

Concepto de resistencia eléctrica

El origen del concepto de resistencia eléctrica se sitúa en el libro *Die galvanische Kette, mathematische bearbeitet* (El circuito galvánico tratado matemáticamente) de Georg Simon Ohm, publicado en Berlín en 1827¹. En él Ohm enunció lo que hoy se conoce como ley de Ohm, que, con lenguaje actual, se puede expresar así:

Ley de Ohm.- Algunos conductores con forma de hilo tienen la propiedad de que la intensidad i_{AB} de la corriente que circula por ellos es directamente proporcional a la tensión v_{AB} entre sus extremos (Fig. 1).

Los conductores con esa propiedad se llaman *conductores óhmicos* en honor a Ohm.

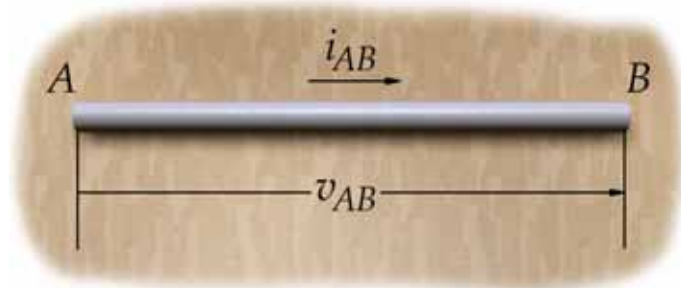


Fig. 1.- En un trozo de hilo conductor óhmico ocurre que $v_{AB} = R_{AB}i_{AB}$, donde R_{AB} es un número real positivo fijo para ese trozo de hilo.

Es decir,

$$i_{AB} = G_{AB}v_{AB} \quad (1)$$

G_{AB} se llama *conductancia* de ese trozo de hilo, y es un número real positivo único para cada trozo de hilo².

¹ Dr. G. S. Ohm, *Die galvanische Kette, mathematische bearbeitet*, Bei T. Riemann, Berlin 1827. [PDF](#) disponible en la página de la biblioteca de Ohm-Hochschule (visto el 27-02-2010). En la [Biblioteca Abierta \(Open Library\)](#) hay una versión en inglés de título *The galvanic circuit investigated mathematically* cuyo traductor es William Francis.

² Que la conductancia sea un número real positivo significa que si se aplica una tensión v_{AB} positiva a un hilo conductor óhmico circula una intensidad i_{AB} también positiva. Que v_{AB} sea

Como $G \neq 0$, siempre existe su inverso

$$R_{AB} = \frac{1}{G_{AB}} \quad (2)$$

que resulta también un número real positivo único para cada hilo conductor óhmico. R_{AB} se llama *resistencia* de ese trozo de hilo. Usando R_{AB} , la (1) se escribe

$$v_{AB} = R_{AB}i_{AB} \quad (3)$$

Por tanto, si la intensidad no es cero, son iguales los cocientes entre cada tensión y su intensidad:

$$\frac{v_{AB1}}{i_{AB1}} = \frac{v_{AB2}}{i_{AB2}} = \dots = \frac{v_{ABn}}{i_{ABn}} = R_{AB} \quad (4)$$

O sea, si la tensión entre los extremos de un hilo conductor óhmico se duplica, la intensidad por el hilo también se duplica. En general, si la tensión se multiplica por un número real, la intensidad se multiplica por ese número real, de forma que el cociente entre la tensión del hilo y su intensidad siempre es el mismo número real positivo R_{AB} llamado resistencia óhmica del hilo. El propio trozo de hilo conductor óhmico se llama también *resistencia*³.

El nombre ‘conductor’ se utiliza en ingeniería casi siempre con el significado de ‘buen conductor’, de material cuya conductividad es alta. Con ese significado la ley de Ohm parecería referirse solo a buenos conductores, de forma que las resistencias parecerían ser solo trozos de hilos o cables de esos buenos conductores. Para evitar esa ambigüedad, es más adecuada la siguiente definición de resistencia óhmica:

***Resistencia óhmica** es cada objeto de dos terminales A y B tal que al aplicar entre esos terminales la tensión v_{AB} , circula por el objeto la corriente de*

positiva significa que el potencial del punto A es mayor que el del punto B. Por tanto, por un hilo conductor óhmico la corriente circula desde el terminal con mayor potencial al de menor potencial. Esta propiedad es esencial en la definición de resistencia. La (1) indica también que la tensión es cero si la intensidad lo es, y que la intensidad es cero si la tensión es cero.

³ En inglés *resistor* designa el objeto, y *resistance* el valor R_{AB} , aunque a veces también se utiliza *resistance* para designar el objeto. La Real Academia Española también incluye la palabra ‘resistor’ en la actual edición de su Diccionario, la vigésima segunda, como nombre del objeto: “Elemento que interviene únicamente por su resistencia en un circuito eléctrico”. Para la palabra ‘resistencia’ sigue manteniendo también el significado de objeto de dos terminales así: “Elemento que se intercala en un circuito para dificultar el paso de la corriente o para hacer que esta se transforme en calor”. Dejando aparte lo de “... dificultar el paso de la corriente...”, conviene llamar la atención sobre la confusión que puede originar la última parte de la definición del Diccionario: “... que esta, (la corriente) se transforme en calor”. Que una corriente se transforme en calor significa que desaparece corriente y aparece calor, lo que en modo alguno ocurre. De hecho se produce calor porque existe corriente eléctrica, no porque desaparezca, no por causa de ningún fenómeno que se pueda llamar transformación de esa corriente en calor.

intensidad $i_{AB} = v_{AB}/R_{AB}$, donde R_{AB} es un número real positivo fijo para ese objeto (Fig. 2).

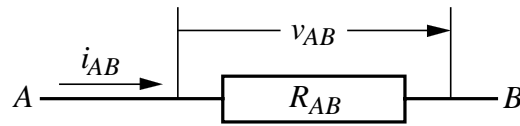


Fig. 2.- Resistencia eléctrica es cualquier objeto de dos terminales en el que $v_{AB} = R_{AB}i_{AB}$, donde R_{AB} es un número real positivo fijo para ese objeto.

Esta definición incluye cualquier objeto de dos terminales, sea un trozo de madera con dos terminales, un trozo de barro, metal, vidrio, u otro material, siempre que el cociente entre cada tensión no nula que se aplica entre sus terminales A y B y la intensidad no nula i_{AB} que entonces circula por el objeto sea el mismo número real positivo R_{AB} .

Los objetos de dos terminales que se llaman resistencia establecen una restricción entre los valores posibles de la tensión entre sus terminales y la intensidad de la corriente que circula por ellos, que se expresa por (3). Esa restricción se llama *relación tensión-intensidad* de la resistencia. Evidentemente (3) puede escribirse también en las formas

$$i_{AB} = \frac{v_{AB}}{R_{AB}} \quad (5)$$

y

$$\frac{v_{AB}}{i_{AB}} = R_{AB} \quad (6)$$

Cada par (i_{AB}, v_{AB}) cuyas componentes son los valores que pueden tomar la intensidad y la tensión de la resistencia R_{AB} se llama *solución* de esa resistencia. Esos pares de valores vienen relacionados por cualquiera de las fórmulas (3), (5) y (6). Así, para una resistencia de 5Ω , el par $(i_{AB} = 2 \text{ A}, v_{AB} = 10 \text{ V})$ es una solución de la resistencia, y no es solución el par $(i_{AB} = 3 \text{ A}, v_{AB} = 10 \text{ V})$. Eso es lo que se quiere expresar cuando se dice que (3) y sus equivalentes (5) y (6) establecen una restricción entre las intensidades y las tensiones posibles de una resistencia: que no cualquier par (i_{AB}, v_{AB}) es solución de una resistencia R_{AB} dada. Pero, a pesar de esa restricción, el conjunto de todas las soluciones de una resistencia es infinito. Ese conjunto de valores se representa en la figura 3 para una resistencia dada. Es el conjunto de los pares de coordenadas de los puntos de la representación gráfica de la tensión v_{AB} como función de i_{AB} dada por (3), que es una recta que pasa por el origen de coordenadas. La resistencia R_{AB} es el cociente entre la coordenada tensión y la coordenada intensidad de cualquier punto de la gráfica, que coincide con la pendiente de la recta, que es la derivada de la función $v_{AB} = R_{AB}i_{AB}$ en cualquier punto de esa recta.

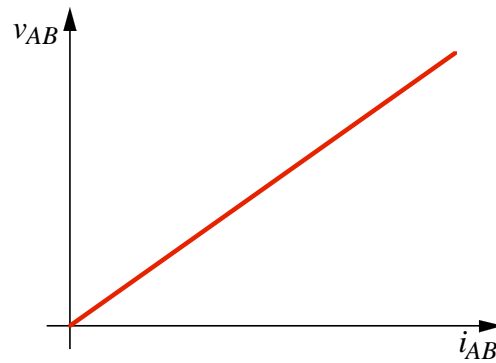


Fig. 3.- Representación gráfica de la relación tensión-intensidad de una resistencia R_{AB} .

No existen resistencias reales cuya relación tensión-intensidad (3) esté definida en todo el conjunto de los números reales. Eso quiere decir que la función (3) solo se cumple en algún intervalo de la intensidad y de la tensión. En concreto, en toda resistencia existe un límite superior de la intensidad a partir del cual no se cumple (3). Ese límite suele darse de forma indirecta por medio de la potencia eléctrica máxima que puede absorber la resistencia ($P = RI^2$). Pero, incluso, es muy difícil encontrar objetos de dos terminales que sean resistencias óhmicas en algún intervalo. Solo en pequeños intervalos de intensidad algunos objetos se aproximan a resistencias. Y para ello suelen ser necesarias condiciones muy exigentes, en especial de temperatura.

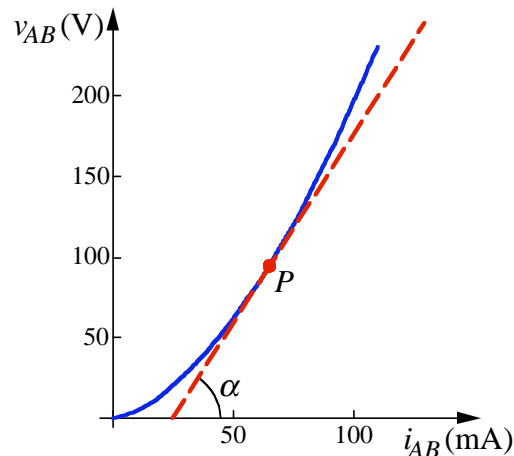


Fig. 4.- Gráfica $v_{AB}(i_{AB})$ de una lámpara de incandescencia y tangente en un punto P de la curva.

En la figura 4, en azul, se muestra gráficamente la relación tensión-intensidad de una lámpara de incandescencia de 25 W y 230 V. Es evidente que esa relación no es la dada por (3), pues debería ser una línea recta. Por tanto, una lámpara de incandescencia no es una resistencia tal como se ha definido más arriba. A pesar de ello las lámparas de incandescencia son tenidas por resistencias. La razón es que, en la práctica, se llaman resistencias los objetos de dos terminales que tienen gráficas parecidas a la de la figura 4. Es decir,

1. Que la tensión es una función biyectiva de la intensidad. O sea, que cada tensión origina una sola intensidad, y cada intensidad origina una sola tensión.
2. Que la gráfica solo existe en el primer cuadrante, o que la tensión y la intensidad tienen el mismo sentido, o que la intensidad siempre circula por el objeto desde el terminal con mayor potencial al terminal con menor potencial.
3. Que la gráfica parte del punto $(0,0)$, lo que significa que si la tensión es cero la intensidad también lo es; y que si la intensidad es cero también lo es la tensión.
4. Que la curva es estrictamente creciente. O sea, si se incrementa la intensidad, se incrementa la tensión, y si se incrementa la tensión se incrementa la intensidad.

Pues bien, los objetos de dos terminales que cumplan esas cuatro características son llamados también resistencias. Dentro de este conjunto se encuentran las resistencias que cumplen (1), que, para distinguirlas del resto, suelen llamarse *resistencias óhmicas*.

Por tanto, la definición de resistencia con este significado más amplio es

Definición.- *Resistencia es cada objeto de dos terminales A y B cuya tensión v_{AB} es una función biyectiva estrictamente creciente de su intensidad i_{AB} , definida en algún intervalo de $i_{AB} \geq 0$, y a la que pertenece el punto $(0,0)$.*

Esta definición incluye a la resistencia óhmica, cuya gráfica es una recta del primer cuadrante que parte del origen de coordenadas, estrictamente creciente por tanto; y también incluye a resistencias como las lámparas de incandescencia.

En las resistencias óhmicas el cociente entre cada tensión no nula y su correspondiente intensidad es siempre el mismo número real positivo. En el resto de las resistencias no. Por eso, de las resistencias no óhmicas se dice que son resistencias cuyos valores dependen de la tensión que se les aplique.

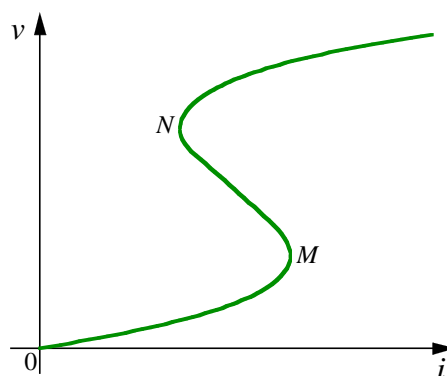


Fig. 5.- En esta gráfica la resistencia dinámica es negativa desde M a N.

Hay otro concepto de resistencia, que se llama *resistencia dinámica*, que es la *derivada de la tensión respecto a la intensidad*:

$$R = \frac{dv}{di} \quad (7)$$

Está definida en todo dipolo en que la tensión es función de la intensidad. Puede ser positiva o negativa, dependiendo de si la tensión crece o decrece con la intensidad. En los intervalos en que la tensión es constante la resistencia dinámica es cero.

La resistencia dinámica en el punto P de la figura 4 es la tangente de α . La figura 5 es una representación gráfica parecida a la de un diodo túnel. Desde M a N la intensidad decrece aunque la tensión crece. Por eso la resistencia dinámica es negativa en esa parte de la curva.

A veces el cociente entre la tensión y la intensidad de cada punto de la gráfica de una resistencia se llama *resistencia estática* para distinguirla de la resistencia dinámica. En las resistencias óhmicas la resistencia estática y la resistencia dinámica coinciden. En el resto de las resistencias pueden no coincidir.

De (6) y (7) se deduce que la unidad de resistencia eléctrica (estática y dinámica) es el voltio/amperio (voltio por amperio), V/A según los símbolos del Sistema Internacional de Unidades. En ese sistema el voltio por amperio se llama *ohm* (ohmio en español), en honor a Ohm. Su símbolo es Ω , omega mayúscula. Por tanto $V/A = \Omega$.

Siempre que las resistencias estática y dinámica no sean cero, sus inversos son las correspondientes conductancias estática y dinámica. Por tanto, la unidad de conductancia en el Sistema Internacional es $1/\Omega = \Omega^{-1} = A/V$, que se llama siemens⁴, con símbolo S: $\Omega^{-1} = S$.

*Félix Redondo Quintela y Roberto C. Redondo
Melchor. Universidad de Salamanca.*

electricistas.cl

⁴ En honor a Werner von Siemens (1816-1892), ingeniero alemán, fundador de la empresa Siemens, que desarrolló el telégrafo, la dínamo y la primera locomotora eléctrica.