



Universidad  
Carlos III de Madrid



Departamento  
Tecnología  
Electrónica

# Fundamentos de Ingeniería Electrónica

## Sesión 7: Amplificadores

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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



Departamento  
Tecnología

# 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)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

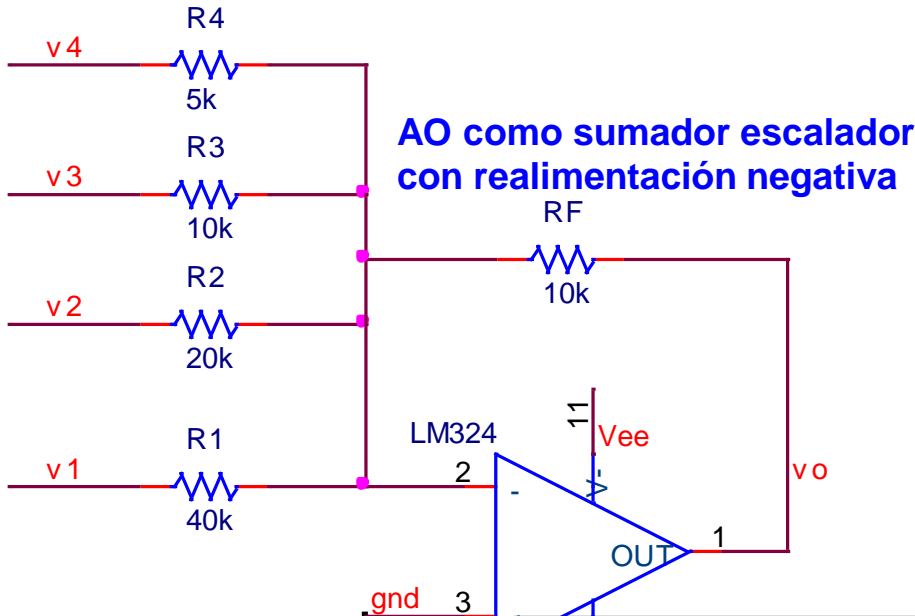
<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

# 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.



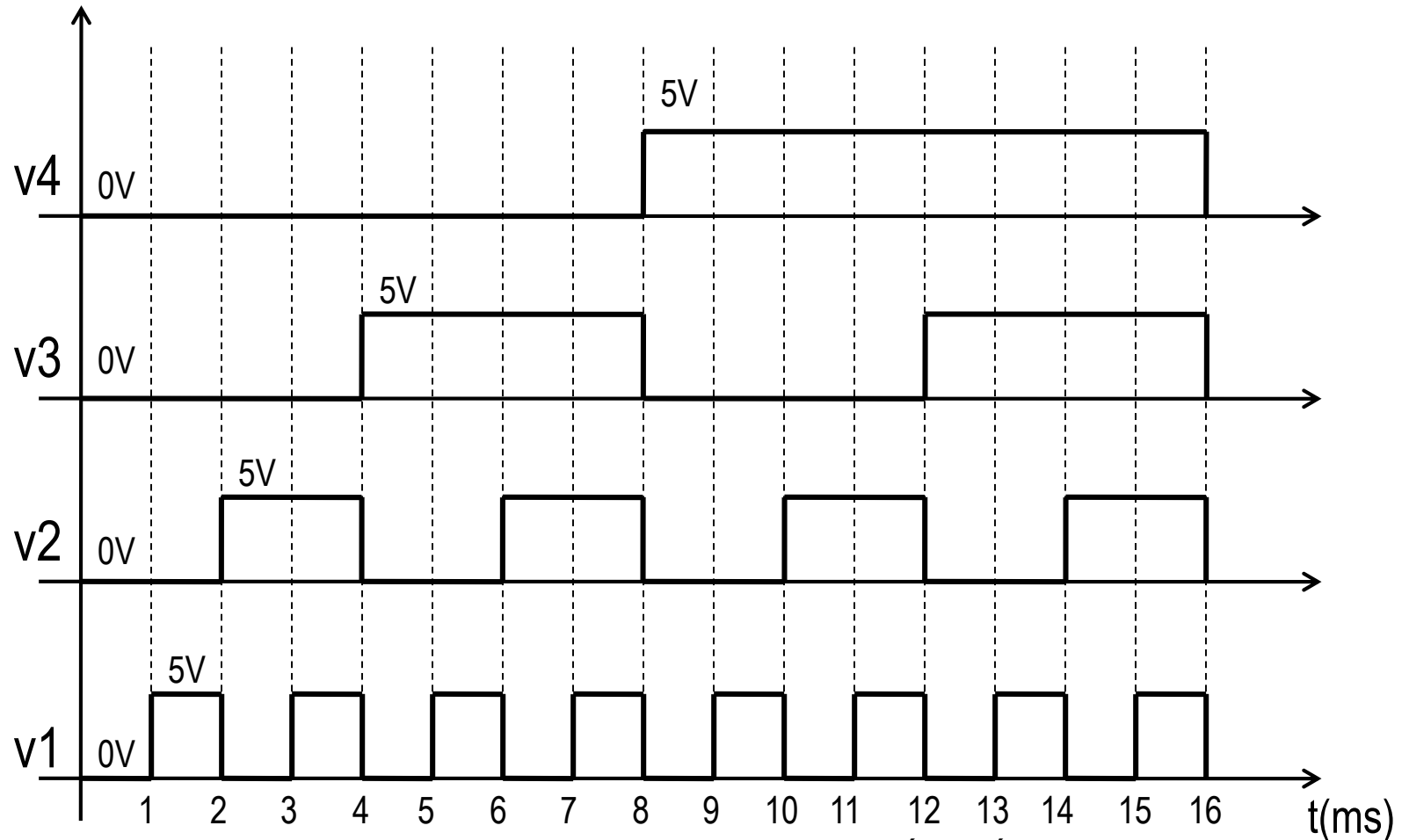
Tiempo (ms)	v4	v3	v2	v1	v <sub>o</sub>
0 a 1	0	0	0	0	
1 a 2	0	0	0	5	
2 a 3	0	0	5	0	
3 a 4	0	0	5	5	
4 a 5	0	5	0	0	
5 a 6	0	5	0	5	
6 a 7	0	5	5	0	
7 a 8	0	5	5	5	
8 a 9	5	0	0	0	
9 a 10	5	0	0	5	
10 a 11	5	0	5	0	
11 a 12	5	0	5	5	

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

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

## Solución:

t (ms)	v4	v3	v2	v1	v <sub>o</sub>
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	$v_o = -10 \cdot (1 + 0.5 + 0 + 0) = -15V$

Cartagena99

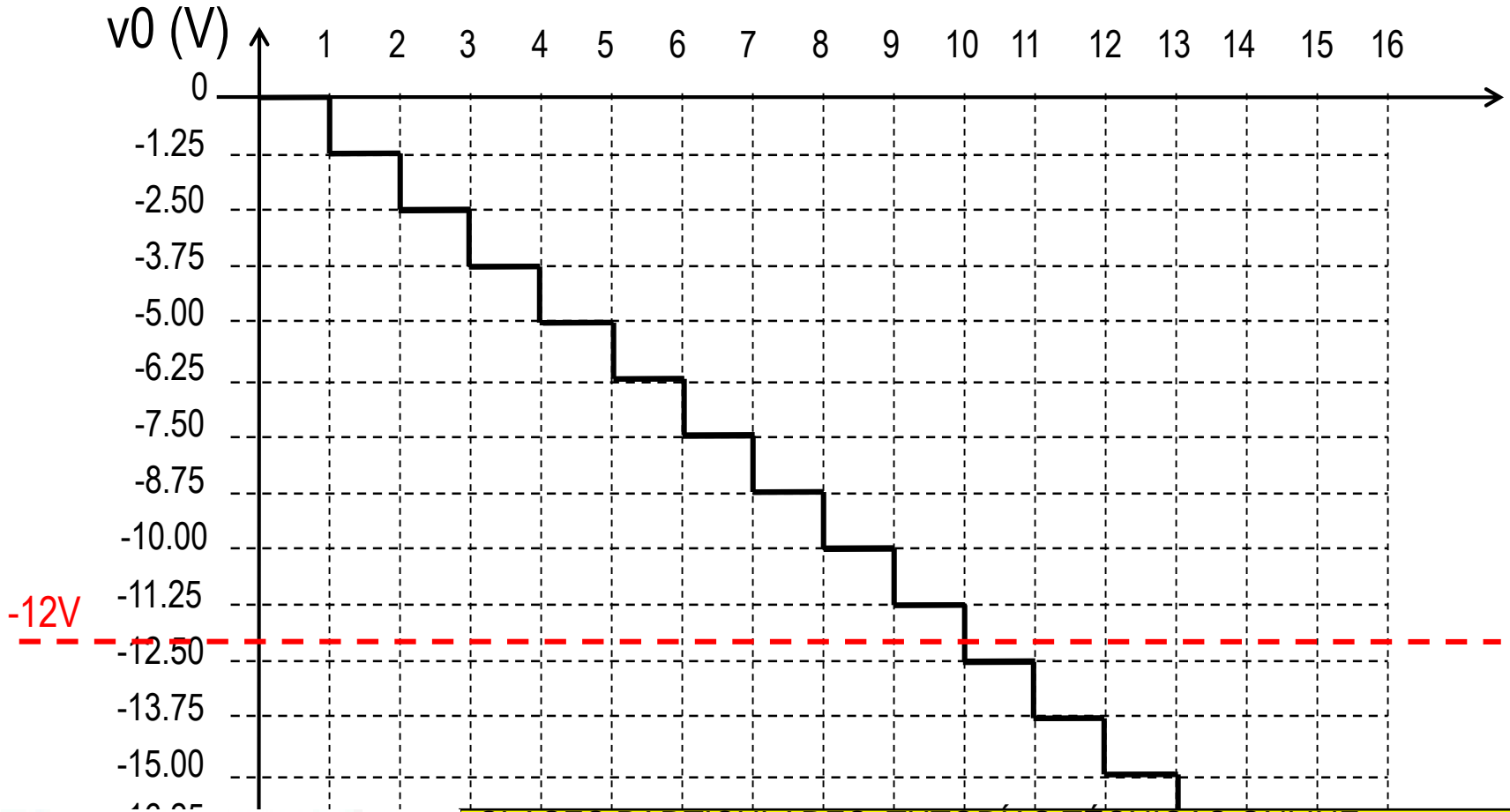
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

## Solución:



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

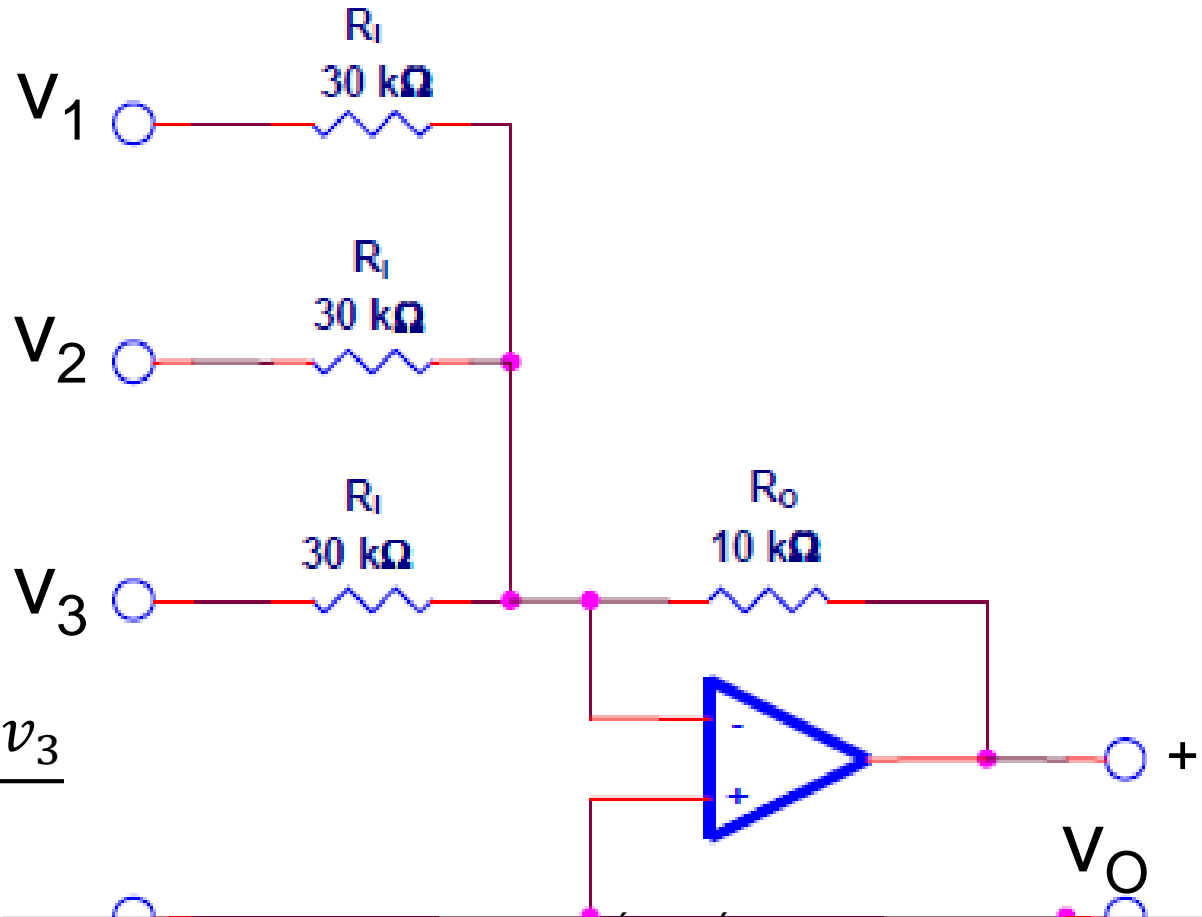
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Problema 5: Promediador (para casa)



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

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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

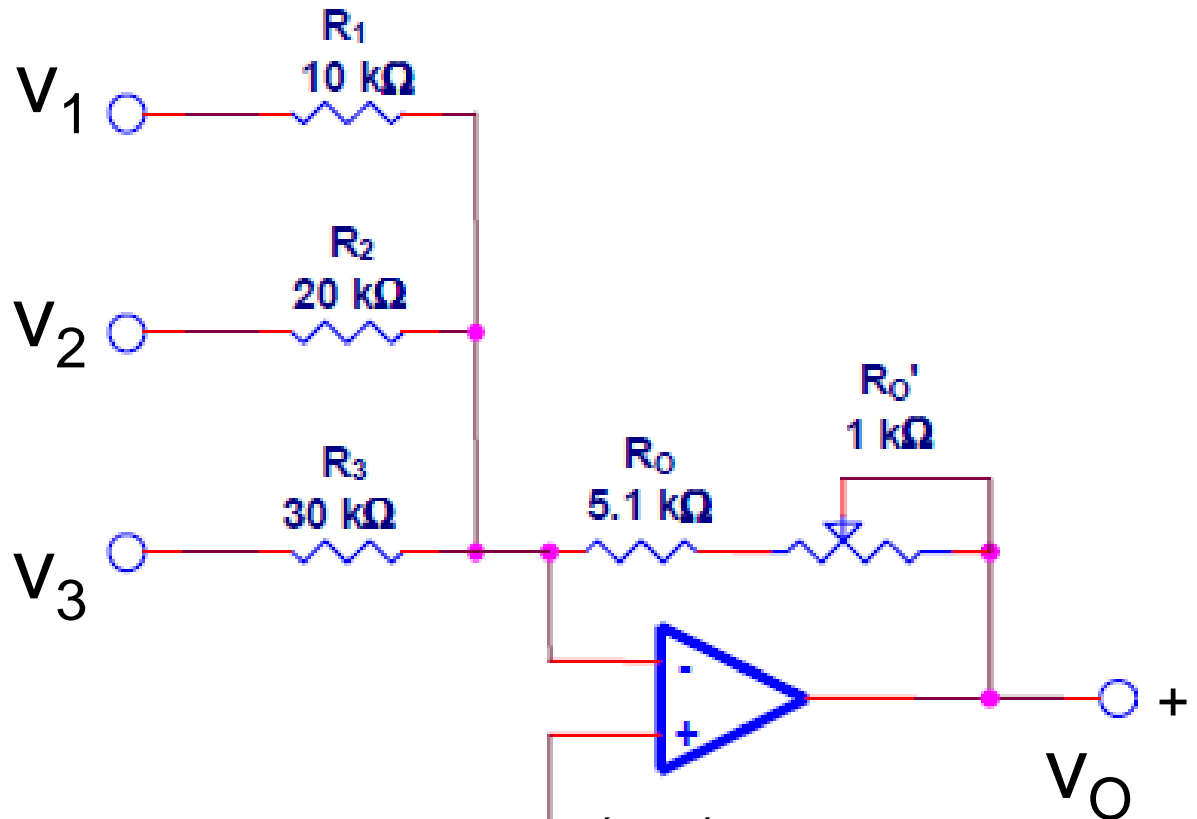
<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

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



Promedio con peso...



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

dte Tecnología

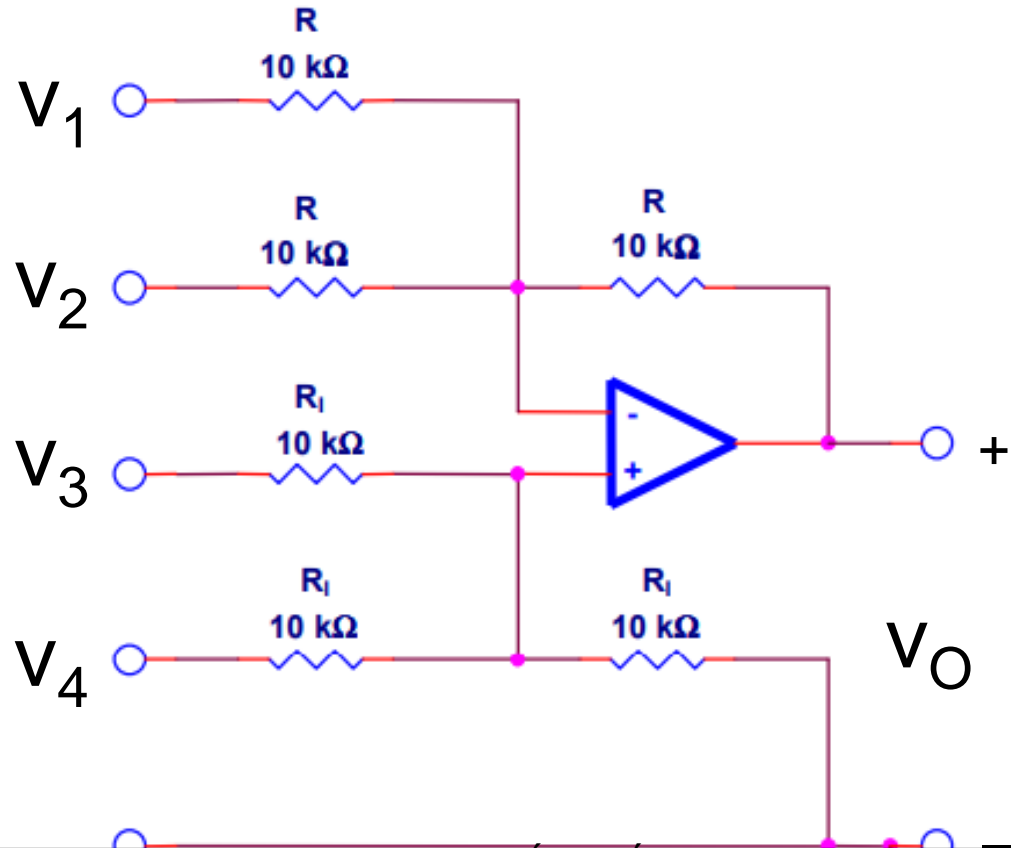


# Problema 7: Amplificador sumador-restador (para casa)

## Adder-Subtractor or Floating Input Combiner



Encontrar la salida en función de las cuatro entradas.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

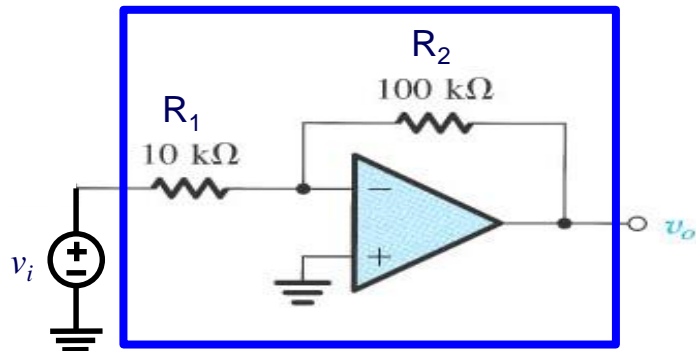
<http://www.dte.uc3m.es>

dte Tecnología

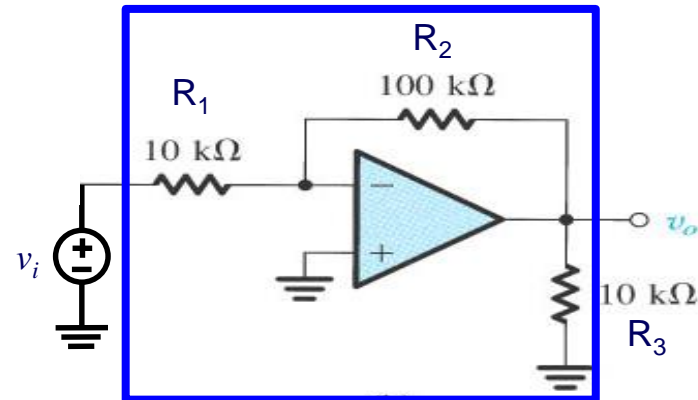
# Problema 8: Acoplo de impedancias

PARA TRABAJAR EN CASA

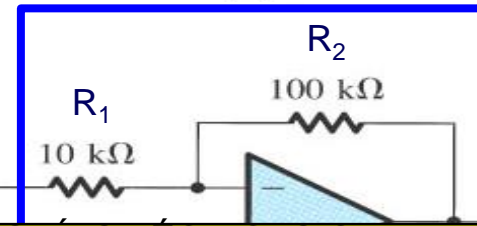
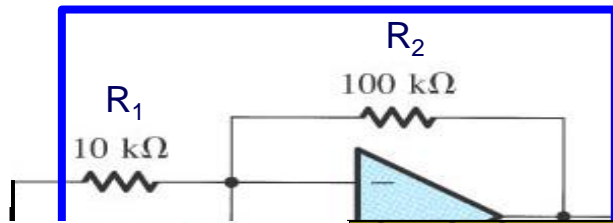
Se desea conectar en cascada 4 etapas amplificadoras y comprobar el efecto posible del acoplo entre ellas. **¿Se pueden conectar indistintamente las 4 etapas?** Calcule para comprobarlo las ganancias y las impedancias de entrada y salida de cada amplificador basado en AO de la figura.



(a)



(b)



Cartagena99

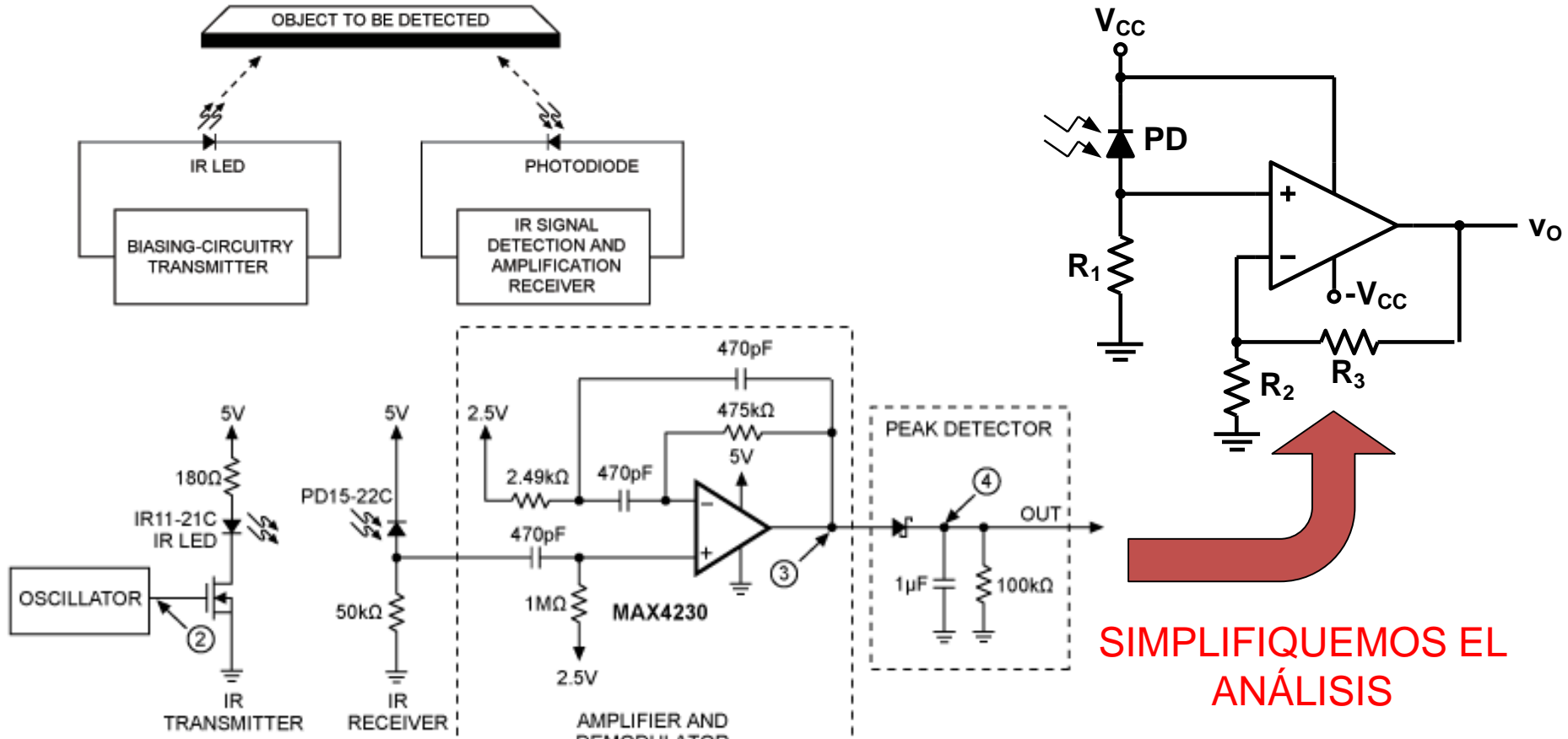
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

## Aplicación para sensor de proximidad



**SIMPLIFIQUEMOS EL ANÁLISIS**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

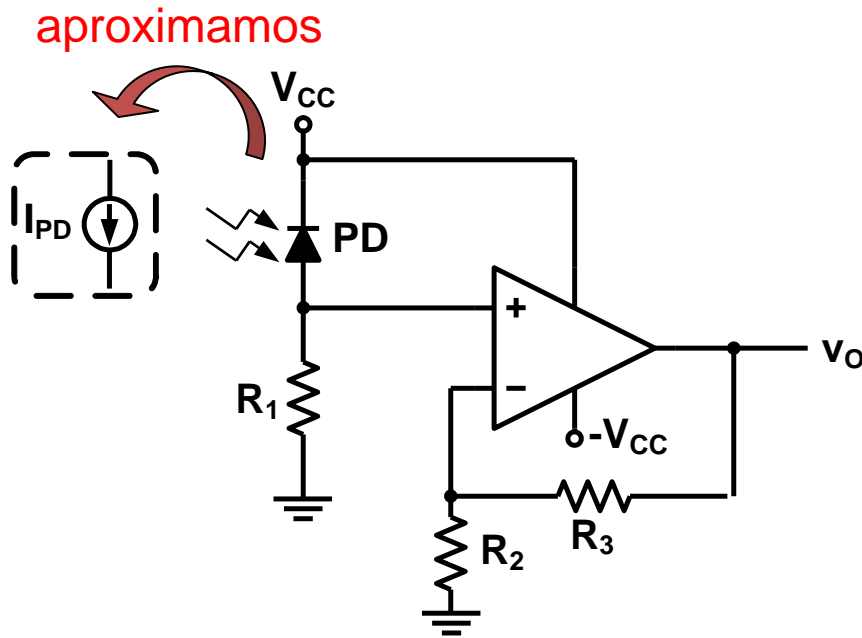
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

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

dte Tecnología

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



## ANÁLISIS

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

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

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



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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

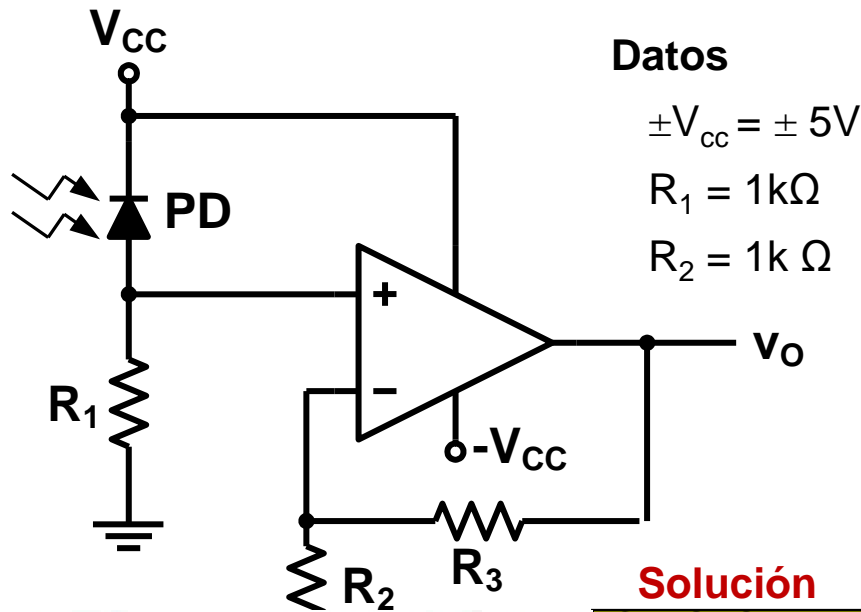
Cartagena99

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

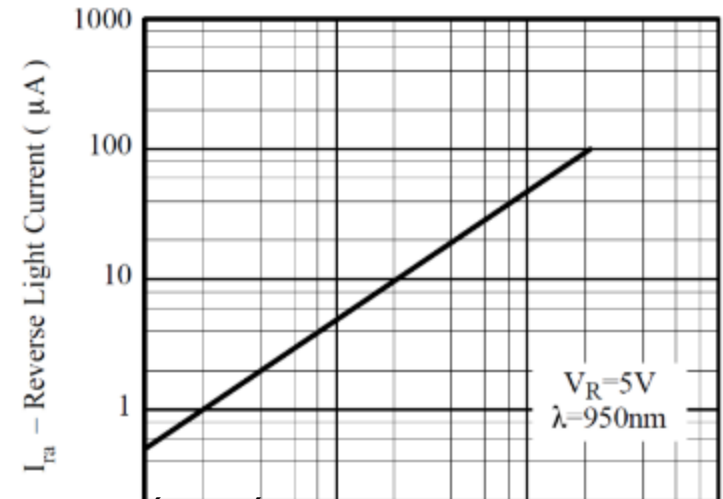
Pongamos unos números

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?



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



**Solución**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

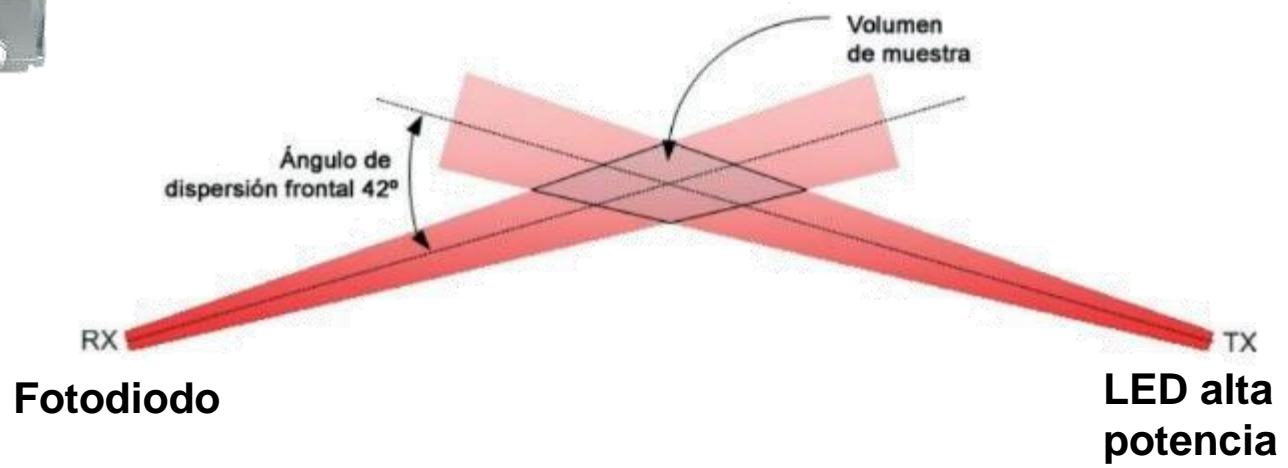
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

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

Opracímetro para controlar la visibilidad dentro de un túnel.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
- - -  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

## Ejemplo para el circuito receptor

### ANÁLISIS

Nodo -:

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

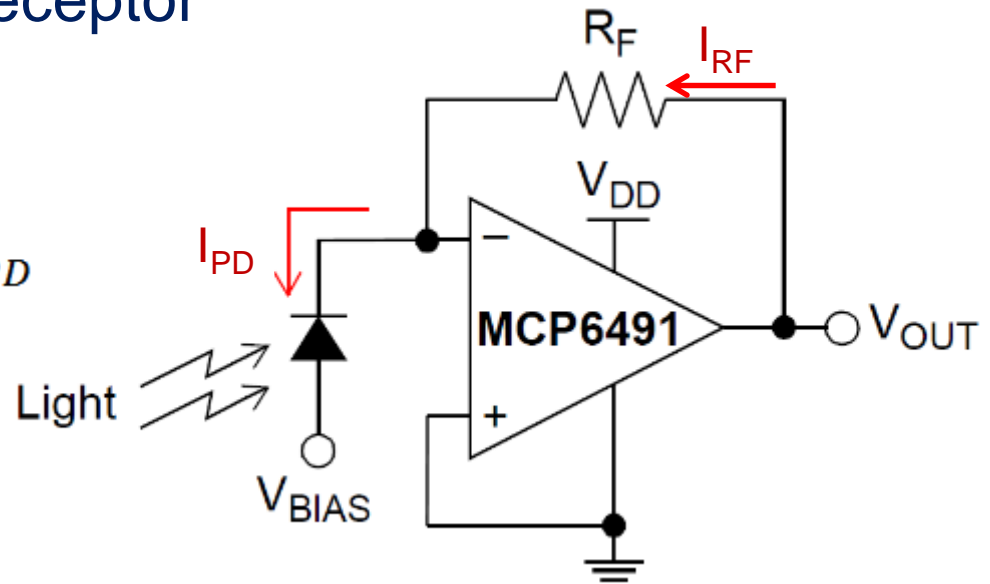
Nodo +:

$$v_o = 0V$$

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



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



$V_{BIAS}$  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

# Cartagena99

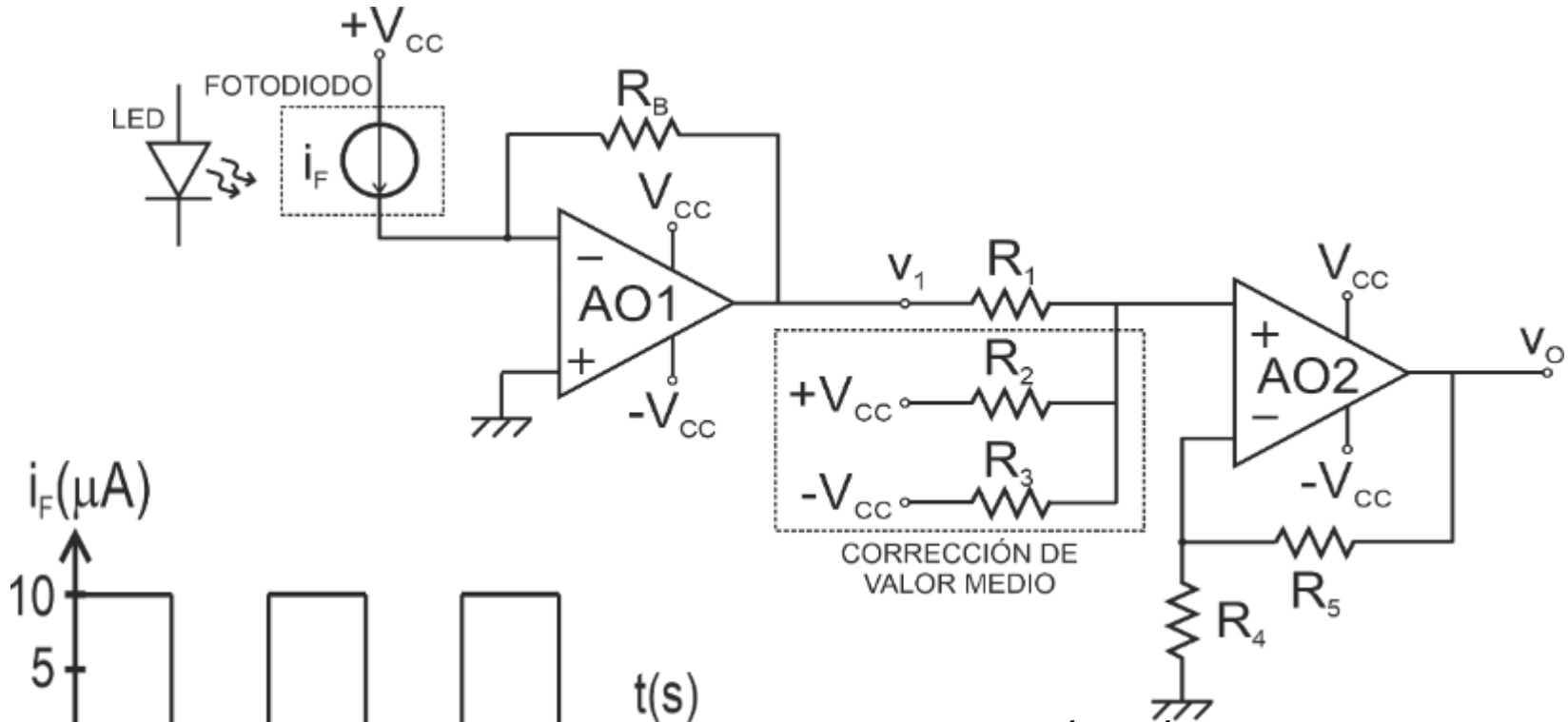
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 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  $i_F$ .



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

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

dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



# 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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

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

dte  
Tecnología

# 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:

$$i_F = \frac{0 - v_1}{R_B} = \frac{-v_1}{R_B}$$

$$v_1 = -i_F \cdot R_B$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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

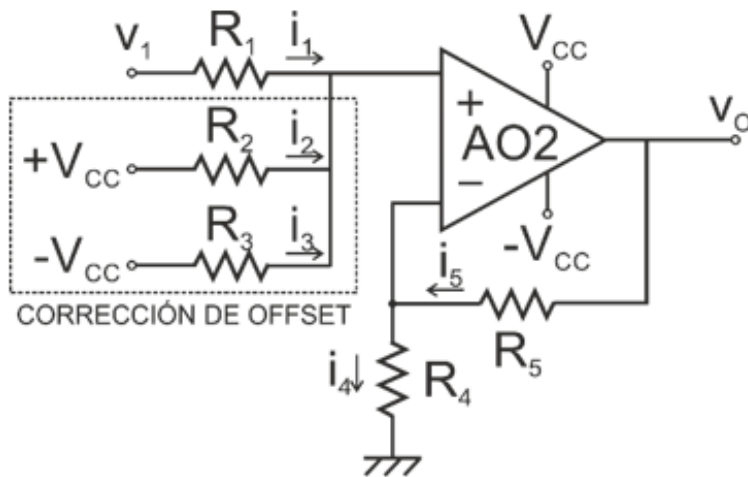
dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

# 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:

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 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:

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 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:

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

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

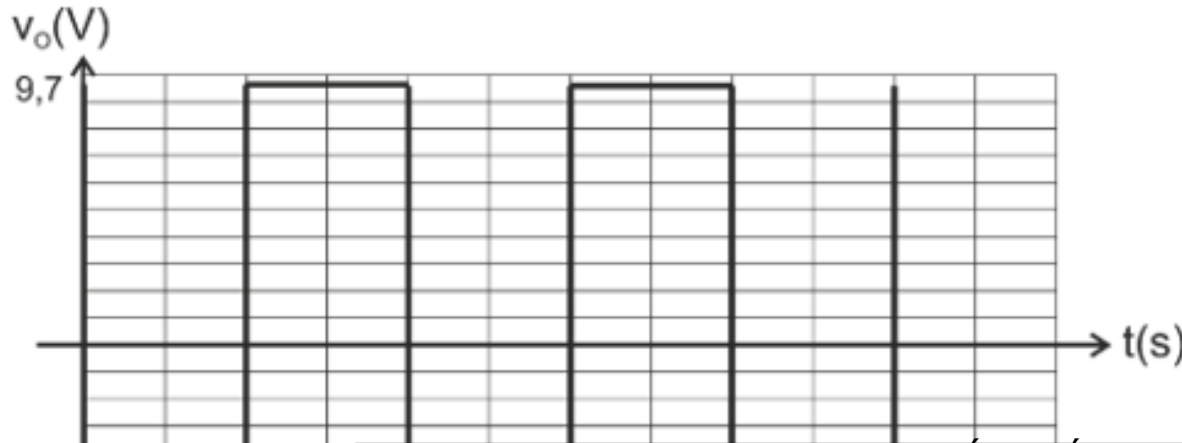
# Problema 11: Un problema de examen del curso pasado

- 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:

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

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



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

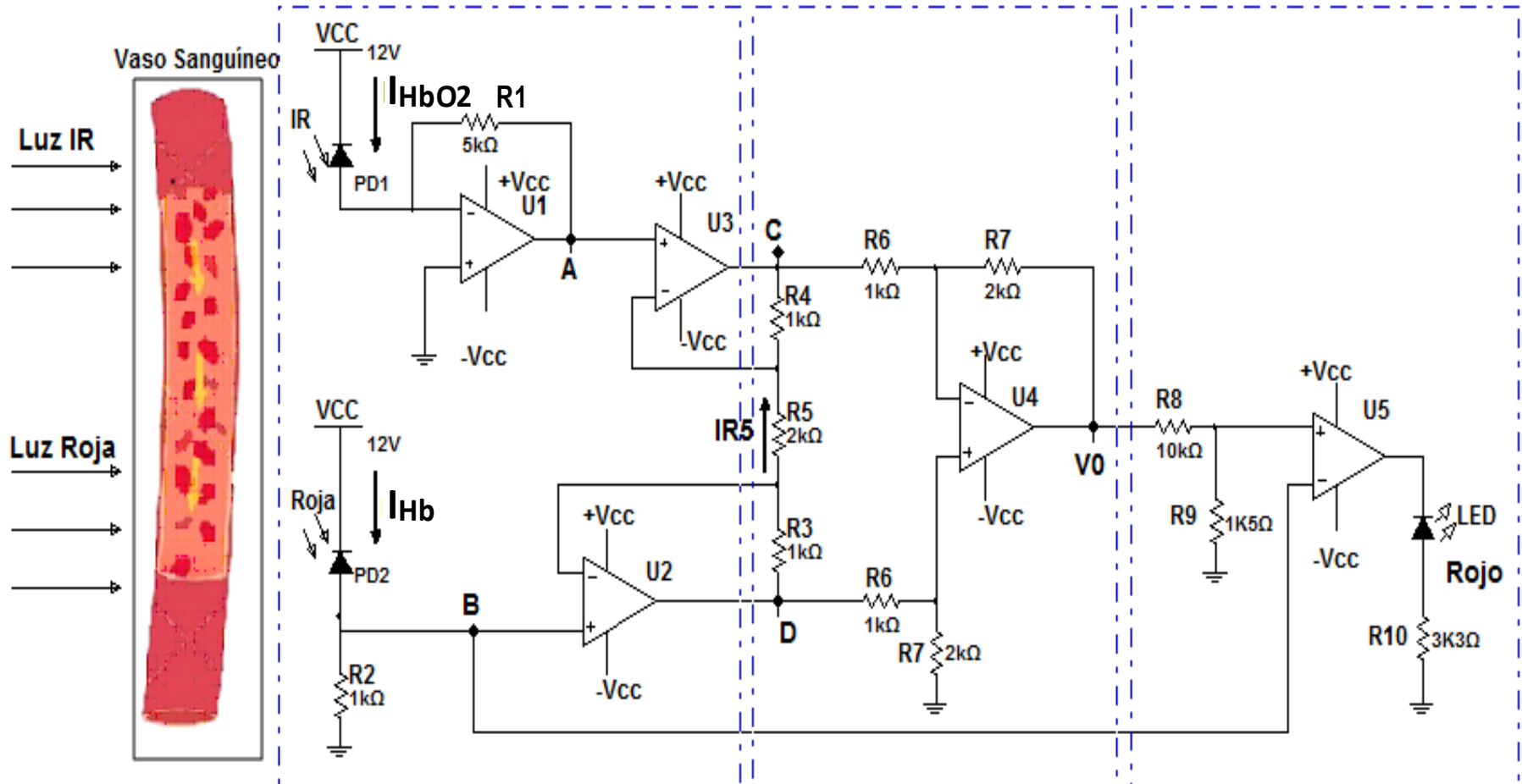
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

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

dte Tecnología

# Problema 12: Otro problema de examen (para casa)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

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

dte Tecnología

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.