



Universidad
Carlos III de Madrid



Departamento
Tecnología
Electrónica

Fundamentos de Ingeniería Electrónica

Sesión 7: Amplificadores (Ejercicios con operacionales)

Sesión 7.

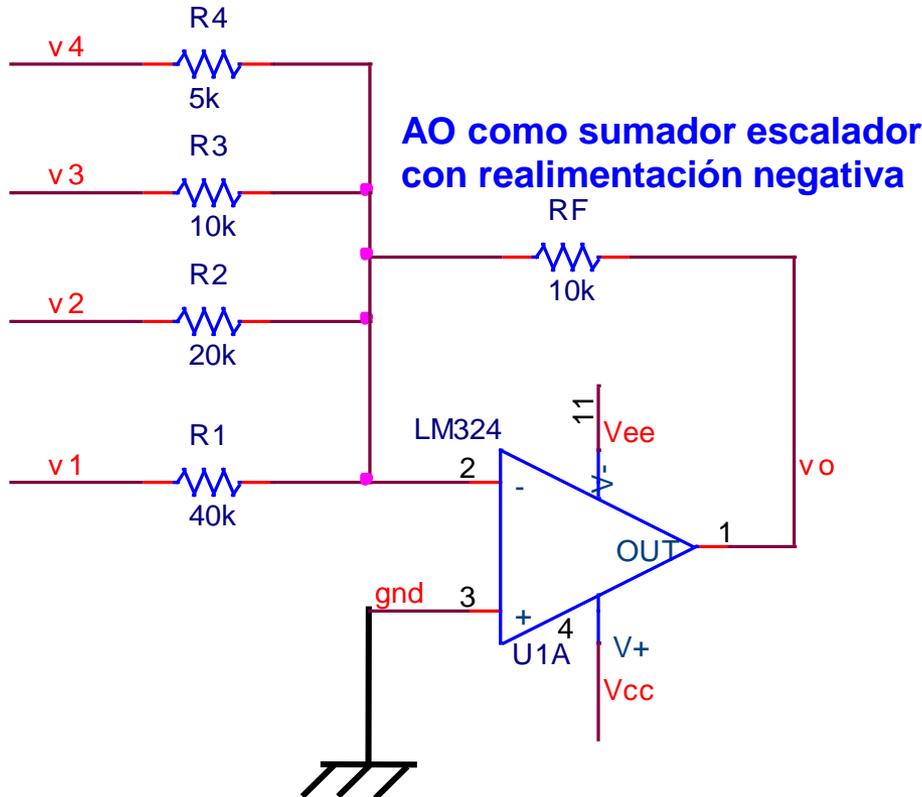
Amplificadores. Ejercicios con operacionales.

- Problema 4: Conversor Digital-Analógico (D/A)
- Problema 5: promediador (para casa)
- Problema 6: promediador con peso (para casa)
- Problema 7: amplificador sumador-restador (para casa)
- Problema 8: acoplo de impedancias (para casa)
- Problema 9: amplificando la señal de un fotodiodo (cara a laboratorio)
- Problema 10: otra forma de hacerlo (amplificador de transimpedancia)
- Problema 11: un problema de examen para ver el nivel que pedimos.
- Problema 12: otro (para casa)

Problema 4: Sumador - Conversor Digital / Analógico(D/A)

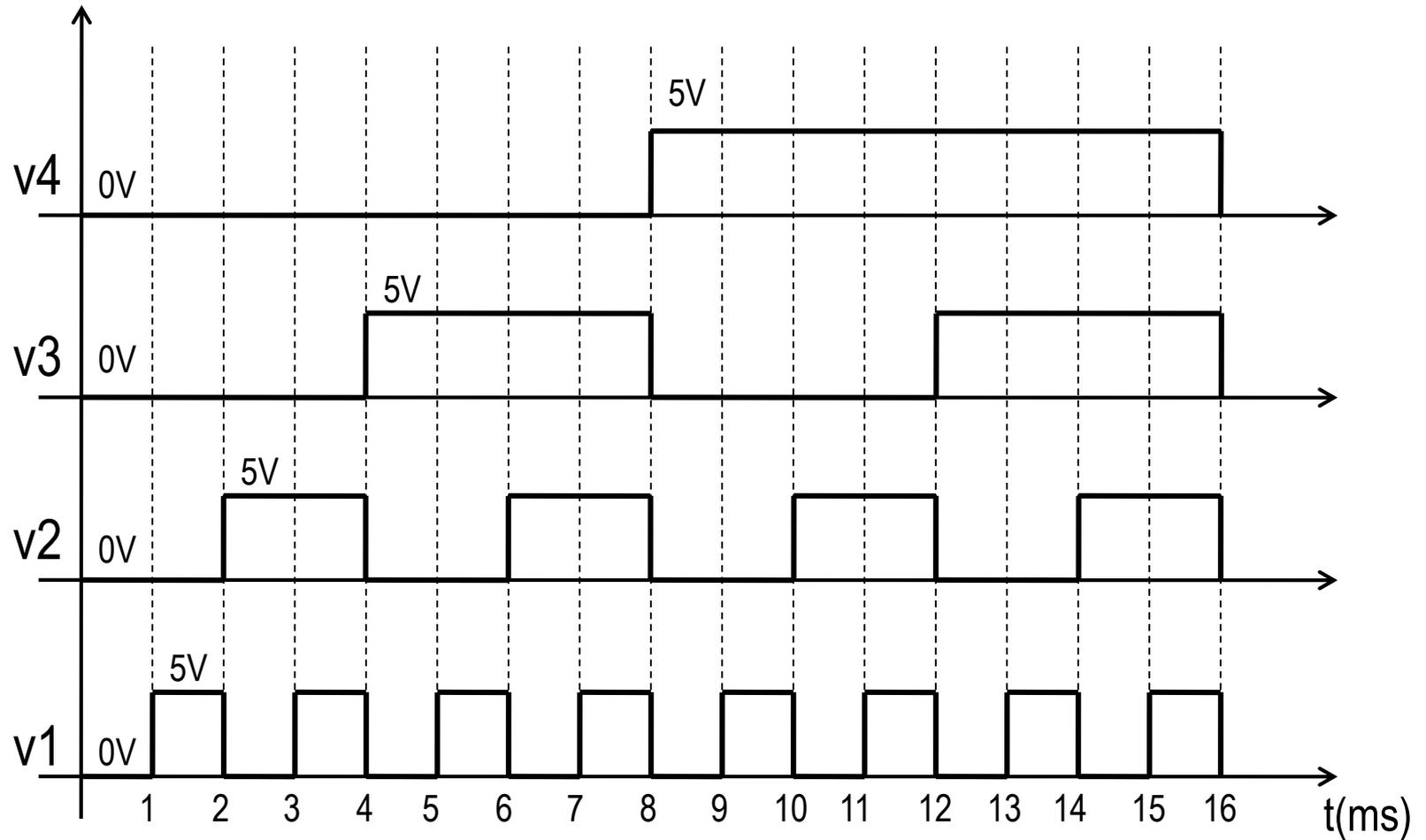
Para el circuito de la figura, se pide:

- Encontrar los valores de v_o para cada entrada de la tabla, y representar en función del tiempo.
- ¿Qué función realiza el amplificador sumador escalador basado en AO? Observe el escalado de las resistencias R1, R2, R3 y R4.



Tiempo (ms)	v4	v3	v2	v1	v _o
0 a 1	0	0	0	0	
1 a 2	0	0	0	5	
2 a 3	0	0	5	0	
3 a 4	0	0	5	5	
4 a 5	0	5	0	0	
5 a 6	0	5	0	5	
6 a 7	0	5	5	0	
7 a 8	0	5	5	5	
8 a 9	5	0	0	0	
9 a 10	5	0	0	5	
10 a 11	5	0	5	0	
11 a 12	5	0	5	5	
12 a 13	5	5	0	0	
13 a 14	5	5	0	5	
14 a 15	5	5	5	0	
15 a 16	5	5	5	5	

Problema 4: Sumador - Conversor Digital / Analógico(D/A)



Solución:

$$v_O = -R_F \cdot \left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_3}{R_3} + \frac{v_4}{R_4} \right)$$

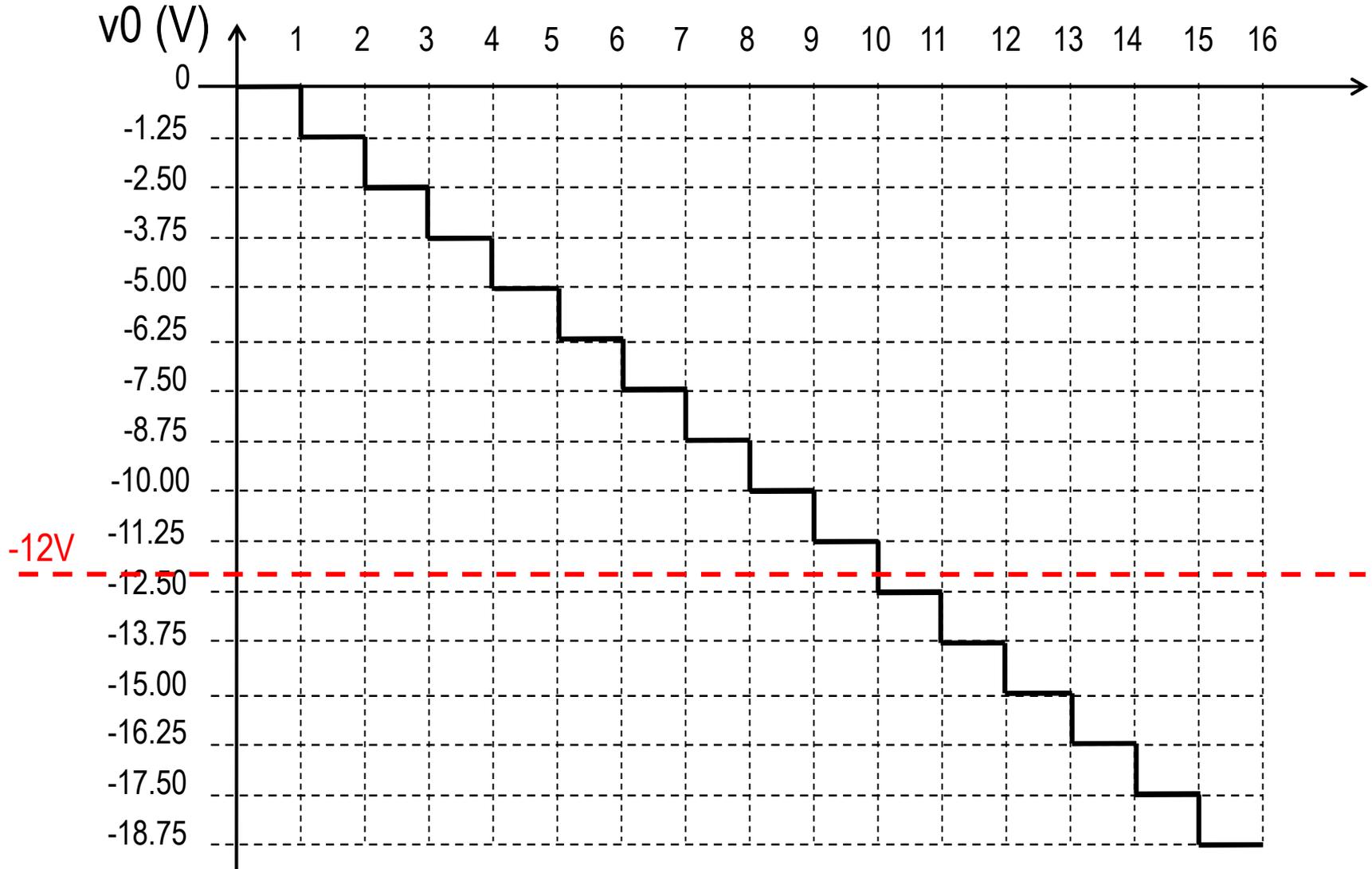
Problema 4: Sumador - Conversor Digital / Analógico(D/A)

Solución:

t (ms)	v4	v3	v2	v1	v _O
0 a 1	0	0	0	0	$v_O = -10 \cdot (0 + 0 + 0 + 0) = 0V$
1 a 2	0	0	0	5	$v_O = -10 \cdot (0 + 0 + 0 + 0.125) = -1.25V$
2 a 3	0	0	5	0	$v_O = -10 \cdot (0 + 0 + 0.25 + 0) = -2.5V$
3 a 4	0	0	5	5	$v_O = -10 \cdot (0 + 0 + 0.25 + 0.125) = -3.75V$
4 a 5	0	5	0	0	$v_O = -10 \cdot (0 + 0.5 + 0 + 0) = -5V$
5 a 6	0	5	0	5	$v_O = -10 \cdot (0 + 0.5 + 0 + 0.125) = -6.25V$
6 a 7	0	5	5	0	$v_O = -10 \cdot (0 + 0.5 + 0.25 + 0) = -7.5V$
7 a 8	0	5	5	5	$v_O = -10 \cdot (0 + 0.5 + 0.25 + 0.125) = -8.75V$
8 a 9	5	0	0	0	$v_O = -10 \cdot (1 + 0 + 0 + 0) = -10V$
9 a 10	5	0	0	5	$v_O = -10 \cdot (1 + 0 + 0 + 0.125) = -11.25V$
10 a 11	5	0	5	0	$v_O = -10 \cdot (1 + 0 + 0.25 + 0) = -12.5V$
11 a 12	5	0	5	5	$v_O = -10 \cdot (1 + 0 + 0.25 + 0.125) = -13.75V$
12 a 13	5	5	0	0	$v_O = -10 \cdot (1 + 0.5 + 0 + 0) = -15V$
13 a 14	5	5	0	5	$v_O = -10 \cdot (1 + 0.5 + 0 + 0.125) = -16.25V$
14 a 15	5	5	5	0	$v_O = -10 \cdot (1 + 0.5 + 0.25 + 0) = -17.5V$
15 a 16	5	5	5	5	$v_O = -10 \cdot (1 + 0.5 + 0.25 + 0.125) = -18.75V$

Problema 4: Sumador - Conversor Digital / Analógico(D/A)

Solución:

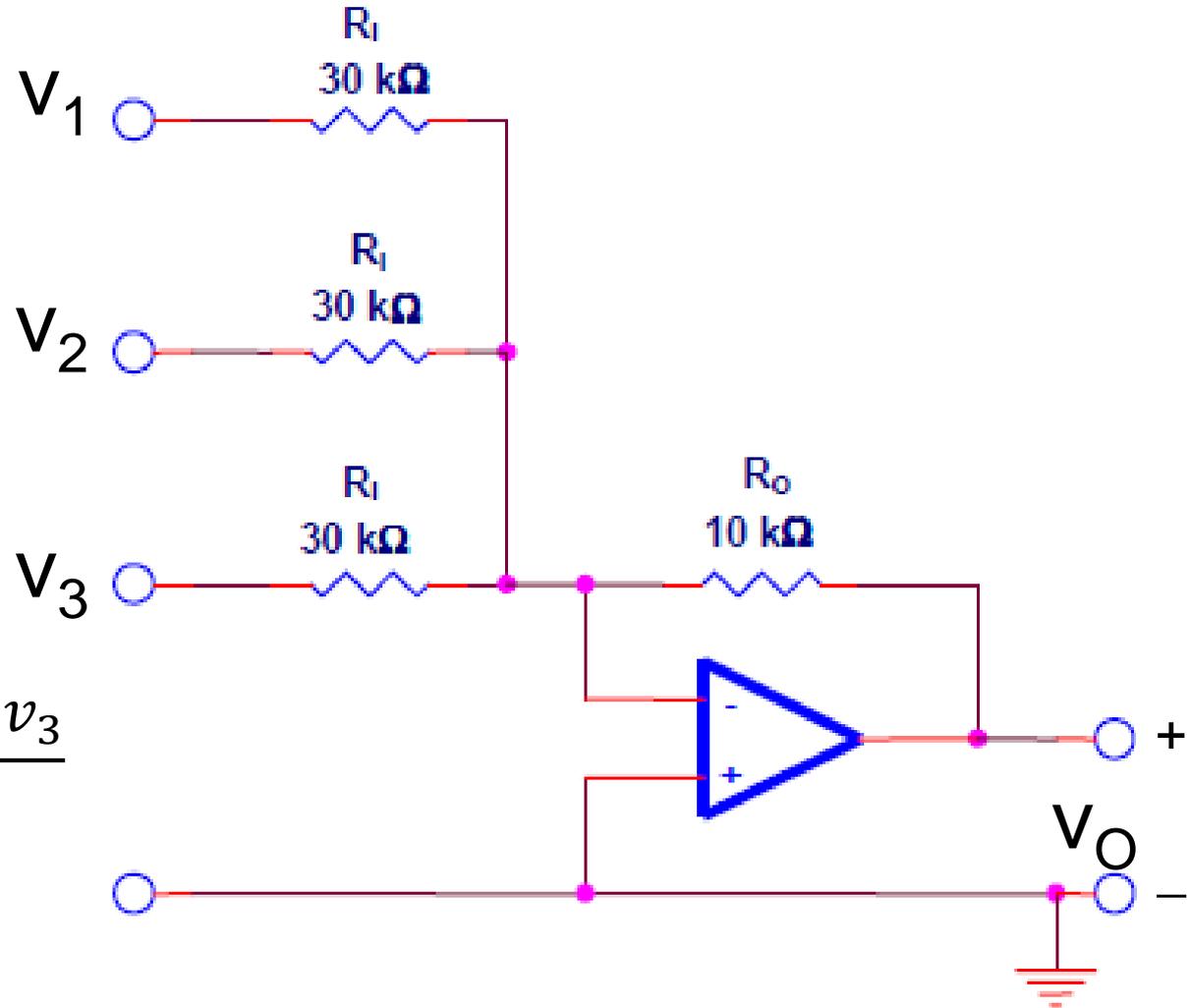


Problema 5: Promediador (para casa)



Demostrar esta expresión de la salida en función de las entradas.
Se parece mucho al anterior.

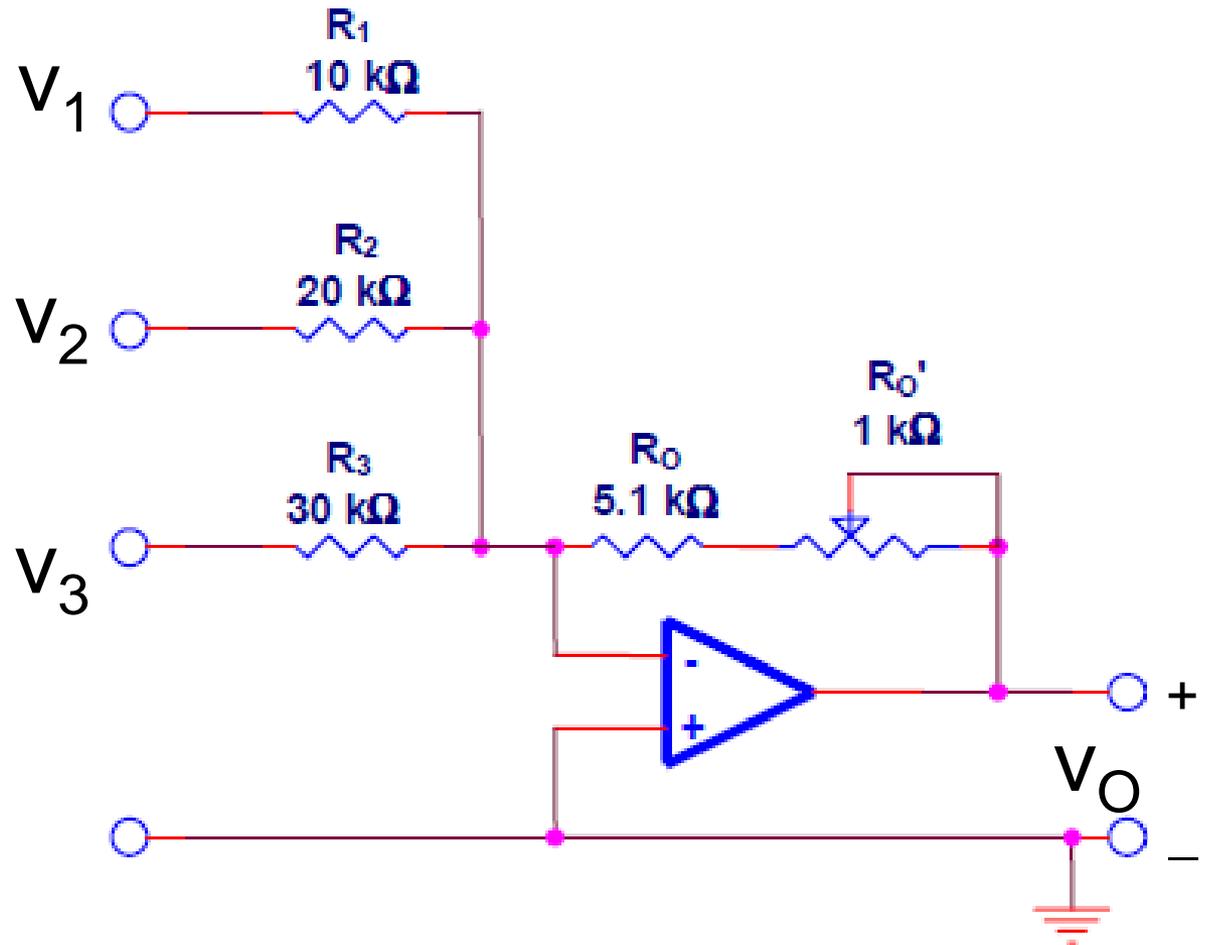
$$v_0 = - \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$$



Problema 6: Promediador con peso (para trabajar en casa)



Promedio con peso...

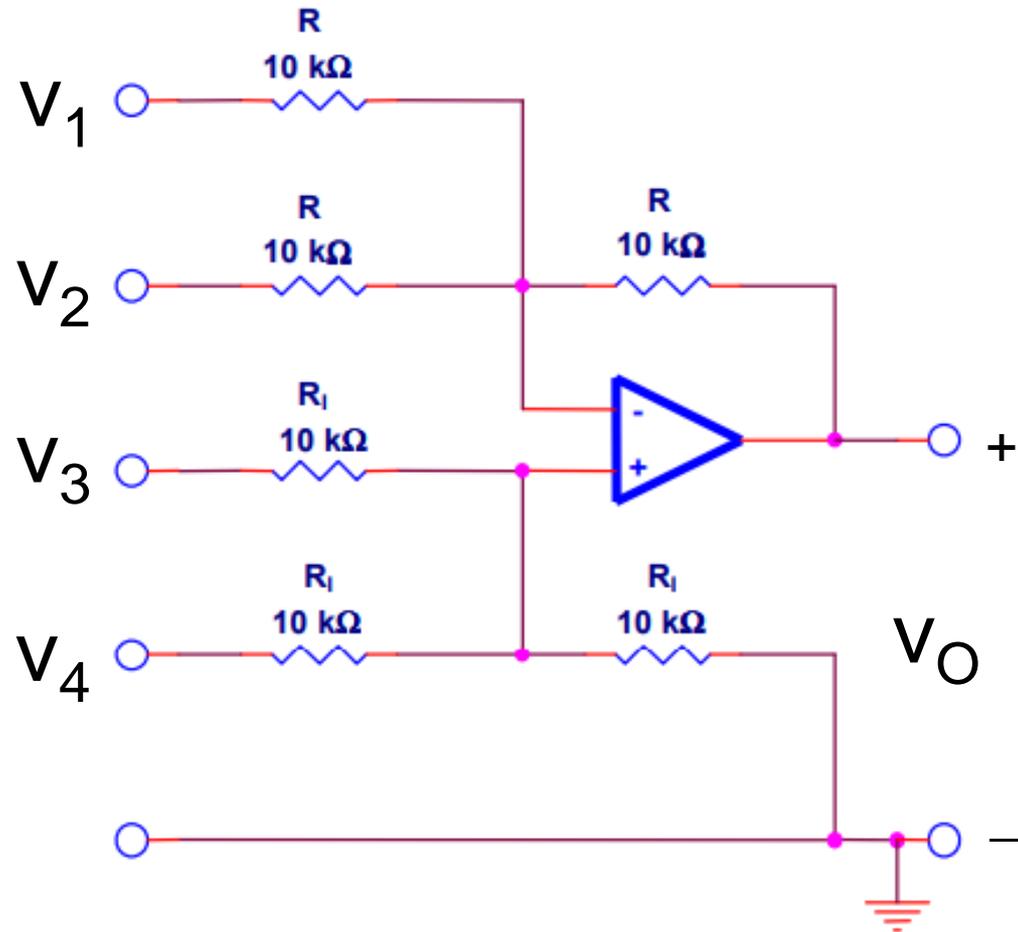


Problema 7: Amplificador sumador-restador (para casa)

Adder-Subtractor or Floating Input Combiner



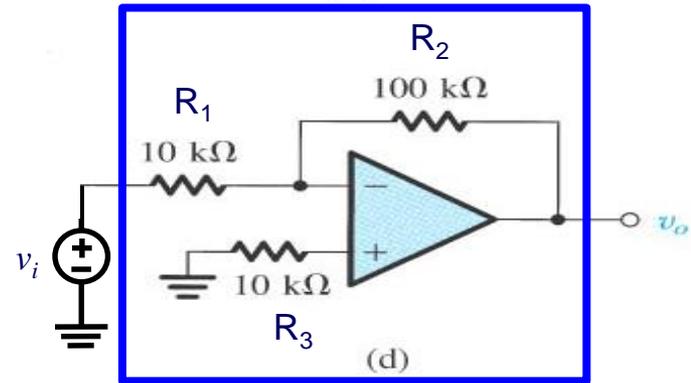
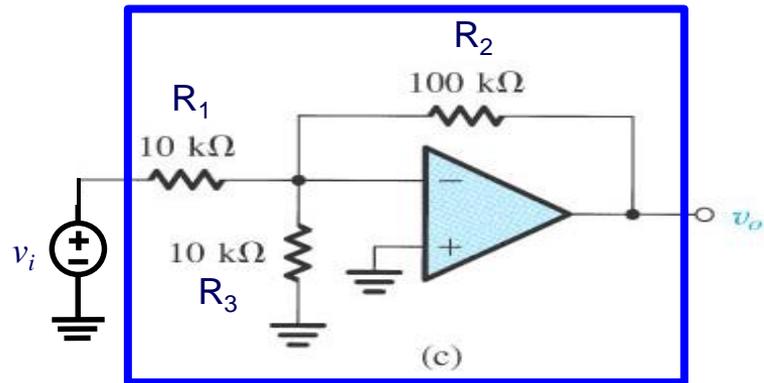
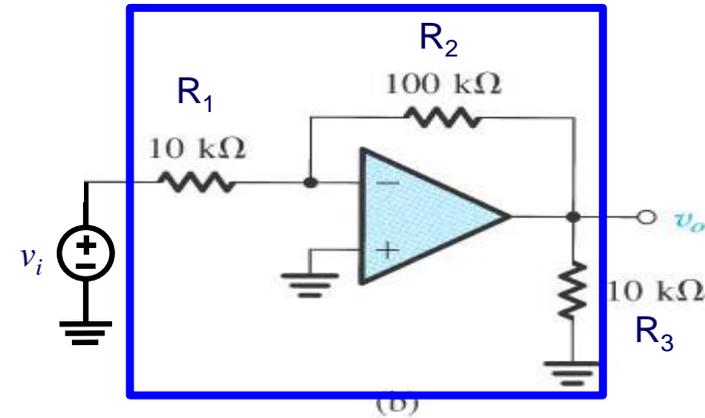
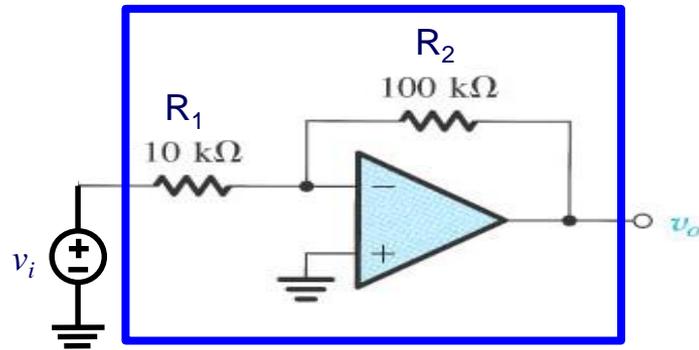
Encontrar la salida en función de las cuatro entradas.



Problema 8: Acoplo de impedancias

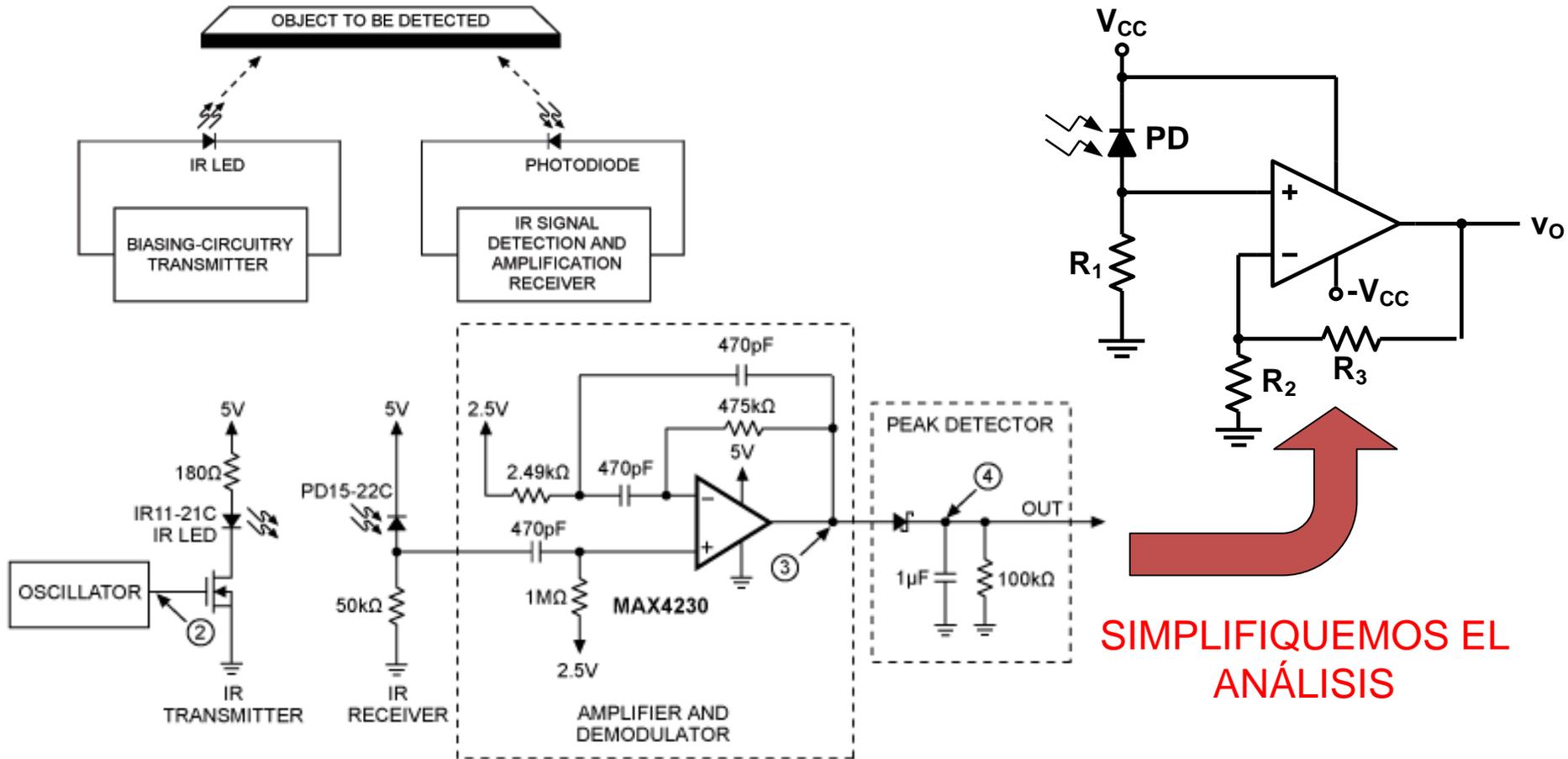
PARA TRABAJAR EN CASA

Se desea conectar en cascada 4 etapas amplificadoras y comprobar el efecto posible del acoplo entre ellas. **¿Se pueden conectar indistintamente las 4 etapas?** Calcule para comprobarlo las ganancias y las impedancias de entrada y salida de cada amplificador basado en AO de la figura.



Problema 9: Amplificando una señal de un fotodiodo (lab)

Aplicación para sensor de proximidad



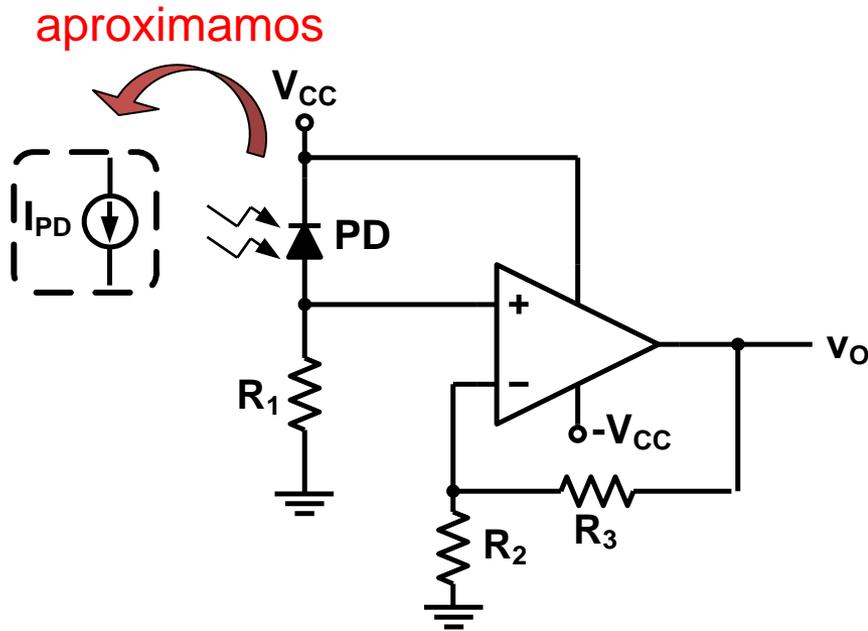
Nota de aplicación Maxim Integrated:

High-Speed Op Amp Enables Infrared (IR) Proximity Sensing

<https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4622>

<http://www.dte.uc3m.es>

Problema 9: Amplificando una señal de un fotodiodo (lab)



ANÁLISIS

$$v^+ = i_{PD} \cdot R_1$$

$$v_o = v^+ \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

$$v_o = i_{PD} \cdot R_1 \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$



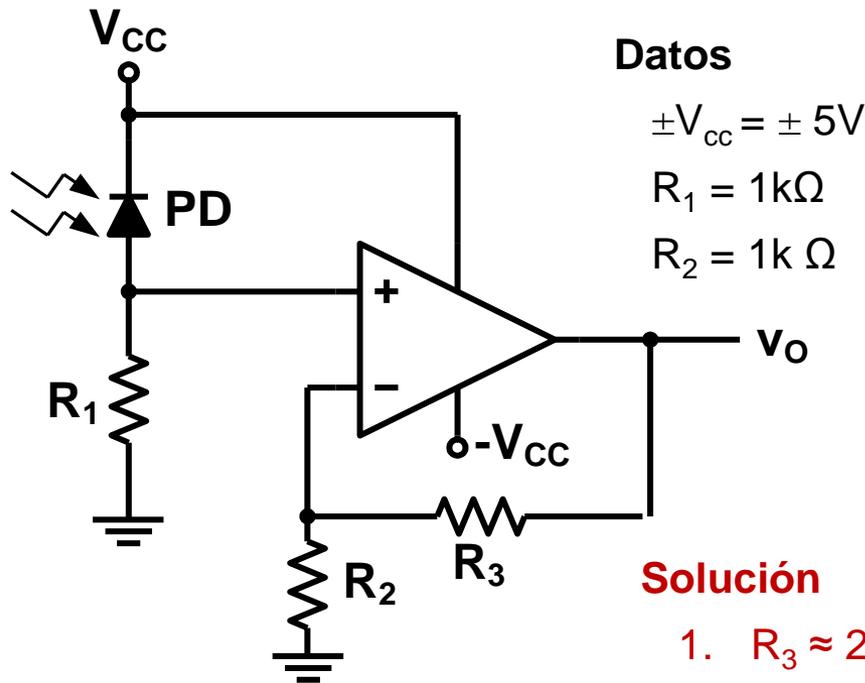
$$G_Z \left(\frac{V}{A} \right) = \frac{v_o}{i_{PD}} = R_1 \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

Problema 9: Amplificando una señal de un fotodiodo (lab)

Pongamos unos números

El fotodetector BPW34 recibe una potencia óptica de $15\mu\text{W}$.

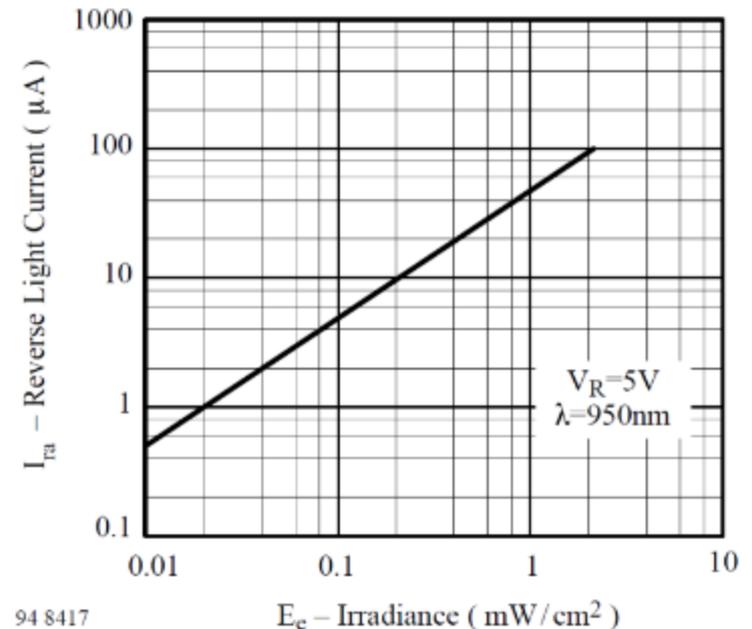
1. Calcular el valor de R_3 para que la tensión V_o sea 3V.
2. ¿Cuál es la potencia máxima que puede recibir el fotodiodo para que el circuito funcione correctamente?



Solución

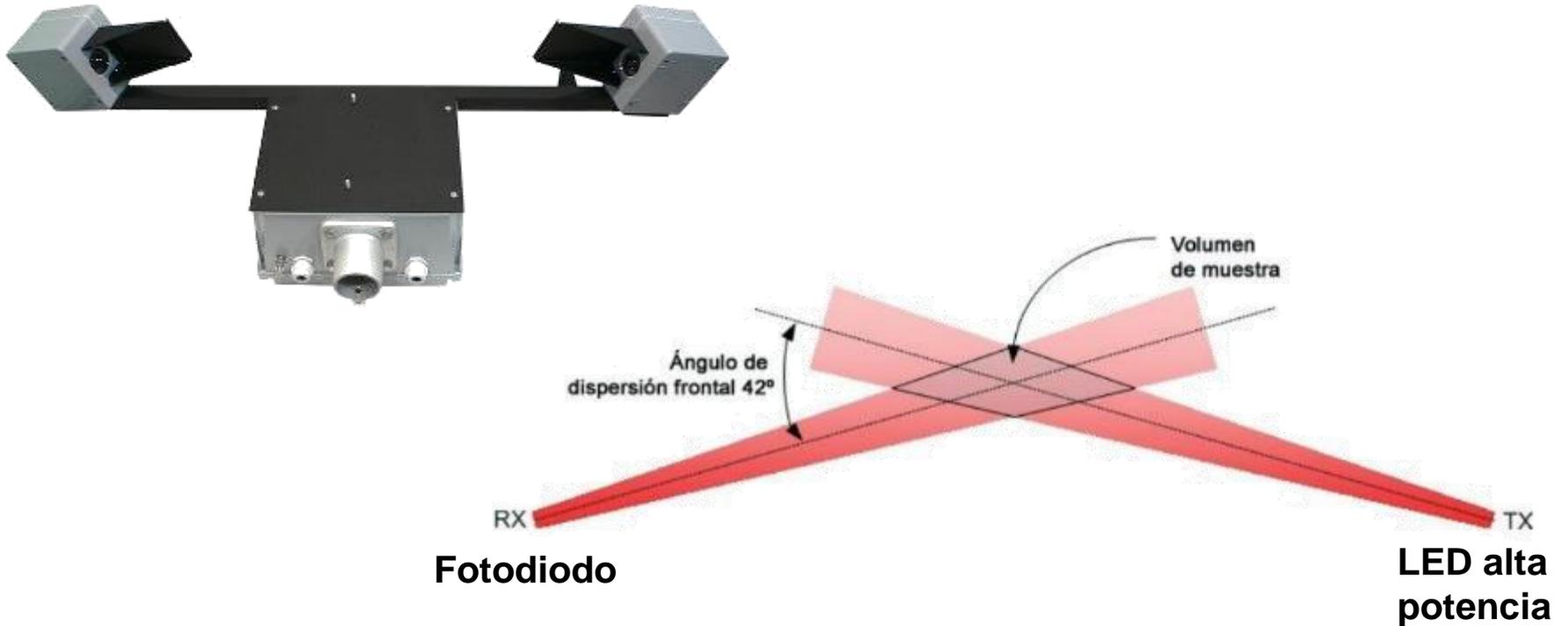
1. $R_3 \approx 299 k\Omega$
2. $P_{PD} = 25.5\mu\text{W}$

Large radiant sensitive area ($A=7.5 \text{ mm}^2$)



Problema 10: Amplificando una señal de un fotodiodo (lab, 2)

Opracímetro para controlar la visibilidad dentro de un túnel.



Opacímetro Sentry de Duran Electronics

<http://www.duranelectronica.com/wp-content/uploads/2018/07/E-manopacimetro-v08.pdf>

Problema 10: Amplificando una señal de un fotodiodo (lab, 2)

Ejemplo para el circuito receptor

ANÁLISIS

Nodo -:

$$i_{RF} = i_{PD} + i^- \Rightarrow i_{RF} = i_{PD}$$

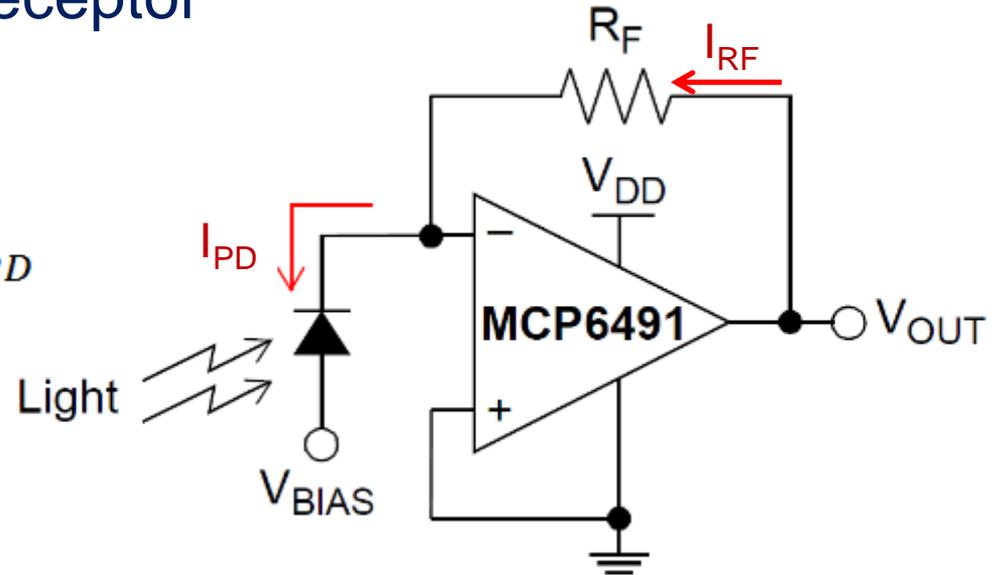
Nodo +:

$$v_o = 0V$$

$$i_{RF} = \frac{v_o - v^-}{R_F} = \frac{v_o}{R_F} = i_{PD}$$



$$G_Z \left(\frac{V}{A} \right) = \frac{v_o}{i_{PD}} = R_{RF}$$



V_{BIAS} es negativa.

Si fuera positiva el fotodiodo no funcionaría.

Habría que darle la vuelta.

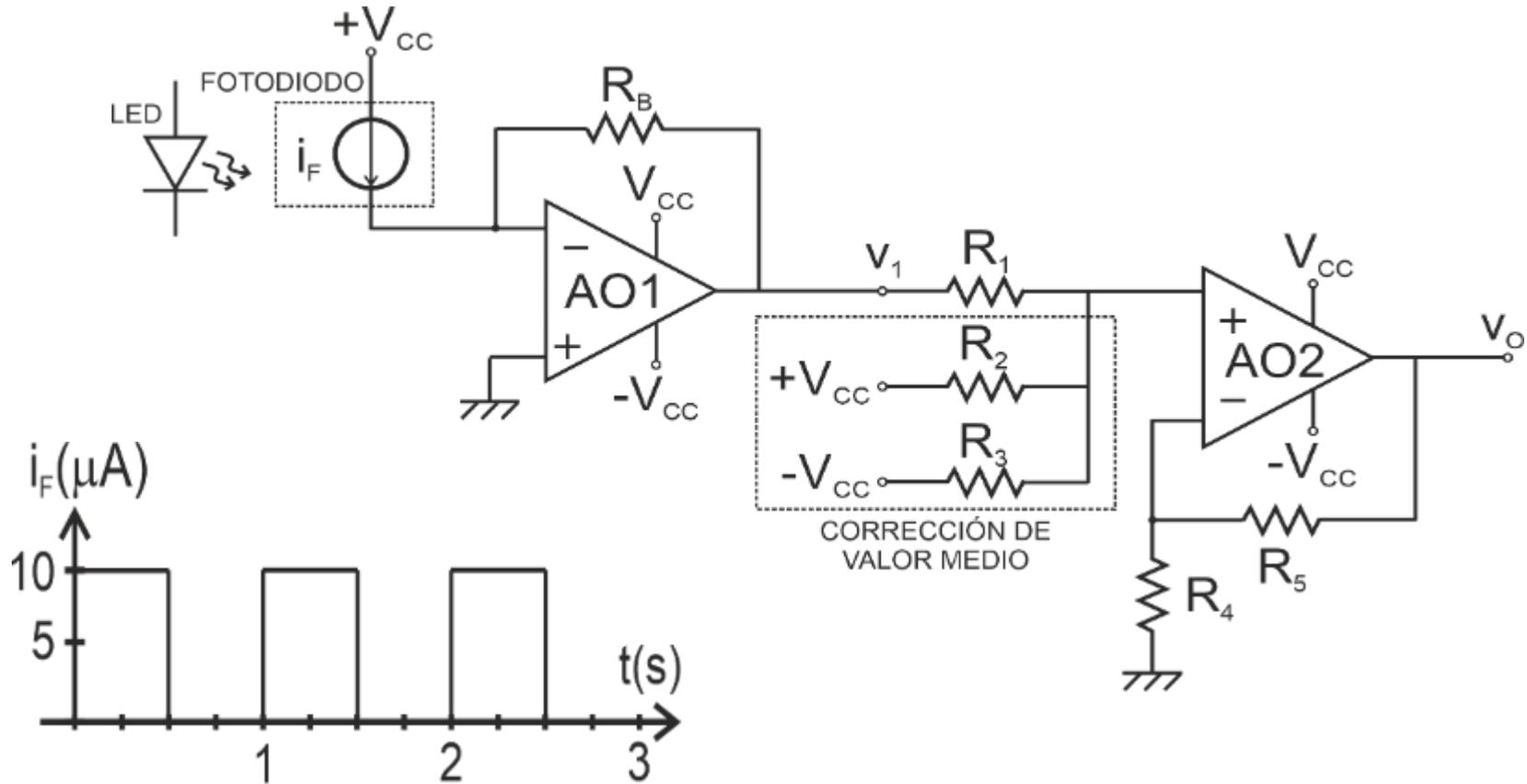
- En ese caso, ¿cómo sería V_{OUT} ?
- ¿Qué habría que hacer para que funcione el circuito entonces?

Notas de Aplicación AN1494 Microchips

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01494A.pdf>

Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

Se dispone del circuito amplificador de la **Figura P1.a**. A su salida se obtiene una señal de tensión, v_o , amplificada de la corriente inversa por el fotodiodo, i_F . El fotodiodo a su vez es excitado por un LED. Se ha modelado el fotodiodo como una fuente de corriente i_F .



Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

Se pide que calcule, **incluyendo todos los cálculos necesarios**:

- La expresión de v_1 en función de i_F y del resto de componentes del circuito.
- La expresión de v_+ del AO2 en función de v_1 , V_{CC} y $-V_{CC}$ y del resto de componentes del circuito. **Para la resolución de este apartado NO utilice el principio de superposición.**
- La expresión de v_O en función de i_F , V_{CC} y $-V_{CC}$ y del resto de componentes del circuito.
- Se sabe que el amplificador incluye un circuito de corrección de valor medio (*offset*) (**Figura P1.a**). Diseñe el valor de la resistencia R_3 para que el valor medio de la tensión a la salida del amplificador sea 0V. Utilice como entrada la señal i_F representada en la **Figura P1.b**. Los valores de los componentes son:

$$V_{CC} = 15V$$

$$R_B = 200k\Omega$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

$$R_2 = 10k\Omega$$

$$R_4 = 2k\Omega$$

$$R_5 = 20k\Omega$$

- Represente sobre la plantilla de la **Figura P1.c** la señal v_O utilizando los valores de los componentes de d). Use para $R_3 = 30k\Omega$, independientemente del valor obtenido en d).

Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

a) La expresión de v_1 en función de i_F y del resto de componentes del circuito.

En el nodo v_- del AO1 se cumple que:

$$i_F = i_B$$
$$i_F = \frac{v_- - v_1}{R_B}$$

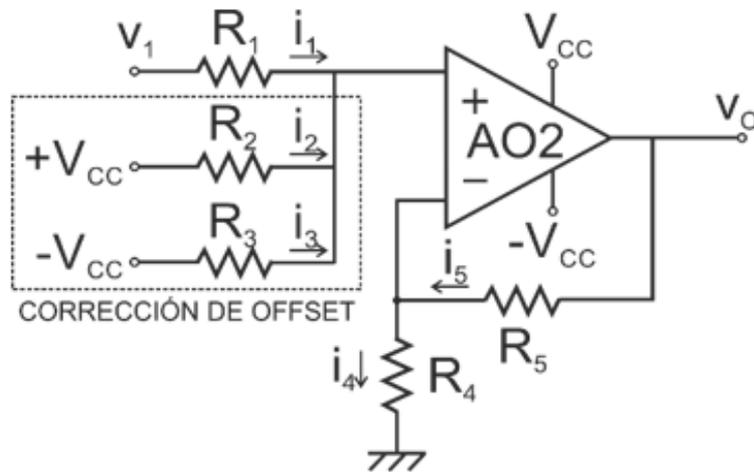
Y, por principio de corto circuito virtual, $v_+ = v_-$, y $v_+ = 0V$, entonces:

$$i_F = \frac{0 - v_1}{R_B} = \frac{-v_1}{R_B} \quad \boxed{v_1 = -i_F \cdot R_B}$$

Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

b) La expresión de v_+ del AO2 en función de v_1 , V_{CC} y $-V_{CC}$ y del resto de componentes del circuito. Para la resolución de este apartado NO utilice el principio de superposición.

El AO2 de la figura está configurado como un sumador no inversor. Por tanto, en primer lugar, hay que obtener v_+ .



En la pata no inversora del AO2 se cumple:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$\frac{v_1 - v_+}{R_1} + \frac{V_{CC} - v_+}{R_2} + \frac{-V_{CC} - v_+}{R_3} = 0$$

Operando:

$$v_+ = \frac{\frac{v_1}{R_1} + \frac{V_{CC}}{R_2} + \frac{-V_{CC}}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

c) La expresión de v_O en función de i_F , V_{CC} y $-V_{CC}$ y del resto de componentes del circuito.

En la pata inversora del AO2 se cumple:

$$i_4 = i_5; \quad \frac{v_- - 0}{R_4} = \frac{v_O - v_-}{R_5}$$

Y, junto con el principio de corto circuito virtual, $v_+ = v_-$, entonces:

$$v_O = R_5 \cdot \left(\frac{v_+}{R_4} + \frac{v_+}{R_5} \right) = v_+ \cdot \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right); \quad v_O = \left(1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \cdot \frac{\frac{-i_F \cdot R_B}{R_1} + \frac{V_{CC}}{R_2} + \frac{-V_{CC}}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

- d) Se sabe que el amplificador incluye un circuito de corrección de valor medio (*offset*) (*Figura P1.a*). Diseñe el valor de la resistencia R_3 para que el valor medio de la tensión a la salida del amplificador sea 0V. Utilice como entrada la señal i_F representada en la *Figura P1.b*. Los valores de los componentes son:

$V_{CC} = 15V$	$R_B = 200k\Omega$	$R_1 = 1k\Omega$	$R_2 = 10k\Omega$	$R_4 = 2k\Omega$	$R_5 = 20k\Omega$
----------------	--------------------	------------------	-------------------	------------------	-------------------

Sabemos, a partir del dato, que la señal del fotodiodo tiene parte DC y parte AC. Así que para eliminar el *offset* (o componente continua) de la señal de salida, particularizamos la expresión de c) sólo a la parte continua (DC) de ambas señales:

$$\text{Para } i_{F(DC)} = 5\mu A \Rightarrow v_{O(DC)} = 0V$$

$$0 = \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \cdot \frac{\frac{-i_{F(DC)} \cdot R_B}{R_1} + \frac{V_{CC}}{R_2} + \frac{-V_{CC}}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}; \quad 0 = \frac{-5 \cdot 10^{-3} \cdot 200}{1} + \frac{15}{10} + \frac{-15}{R_3};$$

$$R_3 = \frac{15}{0,5}; \quad \boxed{R_3 = 30k\Omega}$$

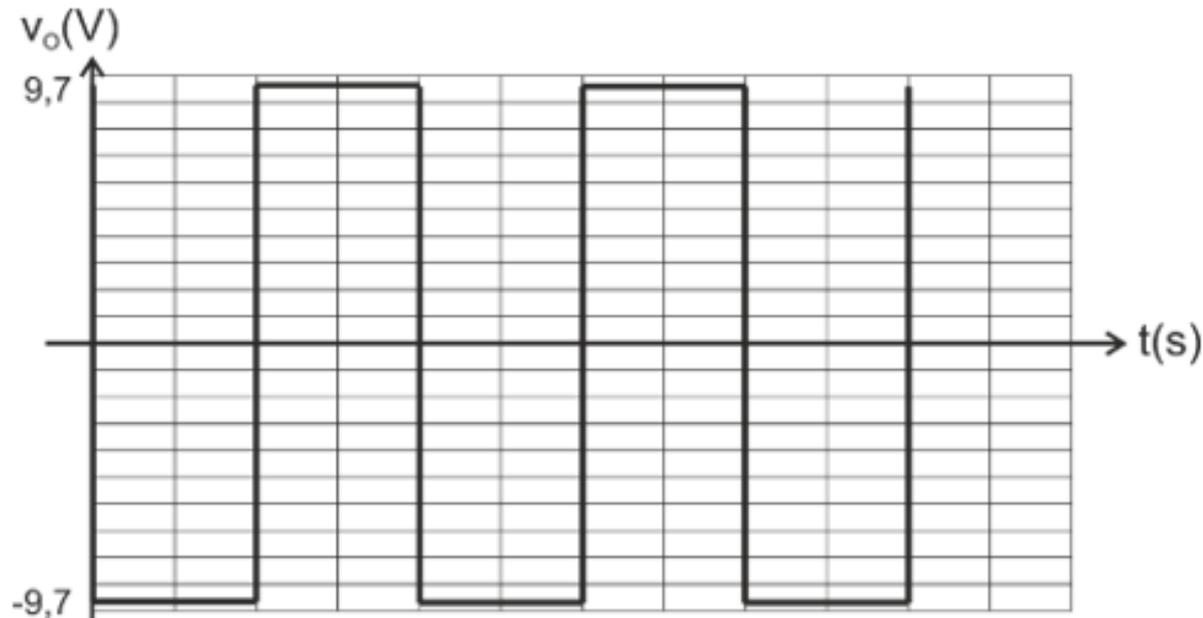
Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

- e) Represente sobre la plantilla de la *Figura P1.c* la señal v_o utilizando los valores de los componentes de d). Use para $R_3 = 30k\Omega$, independientemente del valor obtenido en d).

Sustituyendo con todos los valores conocidos sobre la parte AC ya que no tiene componente continua:

$$v_o = \left(1 + \frac{20}{2}\right) \cdot \frac{-i_{F(AC)} \cdot 200}{\frac{1}{\frac{1}{1} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30}}} = 11 \cdot 0,88 \cdot -5 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = -9,68V_p$$

La señal de salida es invertida de la señal de entrada con la tensión de pico calculada.



Problema 12: Otro problema de examen (para casa)

