

## La resistencia interna

En las fuentes de corriente y de tensión como baterías, dinamos, generadores, equipos de alimentación eléctrica o células solares, p. ej., se indica siempre un valor de tensión (en voltios).



Pero si ahora se conecta un consumidor, p. ej., una bombilla incandescente, y se mide la caída de la tensión del consumidor en la resistencia, se constata que la tensión medida generalmente es menor que la tensión indicada. ¿A qué se debe esto?

(Nota: Para simplificar, a continuación solo se habla de fuentes de tensión, aunque siempre nos referimos también a las fuentes de corriente).

### Las fuentes de tensión tienen su propia resistencia

La resistencia eléctrica de una fuente de tensión se llama resistencia interna ( $R_i$ ). La causa de la resistencia interna radica en la naturaleza de la fuente de tensión.

- En la batería, p. ej., la resistencia interna tiene su origen en las pérdidas de resistencia en el electrolito durante la transformación de la energía (química en eléctrica). Las pilas alcalinas AA, p. ej., poseen una resistencia interna relativamente pequeña. Dependiendo del tiempo de uso, la resistencia en una pila AA de 1,5 voltios se sitúa en aprox. 0,01 ohmios al comienzo y va aumentando hasta aprox. 1 ohmio a medida que se prolonga su uso.
- Es diferente el caso de las células solares: aquí la resistencia interna es relativamente alta y depende en gran medida de la intensidad de la iluminación. En una célula solar de silicio de 0,6 V/150 mV con una iluminación clara, la resistencia interna puede llegar a 4 ohmios. Debido a ello, la tensión disminuye considerablemente al conectar un consumidor de baja impedancia.

Suponiendo que existe una resistencia interna, una fuente de tensión real se puede representar a través del siguiente esquema de conexión equivalente: una fuente de tensión ideal ( $U_0$ ) con tensión constante y una resistencia variable  $R_i$ . La caída de tensión en este “circuito equivalente” es la llamada tensión entre bornes (polos) ( $U_k$ ), es decir, la tensión “real”.

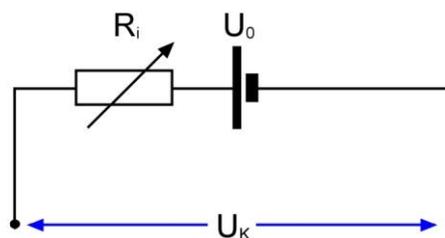


Fig. 1: Esquema de conexión equivalente para una fuente de tensión con resistencia interna.

Según la ley de Ohm, entre tensión ( $U$ ), intensidad de corriente ( $I$ ) y resistencia ( $R$ ) se da la siguiente relación:

$$U = R \cdot I$$

En virtud de la segunda ley de Kirchhoff (ley de las mallas), de esto se deriva para la tensión entre bornes (v. Fig. 1):

$$U_k + R_i \cdot I = U_0$$

## Propiedades de fuentes de tensión

Con ayuda de la resistencia interna se pueden explicar las siguientes propiedades de una fuente de tensión:

Propiedad	En la práctica
Entre mayor es el flujo de corriente y la resistencia interna de la fuente de corriente, menor es la <b>tensión entre bornes</b> .	Un automóvil con una batería parcialmente descargada o envejecida no arranca en invierno. La resistencia interna es tan alta que la tensión entre bornes no es suficiente para girar el arrancador con la fuerza suficiente.
Si no fluye corriente (no hay conectado ningún consumidor, lo que se conoce como circuito abierto), la tensión entre bornes es igual a la tensión ideal, también llamada <b>tensión de circuito abierto</b> .	Esta circunstancia se aprovecha, p. ej., para medir la tensión de una fuente de tensión. La resistencia en el aparato de medición es tan grande que prácticamente no fluye corriente de carga a través del mismo. El aparato de medición mide por tanto la tensión de circuito abierto. Algunas tensiones típicas de circuito abierto: Pila alcalina AA: 1,5 V Célula solar de 0,5 V/150 mA: 0,55 V
La corriente máxima que puede entregar una pila, la llamada <b>corriente de cortocircuito</b> , está limitada por la resistencia interna. Es decir, no puede fluir una corriente infinitamente alta.	Los 80 A (¡cuidado!) indicados para la pila alcalina AA (1,5 V), p. ej., son una corriente de cortocircuito de este tipo. Fluye al construir un cortocircuito con un alambre de cobre de aprox. 1 mm de grosor. Una célula solar de 0,5 V/150 mA tiene una corriente de cortocircuito de 0,11 A.

## La resistencia interna de fuentes de tensión en las conexiones en serie y en paralelo

De la práctica se sabe que al conectar en serie dos, tres, etc., pilas del mismo tipo se obtiene el doble, el triple, etc., de tensión. Si lo que se necesita es una intensidad mayor, hay que conectar las pilas en paralelo.

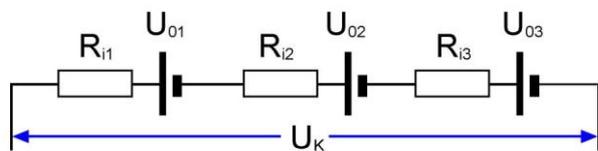
¿Cómo se comporta en ese caso la resistencia interna? ¿Y se comportan del mismo modo todas las fuentes de tensión?

### Pila/batería

La resistencia interna de una sola pila es constante.

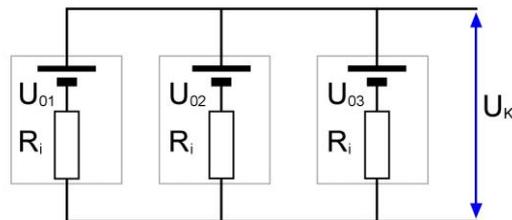
Si se observa la conexión en serie de pilas en el esquema de conexión equivalente (v. Fig. 2), queda claro que, además de las tensiones, también se suman las resistencias internas, ya que estas también están conectadas en serie. Por tanto, en una conexión en serie de dos pilas se duplica la resistencia interna, etc. Este incremento de la resistencia interna conlleva una reducción de la corriente de cortocircuito.

De manera análoga, en la conexión en paralelo (v. Fig. 3) se obtienen una tensión constante y una menor resistencia interna total. Es decir, la resistencia interna se divide por dos al conectar en paralelo dos pilas, y así sucesivamente. Así se obtienen finalmente corrientes más altas.



$$R_{i, \text{tot}} = R_{i1} + R_{i2} + R_{i3}$$

Fig. 2: Esquema de conexión equivalente para la conexión en serie de fuentes de tensión. La resistencia interna total es la suma de cada una de las resistencias internas.



$$R_{i, \text{tot}} = R_i / 3$$

Fig. 3: Esquema de conexión equivalente para la conexión en paralelo de fuentes de tensión. La resistencia interna total equivale a la resistencia interna de una fuente de tensión dividida por el número de las fuentes de tensión conectadas.

Ejemplo: Si a la pila AA se conecta un consumidor de potencia relativamente pequeña, como un motor solar (p. ej. 0,3 V/4 mA), la caída de tensión en la resistencia interna de la pila será pequeña. Si por el contrario, se conecta un motor más potente o una bombilla de mayor potencia, la tensión caerá con mayor intensidad en la resistencia interna de la pila y la potencia útil descenderá.

## Célula solar

La resistencia interna de una célula solar depende de la estructura, la superficie y el material de la célula solar, pero también de la intensidad de la iluminación.

Para poder establecer una comparación con una pila/batería o un acumulador (de los que suponemos disponen de plena carga), observaremos la célula solar bajo condiciones de **iluminación óptima**.

Las relaciones al interconectar células solares son análogas a las que se dan en las pilas/baterías. Si se conecta un consumidor con una gran resistencia, p. ej., un reloj con pantalla LCD, prácticamente toda la tensión de la célula solar será absorbida por el consumidor. En cambio, si se conecta un motor de resistencia relativamente baja al circuito eléctrico, una gran parte de la tensión es absorbida por la resistencia interna de la célula solar; la potencia útil desciende. Dependiendo del tipo, los motores eléctricos necesitan determinada tensión mínima e intensidad de corriente. Muchos de los llamados motores solares, si bien funcionan a partir de aprox. 0,3 voltios, también necesitan relativamente mucha corriente. En ese caso, la resistencia interna de la célula solar es alta en comparación con la resistencia del motor solar, y el motor no girará con una sola célula solar, o lo hará muy lentamente.

Por eso no es extraño que al realizar experimentos con varias células y motores solares, la conexión en paralelo a menudo sea la opción que entregue una potencia evidentemente superior y que hace que el motor gire a más revoluciones.

Por el contrario, **cuando la iluminación es débil**, la conexión en serie suele resultar más eficaz para aunque sea poner en marcha el motor. El motivo de esto es que a medida que disminuye la intensidad de la iluminación, aumenta la resistencia interna de la célula solar, lo que hace que descienda no solo la corriente solar útil, sino también la tensión en el consumidor.

Algo parecido se observa al conectar diodos luminosos a células solares. La conexión en paralelo no sirve aquí de nada, ni siquiera en condiciones óptimas de iluminación; los diodos no se iluminarán mientras no se alcance su tensión mínima mediante la conexión en serie de varias células solares.

### Resumen

La potencia útil de una fuente de corriente/tensión depende siempre de la relación entre la resistencia interna de la fuente y la resistencia del consumidor.

La teoría dice que la máxima potencia útil se alcanza cuando la resistencia del consumidor es igual a la resistencia interna de la fuente. Además de eso, algunos tipos de consumidores requieren determinadas tensiones o intensidades mínimas.

En la práctica trabajamos, p. ej., en la red eléctrica doméstica, con consumidores con una resistencia relativamente alta. La tensión permanece relativamente estable y siempre hay suficiente corriente disponible para los consumidores habituales. Así pues, la resistencia interna de la fuente de corriente/tensión "red eléctrica doméstica" no parece tener ninguna relevancia. Pero si se conectan consumidores de una resistencia extremadamente baja, p. ej., varios radiadores de calefacción, la tensión caería sensiblemente en la red eléctrica (= resistencia interna de la fuente), los cables se calentarían y acabarían por quemarse. Por eso se inventaron los fusibles.

Las mismas leyes de la física se observan también en una sola célula solar, con la particularidad de que aquí nos movemos en el extremo inferior de la escala de potencia de las fuentes de corriente y de tensión. Por eso los pequeños cambios que provoca en la carga el consumidor tienen un efecto inmediato significativo. Dado que esa única célula solar solo entrega una tensión e intensidad de corriente relativamente pequeñas, se interconectan varias células solares para formar los llamados módulos solares. Mediante la combinación de conexión en paralelo y conexión en serie se obtienen así tensiones de aprox. 36 V y 8 A por módulo. Mediante la interconexión de muchos de esos módulos se obtiene una fuente de tensión y de corriente adecuada para alimentar la corriente (una vez convertida en corriente alterna) a la red eléctrica pública.