



APLICACIONES DE LA CORRIENTE

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



ÍNDICE



RESISTIVIDAD Y TEMPERATURA

EFEECTO TERMOELÉCTRICO

CARACTERÍSTICAS DE UN GENERADOR

GENERADOR DE TENSIÓN CONSTANTE

GENERADOR DE CORRIENTE CONSTANTE

MOTORES

FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ (f.c.e.m.)

CIRCUITO CON MOTOR, GENERADOR Y RESISTENCIA

BALANCE DE ENERGÍA

RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS CON MOTOR

APARATOS DE MEDIDA BÁSICOS

AMPERÍMETRO

VOLTÍMETRO

PUENTE DE WHEATSTONE

PUENTE DE HILO

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval





RESISTIVIDAD Y TEMPERATURA

La resistividad de los metales aumenta con la temperatura

$$\rho = \rho_0 \left[1 + \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2 + \gamma(T - T_0)^3 + \dots \right]$$

α , β , γ ... son coeficientes que se determinan experimentalmente

Para las aplicaciones que no requieran excesiva precisión

$$\rho = \rho_0 \left[1 + \alpha(T - T_0) \right]$$

el coeficiente α se llama coeficiente térmico de resistividad

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



RESISTIVIDAD Y TEMPERATURA

Para un hilo conductor de longitud y sección dadas

$$R = R_0 \left[1 + \alpha(T - T_0) \right]$$

Esta propiedad se aplica en los termómetros de resistencia eléctrica.

Se utilizan fundamentalmente el níquel y el platino, según la temperatura que se quiera medir.

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval





RESISTIVIDAD Y TEMPERATURA

La medida de la temperatura se puede realizar:

- Por medición directa de la resistencia del termómetro.
- Acoplado un generador y midiendo la intensidad que circula por el circuito.
- Montando la resistencia del termómetro en un puente de Wheatstone.

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



RESISTIVIDAD Y TEMPERATURA

Existen materiales semiconductores en los que la variación de la resistividad con la temperatura es negativa y muy elevada -del orden del 4% por kelvin- pero en ellos la variación no es lineal, sino exponencial, de la forma

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{-\frac{k}{T}}$$

donde k es del orden de 3 000 K. Estos semiconductores se denominan termistores o CTN (coeficiente de temperatura negativo) y se utilizan también como termómetros de resistencia de mucha precisión y como detectores de incendios. El inconveniente que presentan es la no linealidad, por lo que hay que disponer de la curva de calibración en función de la temperatura.

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval





EFECTO TERMOELÉCTRICO

Si la temperatura no es uniforme en un metal fluye corriente. Existe, por tanto, una densidad de corriente:

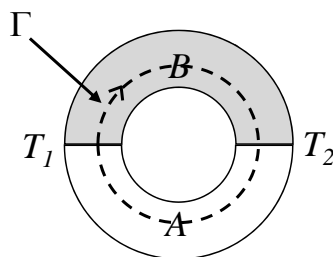
$$\vec{J} = \sigma_c (\vec{E}_e - S \nabla T)$$

Coeficiente Termoeléctrico del Material (coeficiente Seebeck)

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



EFECTO TERMOELÉCTRICO



Conectamos dos metales A y B :

Campo Electromotor

$$RI = \oint_{\Gamma} \frac{\vec{J} \cdot d\vec{l}}{\sigma_c} = \underbrace{\oint_{\Gamma} \vec{E}_e \cdot d\vec{l}}_0 - \underbrace{\oint_{\Gamma} S \nabla T \cdot d\vec{l}}_{\text{Campo Electromotor}} = - \int_{T_1}^{T_2} S_B dT - \int_{T_2}^{T_1} S_A dT$$

Campo Electroestático

$$RI = \int_{T_1}^{T_2} (S_A(T) - S_B(T)) dT \approx (S_A - S_B)(T_2 - T_1) \quad \text{Termopar}$$

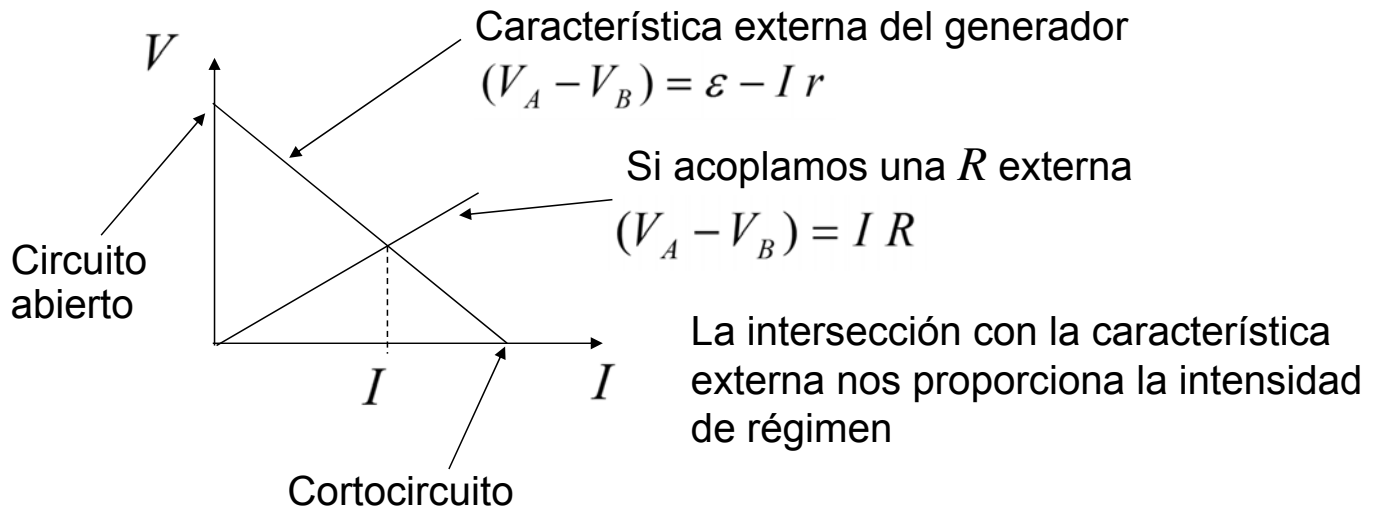
J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval





CARACTERÍSTICAS DE UN GENERADOR

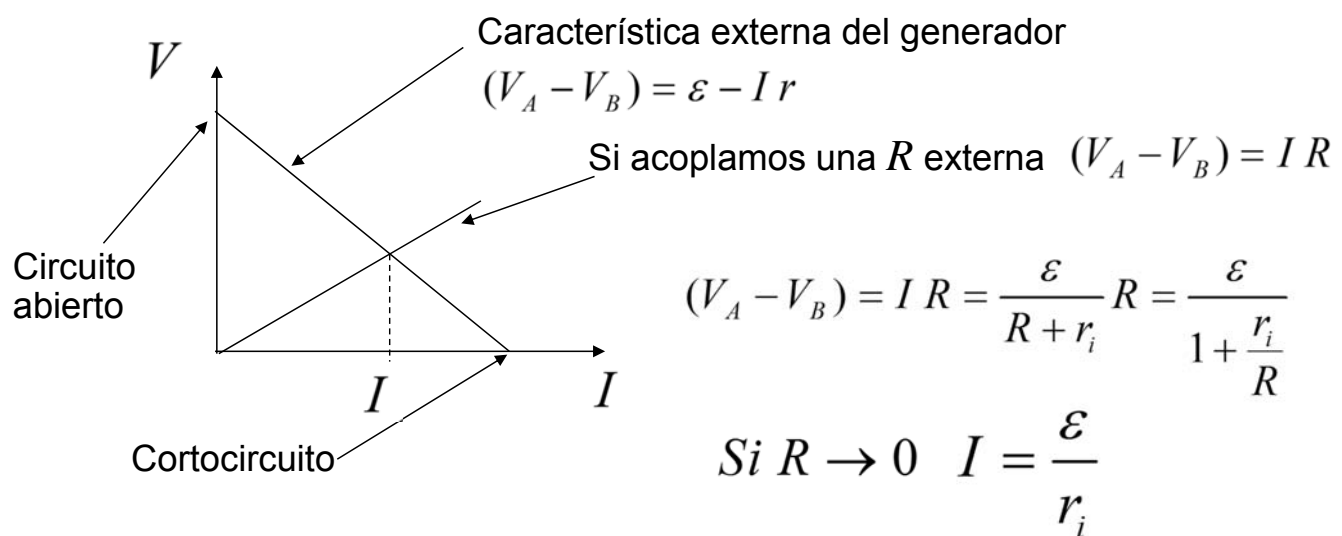
Las dos magnitudes que caracterizan eléctricamente un generador son la f.e.m. \mathcal{E} y la resistencia interna r_i . Las supondremos constantes.



J.C. Jiménez Sáez
 S. Ramírez de la Piscina Millán
 U.D. Física II
 Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



CARACTERÍSTICAS DE UN GENERADOR



$$\text{Si } R \rightarrow \infty \quad V_A - V_B \approx \mathcal{E}$$

Esta propiedad se utiliza para medir f.e.m.

J.C. Jiménez Sáez
 S. Ramírez de la Piscina Millán
 U.D. Física II
 Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval

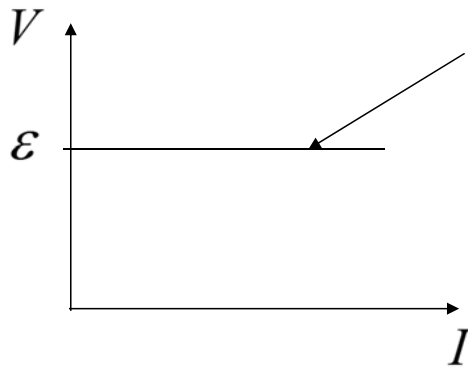


CARACTERÍSTICAS DE UN GENERADOR

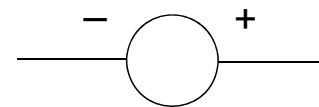


GENERADOR DE TENSIÓN CONSTANTE

$$(V_A - V_B) = \frac{\mathcal{E}}{1 + \frac{r_i}{R}} \quad \text{si } R \gg r_i \Rightarrow V_A - V_B \approx \mathcal{E}$$



Característica externa



Símbolo

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



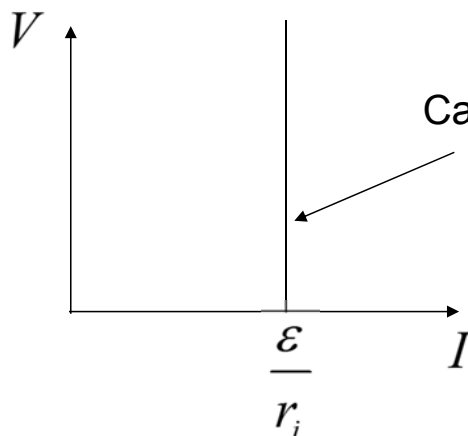
CARACTERÍSTICAS DE UN GENERADOR



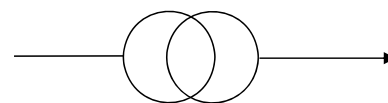
GENERADOR DE CORRIENTE CONSTANTE

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r_i} \quad \text{si } R \ll r_i \quad I \approx \frac{\mathcal{E}}{r_i}$$

Constante e independiente de la resistencia de carga



Característica externa



Símbolo

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



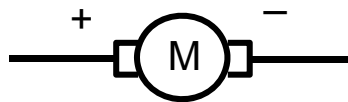


MOTORES

Son dispositivos capaces de aprovechar la energía eléctrica de las cargas que circulan por un circuito eléctrico para convertirla en energía mecánica.

Reciben el nombre genérico de receptores.

En los circuitos de corriente continua se utilizan motores de corriente continua que se representan con el símbolo.



El signo + corresponde al borne del motor por el que entra la intensidad y el signo - al borne por donde sale.

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



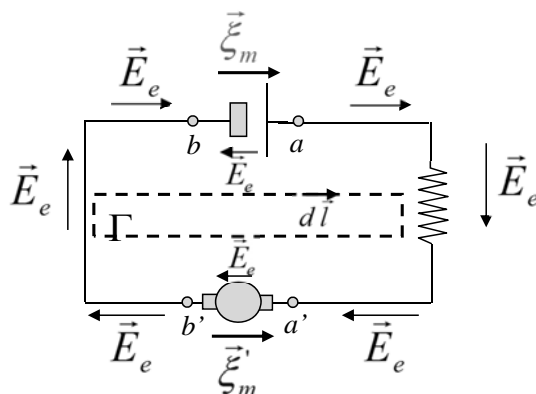
MOTORES



FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ

Campo contraelectromotriz $\vec{\xi}'_m$ (extrae energía, de origen electromagnético):

Fuerza (voltaje) contraelectromotriz del motor



$$\oint_{\Gamma} \vec{\xi}'_m \cdot d\vec{l} = \int_{a'}^{b'} \vec{\xi}'_m \cdot d\vec{l} = -\varepsilon'$$

$$\int_{a'}^{b'} \frac{1}{\sigma} \vec{J} \cdot d\vec{l} = Ir'$$

Resistencia interna del motor

Es decir: $\varepsilon - \varepsilon' = I(R + r + r')$

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



MOTORES



CIRCUITO CON MOTOR, GENERADOR Y RESISTENCIA

Ley de Ohm en el circuito: $\vec{E}_e + \vec{\xi}_m + \vec{\xi}'_m = \frac{1}{\sigma} \vec{J}$

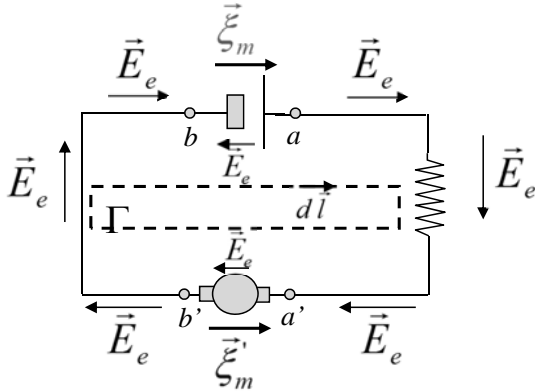
Integrando para todo el circuito:

$$\oint_{\Gamma} \vec{E}_e \cdot d\vec{l} = 0 \quad \oint_{\Gamma} \vec{\xi}_m \cdot d\vec{l} = \int_b^a \vec{\xi}_m \cdot d\vec{l} = \varepsilon$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{\xi}'_m \cdot d\vec{l} = \int_{a'}^{b'} \vec{\xi}'_m \cdot d\vec{l} = -\varepsilon'$$

$$\oint_{\Gamma} \frac{1}{\sigma} \vec{J} \cdot d\vec{l} = I(R + r + r')$$

Es decir: $\varepsilon - \varepsilon' = I(R + r + r')$



J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval

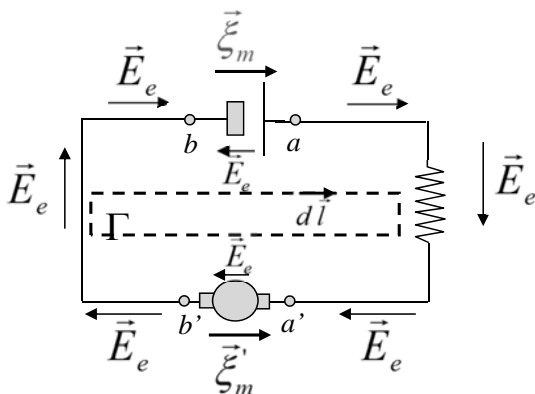


MOTORES



CIRCUITO CON MOTOR, GENERADOR Y RESISTENCIA

Si integramos entre los puntos a' y b' (bornes del motor):



$$\int_{a'}^{b'} \vec{E}_e \cdot d\vec{l} = V_{a'} - V_{b'}$$

$$\int_{a'}^{b'} \frac{1}{\sigma} \vec{J} \cdot d\vec{l} = Ir'$$

$$\int_{a'}^{b'} \vec{\xi}'_m \cdot d\vec{l} = -\varepsilon'$$

Es decir:

$$(V_{a'} - V_{b'}) - \varepsilon' = Ir'$$

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval

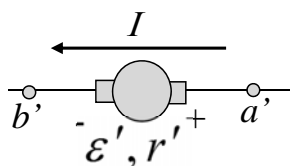


MOTORES



BALANCE DE ENERGÍA EN UN MOTOR

Potencia suministrada Potencia disipada en forma de calor



$$(V_{a'} - V_{b'})I = \varepsilon' I + I^2 r'$$

Potencia que puede ser convertida en energía mecánica

Rendimiento:
$$\eta = \frac{\varepsilon' I}{(V_{a'} - V_{b'})I} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon' + I r'}$$

Es importante observar que este rendimiento se refiere a la conversión de energía eléctrica en energía mecánica en el eje del motor y es independiente del rendimiento mecánico que se obtenga al tratar de convertir el movimiento del eje del motor en trabajo útil.

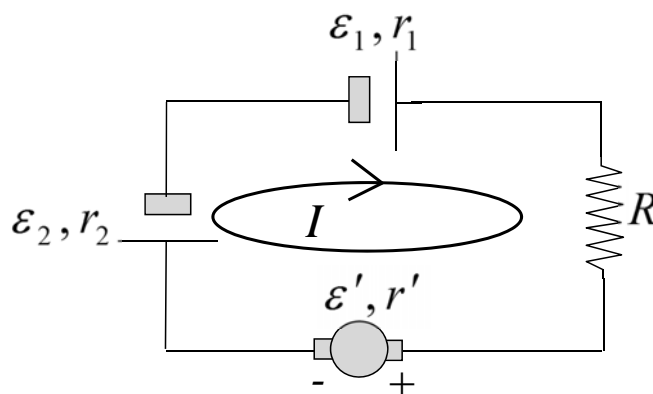
J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



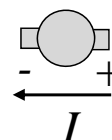
MOTORES



RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS CON MOTOR



Se supone la polaridad y al resolver la intensidad debe entrar por el borne positivo.



$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \varepsilon' = I(R + r_1 + r_2 + r')$$

En este caso la intensidad debería salir positiva ($I > 0$). Si esto no ocurre, se resuelve el circuito suponiendo la polaridad contraria.

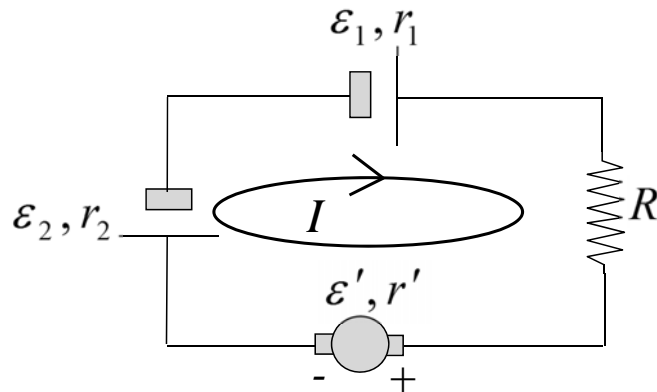
J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



MOTORES



RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS CON MOTOR



Cambiamos la polaridad y resolvemos:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon' = I(R + r_1 + r_2 + r')$$

En este caso la intensidad debería salir negativa ($I < 0$).

Si esto tampoco ocurre, el motor no funciona.

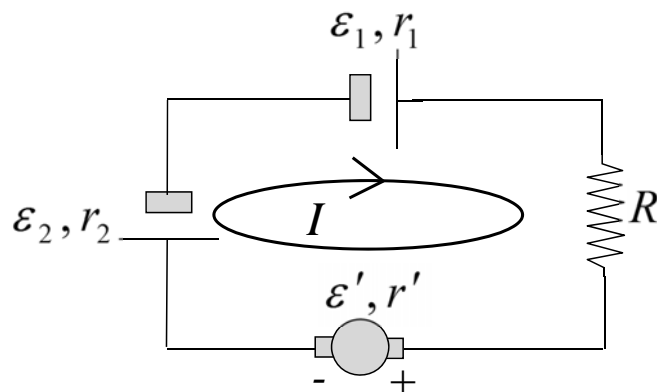
J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



MOTORES



RESOLUCIÓN DE CIRCUITOS CON MOTOR



Si el motor no funciona se sustituye por su resistencia interna

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I(R + r_1 + r_2 + r')$$

Corolario:

Lo mejor es suponer inicialmente bien la polaridad.

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



APARATOS DE MEDIDA BÁSICOS



Analógicos

Circuitos electromagnéticos y la indicación se hace mediante una aguja en una escala.

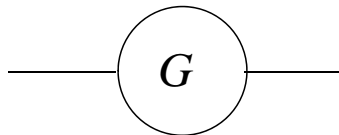
Digitales

Circuitos electrónicos y lectura en una pantalla digital

GALVANÓMETRO

Es un instrumento de medida que detecta el paso de una corriente eléctrica que, en general, es muy débil, ya que en caso contrario su resistencia interna se fundiría por efecto Joule

Símbolo

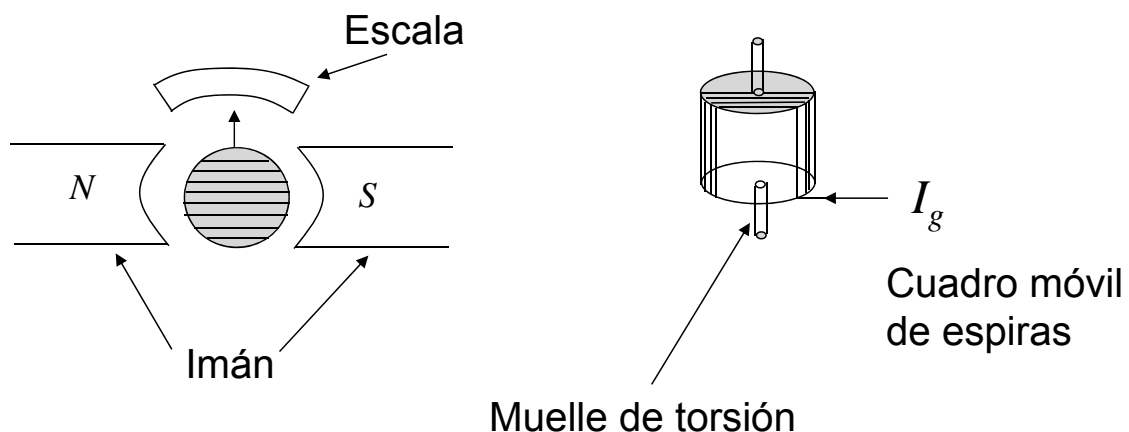


J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



APARATOS DE MEDIDA BÁSICOS

GALVANÓMETRO DE CUADRO MÓVIL



Datos del fabricante:

r_g resistencia del devanado

$I_{g \max}$ intensidad máxima que soporta.

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



APARATOS DE MEDIDA BÁSICOS

AMPERÍMETRO

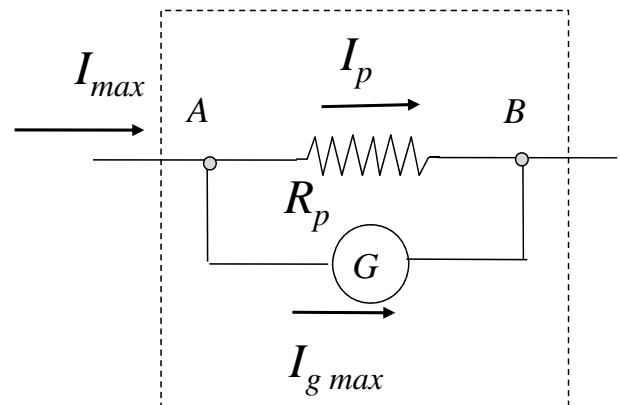


Consiste un galvanómetro acondicionado para medir intensidades.

Consta de un galvanómetro con una resistencia en paralelo.

I_{max} : Intensidad máxima a medir

$I_{g max}$: Intensidad máxima que soporta el galvanómetro



$$\left. \begin{aligned} I_{max} &= I_p + I_{g max} \\ V_A - V_B &= I_p R_p = I_{g max} r_g \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_p = r_g \frac{I_{g max}}{I_{max} - I_{g max}}$$

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval

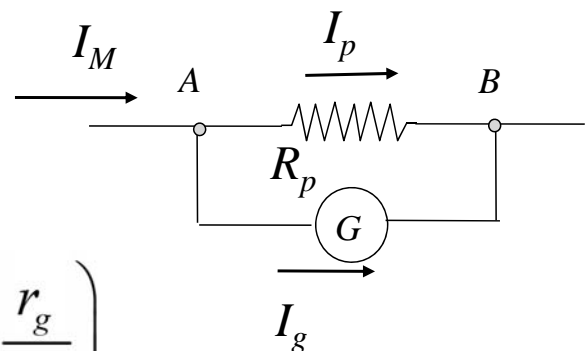


APARATOS DE MEDIDA BÁSICOS

AMPERÍMETRO



Para una intensidad a medir I_M tal que $0 < I_M \leq I_{max}$



$$\left. \begin{aligned} I_M &= I_p + I_g \\ I_p R_p &= I_g r_g \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_M = I_g \left(1 + \frac{r_g}{R_p} \right)$$

La relación $\frac{I_M}{I_g} = \left(1 + \frac{r_g}{R_p} \right)$ se llama poder multiplicador del shunt

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



APARATOS DE MEDIDA BÁSICOS

VOLTÍMETRO

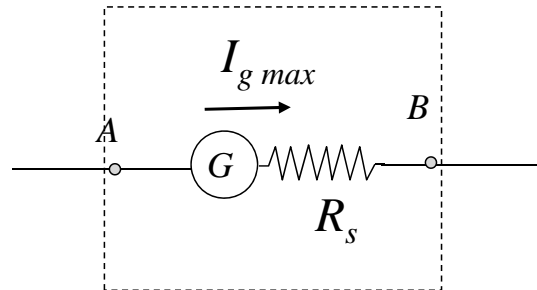


Es un galvanómetro acondicionado para medir d.d.p.
Al galvanómetro se le añade una resistencia en serie.

Cálculo de la resistencia en serie

$(V_A - V_B)_{max}$: Intensidad máxima a medir

$I_{g\ max}$: Intensidad máxima que soporta el galvanómetro



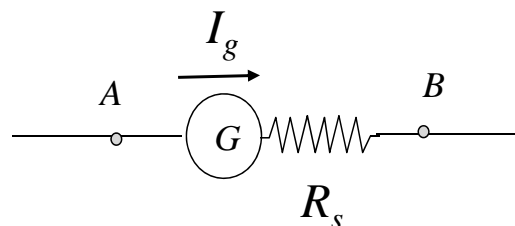
$$(V_A - V_B)_{max} = I_{g\ max} (R_s + r_g) \Rightarrow R_s = \frac{(V_A - V_B)_{max}}{I_{g\ max}} - r_g$$

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



APARATOS DE MEDIDA BÁSICOS

VOLTÍMETRO



Calculada R_s , para medir una d.d.p. $(V_A - V_B) < (V_A - V_B)_{max}$

$$(V_A - V_B) = I_g (R_s + r_g)$$

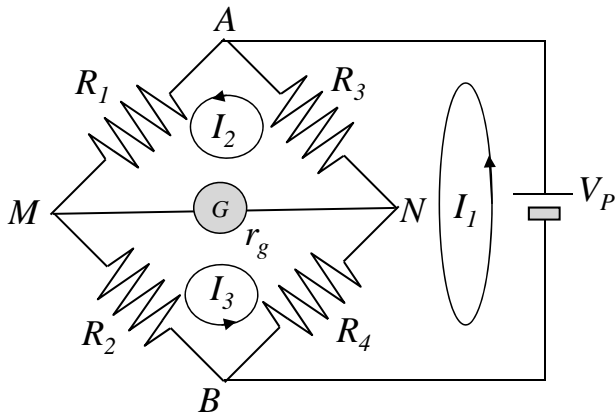
J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval





PUENTE DE WHEATSTONE

El montaje de cuatro resistencias según se indica en la figura se conoce con el nombre de puente de Wheatstone



brazo del puente: cada una de las ramas AM , MB , BN y NA

diagonal de polarización: AB

diagonal de medida: MN

alimentación del puente: V_P

El puente está equilibrado cuando no pasa intensidad por el galvanómetro, lo que implica que los puntos M y N están al mismo potencial

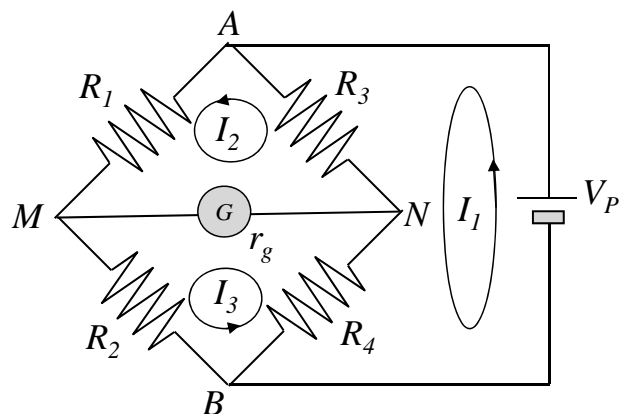
J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



PUENTE DE WHEATSTONE



Aplicamos el método de las intensidades de malla



$$\begin{pmatrix} V_P \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_3 + R_4 & -R_4 & -R_3 \\ -R_4 & R_1 + R_4 + r_g & -r_g \\ -R_3 & -r_g & R_2 + R_3 + r_g \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix}$$

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval





PUENTE DE WHEATSTONE

La d.d.p. en la diagonal de medida: $V_M - V_N = (I_2 - I_3)r_g$

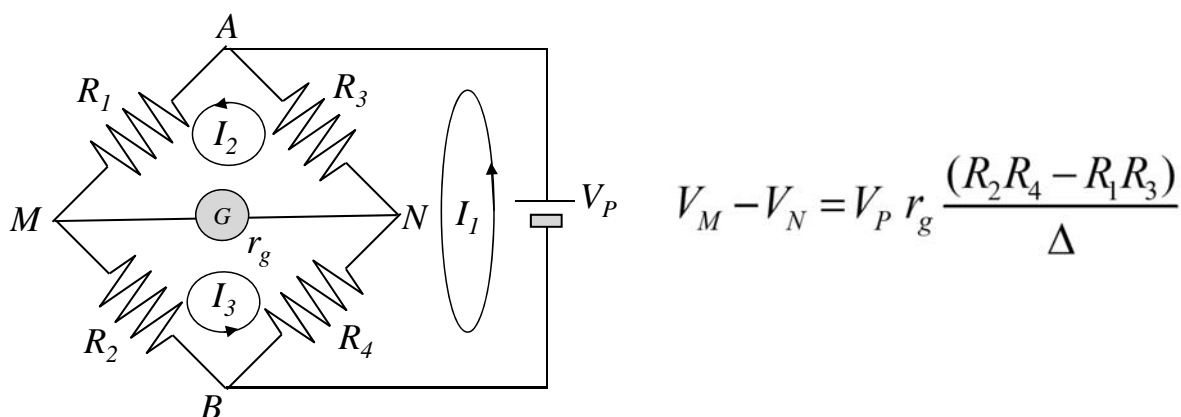
$$\left. \begin{aligned} I_2 &= \frac{V_P}{\Delta} (R_2 R_4 + R_3 R_4 + R_3 r_g + R_4 r_g) \\ I_3 &= \frac{V_P}{\Delta} (R_4 r_g + R_1 R_3 + R_3 R_4 + R_3 r_g) \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_M - V_N = V_P r_g \frac{(R_2 R_4 - R_1 R_3)}{\Delta}$$

Δ : Determinante de la matriz de resistencias

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



PUENTE DE WHEATSTONE



Puente equilibrado: $V_M - V_N = 0 \Rightarrow R_2 R_4 = R_1 R_3$

En un puente de Wheatstone equilibrado, el producto de las resistencias de brazos opuestos ha de tener el mismo valor

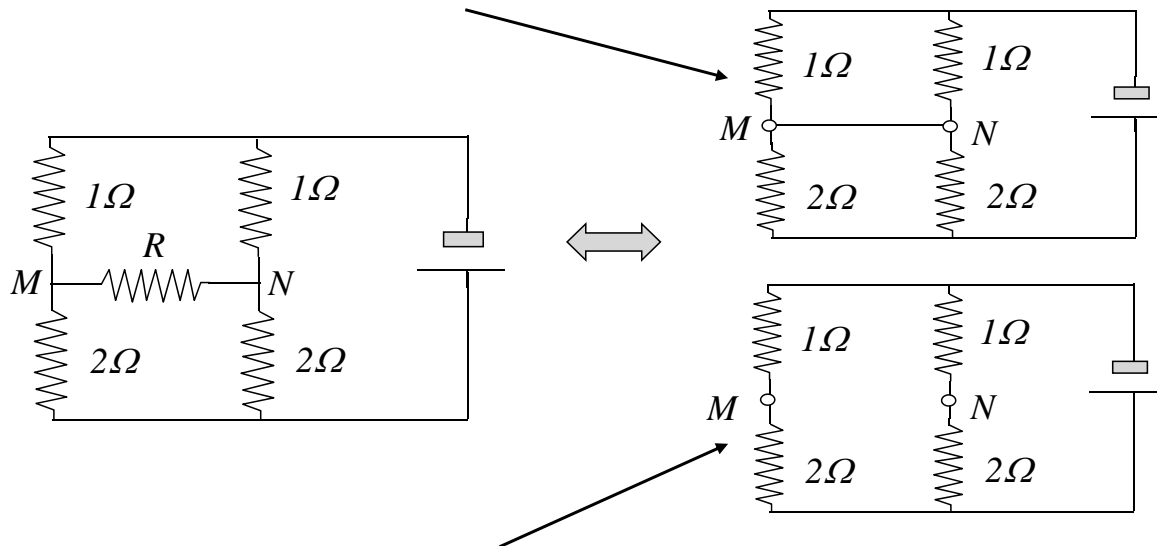
J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval





PUENTE DE WHEATSTONE

Si un puente de Wheatstone está equilibrado, como los puntos M y N están al mismo potencial, se pueden unir mediante un hilo conductor, lo que equivale a cortocircuitar la rama existente entre ellos.

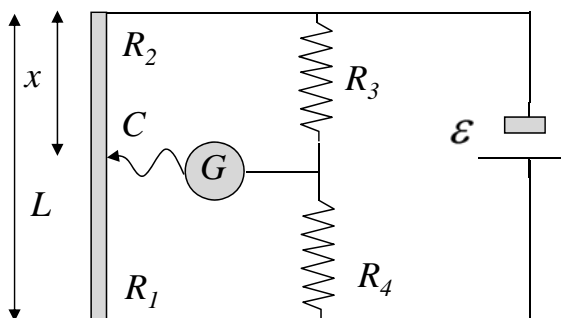


Dado que no existe intensidad también se puede dejar en circuito abierto.

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval



PUENTE DE HILO



Es una variante del puente de Wheatstone, utilizada para la medida de resistencias, y en la que las resistencias R_1 y R_2 se sustituyen por una resistencia de hilo continuo con un cursor C

Se mueve el cursor C sobre el conductor hasta que el galvanómetro no detecta intensidad.

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \rho \frac{(L-x)}{S} \\ R_2 &= \rho \frac{x}{S} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_3 = \frac{R_2 R_4}{R_1} = \frac{\rho \frac{x}{S} R_4}{\rho \frac{(L-x)}{S}} = \frac{x}{(L-x)} R_4$$

J.C. Jiménez Sáez
S. Ramírez de la Piscina Millán
U.D. Física II
Departamento de Física Aplicada a las Ingenierías Aeronáutica y Naval

