# ELECTROTECNIA
## DIN-GRADO

**PROFESOR: CARLOS CESAR SANZ**
**INGENIERO INDUSTRIAL SUPERIOR.**
**DESPACHO A-346. tlfno 91 8109183**
**ccesasan@uax.es**
**UNIVERSIDAD ALFONSO X. EL SABIO**

**BIBLIOGRAFIA:**

**TEORIA DE CIRCUITOS (DOS TOMOS). UNED**
**ELECTROMAGNETISMO Y CIRCUITOS ELECTRICOS.**
**Jesús Fraile Mora. Mc Graw Hill**
**ELECTROMAGNETISMO Y CIRCUITOS ELECTRICOS. (problemas)**
**Jesús Fraile Mora. ETSI Caminos Madrid.**

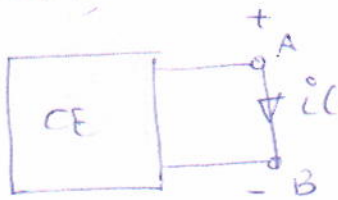
# VARIABLES ELÉCTRICAS de un CIRCUITO

a) Intensidad:

Movimiento de cargas en un circuito. Se representa por $i(t)$ (alterna o variable) y por $I$ (continua). Representa la variación de cargas en el tiempo en la sección de un conductor.

$$i(t) = \frac{dq}{dt}$$ A (Amperios) (se interpreta como un caudal)

Polaridad:




En este ejemplo $i(t) = 8A$ (de A → B)
$i(t) = -8A$ (de B → A)

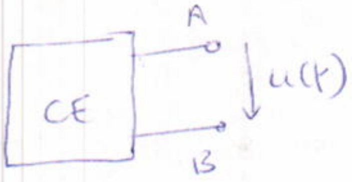
En definitiva, es el efecto que se consigue en un circuito cerrado por el impulso que genera la tensión.
Se mide con amperímetro.

b) tensión:

Se define como energía por unidad de carga. Este consumo de energía es la causa que provoca el movimiento de cargas (intensidad)

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq}$$ V (voltios)

Siempre es una unidad que se define entre 2 puntos (es decir referida a un punto de tensión de referencia)




$u = U_A - U_B$

$U > 0 \Rightarrow$ A está a mayor potencial que B

$U < 0 \Rightarrow$ A está a menor potencial que B

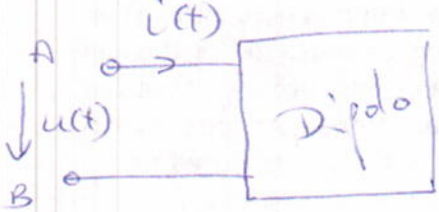
$$\left.\begin{array}{l} U_{AB} = U_A - U_B \\ U_{BA} = U_B - U_A \end{array}\right\} U_{AB} = -U_{BA}$$

Se mide con el voltímetro

c) Potencia: variación de la energía por unidad de tiempo (o velocidad de transporte de la energía eléctrica)

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = \frac{dw}{dq}\frac{dq}{dt} = u(t)\,i(t)$$ en watios W (Julio/sg) ← J/s

Referencias: para referencia de elemento pasivo




$p(t) = \oplus u(t)\,i(t) \gtreqless 0$

de forma que:

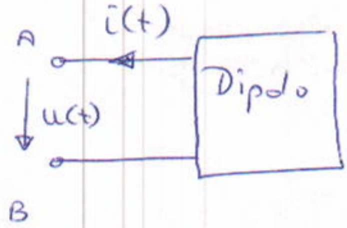
$p(t) > 0 \Rightarrow$ El dipolo absorbe potencia

las cargas se dejan energía en el dipolo

$p(t) < 0 \Rightarrow$ El dipolo cede potencia

↳ las cargas absorben energía del dipolo

$p(t) = 0 \rightarrow$ ni cede ni absorbe potencia.




$p(t) = \ominus u(t)\,i(t) \gtreqless 0$

# ELEMENTOS DE LOS CIRCUITOS

Elementos Pasivos ⟹ DISIPAN ENERGIA

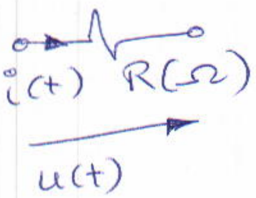
(a) - Resistencias
(b) - Bobinas
(c) - Condensadores
(d) - Bobinas acopladas

Elementos Activos ⟹ FUENTE O GENERADOR ⟹ SUMINISTRAN ENERGIA ELECTRICA

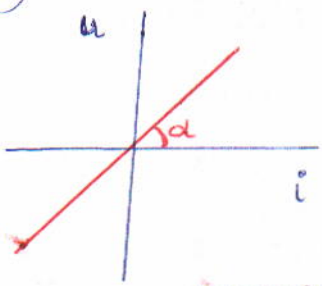
- Fuentes
  - (I) Tensión
    - Ideales
    - Reales
  - (II) Intensidad
    - Ideales
    - Reales

## (a) RESISTENCIAS (RESISTORES)

Elemento físico que disipa energía en forma de calor




- Existe una relación lineal entre la tensión y la intensidad




$tg\,\alpha = R = \frac{u(t)}{i(t)}$ ⟹ LEY OHM

$R(T) = R_o(1 + \alpha \Delta T)$ — $\alpha$: coef. dilatación térmico

$R_o$: 25°C, 1atm

$u(t) = R\, i(t)$ $[R] = \Omega$ OHMIO

$i(t) = G\, u(t)$ — G: CONDUCTANCIA — $[G] = S'$ SIEMENS

R ⟹ Resistencia;

oposición de todo elemento al paso de cargas eléctricas a su través. Es un parámetro esencialmente positivo.

$$R = \rho \frac{\ell}{S'} \quad \left[\frac{\Omega\, mm^2}{m}\right]$$

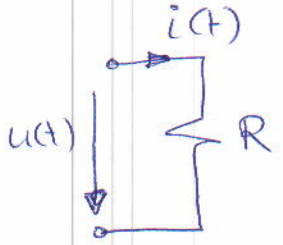
$\rho$ → resistividad eléctrica
oposición al paso de corriente por unidad de sección y unidad de longitud

$G = \frac{1}{R}$ → RESISTENCIA (oposición)

$G$ → CONDUCTANCIA (facilidad)

$p(t) = u(t)\,i(t)$ ¿cuál es la polaridad de tensión e intensidad?

(I)

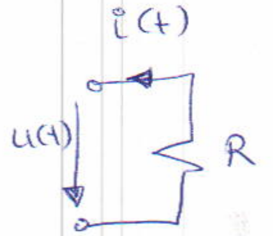



$p(t) = \oplus\, u(t)\, i(t) = R\, i(t)^2 > 0$ CONSUME POTENCIA

$u(t) = \oplus\, R\, i(t)$

$w(t) = \int_0^t p(t)\,dt \Rightarrow \geq 0$ DISIPA o CONSUME NETAMENTE

(II)




$p(t) = \ominus\, u(t)\, i(t) = R \times i(t)^2 > 0$

$u(t) = \ominus\, R\, i(t)$

$w(t) = \int_0^t p(t)\,dt \geq 0$

o también;

$i(t) = \pm \frac{u(t)}{R}$ (otro despeje)

(I) $p(t) = u(t)\, i(t) = \frac{u(t)^2}{R} > 0$

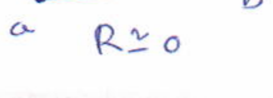
(II) $p(t) = \ominus\, u(t)\, i(t) = \frac{u(t)^2}{R} > 0$

$i(t) = \ominus\, \frac{u(t)}{R}$

El concepto resistencia permite definir 2 conceptos;

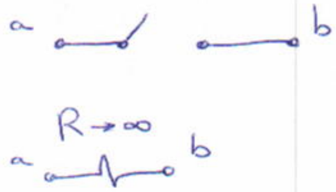
- Cortocircuito ($R=0$), es decir, no hay caida de tensión entre 2 puntos eléctricos

$i(t) = \frac{u(t)}{R \simeq 0} \Rightarrow i(t) \uparrow\uparrow$



- circuito abierto ($R \simeq \infty$). Implica ruptura del circuito. No hay corriente pero sí hay tensión, que depende del resto del circuito.

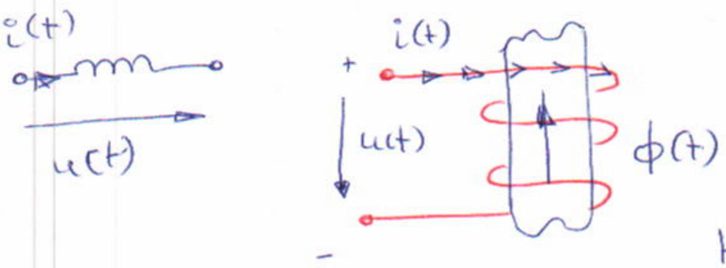
$$R = \frac{u(t)}{i(t) \to 0} \to R = \infty$$




(b) BOBINAS

Elemento capaz de almacenar energía magnética. Está caracterizada por el denominado coeficiente de autoinducción

$L \to [L] \to [H]$ (Henrios)




Ecuación fundamental;

Ley Ampere;

$$\underbrace{H(t)}_{\text{Av/m}} \, \underbrace{\ell_{cir.}}_{[m]} = \underbrace{N}_{\text{nº espiras}} \underbrace{i(t)}_{[A]}$$

$\ell_{cir.}$: eléctrico [m] (campos electromagnéticos)

$H(t)$: intensidad de campo magnético

(1) $H(t)\,\ell_{ce} = N\,i(t)$

(2) $B(t) = \mu\, H(t)$

$B$: [Tesla]; $\mu$: permeabilidad magnética del medio

(3) $\phi(t) = B(t)\, S'$

$\phi$: Weber [Wb]

De (1), (2), (3)

$$\frac{B(t)}{\mu}\,\ell_{ce} = N\,i(t)$$

$$N \times \left[ \frac{\phi(t)}{S'\mu}\,\ell_{ce} = N\,i(t) \right]$$

$$N\phi(t) = \left(\frac{N^2 S' \mu}{\ell_{ce}}\right) i(t)$$

$\dfrac{N^2 S'\mu}{\ell_{ce}} \to L$ (coeficiente de autoinducción)

cte independiente del material

Ley de Faraday-Lenz

$$e(t) = \frac{d(N\phi(t))}{dt} = L\frac{di(t)}{dt} \simeq u(t)$$

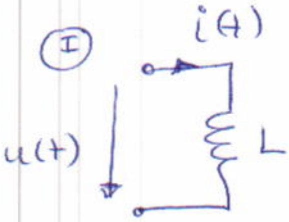
Es decir, la variación del flujo respecto del tiempo da lugar a la aparición de una fuerza electromotriz en los terminales de la bobina.

De forma integral

$$i(t) = i(t_0) + \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} u(t)\,dt$$

Igualmente habrá que tener precaución con la polaridad;

I




$$u(t) = \oplus L\frac{di(t)}{dt}$$

$$p(t) = \oplus u(t)i(t) = L\,i(t)\frac{di(t)}{dt} \gtreqless 0$$

$> 0$ → absorbe
$= 0$ → ni cede ni absorbe
$< 0$ → cede

$$w(t) = \int_{t_0}^{t} p(t)\,dt = \int_{t_0}^{t} \oplus u(t)i(t)\,dt = \int_{t_0}^{t} L\,i(t)\frac{di(t)}{dt}\,dt =$$

$$= \frac{1}{2}L\,i(t)^2 \geq 0$$

- De la ecuación de la bobina se deduce también;

$$u(t) = L\frac{di(t)}{dt}$$

(a) No puede haber variaciones bruscas de intensidad en una bobina porque daría lugar a $u(t) \to \infty$

(b) En corriente continua → $i(t) = kte$ → $u(t) = 0$
→ Se comporta como un cortocircuito

## c) CONDENSADOR

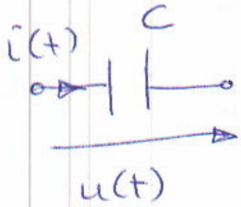
Elemento capaz de almacenar energía eléctrica. Se caracteriza por el parámetro capacidad. $[C] \rightarrow$ Faradios

$q = C\,u(t)$ → haciendo un análisis análogo a la bobina

$q$ → carga eléctrica en culombios

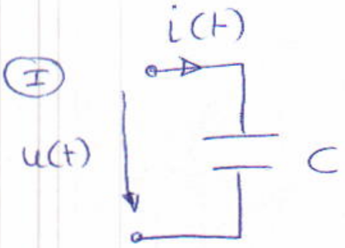
$$\boxed{i(t) = C \frac{du(t)}{dt}}$$

Integrando




$$u(t) = u(t_0) + \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i(t)\,dt.$$

I




$$i(t) \overset{+}{=} C\frac{du(t)}{dt}$$

$$p(t) = (+)\,u(t)\,i(t)$$

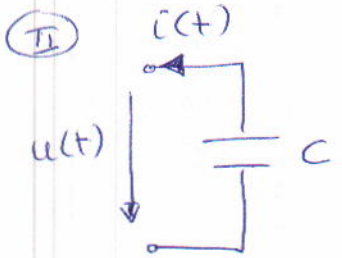
$$p(t) = u(t)\,C\frac{du(t)}{dt} \gtreqless 0$$

$>$ → absorbe potencia
$<$ → cede potencia
$=$ → ni cede ni absorbe

$$w(t) = \int_{t_0}^{t} p(t)\,dt = \int_{t_0}^{t} u(t)\,C\frac{du(t)}{dt}\,dt = \frac{1}{2}C\,u(t)^2 \underline{\underline{> 0}}$$

disipa energía

II




$$i(t) = (-)\,C\frac{du(t)}{dt}$$

$$p(t) = (-)\,u(t)\,i(t)$$

$$p(t) = u(t)\,C\frac{du(t)}{dt} \gtreqless 0$$

$>$ → absorbe
$<$ → cede
$=$ → ni absorbe ni cede

$$w(t) = \frac{1}{2}C\,u(t)^2 > 0$$

disipa energía

- Aquí es la tensión la que no puede variar bruscamente porque sino produciría un pico de corriente infinito

$$i(t) = C\,\frac{du(t)}{dt} \xrightarrow{\text{variación brusca}} i(t) = \uparrow\uparrow \simeq \infty.$$

- En corriente continua

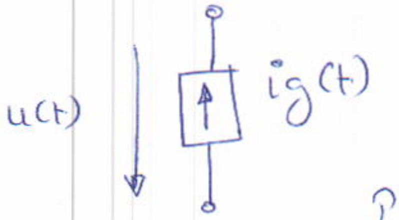
$$u(t) = kte \longrightarrow i(t) = 0 \longrightarrow \text{circuito abierto}$$

---

ELEMENTOS ACTIVOS (FUENTES O GENERADORES)

Son los encargados de suministrar energía eléctrica

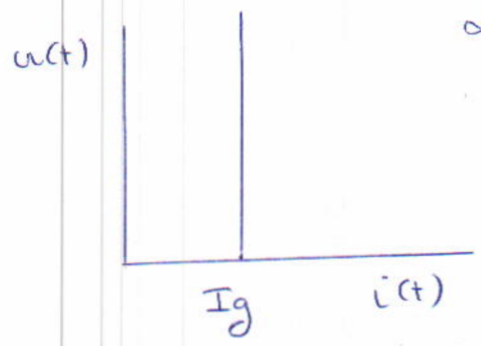
(I) FUENTE DE CORRIENTE IDEAL

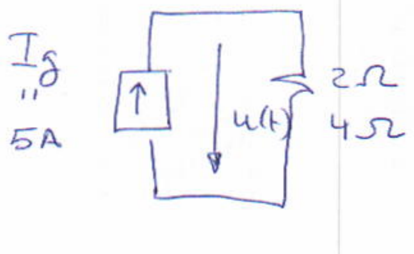



Genera energía eléctrica con una determinada corriente $i_g(t)$ o $I_g$ que es independiente de la tensión en bornas.

La flecha indica el sentido de la corriente.

La tensión depende del resto del circuito y NO tiene porqué valer cero




$U = 5A \times 2\Omega = 10V$

$U' = 5A \times 4\Omega = 20V$

$$P(t) = \ominus\, u(t)\, i_g(t) \longrightarrow \text{cede potencia}$$

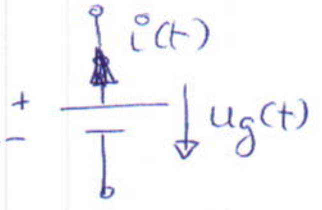
- Cuando apagamos una fuente $i_g(t) = 0 \Rightarrow$ CIRCUITO ABIERTO

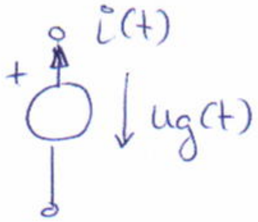
$I_g$

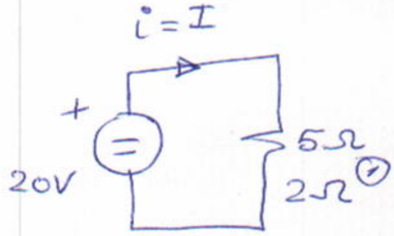
$u(t) \neq 0$

## (II) FUENTE DE TENSIÓN IDEAL

Proporciona energía eléctrica con una determinada tensión que es independiente de la corriente que circula por él;




- Cuando la fuente es apagada;

$$I = \frac{20V}{5\Omega} = 4A$$

$$I' = \frac{20V}{2\Omega} = 10A$$

$u_g(t) = 0$ pero $i(t) \neq 0$

Equivalente eléctrico ⟹ CORTOCIRCUITO

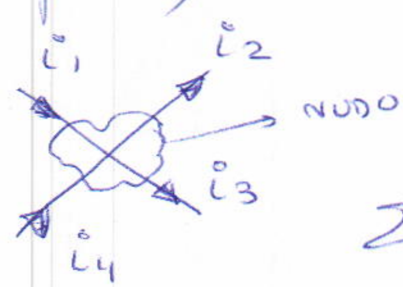
Inciso

Recordar;

| | |
|---|---|
| Kilo - K = $10^3$ | mili - m = $10^{-3}$ |
| Mega - M = $10^6$ | micro - $\mu$ = $10^{-6}$ |
| Giga - G = $10^9$ | nano - n = $10^{-9}$ |
| Tera - T = $10^{12}$ | pico - p = $10^{-12}$ |

LEYES de KIRCHOFF

(1) 1LK → sumatorio de intensidades entrantes en un nudo eléctrico es igual al sumatorio de intensidades salientes (lo que entra, sale. NO SE PIERDE NI SE GANAN Amperios)

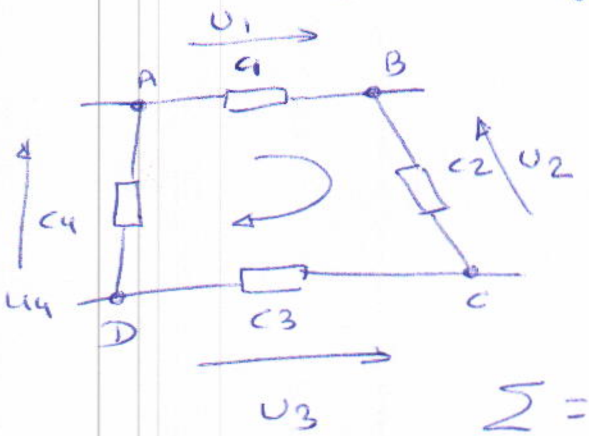



$$i_1 + i_4 - i_2 - i_3 = 0$$

$$i_1 + i_4 = i_2 + i_3$$

$$\sum i_{entrantes} = \sum i_{salientes}$$

(2) 2LK → El sumatorio de tensiones en un camino cerrado (real o ficticio) es nulo




$$U_A - U_B = U_1$$

$$U_B - U_C = -U_2$$

$$U_C - U_D = -U_3$$

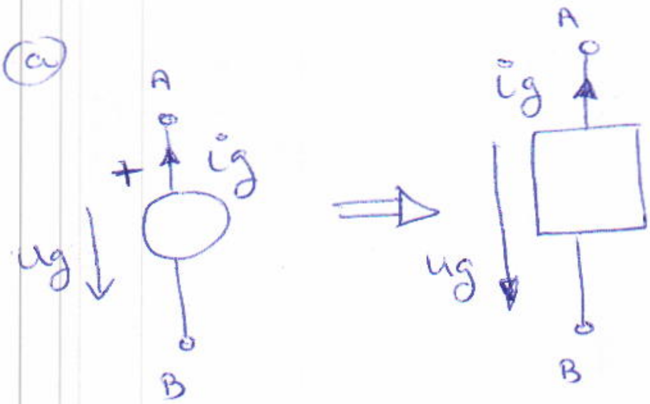
$$U_D - U_A = U_4$$

$\sum = 0 = U_1 - U_2 - U_3 + U_4$; o bien

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0.$$

CONVENIO DE SIGNOS DE POTENCIA DE UN GENERADOR

(a)




$P_{CONSUMIDA} = \ominus u_g i_g$

$=$ $>$ → ABSORBE POTENCIA (MOTORIZACIÓN)

$<$ → CEDE POTENCIA

$=$ → NI ABSORBE NI CEDE

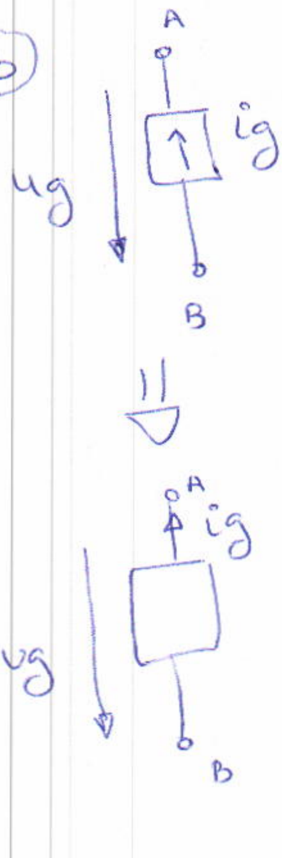
$P_{GENERADA} = \oplus u_g i_g = \ominus P_{CONSUMIDA}$

→ $>0$ GENERA POTENCIA

→ $<0$ CONSUME POTENCIA

→ $=0$ NI GENERA NI CONSUME

(b)




$P_{CONSUMIDA} = \ominus u_g i_g$

$>0$ → CONSUME POTENCIA (MOTORIZACIÓN)

$<0$ → CEDE POTENCIA

$=0$ → NI GENERA NI CONSUME

$P_{GENERADA} = \oplus u_g i_g = \ominus P_{CONSUMIDA}$

→ $>0$ GENERA POTENCIA

→ $<0$ CONSUME POTENCIA

→ $=0$ NI GENERA NI CONSUME

MAGNITUDES ASOCIADAS A UNA ONDA.

CC → CORRIENTE CONTINUA → la que no varia con el tiempo o dicho de otra forma, $f_{cc} \equiv 0$

Ca → CORRIENTE ALTERNA → la que varia con el tiempo o dicho de otra forma $f_{ca} \neq 0$. Estudiaremos el caso más general e importante de corriente alterna senoidal (seno ó coseno)

CORRIENTE ALTERNA SENOIDAL

- Aquella cuya expresión matemática es una SENOIDE.

$i(t) = I_{max}\, sen(wt + \varphi_i)$

$u(t) = U_{max}\, sen(wt + \varphi_u)$

$p(t), e(t) \dots$

- Es fundamental debido a;

(a) Matemáticamente está perfectamente definida

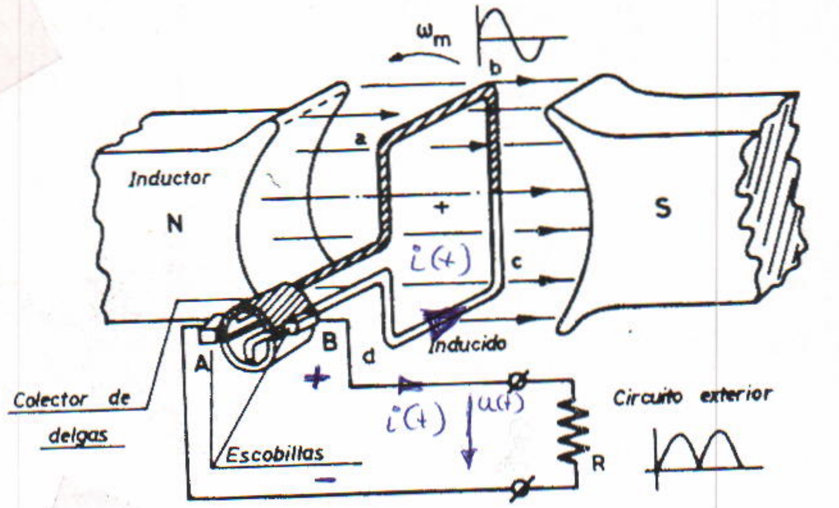
(b) Toda onda periódica se descompone en sumas de senos y cosenos mediante desarrollos de Fourier

(c) Se generan facilísimamente en la magnitud deseada

(d) Se transforma mediante transformadores de forma sencilla

(e) Se transporta y utiliza fácilmente

# PRODUCCIÓN DE CORRIENTE ALTERNA SENOIDAL




La figura representa un generador eléctrico muy sencillo

Representado está | $B(t) \to$ líneas de inducción magnéticas que van de polo N a S'

$\omega m \to$ velocidad angular de giro (turbina)

$\phi(t) \to$ flujo (cantidad de líneas de inducción $B(t)$ que atraviesan el plano de la espira en un determinado momento)

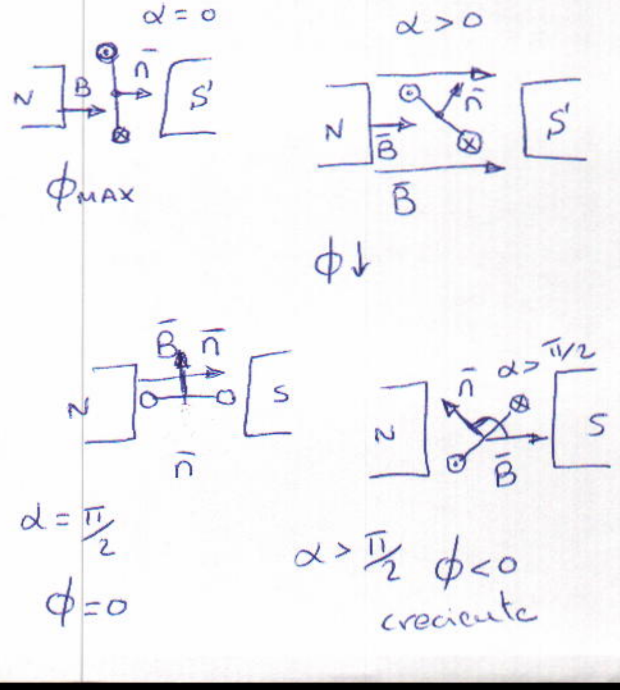
$$\phi(t) = B\,S'\cos\alpha$$

$\hookrightarrow$ ángulo entre la normal de la espira y $\vec{B}(t)$

$\alpha \simeq \omega m t$

$\downarrow$

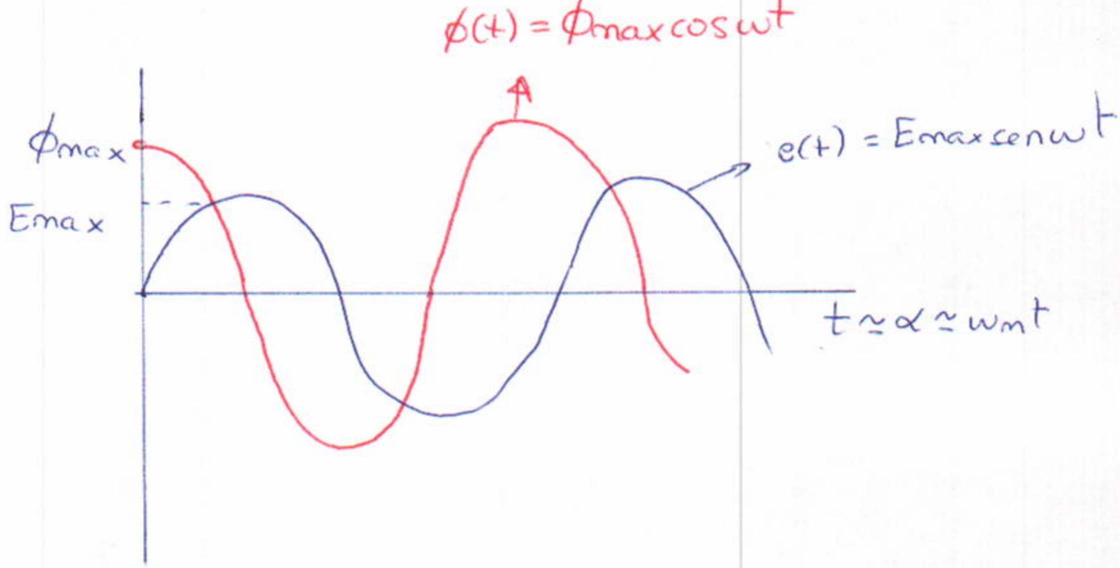
velocidad de giro angular de la turbina rad/sg



$$\phi(t) = B\,S\cos\omega_m t$$

$$e(t) = \ominus N\frac{d\phi(t)}{dt} = NBS\omega\,\mathrm{sen}\,\omega t = E_{max}\,\mathrm{sen}\,\omega t$$

Aplicando Faraday




PARÁMETROS DE ONDA.

$x(t) = A\,\mathrm{sen}(\omega t + \alpha)$ — $\omega$ rad/sg

$e(t)$, $u(t)$, $i(t)$, $p(t)$, ⋮

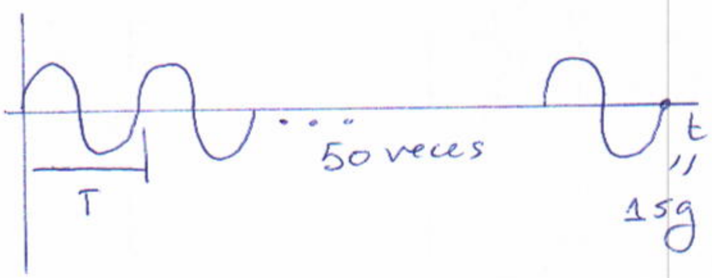
$\omega \to$ velocidad angular $\to$ ángulo descrito en la unidad de tiempo (velocidad eléctrica o pulsación)

$A \to$ Amplitud $\to$ valor máximo de la señal

$f \to$ FRECUENCIA $\to$ nº de veces que una señal pasa por un determinado punto con un mismo sentido en la unidad de tiempo

$$\omega = 2\pi f \to f = \frac{\omega}{2\pi} \text{ [Herzios] [Hz]} \to s^{-1}$$

[Hz] → Europa 50Hz, USA 60Hz



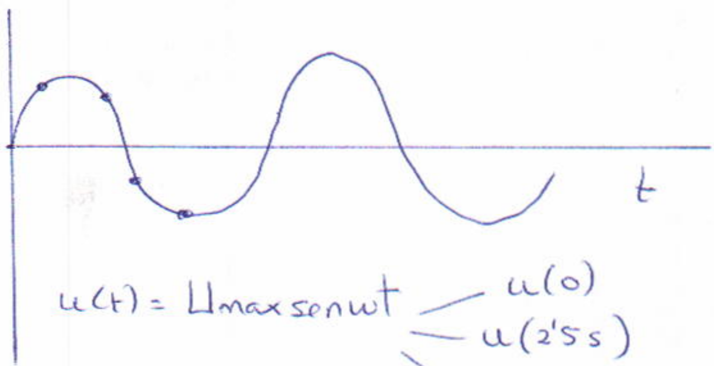
PERIODO → inversa de la frecuencia → tiempo transcurrido en realizar un ciclo

Si $f = 50Hz$ $\quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 s^{-1}} = 0'02 sg$

LONGITUD ONDA — $\lambda$ → Distancia recorrida por una onda en un periodo $(\lambda = vT = m/s \times s = m)$

lógicamente si $f \uparrow \rightarrow \lambda \downarrow$

VALOR INSTANTANEO → El que toma en cada instante una onda

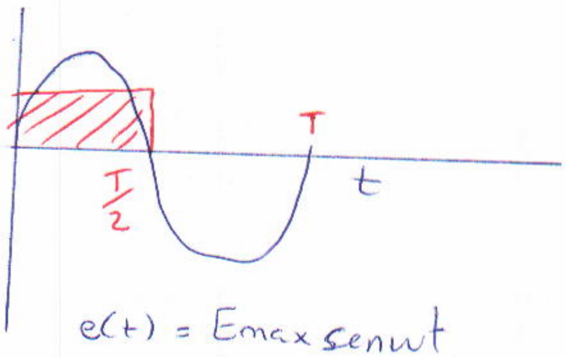



$u(t) = U_{max} sen wt$ — $u(0)$, $u(2'5s)$, $u(\pi)$, ⋮

VALOR MÁXIMO (pico o cresta) Valor de la onda que toma la ordenada máxima en un tiempo determinado

VALOR PICO A PICO → 2 veces el valor máximo

VALOR MEDIO → Media aritmética de los valores instantaneos de un semiperiodo (o también integral cuyo área corresponde al area del rectángulo equivalente)




$e(t) = E_{max} sen wt$

físicamente → onda de continua que genera los mismos efectos que el semiperiodo de la onda alterna.

$$E_{med} = \frac{1}{T}\int_0^{T/2} E_{max} sen wt\, dt = \boxed{\frac{E_{max}}{\pi/2}} = \boxed{\frac{2E_{max}}{\pi}}$$

VALOR EFICAZ

Se define como; $E = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T e(t)^2 dt} = \boxed{\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}}$

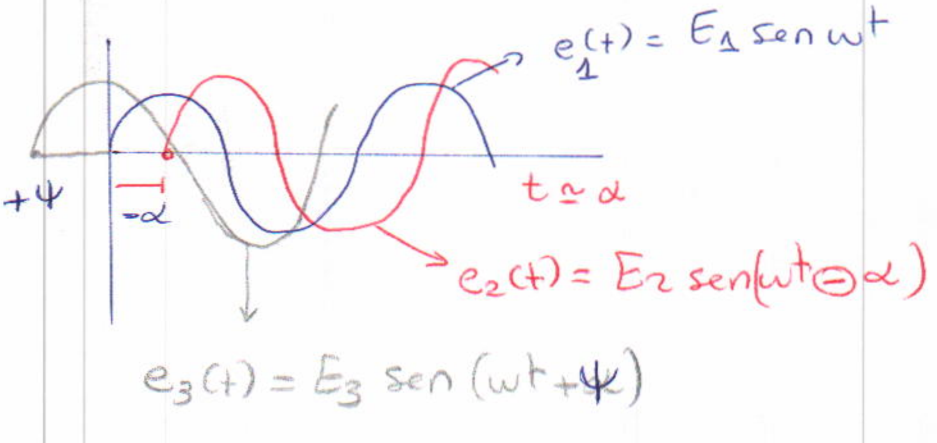
$e(t) = E_{max} \operatorname{sen} \omega t$

para una onda senoidal vale

Su importancia fundamental consiste en que es el valor que miden los equipos de medida
- Amperímetros
- Voltímetros
- Watímetros

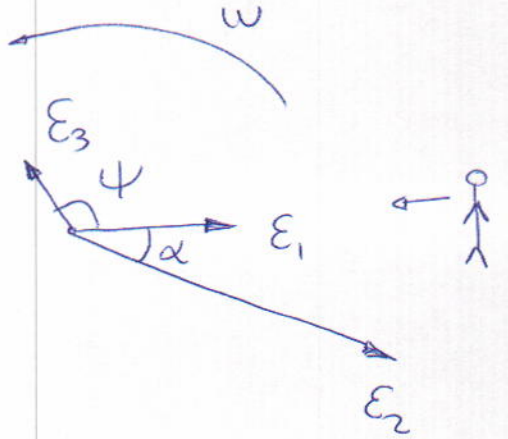
FASE → instante, posición o estado en que se realiza un fenómeno

$u(t) = U_{max} \operatorname{sen} \omega t \begin{pmatrix} +0 \\ +\alpha \\ -\alpha \end{pmatrix}$




CONVERSIÓN A NUMERO COMPLEJO Ó FASOR

Fasor → vector giratorio de modulo el valor eficaz, angulo el desfase de la onda y velocidad de giro igual a la w.
Es una herramienta excelente para la operación de ondas senoidales y permite representar de forma unívoca e inequívoca una onda con un numero complejo




$e_1(t) = E_1 \operatorname{sen} \omega t$

$e_2(t) = E_2 \operatorname{sen}(\omega t - \alpha)$

$e_3(t) = E_3 \operatorname{sen}(\omega t + \Psi)$

$\mathcal{E}_1 = E_{1ef} \underline{|0}$

$\mathcal{E}_2 = E_{2ef} \underline{|-\alpha}$

$\mathcal{E}_3 = E_{3ef} \underline{|\Psi}$

Esta representación permite operar fácilmente con ondas senoidales

$\oplus$, $\ominus$, $\otimes$, $\oslash$, CONJUGADO

Inciso (Nos complejos)

$$\left.\begin{aligned} A &= a + bj \\ B &= c + dj \end{aligned}\right\} \begin{aligned} A + B &= (a+c) + j(b+d) \\ A \cdot B &= (ac - bd) + j(ad + bc) \\ A/B & \end{aligned}$$

$e^{j\alpha} = \cos\varphi + j \operatorname{sen}\varphi$

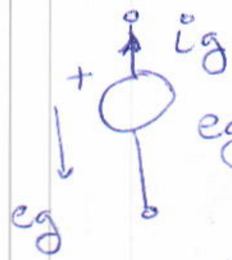
$A = \underset{\overset{\shortparallel}{r}}{\sqrt{a^2 + b^2}} \Big|_{\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}}$

$A = r e^{j\alpha}$

## FUENTES IDEALES DEPENDIENTES

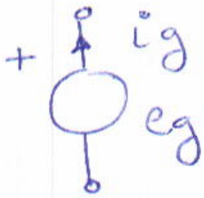
Como el nombre implica son componentes eléctricos ideales (por lo tanto son una aproximación), pero caracterizados porque su tensión o intensidad dependen de UN PARAMETRO de algún componente del circuito donde están conectados. Son 4;

(a) FTE TENSIÓN DEPENDIENTE DE TENSIÓN




$e_g = \beta \cdot u$ → ADIMENSIONAL

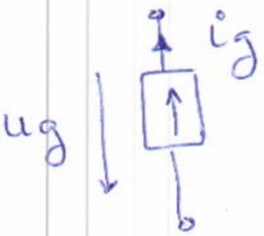
(b) FTE TENSIÓN DEPENDIENTE DE INTENSIDAD




$e_g = \alpha i$

↳ $[\alpha] \to \Omega$

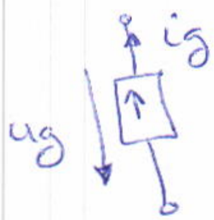
(c) FTE INTENSIDAD DEPENDIENTE DE TENSIÓN




$i_g = \gamma u_g$

↳ $[\gamma] \to \Omega^{-1} \to$ SIEMENS

(d) FTE INTENSIDAD DEPENDIENTE DE INTENSIDAD

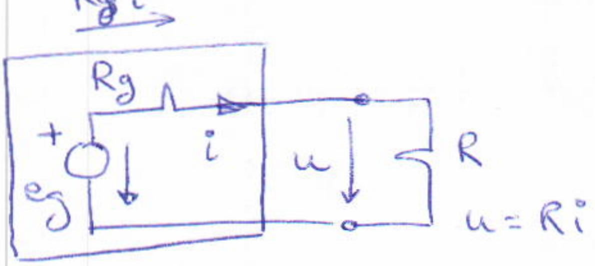



$i_g = \varepsilon i$

↳ ADIMENSIONAL

# FUENTE REAL !! DE TENSIÓN

Ningún generador de tensión produce tensión sin tener una caída de tensión interna. Cuanta mayor caída de tensión interna tenga peor será el generador. Algunos son tan buenos que los consideramos ideales




① $e_g = R_g i + Ri = (R_g + R)i$

$$\boxed{i = \frac{e_g}{R_g + R}}$$

a) $R_{corto} = 0 \rightarrow i_{max} = \frac{e_g}{R_g}$

b) $R = \infty$ (c. abierto) $\rightarrow i = 0$

② $u = Ri = R\frac{e_g}{R_g + R} = \frac{e_g}{1 + \frac{R_g}{R}}$

a) $R = 0$ (corto) $\rightarrow u_{min} = 0$

b) $R = \infty$ (c. abierto) $\rightarrow u = e_g$

③ $p = ui = Ri^2 = R\left(\frac{e_g}{R_g + R}\right)^2$

a) $R = 0 \rightarrow p = 0$

b) $R = \infty \rightarrow p = 0$

CALCULO EL MÁXIMO

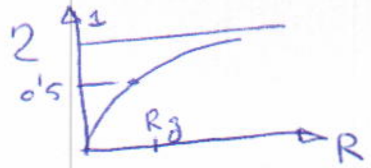
$$\frac{dp}{dR} = 0 = \frac{e_g^2 (R_g + R)^2 - 2(R_g + R)R}{(R_g + R)^4} = 0$$

$$R_g + R - 2R = 0 \rightarrow \boxed{R = R_g}$$

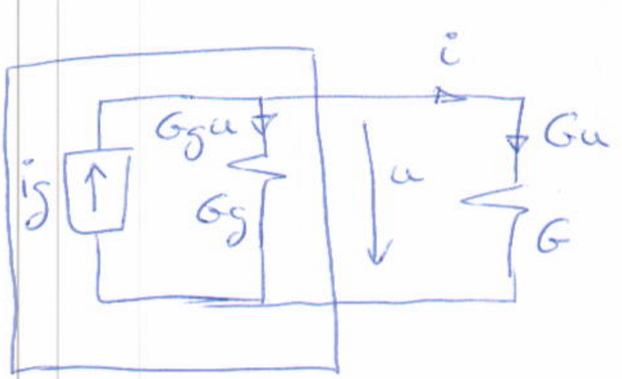
④ RENDIMIENTO

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} = \frac{ui}{e_g i} = \frac{Ri}{R_g i + Ri} = \frac{R}{R_g + R} = \frac{1}{1 + R_g/R}$$

$$\eta(R = R_g) = \frac{1}{2} \; (50\%)$$



FUENTE REAL!! de INTENSIDAD




① $i_g = G_g u + G u = (G_g + G) u$

$$\boxed{u = \frac{i_g}{G_g + G}}$$

a) $G = 0$, $R = \infty$

$u_{max} = \frac{i_g}{G_g}$

b) $G = \infty$, $R = 0$ $u_{min} = 0$

② $i = Gu = G \frac{i_g}{(G_g + G)} =$

$$= \frac{i_g}{1 + G_g/G} \begin{cases} \left.\begin{matrix} a)\ G = 0 \\ R = \infty \end{matrix}\right\} i_{min} = 0 \\ \\ \left.\begin{matrix} b)\ G = \infty \\ R = 0 \end{matrix}\right\} i_{max} = i_g \end{cases}$$

③ $p = ui = Gu^2 = G \left(\frac{i_g}{G + G_g}\right)^2$ $\left.\begin{cases} a)\ G = 0 \rightarrow p = 0 \\ b)\ G = \infty \rightarrow p = 0 \end{cases}\right\}$ $\frac{dP}{dG} = 0$

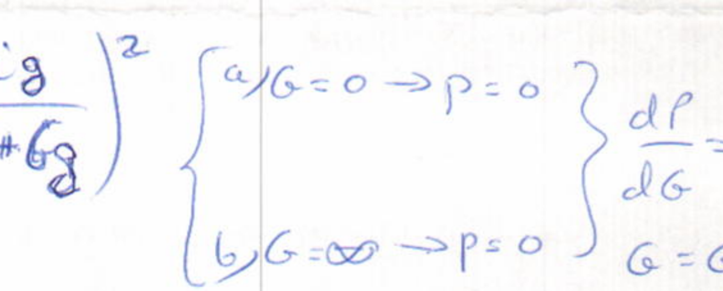
$G = G_g$

$P_{max}$

④ $\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} = \frac{ui}{u i_g} = \frac{Gu}{Gu + G_g u} = \frac{G}{G + G_g}$

$\eta (G = G_g) = 50\%$

IMPEDANCIA




Z = IMPEDANCIA

31 $\frac{1}{Z} \rightarrow$ ADMITANCIA

$u = Zi$ $\quad$ $u = ?\, i$

$i = \frac{1}{Z} u$ $\quad$ $i = ?\, u$

INMITANCIA → cuando nos referimos a una impedancia o admitancia.

Resistencia
$$u = Ri \qquad u = Z_R i \Bigg\} \boxed{Z_R = R} \rightarrow Y_R = \frac{1}{Z_R} = \frac{1}{R}$$

$$\boxed{Y_R = \frac{1}{Z_R}}$$

Bobina
$$u = L\frac{di}{dt} = LDi \qquad u = Z_L i \Bigg\} \boxed{Z_L = LD} \rightarrow Y_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{LD}$$

$$\boxed{Y_L = \frac{1}{LD}}$$

Condensador

$$i = C\frac{du}{dt} = CDu$$

$$u = \frac{1}{CD} i \qquad u = Zi \Bigg\} \boxed{Z_C = \frac{1}{CD}} \rightarrow \boxed{Y_C = CD}$$

ASOCIACIÓN de ELEMENTOS

1/ ASOCIACIÓN SERIE. DIVISOR DE TENSIÓN


$$\boxed{u = Z_{eq} i}$$

$$u = u_1 + u_2 + \cdots + u_K + \cdots u_n =$$
$$= Z_1 i + Z_2 i + \cdots = \underbrace{(Z_1 + Z_2 + \cdots)}_{(Z_{eq})} i$$

a) Resistencia

$Z_K = R_K$ $\quad \boxed{R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots}$

b) Bobina

$Z_K = L_K D$ $\quad L_{eq} D = L_1 D + L_2 D + \dots = (L_1 + L_2 + \dots) D$

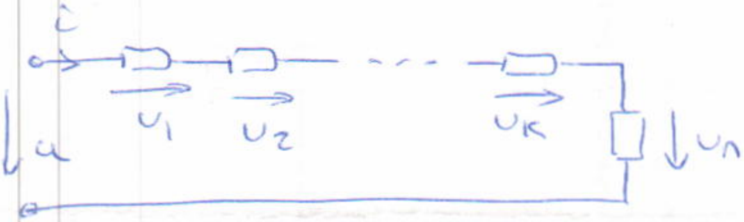
$$\boxed{L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots}$$

c) Condensador

$$Z_K = \frac{1}{C_K D} \; ; \; \frac{1}{C_{eq} D} = \frac{1}{C_1 D} + \frac{1}{C_2 D} + \dots$$

$$\boxed{\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots}$$

DIVISOR de TENSIÓN




queremos calcular $u_K$ y desconocemos el valor de $i$.

$$\left.\begin{array}{l} u_K = Z_K i \\ u = Z_{eq} i \end{array}\right\} \quad \frac{u_K}{u} = \frac{Z_K}{Z_{eq}} \Rightarrow \boxed{u_K = \frac{Z_K}{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n} u}$$

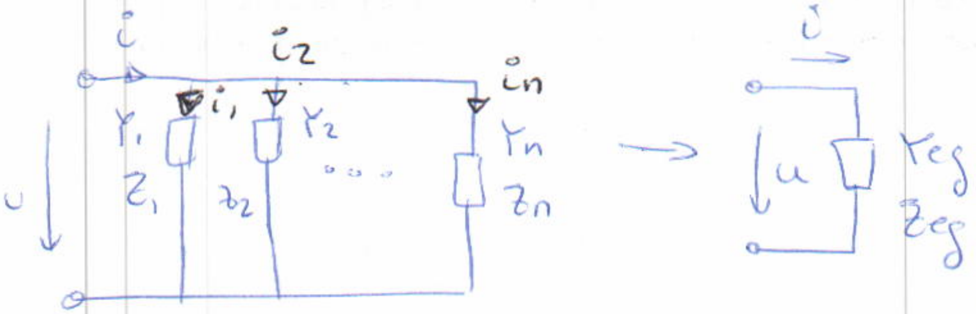
a) Resistencia $\rightarrow$ $\boxed{u_K = \frac{R_K}{R_1 + R_2 + \quad + R_n} u}$

b) Bobina $\rightarrow$ $\boxed{u_K = \frac{L_K D}{L_1 D + L_2 D + \dots + L_n D} u}$

c) Condensador $\boxed{u_K = \frac{\frac{1}{C_K D}}{\frac{1}{C_1 D} + \frac{1}{C_2 D} + \dots \frac{1}{C_n D}} u}$

# ASOCIACIÓN PARALELO

Sometidos a la misma tensión




$$\boxed{i = Y_{eq}\, u}$$

$$i = i_1 + i_2 + \cdots$$

$$i = Y_1 u + Y_2 u + \cdots$$

$$\boxed{Y_{eq} = Y_1 + Y_2 + \cdots} \longleftarrow \boxed{i = (Y_1 + Y_2 + \cdots)\, u}$$

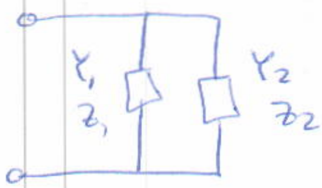
$$\boxed{\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \cdots}$$

a) Resistencia $\left.\begin{array}{l} Z_K = R_K \\ Y_K = \dfrac{1}{R_K} \end{array}\right\}$ $\boxed{\dfrac{1}{R_{eq}} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \cdots}$

b) Bobina → $\left.\begin{array}{l} Z_K = L_K D \\ Y_L = \dfrac{1}{LD} \end{array}\right\}$ $\boxed{\dfrac{1}{L_{eq} D} = \dfrac{1}{L_1 D} + \dfrac{1}{L_2 D} + \cdots}$

c) Condensador $\left.\begin{array}{l} Z_K = \dfrac{1}{CD} \\ Y_C = CD \end{array}\right\}$ $\boxed{C_{eq} D = C_1 D + C_2 D + \cdots}$

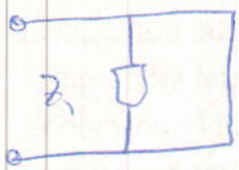
NOTA → cuando asociamos en paralelo, la $Z_{eq}$ es menor que la menor de los elementos que hay.



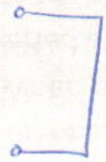

$$Y_{eq} = Y_1 + Y_2$$

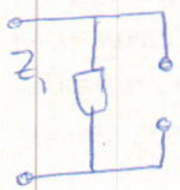
$$\frac{1}{Z_{eq}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_2} \rightarrow \boxed{Z_{eq} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} \quad \left\{ \begin{array}{l} \left(\dfrac{R_1}{R_1+R_2}\right) R_2 < R_2 \\[2ex] \left(\dfrac{R_2}{R_1+R_2}\right) R_1 < R_1 \end{array} \right.$$

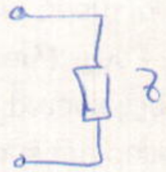



$Z_2 = 0$ $\quad Z_{eq} = \dfrac{Z\,0}{Z+0} = 0 \Rightarrow$

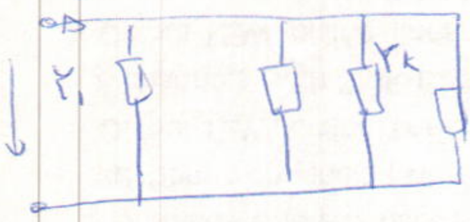





$Z_2 = \infty$ $\quad \dfrac{1}{Z_{eq}} = \dfrac{1}{Z_1} + \dfrac{1}{\infty} = \dfrac{1}{Z_1} \longrightarrow$




DIVISOR de INTENSIDAD




$$\left. \begin{array}{l} i_k = Y_k\, u \\ i = Y_{eq}\, u \end{array} \right\} \frac{i_k}{i} = \frac{Y_k}{Y}$$

$$\boxed{i_k = \frac{Y_k}{Y_1 + \text{———} + Y_n}\, i}$$

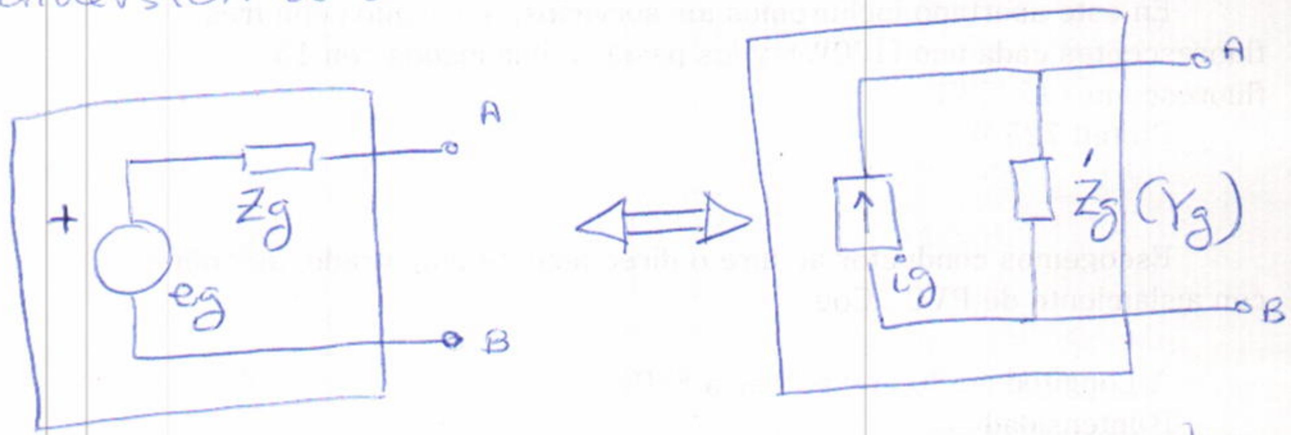
$$\boxed{i_k = \frac{1/Z_k}{\frac{1}{Z_1} + \text{———} \frac{1}{Z_n}}\, i}$$

a) Resistencia $\longrightarrow$ $\boxed{i_k = \dfrac{\frac{1}{R_k}}{\frac{1}{R_1} + \text{———} \frac{1}{R_n}}\, i}$

b) Bobina $\longrightarrow$ $\boxed{i_k = \dfrac{\frac{1}{L_k D}}{\frac{1}{L_1 D} + \text{———} \frac{1}{L_n D}}\, i}$

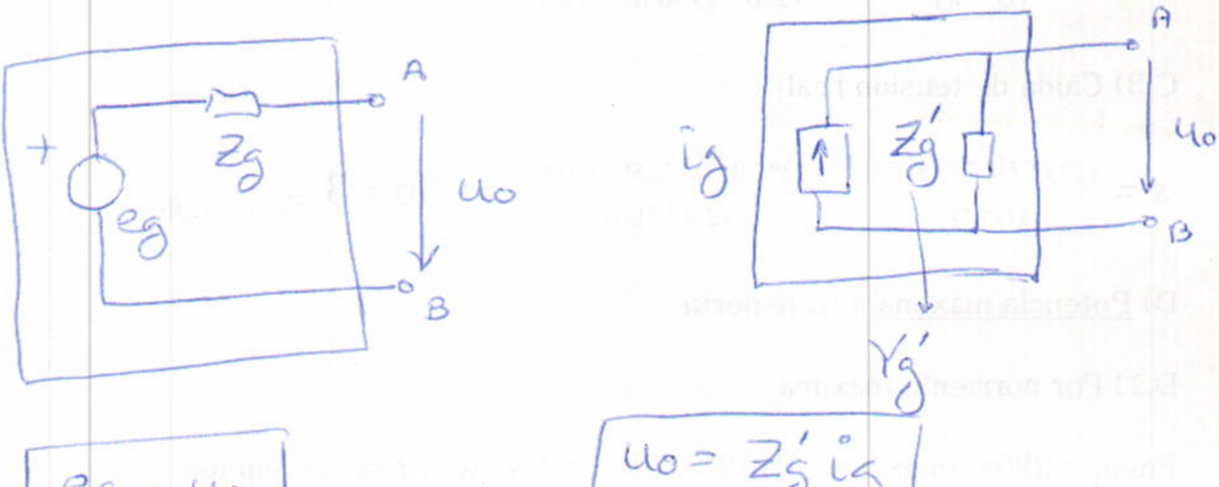
# CONVERSIÓN de FUENTES

toda fuente **REAL** de tensión o de intensidad tiene conversión a su contraria




2 ftes son equivalentes si EN TODA circunstancia la tensión entre bornas y la intensidad saliente bornas es la misma (las circunstancias más fáciles de implementar en la práctica son el cortocircuito y el vacío)

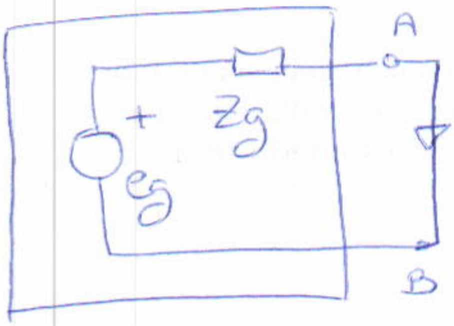
a) Ensayo de vacío

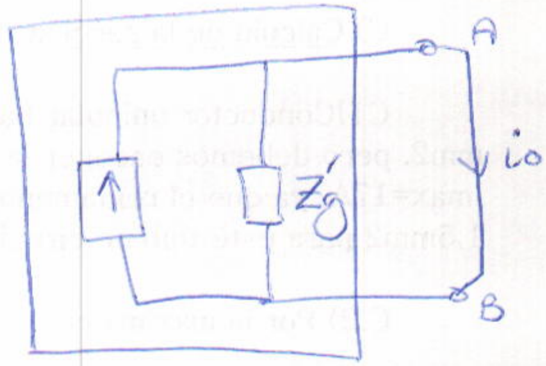



$\boxed{e_g = u_o}$ $\boxed{u_o = Z'_g i_g}$

$$\boxed{e_g = Z'_g i_g}$$

b) Ensayo del cortocircuito

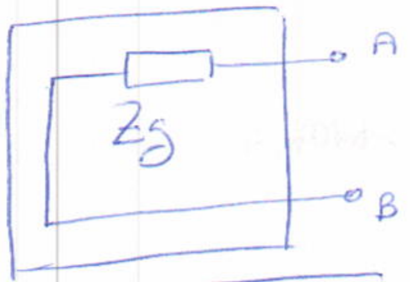


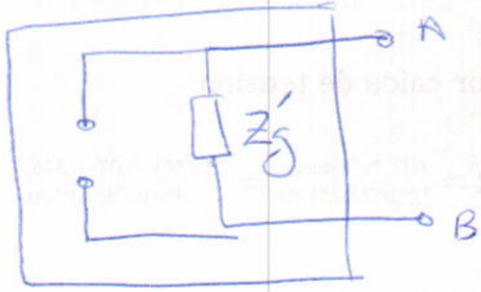




$$\boxed{i_o = \frac{e_g}{Z_g}} \qquad \boxed{i_o = i_g}$$

$$\boxed{i_g = \frac{e_g}{Z_g}}$$

c) Circuito pasivo (Apagamos fuentes)




$$\boxed{Z_g = Z_g'}$$

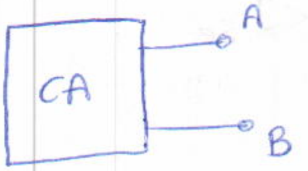
CONCLUSIÓN

Si sabemos $e_g$ y $Z_g \Rightarrow i_g$ y $Z_g'$

Si sabemos $i_g, Z_g' \Rightarrow e_g, Z_g$

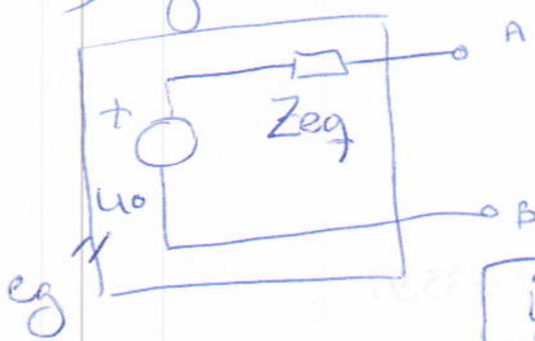
CONVERSIÓN FACTIBLE.

# EQUIVALENTE THEVENIN-NORTON

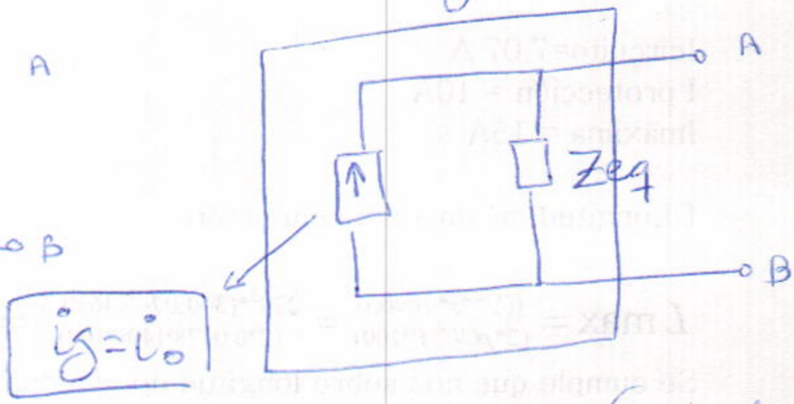



TODO CIRCUITO, POR COMPLICADO que sea siempre se puede sustituir por un circuito equivalente que es o una fte de tensión real (Eq. Thevenin) o una fte de intensidad real (Eq Norton)

a) Eq thevenin




b) Eq Norton

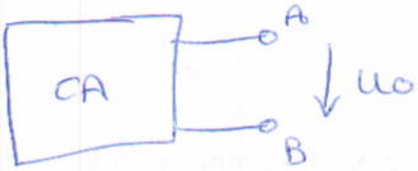



Y además se pueden interconvertir (sabido el Eq thevenin el Eq Norton es inmediato por conversion de fuentes y viceversa)

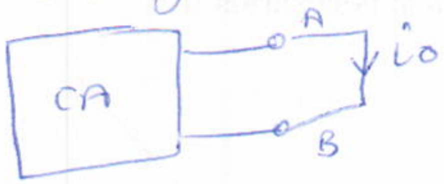
Para determinar el equivalente thevenin-Norton de un circuito entre 2 terminales hace falta determinar 3 ensayos

(I) VACIO (II) CORTO (III) CIRCUITO PASIVO (IV) COMPROBAR

I) Ensayo vacío → determina la tensión de vacío $u_o$



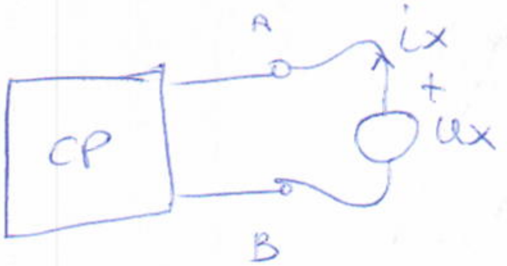

II) Ensayo de CORTOCIRCUITO




Determina la intensidad de cortocircuito $i_o$

III) Ensayo circuito pasivo

Se APAGAN ftes INDEPENDIENTES del circuito y se determina la impedancia de entrada




$$\boxed{Z_{eq} = \frac{u_x}{i_x}}$$

IV) COMPROBACIÓN

Debe OBLIGATORIAMENTE ocurrir

$$\boxed{Z_{eq} = \frac{u_x}{i_x} = \frac{u_o}{i_o}}$$

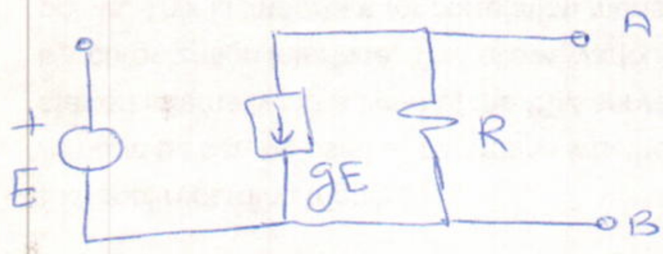
- Obtención del circuito pasivo de uno dado →
Se procede a pasivar (apagar) las fuentes independientes y dejaremos como tal a las dependientes (representan comportamiento de elementos). Recordar →

fuente tensión nula → CORTOCIRCUITO

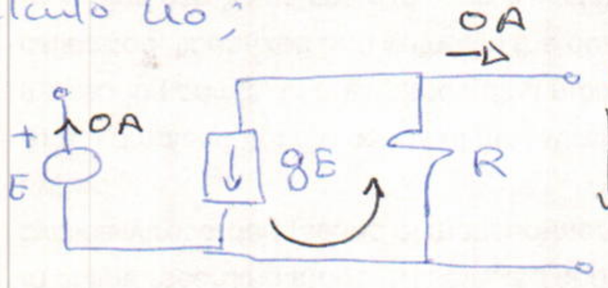
fuente intensidad nula → CIRCUITO ABIERTO

Ejemplos: Obtener el Eq. thevenin entre A y B

(1) del circuito;

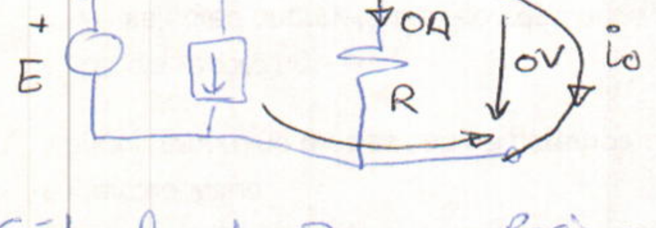



Cálculo $u_0$:



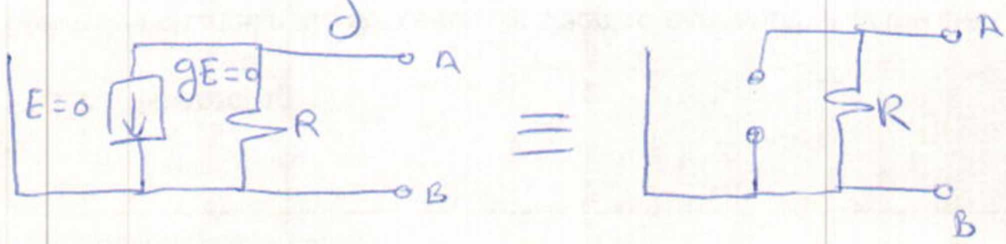

$u_0 = -RgE$

Cálculo $i_0$




$i_0 = -gE$

Cálculo de $Z_{eq}$ → Pasivamos el circuito




$\boxed{R_{eq} = R}$