

## Diodo Zener

### El diodo Zener

Los diodos rectificadores y los diodos de pequeña señal nunca trabajan de forma intencional en la región de disrupción o ruptura, ya que podrían resultar dañados. Un **diodo zener** es diferente; es un diodo de silicio que el fabricante ha optimizado para trabajar en la región de disrupción. El diodo zener es el elemento fundamental de los reguladores de tensión, circuitos que mantienen prácticamente constante la tensión en la carga a pesar de las variaciones en la tensión de la red y en la resistencia de carga.

### Gráfica Tensión-Corriente (V-I)

La figura *a* muestra el símbolo de un diodo zener y la figura *b* muestra un símbolo alternativo.

En ambos símbolos, las líneas parecen una z, lo que indica que se trata de un diodo "zener". Variando el nivel de dopaje de los diodos de silicio, un fabricante puede obtener diodos zener con tensiones de ruptura de entre aproximadamente 2 hasta 1000 V. Estos diodos pueden operar en cualquiera de las tres regiones: directa, de fugas y de disrupción.

En la figura *c* puede verse la gráfica *I-V* (corriente-tensión)

de un diodo zener. En la región directa, comienza a conducir para una tensión de unos 0,7 V, igual que un diodo de silicio normal. En la **región de fugas** (entre cero y la tensión de disrupción), sólo circula una pequeña corriente inversa. En un diodo zener, la región de disrupción presenta un **codo** muy abrupto, seguido por un incremento casi vertical de la corriente. Observe que la tensión se mantiene prácticamente constante y es aproximadamente igual a  $V_Z$  en casi toda la región de disrupción. Habitualmente, las hojas de datos especifican el valor de  $V_Z$  para una determinada corriente de prueba  $I_{ZT}$ .

La figura *c* también especifica la corriente inversa máxima  $I_{ZM}$ . Mientras que la corriente inversa sea menor que  $I_{ZM}$ , el diodo operará dentro de su zona de seguridad. Si la corriente se hace mayor que  $I_{ZM}$ , el diodo se destruirá. Para impedir una corriente inversa excesiva, debe utilizarse una *resistencia limitadora de corriente*.

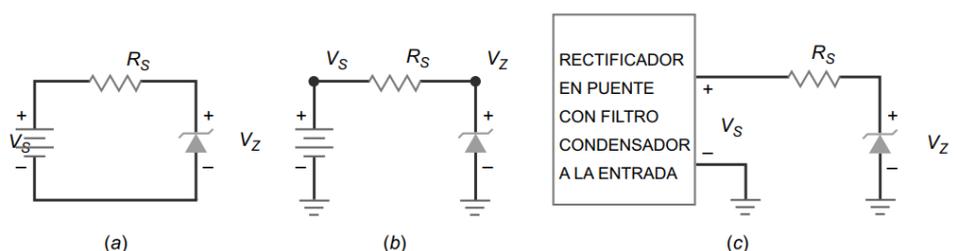
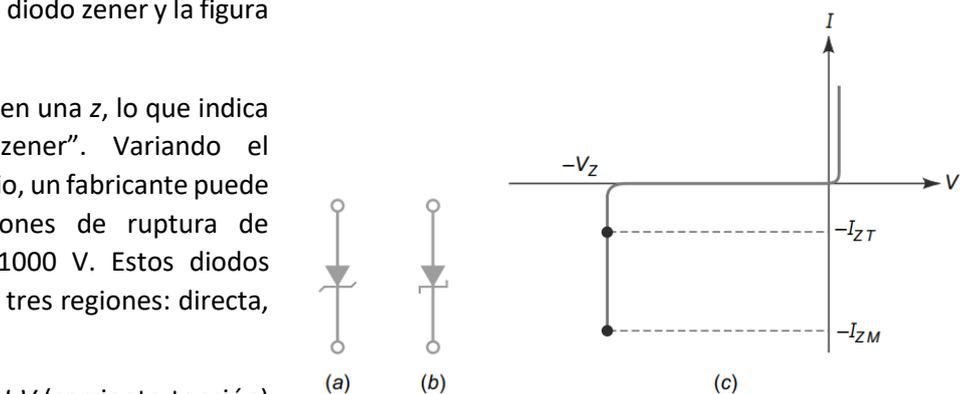
### Resistencia Zener

En la aproximación de un diodo de silicio, la tensión directa que cae en un diodo es igual a la tensión umbral más la tensión adicional que cae en la resistencia interna.

De forma similar, en la región de disrupción, la tensión inversa que cae en un diodo es igual a la tensión de disrupción más la tensión adicional que cae en la resistencia interna. En la región inversa, la resistencia interna se denomina **resistencia zener**. Esta resistencia es igual a la inversa de la pendiente en la región de disrupción. En otras palabras, cuanto más vertical es la región de disrupción, menor es la resistencia zener.

### Regulador Zener

A veces, al diodo zener se lo llama *diodo regulador de tensión* porque mantiene una tensión de salida constante incluso cuando la corriente que lo recorre varía. Como se muestra en la Figura *a*, en la zona de operación normal, el



diodo zener tiene que estar polarizado en inversa. Además, para operar en la región de disrupción, la tensión de la fuente  $V_S$  tiene que ser mayor que la tensión de disrupción del zener  $V_Z$ . Siempre se utiliza una resistencia serie  $R_S$  para limitar la corriente del zener a una corriente menor que su máxima corriente de operación. Por otro lado, el diodo zener se quemará, como cualquier otro dispositivo si su disipación de potencia es excesiva. La figura *b* muestra una forma alternativa de dibujar el circuito incluyendo las conexiones a tierra.

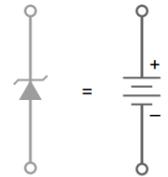
En la figura anterior, la tensión en la resistencia serie o limitadora de corriente es igual a la diferencia entre la tensión de la fuente y la tensión del zener. Por tanto, la corriente que circula por la resistencia es:

$$I_S = \frac{V_S - V_Z}{R_S}$$

Una vez que se conoce el valor de la corriente serie, también se conoce el valor de la corriente del zener, ya que el circuito de la Figura 5.2 es un circuito serie. Observe que  $I_S$  tiene que ser menor que  $I_{ZM}$

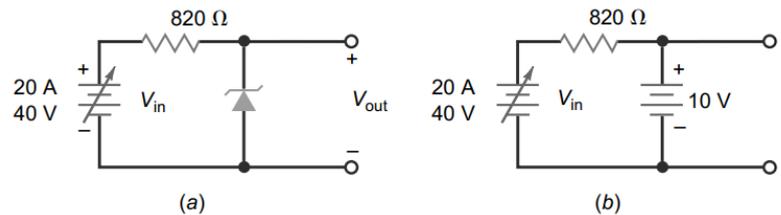
**El zener ideal en vacío**

La figura adjunta muestra la aproximación ideal de un diodo zener. Esto significa que un diodo zener operando en la región de disrupción idealmente se comporta como una batería. En un circuito, esto quiere decir que puede reemplazar mentalmente un diodo zener por una fuente de tensión  $V_Z$ , suponiendo que el zener esté funcionando en la región de disrupción.



**Ejemplo:** supongamos que el diodo zener de la siguiente figura tiene una tensión de 10 V. ¿Cuáles son las corrientes máxima y mínima?

**SOLUCIÓN:** La tensión aplicada puede variar entre 20 y 40 V. Idealmente, un diodo zener se comporta como la batería mostrada en la figura *b*. Por tanto, la tensión de salida es de 10 V para cualquier tensión de fuente comprendida entre 20 y 40 V.



La corriente mínima se obtiene cuando la tensión de la fuente es mínima. En este caso, tenemos 20 V en el terminal izquierdo de la resistencia y 10 V en el terminal derecho. Luego la tensión en la resistencia es 20 V - 10 V, es decir 10 V. Aplicando la ley de Ohm:

$$I_S = \frac{10 \text{ V}}{820 \Omega} = 12,2 \text{ mA}$$

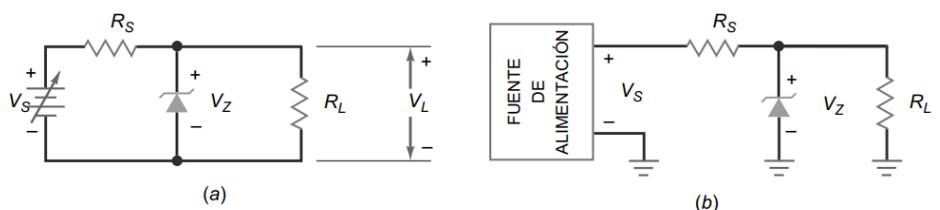
La corriente máxima se obtiene cuando la tensión de la fuente es 40 V. En este caso, la tensión que cae en la resistencia es de 30 V, lo que da una corriente de:

$$I_S = \frac{30 \text{ V}}{820 \Omega} = 36,6 \text{ mA}$$

En un regulador de tensión como el de la Figura *a*, la tensión de salida se mantiene constante en 10 V, a pesar de que la tensión de la fuente varíe entre 20 y 40 V. Cuanto mayor es la tensión de la fuente mayor es la corriente del zener, pero la tensión de salida se mantiene constante en 10 V (si se tiene en cuenta la resistencia del zener, la tensión de salida aumenta ligeramente cuando aumenta la tensión de la fuente)

**Regulador Zener con carga**

En la figura *a* se muestra un regulador zener *con carga* y en la figura *b* se ilustra el mismo circuito con las conexiones a masa. El diodo zener opera en la región de disrupción y mantiene una tensión constante en la carga. Aun cuando la tensión de la fuente o la resistencia de carga varíen, la tensión en la carga permanecerá fija y será igual a la tensión del zener.



### Funcionamiento en la región de disrupción o ruptura

¿Cómo podemos saber si el diodo zener de la figura anterior está operando en la región de disrupción? Teniendo en cuenta el divisor de tensión, la tensión de Thevenin que ve el diodo es:

$$V_{TH} = \frac{R_L}{R_S + R_L} V_S$$

Ésta es la tensión del diodo zener cuando está desconectado del circuito. Esta tensión de Thevenin tiene que ser mayor que la tensión del zener; en caso contrario, el zener no entrará en la región de disrupción y sólo estará polarizado en sentido inverso con una pequeña corriente de fuga.

### Corriente serie

A menos que se diga lo contrario, en las siguientes exposiciones supondremos que el diodo zener está funcionando en la región de disrupción. En la Figura 5.5, la corriente que circula por la resistencia serie viene dada por:

$$I_S = \frac{V_S - V_Z}{R_S}$$

que es la ley de Ohm aplicada a la resistencia limitadora de corriente. Es la misma haya o no resistencia de carga. En otras palabras, si se desconecta la resistencia de carga, la corriente que atraviesa a la resistencia serie sigue siendo igual a la tensión que cae en la resistencia dividida entre el valor de la resistencia.

### Corriente de carga

Idealmente, la tensión en la carga es igual a la tensión del zener porque la resistencia de carga está en paralelo con el diodo zener, lo que en forma de ecuación se expresa como sigue:

$$V_L = V_Z$$

Esto nos permite utilizar la ley de Ohm para calcular la corriente por la carga:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

### Corriente del zener

Aplicando la ley de Kirchhoff:

$$I_S = I_Z + I_L$$

El diodo zener y la resistencia de carga están en paralelo. La suma de sus corrientes tiene que ser igual a la corriente total, que es la misma que la corriente que circula por la resistencia serie.

Podemos reordenar la ecuación anterior para obtener la importante fórmula siguiente:

$$I_Z = I_S - I_L$$

Esto nos dice que la corriente del zener ya no es igual a la corriente serie, como sucede en el regulador sin carga. Debido a la resistencia de carga, la corriente del zener ahora es igual a la corriente serie menos la corriente por la carga.

### Efecto Zener y Efecto Avalancha

Cuando la tensión de disrupción es menor que 4 V, sólo tiene lugar el efecto zener. Cuando la tensión de disrupción es mayor que 6 V, sólo se produce el efecto de avalancha y, cuando la tensión de disrupción toma valores comprendidos entre 4 y 6 V, aparecen ambos efectos.

### Efecto de la Temperatura

Cuando la temperatura ambiente varía, la tensión del zener también varía ligeramente. En las hojas de características, el efecto de la temperatura se indica como el **coeficiente de temperatura**, que se define como la variación de la tensión de disrupción por grado que aumenta la temperatura. El coeficiente de temperatura es negativo para las tensiones de disrupción menores que 4 V (efecto zener). Por ejemplo, un diodo zener con una tensión de disrupción de 3,9 V puede

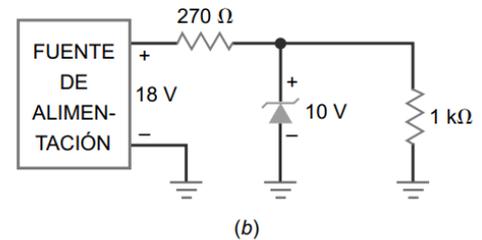
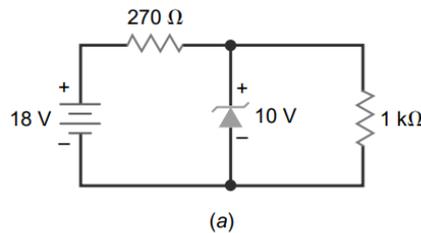
tener un coeficiente de temperatura de  $1,4 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . Si la temperatura aumenta en  $1^\circ$ , la tensión de disrupción disminuye  $1,4 \text{ mV}$ .

Por otro lado, el coeficiente de temperatura es positivo para tensiones de disrupción mayores que  $6 \text{ V}$  (efecto de avalancha). Por ejemplo, un diodo zener con una tensión de disrupción de  $6,2 \text{ V}$  puede tener un coeficiente de temperatura de  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . Si la temperatura aumenta en  $1^\circ$ , la tensión de disrupción aumenta en  $2 \text{ mV}$ .

### Ejemplo:

El circuito de la siguiente figura:

- ¿Está trabajando en la zona de ruptura?



**SOLUCIÓN:** Aplicando la Ecuación

$$V_{TH} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{270 \Omega + 1 \text{ k}\Omega} (18 \text{ V}) = 14,2 \text{ V}$$

Dado que **la tensión de Thevenin es mayor que la tensión del zener**, el diodo zener está operando en la región de ruptura.

- ¿Cuál es la corriente del zener?

**SOLUCIÓN:** Dado que conocemos la tensión en ambos extremos de la resistencia serie, restándolos podemos ver que caen  $8 \text{ V}$  en la resistencia serie. Aplicando entonces la ley de Ohm:

$$I_S = \frac{8 \text{ V}}{270 \Omega} = 29,6 \text{ mA}$$

Puesto que la tensión en la carga es de  $10 \text{ V}$ , la corriente por la carga es:

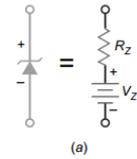
$$I_L = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}$$

La corriente del zener es la diferencia de las dos corrientes:

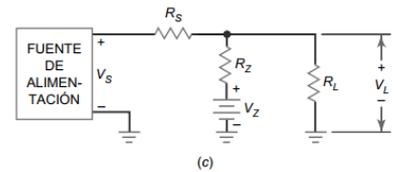
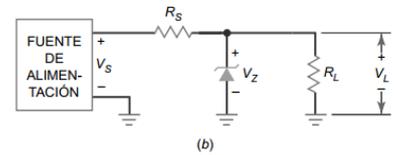
$$I_Z = 29,6 \text{ mA} - 10 \text{ mA} = 19,6 \text{ mA}$$

**Efecto en la tensión en la carga**

En la siguiente figura *a* se muestra la segunda aproximación de un diodo zener: una resistencia de zener en serie con una batería ideal. La tensión total en el diodo zener es igual a la tensión de disrupción más la tensión que cae en la resistencia del zener. Puesto que  $R_Z$  es relativamente pequeña en un diodo zener, tiene un efecto muy pequeño sobre la tensión total que cae en el diodo zener.



¿Cómo podemos calcular el efecto de la resistencia del zener en la tensión de carga? La figura *b* muestra una fuente de alimentación que excita a un regulador zener con carga. Idealmente, la tensión en la carga es igual a la tensión de disrupción  $V_Z$ . Pero en la segunda aproximación, se incluye la resistencia del zener, como se muestra en la figura *c*. La caída de tensión adicional en  $R_Z$  aumentará ligeramente la tensión en la carga.



Dado que la corriente del zener circula por la resistencia del zener en la figura *c*, la tensión en la carga viene dada por:

$$V_L = V_Z + I_Z R_Z$$

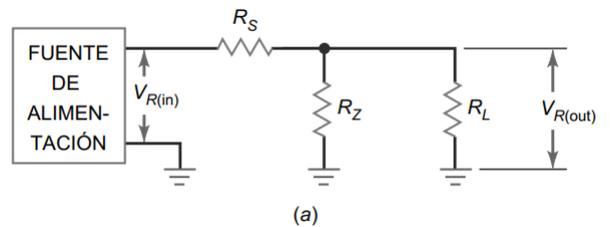
Como se puede ver, la variación en la tensión de carga respecto del caso ideal es:

$$\Delta V_L = I_Z R_Z$$

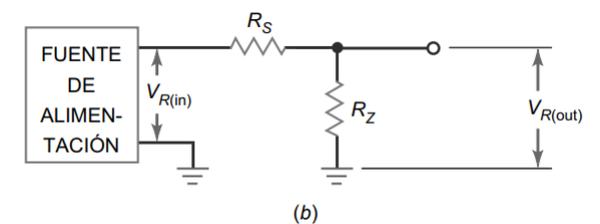
Normalmente,  $R_Z$  es pequeña, por lo que la variación de tensión también lo es, habitualmente, de unas décimas de voltio. Por ejemplo, si  $I_Z$  10 mA y  $R_Z$  10  $\Omega$ , entonces  $V_L$  0,1 V.

**Efecto de reducción del rizado (ripple)**

En lo que se refiere al rizado, podemos utilizar el circuito equivalente de la Figura *a*. En otras palabras, los únicos componentes que afectan al rizado son las tres resistencias indicadas. Podemos simplificar esto todavía más. En un diseño típico,  $R_Z$  es mucho más pequeña que  $R_L$ . Por tanto, los dos únicos componentes que tienen un efecto significativo sobre el rizado son la resistencia serie y la resistencia del zener mostradas en la Figura *b*.



Dado que la Figura *b* es un divisor de tensión, podemos escribir la siguiente ecuación para el rizado de salida:



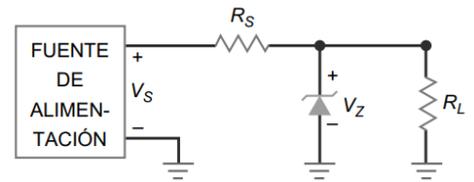
$$V_{R(out)} = \frac{R_Z}{R_S + R_Z} V_{R(in)}$$

Los cálculos del rizado no son críticos; es decir, no tienen que ser exactos. Dado que, en un diseño típico,  $R_S$  siempre es mucho mayor que  $R_Z$ , podemos utilizar esta aproximación para la detección de fallas y los análisis preliminares:

$$V_{R(out)} \approx \frac{R_Z}{R_S} V_{R(in)}$$

**Ejemplo 1:**

El diodo zener de la siguiente figura tiene una tensión de disrupción de 10 V y una resistencia zener de 8,5 Ω. Calcule la tensión en la carga cuando la corriente del zener es de 20 mA.



**SOLUCIÓN** La variación de la tensión de carga es igual a la corriente del zener por la resistencia del zener:

$$\Delta V_L = I_Z R_Z = (20 \text{ mA})(8,5 \Omega) = 0,17 \text{ V}$$

La tensión en la carga es:

$$V_L = 10 \text{ V} + 0,17 \text{ V} = 10,17 \text{ V}$$

**Ejemplo 2:**

Supongamos que para el caso de la figura anterior,  $R_S = 270 \Omega$ ,  $R_Z = 8,5 \Omega$  y  $V_R(\text{in}) = 2 \text{ V}$ . ¿Cuál es la tensión aproximada de rizado en la carga?

**SOLUCIÓN** El rizado en la carga es aproximadamente igual a la relación de  $R_Z$  y  $R_S$  por el rizado de entrada:

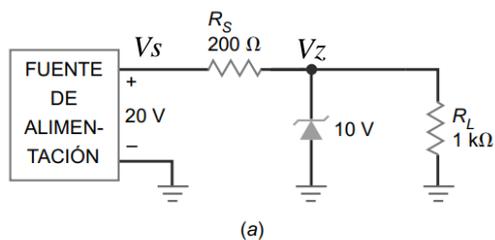
$$V_{R(\text{out})} \approx \frac{8,5 \Omega}{270 \Omega} 2 \text{ V} = 63 \text{ mV}$$

**Capacidad de Regulación del diodo Zener y punto límite de funcionamiento**

Para que un regulador zener mantenga su tensión de salida constante, el diodo zener debe permanecer en la región de disrupción (ruptura) bajo todas las condiciones de operación. Esto es equivalente a decir que tienen que circular corriente

por el zener para todas las tensiones de fuente y las corrientes de carga.

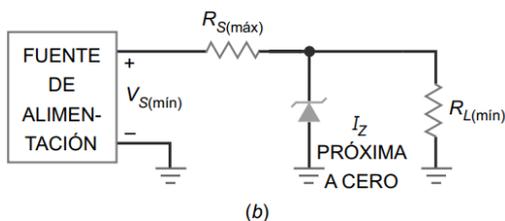
Debemos colocarnos en el “peor de los casos” para comprobar si el diodo sigue trabajando en la zona de regulación. La siguiente figura muestra un regulador zener con las siguientes condiciones:



$$I_S = \frac{V_S - V_Z}{R_S} = \frac{20 \text{ V} - 10 \text{ V}}{200 \Omega} = 50 \text{ mA}$$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 10 \text{ mA}$$

$$I_Z = I_S - I_L = 50 \text{ mA} - 10 \text{ mA} = 40 \text{ mA}$$



Veamos ahora qué pasa cuando la tensión de la fuente disminuye de 20 a 12 V. En los cálculos anteriores, podemos ver que  $I_S$  disminuirá,  $I_L$  permanecerá constante e  $I_Z$  disminuirá. Cuando  $V_S$  es igual a 12 V,  $I_S$  será igual a 10 mA e  $I_Z = 0$ . Con esta tensión de fuente tan baja, el diodo zener estará a punto de salir de la región de disrupción. **Si por cualquier causa la tensión de la fuente disminuye más, ya no habrá regulación.** En otras palabras, la tensión en la carga se hará menor que 10 V. Por

tanto, una tensión de fuente baja puede hacer que el circuito del zener falle en el proceso de regulación. **Otra forma de perder la regulación es con una corriente de carga demasiado grande.** Veamos qué ocurre en la Figura a cuando la resistencia de carga disminuye de 1 KΩ a 200 Ω. Cuando la resistencia de carga es de 200 Ω, la corriente en la carga aumenta a 50 mA y la corriente del zener disminuye hasta cero. De nuevo, el zener está próximo a salir de la región de disrupción. Por tanto, un circuito zener fallará en la regulación si la resistencia de carga es demasiado pequeña.

Por último, veamos qué ocurre cuando  $R_S$  aumenta de  $200 \Omega$  a  $1 \text{ K}\Omega$ . En este caso, la corriente serie disminuye de  $50$  a  $10 \text{ mA}$ . Por tanto, una resistencia serie grande puede hacer que el circuito no realice la regulación. La Figura *b* resume las conclusiones anteriores mostrando las condiciones del caso peor. Cuando la corriente del zener se aproxima a cero, la regulación del zener se aproxima a la condición límite de funcionamiento o de fallo. Analizando el circuito para estas condiciones del caso peor, podemos deducir la siguiente ecuación:

$$R_{S(\text{máx})} = \left( \frac{V_{S(\text{mín})}}{V_Z} - 1 \right) R_{L(\text{mín})}$$

O bien, esta forma alternativa que junto con la ecuación anterior permitirá conocer si el zener fallará bajo determinadas condiciones de operación.

$$R_{S(\text{máx})} = \frac{V_{S(\text{mín})} - V_Z}{I_{L(\text{máx})}}$$

### Ejemplo 1:

Un regulador zener tiene una tensión de entrada que puede variar entre  $22$  y  $30 \text{ V}$ . Si la tensión de salida regulada es de  $12 \text{ V}$  y la resistencia de carga varía entre  $140 \Omega$  y  $10 \text{ K}\Omega$ , ¿cuál es la resistencia serie máxima que se puede utilizar?

**SOLUCIÓN** Utilizamos la ecuación anterior para calcular la resistencia serie máxima:

$$R_{S(\text{máx})} = \left( \frac{22 \text{ V}}{12 \text{ V}} - 1 \right) 140 \Omega = 117 \Omega$$

Mientras que la resistencia serie sea menor que  $117 \Omega$ , el regulador zener funcionará correctamente bajo todas las condiciones de operación.

### Ejemplo 2:

Un regulador zener tiene un rango de tensiones de entrada que varía entre  $15$  y  $20 \text{ V}$  y una corriente de carga que varía entre  $5$  y  $20 \text{ mA}$ . Si la tensión del zener es de  $6,8 \text{ V}$ , ¿cuál es la resistencia máxima serie que se puede usar?

**SOLUCIÓN** Utilizamos una de las ecuaciones anteriores para calcular la resistencia serie máxima:

$$R_{S(\text{máx})} = \frac{15 \text{ V} - 6,8 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 410 \Omega$$

Si la resistencia serie es menor que  $410 \Omega$ , el regulador zener funcionará correctamente bajo todas las condiciones.

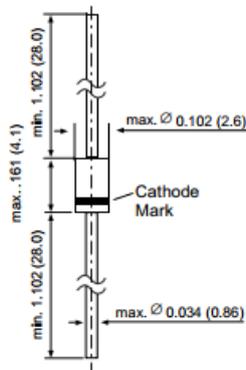
### Lectura de una Hoja de Datos (Datasheet) de un diodo Zener

La siguiente figura muestra parte de la hoja de características de la serie 1N4728A de diodos zener. La mayor parte de la información facilitada en las hojas de características está dirigida a los diseñadores, pero contienen algunos elementos que es necesario que los técnicos de mantenimiento y de pruebas conozcan.

# 1N4728 THRU 1N4764

## ZENER DIODES

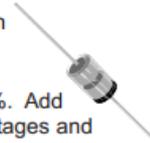
### DO-41 Glass



Dimensions in inches and (millimeters)

### FEATURES

- ◆ Silicon Planar Power Zener Diodes
- ◆ For use in stabilizing and clipping circuits with high power rating.
- ◆ Standard Zener voltage tolerance is  $\pm 10\%$ . Add suffix "A" for  $\pm 5\%$  tolerance. Other Zener voltages and tolerances are available upon request.
- ◆ These diodes are also available in the MELF case with type designation ZM4728 thru ZM4764



### MECHANICAL DATA

Case: DO-41 Glass Case

Weight: approx. 0.35 g

### MAXIMUM RATINGS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

	SYMBOL	VALUE	UNIT
Zener Current (see Table "Characteristics")			
Power Dissipation at $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	1.0 <sup>(1)</sup>	Watts
Junction Temperature	$T_j$	175	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_s$	- 65 to +175	$^\circ\text{C}$

### Potencia Máxima

La disipación de potencia de un diodo zener es igual al producto de su tensión por la corriente que le atraviesa:

$$P_Z = V_Z I_Z$$

Por ejemplo, si  $V_Z = 12\text{ V}$  y  $I_Z = 10\text{ mA}$ , entonces

$$P_Z = (12\text{ V})(10\text{ mA}) = 120\text{ mW}$$

Mientras que  $P_Z$  sea menor que la potencia máxima, el diodo zener puede trabajar en la región de disipación sin destruirse. Los diodos zener comercialmente disponibles tienen potencias máximas que varían entre 1/4 de Watt hasta más de 50 W.

Por ejemplo, la hoja de características de la serie 1N957B especifica una potencia máxima de 500 mW. Un diseño seguro deberá incluir un factor de seguridad para mantener la disipación de potencia muy por debajo de este máximo de 500 mW.

# 1N4728 THRU 1N4764

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Type	Nominal Zener voltage <sup>(3)</sup> at $I_{ZT}$ $V_Z$ V	Test current $I_{ZT}$ mA	Maximum Zener impedance <sup>(1)</sup>			Maximum reverse leakage current		Surge current at $T_A = 25^\circ\text{C}$ $I_{RM}$ mA	Maximum regulator current <sup>(2)</sup> $I_{ZM}$ mA
			ZzT at $I_{ZT}$ $\Omega$	ZzK $\Omega$	at $I_{ZK}$ mA	$I_R$ $\mu\text{A}$	at $V_R$ V		
1N4728	3.3	76	10	400	1.0	100	1	1380	276
1N4729	3.6	69	10	400	1.0	100	1	1260	252
1N4730	3.9	64	9	400	1.0	50	1	1190	234
1N4731	4.3	58	9	400	1.0	10	1	1070	217
1N4732	4.7	53	8	500	1.0	10	1	970	193
1N4733	5.1	49	7	550	1.0	10	1	890	178
1N4734	5.6	45	5	600	1.0	10	2	810	162
1N4735	6.2	41	2	700	1.0	10	3	730	146
1N4736	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4	660	133
1N4737	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5	605	121
1N4738	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6	550	110
1N4739	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7	500	100
1N4740	10	25	7	700	0.25	10	7.6	454	91
1N4741	11	23	8	700	0.25	5	8.4	414	83
1N4742	12	21	9	700	0.25	5	9.1	380	76
1N4743	13	19	10	700	0.25	5	9.9	344	69
1N4744	15	17	14	700	0.25	5	11.4	304	61

### Corriente Máxima

A menudo, las hojas de características incluyen la *corriente máxima* que el diodo zener puede manejar sin exceder su potencia máxima.  $I_{ZM}$  para un 1N961B es 32 mA. Si el valor de la corriente máxima no aparece en la hoja de características, puede calcularse de la siguiente manera:

$$I_{ZM} = \frac{P_{ZM}}{V_Z}$$

donde  $I_{ZM}$  corriente máxima del zener,  $P_{ZM}$  potencia máxima,  $V_Z$  tensión del zener.

Por ejemplo, el 1N4742A tiene una tensión de zener de 12 V y una potencia máxima de 1 W. Por tanto, la corriente máxima será:

$$I_{ZM} = \frac{1 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 83,3 \text{ mA}$$

Si no se supera este valor de la corriente máxima, automáticamente se cumple la condición de la potencia máxima. Por ejemplo, si hace que la corriente máxima del zener se mantenga por debajo de 83,3 mA, también conseguirá que la máxima disipación de potencia sea menor que 1 W.

### Tolerancia

La mayoría del código de los diodos zener incluyen un sufijo (A, B, C o D) que indica la tolerancia de la tensión del zener. Dado que estos sufijos no siempre son coherentes, asegúrese de leer cualquier nota aclaratoria incluida en las hojas de características del zener que indique dicha tolerancia específica. Por ejemplo, la hoja de características de la serie 1N4728A indica que su tolerancia es igual al 5 por ciento.

### Resistencia Zener

La resistencia zener (también denominada *impedancia zener*) puede designarse como  $R_{ZT}$  o  $Z_{ZT}$ . Por ejemplo, el 1N4742B tiene una resistencia zener de 9  $\Omega$  medida para una corriente de prueba de 21 mA. Mientras que la corriente del zener se encuentre por debajo del codo de la curva, se puede utilizar 9  $\Omega$  como valor aproximado de la resistencia zener. Pero fíjese en que esta resistencia aumenta en el codo de la curva (700  $\Omega$ ). Lo importante es que, si es posible, el zener debe operar a la corriente de prueba o un valor muy próximo, ya que de este modo la resistencia zener es relativamente pequeña.