

## CARACTERÍSTICAS DE LOS GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA (C.C.)

### Fuerza electromotriz (f.e.m.)

Es la causa que mantiene una tensión en bornes del generador.

La fuerza electromotriz (f.e.m.) es la tensión eléctrica originada en el generador, que impulsa a los electrones libres a moverse, creando una corriente eléctrica (sentido convencional) que va del borne positivo al negativo en el exterior y del negativo al positivo en el interior.

Cuando no existe circuito externo de utilización (es decir no circula ninguna corriente eléctrica), la tensión de vacío coincide con la fuerza electromotriz (f.e.m.). Esta, como se vio en unidades anteriores, se mide en voltios ( $V$ ) y su símbolo es ( $E$ ).

### Intensidad Nominal

Es la máxima intensidad corriente que puede circular por el generador sin provocar efectos perjudiciales que puedan deteriorarlo.

### Resistencia interna

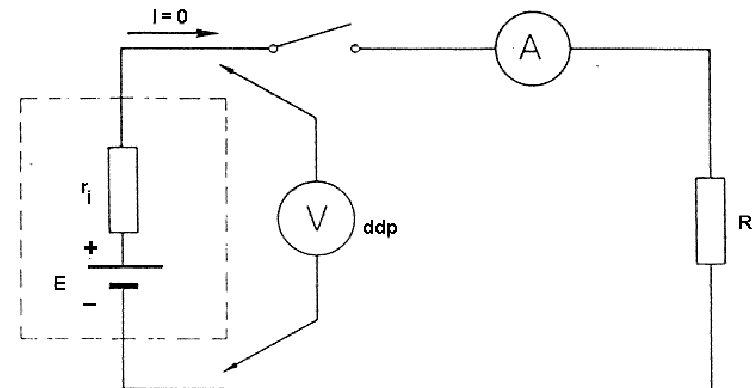
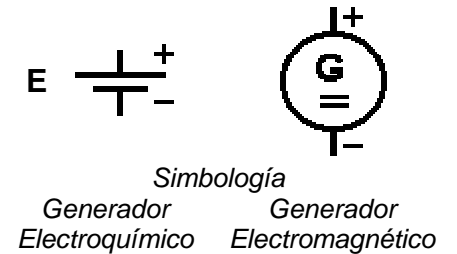
Es la resistencia de los conductores y de los componentes internos de todo generador.

*Por ejemplo:* La resistencia interna en una pila o un acumulador depende de muchos factores. Entre ellos, destacamos la resistencia de las propias placas, la de los puentes de unión, la de contacto del electrolito con las placas, y la propia resistencia del electrolito. Todos ellos, a excepción de la resistencia del electrolito, son de muy difícil valoración.

## TENSIÓN EN BORNES DE UN GENERADOR

A continuación, vamos a analizar el comportamiento de un generador de c.c. conectado con carga o sin carga.

Si analizamos un generador sin carga, no hay circulación de corriente ( $I = 0$ ). Por lo tanto, en la resistencia interna ( $r_i$ ) no hay caída de tensión (**c.d.t.**) y la (**f.e.m.**) fuerza electromotriz ( $E$ ) es igual a la (**d.d.p.**) diferencia de potencial ( $V$ ).



Si analizamos la pila en carga, observamos que se establece una circulación de corriente y se produce una disminución de la tensión en bornes o **d.d.p.** ( $V$ ). Esto se debe a que la resistencia interna ( $r_i$ ) produce una caída de tensión (**c.d.t.**) al paso de la corriente ( $I \neq 0$ ). Todo ello se relaciona con las siguientes expresiones matemáticas:

$$E = V + r_i \cdot I \quad \Rightarrow \quad V = E - r_i \cdot I$$

Donde:

$E$  = Fuerza electromotriz (**f.e.m.**) en voltios (V).

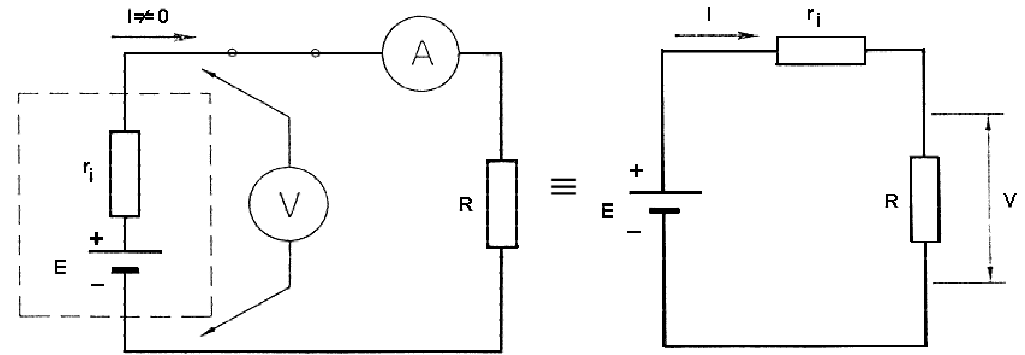
$V$  = Diferencia de potencial (**d.d.p.**) en voltios (V).

$r_i$  = Resistencia interna en ohmios ( $\Omega$ ).

$I$  = Intensidad en amperios (A).

Si  $R$  representa la resistencia exterior del circuito y ésta está en serie con ( $r_i$ ) al aplicar la ley de Ohm generalizada, tenemos:

$$E = (R + r_i) \cdot I$$



#### Ley de Ohm generalizada:

La intensidad de corriente que recorre un circuito es directamente proporcional a la f.e.m. total del circuito e inversamente proporcional a la resistencia total del mismo

$$I \text{ (intensidad)} = \frac{E_T \text{ (f.e.m. total)}}{R_T \text{ (resistencia total)}}$$

Si en el circuito hay varias f.e.m. se consideran positivas las que favorecen el sentido de la corriente y negativas las que se oponen a dicha corriente

#### Principio de la conservación de la energía:

La energía total producida en el generador es igual a la energía eléctrica utilizada más la energía eléctrica perdida.

$$E \cdot I \cdot t = V \cdot I \cdot t + r \cdot I^2 \cdot t$$

Dividiendo por  $t$ , se obtiene la ecuación de potencias.

$$E \cdot I = V \cdot I + r \cdot I^2$$

Dividiendo por  $I$ , se obtiene la ecuación de tensiones del generador.

$$E = V + r \cdot I$$

### Potencias eléctricas: Total ( $P_T$ ), perdida ( $P_p$ ) y útil ( $P_u$ )

La potencia total producida por el generador y que por lo tanto este cede al circuito, será la suma de la potencia que se pierde en la resistencia interna más la que se consume en la carga. Para calcularla aplicamos la expresión de la potencia utilizando la fuerza electromotriz en el primer término (la f.e.m. se corresponde con toda la tensión que proporciona el generador) y la corriente en el segundo.

**Potencia Total** o producida por el generador:

$$P_T = P_u + P_p \quad \text{o bien} \quad P_T = E \cdot I \quad \text{o también} \quad P_T = V \cdot I + r \cdot I^2 \quad \text{como podemos ver a continuación.}$$

En la resistencia interna también se produce una pérdida de potencia, que se transforma en calor por efecto Joule y que reduce el rendimiento del generador.

**Potencia perdida** por el generador.

$$P_p = r \cdot I^2$$

Al receptor se le entrega una potencia que es inferior a la total generada. Esta potencia útil es igual al producto de la tensión en bornes del generador por la corriente.

**Potencia útil** o suministrada a la carga:

$$P_u = V \cdot I$$

### Rendimiento eléctrico y rendimiento industrial

Siempre que hay una transformación de energía, hay unas pérdidas, es por ello que siempre hay que hablar de rendimiento. Se representa por la letra griega  $\eta$  (eta).

Se define rendimiento eléctrico como el cociente entre la potencia útil suministrada a la carga y la potencia total producida por el generador.

$$\eta_{\text{eléctrico}} = \frac{P_u}{P_T} \quad \text{Si lo expresamos porcentualmente, tendremos que:} \quad \eta (\%) = \frac{P_u}{P_T} \cdot 100 = \frac{V \cdot I}{P_T} \cdot 100$$

Se define rendimiento industrial como el cociente entre la potencia útil suministrada por el generador y la absorbida por el mismo (es el caso de un generador electromagnético, pues la potencia absorbida coincide con la aplicada por el eje).

$$\eta_{\text{eléctrico}} = \frac{P_u}{P_{ab}} \quad \text{Si lo expresamos porcentualmente, tendremos que: } \eta (\%) = \frac{P_u}{P_{ab}} \cdot 100 = \frac{V \cdot I}{P_{ab}} \cdot 100$$

**El rendimiento de cualquier transformación energética es siempre menor que la unidad.**

## ASOCIACIÓN DE GENERADORES

Al igual que otros componentes, los generadores también se pueden asociar en montaje serie, paralelo o mixto, obteniéndose así estructuras de generador con diferentes características en cuanto a la tensión y corriente que pueden proporcionar.

### Montaje serie

La conexión de generadores en serie se utiliza cuando queremos aumentar la tensión de salida. Esta forma de conexión es muy utilizada en las baterías de acumuladores, donde se consigue la tensión de salida buscada a base de conectar varios acumuladores en serie.

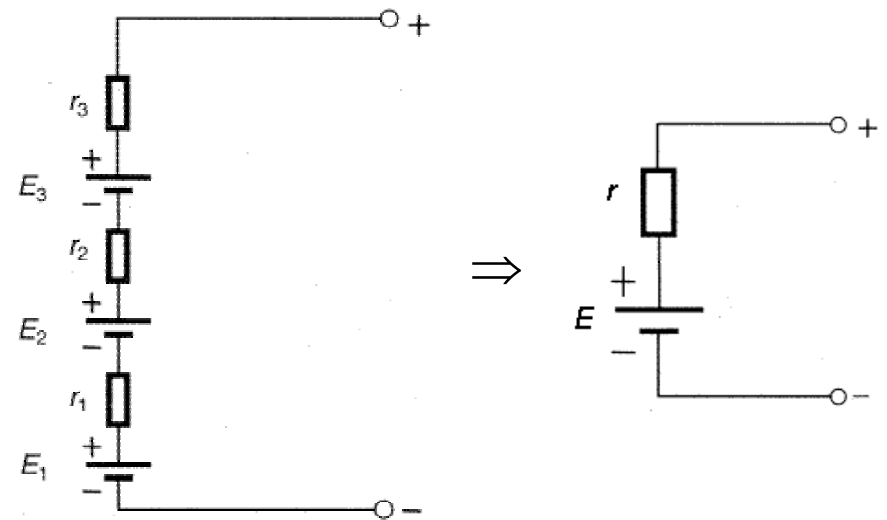
Consiste esta conexión en agrupar los generadores uno seguido del otro conectándolos entre sí por sus polos contrarios y dejando dos terminales libres, que constituyen el positivo (+) y negativo (-) del agrupamiento.

En la conexión en serie se cumple que:

⇒ La fuerza electromotriz (f.e.m.) del conjunto es igual a la suma de las fuerzas electromotrices de cada uno de los generadores.

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

Esta expresión supone que en las conexiones se ha respetado la polaridad aditiva conectando el positivo (+) de un elemento con el negativo (-) del siguiente, para que su f.e.m. se sume.



Si algún elemento se conectara en oposición a los demás, su f.e.m. en la expresión tendría que estar afectada del signo (-).

⇒ La resistencia interna del conjunto es igual a la suma de las resistencias internas de cada uno de los generadores.

$$r = r_1 + r_2 + r_3$$

⇒ La intensidad de la corriente eléctrica, al ser un montaje serie, es igual en todos los generadores.

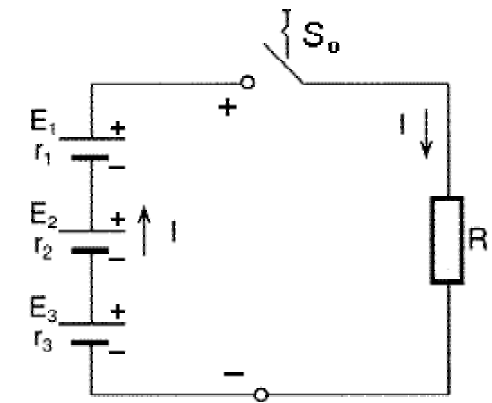
$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

Así pues, con este tipo de montaje se consigue aumentar la tensión, pero, en contrapartida, con un aumento de la resistencia interna total. Y en cuanto a la corriente disponible, está limitada por la máxima que pueda soportar uno de los elementos.

La condición de rentabilidad exige en la aplicación que todos los elementos sean iguales. La consecuencia práctica es que, al conectar una batería de  $N$  elementos iguales, el resultado es igual a una f.e.m. de  $N$  veces la de cada elemento y la **intensidad** de la corriente producida es igual a la de uno de sus elementos. En el caso de generadores diferentes, la intensidad máxima del circuito queda limitada por la máxima intensidad que puede proporcionar el generador más pequeño.

La ley de Ohm generalizada para el circuito serie nos da una intensidad de corriente en la carga de:

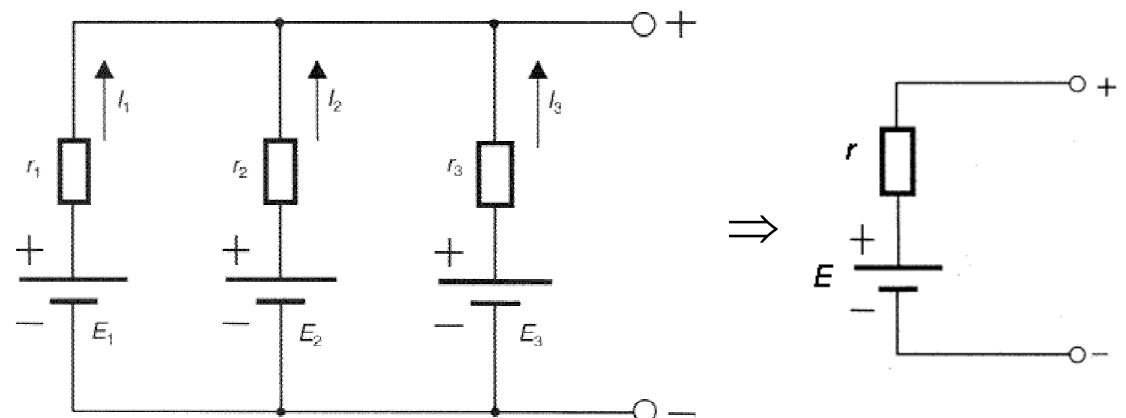
$$I = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{r_1 + r_2 + r_3 + R}$$



### Montaje paralelo

La conexión de generadores en paralelo se utiliza cuando queremos aumentar la corriente de salida manteniendo la tensión constante.

La conexión en paralelo posee las siguientes características:



⇒ Para que todos los generadores aporten energía deberán poseer la misma f.e.m.

$$E_1 = E_2 = E_3$$

⇒ La f.e.m. equivalente al conjunto es la misma que la de los generadores acoplados.

$$E = E_1 = E_2 = E_3$$

⇒ La resistencia interna del conjunto al ser un montaje paralelo, es igual.

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \quad \Rightarrow \quad r = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}$$

⇒ Si deseamos que todos los generadores aporten la misma corriente y potencia, además de ser igual su f.e.m., también deberán ser iguales sus resistencias internas ( $r_i$ ).

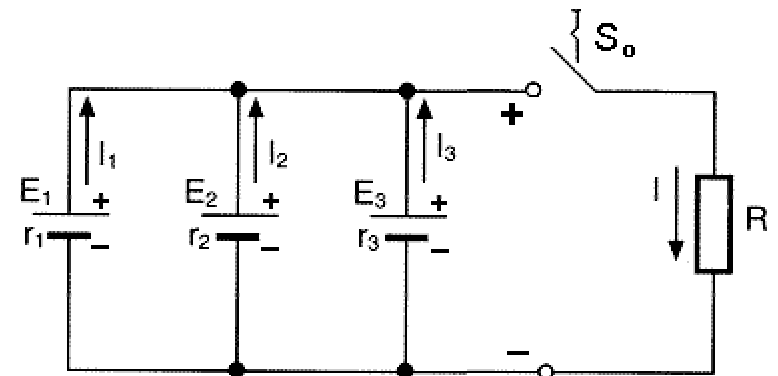
$$r_i = r_1 = r_2 = r_3 \text{ por lo tanto } r = \frac{r_i}{3}$$

⇒ La intensidad que suministra el conjunto de generadores es igual a la suma de las intensidades que aporta cada generador.

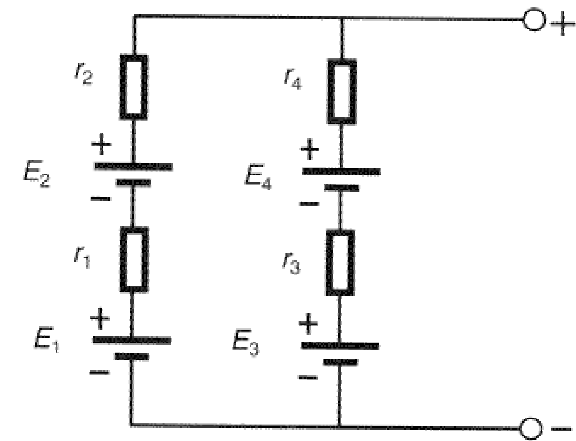
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Con este tipo de montaje se consigue obtener una mayor corriente de salida, ya que la corriente que circula por la carga es la suma de las corrientes de cada generador. En este caso la intensidad que circula por el circuito exterior y por la tanto por la carga es:

$$I = \frac{E}{\frac{r}{3} + R}$$



Además se debe tener la precaución de conectar debidamente las polaridades de los generadores; todos los positivos (+) unidos en un punto, y todos los negativos (-) unidos en otro punto. Un generador mal conectado da lugar a una descarga general con una corriente que puede ser muy elevada y producir deterioros. Asimismo, todos los generadores deben tener igual valor de tensión ya que, de lo contrario, se producirían corrientes de descarga entre ellos. En cuanto a la resistencia interna total, resulta inferior a la del generador que la tenga más baja.



### Montaje mixto

En este tipo de montaje, al ser la combinación de los montajes serie y paralelo, se combinan los dos tipos de características; se consigue aumentar la tensión y la corriente. Por ejemplo, en la estructura del generador de la figura, se deduce que:

$$E = E_1 + E_2 = E_3 + E_4$$

$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_1 + r_2} + \frac{1}{r_3 + r_4}}$$

Es una estructura de generador utilizada cuando se requieren potencias elevadas, ya que conectando en serie elementos de baja tensión se pueden conseguir tensiones elevadas, y asociando en paralelo los montajes serie se pueden conseguir elevadas intensidades.

Aparecen, pues, las siguientes características:

- ⇒ *Todos los grupos serie de generadores deben dar la misma tensión total; la tensión del generador resultante ( $E$ ), es igual a la de un grupo serie.*
- ⇒ *La corriente total en la carga viene dada por la suma de las corrientes de cada grupo serie.*
- ⇒ *La resistencia interna total queda determinada por la de uno de los grupos serie dividida entre el número de grupos (se suponen todos los grupos serie iguales).*

## CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES DE CORRIENTE CONTINUA (C.C.)

### Fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.)

Cuando un generador de c.c. electroquímico o electromagnético, funciona como receptor, absorbe energía eléctrica, generando una fuerza electromotriz que se opone a la tensión aplicada en sus bornes.

A esta fuerza electromotriz se le llama *fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.)* es una consecuencia del principio físico: “*los efectos se oponen a las causas que los producen*”

La f.c.e.m. se representa por la letra  $E'$  y al igual que la f.e.m. esta también se mide en voltios.

### Intensidad Nominal

Es la máxima intensidad de corriente que puede circular por el receptor sin provocar efectos perjudiciales que puedan deteriorarlo.

### Resistencia interna

Es la resistencia de los conductores y de los componentes internos de todo receptor. Se representa por la letra  $r$ .

### TENSIÓN EN BORNES DE UN RECEPTOR

Cuando un receptor forma parte de un circuito eléctrico absorbiendo una corriente eléctrica y generando una fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.) la tensión en sus bornes es igual:

$$V = E' + r \cdot I \quad \Rightarrow \quad E' = V - r \cdot I$$

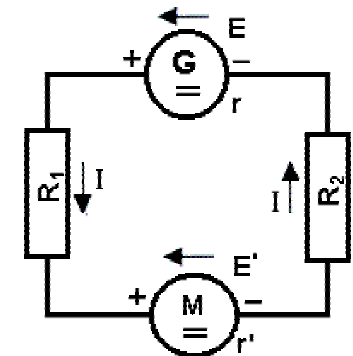
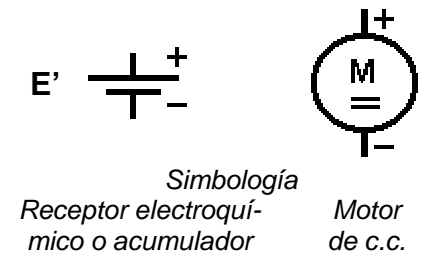
Donde:

$E'$  = Fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.) en voltios (V).

$V$  = Tensión en bornes aplicada al receptor en voltios (V).

$r$  = Resistencia interna del receptor en ohmios ( $\Omega$ ).

$I$  = Intensidad en amperios (A).



Circuito eléctrico



**Ley de Ohm generalizada:**

La intensidad de corriente que recorre un circuito con generador y receptor es directamente proporcional a la diferencia entre las f.e.m. de los generador y las f.c.e.m. de los receptores del circuito e inversamente proporcional a la resistencia total del mismo

$$I \text{ (int ensidad) } = \frac{E_T \text{ (f.e.m. total)} - E'_T \text{ (f.c.e.m. total)}}{R_T \text{ (resistencia total)}}$$

**Principio de la conservación de la energía:**

La energía eléctrica absorbida por el receptor es igual a la energía eléctrica utilizada más la energía eléctrica perdida.

$$V \cdot I \cdot t = E' \cdot I \cdot t + r \cdot I^2 \cdot t$$

Dividiendo por  $t$ , se obtiene la ecuación de potencias.

$$V \cdot I = E' \cdot I + r \cdot I^2$$

Dividiendo por  $I$ , se obtiene la ecuación de tensiones del receptor.

$$V = E' + r \cdot I$$

**Potencias: Absorbida ( $P_{ab}$ ), perdida ( $P_p$ ) y útil ( $P_u$ )**

La potencia absorbida por el receptor será la suma de la potencia que se pierde en la resistencia interna más la potencia útil (en el caso de un motor esta corresponde a la mecánica que da por su eje) del receptor. Para calcularla aplicamos la expresión de la potencia utilizando la tensión aplicada en bornes del receptor en el primer término y la corriente absorbida en el segundo

**Potencia absorbida** o consumida por el receptor:

$$P_{ab} = P_u + P_p \quad \text{o bien} \quad P_{ab} = V \cdot I$$

En la resistencia interna también se produce una pérdida de potencia, que se transforma en calor por efecto Joule y que reduce el rendimiento del receptor.

**Potencia perdida** por el receptor.

$$P_p = r \cdot I^2$$

Al receptor se le entrega una potencia que es inferior a la útil (en el caso de un motor esta corresponde a la mecánica que da por su eje) del receptor. Este es igual a la diferencia entre la potencia absorbida por el receptor y la perdida por éste.

**Potencia útil** suministrada por el receptor:

$$P_u = P_{ab} - P_p \quad \text{o bien} \quad P_u = V \cdot I - r \cdot I^2$$

### Rendimiento industrial

Siempre que hay una transformación de energía, hay unas pérdidas, es por ello que siempre hay que hablar de rendimiento. Se representa por la letra griega  $\eta$  (eta).

*Se define rendimiento eléctrico como el cociente entre la potencia útil suministrada por el receptor y la potencia absorbida por el receptor.*

$$\eta_{el\acute{e}ctrico} = \frac{P_u}{P_{ab}} \quad \text{Si lo expresamos porcentualmente, tendremos que:} \quad \eta (\%) = \frac{P_u}{P_{ab}} \cdot 100 = \frac{P_u}{V \cdot I} \cdot 100$$

***El rendimiento de cualquier transformación energética es siempre menor que la unidad.***