



# ELECTROTECNIA Y MÁQUINAS ELÉCTRICAS

## Trabajo Práctico N°10A

*Generador Síncrono: Curvas Características. Puesta en Paralelo*

# FUNDAMENTO TEÓRICO

---

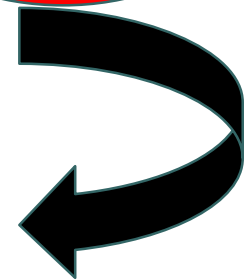
## Generalidades:

Aspectos constructivos: *La velocidad de estas máquinas es constante e igual a:*  $n = \frac{60, f}{p}$ ; con  $f$  = frecuencia de la C.A. [Hz] ;  $p$  = número de pares de polos;  $n$  = velocidad [r.p.m.]

Se utilizan como: **Generadores de C.A.** (alternadores), **motores** en accionamientos que requieren velocidad uniforme; y **compensadores sincrónicos** (mejora el  $\cos \varphi$  de la instalación).

- El estator: o *parte fija* de la máquina, que constituye el inducido o armadura y posee ranuras en donde se dispone el arrollamiento trifásico (también puede ser monofásico para unidades de reducida potencia).

Como toda máquina rotativa están compuestos por:



# FUNDAMENTO TEÓRICO

b. El rotor: o *parte giratoria*, provista de electroimanes cuyos arrollamientos son alimentados por corriente continua a través de anillos de contacto y escobillas. Constituye el sistema inductor de la máquina. La c.c. para los electroimanes es obtenida con un pequeño generador (excitatriz) acoplado al mismo eje de la máquina; o bien con corriente alternada producida por el mismo generador (alternador) rectificadas por medio de accesorios adecuados.

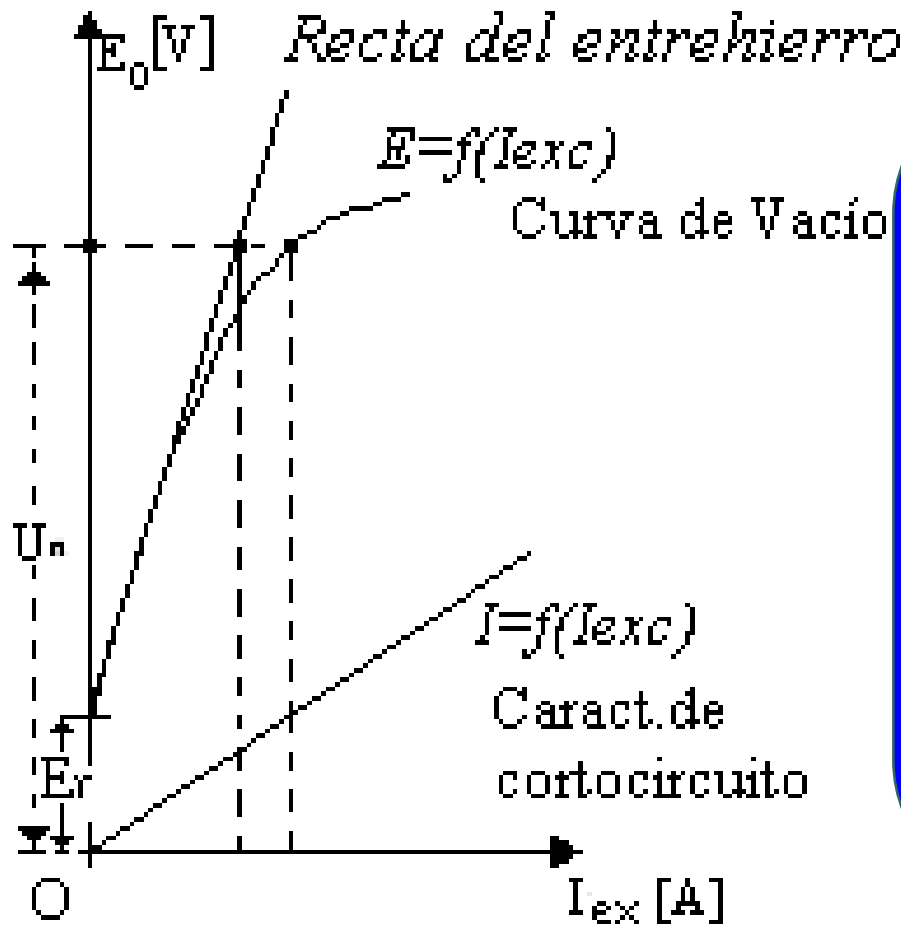
Existe también la posibilidad de que el inducido se monte en el rotor (y el inductor en el estator), pero esto prácticamente no se aplica por la ventaja que significa contar con el inducido en el estator (seguridad para aislaciones y conexión).

Los alternadores pueden ser de eje horizontal o de eje vertical, esto según la máquina primaria que los accione. Para el caso de turbinas hidráulicas, es común que sean de eje vertical y en ellos, la tecnología constructiva de sus órganos estructurales (carcasa, cojinetes, etc.) tiene sensibles variantes con respecto a las máquinas de eje horizontal.



# CURVAS CARACTERÍSTICAS

## CARACTERÍSTICA DE VACÍO



El flujo  $\Phi$  proveniente del sistema inductor (rotor) induce una f.e.m. que, por estar la máquina en vacío, será la que mida el voltímetro  $V$ . La característica es similar a la de la figura.

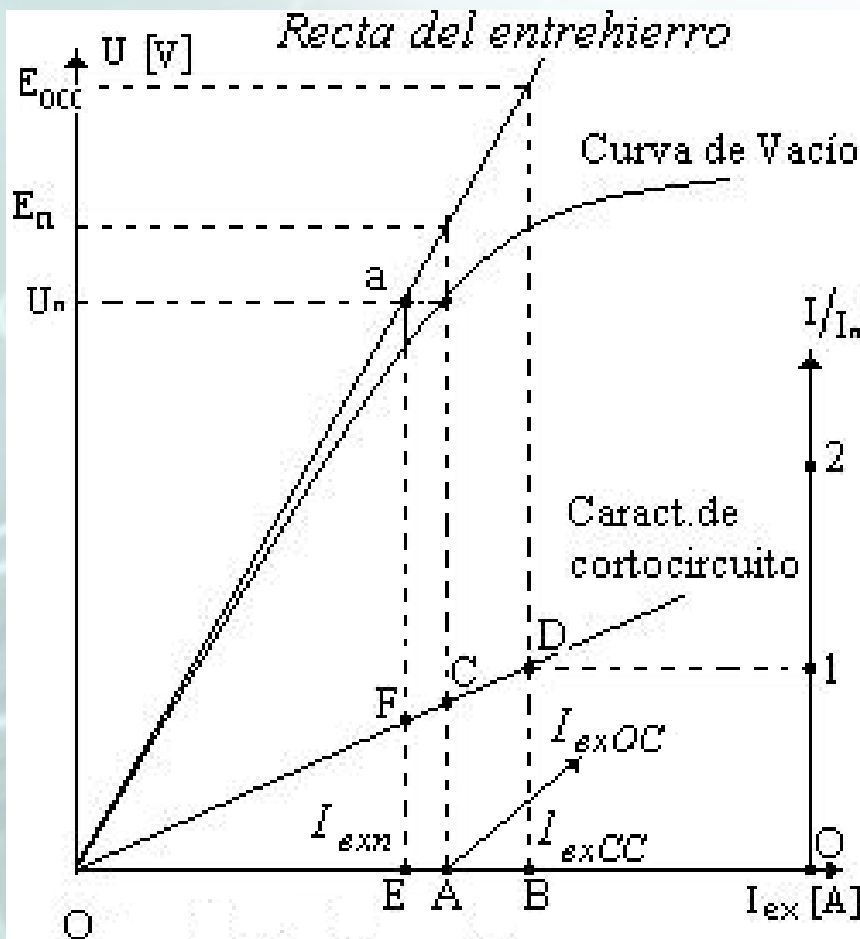
La tensión  $U_n$  se tiene en la zona ligeramente superior al comienzo de la saturación magnética.

En consecuencia, la característica magnética de la máquina es prácticamente lineal a velocidad nominal y corriente de carga nula  $I_c$

= 0

# CURVAS CARACTERÍSTICAS

## CARACTERÍSTICA DE CORTO CIRCUITO



Se obtiene cortocircuitando los terminales del alternador que corresponden a la salida hacia la red y excitando paulatinamente, a velocidad nominal, hasta que la corriente de carga sea igual que la nominal ( $I_{cc} = I_n$ ) o a lo sumo hasta  $1,2 \cdot I_n$ , se coloca un solo amperímetro y se considera que las tres corrientes son iguales. Como en estas condiciones  $U=0$ , la ecuación de equilibrio por fase queda reducida a:

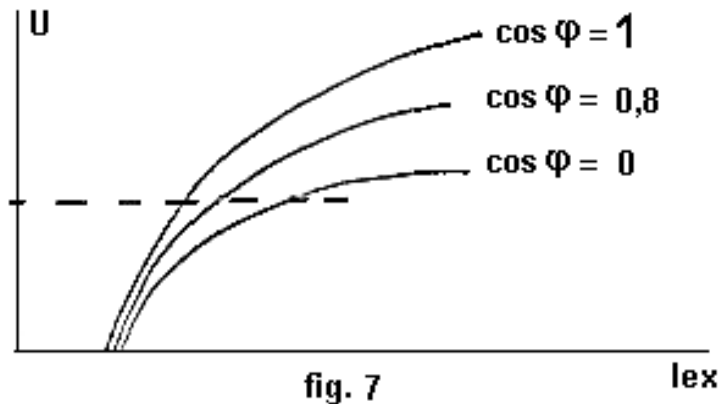
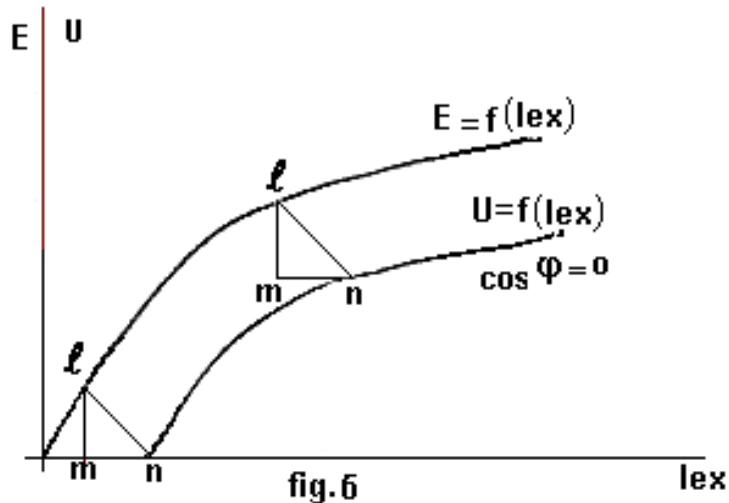
$$E = I_{cc} \cdot Z_s$$

La gráfica que representa la característica de cortocircuito

$I = f(I_{exc})$  es una recta pues la máquina no trabaja saturada y parte del origen de coordenadas.-

# CURVAS CARACTERÍSTICAS

## CARACTERÍSTICA EN CARGA



Analiza la dependencia entre la tensión ( $U$ ) y la excitación ( $I_{ex}$ ) para  $\cos \varphi$  e  $I$  constante.

Partiendo de la característica en vacío  $E = f(I_{ex})$ , de carga se diferencia por las caídas entre  $E$  y  $U$ .- Conociendo el triángulo de Potier, trazaremos esta para  $\cos \varphi = 0$  porque en estas condiciones a) la f.m.m. de inducido es opuesta a la f.m.m. del campo (reacción de inducido con carga inductiva pura.) como en cortocircuito y b) para  $I = cte$  la caída de tensión es constante ( $\overline{lm}$ ) y la reacción de inducido ( $\overline{mn}$ ) también es constante, luego el triángulo es constante, por consiguiente desplazándolo a lo largo de

$E_0 = f(I_{ex})$  obtenemos  $U = f(I_{ex})$  para  $\cos \varphi = 0$ .- Para otros estados de corriente el triángulo varía y las curvas toman la forma de fig.7 debiéndose estas variaciones a que, al aumentar  $I$ , aumenta  $ZI$  y la reacción de inducido, la  $I_{ex}$  aumenta al disminuir el  $\cos \varphi$  para mantener  $U = cte$ .

# CURVAS CARACTERÍSTICAS

## CARACTERÍSTICA EXTERNA

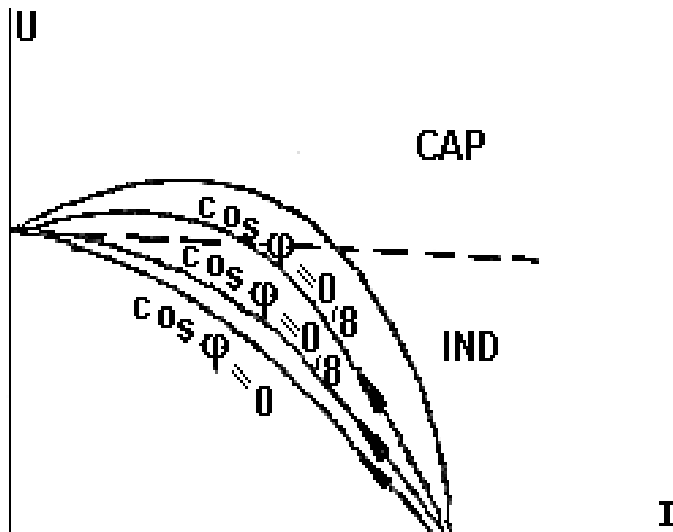


fig. 8

Nos relaciona la tensión  $U$  en función de la corriente de carga  $I$  para excitación, frecuencia y  $\cos \phi$  constantes. El generador ideal sería aquel que, bajo cualquier carga, la tensión se mantuviese cte, (línea punteada) pero en la máquina síncrona sabemos que con carga capacitiva por reacción del inducido los flujos se suman y por consiguiente aumenta la tensión (curvas superiores) hasta el extremo en cortocircuito que la tensión se hace cero. Lo opuesto ocurre con carga inductiva, en que los flujos se restan y la tensión disminuye (curvas inferiores).fig.8.-

**Conclusión:** el generador síncrono no genera  $U = \text{cte}$ , ésta depende del tipo de carga que posea.



# CURVAS CARACTERÍSTICAS

## RELACIÓN DE CORTO CIRCUITO

Se define como relación de cortocircuito (**RCC**) al cociente entre la **I<sub>ex</sub>** para obtener **Un** en circuito abierto y la **I<sub>ex</sub>** para obtener la **In** en cortocircuito.

Refiriéndonos al diagrama en que se han trazado Las características en vacío, la recta del entrehierro y la característica en cortocircuito, la **RCC** es:

La **I** está expresada en p.u. (por unidad) y por semejanza de triángulos es:  $R_{CC} = \frac{\overline{OA}}{\overline{OB}} = \frac{\overline{CA}}{\overline{DB}} = \frac{\overline{CA}}{1}$

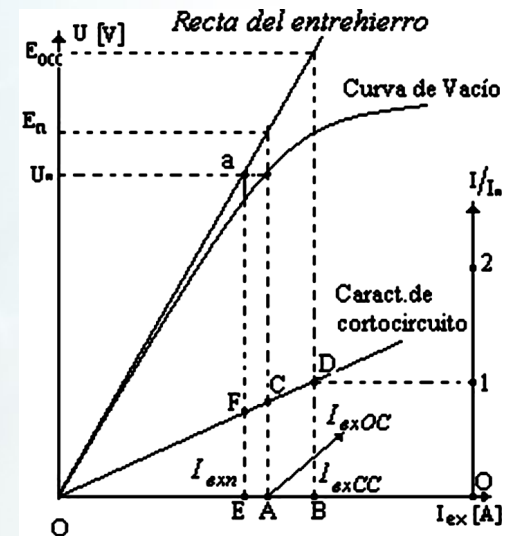
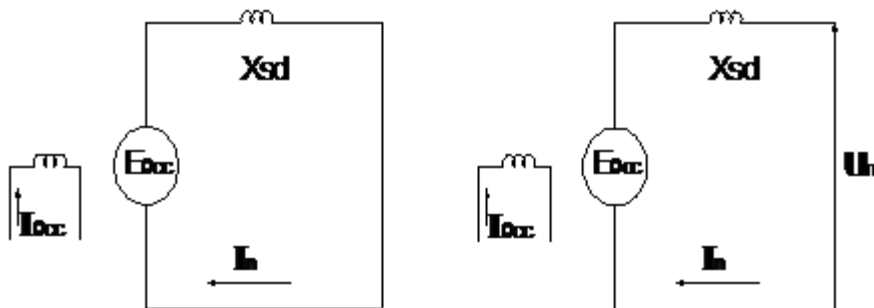
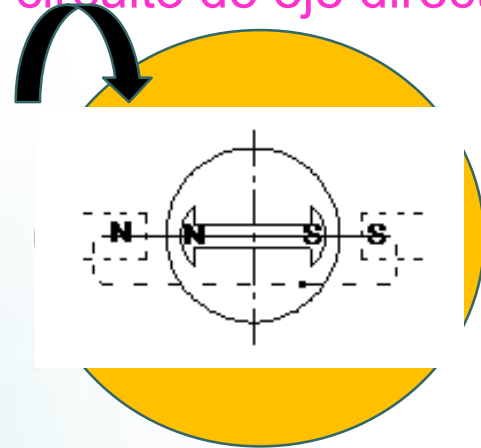
Luego la RCC para máquina saturada es el segmento  $\overline{CA}$  y la RCC para máquina no saturada (línea del entrehierro) será:  $\overline{FE}$

# CURVAS CARACTERÍSTICAS

## Determinación de la Relación de corto circuito de eje directo $X_{sd}$

Esta puede determinarse a partir de las características en **vacío** y en **cortocircuito**.

La corriente de excitación  $\overline{OE}$  induce la f.e.m. **Un** en el estator a circuito abierto. Cuando el estator está en cortocircuito, con la misma excitación, la f.e.m inducida en el estator es la misma pero se consume en la caída debida a la impedancia síncrona:  **$U_n = Z \cdot I$** . Recordando que  **$R \ll X$**  y que al estar en cortocircuito corresponde a carga inductiva pura, es decir el  $\Phi_i$  es opuesto al  $\Phi_p$  y por consiguiente en el eje de los polos, o sea solo existe  **$X_{sd}$** , ya que  **$X_{sc} = 0$**  y corresponde escribir  **$U_n = X_{sd} I$** .



# CURVAS CARACTERÍSTICAS

## Determinación de la Relación de corto circuito de eje directo $X_{sd}$

Luego:  $X_{sd} = \frac{E_{0cc}}{I_n}$ , despejando  $E_{0cc}$  y dividiendo por  $U_n$ ,  $\frac{E_{0cc}}{U_n} = \frac{X_{sd} \cdot I_n}{U_n} = \frac{X_{sd}}{\frac{U_n}{I_n}} = \frac{X_{sd}}{Z_n}$  Que en p.u. será  $\frac{E_{0cc}}{U_n} = X_{sd}$  p.u. (en por unidad) (1)

De la semejanza de triángulos se deduce:

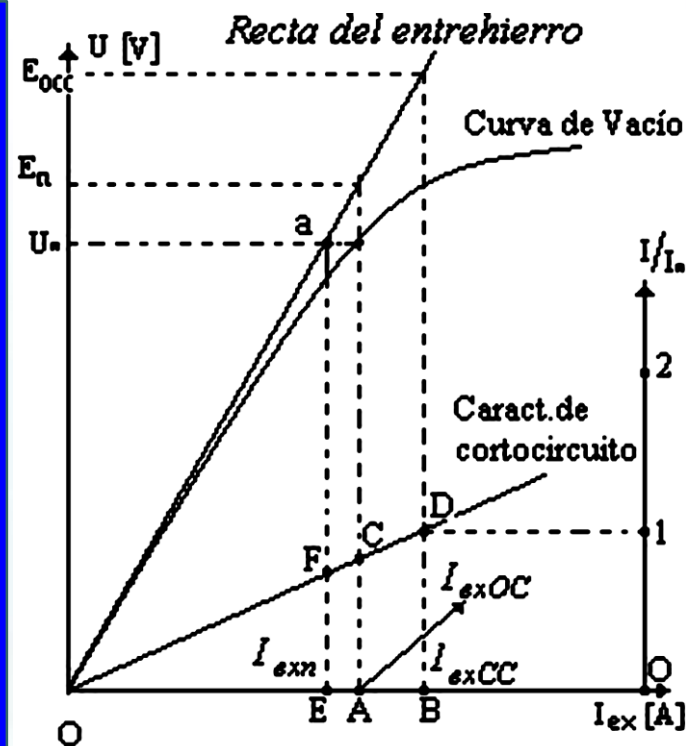
$$R_{CC} = \frac{I_{ex.OC}}{I_{ex.CC}} = \frac{E_n}{E_{0.CC}}$$

Multiplicando y dividiendo por  $U_n$ , reemplazando (1) y por semejanza de triángulos, para máquina saturada:

$$R_{CC} = \frac{E_n \cdot U_n}{E_{0.CC} \cdot U_n} = \frac{E_n}{U_n} \cdot \frac{1}{X_{sd}} = \frac{I_{ex.0CC}}{I_{ex.CC}} \cdot \frac{1}{X_{sd}}$$

$$R_{CC} = \frac{I_{ex.0CC}}{I_{ex.CC}} \cdot \frac{1}{X_{sd}}$$

Para máquina saturada:  $I_{ex.0CC} = I_{ex.CC} \Rightarrow R_{CC} = \frac{1}{X_{sd}}$



Valores típicos:

Turbos 0,5 a 0,7;

Polos salientes: 1 a 1,4;

Síncrono: 0,4

# PUESTA EN PARALELO CON LA RED

**A – PARALELO:** Usando el *brazo de paralelo* del Laboratorio, el cual posee dos voltímetros (describir), dos frecuencímetros (describir), un Voltímetro Diferencial (describir) y girando a velocidad nominal observamos las tres lámparas que cumplen con el *Método de las lámparas apagadas*, excitamos hasta la tensión nominal, regulamos la velocidad del motor primario desde el auto transformador trifásico para lograr la frecuencia de la red y en el instante preciso, el cual es señalado por las lámparas apagadas, entramos en paralelo con la red sin hacerle tomar carga, primero.-

**B – CARGA:** Luego aumentamos la potencia del motor de arrastre (es análogo a pisar el acelerador de la máquina primaria), hasta la máxima corriente que admite el Auto transformador Trifásico de  $I_n = \dots$  A, y entonces, fluye corriente hacia la red, que podemos leer en el amperímetro de carga.-

**C –VARIANDO** el  $\cos\varphi$  : A continuación, mantenemos constante la corriente y potencia del motor de arrastre, con lo cual el generador no puede entregar más potencia activa que la que le permite el primo-motor y variamos la excitación incrementando o disminuyendo la **I<sub>exc</sub>**, registramos en la siguiente Tabla los valores de **I<sub>exc</sub>** e **I<sub>carga</sub>** y observamos el comportamiento de la corriente de carga a potencia constante cuando se varía la excitación.-

# VALORES OBTENIDOS

---

$I_{ex}[A]$	$I [A]$

$P = \text{constante}$

# CONCLUSIONES

---

- ¿Cuáles son las condiciones para el funcionamiento en vacío del alternador?
- ¿Cuáles son las condiciones para el funcionamiento en corto circuito del alternador?
- Nombre las condiciones para la puesta en paralelo