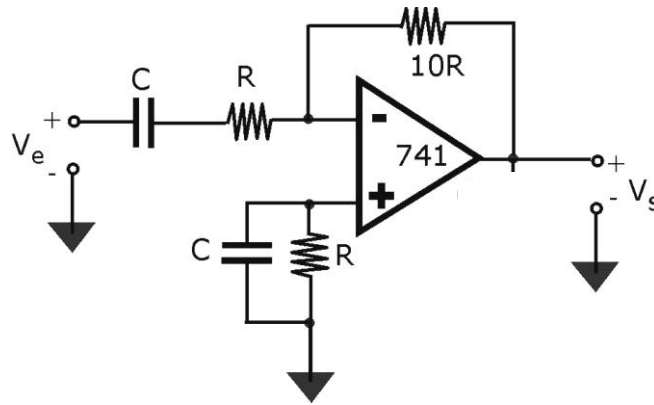
- a) Calcular la función de transferencia del amplificador ( $V_s/V_e$ ) en función de  $j\omega$ .
- b) Dibujar su diagrama de Bode (módulo y fase).
- c) Calcular la frecuencia de corte inferior.
- d) Dibujar la forma de onda de  $V_s$  cuando a la entrada se aplica una señal senoidal de 1mV de amplitud y frecuencia 10 Hz. Dibujar también en el mismo gráfico la señal de entrada  $V_e$ , la señal en el terminal inversor y no inversor del AO, y la señal en el terminal de salida del AO.
- e) Máxima amplitud de la tensión de entrada para un correcto funcionamiento del sistema.
- f) ¿Qué ocurrirá si la señal de salida del amplificador es visualizada con un osciloscopio cuya impedancia de entrada es de 1 M $\Omega$ ?

**Problema 28.** Respuesta en frecuencia de un amplificador

Del siguiente amplificador se pide:

- a) Calcular la expresión de la función de transferencia ( $V_s/V_e$ ) en función de  $j\omega$ .
- b) Dibujar el diagrama de Bode del módulo de la ganancia (en dB), y de fase, frente a la frecuencia.
- c) Empleando un operacional del tipo 741
  - a. Calcular el ancho de banda del sistema teniendo en cuenta que el amplificador se ha diseñado empleando un amplificador operacional del tipo 741.
  - b. Si a la salida del circuito se conecta una carga de 200  $\Omega$  y la entrada  $V_e$  es una senoidal de 100 mV de amplitud pico a pico, ¿Cuál será el máximo valor de la corriente por la carga? ¿Y si la carga tuviera un valor de 20  $\Omega$ ?

DATOS:  $R=1$  k $\Omega$ ,  $C=100$  nF, hojas de características del amplificador operacional 741



**Problema 29.** Respuesta en frecuencia de un filtro programable

La Figura 2.1 muestra el esquema de un filtro paso bajo de primer orden cuya frecuencia de corte puede ser programada mediante un potenciómetro. Con objeto de calcular la expresión de la ganancia en función de la frecuencia ( $V_s/V_e(j\omega)$ ), y poder después dibujar el diagrama de Bode (módulo y fase), es conveniente analizar el circuito etapa por etapa. Por ello se pide:

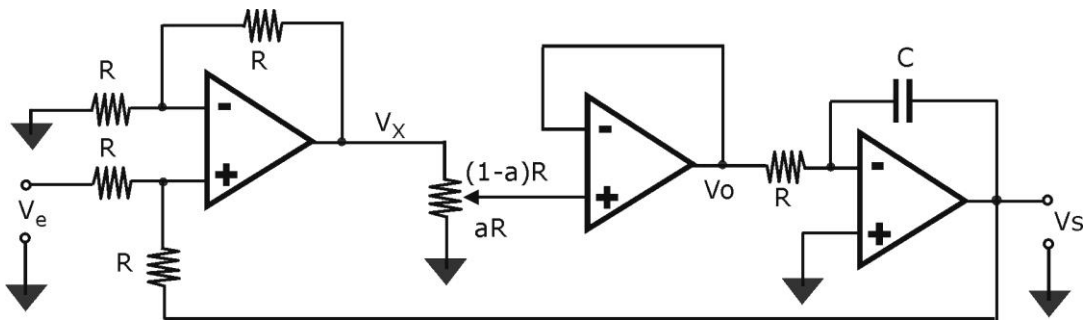


Figura 2.1

- a) Calcular la expresión de  $V_x$  en función de  $V_e$  y  $V_s$ .
  - b) Calcular la expresión de  $V_o$  en función de  $V_x$ .
  - c) Calcular la expresión de  $V_s$  en función de  $V_o$ .
  - d) Utilizando los resultados de los tres anteriores apartados, calcular la expresión de  $V_s$  en función de  $V_e$ .
  - e) Dibujar el diagrama de Bode del módulo de la ganancia del sistema.
  - f) Dibujar el diagrama de Bode de la fase de la ganancia del sistema.
  - g) ¿Entre qué valores puede ser programada la frecuencia de corte de este filtro mediante el uso del potenciómetro?
- DATOS:  $R=1k\Omega$ ,  $C=1\mu F$ ,  $0 \leq a \leq 1$ .

**Problema 30.** Respuesta en frecuencia de un amplificador multietapa

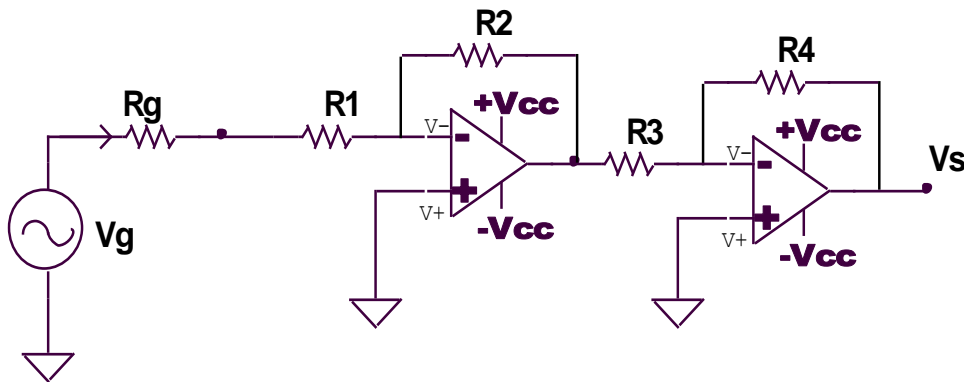
El esquema muestra un amplificador de tensión compuesto por dos etapas y al cual se ha conectado una fuente de señal modelada por su equivalente de Thévenin ( $V_g, R_g$ ). Se pide:

- 1) Calcular los parámetros característicos de cada etapa (impedancia de entrada, de salida, y ganancia) y dibujar el amplificador de la figura en forma de cuadripolos conectados.
- 2) Obtener la expresión de la función de transferencia  $V_s/V_g$  a partir del esquema en cuadripolos.
- 3) Calcular la máxima frecuencia que el amplificador podrá procesar teniendo en cuenta el SR de cada etapa. (Considerar que los bloques son ideales, es decir, no existe problema de desadaptación de impedancias)

- 4) Calcular la máxima frecuencia que el amplificador podrá procesar teniendo en cuenta el producto ganancia-ancho de banda de cada etapa.
- 5) ¿Se trata de un amplificador AC o DC?. Calcular el ancho de banda total.
- 6) ¿Cuál sería el ancho de banda total si en lugar de dos etapas hubiera únicamente una basada en un 741 o en un TL081?. Esta única etapa tendría también una ganancia equivalente a la de las dos etapas.
- 7) Para el esquema de la figura, calcular el ancho de banda si entre la salida del primer AO y R3 se intercala un condensador en serie de valor 100 nF.
- 8) Para el esquema de la figura, calcular el ancho de banda si se conecta un condensador de valor 10 nF en paralelo con R4. En este caso (etapa 1 741, etapa 2 TL081) si  $V_g$  es una senoidal de 10 mV de amplitud pico a pico y se conecta a la salida una carga de 2 k $\Omega$  ¿Cuál será el máximo valor de corriente por la carga?, ¿Qué ocurrirá si la carga tiene un valor de 100  $\Omega$ ?

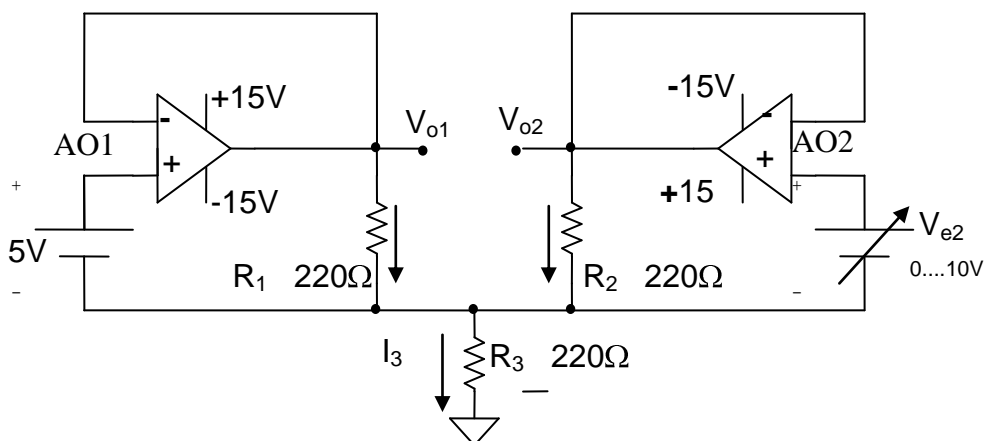
**DATOS:**

- Fuente.  $V_g = \pm 5$  mV,  $R_g = 100$   $\Omega$
- Primera etapa.  $R_1 = 10$  k $\Omega$ ,  $R_2 = 100$  k $\Omega$ , AO=741
- Segunda etapa.  $R_3 = 1$  k $\Omega$ ,  $R_4 = 100$  k $\Omega$ , AO=TL081
- $V_{cc} = \pm 15$  V.



**Problema 31. Convertidor tensión/corriente I.**

Dado el circuito de la figura,



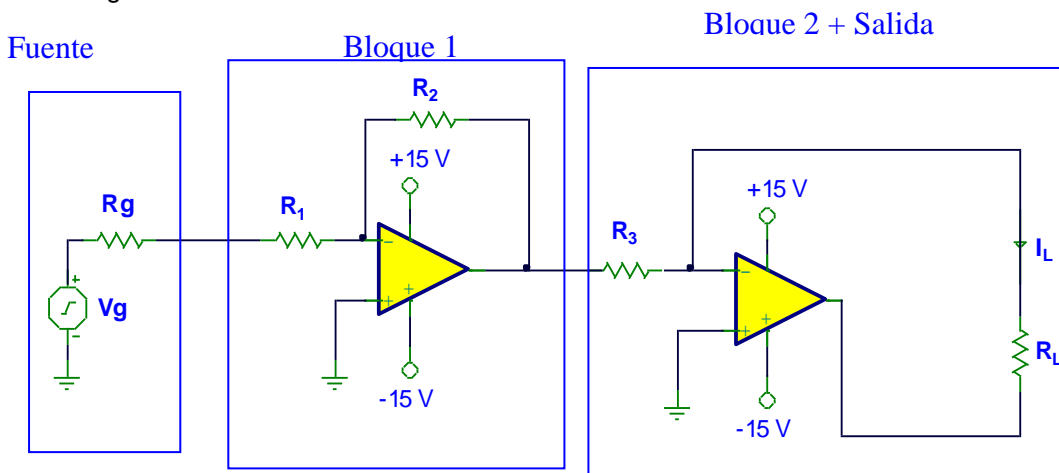
1. Calcular la expresión de la corriente en la carga  $R_3$ .
2. Obtener y representar las funciones de transferencia:  $V_{o1}/V_{e2}$ ,  $V_{o2}/V_{e2}$  y  $I_3/V_{e2}$  suponiendo amplificadores operacionales ideales
3. Calcular la impedancia de entrada del sistema.
4. Obtener y representar las funciones de transferencia:  $V_{o1}/V_{e2}$ ,  $V_{o2}/V_{e2}$  y  $I_3/V_{e2}$  considerando que se utilizan 2 operacionales tipo tl081

5. Cambiar el valor de la resistencia de carga  $R_3$ , sustituyéndola por una resistencia de  $180 \Omega$ . ¿Cambia el valor de la corriente  $I_3$ ? ¿Qué podemos concluir acerca de la impedancia de salida? Representar el cuadripolo equivalente del sistema
6. Si cambiamos el valor de  $R_1$  ¿Cómo afectaría a la función de transferencia? Representa gráficamente la función de transferencia inicial ( $R_1=220 \Omega$ ) y la nueva función de transferencia con una  $R_1$  de  $820 \Omega$  considerando que se utilizan 2 operacionales tipo tl081.
7. Si cambiamos el valor de  $R_2$  ¿Cómo afectaría a la función de transferencia? Representa gráficamente la función de transferencia inicial ( $R_2=220 \Omega$ ) y la nueva función de transferencia con una  $R_2$  de  $820 \Omega$  considerando que se utilizan 2 operacionales tipo tl081.

Nota: consultar las hojas de características del amplificador operacional tl081

### Problema 32. Convertidor tensión/corriente II.

Dado el siguiente circuito:



- 1) Identificar de qué bloques se trata, obtener su cuadripolo equivalente e indicar los valores ideales de los parámetros para cada uno de los cuadripolos.
- 2) Obtener la expresión de la función de transferencia del sistema.

$$F_{dt} = G = \frac{i_L}{V_g}$$

- 3) A la vista de la expresión anterior ¿Qué observas? Podríamos obtener una corriente de  $10 \text{ mA}$ . ¿Cómo?
- 4) Calcular la exactitud del sistema anterior. (Discrepancia entre el valor ideal y real de la tensión de salida debido al problema de desadaptación de impedancias)

Datos:  $R_g=50\Omega$ ,  $R_1= 10K\Omega$ ,  $R_2= 100K\Omega$ ,  $R_3= 10K\Omega$ ,  $R_L= 500K\Omega$



**Problema 33. Integración y filtrado.**

Para realizar el filtrado de señales analógicas se emplean habitualmente filtros analógicos basados en AO. Los filtros universales, basados en variables de estado, son sistemas que pueden realizar el filtrado paso bajo, paso alto o pasa banda de una señal según la salida que se seleccione. Para ello, se utilizan circuitos integradores. El sistema de la figura representa un filtro universal con dos salidas  $U_{s1}$  y  $U_{s2}$ . Se pide:

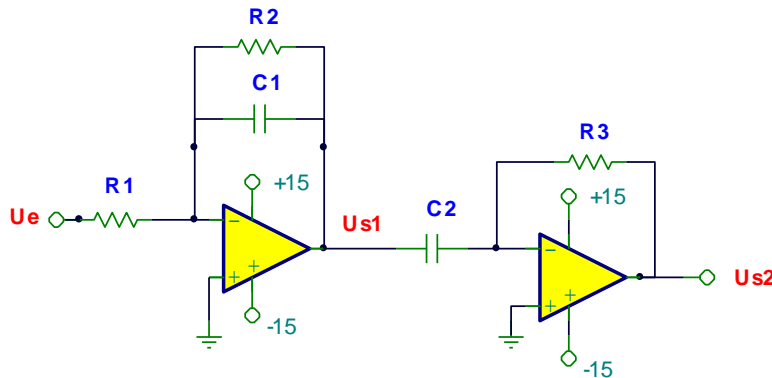
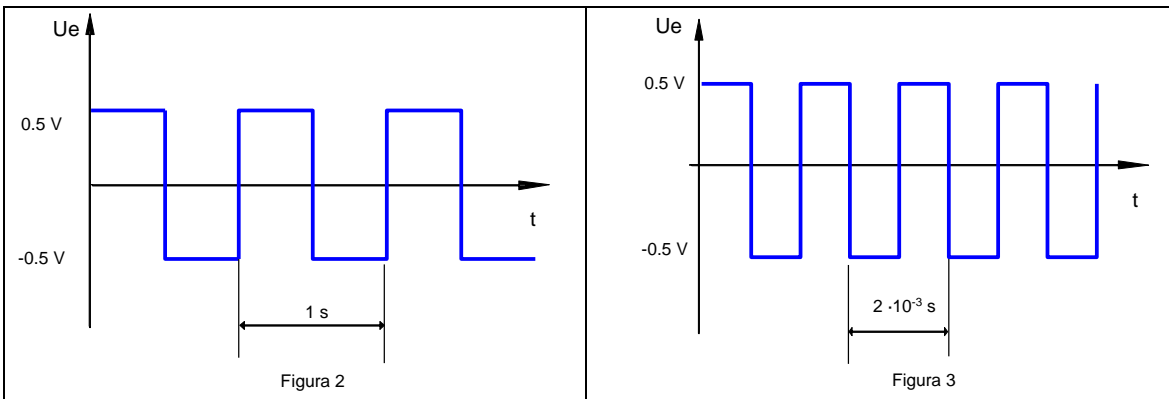


Figura 1

1. Obtener la función de transferencia  $U_{s1}/U_e$ .
2. Representar el diagrama de Bode de magnitud de la función de transferencia anterior ( $U_{s1}/U_e$ ), ¿qué función realiza?
3. Si la tensión de entrada  $U_e$  es la indicada en la figura 2, representar en una misma gráfica la evolución temporal de la tensión  $U_{s1}$  y dicha entrada.
4. Representar la tensión de salida  $U_{s1}$  cuando la señal de entrada  $U_e$  es, la representada en la figura 3.



5. Calcular la función de transferencia  $U_{s2}/U_e$ .
6. Representar el diagrama de Bode de Magnitud de la función de transferencia calculada en el apartado anterior ( $U_{s2}/U_e$ ), ¿qué función realiza?
7. Si se acopla el filtro de la figura a un osciloscopio cuya impedancia de entrada es de  $1\text{ M}\Omega$ , ¿habría problemas de saturación por corriente?

Datos:  $R_1=10\text{K}\Omega, R_2=100\text{K}\Omega, C_1=100\text{nF}, R_3=10\text{K}\Omega, C_2=100\text{nF}$ , AO 741.

**Anexo**

**El teorema de Fourier**

Según el teorema de Fourier cualquier onda periódica puede obtenerse mediante la combinación de señales senoidales con la amplitud y fase adecuadas. Dicho de otra forma, cualquier onda periódica es una superposición de ondas senoidales.

Estas ondas seno están, además, relacionadas armónicamente, lo que quiere decir que sus frecuencias son *armónicas* (múltiplos enteros) de una fundamental (frecuencia mínima).

Dicho esto de otra manera, tenemos que:

$$\text{Señal periódica} = \text{comp. de continua} + 1^{\text{er}} \text{ armónico} + 2^{\text{o}} \text{ armónico} + \dots + n - \text{armónico}$$

En términos matemáticos:

$$v = V_0 + V_1 \text{sen}(\omega t + \varphi_1) + V_2 \text{sen}(2\omega t + \varphi_2) + \dots + V_n \text{sen}(n\omega t + \varphi_n)$$

Esta famosa ecuación es conocida como serie de Fourier. El voltaje  $v$  es el valor de la onda periódica en cualquier instante. Este valor puede conseguirse agregando la componente de continua y los valores instantáneos de las armónicas.

Teóricamente los armónicos continúan hasta infinito; es decir,  $n$  no tiene límite superior. Sin embargo, entre cinco y diez términos suelen ser suficientes para sintetizar una onda dentro del 5% de error.

Como ejemplo, la onda cuadrada tiene únicamente armónicos impares (como cualquier señal con simetría de media onda). Cuando se suman sólo el primer y segundo armónico, como se muestra en la figura 1, se obtiene una nueva onda que se parece ya más a la cuadrada que a la senoidal. Agregando más armónicos se logrará mayor aproximación a la señal buscada. La figura 2 muestra el resultado tras haber agregado el quinto armónico. Continuando de esta forma se conseguirá formar la parte plana superior y los flancos verticales.

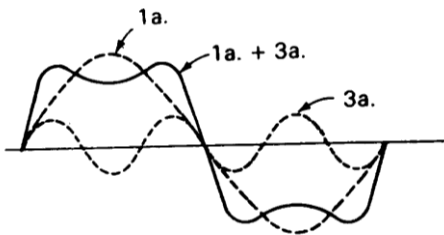


Figura 1

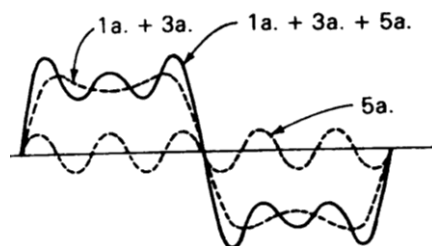


Figura 2

### El espectro de una señal.

El teorema de Fourier es clave para el análisis en el dominio de la frecuencia. Como se conoce perfectamente el comportamiento de las ondas senoidales, se puede reducir cualquier onda periódica a sus componentes seno y, a continuación, realizar el análisis de forma indirecta sobre estas componentes. Podemos así averiguar lo que sucederá con la señal, estudiando qué ocurrirá con cada una de las componentes armónicas; es lo que se conoce como *análisis en frecuencia*.

Si lo que representa a una señal en el dominio del tiempo es su forma de onda, en el dominio de la frecuencia es su *espectro*, amplitud y distribución de armónicos (componentes espectrales) con la frecuencia. En la figura 3 aparecen los espectros recortados (sólo se ha representado hasta el quinto armónico) de tres ondas muy comunes.

$$V_n = \frac{2A}{n\pi} \quad (\text{sólo para } n \text{ impar})$$

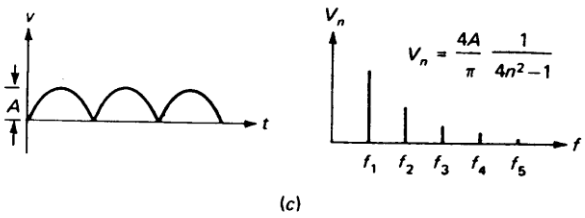
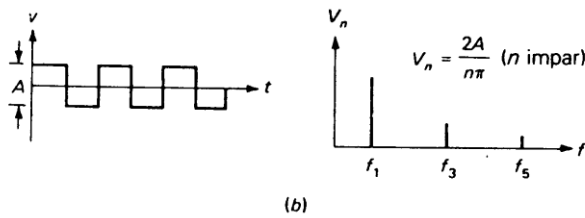
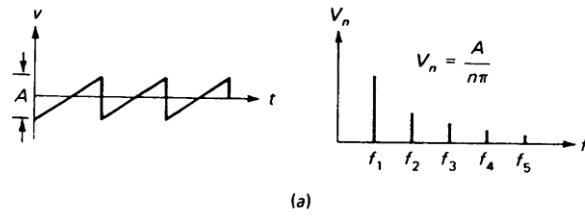
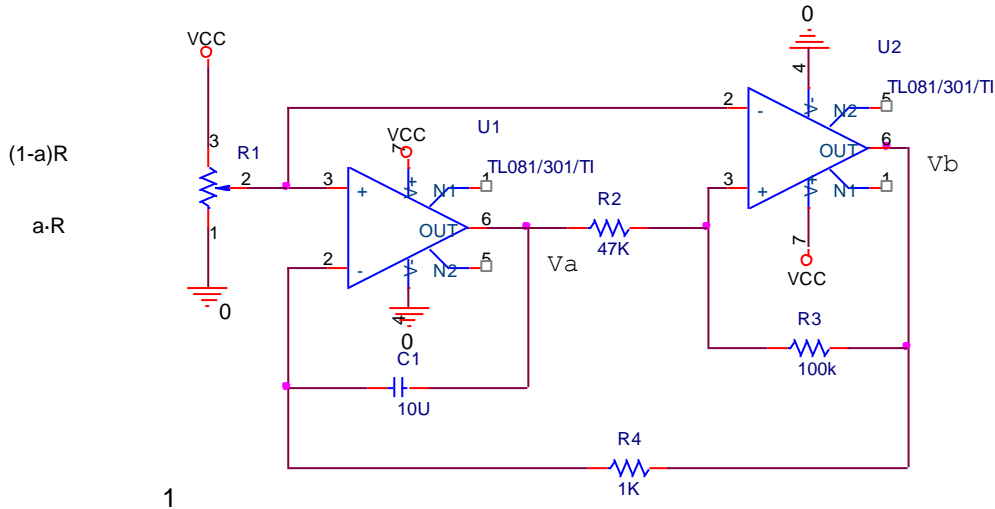


Figura 3

**Problema 34\*. Generador de señal**

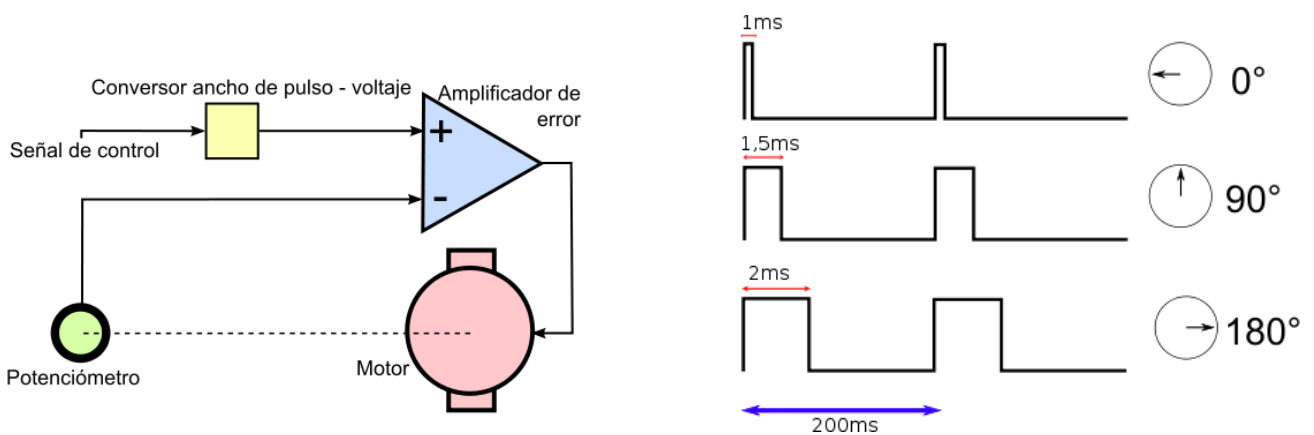
El circuito de la figura es un generador de ondas triangular y cuadrada, cuya entrada es únicamente la tensión de alimentación.



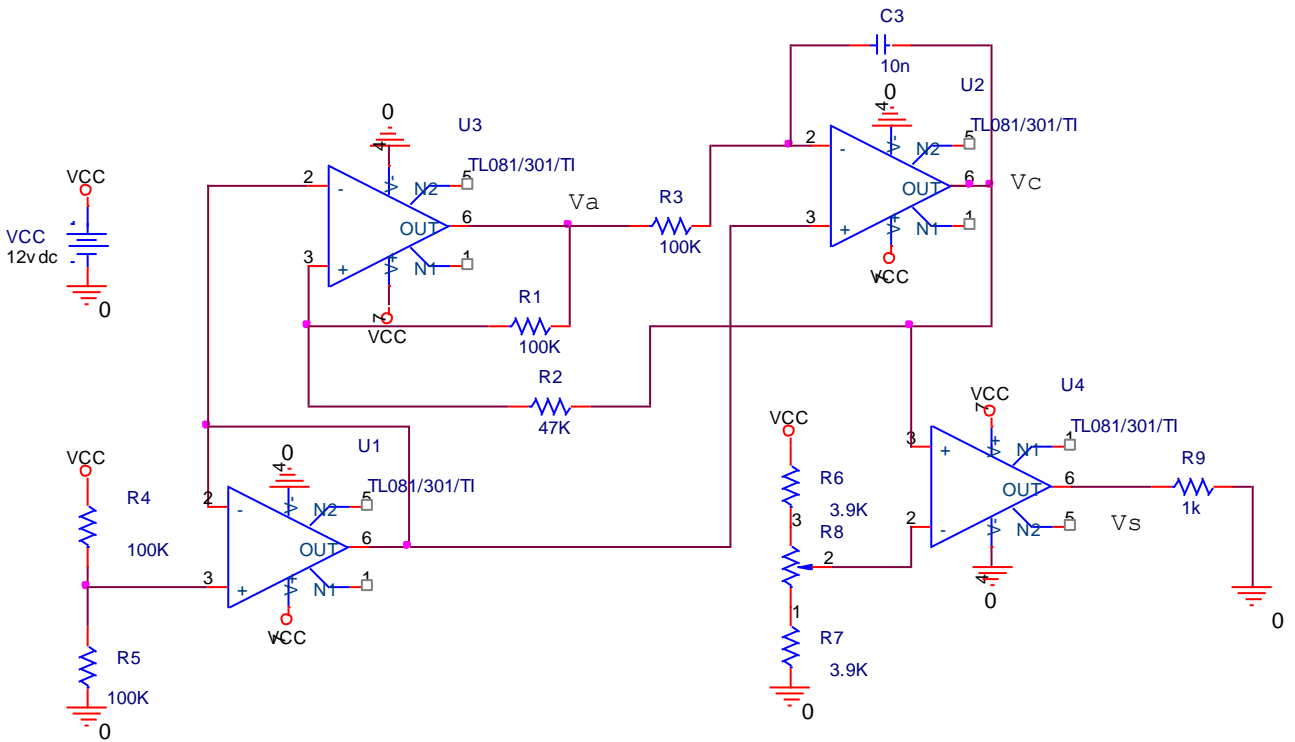
1. Expresión de la evolución temporal en  $V_a$ ,  $V_a(t)$ . Datos:  $V_{cc} = 15V$ ,  $R = 10K\Omega$ ,  $a = 0.5$ .
2. Representar gráficamente con todo detalle la evolución de  $V_a(t)$ ,  $V_b(t)$ ,  $V_+$  y  $V_-$  del operacional de salida.
3. ¿Cuál sería el período de  $V_b$  para  $a = 0.5$ ?
4. ¿Qué impedancia de entrada mínima ha de tener el sistema que reciba la onda cuadrada para evitar la saturación por corriente?

**Problema 35\*. Modulador PWM.**

Se pretende realizar el control de un servo-motor con la ayuda de un circuito de modulación en ancho de pulso (PWM *Pulse Width Modulation*). La modulación por ancho de pulsos es una técnica utilizada para regular la velocidad de giro de los motores eléctricos de inducción o asíncronos. Mantiene el par motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje: el ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal.

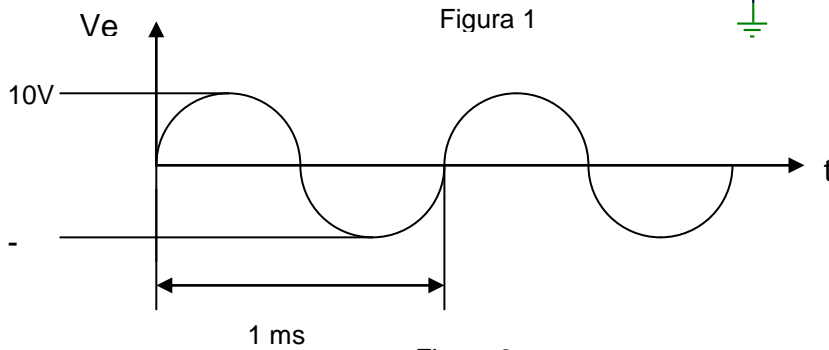
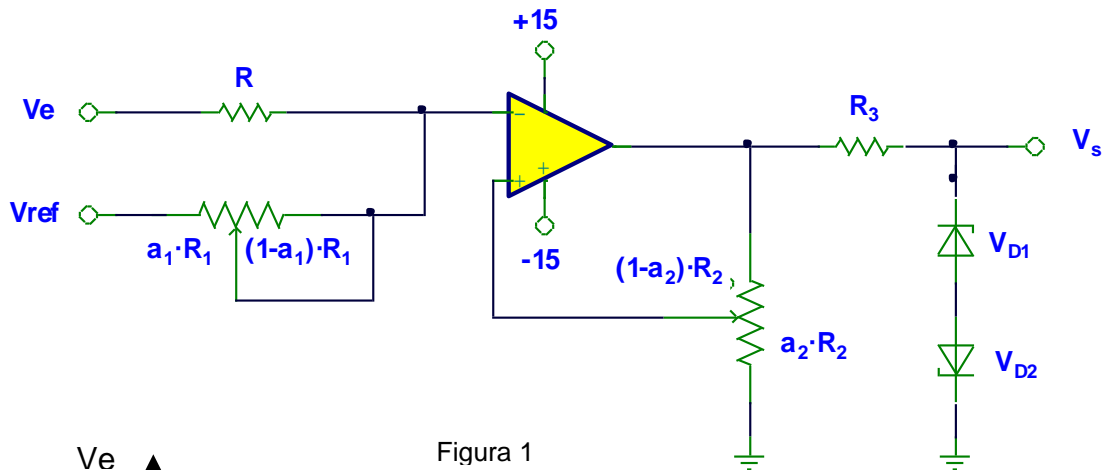


El circuito de la figura representa un modulador PWM. Representar, con detalle, la evolución temporal de las tensiones  $V_a$ ,  $V_c$  y  $V_s$  para una posición del potenciómetro  $R_8$  tal que  $a = 0.5$ .



**Problema 36. Control de temperatura mediante comparación con una referencia.**

Se desea realizar el control de temperatura de un invernadero. La tensión de salida proveniente del sensor de temperatura es  $V_e$ . Para ello se dispone del circuito de la figura 1 y la salida  $V_s$  debe ser compatible con tecnología TTL para realizar el control.



Se pide:

1. ¿De qué tipo de circuito se trata?

2. Dibujar con todo detalle la función de transferencia del sistema expresando numéricamente los diferentes valores de la tensión de salida en función de la entrada y para qué valores de la entrada se producen cambios en la salida. Datos:  $R=10K\Omega$ ,  $R_1=10K\Omega$ ,  $a_1=0.5$ ,  $R_2=10K\Omega$ ,  $a_2=0.5$ ,  $V_{z1}=V_{z2}=5V$ ,  $V_{\gamma 1}=V_{\gamma 2}=0V$ ,  $V_{ref}=1V$ .

3. Dibujar asimismo con todo detalle la tensión de salida  $V_s$  correspondiente a la tensión de entrada  $V_e$  de la figura 2 considerando los datos del apartado anterior.

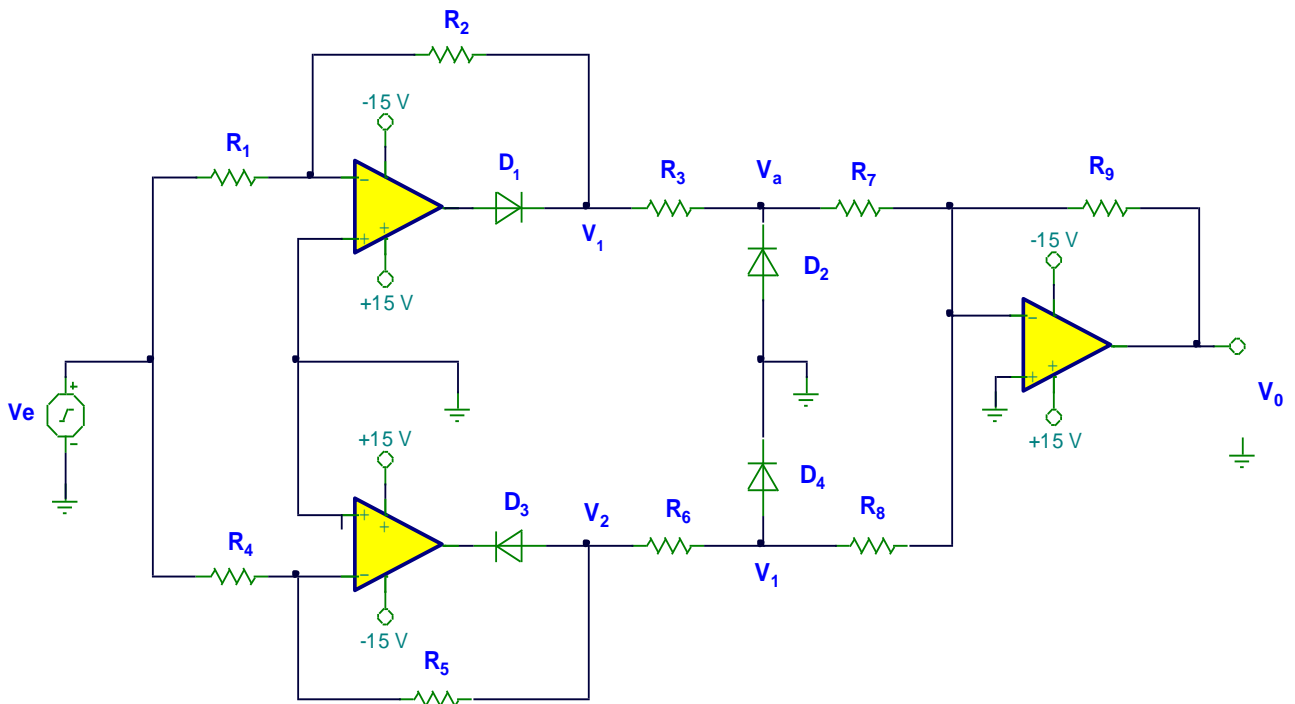
4. Calcular los límites entre los que puede variar  $a_2$  para que a la salida la señal ( $V_s$ ) sea un tren de pulsos (Exista ciclo de histéresis). Considerar:  $R=10K\Omega$ ,  $R_1=10K\Omega$ ,  $R_2=10K\Omega$ ,  $a_1=0.5$ ,  $V_z=5V$ ,  $V_\gamma=0V$ ,  $V_{ref}=1V$ .

=====

### Problema 37. Rectificación y atenuación

Se desea realizar la rectificación de una señal senoidal, así como su atenuación. En el circuito de la figura, suponiendo todas las resistencias iguales a  $1\text{ k}\Omega$ , los diodos ideales y una tensión de entrada senoidal de  $V_e = 8\text{-sen}(\omega t)\text{ V}$ . Calcular:

1. Tensiones  $V_1$  y  $V_2$  y su representación en función del tiempo, para cada uno de los semiperiodos de la tensión de entrada.
2. Tensiones  $V_a$  y  $V_b$  y su representación en función del tiempo.
3. Tensión de salida  $V_0$  y su representación en función del tiempo.
4. ¿Qué ocurre si quitamos los diodos  $D_2$  y  $D_4$ ? ¿Tienen alguna utilidad?
5. Si la señal  $V_0$  se entrega a un sistema 2. Considerando que la tensión de entrada  $V_e$  puede alcanzar  $10V$  de amplitud, ¿qué valor mínimo ha de tener la impedancia de entrada del sistema 2? Todos los AO son 741.



**Problema 38. Alimentación de un motor mediante una señal de onda cuadrada.**

Para alimentar un motor de corriente continua, se dispone de del circuito de la figura. Se pide:

- a) Calcular el valor máximo de la tensión, frecuencia y periodo de  $V_o$ .
- b) Representar simultáneamente la forma de onda de  $V_o$  y  $V_c$ .
- c) Calcular  $R_L$  para que el motor funcione correctamente sin quemarse, en el supuesto que la tensión  $V_o$  sea la calculada en el apartado anterior.

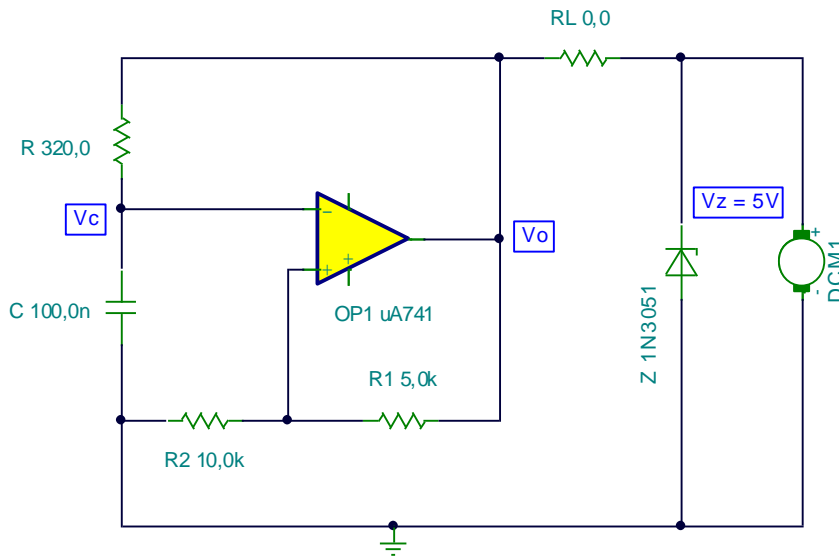
DATOS:

$V_{CC} = \pm 15 \text{ V}$  ; Corriente de salida de operacional  $I_o = 25 \text{ mA}$

$R_1 = 5 \text{ k}\Omega$      $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$      $R = 320 \Omega$      $C = 100 \text{ nF}$

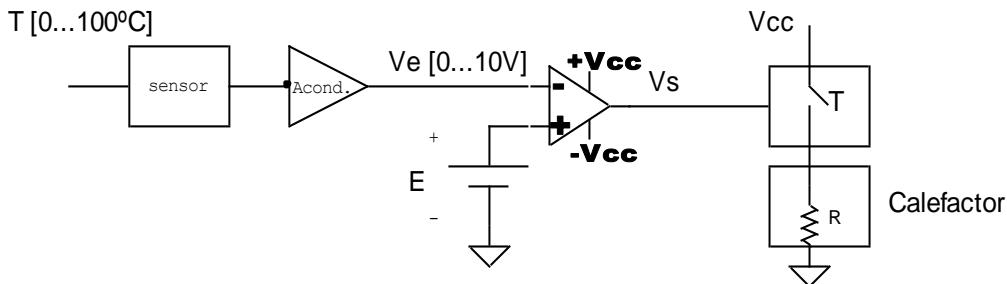
MOTOR: Corriente continua  $5 \text{ V} / 50 \text{ mW}$

ZENER :  $V_z = 5 \text{ V}$      $I_{zmin} = 5 \text{ mA}$      $I_{zmax} = 100 \text{ mA}$



**Problema 39. Regulador de temperatura**

Se pretende diseñar un regulador de temperatura, concretamente un sistema de calefacción para un ambiente frío ( $5^\circ\text{C}$ ). El circuito es el siguiente:



Si la temperatura es inferior a  $21^\circ\text{C}$ ,  $V_s$  es tal que se cierra el interruptor T y el calefactor calienta el ambiente.

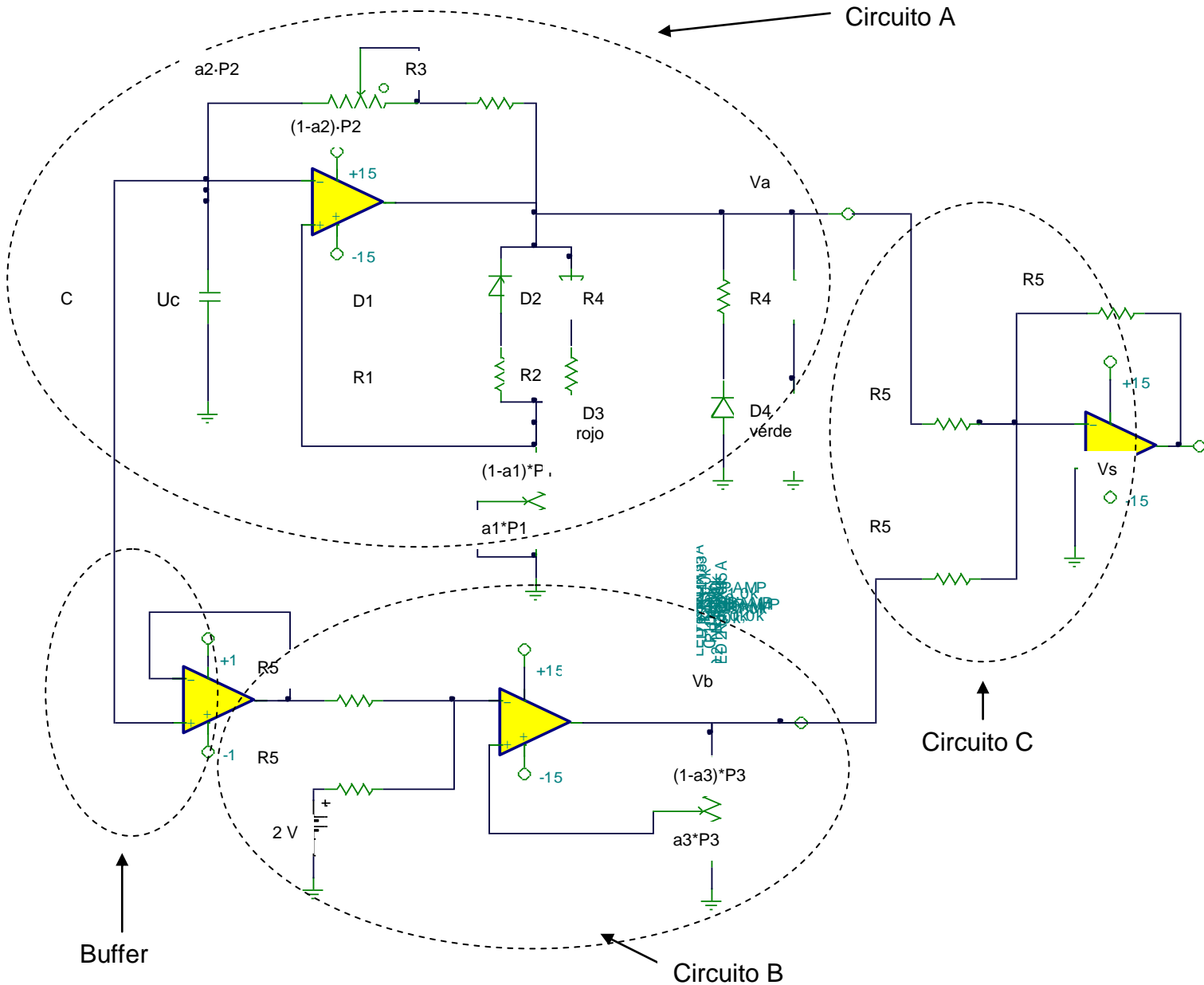
Si la temperatura es superior a  $21^\circ\text{C}$ ,  $V_s$  es tal que se abre el interruptor T y el calefactor deja de calentar.

Se pide:

- 1- Calcular el valor de E para que el circuito cumpla las especificaciones deseadas, calculando  $V_s$  para  $T^a < 21^\circ\text{C}$  y  $T^a > 21^\circ\text{C}$ . Dibujar la función de transferencia  $V_s = f(T)$ .
- 2- ¿Qué problema tiene este circuito? Dibujar la curva de la  $T^a$  en función del tiempo para explicarlo.

Proponer un esquema alternativo de modo que la temperatura nunca supere los 23°C y no sea inferior a 19°C. Diseñar cada uno de los elementos del sistema propuesto.

**Problema 40. Generador de señal.**



Con el circuito de la figura se pretenden generar señales cuadradas con ciclo de trabajo variables así como otro tipo de señal de una forma de onda muy específica.

**Para el circuito A (considerando que inicialmente se encuentra desconectado del resto de circuitos calcular y sabiendo que la realimentación neta de este circuito es positiva) calcular:**

1. Calcular la expresión algebraica del periodo de la señal  $V_a$ . Considerar  $D1, D2$  y el amplificador operacional ideales.

*Nota: la solución de una ecuación diferencial del tipo  $\frac{dV(t)}{dt} + aV(t) = S$  es del tipo  $V(t) = A + B \cdot e^{-a \cdot t}$*

*Donde A y B se calculan a partir de las condiciones de contorno.*

2. Calcular el valor numérico de dicho periodo considerando:  $R1=10K\Omega$ ,  $R2=20K\Omega$ ,  $R3=10K\Omega$ ,  $a1=a2=0.5, P1=100K\Omega, P2=250K\Omega$ ,  $V_{sat}=\pm 15V$ ,  $C=47nF$ .



3. Dibujar  $V_a$  y  $V_c$  en función del tiempo.

4. Con los datos anteriores, y teniendo en cuenta que los diodos led tienen una tensión nominal de 1.5V y soportan unas corrientes comprendidas entre 1 y 5 mA. Calcular el valor de  $R_4$ .

**Se conectan el circuito A y B mediante un buffer y sus salidas ( $V_a$  y  $V_b$ ) al circuito C**

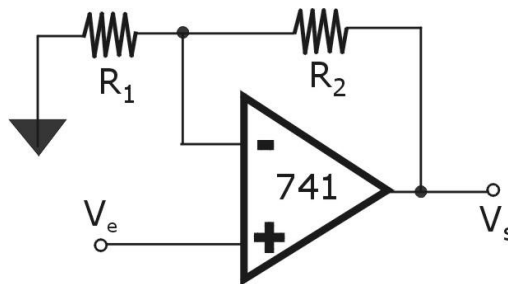
5. Calcular la evolución de  $V_b$  y representar en una misma gráfica la evolución temporal de  $V_b$  y de  $V_c$

6. Calcular  $V_s$  en función de  $V_a$  y  $V_b$  y representar gráficamente  $V_s$  en función del tiempo.

=====

**Problema 41. Comportamiento en frecuencia de un amplificador inversor.**

El circuito de la figura muestra un amplificador de tensión no inversor basado en un AO 741. Se considera que el AO está alimentado de manera simétrica con  $\pm 15$  V.



1) Calcular el valor mínimo de tensión de entrada ( $V_e$ ) para el cual la frecuencia máxima que puede procesar el sistema viene condicionada por el *slew rate*. Calcularlo para dos casos:

Caso 1)  $R_1=1$  k $\Omega$  y  $R_2=99$  k $\Omega$ .

Caso 2)  $R_1=1$  k $\Omega$  y  $R_2=9$  k $\Omega$ .

Comentar la diferencia entre los dos casos.

2) A partir de la gráfica suministrada por el fabricante (máxima tensión de salida vs. máxima frecuencia), se pide:

a) Comentar si la fórmula siguiente subestima o sobrestima el valor de frecuencia proporcionado por la gráfica.

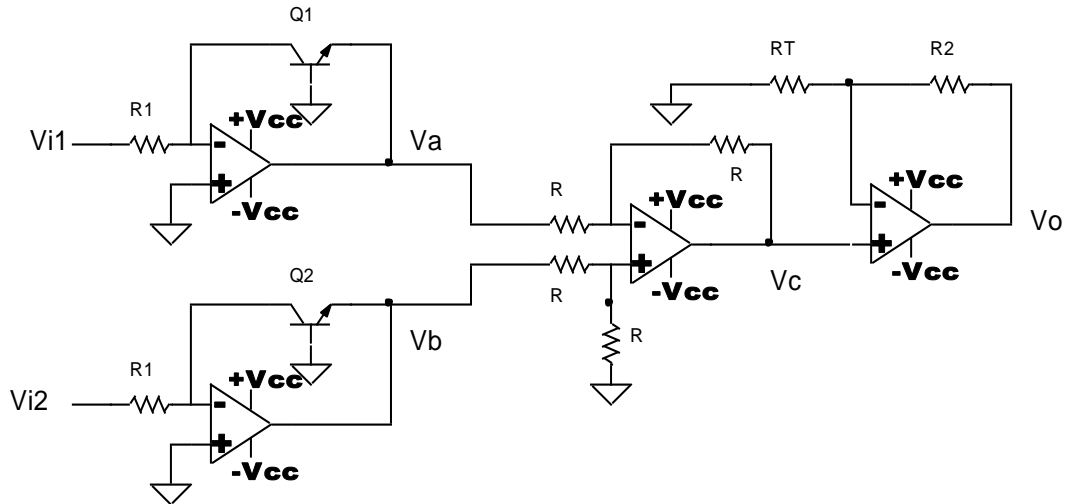
$$f_{m\acute{a}x}^{SR} = \frac{SR}{\pi \cdot A}$$

donde, A es el rango máximo de tensión de salida, y SR el valor de *slew rate* suministrado por el fabricante.

b) ¿A qué crees que se debe la tendencia de la curva hacia valores nulos de tensión de salida cuando la frecuencia se aproxima a 1 MHz?

**Problema 42. Convertidor logarítmico.**

Las señales  $V_{i1}$  y  $V_{i2}$ , provenientes de dos fotodetectores son señales de respuesta exponencial y para llevar a cabo la linealización de éstas, se ha implementado un convertidor logarítmico diferencial en el cual se compensa el efecto de la temperatura:



1. Expresar  $V_a$  en función de  $V_{i1}$  y de la Temperatura.
2. Expresar  $V_b$  en función de  $V_{i2}$  y de la Temperatura.
3. Expresar  $V_c$  en función de  $V_{i1}$  y  $V_{i2}$  y de la Temperatura.
4. Expresar  $V_o$  en función de  $V_{i1}$  y  $V_{i2}$  y de la Temperatura, considerando que  $R_T$  es una resistencia variable linealmente con la temperatura.
5. Justificar la utilidad de este circuito.

Se supondrán los siguientes datos como constantes:

Constante de Boltzman  $K$

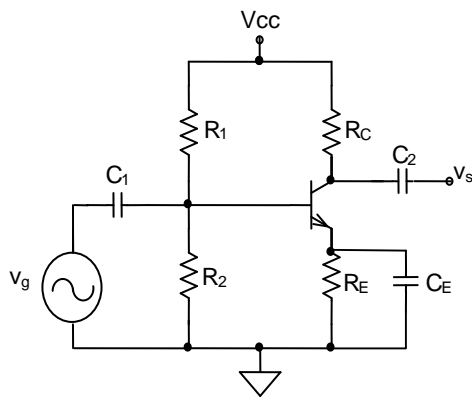
Carga del electrón

Corrientes inversas de los transistores.

## Problemas de Transistores

### Problema 43

1. Calcula el punto de polarización del transistor en el siguiente circuito.
2. Representa la recta de carga estática
3. Representa la recta de carga dinámica y calcula la máxima excursión simétrica sin distorsión de la tensión  $v_{CE}$  y de  $i_C$ .
4. Calcular a frecuencias medias y en pequeña señal: la máxima ganancia de tensión, la máxima ganancia de corriente, la impedancia de entrada y la impedancia de salida del circuito.
5. Análisis en baja frecuencia y pequeña señal: Calcular el efecto del condensador  $C_1$
6. Análisis en baja frecuencia y pequeña señal: Calcular el efecto del condensador  $C_2$
7. Análisis en baja frecuencia y pequeña señal: Calcular el efecto del condensador  $C_E$
8. Calcular la frecuencia de corte inferior del sistema
9. Calcular la frecuencia de corte superior del sistema



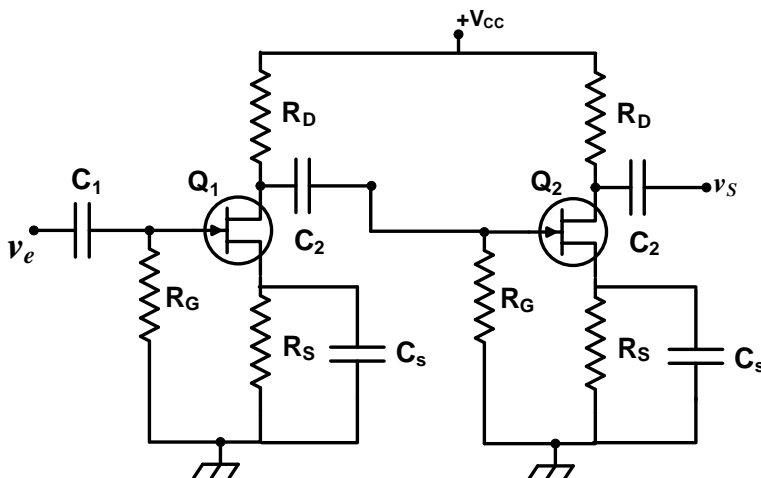
Datos:

$\beta=100$   
 $h_{ie}=3\text{ k}\Omega$   
 $h_{fe}=190$   
 $V_{BE}=0.7\text{ V}$   
 $C_{cb}=4\text{ pF}$   
 $C_{eb}=12\text{ pF}$   
 $f_T=180\text{ MHz}$

### Problema 44

Para el circuito de amplificación mostrado en la figura siguiente, calcular:

- Punto de polarización de los transistores  $Q_1$  y  $Q_2$
- Calcular a frecuencias medias la impedancia de entrada, la impedancia de salida y la máxima ganancia de tensión.

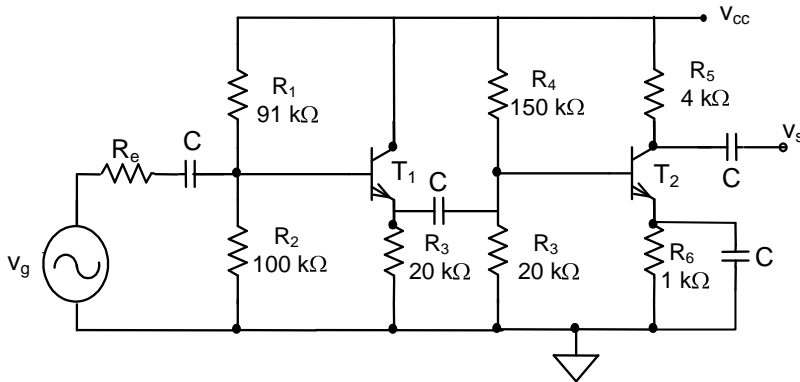


Datos:

$Q_1 = Q_2$   
 $V_{cc} = 20\text{ V}$   
 $I_{dss}=10\text{ mA}$   
 $V_p = -4\text{ V}$   
 $R_D = 2.4\text{ k}\Omega$   
 $R_G = 3.3\text{ M}\Omega$   
 $R_S = 680\ \Omega$   
 $C_1 = 1\ \mu\text{F}$   
 $C_2 = 0.05\ \mu\text{F}$   
 $C_s = 100\ \mu\text{F}$

**Problema 45**

Para el circuito amplificador de dos etapas de la siguiente figura, calcular a frecuencias medias y pequeña señal la impedancia de entrada, la impedancia de salida y la máxima ganancia de tensión:

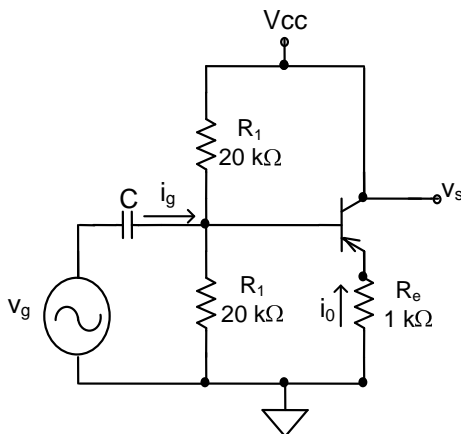


Datos:

- $T_1 = T_2$
- $h_{FE} = 200$
- $h_{ie1} = 10.3 \text{ k}\Omega$
- $h_{ie2} = 3.07 \text{ k}\Omega$
- $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$

**Problema 46**

En el siguiente circuito, calcular en pequeña señal y a frecuencias medias: la impedancia de entrada, la impedancia de salida, la ganancia de corriente ( $i_o/i_g$ ) y la ganancia de tensión ( $V_s/V_g$ )



Datos:

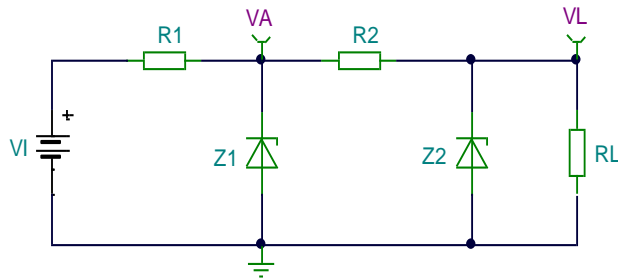
- $V_{CC} = -10 \text{ V}$
- $V_{BEon} = -0.6 \text{ V}$
- $h_{FE} = 200$

PROBLEMAS FUENTES DE ALIMENTACIÓN

**Problema 47. Estabilizador de tensión con diodos zener.**

El circuito estabilizador de la figura, alimenta una carga  $R_L$  de  $1,2\text{ k}\Omega$  en la que deseamos obtener  $12\text{ V}$ , empleando para ello diodos zener. Determinar:

- a) Tensión en el punto  $V_A$  respecto de masa.
- b) Valor de la resistencia limitadora  $R_1$  y la potencia que disipa.
- c) Potencia disipada por cada uno de los diodos zener.

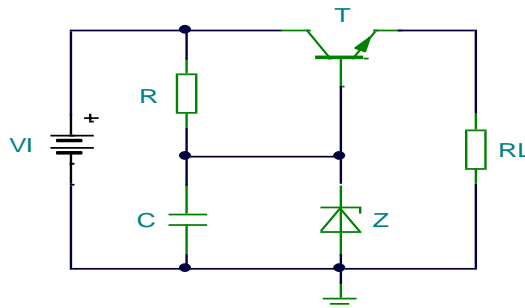


Datos:  $V_I = 37\text{ V}$     $R_L = 1,2\text{ k}\Omega$     $R_2 = 0,5\text{ k}\Omega$   
 $V_{Z1} = 21\text{ V}$     $r_{z1} = 100\ \Omega$     $V_{Z2} = 11,8\text{ V}$     $r_{z2} = 20\ \Omega$    Nota: Aplicar modelo lineal

**Problema 48. Regulador de tensión tipo serie**

En el circuito regulador de tensión de la figura, para una entrada  $V_I$  de  $10\text{ V}$  con una variación del  $12\%$ , se necesita suministrar una corriente de  $50\text{ mA}$  a la carga  $R_L$ . Determinar:

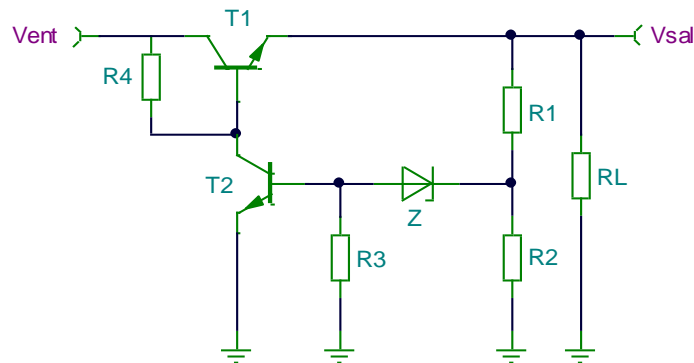
- a) Valor de la  $R_L$  y la potencia que disipa.
- b) Margen de valores que puede tomar la resistencia limitadora  $R$



Datos:  $V_I = 10\text{ V} \pm 12\%$     $I_L = 50\text{ mA}$     $V_{BE} = 0,6\text{ V}$     $\beta = 49$     $I_{CBO} = 0$   
 $V_Z = 5,1\text{ V}$     $r_z = 0\ \Omega$     $I_{Zmin} = 0,1$     $I_{Zmax}$     $P_{Zmax} = 0,5\text{ W}$    Nota: Aplicar modelo lineal

**Problema 49. Regulador de tensión tipo serie mejorado.**

En el circuito de la figura, si fijamos  $R_1 = 20\text{ k}\Omega$  ,  $R_2 = 30\text{ k}\Omega$  y  $V_Z = 8,3\text{ V}$ , calcular la tensión de salida que fija el regulador en la carga  $R_L$

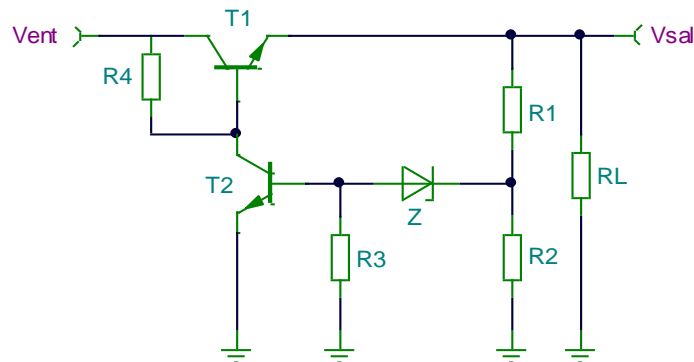


Datos:  $V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7\text{ V}$

**Problema 50. Regulador de tensión tipo serie mejorado.**

En el circuito de la figura calcular:

- a) Tensión de salida que fija el regulador en la carga  $R_L$
- b) Tensión y corriente en cada una de las resistencias del circuito.

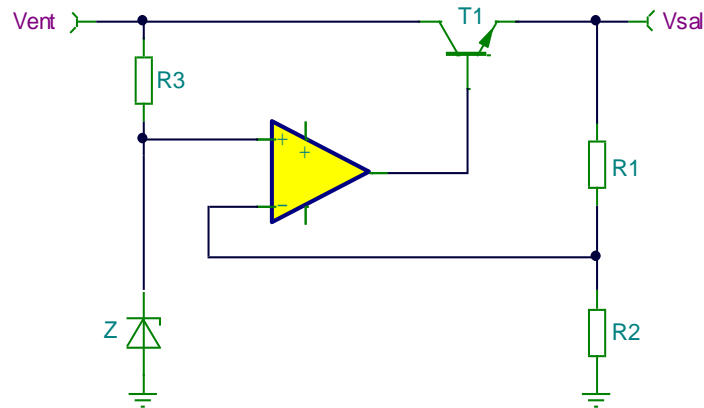


Datos:  $R_1 = 3,3\text{ k}\Omega$  ;  $R_2 = 2,2\text{ k}\Omega$  ;  $R_3 = 5\text{ k}\Omega$  ;  $R_4 = 10\text{ k}\Omega$  ;  $R_L = 2\text{ k}\Omega$   
 $V_{ent} = 40\text{ V}$  ;  $V_Z = 10\text{ V}$  ;  $V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7\text{ V}$

**Problema 51. Regulador serie con amplificador operacional.**

En el circuito de la figura calcular:

- a) Tensión de salida que fija el regulador. ( salida en vacío )
- b) Tensión y corriente en las resistencias R1 y R2 del circuito.

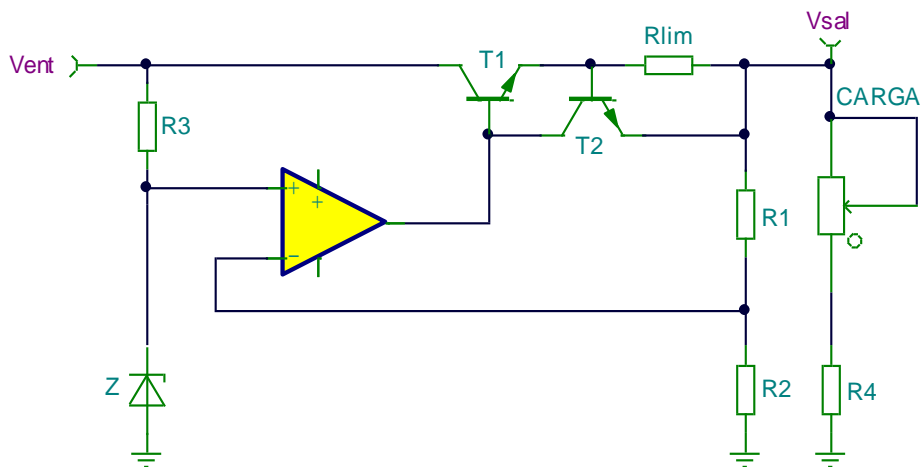


Datos:  $R1 = 100\text{ k}\Omega$  ;  $R2 = 50\text{ k}\Omega$  ;  $R3 = 5\text{ k}\Omega$   
 $V_{ent} = 35\text{ V}$  ;  $V_Z = 10\text{ V}$  ;  $I_{Zmin} = 1\text{ mA}$  ;  $P_{Zmax} = 0,5\text{ W}$  ;  $V_{BE} = 0,7\text{ V}$

**Problema 52. Regulador serie mejorado con limitación de corriente.**

En el circuito de la figura calcular:

- a) Tensión de salida que fija el regulador.
  - b) Corriente en la resistencia R3
  - c) Corriente mínima y máxima en la resistencia R4.
  - d) Calcular la resistencia limitadora  $R_{LIM}$
- Podemos despreciar las corrientes por R1 y R2 para facilitar los cálculos.



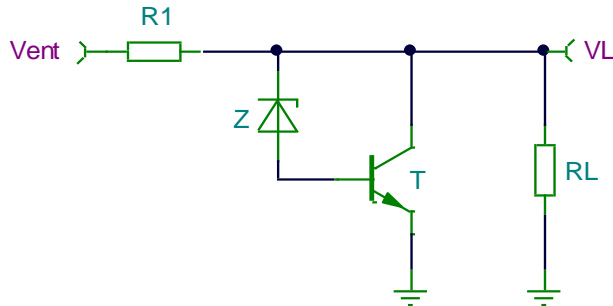
Datos:  $R1 = 100\text{ k}\Omega$  ;  $R2 = 50\text{ k}\Omega$  ;  $R3 = 5\text{ k}\Omega$  ;  $R4 = 50\text{ }\Omega$  ; Potenciómetro de  $0,55\text{ k}\Omega / 3\text{ w}$   
 $V_{ent} = 35\text{ V}$  ;  $V_Z = 10\text{ V}$  ;  $I_{Zmin} = 1\text{ mA}$  ;  $P_{Zmax} = 0,5\text{ W}$  ;  $V_{BE} = 0,6\text{ V}$

**Problema 53. Regulador de tensión tipo paralelo.**

En el circuito de la figura calcular:

- a) Tensión de salida que fija el regulador en la carga  $R_L$
- b) Tensión y corriente en cada una de las resistencias del circuito.
- c) Corriente de colector.

Suponemos que la corriente necesaria en el zener es menor que la de colector.

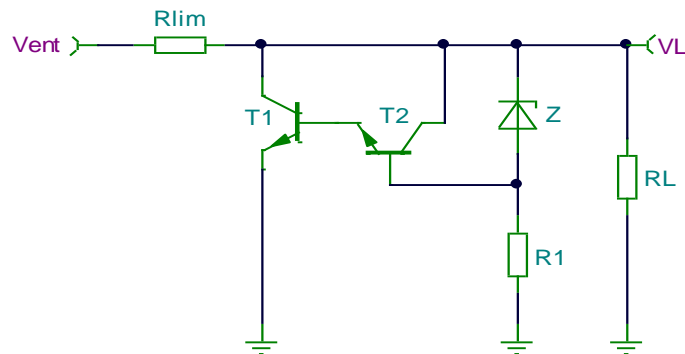


Datos:  $R_1 = 120 \Omega$  ;  $R_L = 100 \Omega$   
 $V_{ent} = 22 \text{ V}$  ;  $V_Z = 8,2 \text{ V}$  ;  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$

**Problema 54. Regulador de tensión tipo paralelo mejorado.**

En el circuito de la figura calcular:

- a) Tensión de salida que fija el regulador en la carga  $R_L$
- a) ¿Cómo calcularíamos la resistencia limitadora y qué datos deberíamos conocer?



Datos:  $R_1 = 150 \Omega$  ;  $R_L = 120 \Omega$   
 $V_{ent} = 20 \text{ V}$  ;  $V_Z = 10,5 \text{ V}$  ;  $V_{BE1} = V_{BE2} = 0,75 \text{ V}$



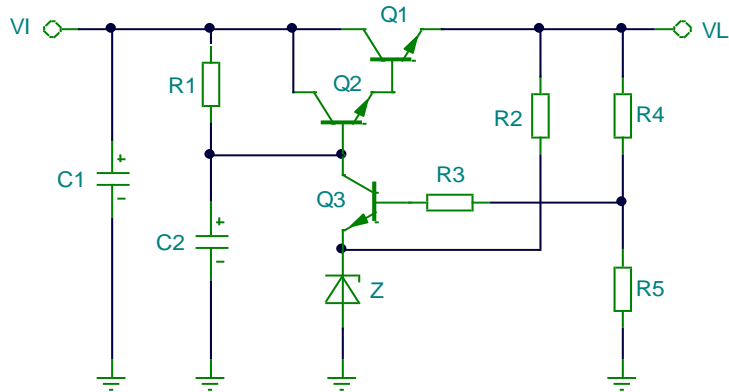
**Problema 55. Fuente de alimentación típica.**

Partiendo del circuito de la figura, se desea diseñar una fuente de alimentación, sabiendo que se alimenta con un transformador de 220/12 V ( 1 A ) y un puente rectificador de onda completa, debiendo entregar a su salida una tensión  $V_L$  de 10 V con una intensidad de corriente de 0,5 A. ¿ Qué sucede si se coloca un potenciómetro P de  $500 \Omega$  entre R4 y R5?.

Nota : Para el diseño fijaremos la corriente por el diodo zener 1 mA por encima de su  $I_{Zmin}$

Considerar ideales los cuatro diodos del puente rectificador.

El esquema lo suponemos dibujado sin carga en  $V_L$



- Datos:  $C_1 = 4700 \mu\text{F}$ ;  $C_2 = 100 \mu\text{F}$ ;  $R_4 = 1,5 \text{ k}\Omega$  ;  $V_{R5} = 7,6 \text{ V}$   
 $Q1 = 2\text{N}3055$  (  $V_{BE1} = 0,6 \text{ V}$ ;  $\beta_1 = 29$  )  
 $Q2 = \text{BD}137$  (  $V_{BE2} = 0,6 \text{ V}$ ;  $\beta_2 = 49$  )  
 $Q3 = \text{BC}547$  (  $V_{BE3} = 0,6 \text{ V}$  ;  $\beta_3 = 100$   $I_{B3} = 10 \mu\text{A}$  )  
Zener (  $V_Z = 6 \text{ V}$  ;  $I_{Zmin} = 3 \text{ mA}$  ;  $P_{Zmax} = 0,4 \text{ W}$  )