

Principios de **electricidad y electrónica**

TOMO V

Antonio Hermosa

Electrónica básica general

Diodos, circuitos rectificadores, estabilizadores zener, optoelectrónica, transistores y circuitos de aplicación

Electricidad y Electrónica

Material no autorizado por derechos de autor

 **marcombo**
ediciones técnicas

Principios de electricidad y electrónica – Tomo V

Primera edición, enero 2009

© 2009 Antonio Hermosa Donate

© 2009 MARCOMBO, S.A.
Gran Via de les Corts Catalanes, 594
08007 Barcelona
www.marcombo.com

Diseño de la cubierta: OENE DISSENY

Interior: OCT - Organización Ciencia y Tecnología (Milena Buenaventura)

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

ISBN: 978-84-267-1532-6

D.L.:

Impreso en

Printed in Spain

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

Capítulo 1

COMPONENTES SEMICONDUCTORES: EL DIODO	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 EL DIODO	2
1.2.1 Polarización del diodo	2
1.3 CARACTERÍSTICAS DEL DIODO	4
1.3.1 Curva característica del diodo.....	4
1.4 Comprobación del diodo con el polímetro (<i>tester</i>)	9
1.4.1 Polímetro analógico	9
1.4.2 Polímetro digital	11
1.5 Resistencia del diodo.....	12
1.5.1 Resistencia estática	12
1.5.2 Resistencia dinámica.....	13
1.6 EFECTO DE LA TEMPERATURA	19
1.6.1 Coeficiente de temperatura	20
1.7 CARACTERÍSTICAS PRÁCTICAS DE LOS DIODOS RECTIFICADORES	21
1.7.1 Valores de tensión	22
1.7.2 Valores de intensidad	23
1.8 POTENCIA DISIPADA.....	24
1.9 EJEMPLO EXPLICADO DE DATOS PRÁCTICOS DE DIODOS.....	25
1.9.1 Diodo 1N4001.....	25
1.9.2 Diodo 1N4007.....	26

1.10	EJERCICIOS DESARROLLADOS.....	26
1.11	ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE LABORATORIO	29
1.11.1	Obtención de la curva característica.....	29
	del diodo en polarización directa	29
1.11.2	Experimentación de la polarización inversa (VR)	31

Capítulo 2

COMPONENTES OPTOELECTRÓNICOS BÁSICOS I: DIODOS EMISORES DE LUZ (LED) Y <i>DISPLAYS</i>		33
2.1	INTRODUCCIÓN.....	33
2.2	DIODOS LED	34
2.2.1	Aspectos prácticos sobre los LED.....	34
2.2.2	Principio de funcionamiento del LED	35
2.2.3	Tipos básicos de diodos LED.....	35
2.2.4	Aplicación práctica del LED	36
2.2.5	Diferentes tipos de LED.....	38
2.2.6	Alimentación del LED a través de tensión alterna.....	40
2.3	VISUALIZADORES DE 7 SEGMENTOS (<i>DISPLAYS</i>)	45
2.3.1	Aspectos prácticos.....	46
2.3.2	Circuito interno. <i>Display</i> de ánodo común.....	47
2.3.3	Ejemplo de montaje práctico.....	47
2.3.4	<i>Display</i> de cátodo común.....	49
2.4	EJERCICIOS DESARROLLADOS.....	50
2.4.1	Actividades prácticas propuestas	54

Capítulo 3

COMPONENTES OPTOELECTRÓNICOS BÁSICOS II: FOTODIODOS, FOTOTRANSISTORES Y OPTOACOPLADORES		55
3.1	INTRODUCCIÓN.....	55
3.2	EL FOTODIODO	56
3.2.1	Funcionamiento y características	57
3.2.2	El fotodiodo BPW43	58
3.2.3	Circuito básico de aplicación práctica del fotodiodo	60
3.2.4	Fotodiodo BPW34	61
3.3	EL FOTOTRANSISTOR	63
3.3.1	Fototransistor BPW34	63

3.3.2 Características básicas.....	64
3.3.3 Ejemplo de aplicación práctica del fototransistor	64
3.4 OPTOACOPLADORES	66
3.4.1 Estructura interna y funcionamiento	66
3.4.2 El optoacoplador 4N26.....	67
3.4.3 Ejemplo de circuito práctico de señales optoacopladas	67
3.4.4 Optoacopladores de control por corriente alterna.....	68
3.5 ACTIVIDAD EXPERIMENTAL MEDIANTE <i>MULTISIM</i>	69

Capítulo 4

CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN RECTIFICACIÓN Y FILTRADO	73
4.1 INTRODUCCIÓN.....	73
4.2 ALIMENTACIÓN DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.....	74
4.3 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO CONCEPTUAL DE UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	75
4.3.1 Transformador.....	75
4.3.2 Conversión de la corriente alterna (ca) en corriente continua (cc) rectificación	75
4.3.3 Filtrado.....	75
4.3.4 Estabilizador.....	77
4.4 CIRCUITO RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA.....	78
4.4.1 Tensión y corriente de salida	80
4.4.2 Factor de forma.....	80
4.4.3 Factor de rizado	80
4.4.4 Ejemplo práctico de cálculo del rectificador.....	83
4.5 CIRCUITO RECTIFICADOR DE DOBLE ONDA	84
4.5.1 Tensión y corriente de salida	85
4.5.2 Factor de forma.....	87
4.5.3 Factor de rizado	87
4.5.4 Circuito rectificador de doble onda bifásico	88
4.5.5 Rectificación en doble onda con puente de Graetz	93
4.6 FILTRADO DE LA TENSIÓN CONTINUA PULSATORIA	99
4.6.1 Factor de rizado	101
4.6.2 Cálculo práctico del condensador de filtro	102
4.7 CÁLCULO PRÁCTICO DE ALIMENTADORES SENCILLOS	103

4.7.1 Consideraciones prácticas de inicio	103
4.7.2 Ejemplo de cálculo de un alimentador	104
4.8 ACTIVIDADES PROPUESTAS.....	113

Capítulo 5

EL DIODO ZENER Y SUS APLICACIONES	115
5.1 INTRODUCCIÓN.....	115
5.2 POLARIZACIÓN DEL DIODO ZENER	117
5.2.1 Curva característica en la zona de trabajo	117
5.2.2 Curva característica general	120
5.2.3 Resistencia interna del Zener.....	122
5.3 EL CIRCUITO ESTABILIZADOR BÁSICO	124
5.3.1 Análisis del circuito sin carga	124
5.3.2 El circuito estabilizador con carga (R_L).....	129
5.4 EJERCICIOS DESARROLLADOS.....	139
5.4.1 Ejercicio 1	139
5.4.2 Ejercicio 2	141
5.4.3 Ejercicio 3: Aplicación del Zener como conformador de ondas.....	142
5.4.4 Ejercicio 4: Conformador de ondas simétrico	144
5.4.5 Ejercicio 5: Reducción del factor de rizado	145
5.5 EJERCICIOS PROPUESTOS	147
5.5.1 Ejercicio 1	147
5.5.2 Ejercicio 2	147
5.5.3 Ejercicio 3	148
5.5.4 Ejercicio 4	148
5.6 ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE LABORATORIO	149
5.6.1 Experimentación y medidas de un diodo Zener.....	149

Capítulo 6

INTRODUCCIÓN GENERAL A LOS TRANSISTORES.....	151
6.1 INTRODUCCIÓN	151
6.1.1 Función que realiza el transistor	152
6.2 AMPLIFICACIÓN	153
6.3 TRANSISTORES Y CIRCUITOS INTEGRADOS	155
6.3.1 El circuito integrado	155

6.4 DIFERENTES TIPOS DE TRANSISTORES: PRINCIPIOS BÁSICOS CONCEPTUALES ..	156
6.4.1 El transistor bipolar (BJT)	157
6.4.2 Transistores de efecto de campo (FET)	158
6.4.3 Transistores MOSFET	159
6.4.4 Transistor IGBT	161
6.4.5 Transistor UJT	161
6.5 EJERCICIOS PROPUESTOS.....	163

Capítulo 7

EL TRANSISTOR BIPOLAR: PRINCIPIOS BÁSICOS Y APLICACIONES	165
7.1 INTRODUCCIÓN	165
7.2 CONSTITUCIÓN FÍSICA Y FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR BIPOLAR.....	166
7.2.1 El transistor NPN.....	166
7.2.2 Funcionamiento resumido y práctico del transistor.....	167
7.2.3 El transistor PNP	169
7.3 EJEMPLO DE APLICACIONES DEL TRANSISTOR	170
7.3.1 Amplificador de sonido	170
7.3.2 Equipos de radio y TV.....	171
7.3.3 Control industrial.....	172
7.4 COMPROBACIONES DEL TRANSISTOR CON EL POLÍMETRO.....	174
7.4.1 Comprobación de las uniones C-B y B-E.....	176
7.4.2 Verificación entre colector y emisor (C-E).....	177
7.5 ACTIVIDAD PRÁCTICA.....	178
7.6 EJERCICIOS PROPUESTOS	180

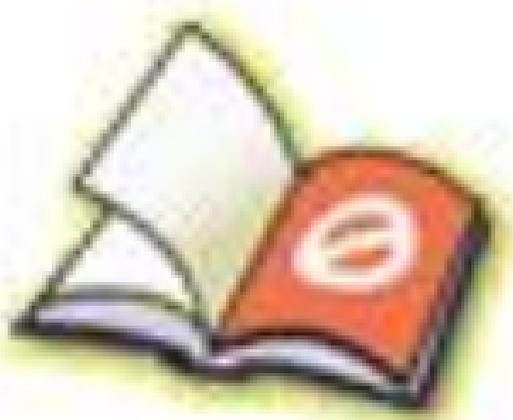
Capítulo 8

EL TRANSISTOR BIPOLAR EN LA PRÁCTICA. CIRCUITOS BÁSICOS DE APLICACIONES ...	181
8.1 INTRODUCCIÓN	181
8.2 POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR	182
8.3 EL CIRCUITO FUNDAMENTAL: MONTAJE EN EMISOR COMÚN	182
8.4 FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL TRANSISTOR (β)	184
8.5 PRINCIPIO DE UN CIRCUITO AMPLIFICADOR PRÁCTICO	185
8.6 INTENSIDADES Y TENSIONES EN EL TRANSISTOR	187
8.7 EL TRANSISTOR POLARIZADO. EFECTO DE AMPLIFICACIÓN	187
8.8 POLARIZACIÓN ACTIVA. AMPLIFICACIÓN LINEAL.....	189
8.9 EL TRANSISTOR OPERANDO EN CONMUTACIÓN	190

8.9.1 Estado de corte	191
8.9.2 Estado de saturación.....	192
8.10 CIRCUITOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TRANSISTOR	193
8.10.1 Control de encendido de un LED.....	193
8.10.2 Control de un relé para activar una carga en alterna	196
8.10.3 Circuito amplificador para emitir señales acústicas	200
8.11 EL TRANSISTOR EN AMPLIFICACIÓN LINEAL	203
8.11.1 Estudio de un circuito amplificador elemental	203
8.12 EJERCICIO PROPUESTO	211
8.13 ACTIVIDAD PRÁCTICA	212
8.14 EJERCICIOS PROPUESTOS	214



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

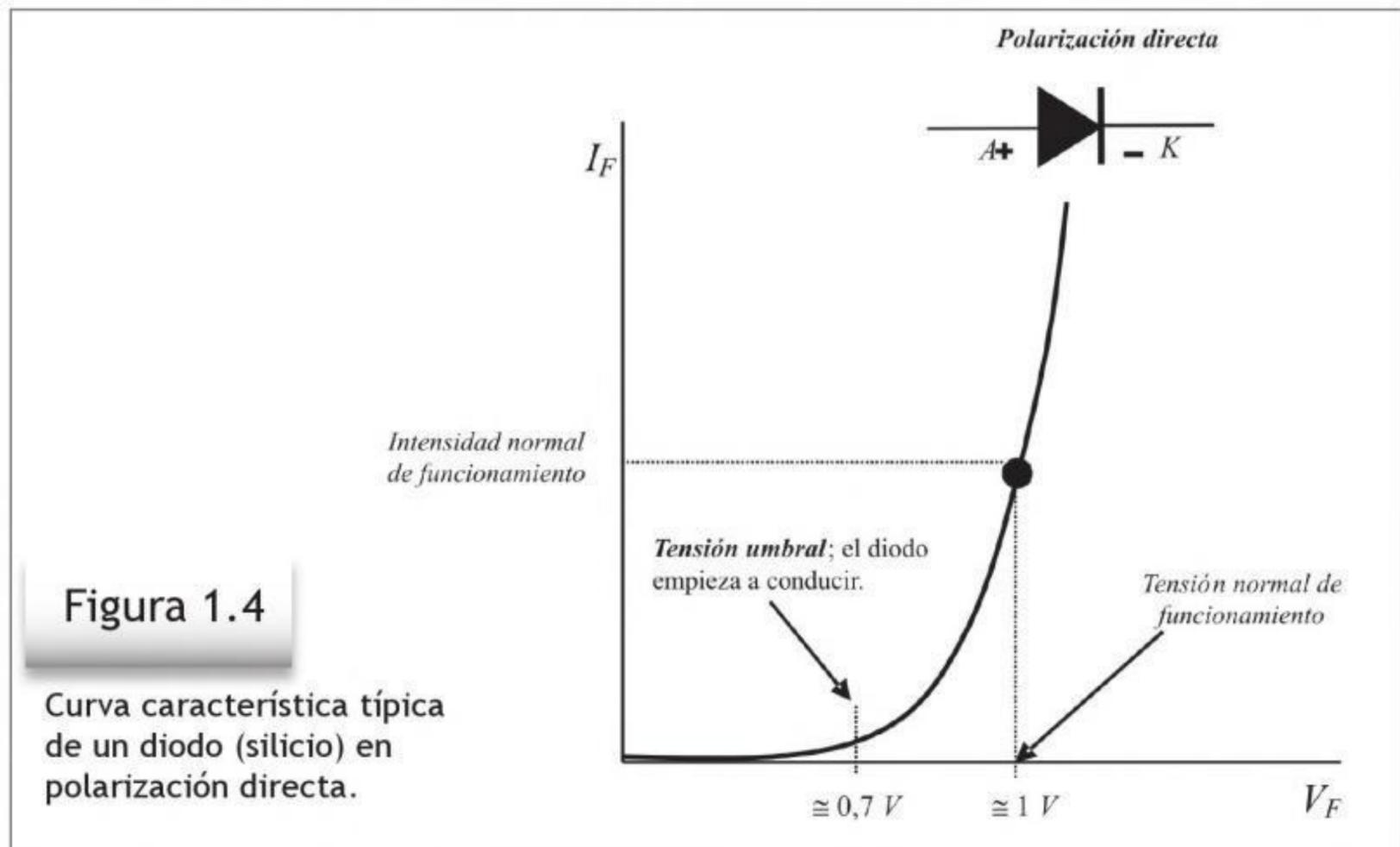


You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



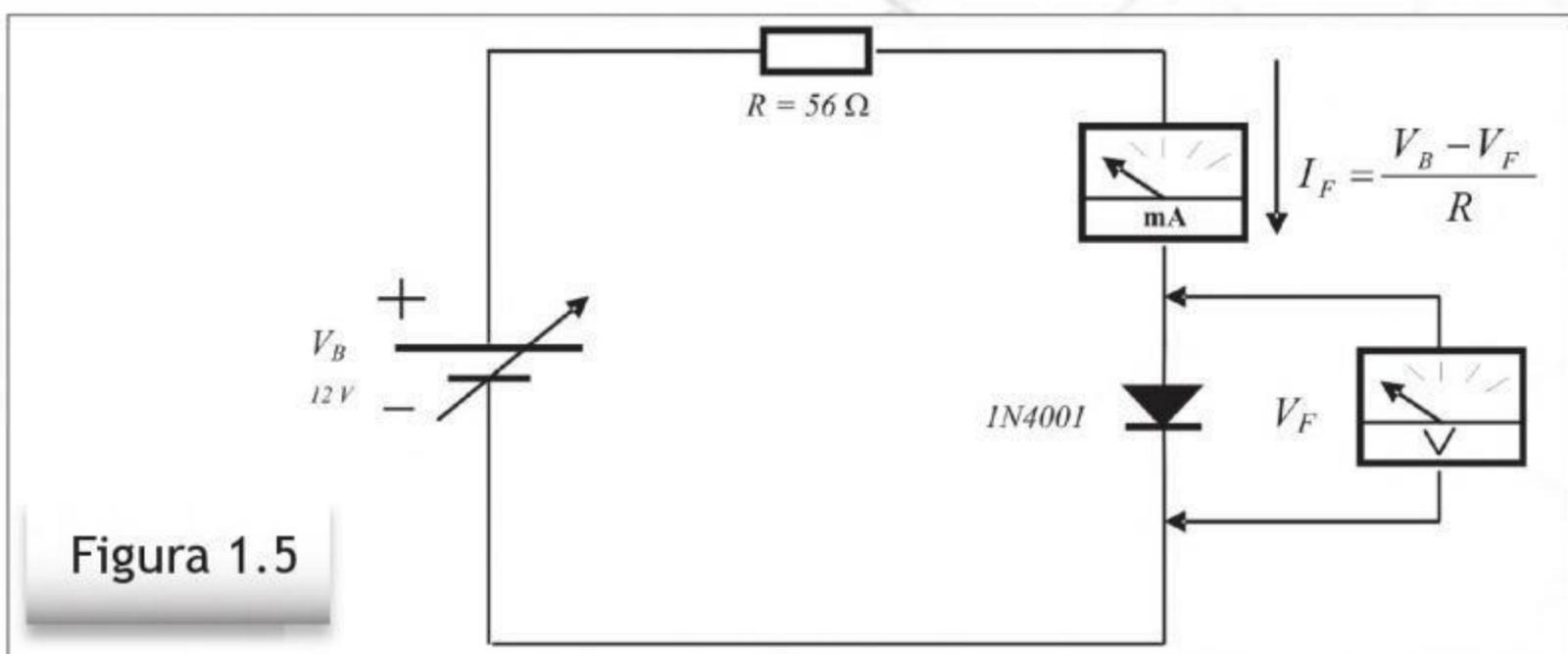
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

figura 1.4 (diodo de silicio). El circuito práctico con el cual es posible experimentarla se muestra en la figura 1.5.

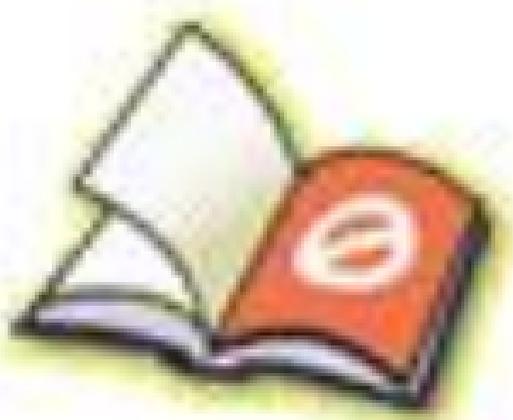


Hasta que la tensión no llega a unos 0,6 o 0,7 V (tensión umbral) no se empieza a apreciar una circulación de intensidad notable. A partir de dicha tensión la intensidad aumenta en forma brusca; pequeños aumentos de tensión dan lugar a grandes aumentos de intensidad. Para el valor nominal de intensidad de funcionamiento la tensión (caída directa) es de aproximadamente 1 V, en diodos rectificadores de mediana potencia (por ejemplo, el 1N4007).

El diodo no ofrece pues un valor fijo de resistencia al paso de la corriente; su resistividad depende de la tensión que tenga aplicada. Entre 0 V y unos 0,7 V (tensión umbral), su resistividad es muy elevada (por ello no se aprecia casi circulación de corriente); a partir de la tensión umbral su resistencia empieza a hacerse muy baja y por ello la intensidad aumenta bruscamente.



Ejemplo de circuito que permite hacer la experimentación de la polarización directa.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

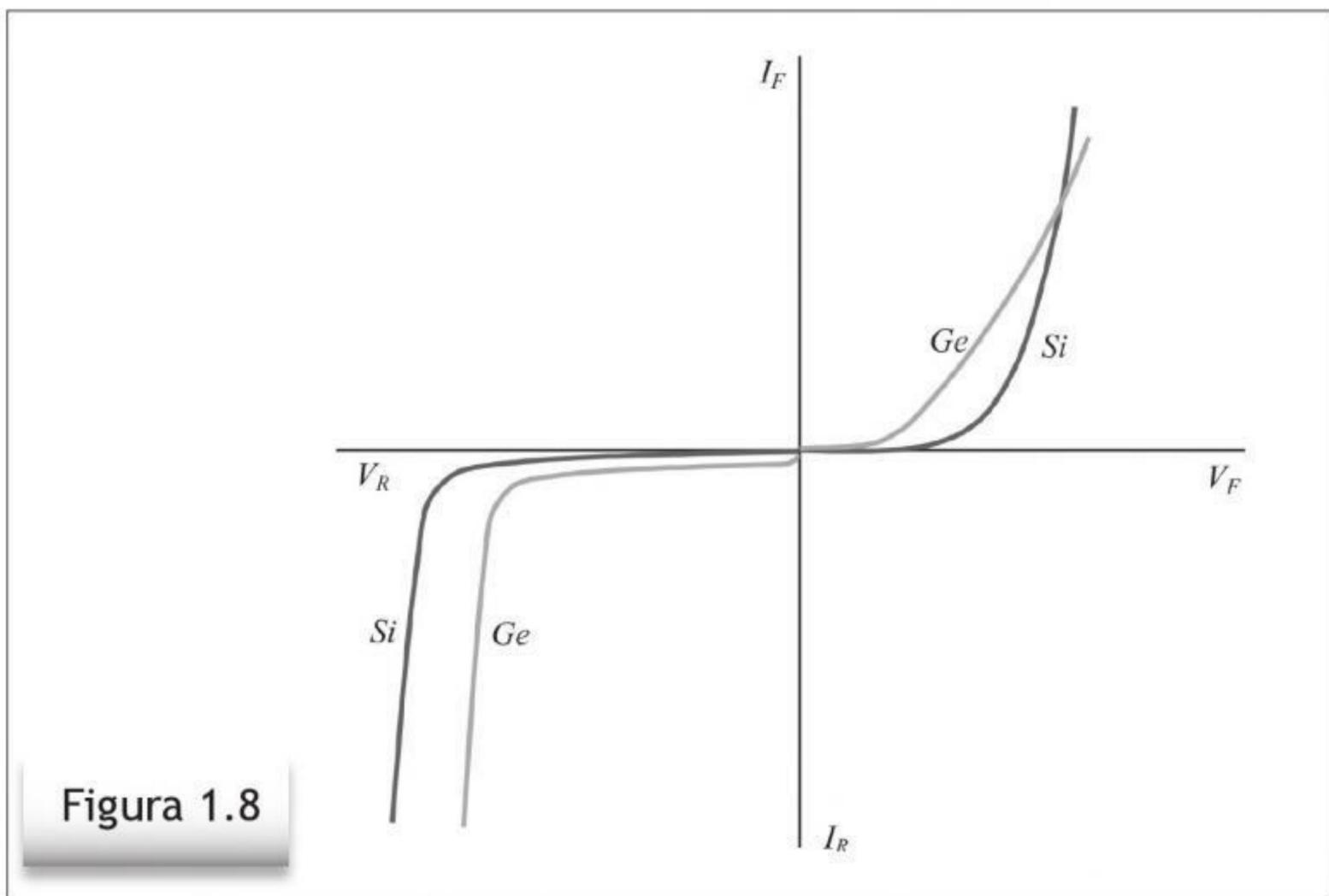


Figura 1.8 Representación comparativa de las curvas características de un diodo de germanio (Ge) y otro de silicio (Si).

1.4 Comprobación del diodo con el polímetro (*tester*)

1.4.1 Polímetro analógico

En la escala $\Omega \times 1$, situando la punta positiva en el ánodo y la negativa en el cátodo, debe observarse un valor de resistencia muy bajo (fig. 1.9). Y al intercambiar los terminales del diodo, tiene que marcar un valor de resistencia muy alto ($> 1 \text{ M}\Omega$).

Ejemplo: Con un diodo 1N4007 en polarización directa, en la escala $\Omega \times 1$ se ha medido un valor de 7Ω ; utilizando otro tester a la vez para medir la intensidad, se ha comprobado que la intensidad que circulaba por el diodo era de unos 140 mA . Y en la escala $\Omega \times 100$ se ha medido una resistencia de 50Ω , siendo la intensidad de unos $1,5 \text{ mA}$. Así, con la intensidad de 140 mA la resistencia es más baja que con $1,5 \text{ mA}$; vemos que, a menor intensidad, mayor resistencia.

Con otro diodo, el 1N4148, que es de pequeña potencia, en la escala $\Omega \times 1$ se han medido 10Ω y en la escala $\Omega \times 100$ unos 50Ω .

En polarización inversa, invirtiendo los terminales del diodo (o las puntas del tester), y en la escala $\Omega \times 1000$ no se ha detectado casi movimiento de la aguja, lo cual indica una resistencia mayor que $1 \text{ M}\Omega$.

Una observación importante es que en los polímetros analógicos, los de aguja, por lo general, cuando se pone en Ω , por la punta de color negro aparece el polo positivo (+) y por la roja al negativo (-), lo cual se muestra en la figura 1.9.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Ejemplo: En polarización directa (R_F)

Si para $V_F = 0,8$ V la intensidad que circula es de 1 A, la resistencia es:

$$R_F = \frac{V}{I} = \frac{0,8}{1} = 0,8 \Omega$$

Y si $V_F = 0,7$ V e $I = 0,1$ A \Rightarrow $R_F = \frac{V}{I} = \frac{0,7}{0,1} = 7 \Omega$

En cualquier caso, la resistencia en polarización directa siempre es muy baja (idealmente debería ser cero).

En polarización inversa (R_R)

Si la tensión aplicada es 20 V y la intensidad (que idealmente debería ser cero) es de $0,01$ mA = 10μ A, la resistencia que representa el diodo es:

$$R_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{20}{0,00001} = 2.000.000 \Omega$$

Y para un valor de tensión de 75 V, si la intensidad es $0,000005$ A = 5μ A:

$$R_R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{75}{0,000005} = 15.000.000 \Omega$$

En polarización inversa siempre será un valor muy alto, que idealmente debería ser infinito.

1.5.2 Resistencia dinámica

Es la resistencia que presenta el diodo cuando se polariza en forma directa (conducción) dentro de una zona de funcionamiento de su curva característica que consideramos lineal; en dicha zona el valor resistivo es constante, y el diodo se puede considerar como una resistencia.

La resistencia dinámica también se conoce como *resistencia en ca*.

En la figura 1.11 se muestra la curva del diodo 1N4007 en polarización directa.



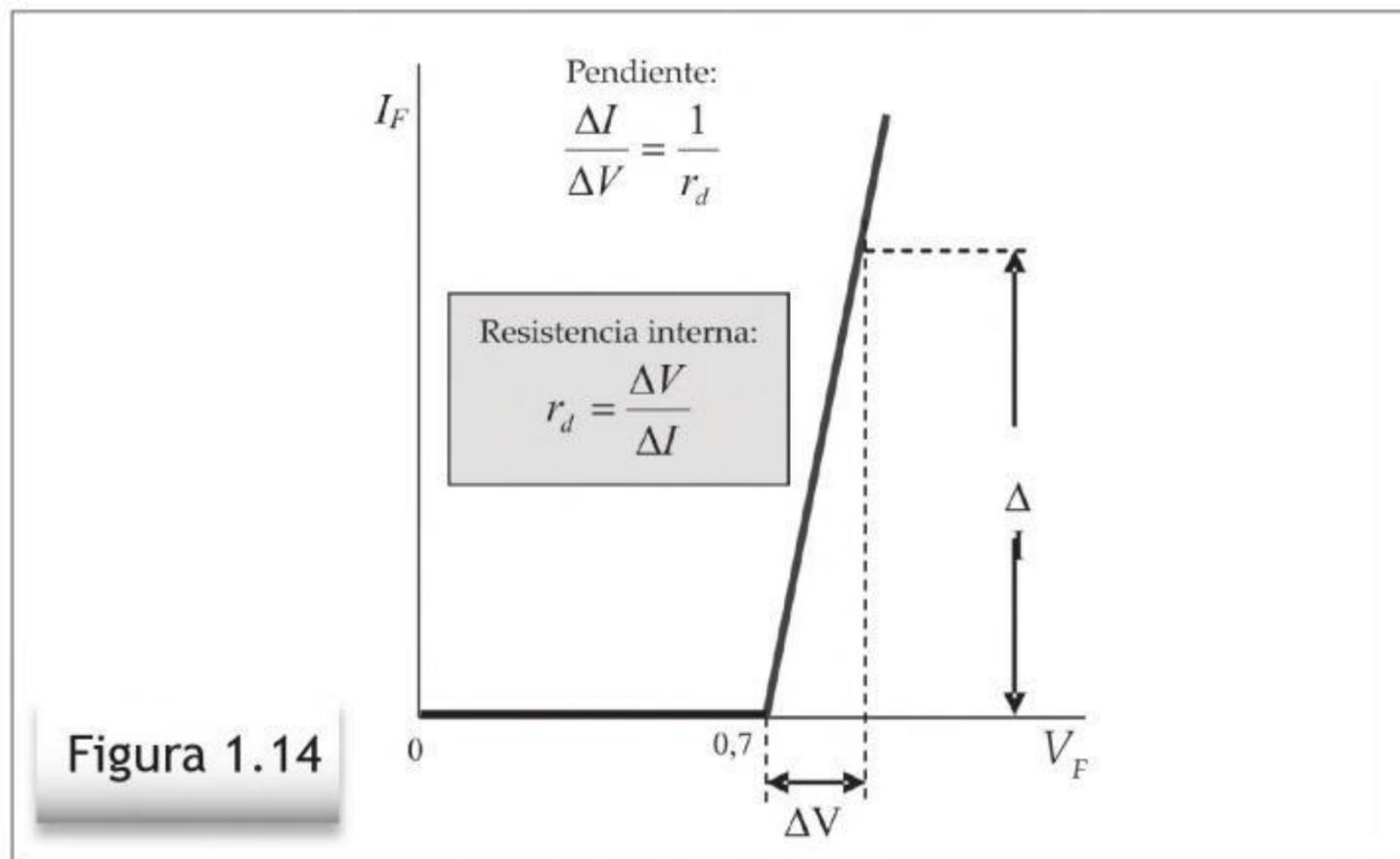
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



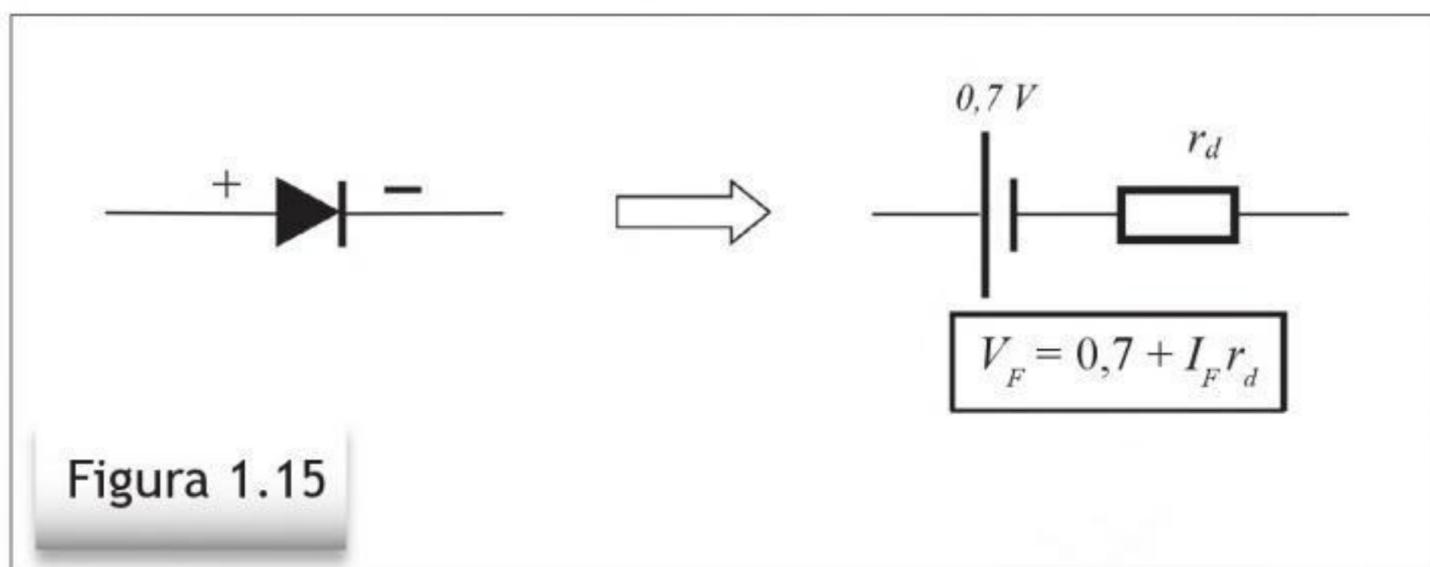
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



Curva característica del diodo, a efectos prácticos.



Circuito equivalente del diodo considerando la resistencia dinámica.

Ejemplo: Supongamos un diodo con una resistencia dinámica de $0,25 \Omega$. Si la intensidad que circula es de $1 A$, la caída directa será de:

$$V_F = 0,7 + r_d I_F = 0,7 + 0,25 \times 1 = 0,95 V$$

También se podría deducir que al aplicarle una tensión de $0,95 V$ la intensidad que circularía sería de:

$$I_F = \frac{V_F - 0,7}{r_d} = \frac{0,95 - 0,7}{0,25} = 1 A$$

En la práctica, como la resistencia dinámica es de muy bajo valor, en muchos casos se suele despreciar. Incluso si no se trabaja con tensiones bajas, hasta puede despreciarse la caída directa.



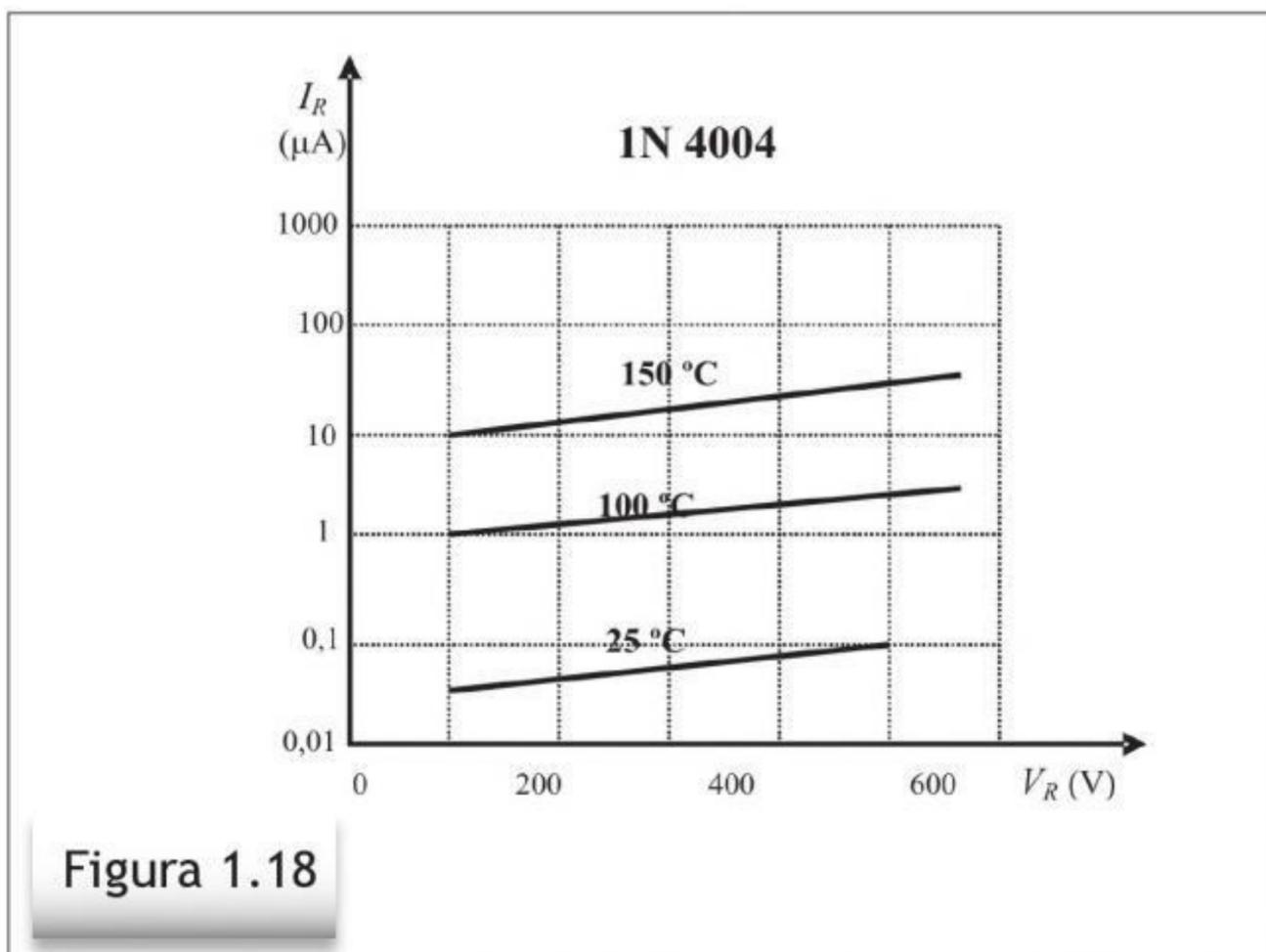
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



Efecto de la temperatura en la corriente inversa de diodo.

La corriente inversa (I_R) también se ve afectada por la temperatura; aproximadamente, se dobla su valor por cada aumento de 10°C . En cambio, dicha corriente casi no varía con la tensión. En la figura 1.18 se muestra un gráfico que representa la variación de la corriente inversa (I_R) en función de la tensión inversa, a tres temperaturas diferentes. El efecto es significativo con la temperatura, pero no con la tensión.

1.7 CARACTERÍSTICAS PRÁCTICAS DE LOS DIODOS RECTIFICADORES

Como todos los componentes, en el diodo existen una serie de características que se deben conocer para poder trabajar de una manera más segura y eficaz tanto a nivel de diseño como de reparación. Si, por ejemplo, en un aparato se encuentra un diodo averiado y se sustituye por otro de apariencia similar pero cuyas características V_R (tensión inversa) e intensidad (I_F) son inferiores, éste también corre riesgo de averiarse. Conocer las características nos puede ocasionalmente solucionar ciertos problemas puntuales como, por ejemplo, sustituir un diodo de una cierta potencia por varios diodos de menor potencia.

Los fabricantes proporcionan una serie de datos según normas establecidas por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), que nos dan información sobre los valores típicos de funcionamiento y de los máximos (que no se deben sobrepasar).

Las características eléctricas más importantes que se deben conocer de cara a la práctica son las siguientes:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

de ruptura) el diodo empieza a conducir y entonces se puede deteriorar rápidamente por exceso de potencia, que producirá un calentamiento. En este caso, aunque la intensidad sea baja, la potencia puede ser elevada porque la tensión puede ser alta. Existen unos diodos especiales, llamados *Zener*, que están ya fabricados para trabajar en polarización inversa, pero se debe procurar siempre no sobrepasar ciertos valores de intensidad para que la potencia no supere el valor indicado por el fabricante.

Los diodos *Zener* tienen como aplicación principal la estabilización de tensiones, y por ello se encuentran en la mayoría de los circuitos de alimentación.

1.9 EJEMPLO EXPLICADO DE DATOS PRÁCTICOS DE DIODOS

1.9.1 Diodo 1N4001

Este es un diodo de la popular serie 1N00X, muy utilizados en circuitos rectificadores, que se diferencian en la tensión (inversa) máxima que pueden soportar. Estos son algunos datos proporcionados por uno de sus fabricantes (Motorola) para el 1N4001.

Sobre la intensidad

Intensidad directa (I_F)

$I_{F(AV)} = 1$ A. Esto indica que puede soportar una intensidad máxima directa de 1 A, en continua o rectificada. También se puede expresar por I_O .

Intensidad inversa (I_R)

Su valor típico es de $0,05 \mu\text{A}$ para $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, y puede llegar a un valor máximo de $10 \mu\text{A}$.

Sobre la tensión

Tensión directa (V_F)

Para una intensidad continua de 1 A ($I_F = 1$ A), a la temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, el valor típico es $V_F = 0,93$ V, y puede llegar a un valor máximo de 1,1 V. Su valor medio en una rectificación de media onda, da un valor de unos 0,8 V ($V_{F(AV)} = 0,8$ V).

Tensión inversa (V_R)

$$V_R = 50 \text{ V}$$

$$V_{RRM} = 50 \text{ V}$$

$$V_{RWM} = 50 \text{ V}$$

Lo cual indica claramente que es un diodo para trabajar con una tensión (inversa) máxima de 50 V.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

1.11 ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE LABORATORIO

1.11.1 Obtención de la curva característica del diodo en polarización directa

En el siguiente ejercicio se propone el montaje práctico para la experimentación de la curva característica de un diodo en polarización directa.

El circuito a realizar y la forma de representar gráficamente los datos se muestran en la figura 1.24.

Se trata de medir valores de tensión y de intensidad. Por medio de la fuente de tensión variable (V_B), partiendo de 0 V, se va aumentando la tensión a intervalos de 0,1 V y anotando los valores de intensidad correspondientes a cada valor de tensión. Se obtendrá así una tabla de valores que después se puede representar en forma gráfica (según el modelo que se muestra).

La intensidad a través del circuito, la que circulará por el diodo cuando se encuentre dentro de la zona normal de conducción (a partir de unos 0,7 V), vendrá dada (sin tener en cuenta la resistencia dinámica del diodo) por:

$$I_F = \frac{V_B - V_F}{R}$$

Es decir, para unos 0,8 V, que será aproximadamente la tensión máxima de caída directa que se alcanzará en este circuito, la intensidad será de:

$$I_F = \frac{V_B - V_F}{R} = \frac{12 - 0,8}{56} = 0,2 \text{ A} = 200 \text{ mA}$$

Este es un valor de referencia sobre la magnitud de la intensidad máxima que circulará por el circuito. Y la potencia máxima que disipará el diodo será entonces:

$$P_{D(\text{máx})} = I_F V_F = 0,2 \times 0,8 = 0,16 \text{ W}$$

Y en la resistencia, la potencia disipada será:

$$P_{R(\text{máx})} = I_{\text{máx}} V_{R(\text{máx})} = 0,2 \times 11,2 = 2,24 \text{ W}$$

La suma de estas dos potencias será la potencia máxima entregada por la fuente de tensión, V_B :

$$P_{VB(\text{máx})} = P_{D(\text{máx})} + P_{R(\text{máx})} = 0,16 + 2,24 = 2,4 \text{ W}$$

Que también se puede hallar por:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

CAPÍTULO 2

COMPONENTES OPTOELECTRÓNICOS BÁSICOS I: DIODOS EMISORES DE LUZ (LED) Y *DISPLAYS*

2.1 INTRODUCCIÓN

Los componentes optoelectrónicos son todos aquellos en los que su funcionamiento o aplicación se basan en algún efecto relacionado con la luz.

Básicamente, existen dos tipos:

1. Emisores de luz. Mediante la aplicación de una pequeña corriente producen emisión de luz. Ejemplos de estos son los diodos LED y los *displays*.
2. Sensores de luz. Mediante la incidencia de luz en el componente se puede hacer circular una cierta corriente, con la cual se puede ejercer algún tipo de control. Un ejemplo son los fotodiodos o fototransistores, mediante los cuales se pueden activar aparatos a distancia (por ejemplo, la TV, el DVD, etc.) También están las células fotovoltaicas, que generan voltaje mediante la luz solar.



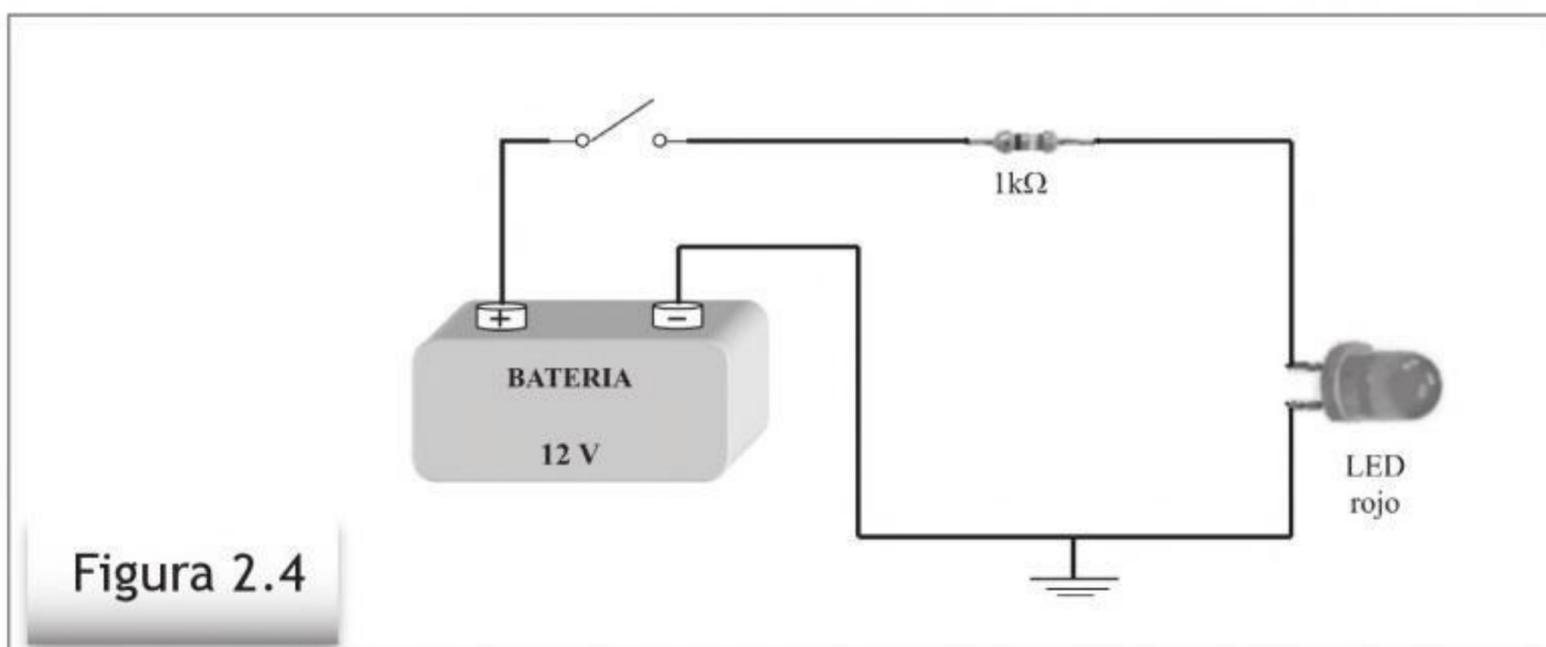
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



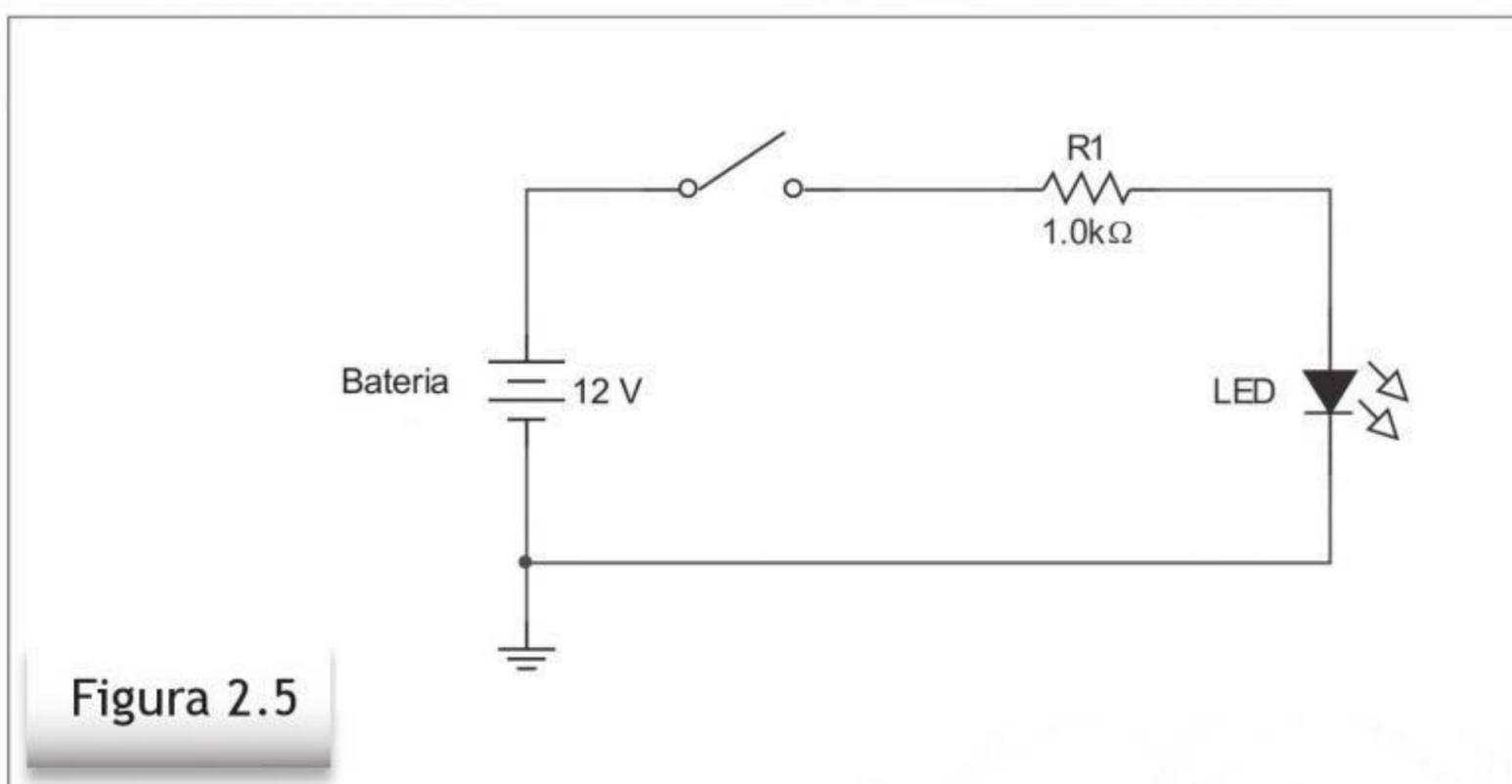
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



Representación práctica de una aplicación del LED. Se trata de una aplicación en un coche, por lo que se alimenta con los 12 V de la batería. Este montaje puede servir, en su forma más sencilla, como simulador de alarma. En cualquier montaje, siempre se requiere una resistencia en serie con el LED para que éste reciba la tensión e intensidad adecuadas.



Aplicación básica del diodo LED, para simular mediante *Multisim*.

Cuando se aparque el coche, al activar el interruptor se encenderá el LED y esto dará la señal luminosa típica que se encuentra en los coches (la alarma puede existir o no; en muchos casos simplemente está el LED).

En la figura 2.6 se muestran los resultados de funcionamiento mediante el programa *Multisim*; aparece una tensión de 1,95 V en el LED para una intensidad de 0,01 A.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

El valor medio del pico positivo, que es, aproximadamente, la tensión media equivalente a la que se va a alimentar el LED, es:

$$V_{medio} = \frac{V_P}{\pi} = \frac{311}{\pi} \cong 98,9 \text{ V}$$

Si se eliminara el pico negativo de la alterna y sólo se tuvieran los picos positivos (esto sería una rectificación en media onda), un voltímetro marcaría una tensión continua de unos 98,9 V. Pues esta es la tensión aproximada con que se va a alimentar el LED, ya que el pico negativo es eliminado mediante el diodo 1N4004 que está en paralelo con el LED; cuando aparezca el pico negativo, el LED recibirá una tensión inversa de sólo un 1 V (o menos), es decir, la caída directa del diodo 1N4004.

Así, según estos datos, el valor de la resistencia limitadora es:

$$R = \frac{V_{medio} - V_{LED}}{I} = \frac{98,9 - 2}{0,01} = 9700 \Omega$$

Que se tomaría del valor estándar de 10 k. Pero al ser la tensión bastante considerable, se debe tener muy en cuenta la potencia que deberá disipar dicha resistencia. Suponiendo una intensidad continua de 0,01 A, la potencia a disipar es:

$$P = I^2 R \cong (0,01)^2 \times 10.000 = 1 \text{ W}$$

Pero es mejor utilizar una resistencia de algo más de potencia, por ello se aconseja la de 2 W.

2.2.6.1 Análisis y medidas con el programa *Multisim*

El circuito, además de que es muy fácil de montar, lo podemos experimentar didácticamente mediante el programa *Multisim*, como se indica en la figura 2.10.

Mediante el osciloscopio podemos ver las ondas de la red eléctrica y la de tensión en el LED. Como es obvio, el LED no recibirá una tensión continua fija; recibirá una tensión positiva, pero a impulsos; con cada ciclo positivo de la red quedará polarizado directamente y se encenderá, lo cual significa que se encenderá-apagará 50 veces por segundo.

Esto se puede observar mediante el osciloscopio, que muestra las siguientes ondas (fig. 2.11). En el canal 1 aparece la tensión alterna de la red de 220 V (unos 311 V de tensión de pico), y en el canal 2 la tensión en el LED, que es una onda cuadrada de poco más de 2 V de amplitud. El LED se enciende con el semiciclo positivo de la red y se apaga con el negativo; o sea que se enciende y se apaga a la frecuencia de la red eléctrica (50 veces por segundo).

Debido a nuestra capacidad de retención visual, el LED parecerá estar encendido en forma continua, aunque se puede llegar a percibir un cierto efecto de parpadeo. De hecho, esto también sucede con los sistemas de imagen, como la TV; las imágenes nos parecen ser fijas, pero la señal de video es una sucesión de 25 imágenes por segundo que, para reducir el parpadeo, se emite en forma de 50 campos (medias imágenes) por segundo.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

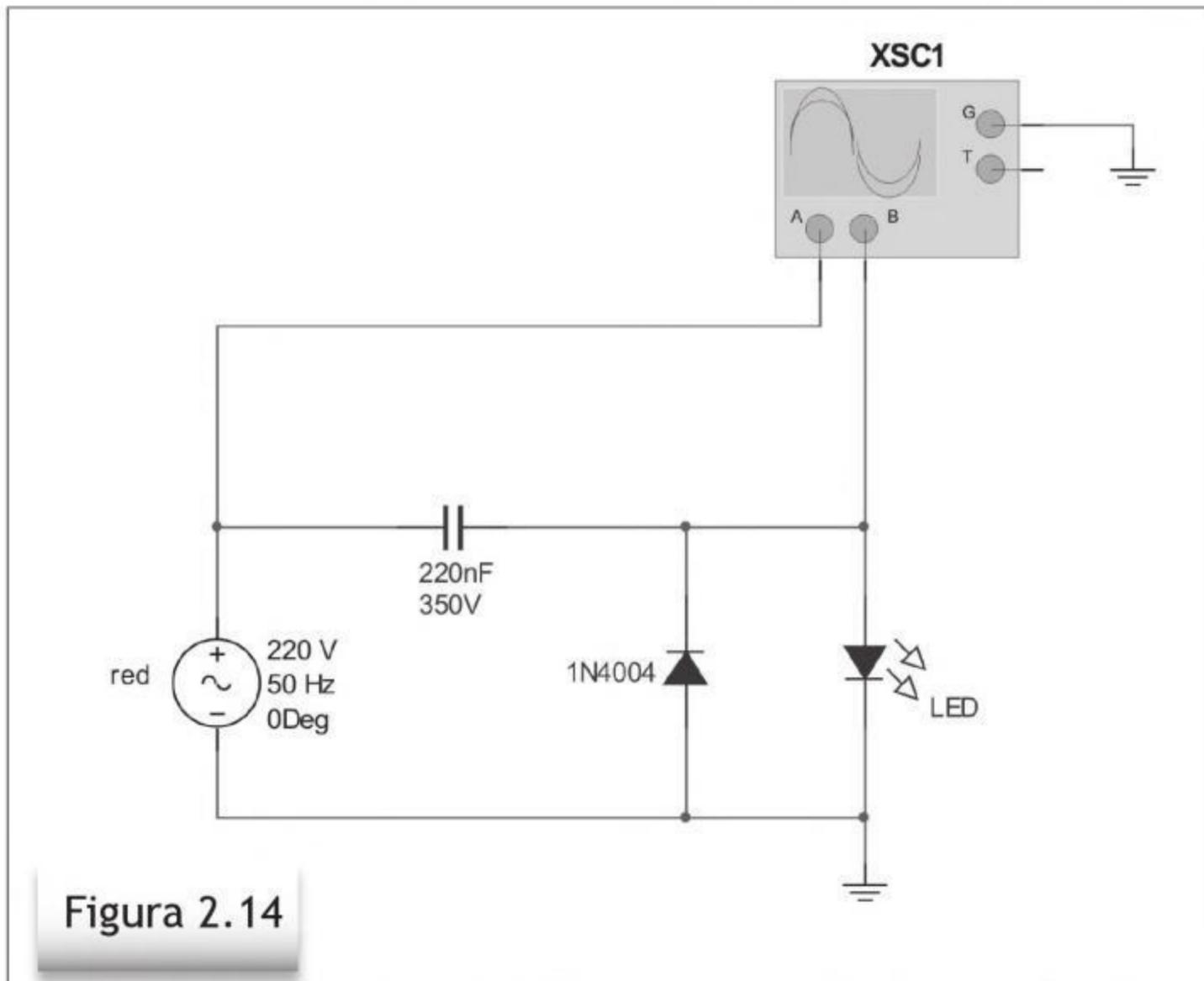


Figura 2.14

Montaje del LED encendido a través de la corriente alterna de la red eléctrica, para su experimentación y análisis con el programa *Multisim*.

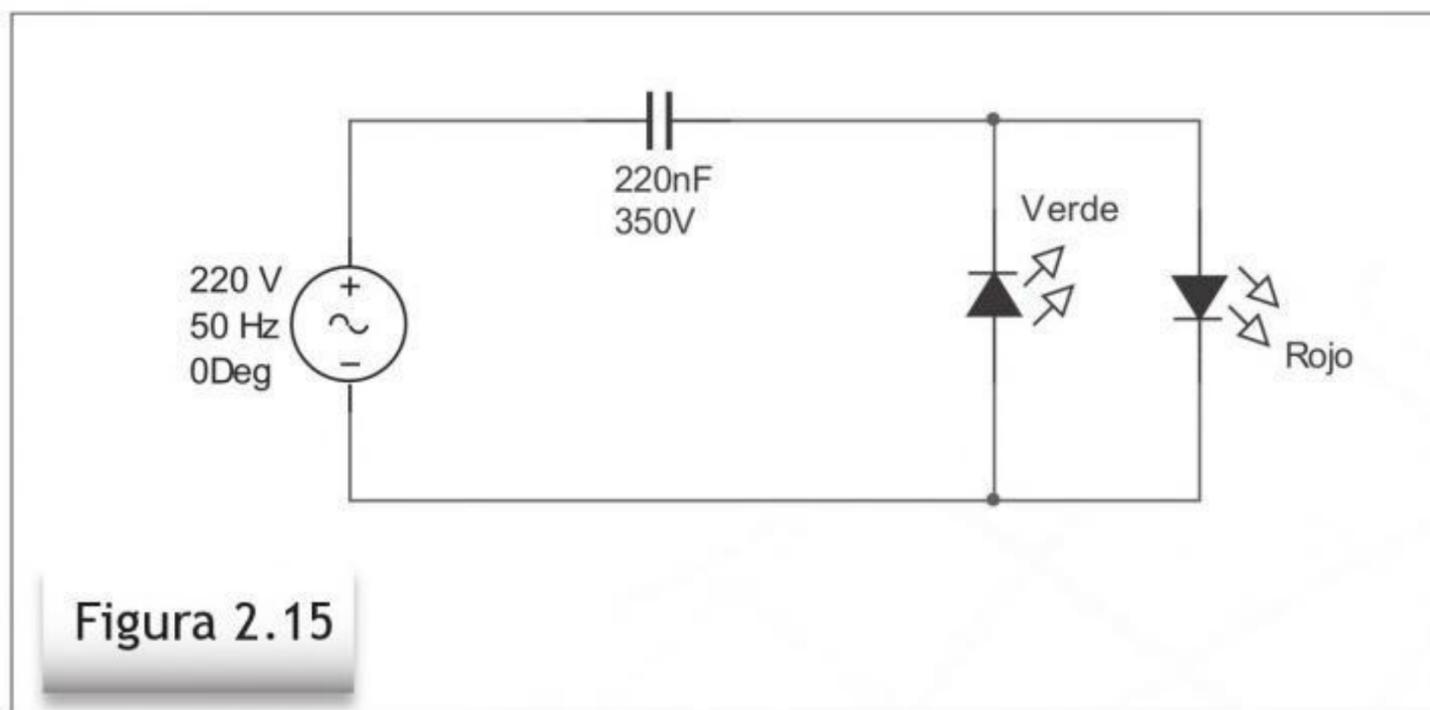


Figura 2.15

Sustitución del diodo de protección 1N4004 por otro LED; se consigue el mismo efecto de protección frente a la tensión inversa, y se encienden dos LED.

2.3 VISUALIZADORES DE 7 SEGMENTOS (*DISPLAYS*)

Mediante diodos LED se fabrican unos componentes muy importantes y ampliamente utilizados que permiten visualizar dígitos (y algunas letras), que se conocen



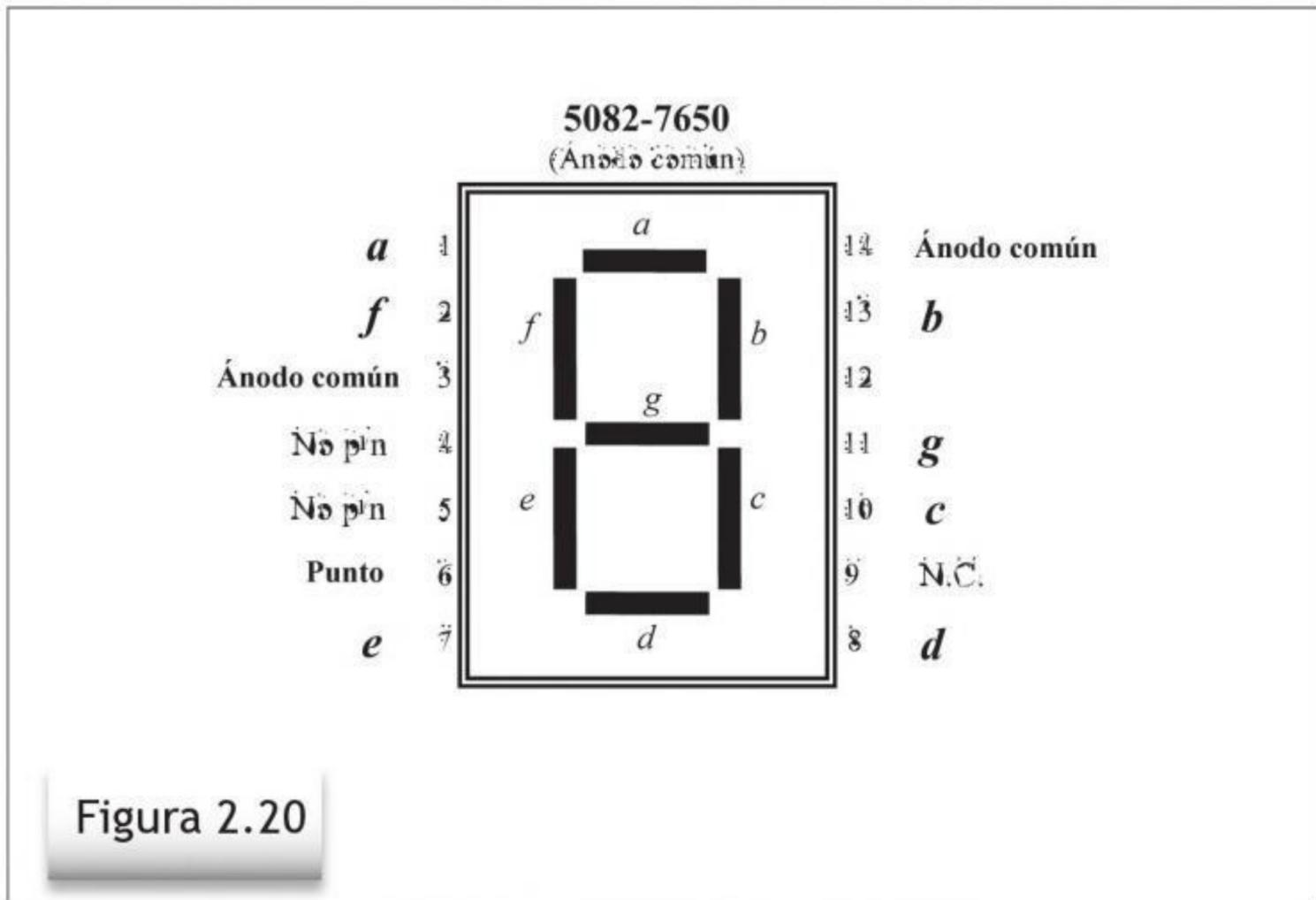
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

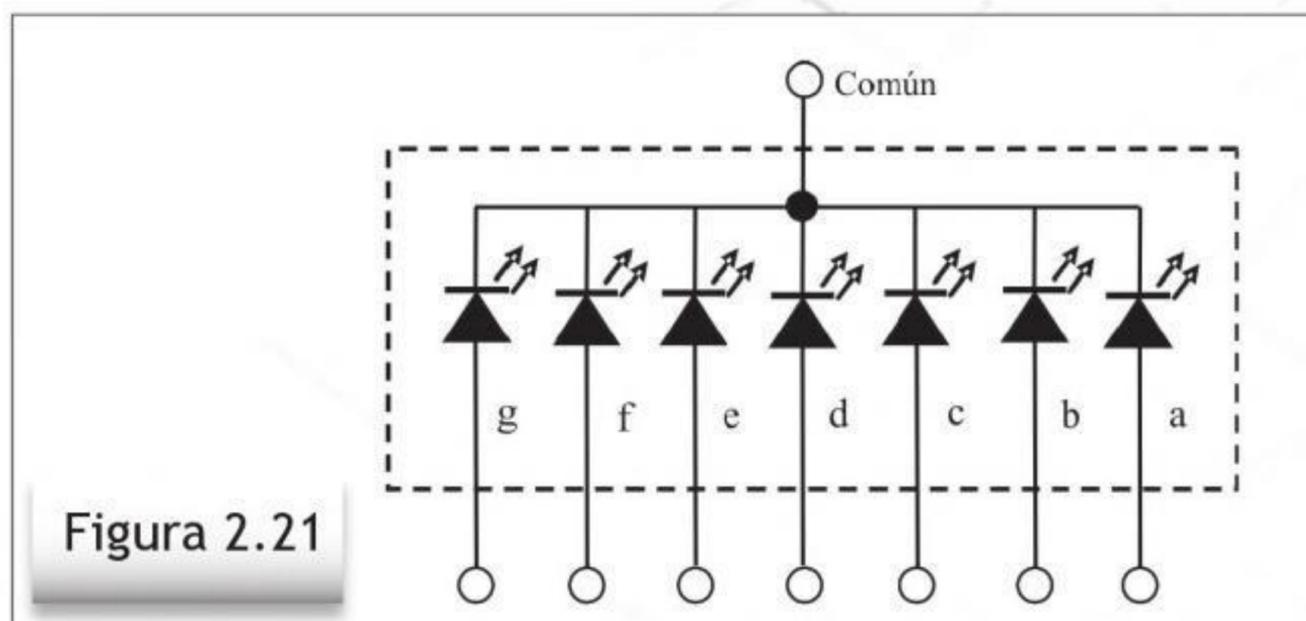


Display 5082-7650 (ánodo común), del fabricante Fairchild.

2.3.4 Display de cátodo común

Los *displays* de cátodo común se diferencian únicamente en que el terminal común se corresponde con la unión de todos los cátodos, como se representa en la figura 2.21. En este caso, el terminal común se conecta a masa (negativo) y la activación de los segmentos se realiza aplicando tensión positiva a los terminales de los segmentos.

Un *display* muy popular de cátodo común es TDSR 5160, también del fabricante Vishay Semiconductors. Es equivalente eléctricamente y en *patillaje* al modelo TDSR 5150 de ánodo común visto anteriormente. Un ejemplo de cómo sería el montaje de un *display* de cátodo común (TDSR 5160) para visualizar el dígito 7 se representa en la figura 2.22.



Circuito interno de un *display* del tipo cátodo común.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

intermitente. Y al poner en marcha el coche, automáticamente se apague el LED rojo y se encienda un LED verde.

Para realizar esto, una forma es utilizar un pequeño relé, tal como se muestra en el circuito realizado con *Multisim*. Una forma más sencilla de realizarlo se consigue utilizando un transistor, como se explica en el tomo 5 (*Los transistores y sus circuitos de aplicación*).

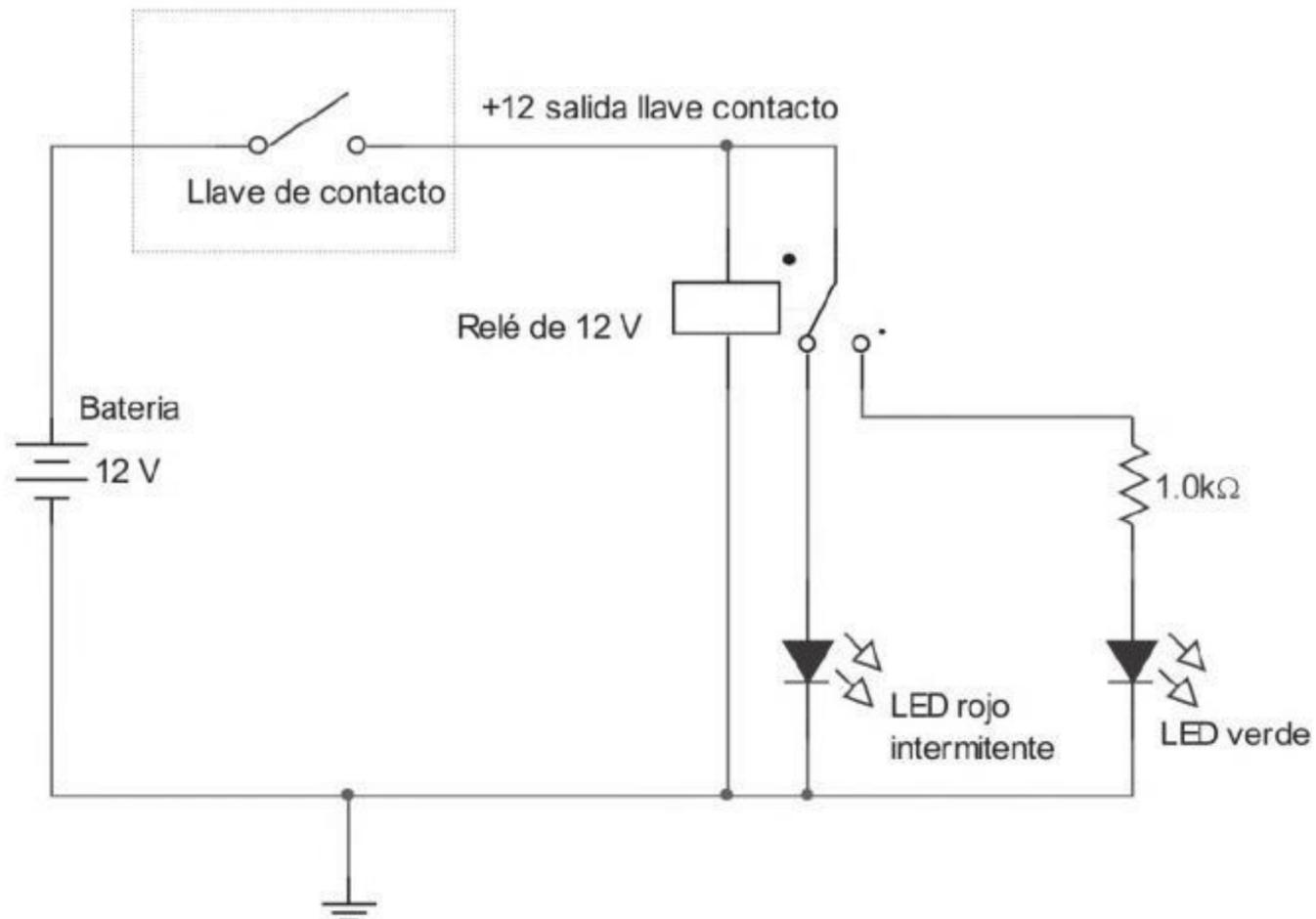


Figura 2.26

Esquema del circuito simulador de alarma para coche. El positivo (+12 V) para la activación del relé se tiene que tomar de un punto donde aparezcan los 12 V cuando se ponga en marcha el motor del coche.

Con el coche a motor parado, aparcado, el relé estará desactivado y entonces el conmutador alimentará al LED rojo intermitente. A este LED no se pone resistencia limitadora porque internamente lleva un chip que enciende el LED a impulsos y además limita la corriente de salida.

Cuando se active la llave de contacto para arrancar el coche, el relé recibe tensión, se activa, y hace que cambien de posición los contactos; eso hace que se apague el LED rojo y se encienda el verde. El valor de la resistencia del LED verde debe ser:

$$R = \frac{V_B - V_{LED}}{I} = \frac{12 - 2}{0,01} = 1000 \Omega = 1k\Omega$$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



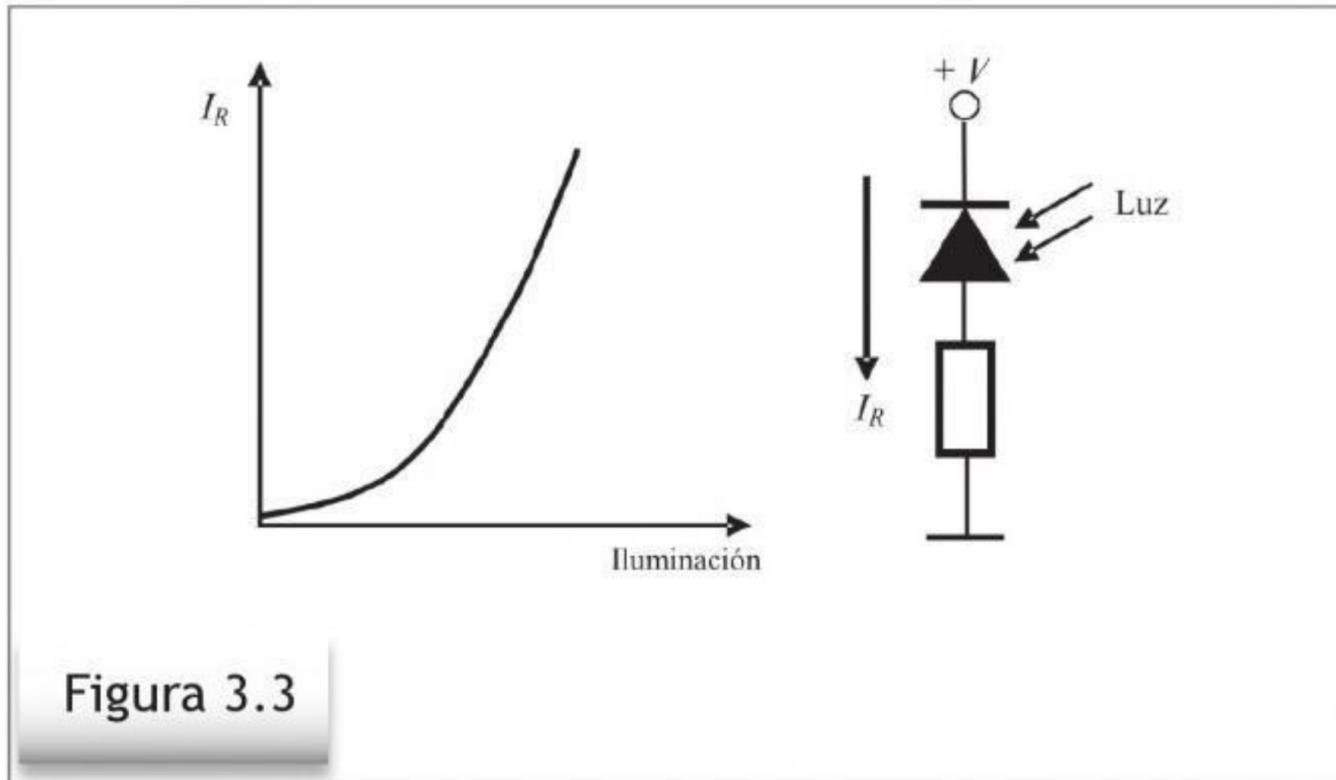
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

3.2.1 Funcionamiento y características

La curva característica de la corriente inversa en función de la iluminación se muestra en la figura 3.3. La corriente inversa (I_R) aumenta aproximadamente en forma proporcional a la intensidad luminosa recibida.



La corriente inversa del fotodiodo aumenta en función de la intensidad luminosa recibida.

Así, un fotodiodo es un tipo de fotodetector; proporciona corriente eléctrica en función de una magnitud luminosa.

En toda unión semiconductor PN, cuando recibe energía térmica (se calienta) se rompen enlaces covalentes y aparecen portadores minoritarios en los dos materiales semiconductores (N y P), lo cual hace que aumente la corriente inversa. Pues en los fotodiodos se produce esto también debido a la aportación de energía en forma de radiaciones luminosas, y están fabricados para favorecer su sensibilidad a la luz.

3.2.1.1 Magnitud de iluminación

Para expresar la magnitud de iluminación, en las hojas técnicas de los fabricantes aparece el concepto de densidad o potencia luminosa, y se expresa en mW/cm^2 . Por ejemplo, se considera que la densidad de potencia recibida del sol al nivel del mar es de unos $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$ (lo que equivale a $1 \text{ kW}/\text{m}^2$).

3.2.1.2 Longitud de onda (λ)

También se debe tener en cuenta la característica longitud de onda (λ) de la luz, que depende de la frecuencia, y determina el color de la luz.

Hay que tener presente que la luz está conformada también por ondas electromagnéticas (como las de radio), pero de una frecuencia tal que se pueden hacer visibles al ojo humano. La longitud de onda viene dada por:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Si el fotodiodo se polariza en forma directa, se comporta como un diodo normal; aparece una tensión directa de unos 0,7 V.

Si al fotodiodo no se le aplica polarización alguna, genera una pequeña tensión cuando recibe energía luminosa; es decir, se comporta como una *célula fotovoltaica*. Dicha tensión se llama *potencial fotovoltaico*, y es de unos 0,5 V.

Existen varios tipos de encapsulados de fotodiodo, aunque el que se está haciendo más popular es el del BPW43.

3.2.4 Fotodiodo BPW34

Otro fotodiodo muy utilizado, pero con otro encapsulado, es el BPW34 (figura 3.8). El terminal cátodo se distingue por una pequeña marca que lleva.

Características prácticas:

- Tensión inversa máxima: $V_{BR} = 60 \text{ V}$.
- Corriente en oscuridad (*Reverse Dark Current*): 2 nA (valor típico, para $V_R = 10 \text{ V}$).
- Corriente inversa en iluminación (*Reverse Light Current*): 50 μA (para $V_R = 5 \text{ V}$ y una potencia luminosa de 1 mW/cm², de $\lambda = 950 \text{ nm}$).

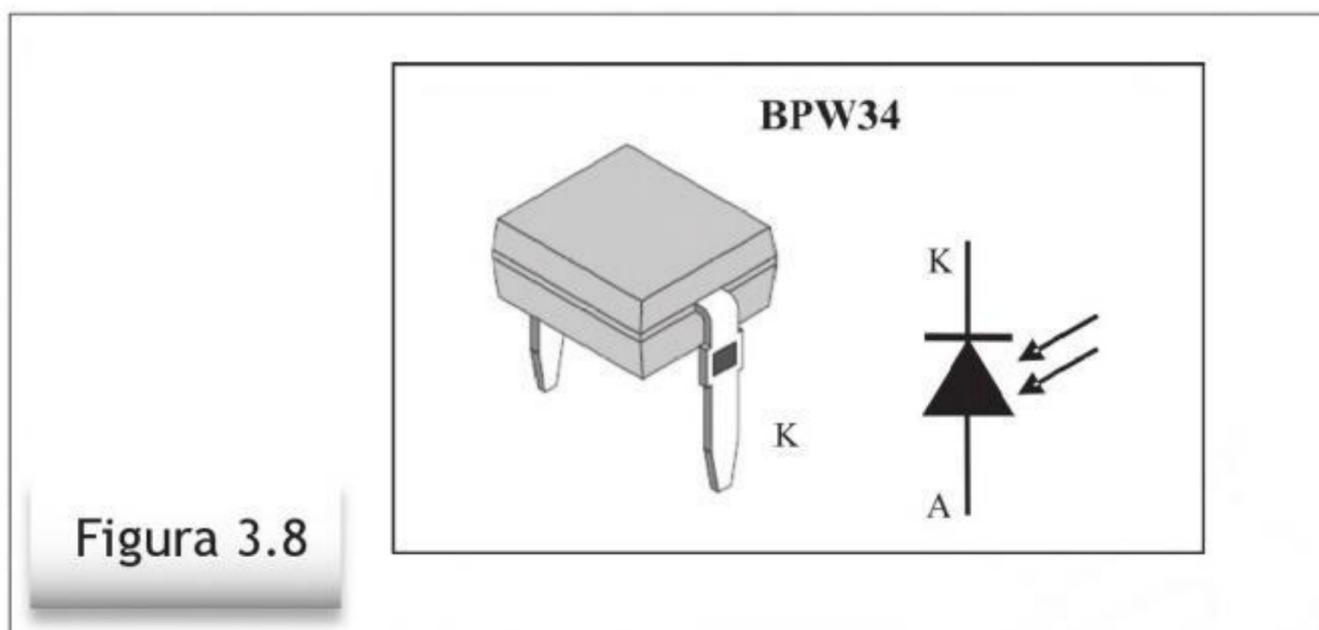


Figura 3.8 Aspecto práctico del fotodiodo BPW34.

3.2.4.1 Ejemplo de circuito práctico con el fotodiodo BPW34

Un ejemplo de montaje práctico para experimentar con el fotodiodo BPW34 se muestra en la figura 3.9. La experimentación se ha realizado en condiciones normales de iluminación del aula. Con una oscuridad relativa (tapando la incidencia de luz en el fotodiodo), la tensión de salida medida ha sido aproximadamente 0 V. Según datos del fabricante, la corriente en oscuridad es de unos 2 nA (*Reverse Dark Current* = 2 nA) para $V_R = 10 \text{ V}$. En teoría, esto nos daría una tensión en la resistencia de:

$$V_R = I_R R = 2 \cdot 10^{-9} \times 1 \cdot 10^6 = 0,002 \text{ V}$$

Que se puede considerar prácticamente 0 V.



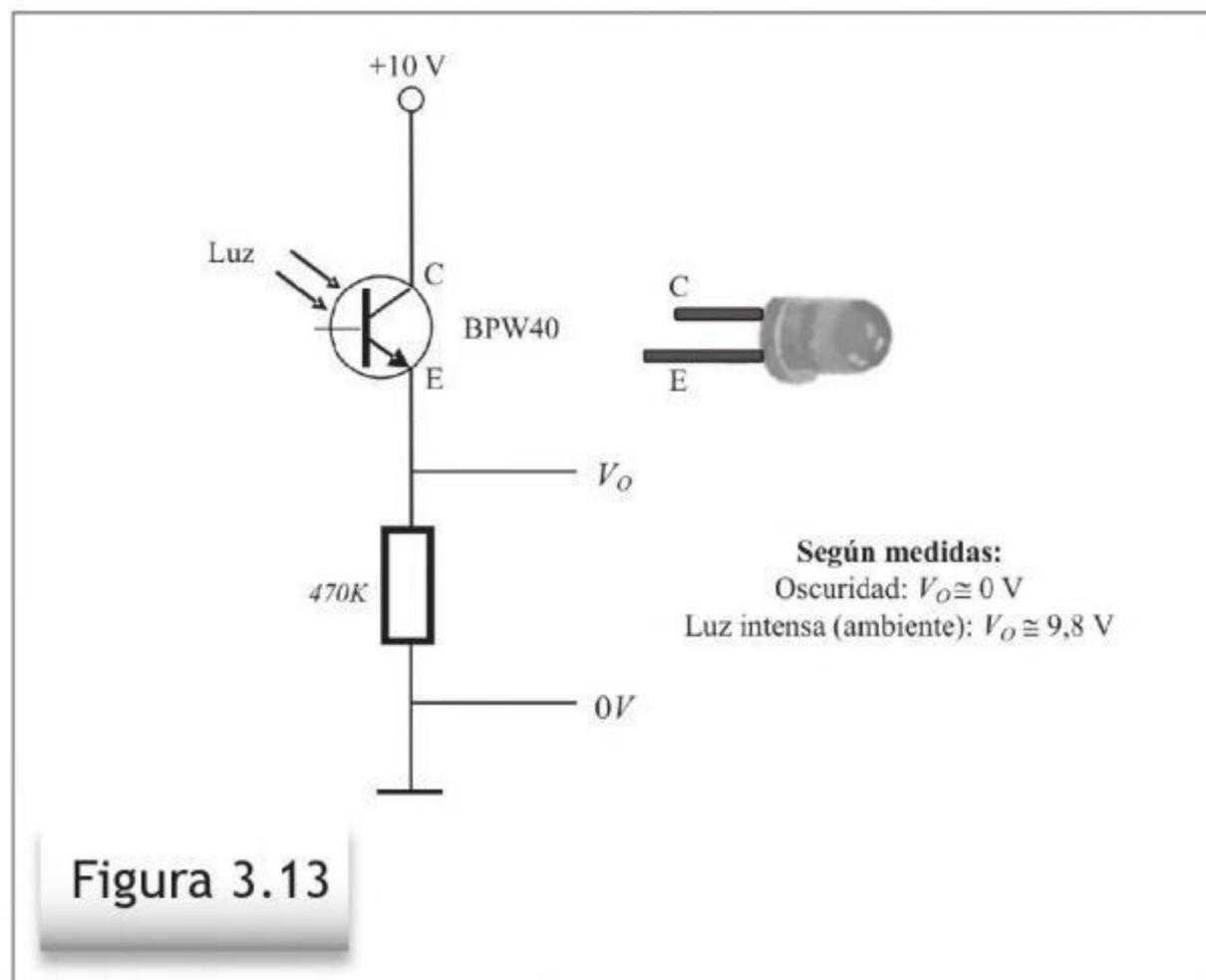
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



Aplicación del fototransistor BPW40.

En oscuridad relativa, la tensión de salida que se ha medido es aproximadamente 0 V. En teoría, considerando la corriente típica de unos 10 nA en oscuridad que indica el fabricante, la tensión en la resistencia sería:

$$V_R = I_R R = 10 \cdot 10^{-9} \times 470 \cdot 10^3 = 0,0047\text{ V}$$

Es decir, menos de 5 mV; un valor que se puede considerar prácticamente cero. Y en iluminación normal, como la tensión medida es aproximadamente 10 V, la intensidad a través del fototransistor y por la resistencia es:

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{9,8}{470.000} \cong 0,00002\text{ A} = 20 \cdot 10^{-6}\text{ A} = 20\ \mu\text{A}$$

En estas condiciones se dice que el transistor se encuentra saturado, porque ya no puede circular más intensidad aunque se le aplique mayor potencia luminosa; la corriente queda limitada por el valor de la resistencia. Entre las patillas colector y emisor (V_{CE}) la tensión es aproximadamente cero:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_R R = 10 - (20 \cdot 10^{-6} \times 470 \cdot 10^3) = 10 - 9,8 = 0,2\text{ V}$$

Para obtener mayor corriente con mayor iluminación, se tendría que aumentar la tensión de alimentación o disminuir el valor de la resistencia.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

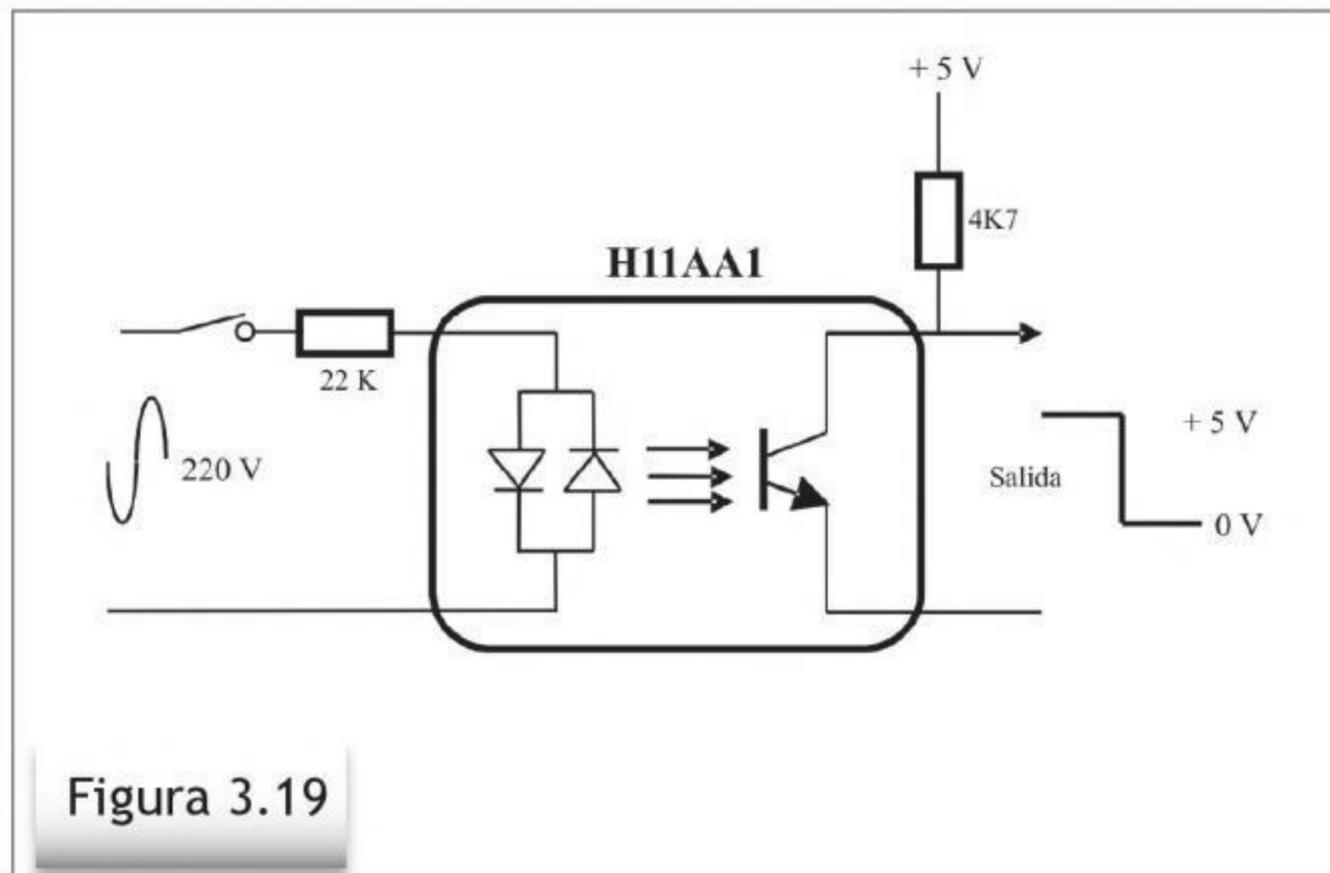


Figura 3.19

Control de un optoacoplador mediante la red eléctrica (220 V).

3.5 ACTIVIDAD EXPERIMENTAL MEDIANTE *MULTISIM*

Un ejemplo de aplicación práctica (didáctica) de un optoacoplador se muestra en la figura 3.20. El circuito está previsto para ser simulado mediante el programa *Multisim*.

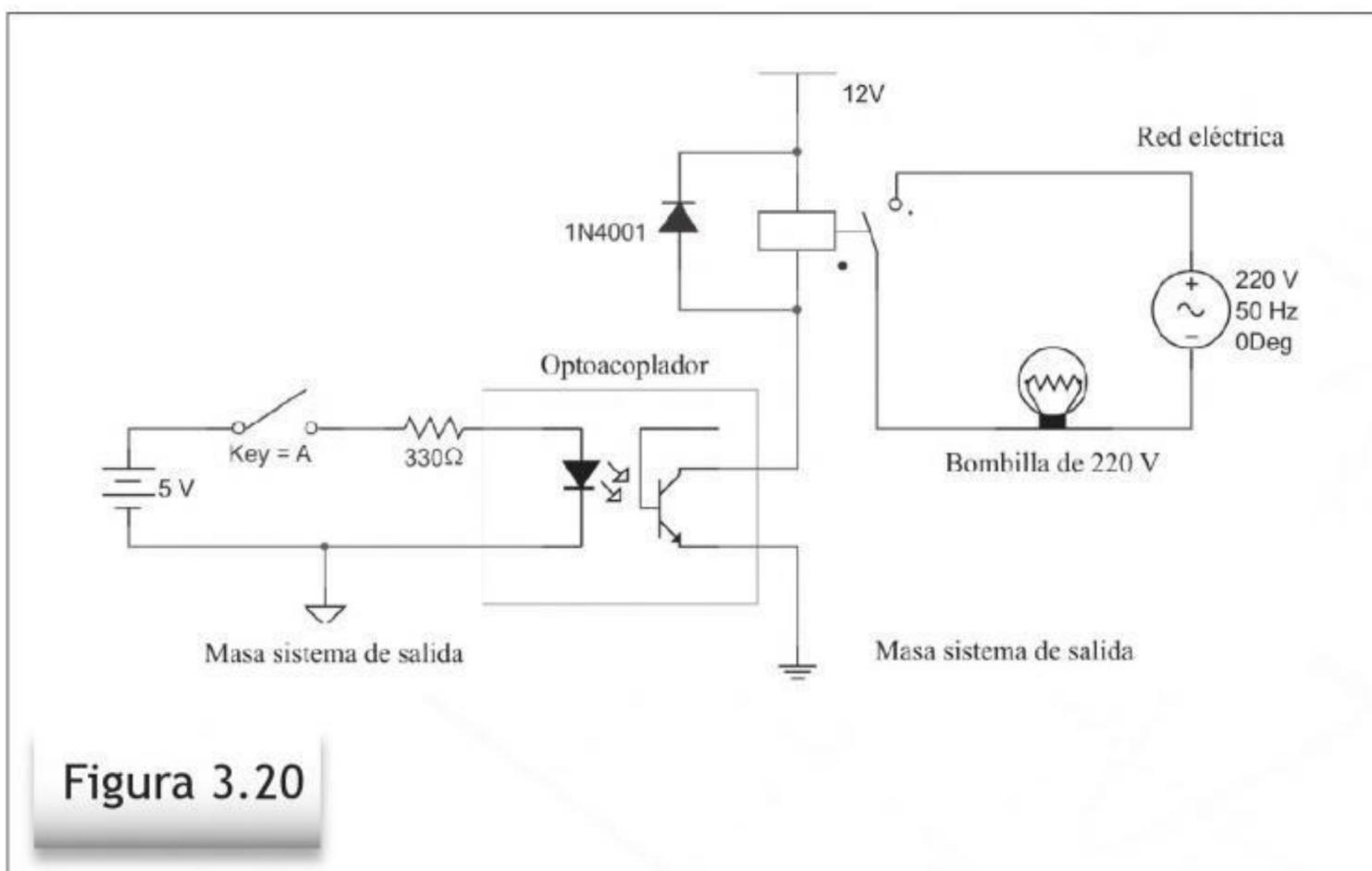


Figura 3.20

Ejemplo de aplicación de un optoacoplador, simulado mediante *Multisim*.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



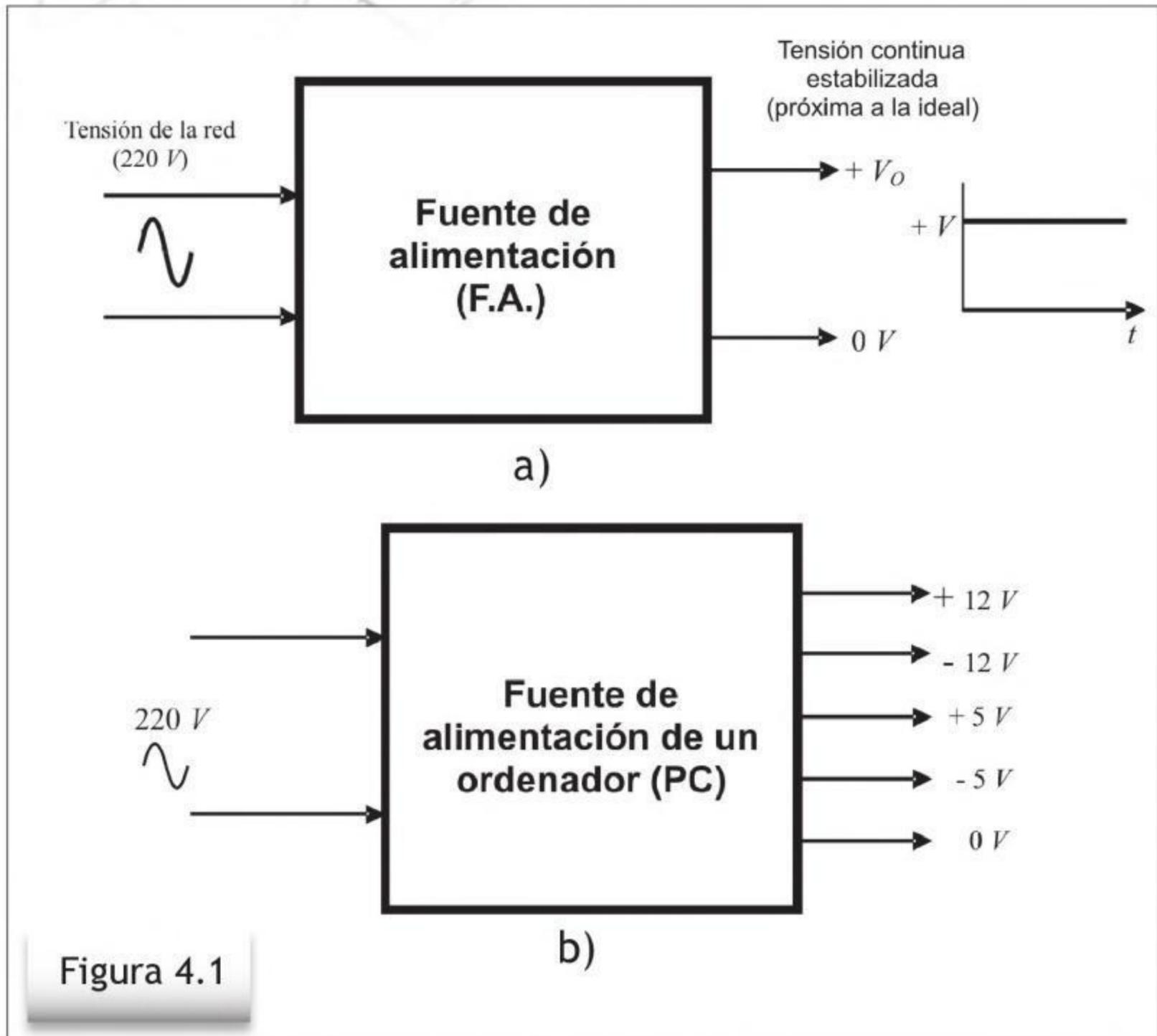
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

4.2 ALIMENTACIÓN DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

En principio hay que saber que los circuitos electrónicos se alimentan con corriente continua; por ello, en todos los aparatos electrónicos que se conectan a la red eléctrica (corriente alterna) existe una parte denominada fuente de alimentación, cuya función principal es convertir la corriente alterna en corriente continua (Figura 4.1a).



a) Representación general de una fuente de alimentación.
b) Ejemplo de fuente de alimentación (típica de un ordenador).

Los circuitos de electrónica se alimentan con tensión continua de valores bajos de tensión. Por ejemplo, las tensiones típicas que proporciona la fuente de alimentación típica de un ordenador son $\pm 5V$ y $\pm 12V$ (Figura 4.1b).



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

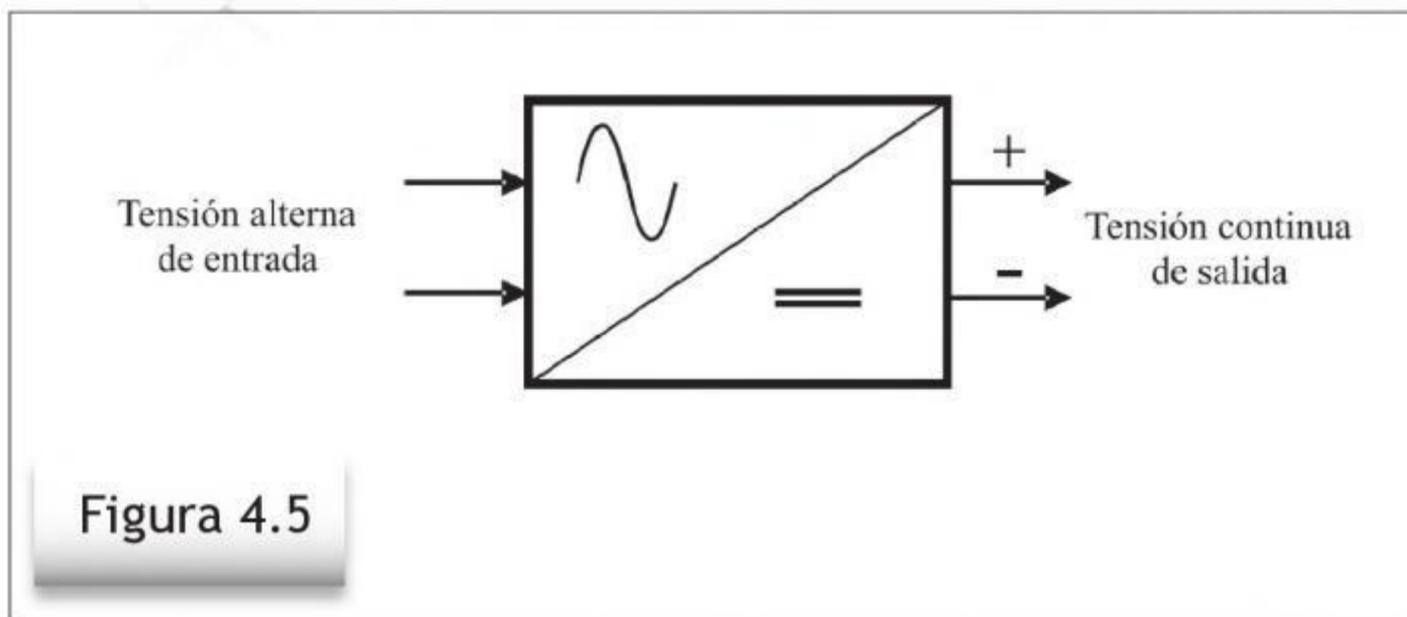


You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

El circuito electrónico estabilizador recibe la tensión del filtro y proporciona una tensión continua con muy poca ondulación, prácticamente plana, y estable frente a las variaciones de la tensión de la red y de la corriente de salida; o sea, una tensión continua casi ideal.

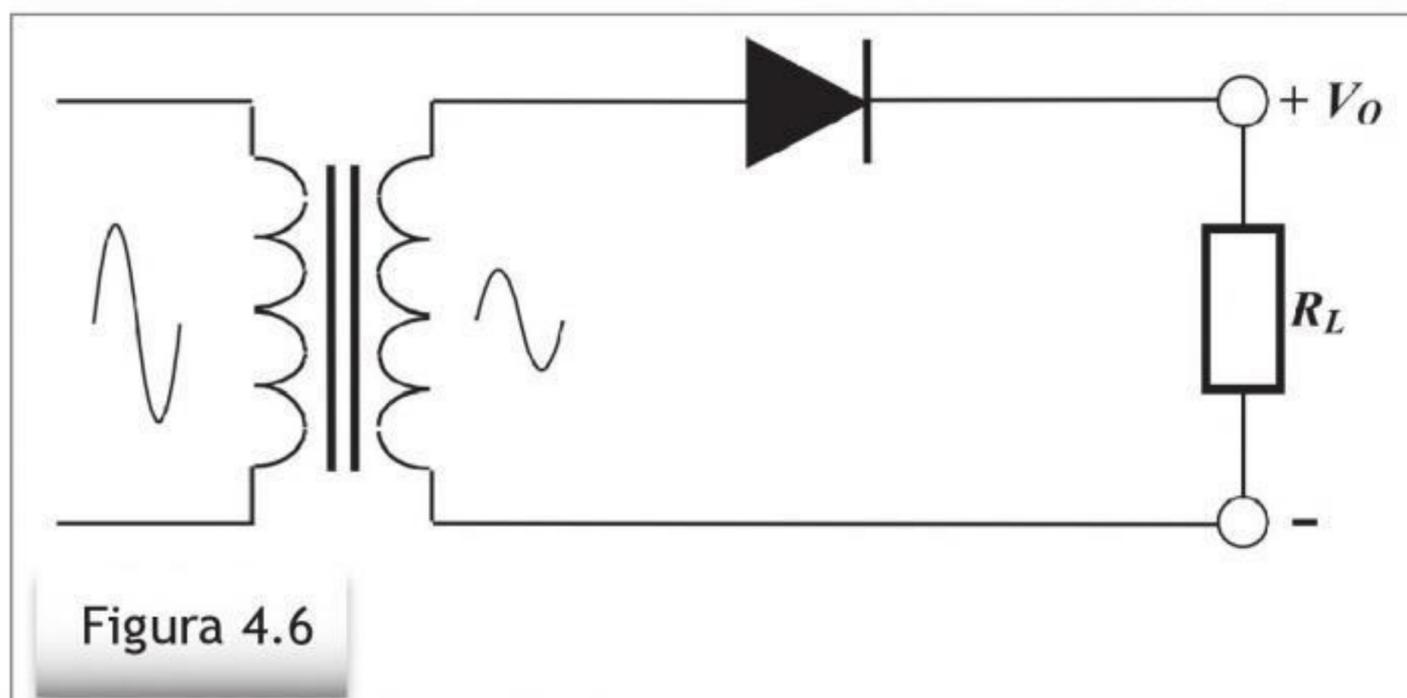
4.4 CIRCUITO RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

Con base en la característica que tiene el diodo de dejar circular la corriente en un único sentido, se obtiene la conversión de la corriente alterna en corriente continua; esto se denomina *rectificación*. La representación general de un circuito convertidor de tensión alterna en tensión continua se muestra en la Figura 4.5.



Representación general de un circuito convertidor de tensión alterna en tensión continua.

En la Figura 4.6 se muestra el circuito del rectificador más sencillo; se conoce como *rectificador de media onda*.



Circuito rectificador de media onda. Es el más sencillo de todos.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

También se puede calcular la tensión de salida mediante otra ecuación aún más simple:

$$V_m = \frac{1}{\pi} V_P \approx \frac{1}{3,14} V_P \Rightarrow V_m \approx 0,318 V_P$$

Así, si la tensión de salida del transformador es de 12 V, como esto es un valor eficaz, el valor de la tensión de pico es:

$$V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \Rightarrow V_P = V_{RMS} \sqrt{2} = 12 \times 1,41 \approx 16,94 V$$

Es decir, prácticamente, 17 V. Despreciando la pequeña caída de tensión que se produce en el diodo ($\approx 0,7$ V), los pulsos positivos de salida los consideramos iguales a V_P . Se tiene así que el valor medio de la tensión continua pulsatoria de salida (V_m) es:

$$V_m = \frac{V_P}{\pi} \approx \frac{17}{3,14} \approx 5,4 V$$

Pues este es el valor de tensión que marcaría un voltímetro (en continua); pero en un osciloscopio se observarían unos pulsos de casi 17 V de pico, como se muestra en la Figura 4.9.

Y conociendo el valor medio de la tensión de salida, la corriente media en la carga (R_L) será:

$$I_m = \frac{V_m}{R_L} = \frac{5,4}{27} \approx 0,2 A$$

En la Figura 4.10 se muestra el circuito completo con sus cálculos prácticos y diagrama de ondas.

4.5 CIRCUITO RECTIFICADOR DE DOBLE ONDA

El circuito rectificador de doble onda es el comúnmente utilizado en la práctica, ya que proporciona un mejor rendimiento que el de media onda. Pero su realización necesita 4 diodos, o bien dos diodos y un transformador con un secundario con toma media. Veamos primero sus características y después sus circuitos de realización práctica.

La tensión rectificadora de salida que se obtiene es la mostrada en la Figura 4.11.

En el intervalo de duración del período de la red eléctrica, se obtienen dos pulsos positivos; la tensión continua tiene menos espacios sin tensión que el rectificador de media onda. Al tener menos huecos sin tensión, tiene menos ondulación; la tensión se aproxima más a una tensión continua ideal que la que se obtiene con la rectificación de media onda.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

4.5.4.1 Ejemplo de cálculo del rectificador de doble onda bifásico

Supongamos el circuito de la Figura 4.15.

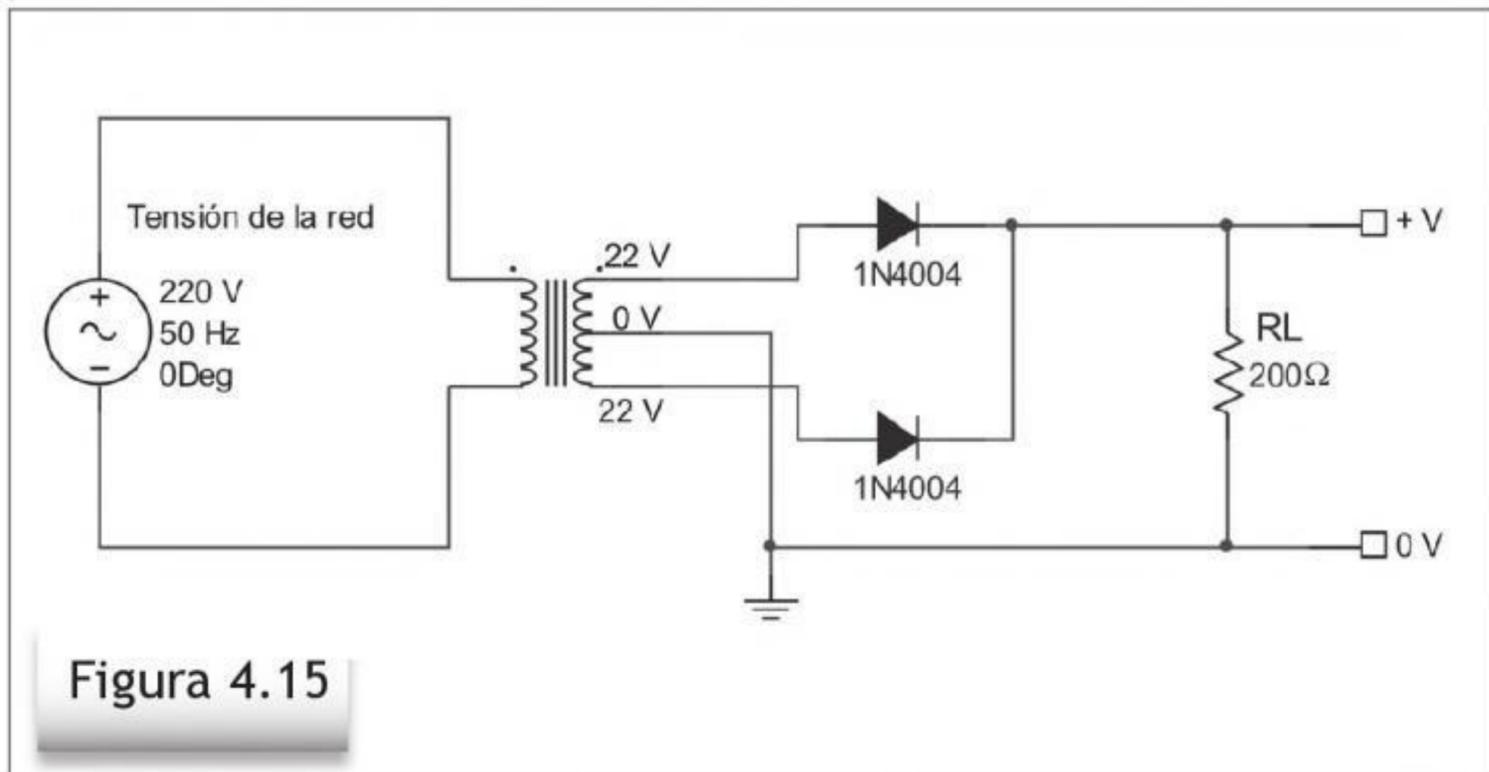


Figura 4.15

Circuito rectificador de doble onda bifásico.

Los valores de tensión y corriente de salida (en la carga, R_L) son los que a continuación se calculan.

Como la tensión de los secundarios es de 22 V, y éste es un valor eficaz, la tensión de pico de las fases es:

$$V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \Rightarrow V_P = V_{RMS} \sqrt{2} = 22 \times 1,41 \cong 31,1V$$

Se tiene así que el valor de tensión continua media de salida (V_m), sin tener en cuenta la pérdida de los diodos, es:

$$V_m = \frac{2V_P}{\pi} \cong \frac{2 \times 31,1}{3,14} \cong 19,8V$$

Este es el valor de tensión continua que marcaría un voltímetro conectado en la salida.

Y conociendo el valor medio de la tensión de salida, la corriente media en la carga (R_L) será:

$$I_m = \frac{V_m}{R_L} = \frac{19,8}{200} \cong 0,1A$$

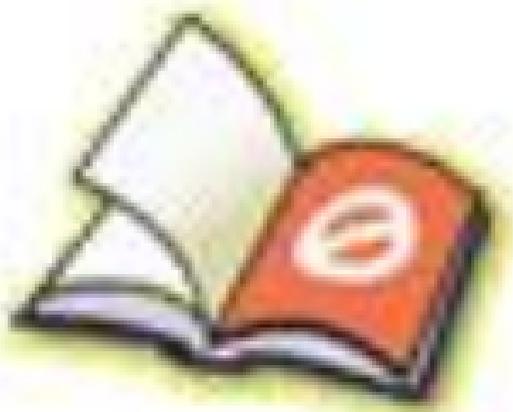
En la Figura 4.16 se muestra el circuito realizado y simulado su funcionamiento mediante el programa Multisim. Como se puede observar, se obtienen unos valores que están totalmente de acuerdo con los calculados teóricamente.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

$$V_O = V_P \Rightarrow V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} = \frac{9}{1,41} \cong 6,4 \text{ V}$$

Pero, en especial, para tensiones bajas de salida y si, además, se utiliza un puente de diodos, sí es conveniente tener en cuenta la caída directa de los diodos ya que ésta puede ser significativa; en este caso, la diferencia es de casi 1 V.

En cuanto a la intensidad de salida del transformador, como es obvio, debe poder suministrar una intensidad igual o mayor que la necesaria para la carga. En la práctica, se suele dimensionar con 50% más de lo necesario. En este caso, sería suficiente, pues, con 0,075 A. Se utilizaría un transformador de 7,5 V/0,1 A. Como la potencia de un transformador se representa por el producto de los voltios y los amperios de salida (VA), esto sería: 0,75 VA.

Capacidad del condensador:

$$C_{(\mu F)} = 10.000 \frac{I_O}{V_{r(pp)}} = 10.000 \frac{0,05}{0,4} = 1.250 \mu F$$

La tensión que debe soportar son los 9 V de salida; en la práctica, se pondría uno del valor normalizado de 16 V.

El esquema práctico del circuito alimentador se muestra en la Figura 4.27.

El puente de diodos se realiza mediante 4 diodos 1N4004, que es un diodo muy popular y de bajo precio. En lugar de los 4 diodos, podría utilizarse el puente de diodos comercial B380/1500.

En la Figura 4.28 se muestra un gráfico sobre la tensión de salida. La tensión continua media de salida es de 9 V, con una tensión de rizado de 0,4 V_{pp}.

4.6.2.2 Simulación del circuito mediante *Multisim*

La simulación del funcionamiento del circuito mediante el programa Multisim se representa en la Figura 4.29. Mediante el interruptor A se puede observar el efecto del condensador de filtro.

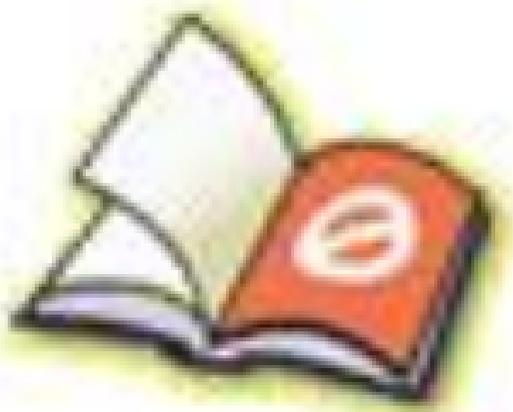
Sin condensador (interruptor abierto)

La tensión continua media de salida, medida con el voltímetro, es: $V_O \cong 5,4 \text{ V}$. Y la onda pulsatoria que muestra el osciloscopio tiene un valor de pico de unos 9 V (Figura 4.30). Estos datos se ajustan a los calculados en teoría:

Tensión media de salida, teniendo en cuenta la pérdida por los diodos:

$$V_m = \frac{2 V_P}{\pi} - 2 V_F = \frac{2(\sqrt{2} \cdot 7,5)}{3,14} - (2 \times 0,7) \cong 5,35 \text{ V}$$

El valor $2 V_F = 1,4 \text{ V}$ es la caída directa de los dos diodos por los que circula la corriente de salida.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

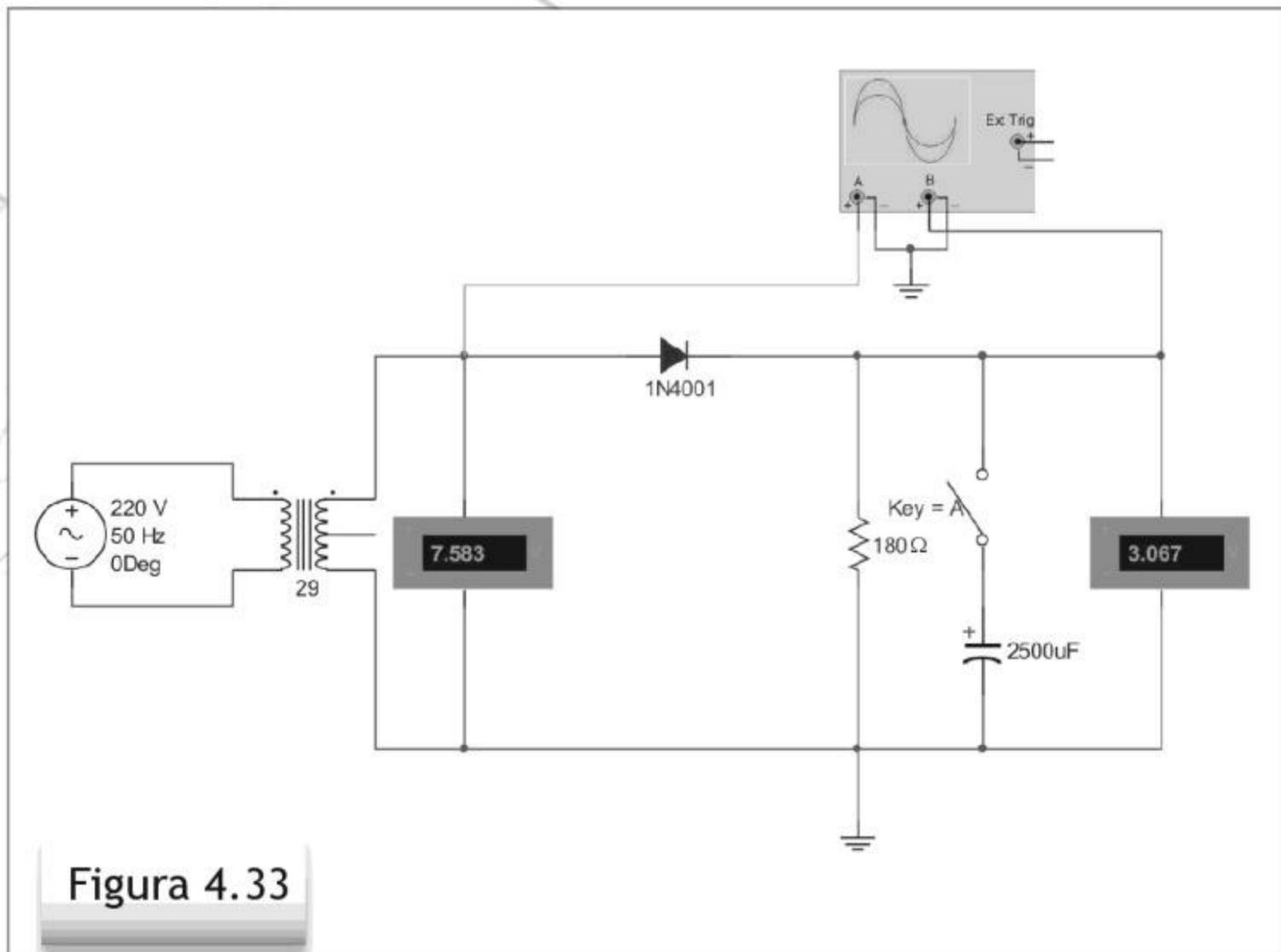


Figura 4.33

Rectificación en media onda.

La capacidad del condensador de filtro en este caso deberá ser de:

$$C_{(\mu F)} = 20.000 \frac{I_O}{V_{r(pp)}} = 20.000 \frac{0,05}{0,4} = 2500 \mu F$$

Sin condensador (interruptor abierto)

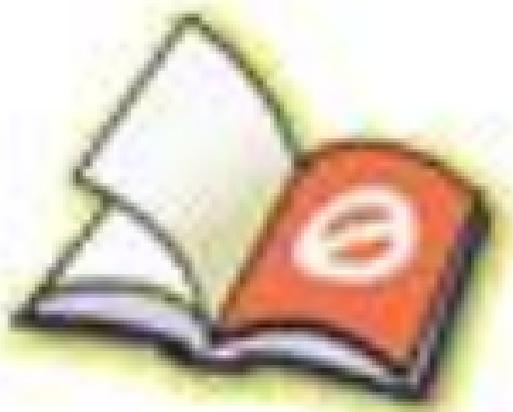
La tensión continua media de salida que mide el voltímetro es: $V_O = 3 \text{ V}$. El valor obtenido, teniendo en cuenta la pérdida del diodo, es:

$$V_m = \frac{V_P}{\pi} - V_F = \frac{\sqrt{2} \cdot 7,5}{3,14} - 0,7 \cong 2,7 \text{ V}$$

Y la tensión de pico de los pulsos de salida, teniendo en cuenta la pérdida de 0,7 V del diodo es:

$$V_{O(p)} = V_P - V_F = (\sqrt{2} \cdot 7,5) - 0,7 \cong 9,9 \text{ V}$$

Es decir que, en comparación con el circuito de doble onda, la tensión continua media de salida es más baja, y la tensión de pico de los pulsos de salida un poco más alta (debido a que la pérdida es por un solo diodo).



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Tensión de entrada mínima:

$$I_{ZK} = 0,5 \text{ mA} \Rightarrow V_R = I_{ZK} R_1 = 0,0005 \times 1000 = 0,5 \text{ V}$$

$$V_{E(\text{min.})} = V_Z + V_R = 7,5 + 0,5 = 8 \text{ V}$$

Siendo la potencia en el Zener para este punto:

$$P_Z = I_Z V_Z = 0,0005 \times 7,5 = 0,00375 \text{ W}$$

Tensión de entrada máxima:

$$I_{ZM} = 0,05 \text{ mA} \Rightarrow V_R = I_{ZM} R_1 = 0,05 \times 1000 = 50 \text{ V}$$

$$V_{E(\text{min.})} = V_Z + V_R = 7,5 + 50 = 57,5 \text{ V}$$

Y esta tensión hará que la potencia en el Zener sea:

$$P_Z = I_Z V_Z = 0,05 \times 7,5 = 0,375 \text{ W}$$

Que está por debajo de los 0,5 W especificados por el fabricante.

La intensidad a través del Zener ha variado entre 0.5 mA y 50 mA, y en cambio la tensión permanece (en teoría) constante a 7,5 V; este es el efecto estabilizador del Zener.

Este circuito nos proporcionaría, por tanto, una tensión (en teoría) estable de 7,5 V para variaciones de la tensión de entrada entre 8 y 57,5 V. En la práctica, la tensión de salida no sería del todo estable; variaría en un pequeño margen, dependiendo de la resistencia interna del Zener, de la temperatura, etc.

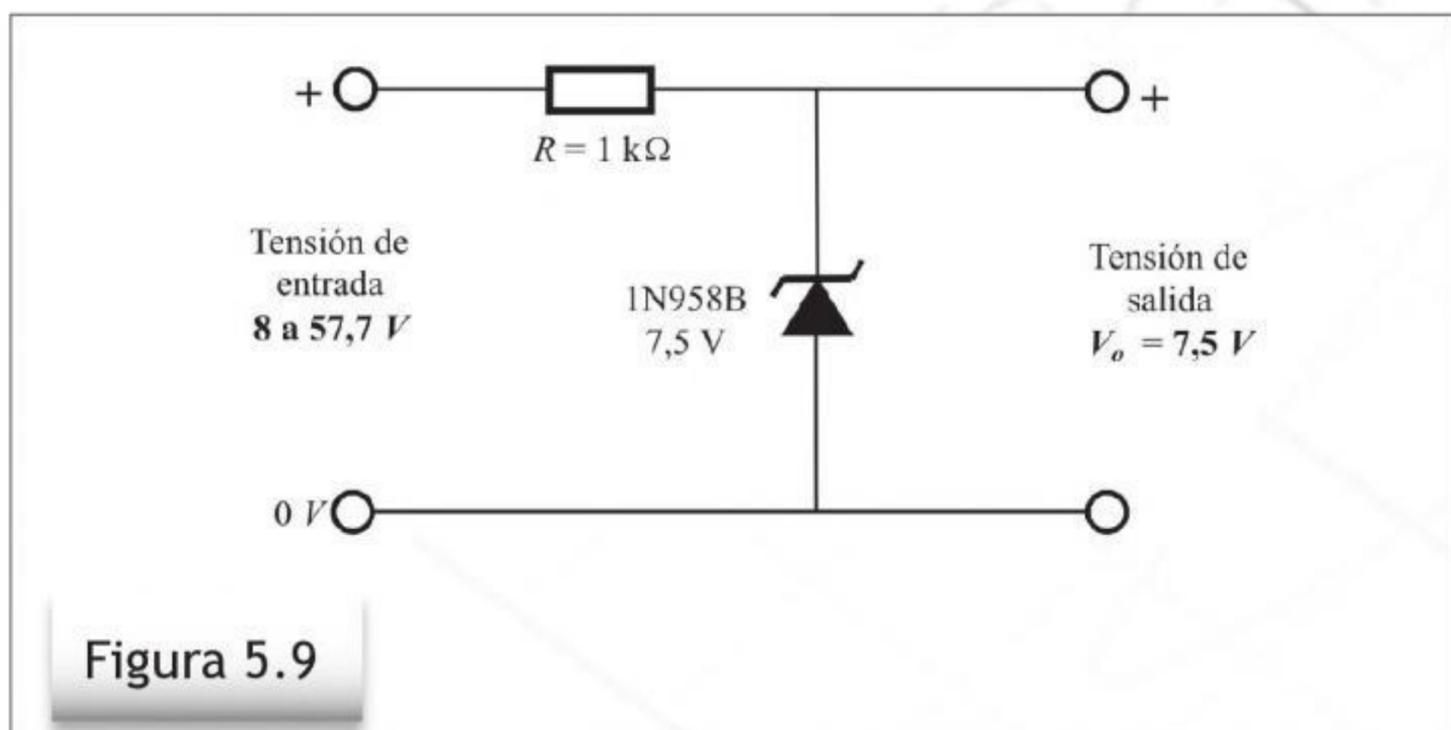


Figura 5.9

Entre un margen de la tensión de entrada de 8 a 57.5 V, se obtiene una tensión constante (en teoría) de 7,5 V.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



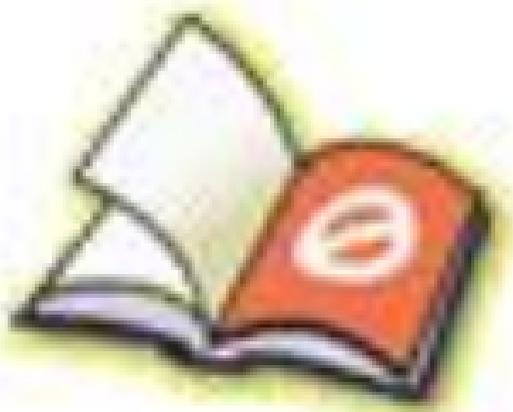
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



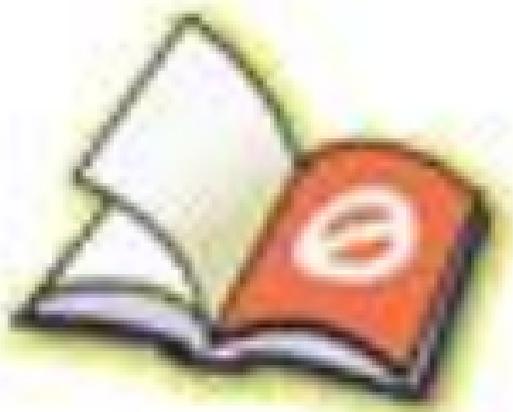
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

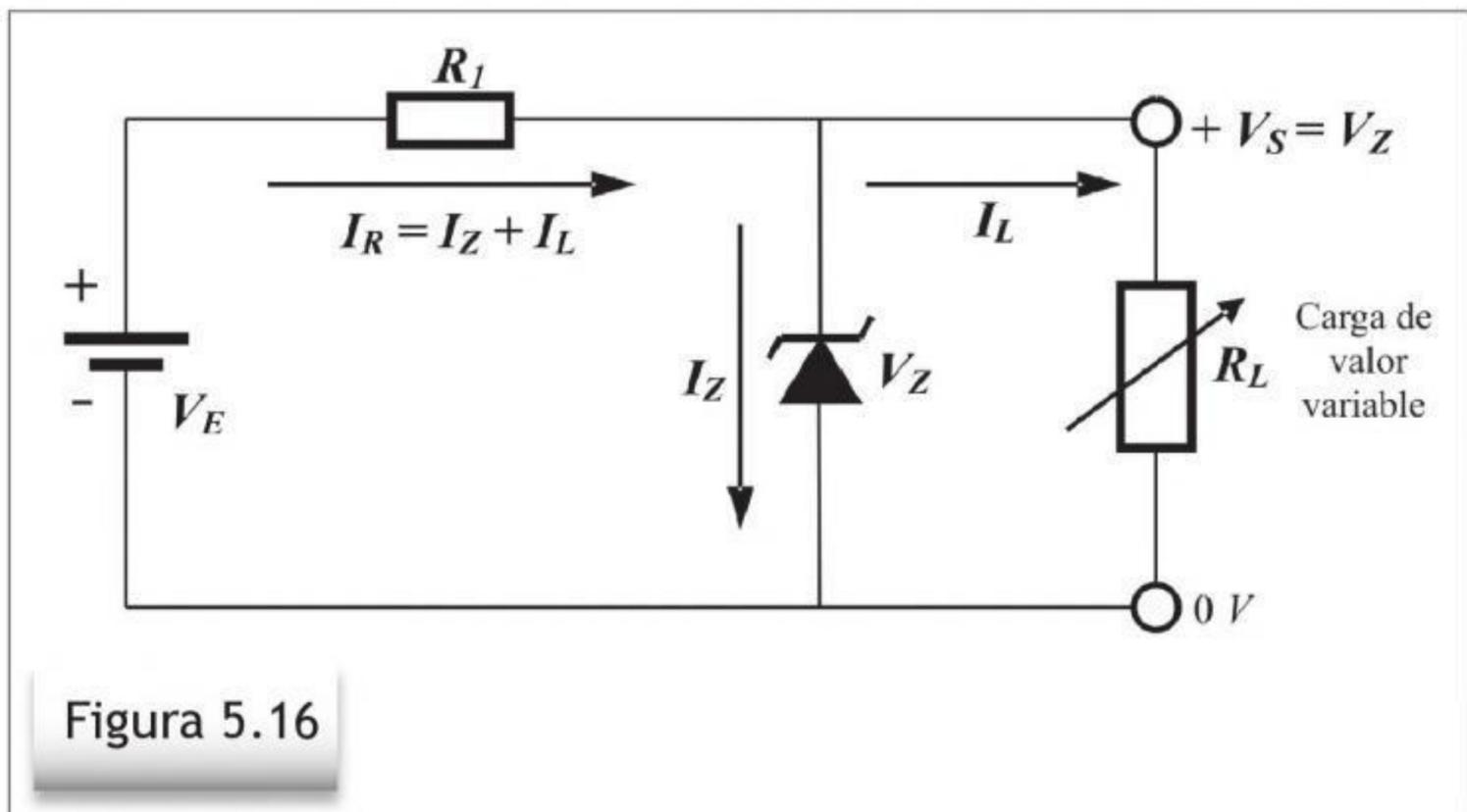


Figura 5.16

Circuito con carga variable y tensión de entrada constante.

5.3.2.2.1 Análisis práctico de un circuito

Supongamos el circuito práctico que se muestra en la figura 5.17. Se basa en un Zener 1N958B, que es de $V_Z = 7,5 \text{ V}$ e $I_{ZM} = 50 \text{ mA}$. La tensión de entrada es de 12 V , y la carga una resistencia de 180Ω (que se puede desconectar).

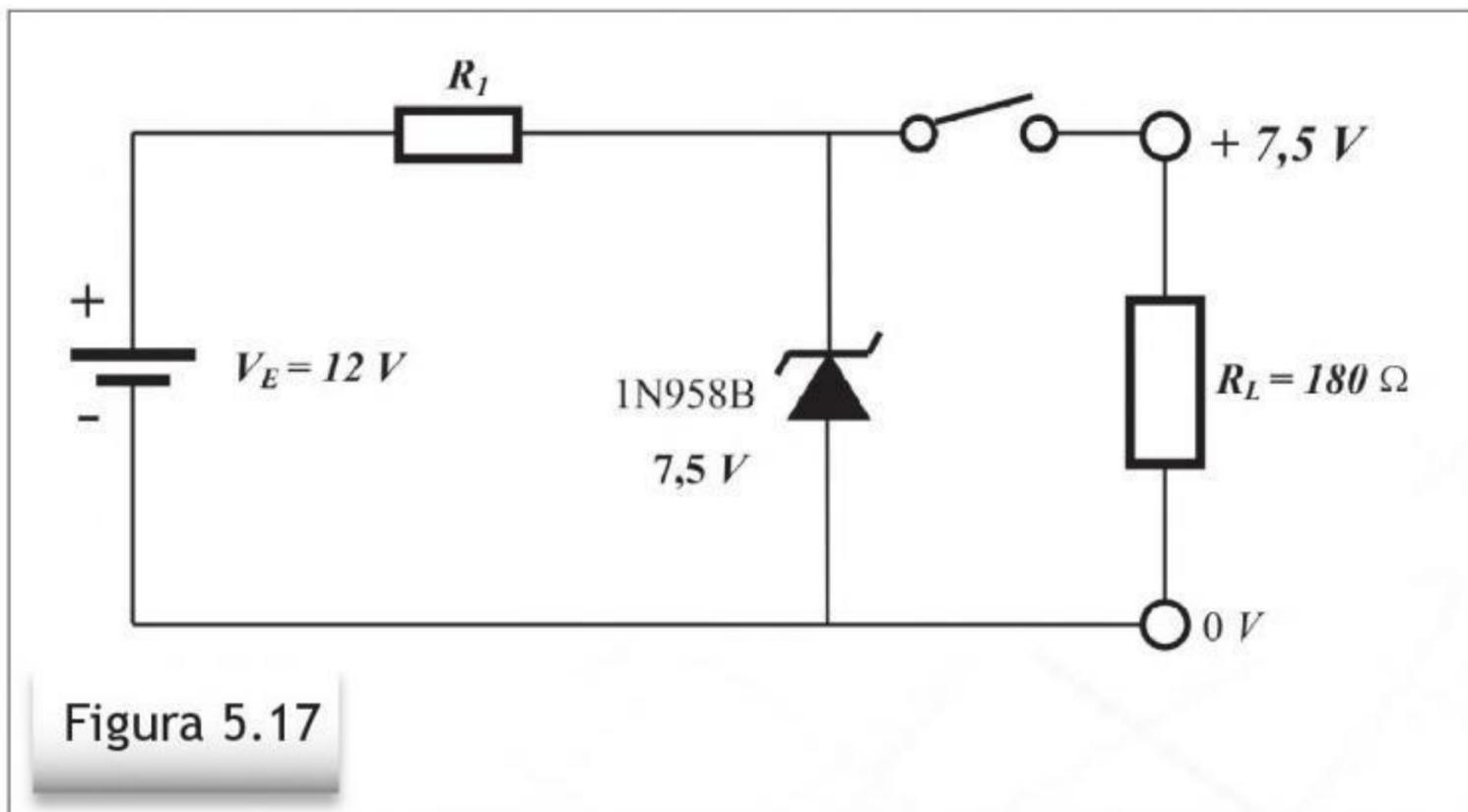


Figura 5.17

Circuito con tensión de entrada constante y carga variable.

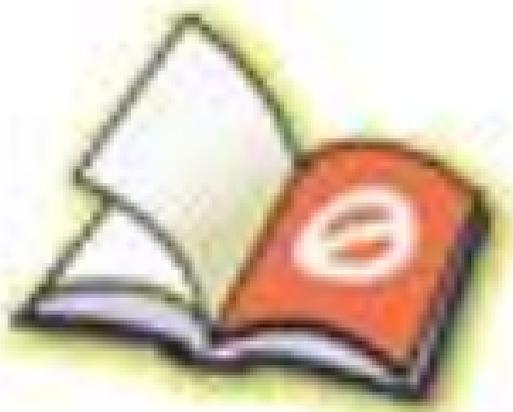
Intensidad en la carga

Al ser la tensión del Zener de $V_Z = 7.5 \text{ V}$, la intensidad en la carga será:

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{7,5}{180} = 0,0416 \text{ A}$$



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Intensidad que circulará por R_1 :

$$I_{R1} = I_Z + I_L = 0,00146 + 0,015 \cong 0,016 \text{ A}$$

Este valor también se puede deducir mediante:

$$I_{R1} = \frac{V_E - V_Z}{R_1} = \frac{8 - 5}{180} \cong 0,016$$

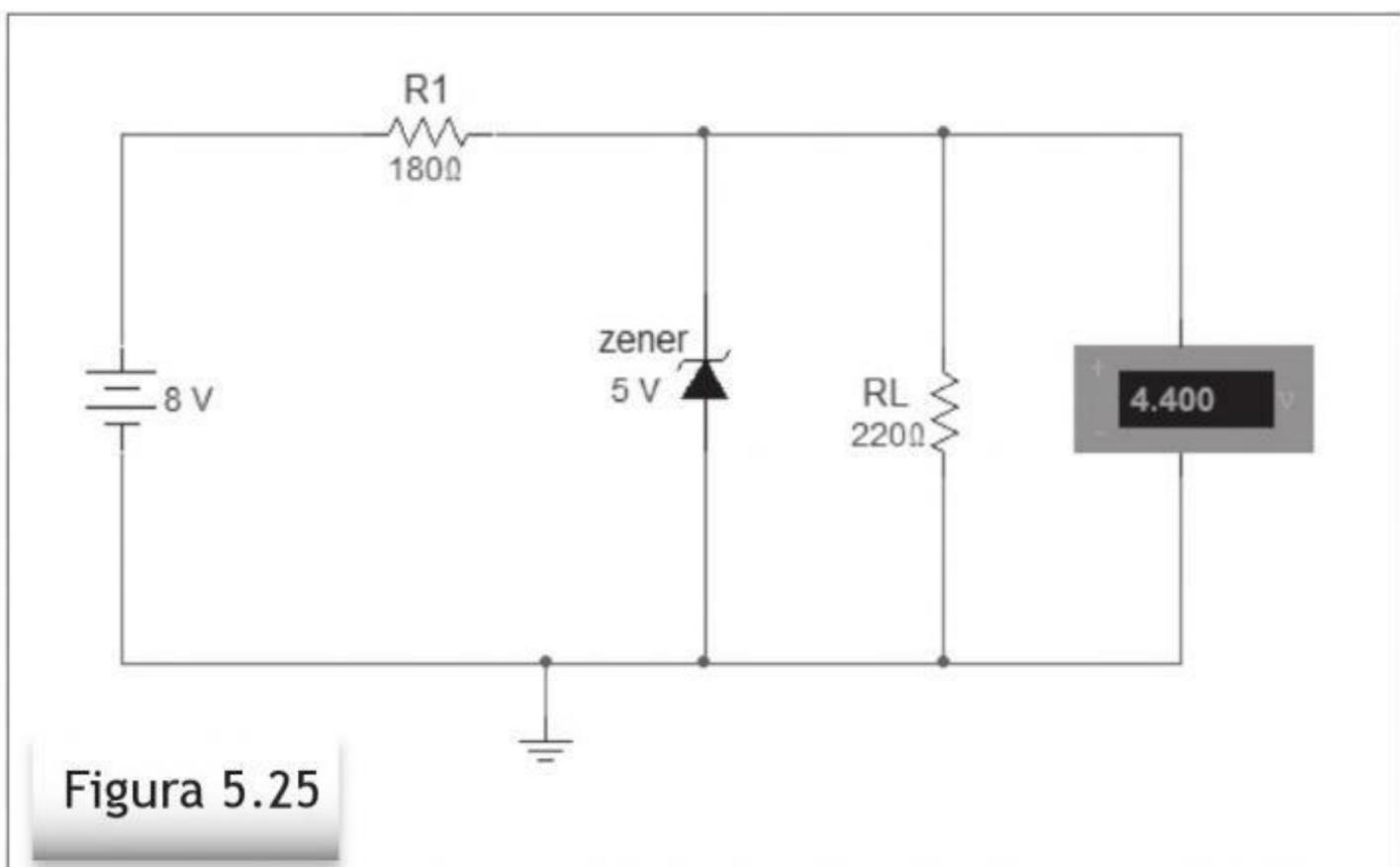
5.4.2 Ejercicio 2

Basándonos en el circuito del ejercicio anterior, para razonar las diferencias, hallar la tensión en el Zener suponiendo que la resistencia de carga es de 220Ω .

La tensión Thévenin en este caso es:

$$V_{TH} = \frac{V_E R_L}{R_1 + R_L} = \frac{8 \times 220}{180 + 220} = 4,4 \text{ V}$$

El Zener no conduciría, y en la carga la tensión no habría 5 V sino 4,4 V. Este mismo resultado se obtiene simulando el funcionamiento del circuito con el programa *Multisim*, lo cual se representa en la figura 5.25.



El Zener no conduce, debido a los valores inadecuados de las resistencias. Así, cuando la resistencia de carga (R_L) es 220Ω , la tensión de salida es 4,4 V.

Por simple observación del circuito, se podría pensar que en el Zener hay 5 V y a partir de ahí calcular la intensidad de la carga y la que circula por R1; pero los resultados serían incorrectos, porque en el Zener no habría 5 V.

5.4.3 Ejercicio 3: Aplicación del Zener como conformador de ondas

Se trata de conseguir mediante un Zener una onda aproximadamente cuadrada de 5 V de amplitud, partiendo de una onda senoidal de 12 V.

Este es un tipo de aplicación bastante común en el tratamiento de señales para su proceso en sistemas digitales. Se aprovecha la cualidad del Zener de estabilizar una tensión, lo cual permite recortar la onda; al llegar la tensión senoidal a la del Zener, la tensión se mantiene a ese valor. Así, mediante el Zener, se consigue una onda senoidal recortada que se aproxima a una onda cuadrada.

Un ejemplo de aplicación práctica es utilizar la frecuencia de la red eléctrica (50 Hz) como base de tiempos en relojes. Para poder procesarla por la electrónica digital es preciso adecuar la onda senoidal, que consiste en que sus niveles de tensión sean adecuados a la tecnología electrónica, siendo muy normal 5 V.

En la figura 5.26 se representa un circuito práctico, para su análisis mediante *Multisim*.

Partiendo de una onda senoidal de 12 V (valor eficaz), que se supone se obtiene de un transformador, se obtiene una onda de tipo cuadrada con una amplitud de 5 V (la tensión del Zener) y 50 Hz.

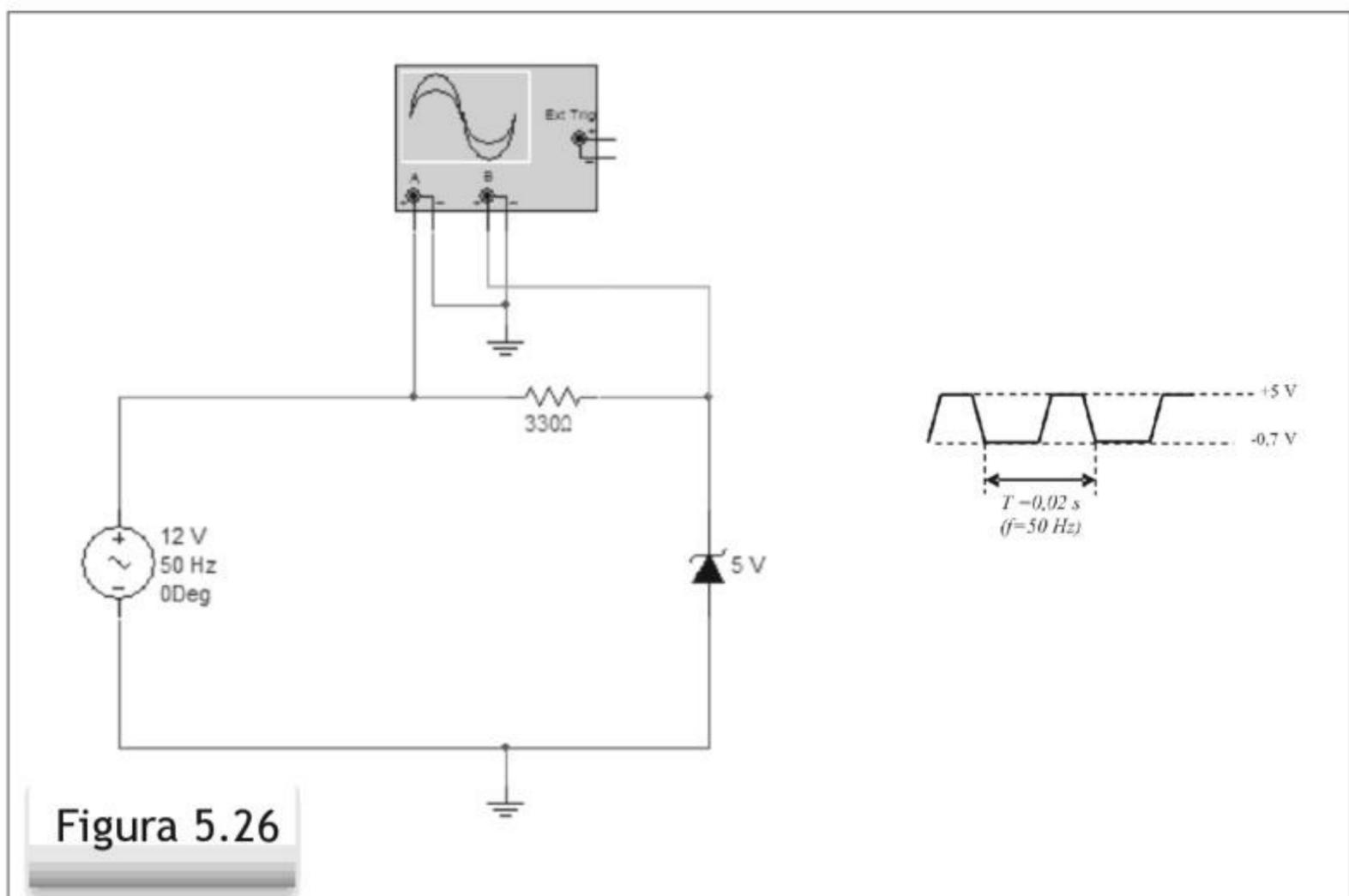


Figura 5.26

Ejemplo de circuito práctico conformador de ondas.

Se deberá utilizar, por tanto, un Zener de 5 V e $I_{ZM} > 36 \text{ mA}$.

Durante el semiciclo negativo de la onda, el diodo Zener quedará polarizado en forma directa, y en la salida aparecerá una tensión negativa de unos $-0,7 \text{ V}$; es decir, próxima a cero.

La intensidad máxima directa será:

$$I_{F(\max)} = \frac{V_P - V_F}{R} = \frac{17 - 0,7}{330} = 0,0493 \text{ A}$$

5.4.4 Ejercicio 4: Conformador de ondas simétrico

Se trata de obtener, partiendo de una onda senoidal de 12 V y $f = 50 \text{ Hz}$, una onda de tipo cuadrada simétrica de niveles $+5 \text{ V}$ y -5 V (aproximadamente).

Esto se consigue fácilmente conectando dos diodos Zener de 5 V en contraposición; de esta manera, en cada semiciclo de la onda de entrada conducirá uno de los diodos en forma directa y el otro en la forma inversa.

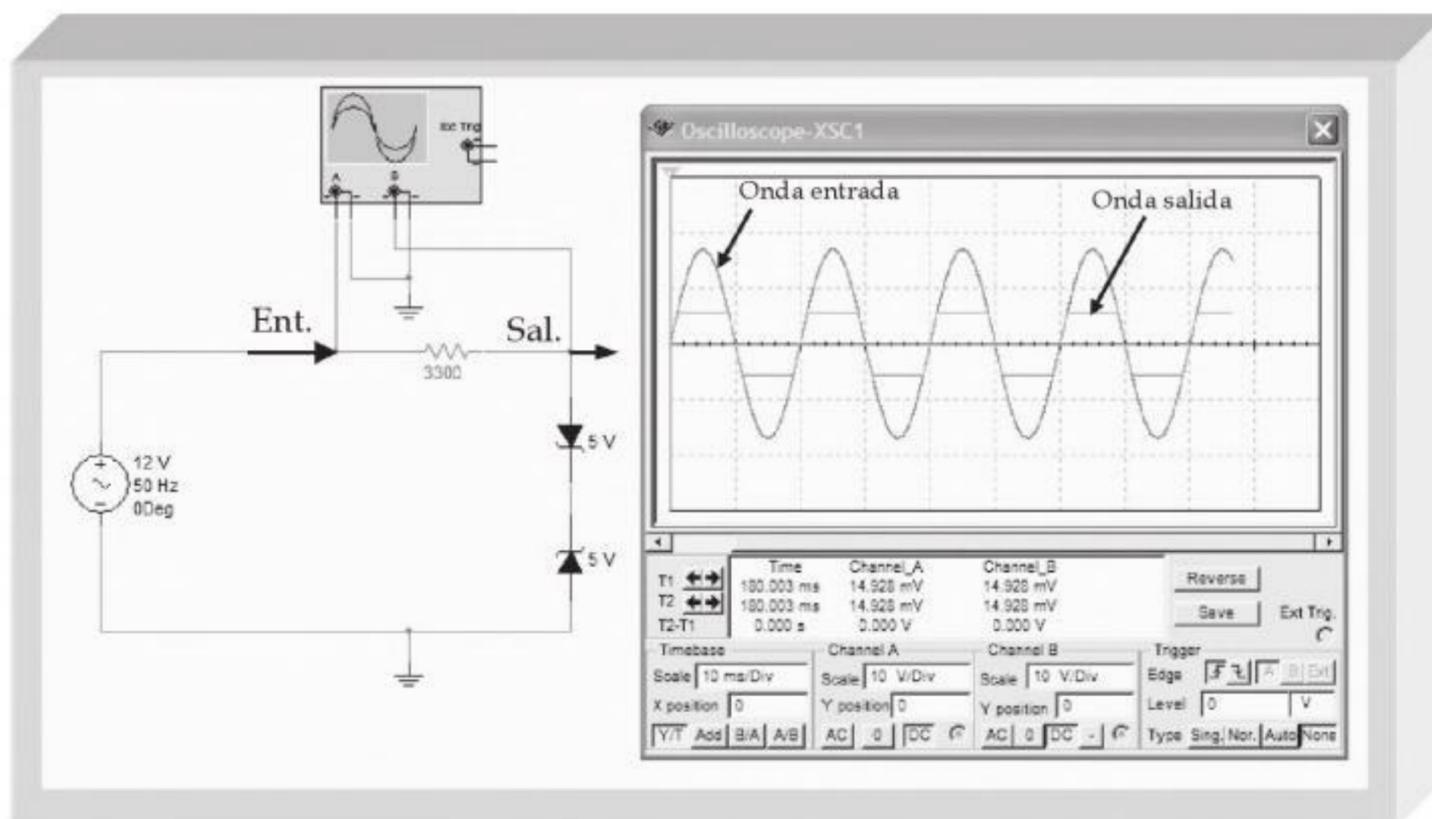


Figura 5.28

Circuito práctico conformador de ondas simétrico. Partiendo de una onda senoidal, se obtiene una onda de tipo cuadrada simétrica.

Al ser los diodos Zener de 5 V , el nivel de tensión en cada semiciclo de la onda de salida será la suma de la tensión Zener del diodo que conduce en forma inversa y la caída directa del que conduce en forma directa.

En este caso, en comparación con el conformador de la figura 5.26, se obtiene una onda de salida también de tipo cuadrada pero simétrica; es decir, el nivel alto es positivo y el nivel bajo es negativo, siendo su valor medio cero (al igual que la onda senoidal de entrada).

5.4.5 Ejercicio 5: Reducción del factor de rizado

Mediante la función estabilizadora del Zener veremos cómo se obtiene una tensión continua, procedente de un rectificador de doble onda, con un muy bajo factor de rizado.

El circuito práctico, basado para su simulación mediante *Multisim*, se representa en la figura 5.29.

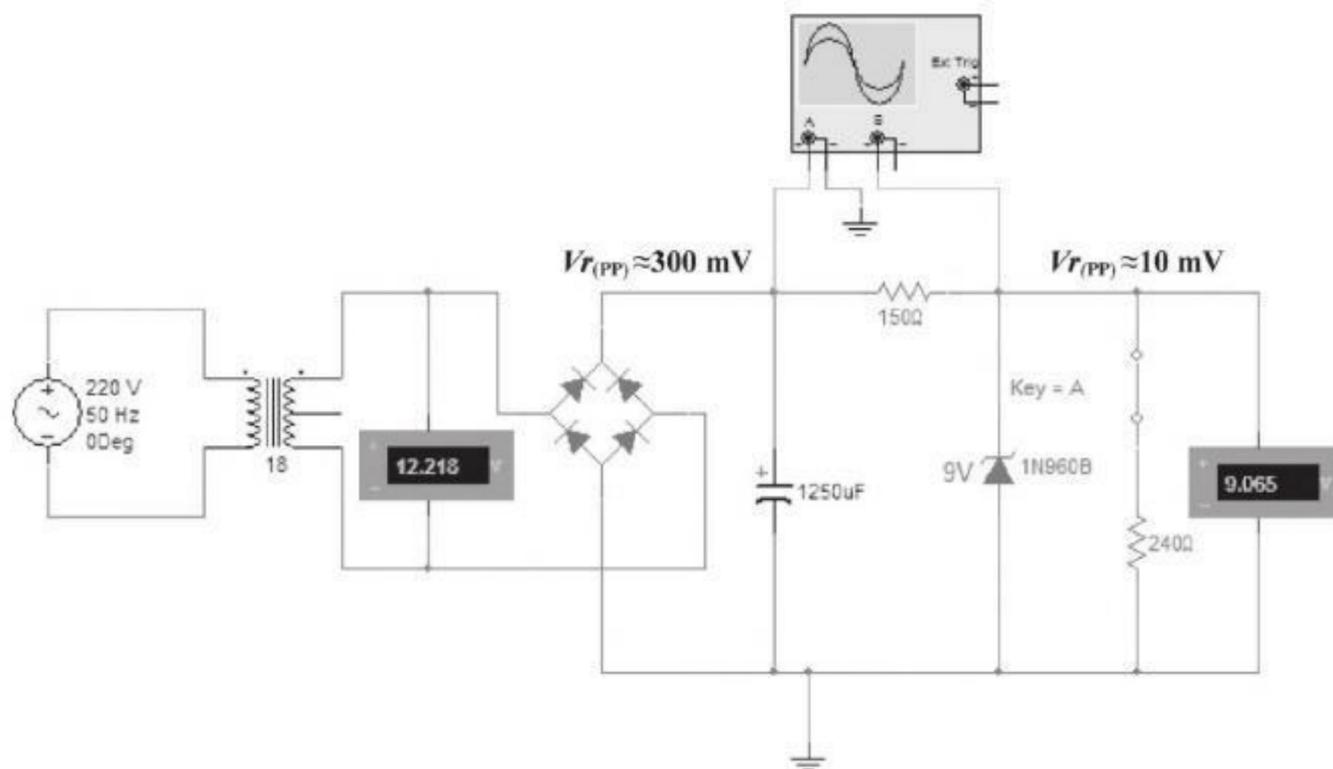


Figura 5.29

Circuito rectificador de doble onda, con estabilizador Zener. La tensión de salida es 9 V, con un rizado máximo de unos 10 mV. En cambio, antes del Zener el rizado es de unos 300 mV.

Según medidas realizadas con *Multisim*, la intensidad de salida total que proporciona el rectificador es de 0,042 A, y la tensión 15,39 V, siendo el nivel de rizado de unos 300 mV_{pp}. En el Zener se ha medido una tensión de unos 9 V, con un rizado de 10 mV_{pp}. Teniendo en cuenta la corriente de salida que entrega el rectificador y el valor del condensador de filtro, por cálculo, la tensión de rizado es:



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

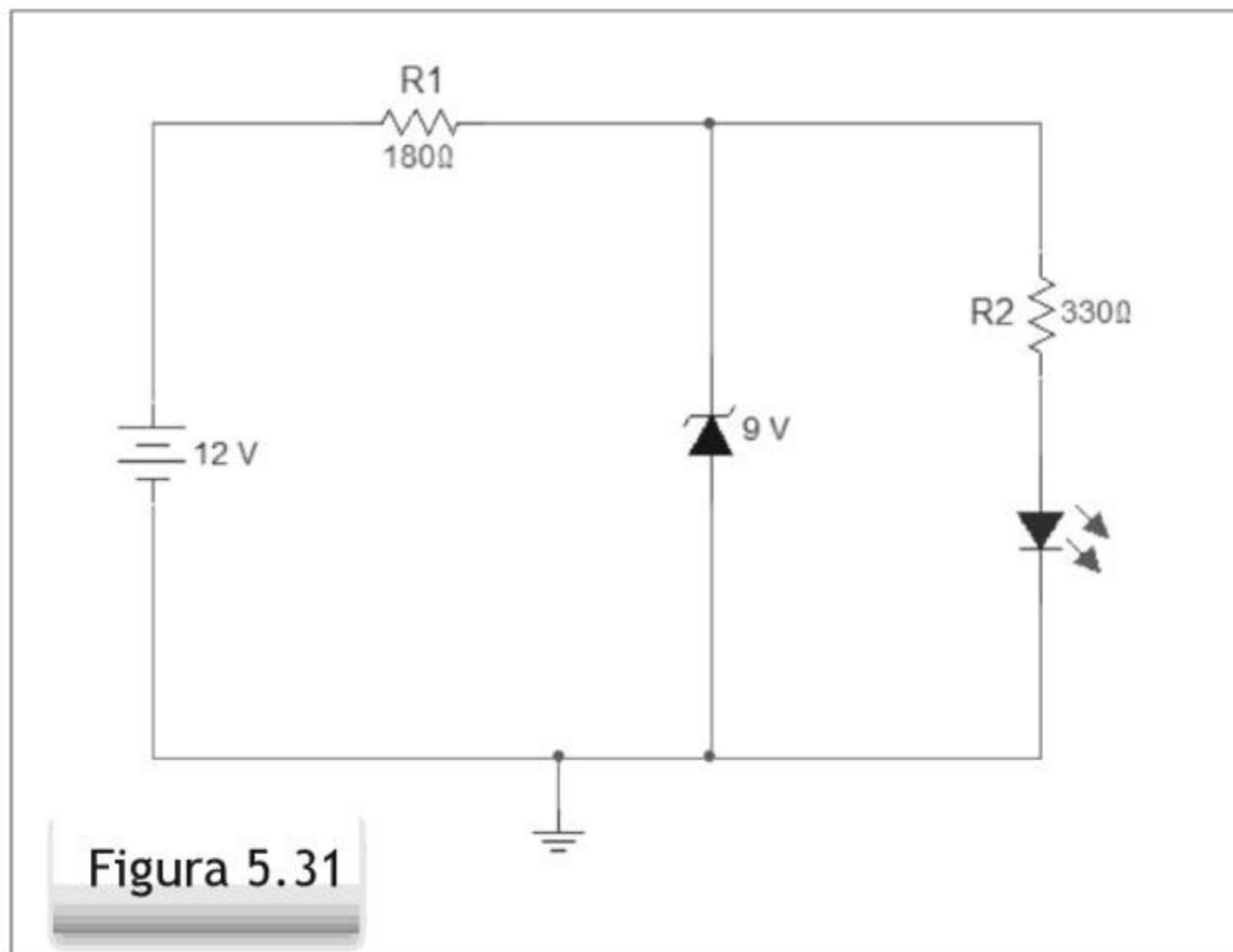


Figura 5.31

Circuito para calcular y simular su funcionamiento con *Multisim*.

5.5.3 Ejercicio 3

Hallar, mediante simulación por *Multisim*, los valores de las intensidades y tensión en el Zener del circuito de la figura 5.23.

5.5.4 Ejercicio 4

Dado el circuito alimentador estabilizado de la figura 5.29, montar (o simular con *Multisim*) para hacer las medidas de:

- ❑ Tensión en el condensador de filtro.
- ❑ Intensidad total de salida (salida del rectificador).
- ❑ Intensidad en el Zener.
- ❑ Intensidad en la carga (R).
- ❑ Las tensiones de rizado en el condensador de filtro y en el Zener, con carga y sin carga (la resistencia R_L , de $240\ \Omega$, conectada y desconectada).
- ❑ Modificar el circuito para obtener una tensión de salida de $12\ V$, y que halla un LED rojo (de $2\ V$) indicador de la tensión de salida.

Anotar todos los resultados, y razonarlos.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

La función de amplificar la realizan los circuitos o aparatos llamados amplificadores, cuyo funcionamiento se basa en los transistores.

Por ejemplo, son señales eléctricas débiles, que se tienen que amplificar, las captadas por:

- El cabezal magnético de un disco duro.
- Una antena (de móvil, de TV...)
- Una pastilla de guitarra eléctrica.
- Un sensor de electrocardiógrafo.

Y existen otros muy diversos ejemplos. Gracias a la función de amplificar, podemos, por ejemplo: escuchar la radio, ver la TV, controlar un ascensor con una simple pulsación, y otras muy diversas cosas.

Antes de aparecer el transistor ya existía la electrónica, y por tanto la radio y la TV, incluso el principio de los ordenadores; pero la amplificación de señales se realizaba con componentes denominados válvulas, algo parecido a bombillas, que eran de un tamaño considerable, frágiles y que necesitaban una corriente eléctrica para encender su filamento.

Es seguro que de no haberse descubierto los semiconductores y en consecuencia el transistor (1948), gracias a su pequeño tamaño y a los avances en la microelectrónica, la electrónica actual no existiría.

Se puede decir, pues, que los ordenadores, los PDA, los teléfonos móviles, etc., existen gracias al descubrimiento del transistor y posteriormente al desarrollo de los circuitos integrados (popularmente conocidos como microchips).

6.2 AMPLIFICACIÓN

La estructura básica de un ejemplo de amplificador se representa en la figura 6.2. Se trata, a modo de ejemplo, de un amplificador de guitarra eléctrica. Dentro del bloque amplificador se ha representado el símbolo esquemático del transistor (el tipo más usual). Con esto se indica que el amplificador está realizado con base en el transistor; puede haber varios transistores, además de los componentes adicionales típicos como resistencias, condensadores, etc.

Como es obvio, y así es en todos los aparatos electrónicos, para que funcionen se necesita una tensión de alimentación, para suministrar la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento. De hecho, la potencia sonora que se obtiene la suministra la energía eléctrica de la alimentación. Si, por ejemplo, el amplificador entregará al altavoz una potencia de 100 W, la tensión de alimentación tendría que suministrar al amplificador más de 100 W (hay que tener en cuenta que, como el rendimiento nunca es de 100%, parte de la energía que entrega la fuente de alimentación se pierde en forma de calor en los componentes).

Las pastillas de la guitarra eléctrica son una especie de cabezales magnéticos (se basan en unos bobinados sobre un núcleo), que convierten las vibraciones de las cuerdas (que son de material ferromagnético) en unas débiles señales eléctricas.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

O sea que la función básica que realiza el UJT no es amplificar, sino generar impulsos. En la figura 6.11 se muestra su simbología y el aspecto de un modelo comercial.

Su nombre proviene de su construcción; se fabrica con base en una sola unión semiconductor, por lo cual se conoce por transistor de una sola unión, y de ahí viene lo de *unijunction* (UJT).

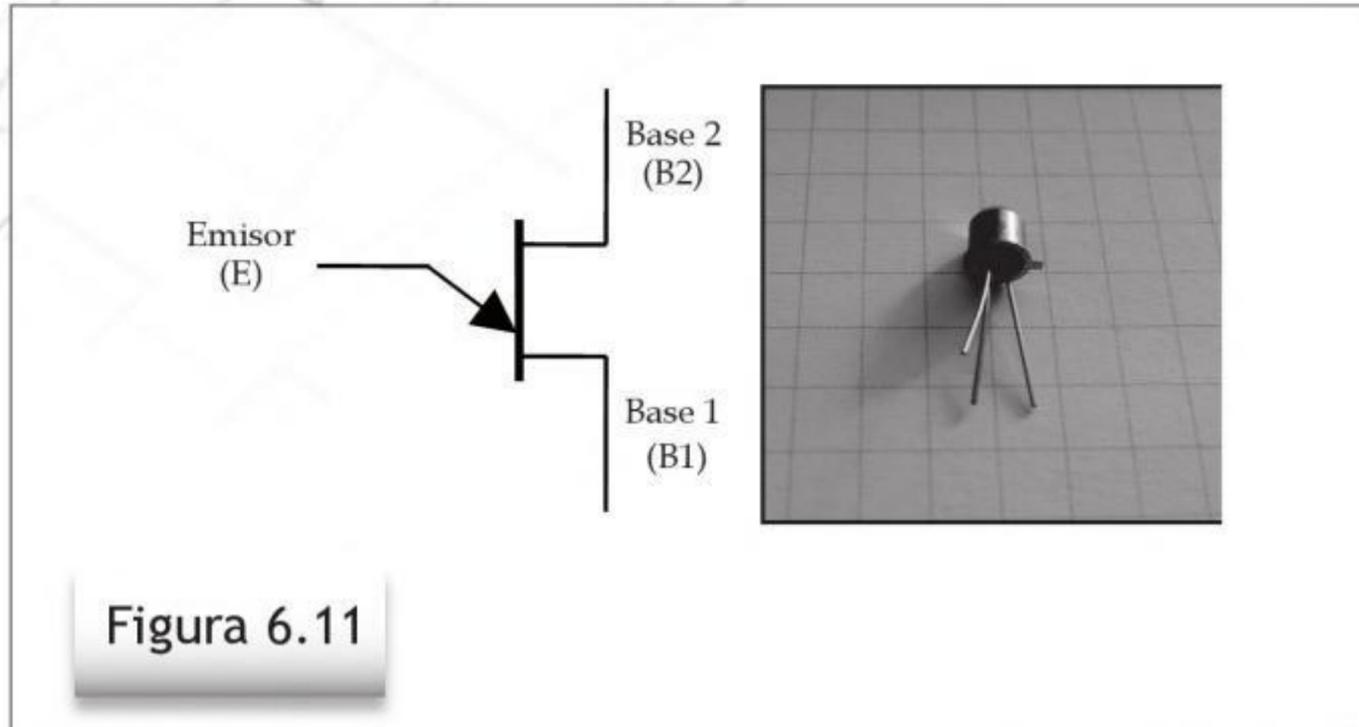


Figura 6.11
Simbología y aspecto práctico de un transistor UJT comercial (2N2646). Es un tipo especial de transistor; su aplicación se centra en la industria, como generador de impulsos.

Aunque, como se ha presentado en esta visión general sobre transistores, existen varios tipos de transistores; de todos ellos el que resulta imprescindible estudiar con cierta profundidad es el bipolar; es de aplicación básica y general.

Es conveniente conocer los JFET, ya que también se encuentran en ciertas aplicaciones. Y hay que saber que los MOS básicos son los transistores que habitualmente se utilizan en la fabricación de CI, y rara vez se encuentran como un componente suelto. Los MOS de potencia se emplean bastante en ciertas aplicaciones de potencia (regulación y control de motores, etapas de potencia de sonido, fuentes de alimentación, etc.), y por ello también resulta conveniente estudiarlos. Y los transistores IGBT son los transistores de potencia en la industria, los que mayores tensiones y corrientes soportan.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

La zona del emisor es la más dopada de las tres, es decir, la más rica en portadores de carga mayoritarios (electrones). El nombre de emisor se debe a que es de donde parte, se emite, es decir, la fuente de electrones que da lugar a la corriente de salida del transistor (I_{CE}).

La zona de la base es la menos dopada y más fina de las tres, y es la que permite el control de la corriente de salida.

La zona del colector está medianamente dopada y es la más gruesa; es donde se recibe la corriente del emisor (I_E), y donde se disipa más potencia. Se llama *colector* debido a que es donde se "recolectan" los electrones que han partido del emisor.

Esta construcción física determina al transistor bipolar (BJT), el tipo de transistor de aplicación más general; por ello, es normal referirse a él como simplemente *transistor*.

7.2.2 Funcionamiento resumido y práctico del transistor

Como se observa en la formación física del transistor NPN (figura 7.2), entre la base y el emisor aparece la configuración de un diodo; es una unión P-N. Es decir, entre las patillas base y emisor tendremos un comportamiento eléctrico como un diodo normal. Si se polariza directamente, aplicando una tensión positiva en la base con respecto al emisor, aparecerá una caída directa típica de unos 0,7 V y circulará una pequeña corriente (corriente de base, I_B).

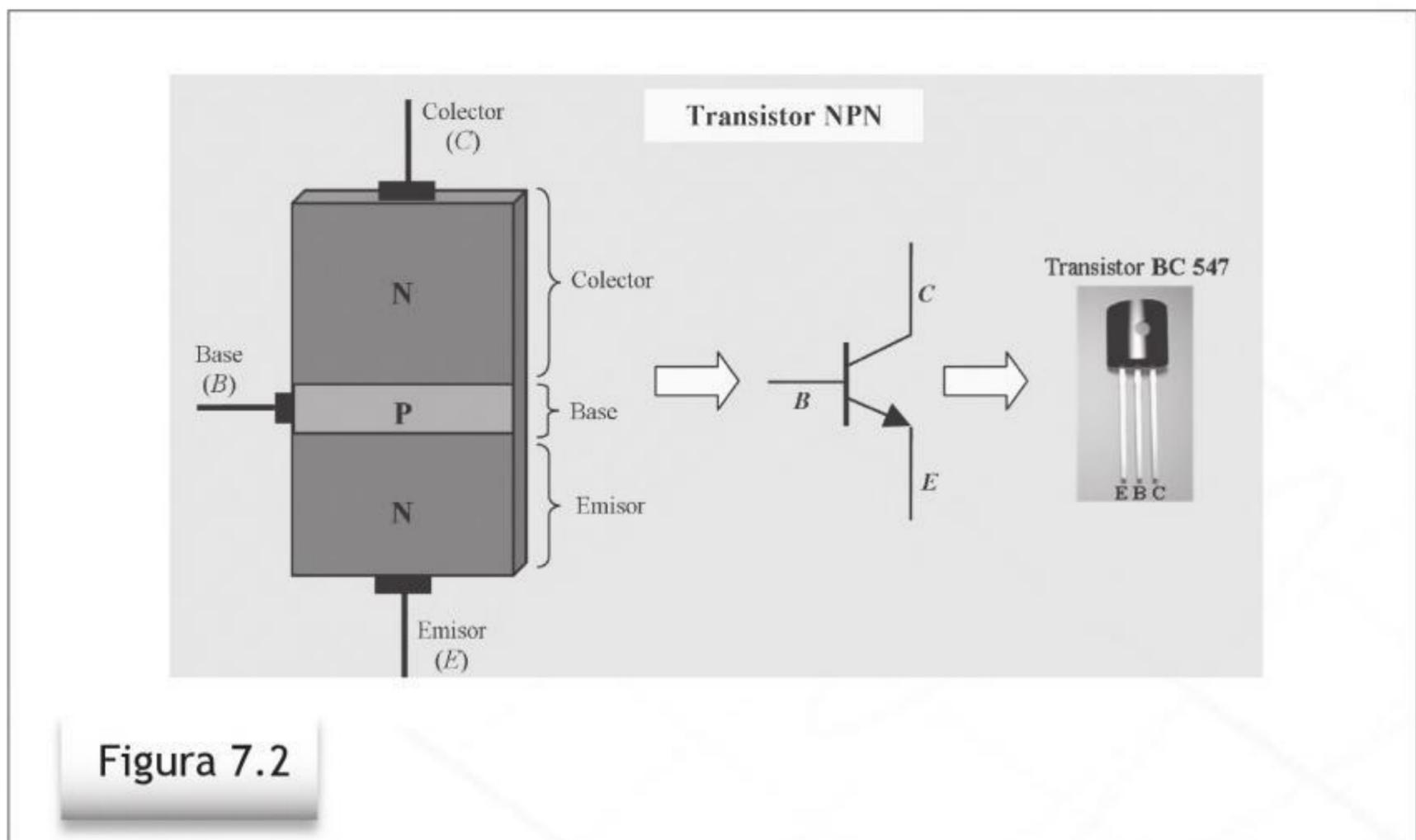


Figura 7.2

Constitución física del transistor bipolar (tipo NPN).



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

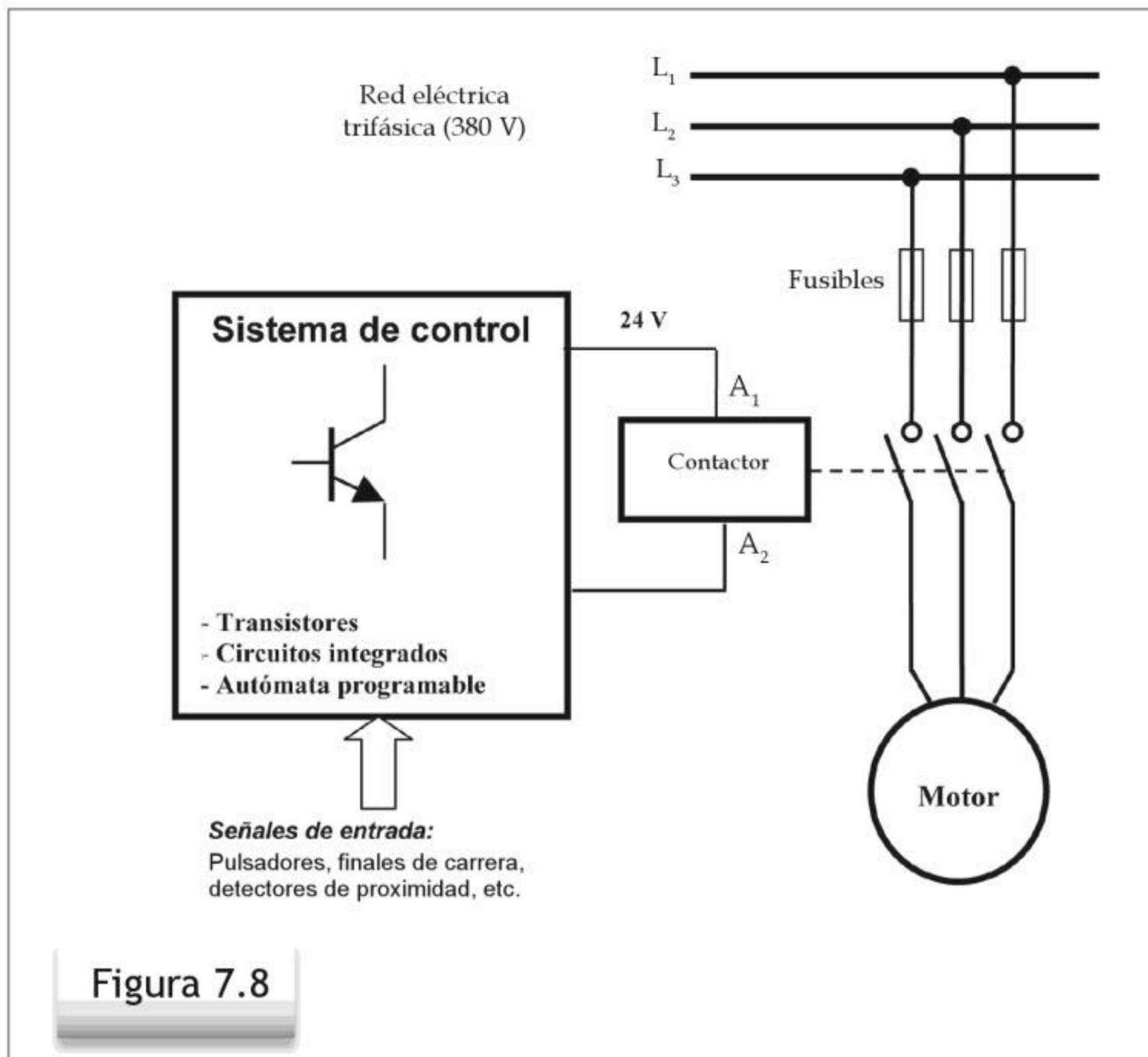


You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

7.3.3 Control industrial

Una aplicación bastante diferente se representa en la figura 7.8; en este caso, se trata del control de cargas de cierta potencia, como el control del motor de un ascensor, alimentado con la red eléctrica. La conexión y desconexión del motor se realiza mediante un componente electromecánico llamado *contactor* (un tipo de relé de potencia), que al activarse (24 V) mueve unos contactos y hace que el motor reciba la tensión de la red eléctrica. Pero para eso se necesitan unos circuitos de control que, cuando son electrónicos, se basan en circuitos digitales; pero a su vez, sus circuitos están realizados con base en transistores.

También, de manera sencilla, mediante una muy pequeña corriente de control aplicada a un transistor (al activar un pulsador), gracias al efecto amplificador, se podría activar un pequeño relé y sus contactos activar al contactor de potencia; el motor se pondría en marcha con la simple pulsación de un pequeño interruptor o pulsador, por el cual circularía una corriente de menos de 1 mA.



Mediante circuitos integrados (y otros dispositivos semiconductores), cuya realización se basa en los transistores, se obtienen sistemas de control en la industria.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

7.5 ACTIVIDAD PRÁCTICA

Comprobación de transistores con el polímetro

Comprobaciones de un NPN (BC 547)

Se trata de comprobar el estado de un transistor NPN (BC 547) mediante el polímetro en prueba de diodos. Se realizarán las medidas ya explicadas, y se apuntará (en el recuadro de la hoja de actividades prácticas donde pone display) los valores que aparezcan en la pantalla (display) del polímetro en cada medida. Como ejemplo del proceso a realizar, en la figura 7.14 se representa la hoja de actividades para la comprobación del transistor BC 547.

Comprobaciones de un PNP (BC 557)

Basándonos en esta actividad práctica, realizar las mismas pruebas con un transistor de tipo PNP; el BC 557, cuyo patillaje es igual que el del BC 547.

Realizar una hoja de actividades prácticas como la mostrada (figura 7.14) y rellenarla teniendo en cuenta que se trata ahora de un transistor PNP.

En la figura 7.15 se muestra la documentación necesaria sobre los transistores para realizar las pruebas.

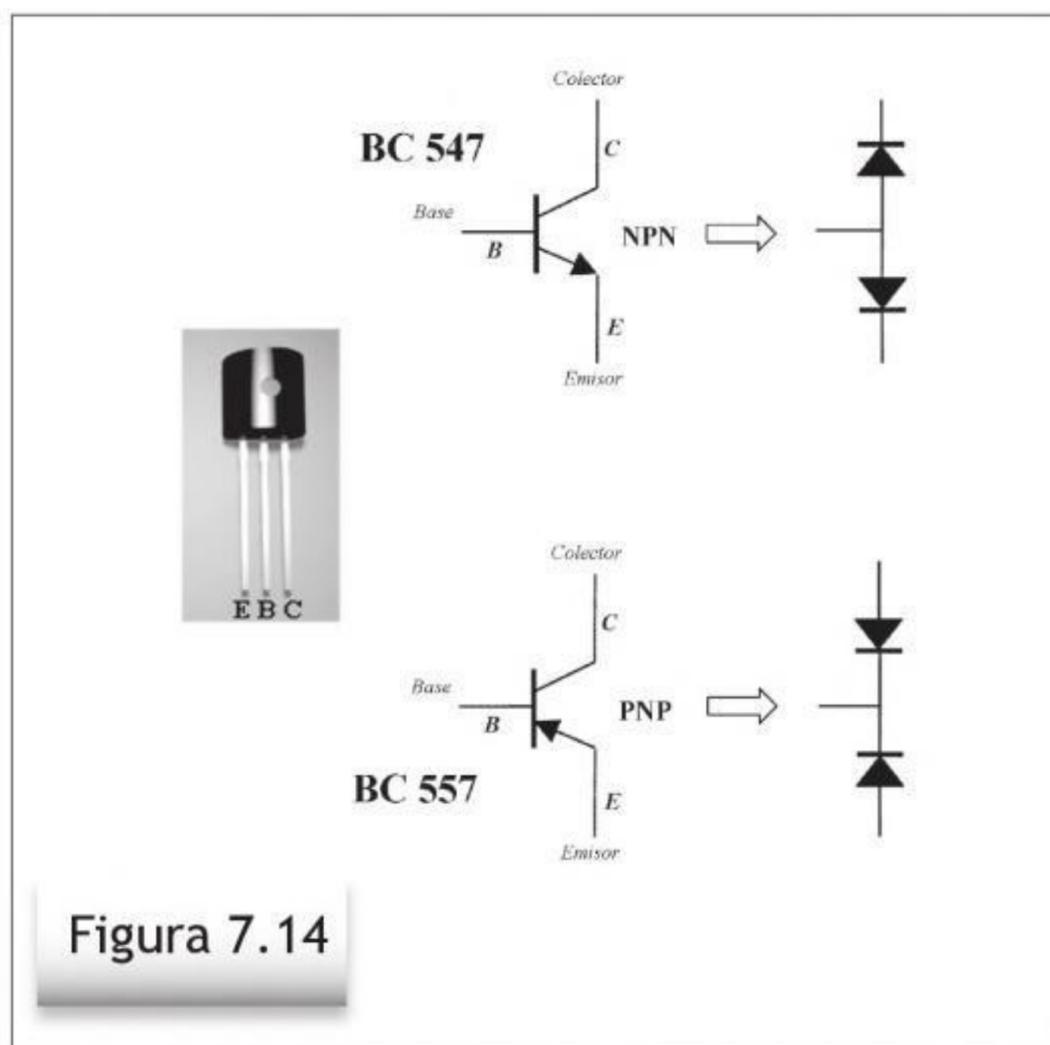


Figura 7.14

Patillaje del transistor BC 547/ BC 557, y los circuitos de diodos que nos sirve de base para hacer las comprobaciones del transistor con el polímetro (poniéndolo en prueba de diodos).



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

8.2 POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR

Polarizar el transistor es aplicarle unas determinadas tensiones y corrientes, adecuadas al tipo de aplicación que se le vaya a dar. De una manera general y sencilla, en un NPN se necesita aplicar una tensión positiva entre colector y emisor, y una corriente en la patilla base (que permitirá el control de la corriente de colector-emisor).

Hay que saber que una tensión aplicada entre los terminales colector-emisor si a la base no se aplica corriente, no da lugar a corriente colector-emisor, porque entre colector-emisor es que como dos diodos en contrasentido, (figura 8.1).

En general, se necesita polarizar en forma directa la unión base-emisor, para que circule una cierta corriente de base (que normalmente es muy pequeña, μA o mA); y ésta es la corriente de entrada, que dará lugar a una corriente entre colector y emisor (la corriente de salida), que procederá de la fuente de alimentación (V_{CC}).

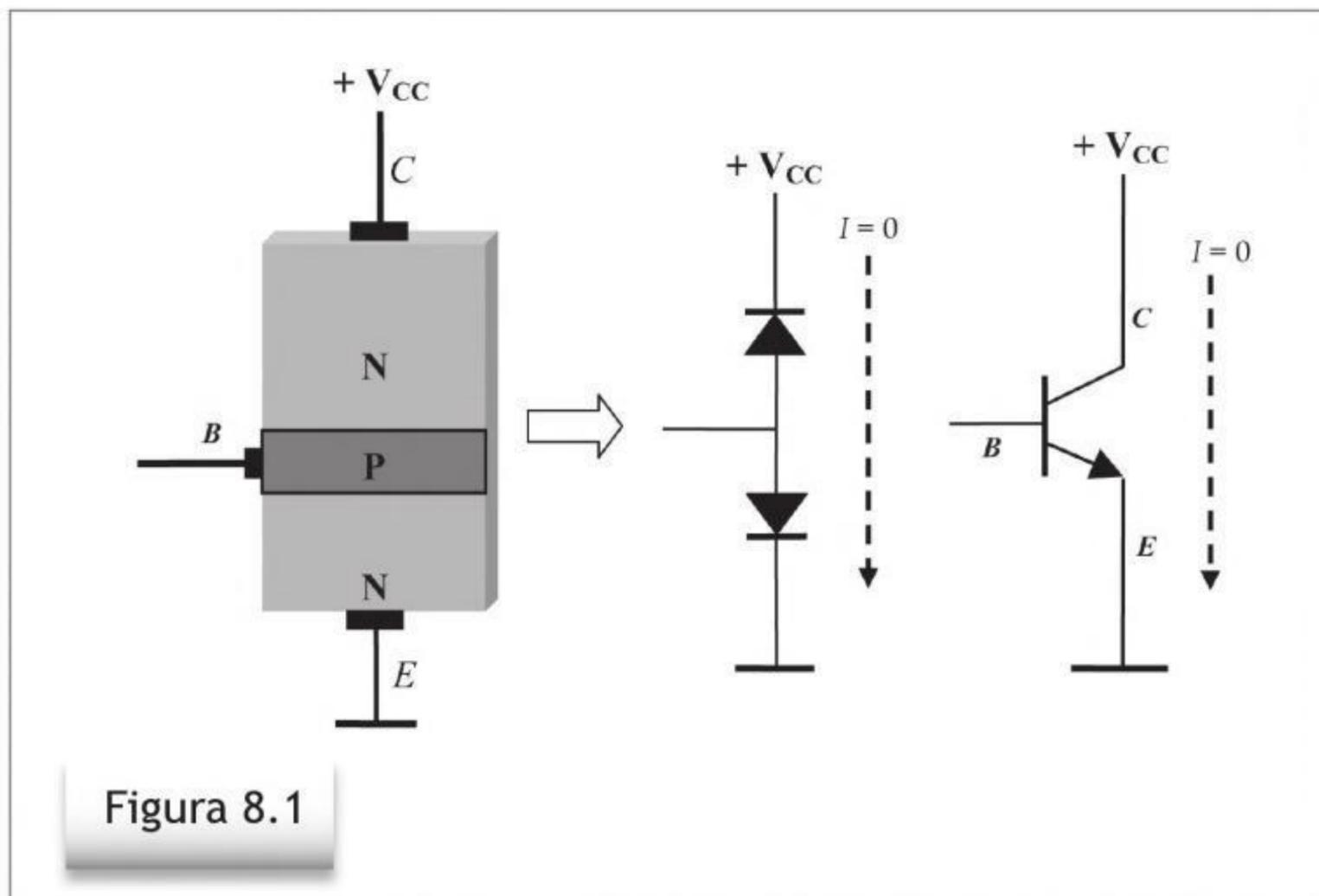


Figura 8.1

Si no se aplica corriente de base, no existe circulación de corriente entre colector y emisor; el transistor se dice que está en corte (o bloqueado).

8.3 EL CIRCUITO FUNDAMENTAL: MONTAJE EN EMISOR COMÚN

La aplicación más común, la más conocida, se llama montaje en emisor común. En la figura 8.2 se muestra un circuito práctico de ejemplo, basado en un transistor NPN, que nos sirve para su estudio.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



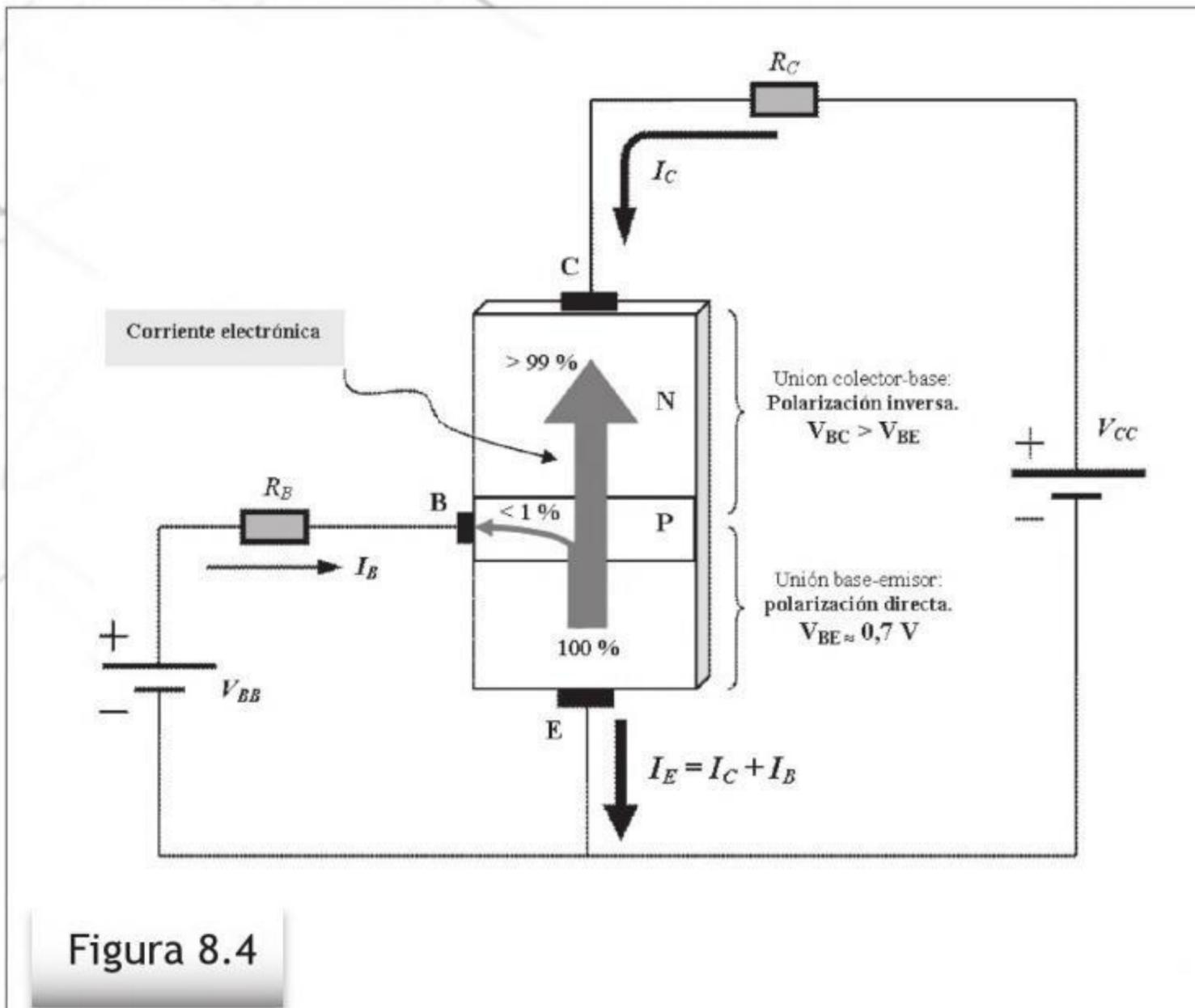
You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



Transistor NPN polarizado en su zona activa, en el cual se representa el efecto de amplificación.

Al polarizarse el transistor en su zona activa, la mayoría de los electrones que salen del emisor son captados por el colector (más de 99%), y sólo unos pocos electrones (menos de 1%) se pueden recombinar en la base. La intensidad de base es muy pequeña, pero controla un flujo grande de electrones que constituye la intensidad de colector; cualquier variación en la corriente de base se transmite a la corriente de colector (si el transistor está polarizado en su forma activa).

Este efecto de amplificación, "efecto transistor", sólo aparece si la fabricación de las uniones de los materiales semiconductores (N y P) se ha hecho como debe ser. La zona de la base tiene que ser muy fina (en comparación con las otras) y con bajo nivel de dopado, para que los electrones que salen del emisor tengan pocas posibilidades de que se puedan recombinar con los huecos de la base.

La zona del emisor está fuertemente dopada para que disponga de muchos portadores de carga (electrones), es la fuente emisora de la corriente (por eso se llama emisor). Y el colector, con un espesor algo mayor que el emisor, está medianamente dopado; en el colector es donde se recoge la mayoría de electrones que salen del emisor, es donde se "recolecta" la corriente de salida. Para tener una idea de los tamaños de los materiales de las zonas de material semiconductor del transistor, la anchura de la base puede ser de unos 0,025 mm y entre colector y emisor puede haber unos 3,5 mm.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

En funcionamiento normal esto es así; pero, por averías (unión interna del colector cortada, por ejemplo), puede ser que no exista corriente de colector y que sí exista corriente de base. Esta avería se deduce fácilmente mediante el polímetro; basta medir la tensión entre base y emisor (V_{BE}). Si V_{BE} es de unos 0,7 V y no hay corriente de colector, está claro que hay alguna avería; puede ser que el transistor esté averiado, o también un fallo en la tensión de alimentación o en la carga.

8.9.2 Estado de saturación

Se dice que el transistor está en estado de saturación, cuando la intensidad de colector es máxima; no aumenta más aunque se aumente la intensidad de base.

El estado de saturación se da en el circuito de la figura 8.6 cuando el interruptor de mando está abierto, porque entonces a través de la resistencia R_B puede circular una corriente de base tal que la corriente de colector sea la máxima (según la resistencia R_C y V_{CC}). En dicho estado, la tensión entre colector y emisor es muy baja (próxima a 0 V). Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Estado de saturación} = I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad \text{y} \quad V_{CE} = 0$$

En este estado, como se deduce, aunque se aumente la corriente de base, la intensidad de colector no puede aumentar más (para que aumentara se tendría que aumentar la tensión V_{CC} o disminuir el valor de R_C).

Para asegurarse de que un transistor queda saturado, en la práctica se toma una corriente de base que sea superior a la necesaria teórica (según la β del transistor):

$$I_{B(Sat)} > \frac{I_C}{\beta}$$

Ejemplo: Si los datos son $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $R_C = 1 \text{ k}$ y la ganancia del transistor $\beta = 150$, la intensidad de base necesaria (teórica) que saturaría al transistor es $33 \mu\text{A}$:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{5}{1000} = 0,005 \text{ A} \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0,005}{150} = 0,000033 \text{ A} = 33 \mu\text{A}$$

Pero para asegurarse de la saturación, como el factor β puede variar hasta en transistores del mismo tipo y fabricados en el mismo momento (además de factores como la temperatura y otros), se tomaría una corriente de base unas 10 veces mayor; o sea, una corriente de base de $I_{B(sat)} = 0,00033 = 330 \mu\text{A}$.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

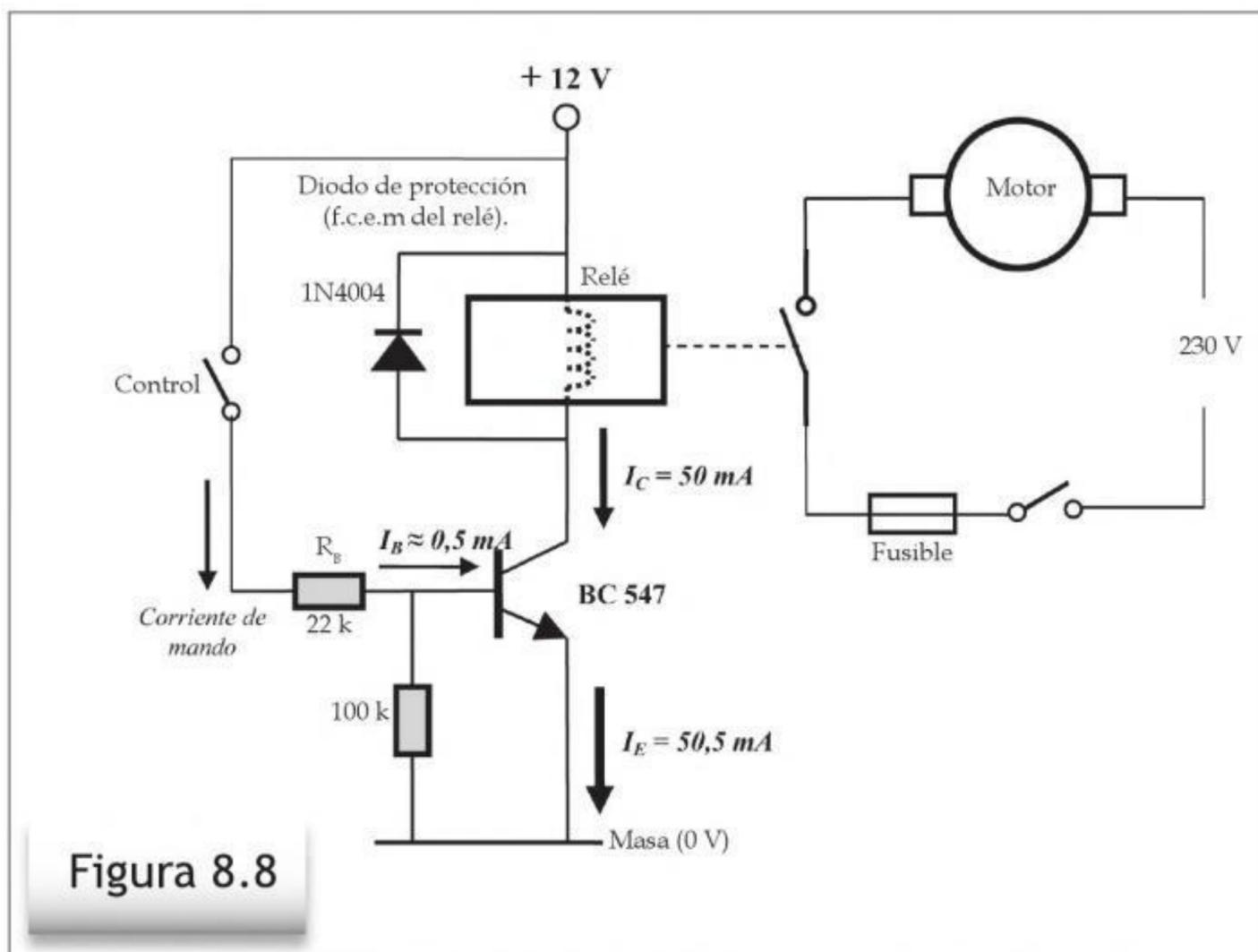


You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

¡Razonar los resultados!	¡Razonar los resultados!

8.10.2 Control de un relé para activar una carga en alterna

Otro circuito similar al anterior, es decir, donde el transistor funciona en conmutación, es el que aparece en la figura 8.8. En este caso se trata de activar un pequeño relé, mediante el cual se podría activar directamente una carga alimentada por la red eléctrica, que podría ser una bombilla, un motor, etc. Si el montaje se realiza en el aula, por cuestiones prácticas y sobre todo de seguridad, se sugiere que la carga sea una lamparita de 12 V; de esta manera se consiguen los mismos resultados didácticos que si la carga fuera un pequeño motor o bombilla conectada a la red eléctrica (230 V), y evitamos utilizar la red eléctrica.



Mediante un pequeño interruptor de mando, con una débil corriente, gracias al efecto amplificador, se puede poner en marcha, por ejemplo, un motor alimentado con la red eléctrica.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

Para que funcione como amplificador lineal, dentro de una máxima linealidad, la tensión entre colector y emisor debe de ser la mitad de la tensión de alimentación (V_{CC}).

$$\text{Para funcionamiento lineal} \Rightarrow V_{CE} \cong \frac{V_{CC}}{2}$$

Y este montaje práctico se ha diseñado para que cumpla esto. Con fines didácticos, a continuación hacemos un estudio sencillo y práctico de dicho circuito.

Partiendo de la medida de tensión en la resistencia de emisor (R_E) se pueden hallar muchos datos y deducir razonamientos sobre el funcionamiento del circuito.

El análisis práctico de los circuitos, y más en el comienzo del estudio de los circuitos a transistores, lo ideal es hacerlo montando el circuito en una placa *protoboard* o de topas (soldando los componentes). Pero también es posible realizarlo mediante el programa Multisim, que es como, en este caso, se ha hecho.

Como actividad práctica, se recomienda hacer esto de las dos maneras; montaje real de los componentes, y simulación mediante el programa Multisim.

8.11.1.1 Tensión de emisor

La medida de la tensión en la resistencia de emisor (R_E) ha dado:

$$V_{RE} \cong 0,47 \text{ V}$$

8.11.1.2 Intensidad de emisor y colector

Conociendo la tensión en el emisor, mediante simple aplicación de la ley de Ohm, hallamos la corriente de emisor:

$$I_E = \frac{V_{RE}}{R_E} = \frac{0,47}{510} \cong 0,00092 \text{ A} = 0,92 \text{ mA}$$

Y de aquí deducimos también la corriente de colector, cuyo valor será: $I_C \cong I_E = 0,92 \text{ mA}$.

8.11.1.3 Tensión en la resistencia de colector

Y puesto que la corriente de colector es aproximadamente igual a la corriente de emisor, hallamos que la tensión en la resistencia de colector será:

$$I_E \cong I_C \Rightarrow V_{RC} = I_C R_C = 0,00092 \times 5100 = 4,7 \text{ V}$$

Lo cual era un resultado previsible, ya que la resistencia $R_C = 5\text{k}\Omega$ es 10 veces mayor que la resistencia $R_E = 510 \Omega$; por eso, la tensión en la resistencia R_C resulta también 10 veces mayor que la tensión en la resistencia R_E .



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.

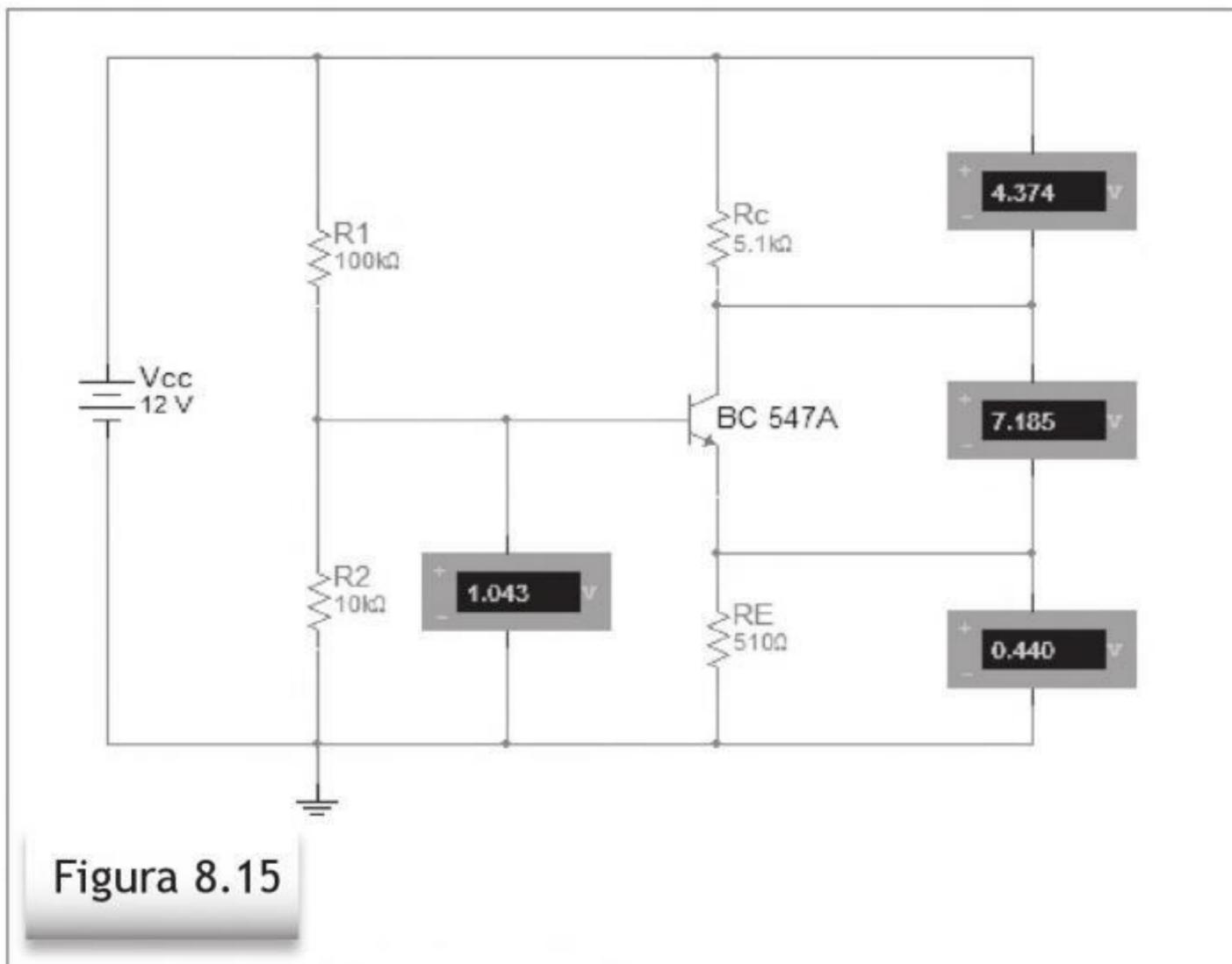


Figura 8.15

Tensiones de polarización del circuito, obtenidas mediante el programa Multisim. En este caso, a nivel comparativo, se ha utilizado el transistor BC547A, cuya ganancia es bastante más baja que la del BC547C.

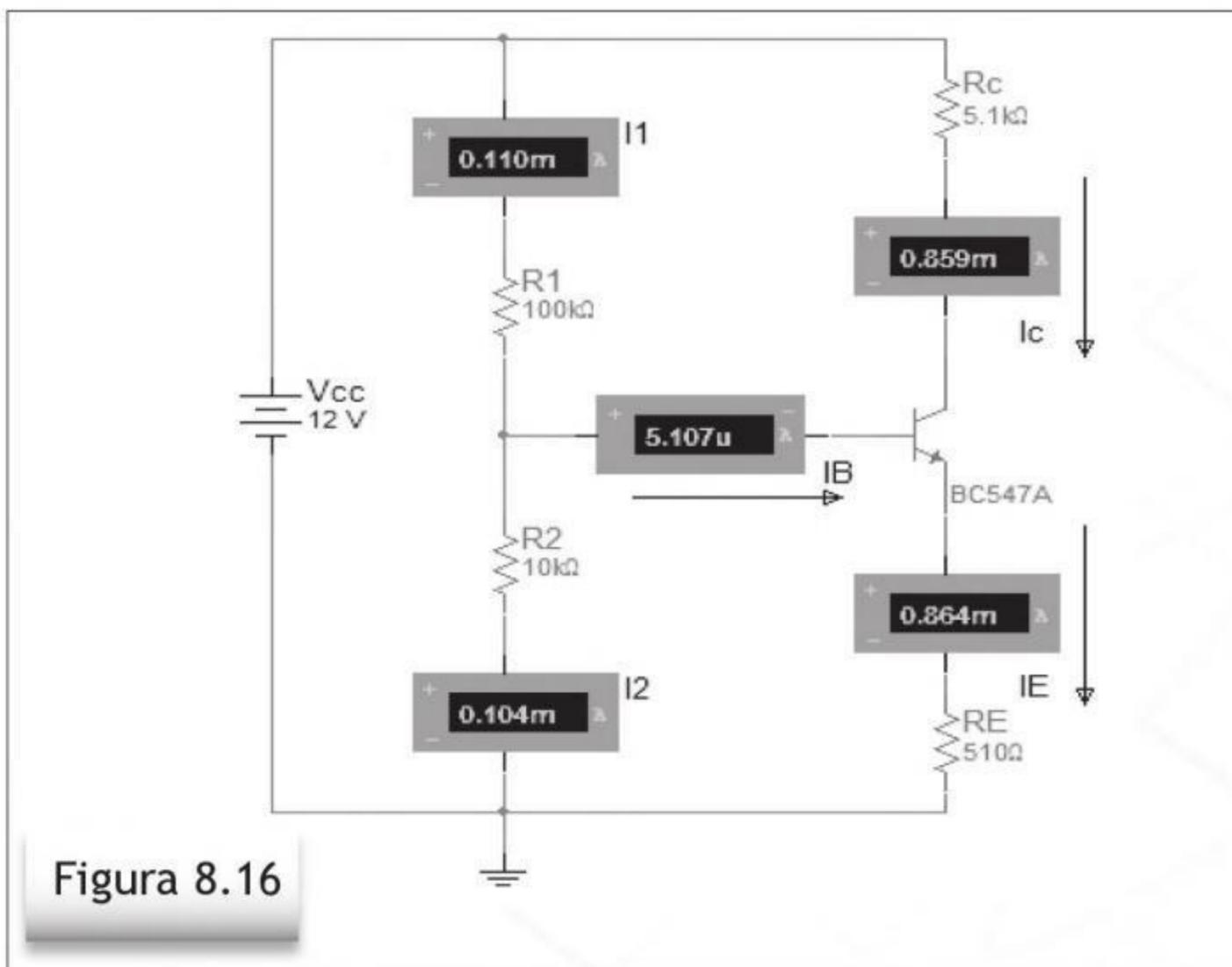


Figura 8.16

Corrientes de polarización del circuito, con el transistor BC547A.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.



You have either reached a page that is unavailable for viewing or reached your viewing limit for this book.