

# **Prácticas de Laboratorio**

de la asignatura

## **Electrónica Industrial**

correspondiente al segundo curso de la titulación

(BOE 8-1-2000) de

Ingeniería Técnica Industrial, Especialidad Electricidad  
en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Universidad de Zaragoza

Miguel Samplón Chalmeta

En el año 1992 asumí la responsabilidad, junto con Jesús Letosa, de impartir el temario de Electrónica para los Ingenieros Técnicos Industriales, en la especialidad de Electricidad, en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de la Universidad de Zaragoza para el antiguo plan de estudios de 1972. Recibimos la asignatura de manos de Vicente Fernández, que, además de brindarnos todo su apoyo nos legó una asignatura cuidadosamente construida y de gran calidad a la que le dimos continuidad en los primeros años. Inevitablemente con el paso del tiempo fuimos introduciendo cambios progresivos tanto en los contenidos de teoría (como por ejemplo introducir los amplificadores operacionales de forma previa al transistor BJT) como en el programa de prácticas de laboratorio, si bien en ambos casos quedó en ellos la impronta del trabajo anterior de Vicente Fernández.

Finalizado el plan de estudios de 1972, el programa de prácticas cobró aún mayor importancia y se consolidó con el por entonces nuevo plan del 2000 que por otra parte inicia en este momento el proceso de extinción.

Lo que aquí se presenta son los guiones de prácticas tal como quedaron establecidos en el año 2003, momento en que finalicé mi presencia regular en la asignatura. Espero que sean de utilidad y fuente de ideas, además de los estudiantes que siguen la asignatura, para todos los lectores de este documento que se encuentren con responsabilidades docentes similares.

Miguel Samplón Chalmeta  
msamplon@unizar.es

Noviembre 2010

# ELECTRONICA INDUSTRIAL

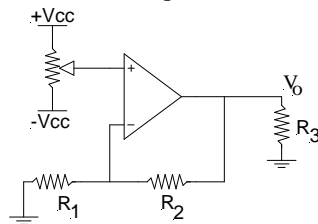
## Práctica 1: ETAPAS AMPLIFICADORAS BÁSICAS CON A.O.

### GUIÓN DE TRABAJO

#### A) AMPLIFICADOR NO INVERSOR

NOTA: Realizar el apartado A empleando como instrumento de medida el multímetro.

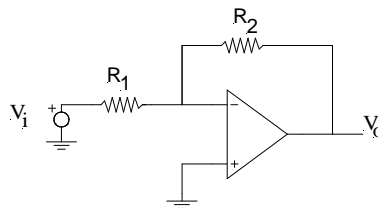
- A<sub>1</sub>) Para el circuito de la figura, usar  $R_1 = 1k\Omega$  y  $R_2 = 2,2k\Omega$ . Medir el valor real de las resistencias con el óhmetro.  
A<sub>2</sub>) Montar el circuito de la figura con un A.O. TL081, alimentado a  $\pm V_{cc} = \pm 12V$  y sin carga ( $R_3 = \infty$ ). Utilizar un potenciómetro de  $10k\Omega$   
A<sub>3</sub>) Ajustar el potenciómetro hasta obtener a la salida una tensión  $V_o = 8V$   
A<sub>4</sub>) Medir la tensión en  $V_+$  y  $V_-$  y compararla con sus correspondientes valores teóricos. A partir de esos valores, determinar la ganancia en tensión de la etapa y compararla con el valor teórico.  
A<sub>5</sub>) Comprobar que el amperímetro tiene fusible.  
A<sub>6</sub>) Medir la corriente que circula por  $R_1$  y  $R_2$  y compararlas con sus correspondientes valores teóricos.  
A<sub>7</sub>) Conectando al circuito una resistencia de  $R_3=4,7k\Omega$ , medir la tensión  $V_o$ . Repetir la medición con una  $R_3 = 10k\Omega$ . Deducir del resultado el comportamiento como fuente ideal de tensión del terminal de salida de la etapa.  
A<sub>8</sub>) Actuando sobre el potenciómetro, medir la tensión a la que se satura el A.O.



#### B) AMPLIFICADOR INVERSOR

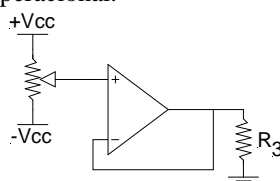
NOTA: Realizar el apartado B empleando como instrumento de medida el osciloscopio y el óhmetro.

- B<sub>1</sub>) Para el circuito de la figura, usar  $R_1 = 1k\Omega$  y  $R_2 = 4,7k\Omega$ . Medir el valor real de las resistencias con el óhmetro.  
B<sub>2</sub>) Configurar el generador de señal para una salida sinusoidal simétrica (sin nivel de continua) de frecuencia 600Hz.  
B<sub>3</sub>) Visualizar simultáneamente en el osciloscopio las señales  $V_i$  y  $V_o$ . Ajustar la amplitud de la señal  $V_i$  hasta obtener una salida  $V_o$  de amplitud 7V. Medir la amplitud de  $V_i$  y determinar la ganancia en tensión. Compararlo con su respectivo valor teórico. Visualizar la tensión en  $V_-$  y compararla con su valor teórico.  
B<sub>4</sub>) Aumentar la amplitud de la señal  $V_i$  hasta visualizar la saturación en tensión del A.O.



#### C) SEGUIDOR DE TENSIÓN.

- C<sub>1</sub>) En el circuito de la figura, actuar sobre el potenciómetro para conseguir un cierto nivel de tensión en la entrada  $V_+$ . Medir la tensión de salida comprobando que la ganancia en tensión coincide con el correspondiente valor teórico. Utilizar una  $R_3 = 1k\Omega$ .  
C<sub>2</sub>) Utilizando una  $R_3 = 220\Omega$ , medir la corriente por  $R_3$ . Variando la tensión de salida mediante el potenciómetro, determinar la corriente máxima de salida del operacional.



# RESPUESTAS

## A) AMPLIFICADOR NO INVERSOR

A<sub>1)</sub>

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
R <sub>1</sub>			
R <sub>2</sub>			

A<sub>4)</sub>

Tensión	Valor teórico (V)	Valor real (V)
V <sub>+</sub>		
V <sub>-</sub>		

Ganancia en tensión	Valor teórico (V/V)	Valor real (V/V)

A<sub>6)</sub>

Intensidad	Valor teórico (mA)	Valor real (mA)
I <sub>R<sub>1</sub></sub>		
I <sub>R<sub>2</sub></sub>		

A<sub>7)</sub>

Tensión V <sub>o</sub>	Valor teórico (V)	Valor real (V)
R <sub>3</sub> = 4,7kΩ		
R <sub>3</sub> = 10kΩ		

A<sub>8)</sub>

Tensión de saturación	Valor real (V)
Positiva	
Negativa	

## B) AMPLIFICADOR INVERSOR

B<sub>1)</sub>

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
R <sub>1</sub>			
R <sub>2</sub>			

B<sub>3)</sub>

Tensión	Valor real (V)
V <sub>i</sub>	

Ganancia en tensión	Valor teórico (V/V)	Valor real (V/V)

Tensión	Valor teórico (V)	Valor real (V)
V <sub>-</sub>		

## C) SEGUIDOR DE TENSIÓN.

C<sub>1)</sub>

Tensión	Valor real (V)
V <sub>+</sub>	
V <sub>-</sub>	

Ganancia en tensión	Valor teórico (V/V)	Valor real (V/V)

C<sub>2)</sub>

Corriente máxima	Valor (mA)

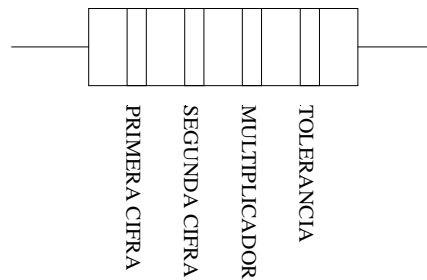


## COMENTARIOS ADICIONALES

A<sub>1</sub>)

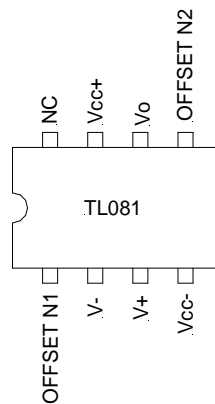
### Códigos de colores de las resistencias:

(0)NEGRO (1)MARRON (2)ROJO (3)NARANJA (4)AMARILLO (5)VERDE (6)AZUL (7)VIOLETA (8)GRIS (9)BLANCO



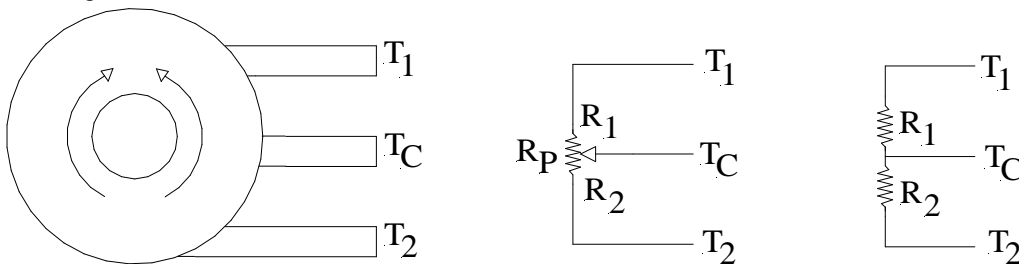
A<sub>2</sub>)

### Distribución de pines del amplificador operacional TL081 (extraído de su hoja de características)



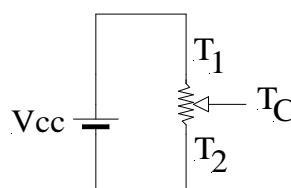
### El potenciómetro

Es un dispositivo de tres terminales que puede ser configurado como divisor de tensión o como resistencia variable. Externamente tiene forma de un cilindro con un vástago que puede girar sobre su eje. Su aspecto y sus modelos circuitales son los siguientes:



Entre los terminales T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> hay una resistencia de valor fijo R<sub>P</sub>, siendo ésta el valor nominal del potenciómetro. El terminal central T<sub>C</sub> divide la resistencia R<sub>P</sub> en dos: R<sub>1</sub> (la resistencia entre T<sub>1</sub> y T<sub>C</sub>) y R<sub>2</sub> (la resistencia entre T<sub>C</sub> y T<sub>2</sub>) donde siempre se cumple que R<sub>P</sub> = R<sub>1</sub> + R<sub>2</sub>. La posición del terminal central es modificable mediante el vástago del potenciómetro. Si identificamos la posición del terminal central mediante una variable  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) entonces R<sub>1</sub> =  $\alpha R_P$  y R<sub>2</sub> = (1 -  $\alpha$ )R<sub>P</sub>

El potenciómetro en sí mismo es un divisor de tensión: si se aplica a una fuente V<sub>cc</sub> entre los terminales T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>:



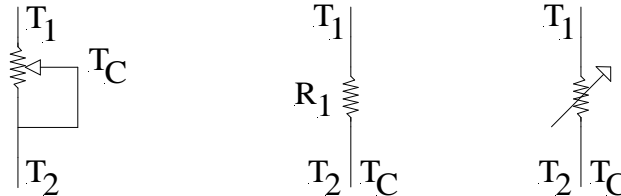
la tensión que aparecerá entre el terminal central  $T_C$  y  $T_2$  será:

$$V_{T_C T_2} = V_{CC} \frac{R_2}{R_p} = (1 - \alpha) V_{CC}$$

y la tensión que aparecerá entre el terminal central  $T_C$  y  $T_1$  será:

$$V_{T_1 T_C} = V_{CC} \frac{R_1}{R_p} = \alpha V_{CC}$$

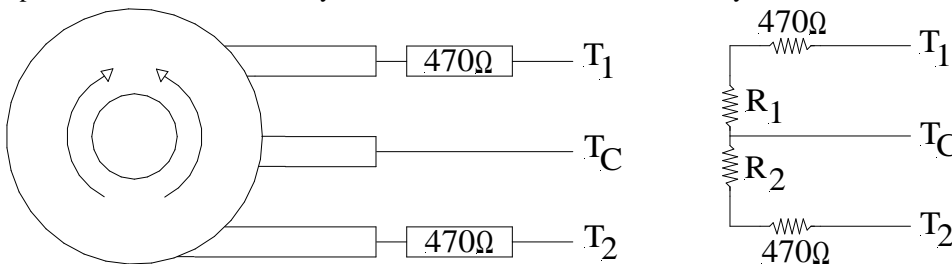
El potenciómetro puede configurarse como una resistencia variable cortocircuitando el terminal central  $T_C$  con uno de los otros (en este caso  $T_2$ )



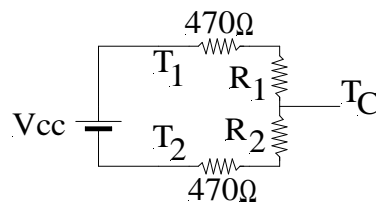
El cortocircuito anula la resistencia  $R_2$  quedando un dispositivo de dos terminales ( $T_1$  y  $T_2/T_C$ ) entre los que se encuentra la resistencia  $R_1$  que es dependiente de la posición del vástago y por tanto, de un valor seleccionable mediante el mismo.

**El potenciómetro que se usará en prácticas.**

A fin de proteger el potenciómetro contra sobrecorrientes asociadas a un uso indebido, los potenciómetros que usaremos en prácticas son de  $R_p = 10k\Omega$  y llevan en serie con los terminales  $T_1$  y  $T_2$  sendas resistencias de  $470\Omega$



Igualmente su configuración como divisor de tensión se realizaría como sigue:

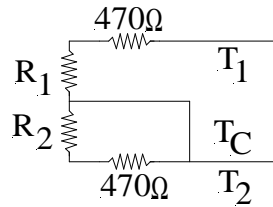


$$V_{T_C T_2} = V_{CC} \frac{470\Omega + R_2}{940\Omega + R_p} = V_{CC} \frac{470\Omega + (1 - \alpha)10k\Omega}{940\Omega + 10k\Omega}$$

Suponiendo  $V_{CC} = 12V$  obtendremos un rango lineal de variación de la tensión entre 11,48V (para  $\alpha = 0$ ) y 0,52V (para  $\alpha = 1$ )

Análogamente la configuración como resistencia variable se realizará cortocircuitando los terminales  $T_C$  y  $T_2$ :





$$R_{Tc} = 470\Omega + R_1 = 470\Omega + \alpha 10k\Omega$$

donde obtenemos un rango lineal de variación entre 470Ω (para  $\alpha = 0$ ) y 10,47 kΩ (para  $\alpha = 1$ )

# ELECTRONICA INDUSTRIAL

## Práctica 2: ETAPAS LINEALES CON A.O.

### GUIÓN DE TRABAJO

#### A) SUMADOR INVERSOR

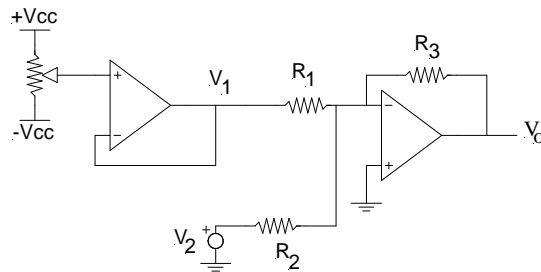
A<sub>1</sub>) Configurar el generador de señales ( $V_2$ ) para una salida sinusoidal bipolar de 2V de amplitud y 1kHz de frecuencia

A<sub>2</sub>) Montar el circuito de la figura usando un A.O. TL081, un potenciómetro de 10k $\Omega$  y  $R_1 = R_2 = R_3 = 10k\Omega$ ,

A<sub>3</sub>) Visualizar la tensión de salida  $V_o$  y comprobar el funcionamiento del circuito como un sumador inversor.

A<sub>4</sub>) Anular el generador de señal y medir la tensión  $V_1$ , así como la corriente que circula por  $R_1$ . Determinar experimentalmente la impedancia de entrada con respecto a esa entrada como el cociente de ambos valores. Comparar el resultado con su correspondiente valor teórico.

A<sub>5</sub>) Conectar de nuevo el generador de señales y sustituir el potenciómetro y el seguidor de tensión por otro generador de señales. Comprobar la superposición de señales de diferente frecuencia y forma (sinusoidales, cuadradas, triangulares)



#### B) INTEGRADOR

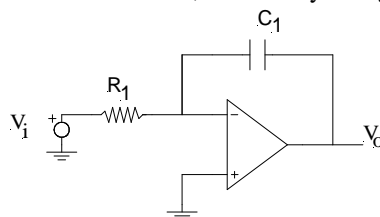
B<sub>1</sub>) Configurar el generador de señales para una salida sinusoidal bipolar de 3V de amplitud y 1kHz de frecuencia

B<sub>2</sub>) Montar el circuito de la figura usando una  $R_1 = 10k\Omega$  y  $C_1 = 100nF$  y el A.O. del TL081

B<sub>3</sub>) Excitar con el generador de señales el integrador y observar la saturación de la salida  $V_o$  debido al nivel de continua residual de la señal.

B<sub>4</sub>) Actuar sobre el control DC OFFSET del generador de señal hasta conseguir anular el nivel de continua de la señal y por tanto que la salida  $V_o$  se vea centrada sobre 0V.

B<sub>5</sub>) Visualizar el resultado de integrar las señales sinusoidal, cuadrada y triangular.



#### C) DISEÑO

C<sub>1</sub>) A partir del integrado LM35DZ, diseñar un termómetro electrónico con un factor de conversión de 0,5V/°C. La salida debe ser de 0V a la temperatura de la habitación.



## RESPUESTAS

### A) SUMADOR INVERSOR

A<sub>1</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
R <sub>1</sub>			
R <sub>2</sub>			
R <sub>3</sub>			

A<sub>4</sub>)

Tensión	Valor teórico (V)	Valor real (V)
V <sub>1</sub>		

Corriente	Valor teórico (mA)	Valor real (mA)
I <sub>R1</sub>		

Impedancia de entrada	Valor teórico (kΩ)	Valor real (kΩ)
R <sub>i</sub>		

### B) INTEGRADOR

B<sub>5</sub>)

Representación gráfica de formas de onda	Señal de entrada	Señal teórica de salida	Señal real de salida
Cuadrada			
Triangular			
Sinusoidal			

### C) DISEÑO

C<sub>1</sub>)

Esquema de partida

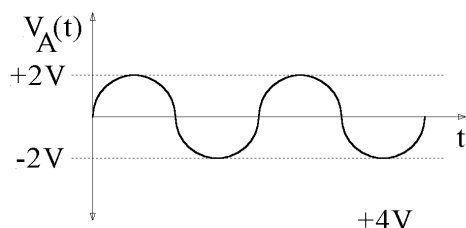
Esquema final



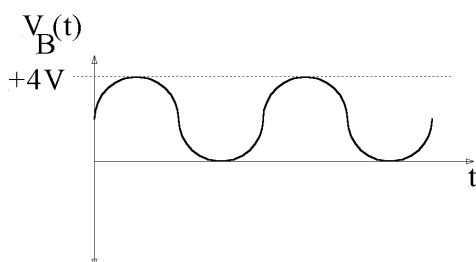
## COMENTARIOS ADICIONALES

A<sub>1</sub>)

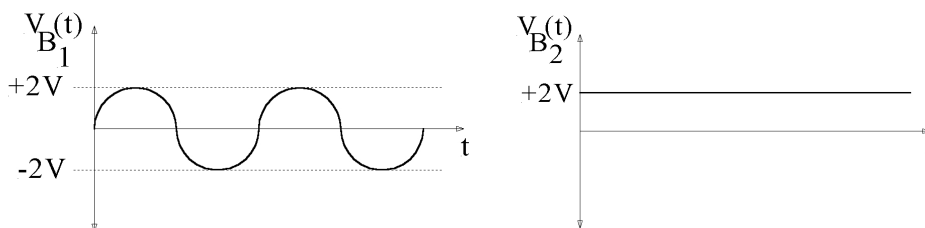
Una señal sinusoidal bipolar es una señal sinusoidal pura (y por tanto con parte positiva y parte negativa). La señal  $V_A(t)$  es una señal sinusoidal bipolar de 2V de amplitud



Una señal sinusoidal unipolar es una señal sinusoidal bipolar desplazada hacia arriba de forma que toda la señal resulta positiva. La señal  $V_B(t)$  es una señal sinusoidal bipolar de 2V de amplitud



Una señal sinusoidal bipolar se puede descomponer en una señal sinusoidal unipolar junto con un nivel de continua. En este sentido  $V_B(t) = V_{B1}(t) + V_{B2}(t)$



B<sub>4</sub>)

El generador de señal, idealmente suministra señales sinusoidales, rectangulares o triangulares bipolares (sin nivel de continua). El control de DC OFFSET permite añadir un cierto nivel de continua, positivo o negativo, a la señal de salida. Para activarlo hay que sacar **suavemente** el botón rotulado como DC OFFSET hacia afuera y girarlo a derecha o izquierda para añadir mayor o menor nivel de continua. Para desactivarlo hay que hundir **suavemente** el botón.

En la práctica, aún con el control de DC OFFSET desactivado, el generador de señal no es capaz de generar señales bipolares puras (es decir sin nada de continua), por lo que cualquier señal que genere tendrá un cierto nivel de continua aunque generalmente inapreciable a simple vista. Un posible uso del control de DC OFFSET es compensar ese nivel de continua remanente a base de añadir a la señal un nivel de continua igual y de signo contrario mediante dicho control.

C<sub>1</sub>)

HOJA DE CARACTERISTICAS DEL LM35DZ

puede descargarse de:

<http://www.national.com/profile/snip.cgi/openDS=LM35>



# ELECTRONICA INDUSTRIAL

## Práctica 3: ETAPAS DE A.O. y DIODOS

### GUIÓN DE TRABAJO

#### A) ASTABLE.

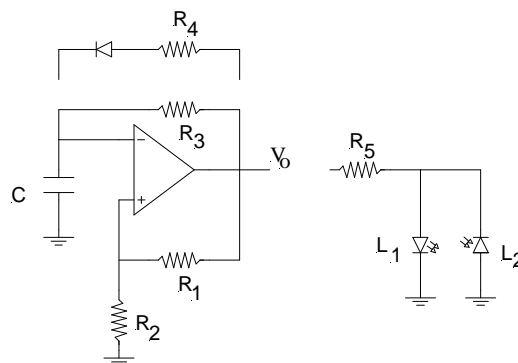
A<sub>1</sub>) Montar el circuito de la figura usando uno de los A.O. del integrado TL082, usando  $\pm V_{cc} = \pm 12V$ ,  $R_1=5,6k\Omega$ ,  $R_2=4,7k\Omega$ ,  $R_3=10k\Omega$  y  $C=100nF$ .

A<sub>2</sub>) Comprobar su funcionamiento correcto visualizando la tensión  $V_o$  y comprobando que corresponde a una onda cuadrada de frecuencia similar a la obtenida teóricamente. Visualizar simultáneamente las tensiones  $V_o$  y  $V_+$ .

A<sub>3</sub>) Colocar en paralelo con  $R_3$  la resistencia  $R_4=1k\Omega$  en serie con el diodo de señal 1N4148. Comprobar que el tiempo que la señal  $V_o$  está en estado alto es unas 10 veces más pequeño que el que está en estado bajo.

A<sub>4</sub>) Invertir el diodo y comprobar su efecto sobre la tensión  $V_o$ .

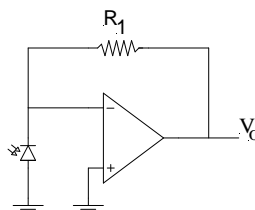
A<sub>5</sub>) Eliminar el diodo y la resistencia  $R_4$ . Conectar una  $R_3=1M\Omega$  y  $C=680nF$ . Determinar teóricamente la frecuencia de la señal  $V_o$  resultante. Conectar los diodos led ( $L_1$  rojo,  $L_2$  verde) y la resistencia  $R_5=1k\Omega$ . Observar el funcionamiento del circuito.



#### B) FOTODIODO. ADAPTACION DE SEÑAL

B<sub>1</sub>) Montar el circuito de la figura empleando uno de los A.O. del integrado TL082, y una  $R_1=2,2M\Omega$ . Como fotodiodo emplear el BPW34.

B<sub>2</sub>) Observar su funcionamiento como detector de luz. Modificar la ganancia cambiando el valor de  $R_1$  por  $5,6M\Omega$

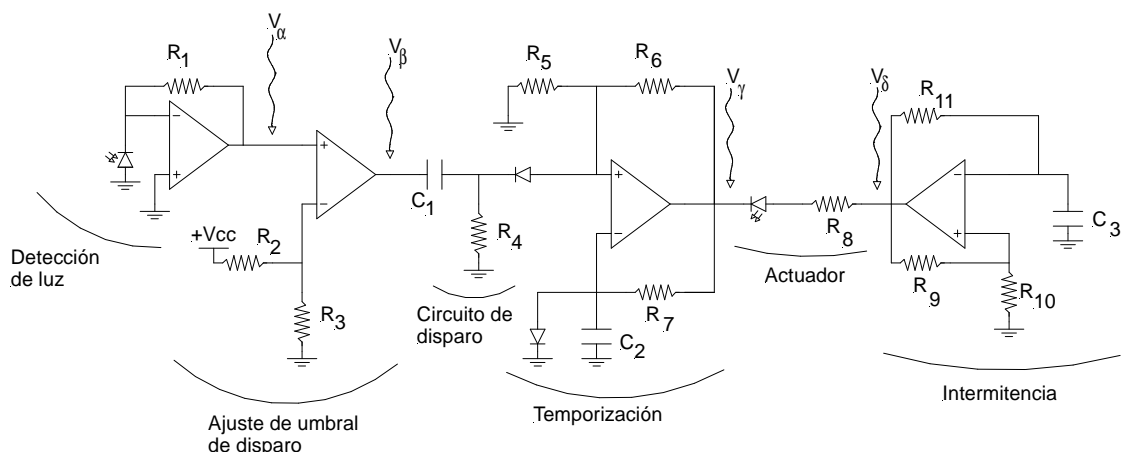


## C) SISTEMA DE ALARMA

A continuación se muestra un problema de diseño para cuya solución se propone el circuito de la figura. El objetivo de la práctica es comprender su funcionamiento, ser capaz de elegir valores adecuados de componentes, montarlo en el laboratorio y comprobar su funcionamiento.

### OBJETIVO DE DISEÑO:

Construir un sistema que haga que un actuador (un diodo led) luzca de forma intermitente durante unos pocos segundos al detectarse un cambio brusco en el nivel de luz que incide en un sensor.



### EXPLICACION DEL CIRCUITO:

La detección de luz se realiza con el circuito típico de polarización de un fotodiodo (BPW34). La tensión  $V_\alpha$  es una tensión aproximadamente continua (lentamente variable) que varía en función de la luz incidente. Con el comparador que viene a continuación ajustamos el umbral de luz que pondrá en marcha el actuador.

La temporización se realiza con un monoestable cuyo estado estable es  $+V_{cc}$ . El circuito de disparo disparará el monoestable ante una transición de  $+V_{cc}$  a  $-V_{cc}$  del comparador. Se ha elegido este tipo de monoestable para que impida que luzca el led en su estado estable (al ser en ese caso  $V_\gamma = +V_{cc}$ ).

En el estado inestable  $V_\gamma = -V_{cc}$ . En este caso, para que luzca el led se requiere además que  $V_\delta = +V_{cc}$ , lo que ocurrirá de forma intermitente, controlada por el astable. La frecuencia de la intermitencia debería ser, lógicamente, mayor que la de temporización del astable (se sugiere una frecuencia unas 10 veces mayor).

### INSTRUCCIONES PARA MONTAR EL CIRCUITO:

\* Analizar el circuito hasta que se comprenda bien su funcionamiento cualitativo y sea capaz de estimar aproximadamente la tensión en cualquier punto del mismo.

\* Calcular componentes adecuados

\* Montar el circuito empleando amplificadores operacionales TL082

\* Ir montando el circuito **bloque a bloque**, en el orden que se indica, comprobando que las diferentes partes funcionan correctamente y que las tensiones son las que deben:

- 1) Detección de luz
- 2) Ajuste de umbral
- 3) Circuito de disparo
- 4) Temporización y led (conectar el punto  $V_\delta$  a  $+V_{cc}$ )
- 5) Intermittencia

\* Ajustar los valores de los componentes respecto de los calculados de forma teórica.

## RESPUESTAS

### A) ASTABLE

A<sub>1</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
R <sub>1</sub>			
R <sub>2</sub>			
R <sub>3</sub>			

Condensador	Valor nominal (nF)	Valor real (nF)
C <sub>1</sub>		

NOTA: El valor real del condensador determinarlo con el capacitmetro.

A<sub>2</sub>)

Tensión V <sub>o</sub>	Valor teórico (Hz)	Valor real (Hz)
Frecuencia		

A<sub>3</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
R <sub>4</sub>			

Tensión V <sub>o</sub>	T <sub>ALTO</sub> (μs)	T <sub>BAJO</sub> (μs)	T <sub>BAJO</sub> / T <sub>ALTO</sub>
Tiempos			

A<sub>5</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (MΩ)	Valor real (MΩ)
R <sub>3</sub> (nuevo valor)			

Condensador	Valor nominal (nF)	Valor real (nF)
C (nuevo valor)		

Tensión V <sub>o</sub>	Valor teórico (Hz)	Valor real (Hz)
Frecuencia (nuevo valor)		

### B) FOTODIODO. ADAPTACIÓN DE SEÑAL

B<sub>1</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (MΩ)	Valor real (MΩ)
R <sub>1</sub> (primer valor)			
R <sub>1</sub> (segundo valor)			



### C) SISTEMA DE ALARMA

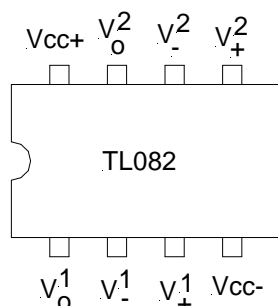
Resistencia	Valor calculado (k $\Omega$ )	Valor empleado (k $\Omega$ )
R <sub>1</sub>		
R <sub>2</sub>		
R <sub>3</sub>		
R <sub>4</sub>		
R <sub>5</sub>		
R <sub>6</sub>		
R <sub>7</sub>		
R <sub>8</sub>		
R <sub>9</sub>		
R <sub>10</sub>		
R <sub>11</sub>		

Condensadores	Valor calculado (nF)	Valor empleado (nF)
C <sub>1</sub>		
C <sub>2</sub>		
C <sub>3</sub>		

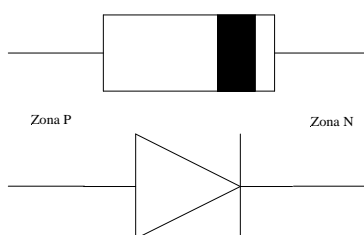


## COMENTARIOS ADICIONALES

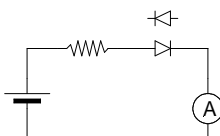
A<sub>1</sub>) El TL082 es un integrado con que encapsula dos AO del mismo tipo (con las mismas características) que el TL081. Su patillaje es el siguiente:



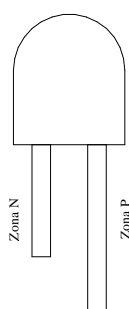
A<sub>3</sub>) Habitualmente los diodos se encapsulan marcando con una banda de diferente color la zona N



En cualquier caso, ante la duda, siempre se puede determinar la polaridad del diodo a a base de conectarlo en serie a una resistencia del orden de k $\Omega$ , excitar el conjunto con unos pocos voltios y comprobar (con el amperímetro) en qué sentido circula corriente.



A<sub>5</sub>) Los diodos led se suelen encapsular con un terminal más largo que el otro. El terminal largo corresponde a la zona P. En cualquier caso, ante la duda, determinar los terminales mediante el método indicado en las notas al apartado A<sub>3</sub>



B<sub>1</sub>) Para determinar el patillaje del fotodiodo BPW34 emplear el mismo sistema que el indicado en las notas al apartado A<sub>3</sub>

C) Los componentes de los que se dispone en el laboratorio son los siguientes:

RESISTENCIAS:

valores de 1,0 1,5 1,8 2,2 2,7 3,3 3,9 4,7 5,6 6,8 8,2 con multiplicadores de 1 $\Omega$ , 10 $\Omega$ , 100 $\Omega$ , 1k $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 100k $\Omega$ , 1M $\Omega$

CONDENSADORES:

valores de 1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8 con multiplicadores de 1nF, 10nF, 100nF

valores de 1,0 2,2 3,3 4,7 con multiplicadores de 1 $\mu$ F, 10 $\mu$ F, 100 $\mu$ F, 1000 $\mu$ F

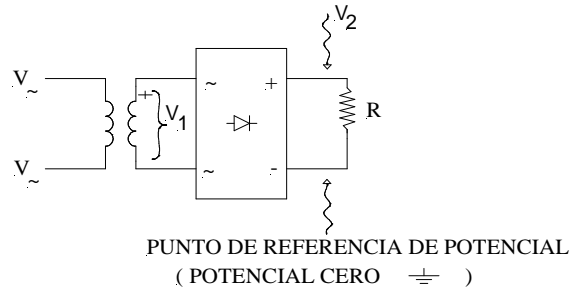
# ELECTRONICA INDUSTRIAL

## Práctica 4: FUENTES DE ALIMENTACION LINEALES EL INTEGRADO 555

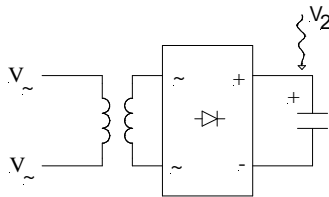
### GUIÓN DE TRABAJO

#### A) DISEÑO BASICO DE UNA FUENTE DE ALIMENTACION DE 12V

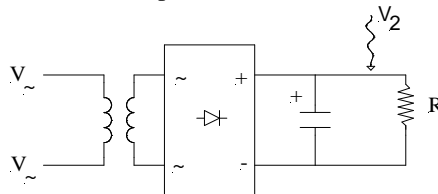
A<sub>1</sub>) Montar el circuito de la figura con un trafo de 220V/15V con una  $R = 10k\Omega$ . Visualizar con el osciloscopio la señal rectificada en doble onda en la resistencia y medir su amplitud.



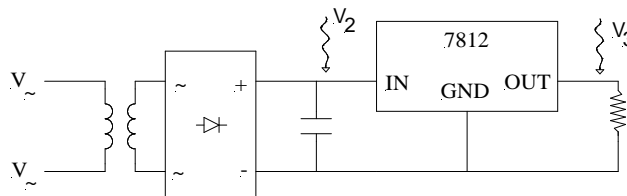
A<sub>2</sub>) Eliminar la carga y colocar un condensador de  $470\mu F$ , 63V (ojo con la polaridad). Visualizar la tensión en bornes del condensador.



A<sub>3</sub>) Colocar diferentes valores de carga:  $R = 10k\Omega$ ,  $1k\Omega$  (1W),  $120\Omega$  (2W) e ir observando como aumenta el rizado de la señal. Medir el valor del rizado y compararlo con su respectivo valor teórico



A<sub>4</sub>) Colocar el regulador de tensión fijo 7812 e ir colocando diferentes cargas:  $R = 10k\Omega$ ,  $1k\Omega$  (1W),  $200\Omega$  (2W). Visualizar simultaneamente la tensión  $V_2$  y  $V_3$ , comprobando la presencia de rizado en  $V_2$  y su anulación en  $V_3$



#### B) EL INTEGRADO 555

B<sub>1</sub>) A partir de la hoja de características del temporizador 555, diseñar y montar un temporizador de 24s. Emplear la fuente de alimentación de 12V diseñada en el apartado anterior. Utilizar la salida para excitar A) un diodo led. B) un relé de 12V.

B<sub>2</sub>) A partir de la hoja de características del temporizador 555, diseñar y montar un generador de onda cuadrada de 1kHz. Emplear la fuente de alimentación de 12V diseñada en el apartado anterior.



## RESPUESTAS

### A) DISEÑO BASICO DE UNA FUENTE DE ALIMENTACION DE 12V

A<sub>3</sub>)

Resistencia	Rizado teórico (V)	Rizado real (V)
<b>R = 10kΩ</b>		
<b>R = 1kΩ</b>		
<b>R = 120Ω</b>		

### B) EL INTEGRADO 555

B<sub>1</sub>)

<b>R<sub>A</sub></b>	<b>C</b>

B<sub>2</sub>)

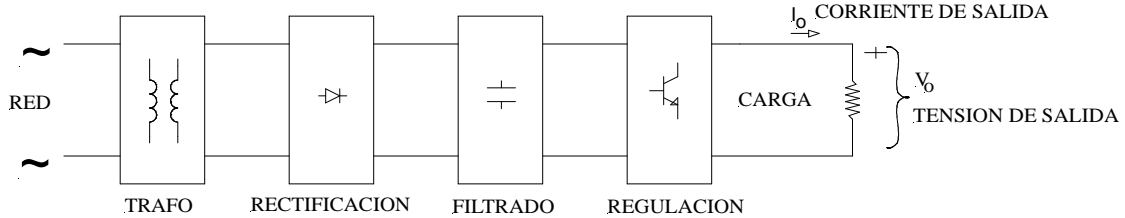
<b>R<sub>A</sub></b>	<b>R<sub>B</sub></b>	<b>C</b>

# COMENTARIOS ADICIONALES

## A) FUENTES DE ALIMENTACION LINEALES

El problema que nos planteamos es, partiendo del suministro de la red en forma de señal sinusoidal de 220V y 50Hz diseñar una fuente de alimentación de tensión (continua) de salida  $V_o$  y capaz de suministrar una corriente máxima  $I_{o_{max}}$

La estructura básica está compuesta por los siguientes bloques:



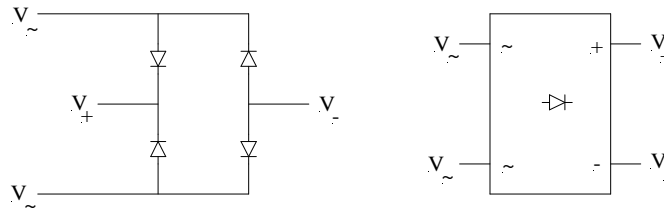
Vamos a revisar brevemente cada bloque:

### TRAFO

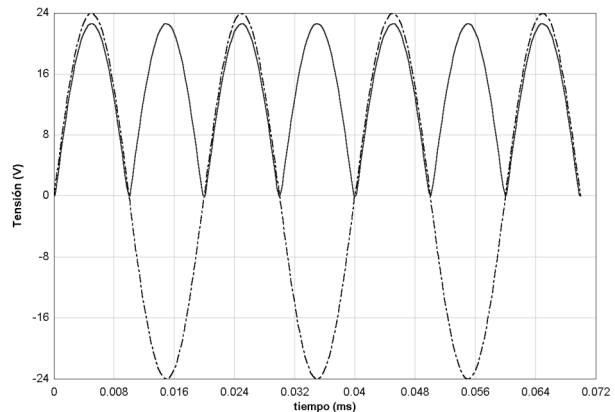
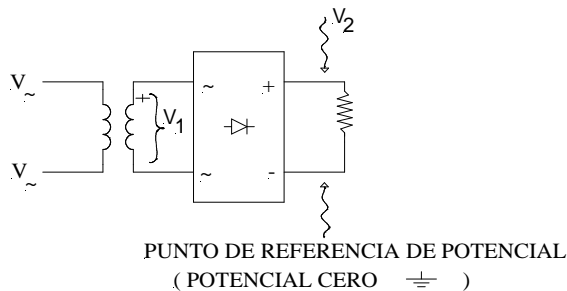
Tiene como misión atenuar la tensión de la red a un valor mas manejable. Los valores comerciales típicos son de 6, 7.5, 9, 12, 15, 18, 24 y 48 voltios. Esta es la tensión que dan a plena carga, por lo que puede suceder que en vacío la tensión que se mida en el secundario sea mayor.

### RECTIFICACION

La onda sinusoidal que proviene del secundario tiene un valor medio nulo. La etapa de rectificación tiene por objeto conseguir una onda más próxima a un nivel de continua (es decir una onda con un valor medio no nulo) a base de seleccionar únicamente los semiciclos positivos del secundario (rectificación en media onda) o seleccionar ambos semiciclos pero convirtiendo los semiciclos negativos en positivos (rectificación en onda completa). Para nuestra fuente de alimentación vamos a emplear un rectificador en doble onda cuya estructura básica es:



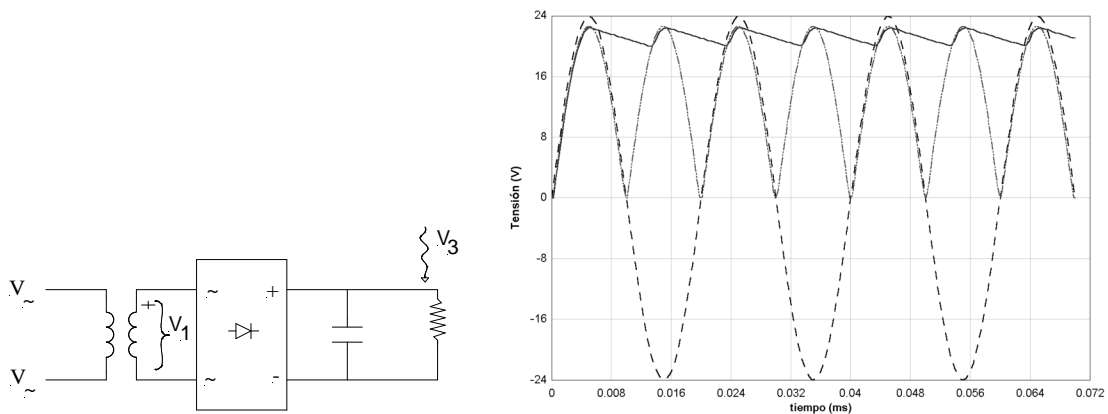
Donde los terminales  $V_~$  son los que se conectan al secundario del trafo (indistintamente), y la tensión  $(V_+ - V_-)$  corresponderá a la señal del secundario rectificada en doble onda. A partir de ahora consideraremos  $V_-$  como nuestro punto de referencia de potenciales (punto de potencial cero) por lo que diremos que en  $V_+$  tendremos la señal rectificada en doble onda.



En la gráfica anterior, la señal en trazo discontinuo corresponde a la onda proveniente del secundario del trafo ( $V_1$ ) y la señal en trazo continuo corresponde a la salida después del rectificador ( $V_2$ ). La diferencia de amplitud de ambas corresponde a la caída de tensión en los diodos (aproximadamente 1,4V dado que siempre hay dos en conducción)

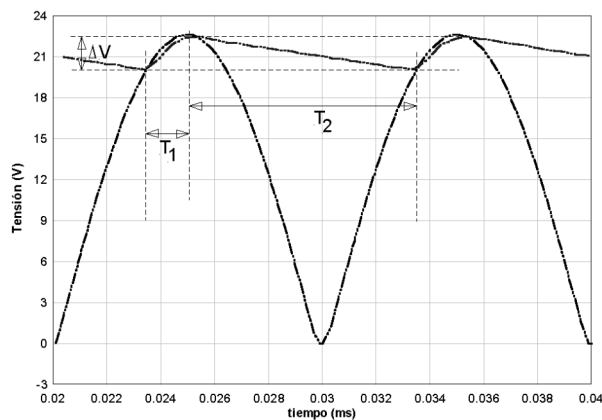
## FILTRADO

La etapa de filtrado tiene por objeto conseguir, a partir de la señal rectificada, una señal aún más próxima a un nivel de continua. Consiste en interponer un condensador entre la señal rectificada y la carga (que representa el sistema que vamos a alimentar con la fuente de alimentación)



En la gráfica se muestra en línea discontinua gruesa la señal correspondiente al secundario del transformador ( $V_1$ ). En línea discontinua fina se muestra la señal rectificada en doble onda que obtendríamos en  $V_3$  si no estuviera conectado el condensador. Finalmente, en línea continua, se muestra la tensión que se obtiene en bornes del condensador (y por tanto de la carga)  $V_3$ .

El comportamiento de rectificador con el condensador es similar al del circuito detector de pico (en ese circuito el diodo correspondería al rectificador). En ausencia de carga, la señal que se obtendría correspondería a un nivel de continua coincidente con el valor máximo de la señal proveniente del secundario. La presencia de la carga hace que el condensador pierda carga (y por tanto tensión) entre ciclo y ciclo, lo que conlleva la presencia de una fluctuación conocida como "rizado". En cualquier caso lo que se ha obtenido es, esencialmente un nivel de continua, con una ligera fluctuación  $\Delta V$ .



El valor del condensador de filtro dependerá del nivel de rizado que permitamos en nuestra señal de salida. Si analizamos las curvas de la figura vemos que durante el tiempo  $T_1$  el condensador se carga y durante el tiempo  $T_2$  el condensador se descarga, actuando como una batería, sobre el circuito a alimentar, en nuestro caso representado por la resistencia de carga. Este proceso se repite en cada ciclo de la señal, de forma que  $T_1 + T_2 (=10\text{ms para una señal de red rectificada en doble onda})$ . Vamos deducir una ecuación que nos da la relación (aproximada) entre el valor del condensador y el valor del rizado. Para ello vamos a suponer las siguientes aproximaciones.

\*  $T_1 \ll T_2$ , de forma que  $T_2 \approx T$

\* La tensión en el condensador es esencialmente constante (varía poco) de forma que el condensador se descarga a corriente constante  $I$  (de valor  $V/R$ , siendo  $R$  la resistencia de carga)

$$Q_1 \text{ (Carga adquirida en el condensador en } T_1) = Q_2 \text{ (Carga perdida en el condensador en } T_2)$$

pero como en un condensador  $Q = C V \Rightarrow \Delta Q = C \Delta V$   
luego

$$Q_1 = C \Delta V$$



pero como el condensador se descarga a corriente constante de valor I ( $I = V/R$ )

$$Q_2 = I (\text{tiempo de descarga}) = I T$$

como  $Q_1 = Q_2$  tenemos

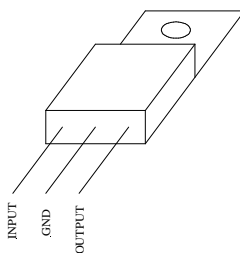
$$C = I T / \Delta V$$

Habitualmente el rizado se establece entre el 1% y el 5% de la tensión de salida.

## REGULACION

La etapa de regulación tiene por objeto eliminar el rizado, o, de forma más general, a partir de una señal de continua con un cierto rizado generar una tensión continua sin (prácticamente) nada de rizado. Para que el regulador funcione adecuadamente el rizado de entrada no debe ser enormemente grande. Este es el motivo por el que no se puede colocar el regulador inmediatamente después del rectificador. Por otra parte, dado que el regulador se va a encargar de la eliminación final del rizado, el condensador de filtro sólo lo tiene que reducir la fluctuación de la tensión a unos valores que le resulten manejables al regulador (en teoría sólo con el condensador de filtro podríamos obtener una señal con un rizado muy pequeño, pero ello implicaría el uso de condensadores enormemente grandes además de otra serie de problemas que no se analizarán aquí)

Los reguladores más sencillos (que son los que utilizaremos) pertenecen a la familia 78XX donde XX indica la tensión de salida. Son dispositivos de tres terminales rotulados como IN, OUT y GND.



El terminal GND se conecta al punto de tierra del circuito. El terminal IN se conecta a la señal de entrada sin regular (con rizado) y en el terminal de salida OUT obtenemos la señal de salida regulada.

El principal dato a tener en cuenta con estos reguladores es la “tensión de dropout” que es la tensión mínima que debe haber en todo momento entre el terminal de entrada y el de salida. Suele ser (para los reguladores de la familia 78XX) de unos dos voltios.

## EJEMPLO DE CALCULO

Vamos a diseñar una fuente de tensión de 12V capaz de suministrar una corriente de hasta 100mA.

En primer lugar vamos a estimar el valor del trafo de entrada.

Queremos 12V a la salida, luego en el terminal OUT del regulador (emplearemos un 7812) habrá una tensión continua de 12V. Si permitimos un rizado de unos 2V, en el terminal de IN del regulador necesitamos (como mínimo) una tensión de  $12 + \text{tensión de dropout} + \text{rizado} \approx 16V$ . Los diodos del rectificador se quedan con 1,4V luego la tensión de pico del secundario del trafo deberá ser, por lo menos, de  $16 + 1,4V \approx 17,4$ .

Un trafo de 12V dará una tensión de pico de 17 voltios, que es insuficiente, así que optamos por un trafo de 15V, que dará una tensión de pico de 21,2V. Si le restamos los 1,4V del regulador y los 2V de la tensión de dropout obtenemos 17,8V lo que nos deja la posibilidad de un rizado de hasta 5,8V. Pese a todo, calcularemos el condensador para un rizado de 2V.

Cuando la fuente trabaje en las condiciones de carga máxima estará suministrando 100mA, luego

$$C = (100mA) (10ms) / (2V) = 500\mu F$$

Vamos a tomar como valor de condensador 470 $\mu$ F, que es un valor comercial. Dado que hemos elegido un condensador más pequeño que lo calculado el rizado será mayor, pero ya hemos visto que teníamos mucho margen para el rizado. Como el valor de la capacidad es muy grande, el condensador deberá ser electrolítico. Por otra parte deberá soportar una tensión de al menos 20V.



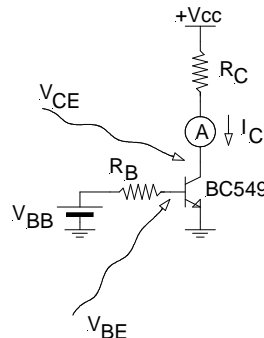
# ELECTRONICA INDUSTRIAL

## Práctica 5: TRANSISTOR BIPOLAR

### GUIÓN DE TRABAJO

#### A) CARACTERIZACION DEL BJT BC549 (NPN).

A<sub>1</sub>) Montar el circuito de la figura de forma que se pueda medir la corriente de colector con un amperímetro de continua y se puedan medir las tensiones  $V_{BE}$  y  $V_{CE}$  mediante un voltímetro de continua. Utilizar  $R_B=470k\Omega$ ,  $R_C=1,8k\Omega$  y  $V_{CC}=15V$ . Emplear las fuentes de forma independiente.



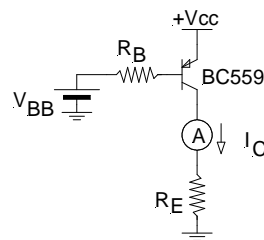
A<sub>2</sub>) Modificando el valor de la fuente variable  $V_{BB}$  podemos aumentar el valor de  $I_B$ , lo que aumentará el valor de  $I_C$ , haciendo que disminuya la tensión colector-emisor. El transistor de esta forma pasa por diferentes zonas de funcionamiento.

A<sub>3</sub>) Medir, para los diferentes valores de  $V_{BB}$  indicados, las magnitudes del cuadro adjunto (ver hoja de respuestas) y deducir la  $I_B$ , la  $\beta$  y el estado del transistor en cada caso.

A<sub>4</sub>) Con el mismo circuito y para una  $V_{BB} = 6V$ , calcular la  $\beta$  para diferentes (al menos tres) BC549 comprobando la dispersión de valores.

#### B) CARACTERIZACION DEL BJT BC559 (PNP).

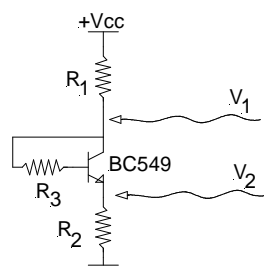
B<sub>1</sub>) Repetir los apartados A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> y A<sub>4</sub> para el circuito de la figura empleando  $R_B=470k\Omega$ ,  $R_C=1,8k\Omega$ . (En este caso, a diferencia del anterior, conforme aumenta  $V_{BB}$ , disminuye  $V_B$  lo que hace que disminuya  $I_C$  y por tanto aumenta  $V_{EC}$ ).



#### C) ANALISIS DE CIRCUITOS CON TRANSISTORES

C<sub>1</sub>) Conocidos los parámetros característicos de uno de los transistores BC549, resolver teóricamente (con papel y lápiz) el circuito de la figura, calculando  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_{CE}$  e  $I_E$

C<sub>2</sub>) Montar el circuito ( $V_{CC}=15$ ,  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 2,2k\Omega$ ,  $R_3 = 470k\Omega$ ) y medir esas magnitudes. Comprobar la concordancia entre teoría y experimento.



## RESPUESTAS

### A) CARACTERIZACION DEL BJT BC549 (NPN).

A<sub>1</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
<b>R<sub>B</sub></b>			
<b>R<sub>C</sub></b>			

A<sub>3</sub>)

V <sub>BB</sub> (V)	V <sub>BE</sub> (V)	I <sub>B</sub> (mA)	V <sub>CE</sub> (V)	I <sub>C</sub> (mA)	β	ESTADO
<b>0,4</b>						
<b>3</b>						
<b>6</b>						
<b>9</b>						
<b>11</b>						
<b>14,5</b>						

A<sub>4</sub>)

BJT	V <sub>BB</sub> (V)	V <sub>BE</sub> (V)	I <sub>B</sub> (mA)	V <sub>CE</sub> (V)	I <sub>C</sub> (mA)	β	ESTADO
<b>BC549 (1)</b>	6						
<b>BC549 (2)</b>	6						
<b>BC549 (3)</b>	6						
<b>BC549 (4)</b>	6						

### B) CARACTERIZACION DEL BJT BC559 (PNP).

B<sub>1</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
<b>R<sub>B</sub></b>			
<b>R<sub>C</sub></b>			

B<sub>3</sub>)

V <sub>BB</sub> (V)	V <sub>EB</sub> (V)	I <sub>B</sub> (mA)	V <sub>EC</sub> (V)	I <sub>C</sub> (mA)	β	ESTADO
<b>0,4</b>						
<b>3</b>						
<b>6</b>						
<b>9</b>						
<b>11</b>						
<b>14,5</b>						

B<sub>4</sub>)

BJT	V <sub>BB</sub> (V)	V <sub>EB</sub> (V)	I <sub>B</sub> (mA)	V <sub>EC</sub> (V)	I <sub>C</sub> (mA)	β	ESTADO
<b>BC559 (1)</b>	6						
<b>BC559 (2)</b>	6						
<b>BC559 (3)</b>	6						
<b>BC559 (4)</b>	6						

### C) ANALISIS DE CIRCUITOS CON TRANSISTORES

C<sub>2</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (kΩ)	Valor real (kΩ)
<b>R<sub>1</sub></b>			
<b>R<sub>2</sub></b>			
<b>R<sub>3</sub></b>			

C<sub>3</sub>) Valores experimentales

	Valor teórico	Valor experimental
<b>V<sub>1</sub> (V)</b>		
<b>V<sub>2</sub> (V)</b>		
<b>V<sub>CE</sub> (V)</b>		
<b>I<sub>C</sub> (mA)</b>		

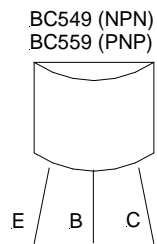


## COMENTARIOS ADICIONALES

### A) CARACTERIZACION DEL BJT BC549 (NPN)

A<sub>1</sub>) Para configurar la fuente de alimentación como dos fuentes independientes, pulsar el botón "INDEP" y tomar las salidas entre las bornas roja y negra de cada una de ellas. Hay que tener en cuenta que las dos bornas negras son ahora independientes por lo que si ambas fuentes deben estar referidas al mismo potencial habrá que cortocircuitar dichas bornas (negras).

#### Patillaje del BC549 y BC559



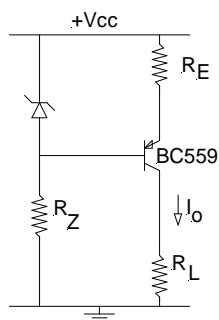
# ELECTRONICA INDUSTRIAL

## Práctica 6:

### EL TRANSISTOR BIPOLAR COMO FUENTE DE CORRIENTE

#### A) DISEÑO BASICO DE UNA FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE

A<sub>1</sub>) En el circuito de la figura calcular teóricamente el valor de la corriente de colector, la tensión  $V_{EC}$  y la tensión en la base del transistor. DATOS:  $V_{CC} = 12V$ ,  $R_E = 5k\Omega$ ,  $R_Z = 2k\Omega$ ,  $R_L = 0\Omega$ (cortocircuito), ZENER:  $V_Z = 5,1V$ . Calcular el valor máximo de la carga  $R_L$  para la que el circuito se comporta como una fuente de corriente.



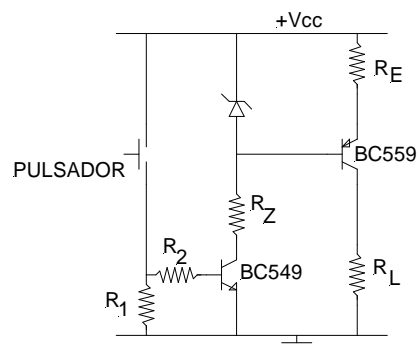
A<sub>2</sub>) Montar el circuito y comprobar los valores obtenidos de tensión y corriente.

A<sub>3</sub>) Medir la corriente sobre  $R_L$  y la tensión  $V_{EC}$  para los valores de  $R_L = 100\Omega$ ,  $680\Omega$ ,  $2k\Omega$ ,  $8k\Omega$ . Indicar el estado del transistor en cada caso.

A<sub>4</sub>) Sustituir la carga por un potenciómetro de  $10k\Omega$  configurado como resistencia variable. Observar la independencia de la corriente  $I_o$  con respecto a la variación de resistencia durante parte del recorrido. Observar la pérdida de este comportamiento durante el resto, coincidiendo con la saturación del transistor.

#### B) CONTROL DE HABILITACION/DESHABILITACION

B<sub>1</sub>) Introducir en el diseño anterior un control de habilitación/deshabilitación mediante un pulsador y el transistor NPN auxiliar tal como indica la figura.  $R_1 = R_2 = 10k\Omega$



B<sub>2</sub>) Usando una  $R_L = 100\Omega$ , comprobar el correcto funcionamiento de habilitación/deshabilitación midiendo la corriente por la  $R_L$  con el pulsador pulsado y sin pulsar. Alternativamente colocar un led en serie con  $R_L$

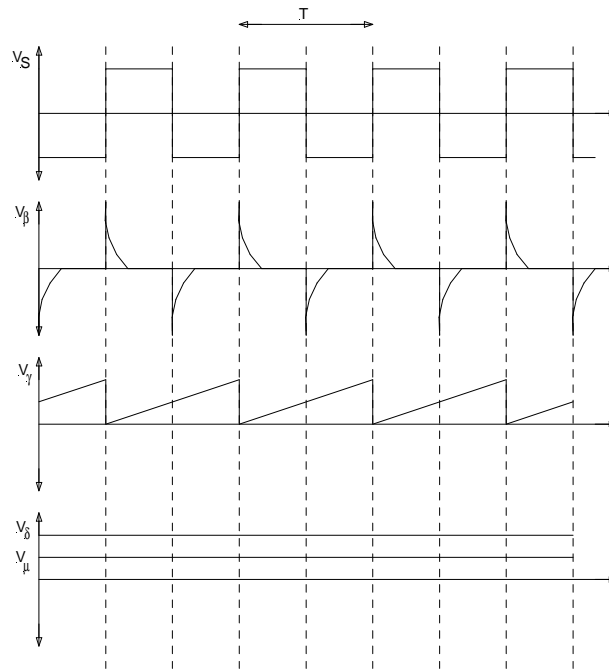
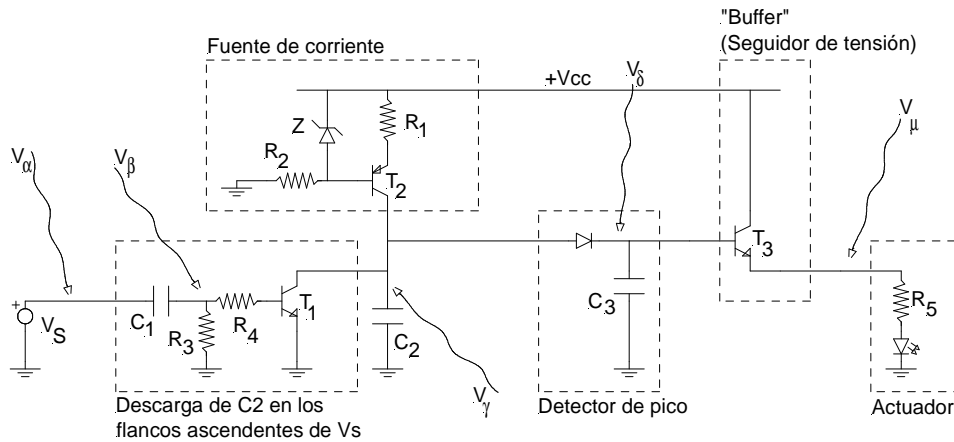
#### C) CONVERTOR FRECUENCIA-TENSION





**PROBLEMA:** A partir de una señal cuadrada simétrica  $V_S$  de frecuencia  $f$ , queremos generar una tensión continua positiva proporcional a dicha frecuencia. Esa tensión se aplicará a un diodo led de forma que debe lucir más o menos intensamente en función de la frecuencia del generador  $V_S$

**DISEÑO:**



**ANALISIS:** El condensador  $C_2$  se carga linealmente mediante la fuente de corriente. Cuando el generador de señal produce un flanco ascendente,  $C_1$  y  $R_3$  producen un pulso ( $V_\beta$ ) que activa el transistor  $T_1$  el cual se pone en conducción, y descarga el condensador  $C_2$ .  $V_\gamma$  por tanto es un diente de sierra síncrono con la señal  $V_S$ . Cuanto mayor sea  $T$  y por tanto menor sea la frecuencia,  $C_2$  tiene más tiempo entre descarga y descarga por lo que las rampas alcanzarán un valor más alto. El detector de pico se encarga de recoger ese valor máximo al que llegan las rampas ( $V_\delta$ ). El buffer se incorpora al diseño para aumentar la capacidad de suministrar corriente del detector de pico a fin de poder alimentar al actuador ( $V_\mu$ ).

**CUESTION A RESOLVER:** ¿Cual es la relación matemática entre la frecuencia  $f$  y la tensión  $V_\mu$  ?

**COMPONENTES:**

Calculados para una excitación  $V_S$  proveniente del generador de señal y configurado con una onda cuadrada de 5V de amplitud y  $200\text{Hz} < f < 400\text{Hz}$

$V_{CC} = 12\text{V}$

$C_1 = 470\text{nF}$ ,  $C_2 = 10\mu\text{F}$  (electrolítico),  $C_3 = 680\text{nF}$

ZENER  $V_Z = 5,1\text{V}$  DIODO: 1N4148  $T_1, T_3$ : BC549  $T_2$ : BC559

## RESPUESTAS

### A) DISEÑO BASICO DE UNA FUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE

A<sub>1</sub>)

$I_C$ (mA)	$V_{EC}$ (V)	$V_B$ (V)	ESTADO	$R_{L,m\acute{a}x}$ (k $\Omega$ )

A<sub>2</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (k $\Omega$ )	Valor real (k $\Omega$ )
$R_E$			
$R_Z$			

$I_C$ (mA)	$V_{EC}$ (V)	$V_B$ (V)	ESTADO

A<sub>3</sub>)

Resistencia	Código colores	Valor nominal (k $\Omega$ )	Valor real (k $\Omega$ )
$R_L=100\Omega$			
$R_L=680\Omega$			
$R_L=2k2\Omega$			
$R_L=8k2\Omega$			

$R_L$ (k $\Omega$ )	$I_{RL}$ (mA)	$V_{EC}$ (V)	ESTADO
0,10			
0,68			
2,2			
8,2			

### C) CONVERTOR FRECUENCIA-TENSION

<p>Relación <math>V_\mu = f(\text{frecuencia})</math></p>	
---	--



# ELECTRONICA INDUSTRIAL

## Práctica 7:

## CONTROL DE POTENCIA SOBRE UNA CARGA RESISTIVA

### GUIÓN DE TRABAJO

#### A) CIRCUITO BASICO DE CONTROL DE POTENCIA

A<sub>1</sub>) Montar el circuito de la figura secuencialmente: Comenzar conectando un trafo de 200V/9V

A<sub>2</sub>) Colocar el puente rectificador atendiendo a los terminales de alterna (rotulados como ~) y los terminales de salida (rotulados como + y -). Colocar la resistencia  $R_1 = 10k\Omega$  y visualizar con el osciloscopio la tensión en (1), comprobando la rectificación en doble onda de la señal. Determinar la caída de tensión de la señal rectificada con respecto a la señal de entrada debida a los diodos del puente.

A<sub>3</sub>) Colocar el bloque inversor formado por  $R_2 = 10k\Omega$ ,  $R_3 = 10k\Omega$  y  $T_1$  (BC549). Emplear una alimentación  $V_{cc} = 12V$ . Visualizar simultáneamente la tensión (2) y la (1), comprobando el efecto del bloque inversor.

A<sub>4</sub>) Montar la fuente de corriente (dejando espacio para  $T_2$  que se colocará posteriormente) empleando un zener de 2,7 voltios,  $R_4 = 1k8\Omega$ ,  $R_5 = 4k7\Omega$ ,  $T_3$  (BC559). Antes de colocar el condensador, medir la corriente que genera la fuente mediante un amperímetro configurado en DC, colocado entre el colector de  $T_3$  y masa. Comprobar que la corriente coincide aproximadamente con la teórica. Colocar el condensador  $C = 1\mu F$  (OJO con la polaridad).

A<sub>5</sub>) Colocar el transistor  $T_2$  (BC549), encargado de descargar el condensador  $C$  en los pasos por cero de la señal rectificada en doble onda.. Visualizar simultáneamente (3) frente a (1)

A<sub>6</sub>) (3) es una tensión proporcional al ángulo en que va la tensión de red (en este caso simulada con el generador de señal). (4) será la tensión que indique en qué ángulo queremos disparar el elemento de conmutación (tiristor o triac). En este caso haremos una selección manual mediante un potenciómetro de 10K. Visualizar simultáneamente la tensión (3, ángulo en que va la red) frente a la tensión (4, ángulo en que queremos disparar).

A<sub>7</sub>) Colocar el A.O. LM358 (es un A.O. de alimentación simple; en el encapsulado DIL8 hay dos A.O.) que va a actuar de comparador, de forma que el momento de disparo del elemento de conmutación (esto es, el momento en que la tensión (3) es igual a la (4) ) vendrá señalado por la transición de (5) de 0V a  $V_{cc}$  voltios.

A<sub>8</sub>) Visualizar simultáneamente la tensión (5) frente a la (3) y la tensión (5) frente a la (1)

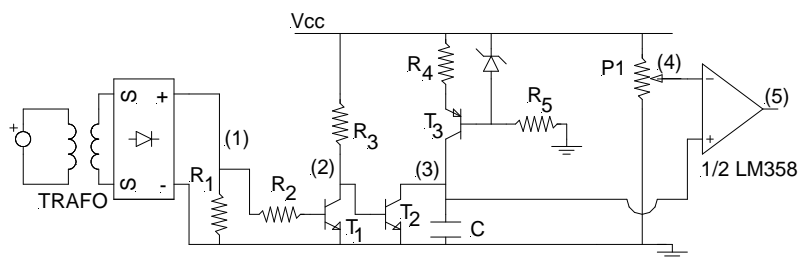


figura 1

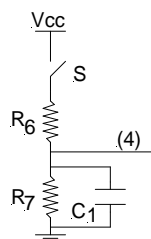


figura 2

## B) ENCENDIDO/APAGADO SUAVE DE CARGAS

B<sub>1</sub>) En el circuito de la figura 1, sustituir el potenciómetro por el circuito de la figura 2.  $R_6 = 47k\Omega$ ,  $R_7 = 100k\Omega$ ,  $C_1 = 100\mu F$  (OJO con la polaridad). El interruptor S simularlo mediante un cable. Visualizar la tensión en (4) al abrir y cerrar el interruptor S

B<sub>2</sub>) Visualizar simultáneamente la tensión (5) frente a la (1) al abrir y cerrar el interruptor, observando el efecto de conexión/desconexión progresiva de tensión sobre la carga.

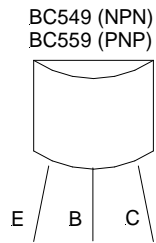


figura 3

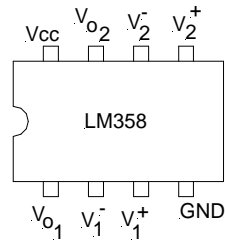


figura 4