

Generador Eléctrico

Principios de funcionamiento

El generador sincrónico es el tipo de generador dominante en sistemas de potencia

Synchronous generator unlike induction generator have the capability to produce both active and reactive power

They have armature on stators so it is easy to collect power from them can be designed for high voltages

The remain synchronized with the bus and other alternators too and thus we have one common working frequency and one common voltage as that of bus

- A **synchronous machine** is an AC machine **whose speed is proportional to the frequency of armature current**
- A machine which rotates at a speed fixed by the supply frequency and the number of rotor poles is called synchronous machine
- **It always runs at synchronous or constant speed and has no slip**
- **Used principally in large power applications because of their high operating efficiency, reliability and controllable power factor**
- **Rotated at constant speed in the steady state**

Aspectos de construcción

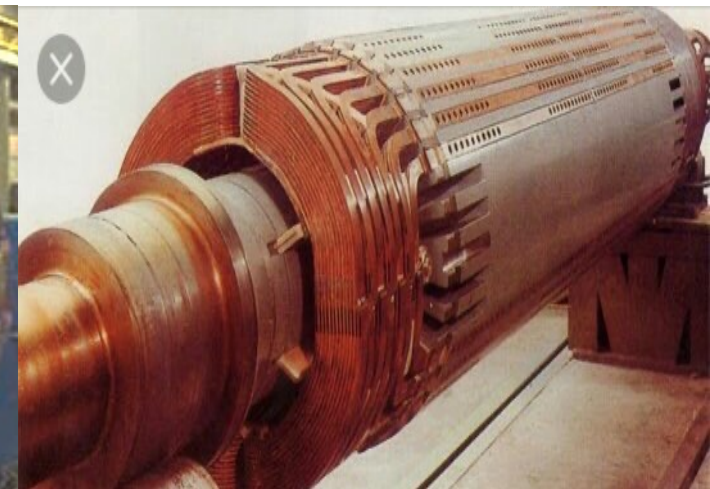
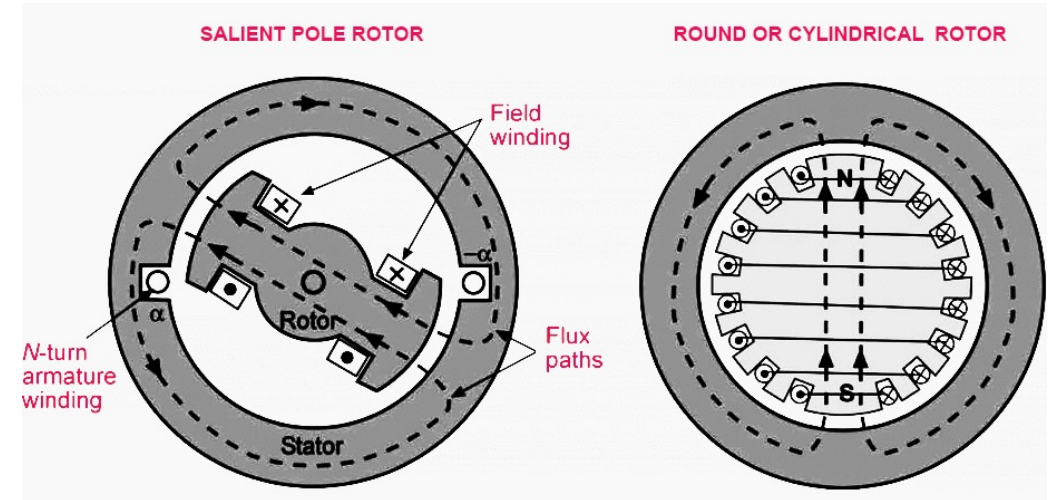
- **STATOR:**
 - The stator is the stationary part of the synchronous generator
 - It works as a armature in synchronous machine
 - The armature winding is housed in it.
 - Made of Silicon sheet, it is laminated to limit the Eddy currents
 - It is cylindrical and slotted from its inner surface
 - It carries the armature winding of the machine, it consists of three windings shifted by 120 degree in space
 -



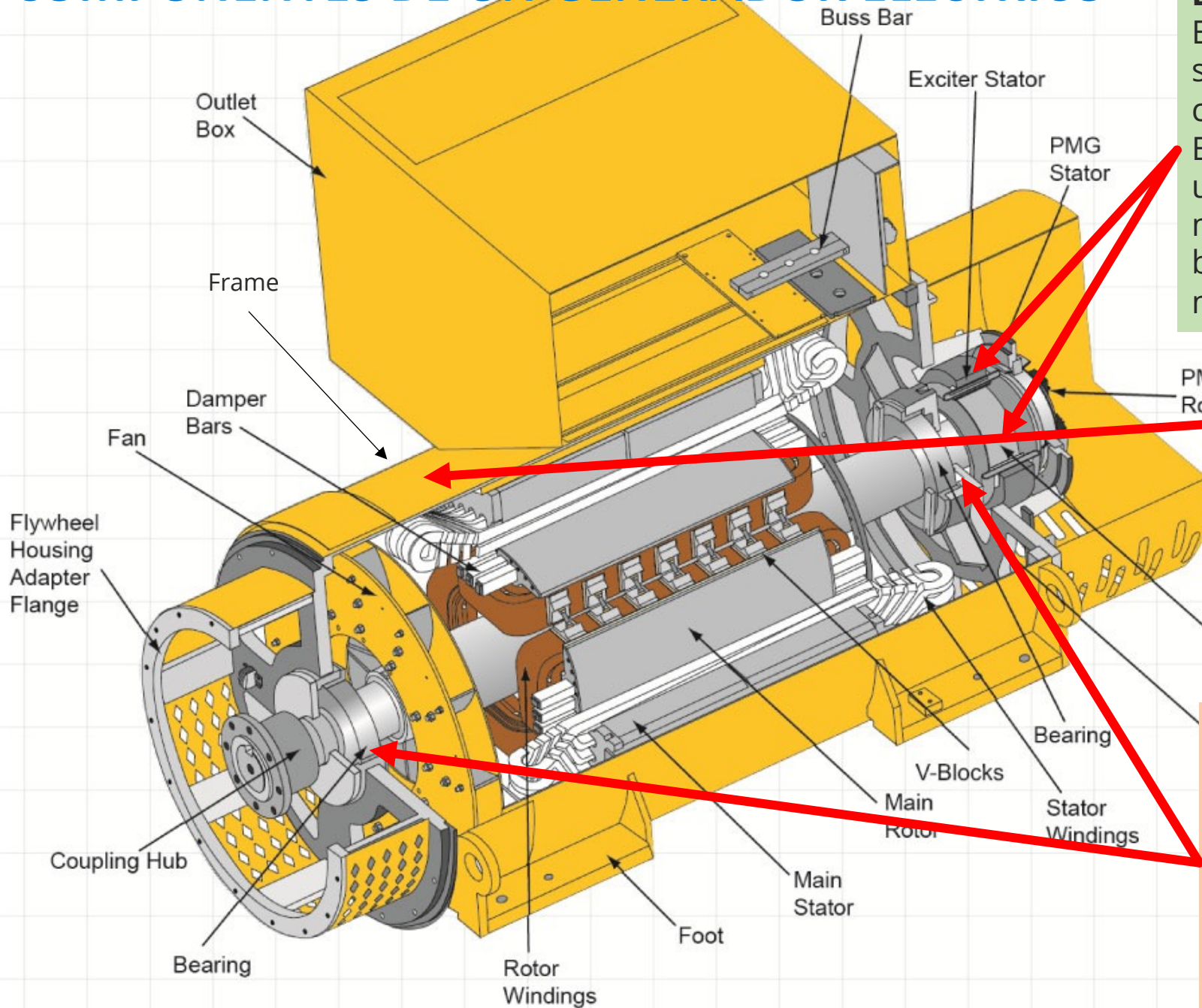
Aspectos de construcción

ROTOR:

- ✓ Rotor is the rotating part of the synchronous machine
- ✓ It works as a field of the synchronous machine
- ✓ Field system is rotating in the synchronous machine
- ✓ Field winding is housed on it
- ✓ Field winding is excited by DC supply through brushes and slip ring.
- ✓ It can be either salient or non salient (Cylindrical rotor)



COMPONENTES DE UN GENERADOR ELÉCTRICO



Exciter

Excitation refers to the direct current (DC) supplied to the rotor windings in order to control the strength of its magnetic field. Excitation current (DC current) is supplied using either brushed or brushless excitation means; most modern generators use brushless excitation as it requires less maintenance than its brushed counterpart.

Frame

The frame houses the stator, rotor, bearings and cooling channels used by the generator. It provides the structural strength needed to mount all components and is designed to absorb vibration.

Bearings

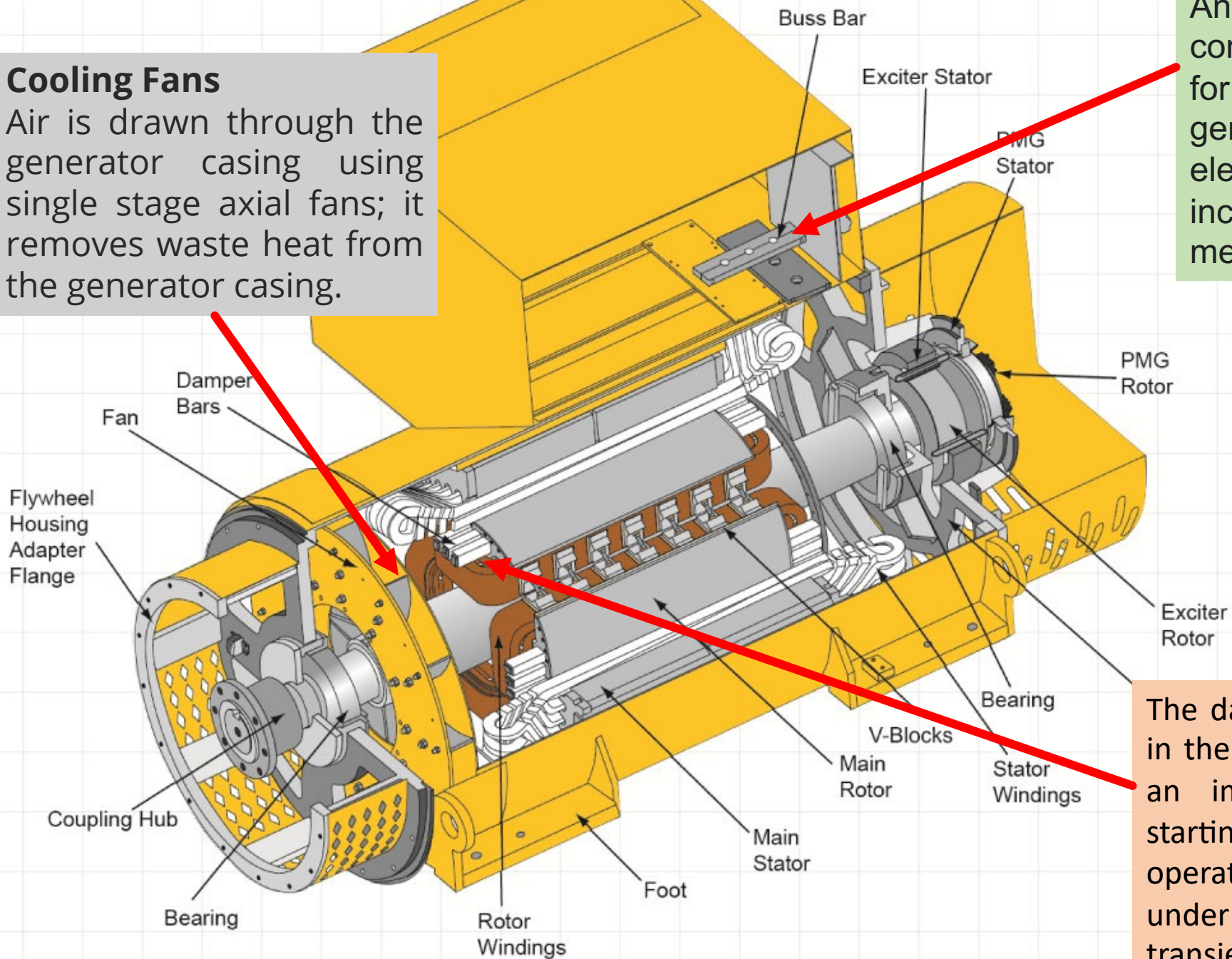
Bearings support the weight of the shaft when the generator is idle and in operation. Small units may use anti-friction roller bearings, but larger units use plain/sliding bearings. Where plain bearings are used, it is essential the lubricating oil pressure is maintained when the generator is in operation. A reduction in lubrication oil pressure will lead to damage of the bearings and shaft.

COMPONENTES DE UN GENERADOR ELÉCTRICO

Cooling Fans

Air is drawn through the generator casing using single stage axial fans; it removes waste heat from the generator casing.

An electrical bus bar is defined as a conductor or a group of conductor used for collecting electric power from the generator. In other words, it is a type of electrical junction in which all the incoming and outgoing electrical current meets.

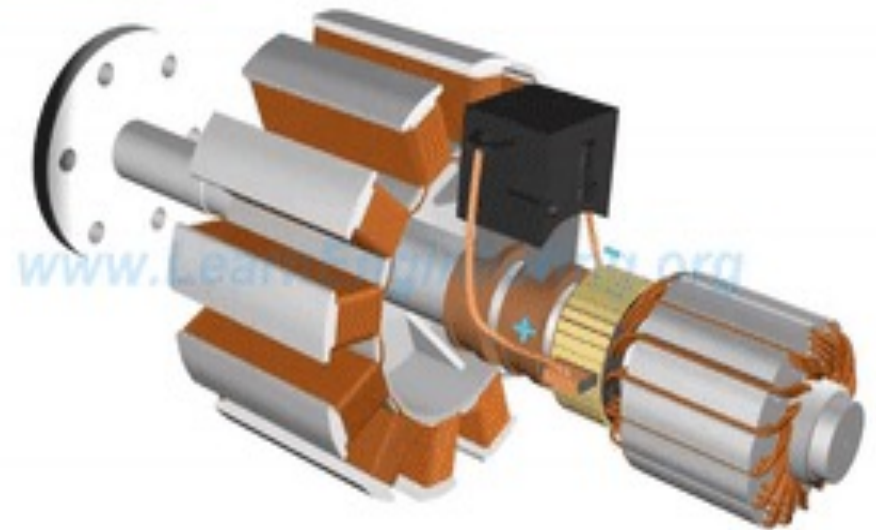


The damper bars (or amortisseur windings) in the rotor of direct on-line started SMs is an important component that enables starting of the motor. It also improves the operating stability and motor performance under non-ideal supply conditions and load transients.

Salient Pole Rotor:

- ✓ It consist of poles as separate parts fixed to rotor
 - ✓ Field windings of poles are connected in series
 - ✓ It has high number of poles which means slow generators
 - ✓ Speed of synchronous machine is given by
 - ✓ $N=60f/P$
 - ✓ It is used in Hydro generators
-
- ❖ Magnetic pole stick out from the surface of the rotor
 - ❖ Its rotor poles projecting out from the rotor core
 - ❖ It is used for low speed hydroelectric generator
 - ❖ Need large number of poles to accumulate in projecting on a rotor
 - ❖ Almost universal adapt
 - ❖ Has non uniform air-gap
 - ❖ Range from 100 RPM to 500 RPM

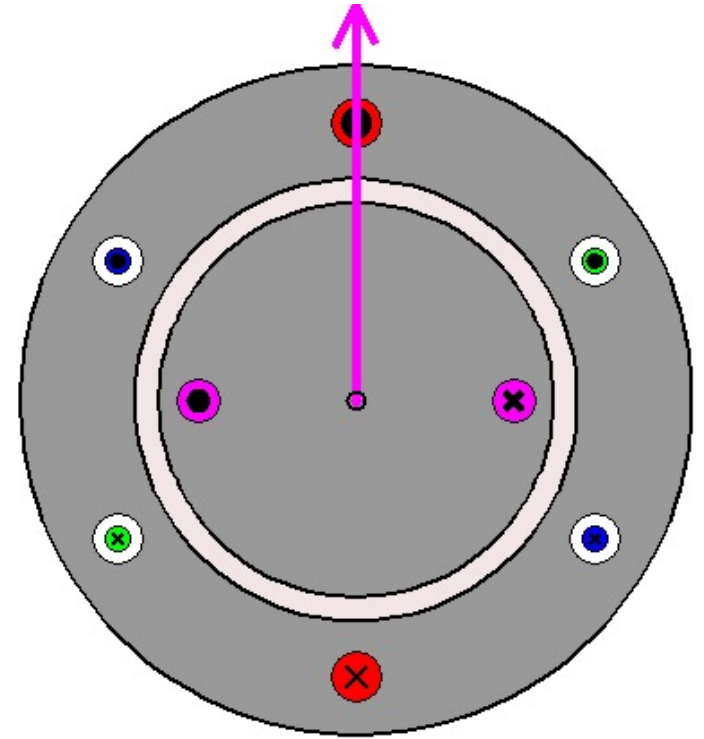
SELF EXCITED GENERATOR



Non Salient Pole Rotor:

NON SALIENT or CYLINDRICAL POLE ROTOR:

- Magnetic pole constructed with the surface of the rotor
- Has its rotor in cylindrical form with dc field winding embedded in the rotor slots
- It consists of one solid steel block to withstand high centrifugal force.
- Has uniform air-gap
- Provide greater mechanical strength
- Per unit more accurate dynamic balancing
- For use in high speed turbo generator
- Range 1000 to 3000 RPM



PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DEL GENERADOR SINCRONO

The **synchronous generator works on the Faradays' law**

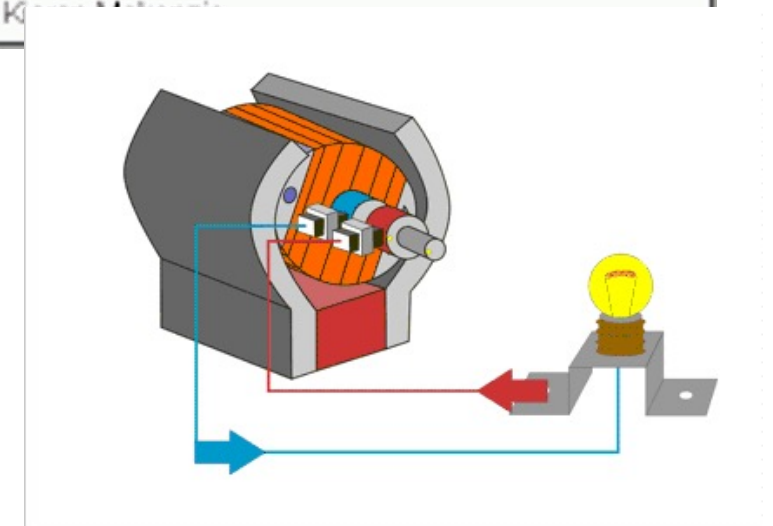
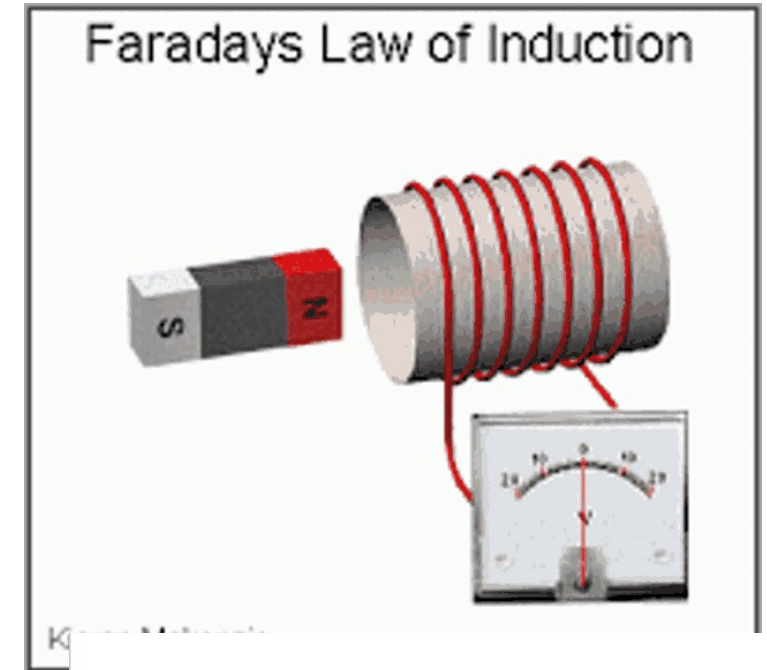
In order to generate electricity in the 3phase winding, variation of flux is needed

The use of **rotation of DC flux in air gap as a varying field**

The **rotation of DC flux** appears as **varying field** to the **3phase stationary winding**

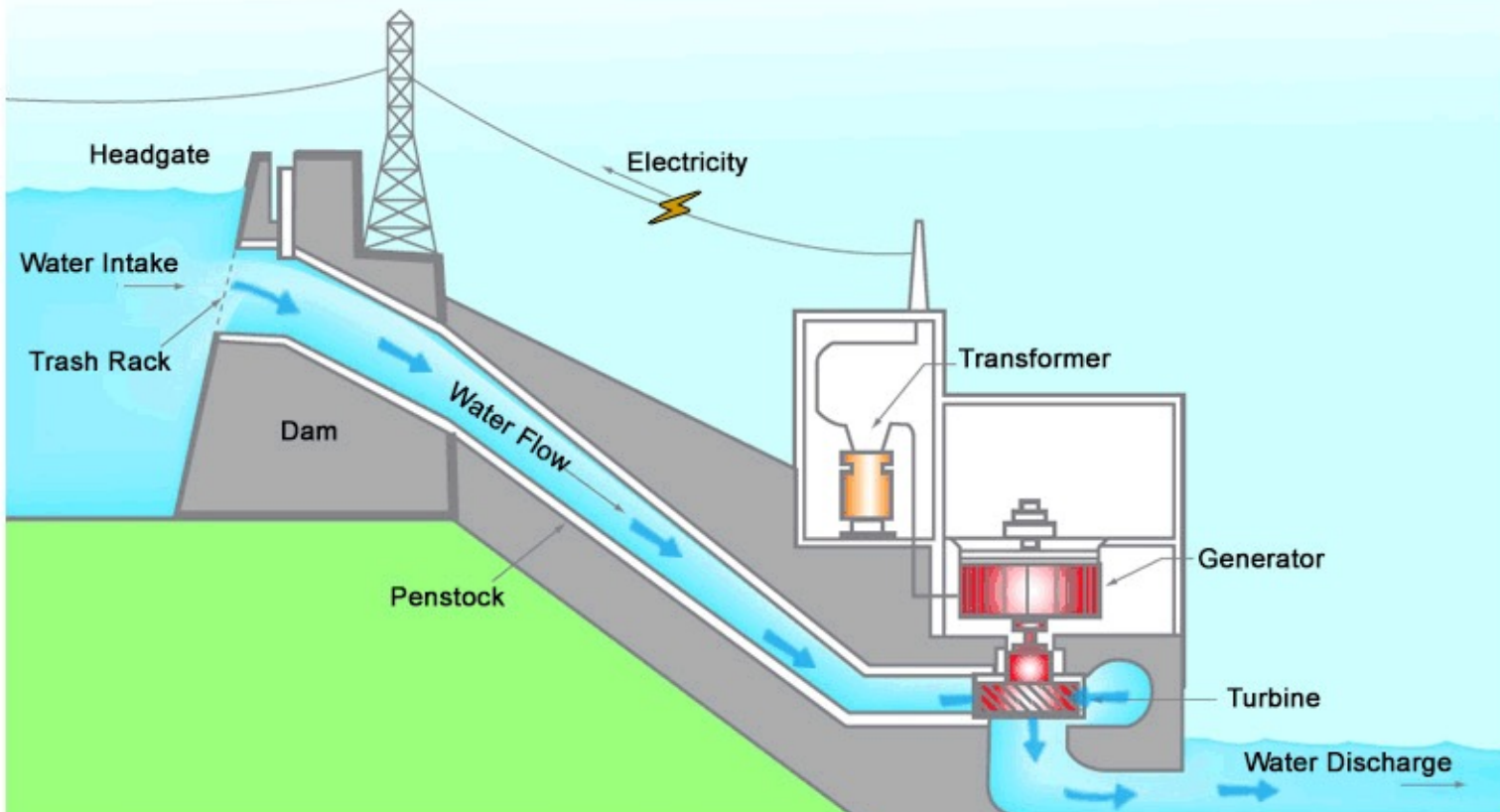
EMF will be shifted by 120 degree due to displacement by 120° in space between windings

La **ley de Lenz** establece que la polaridad de la fuerza electromotriz inducida en un circuito cerrado, debido a la variación en el flujo de campo magnético, es tal que se opone a la variación de dicho flujo.

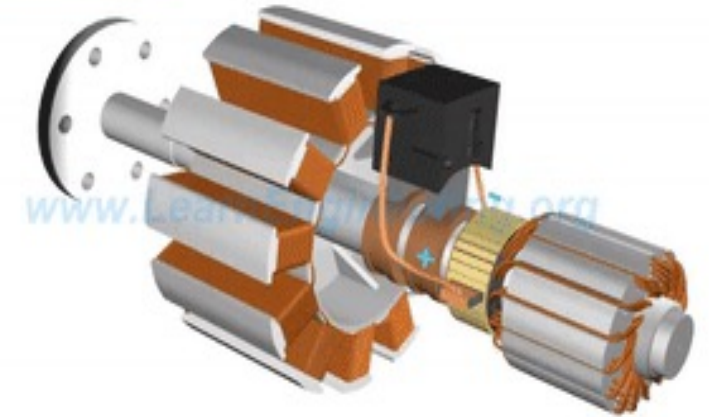


APLICACIONES DE LOS GENERADORES SINCRONOS

Hydroelectric Power System

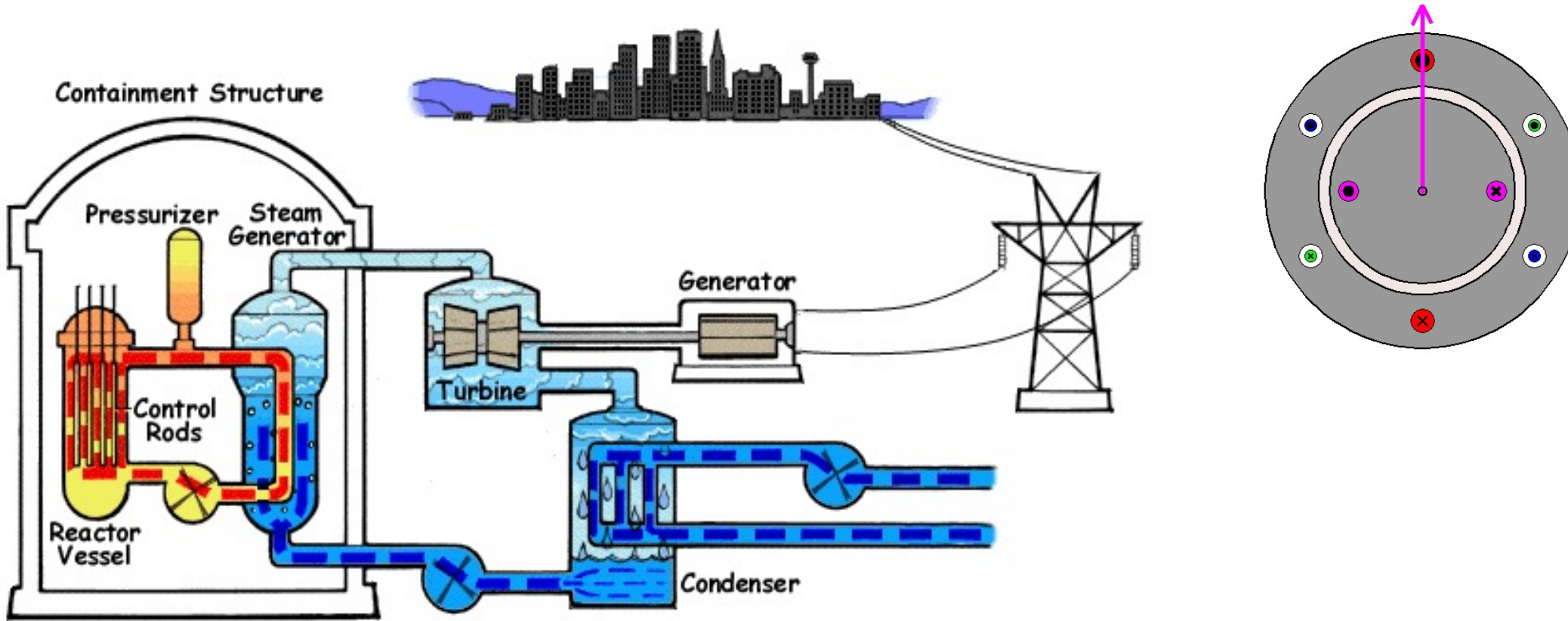


SELF EXCITED GENERATOR



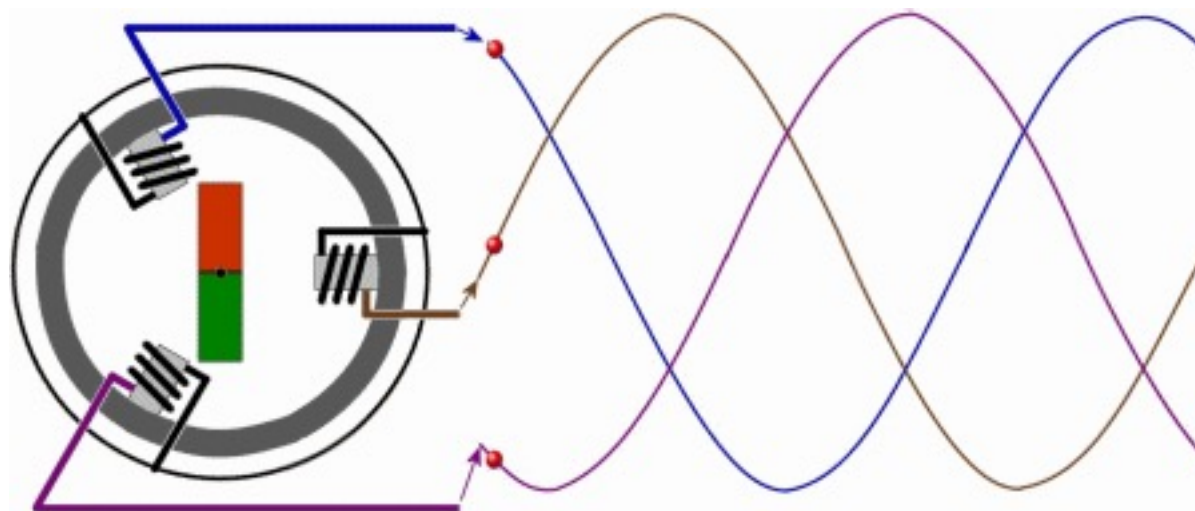
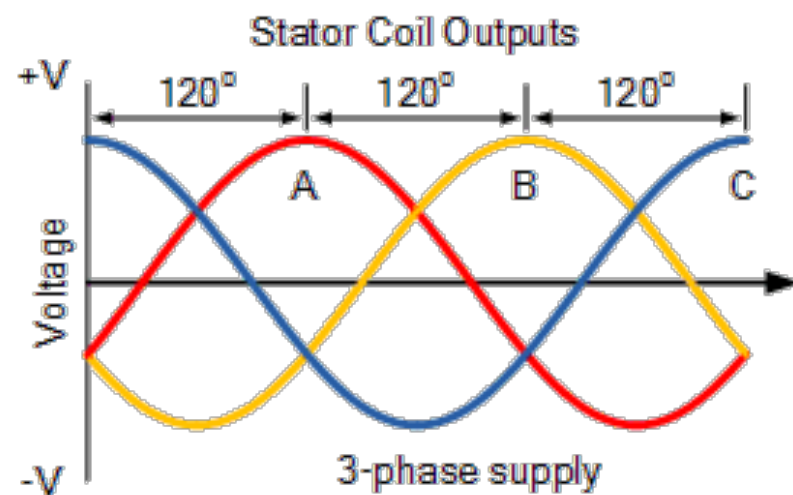
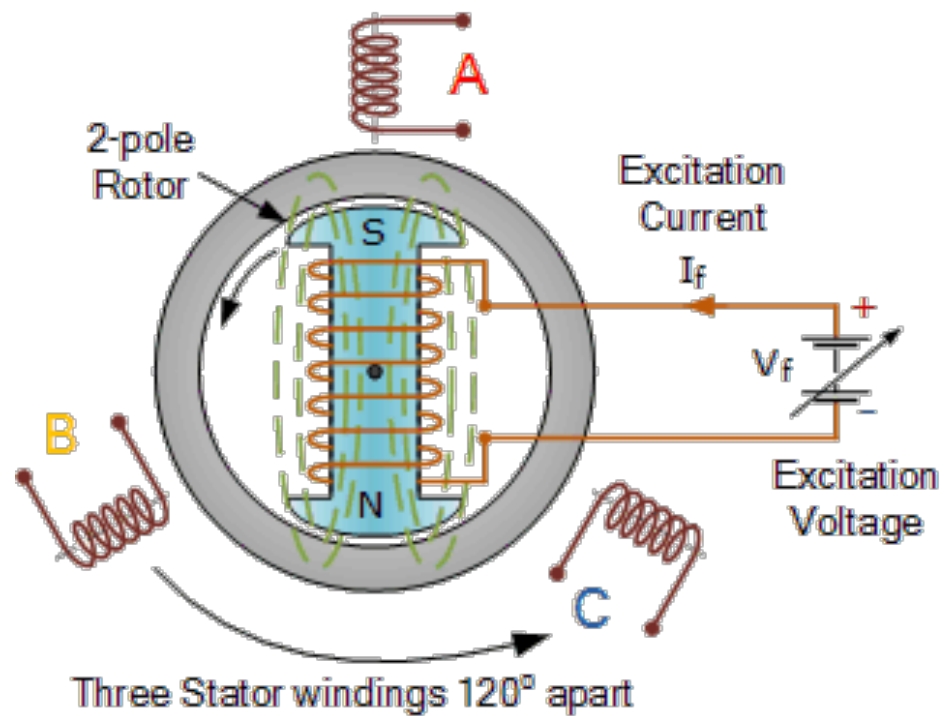
Los generadores hidráulicos tienen una velocidad de rotación limitada que oscila, generalmente, entre 60 y 600 rpm. Esta característica de velocidad determina que los generadores hidráulicos sean verticales, de gran diámetro y con un considerable número de polos

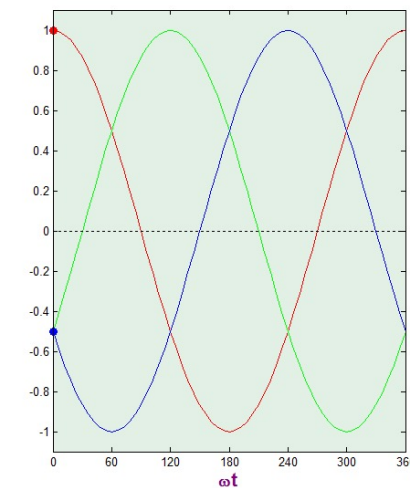
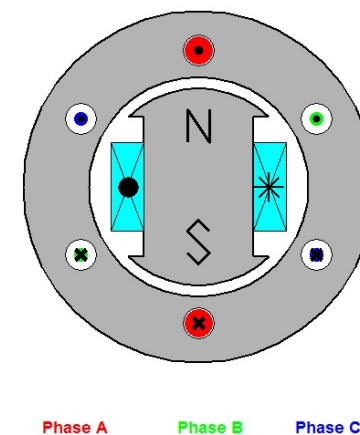
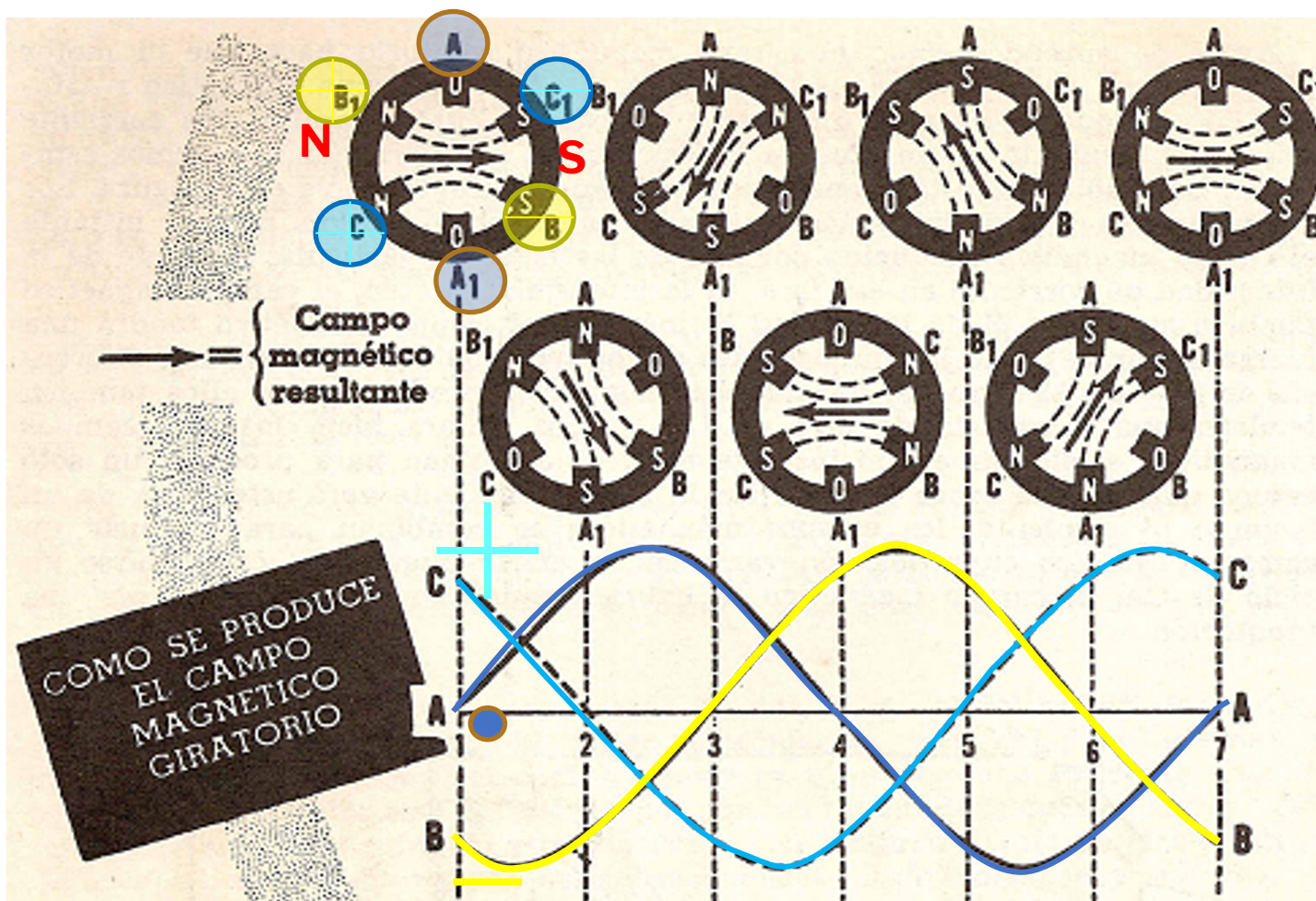
APLICACIONES DE LOS GENERADORES SINCRONOS



- Los generadores de centrales térmicas giran a 1800 rpm, en las grandes y medianas unidades, y 3600 rpm en las pequeñas.
- Están dispuestos horizontalmente y contruidos con bobinas largas y estrechas, de manera tal que el menor diámetro del rotor se compense con una mayor longitud.







Campo magnetico giratorio

❑ La **frecuencia eléctrica** se produce y entrelaza o **sincroniza con la** tasa **mecánica de rotación del generador**. El rotor de un generador síncrono consta de un electroimán al que se le suministra corriente directa.

❑ La frecuencia eléctrica del estator por medio de la ecuación

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

f_e = frecuencia eléctrica en Hz

n_m = velocidad mecánica del campo magnético en r/min (igual a la velocidad del rotor de una máquina síncrona)

P = número de polos

❑ Debido a que **el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético**, ***esta ecuación relaciona la velocidad de rotación del rotor con la frecuencia eléctrica resultante.***

❑ Para generar una potencia de 60 Hz en una máquina de dos polos, el rotor *debe* girar a 3 600 r/min.

❑ La magnitud del voltaje inducido en cierta fase de un estator es

$$E_A = \sqrt{2} \pi N_C \phi f$$

Esta ecuación sale de la siguiente forma

Si se colocan *tres bobinas*, cada una con N_C vueltas, alrededor del **campo magnético del rotor**

Entonces **los voltajes inducidos en cada una de ellas serán iguales en magnitud pero la diferencia de fase será de 120°** . Los voltajes resultantes en cada una de estas tres bobinas son

$$e_{aa'}(t) = N_C \phi \omega \sen \omega t \quad \text{V}$$

$$e_{bb'}(t) = N_C \phi \omega \sen (\omega t - 120^\circ) \quad \text{V}$$

$$e_{cc'}(t) = N_C \phi \omega \sen (\omega t - 240^\circ) \quad \text{V}$$

flujo ϕ en la máquina
velocidad angular ω del rotor

el flujo que pasa a través de la bobina se puede
expresar como $\phi = 2rlB_m$

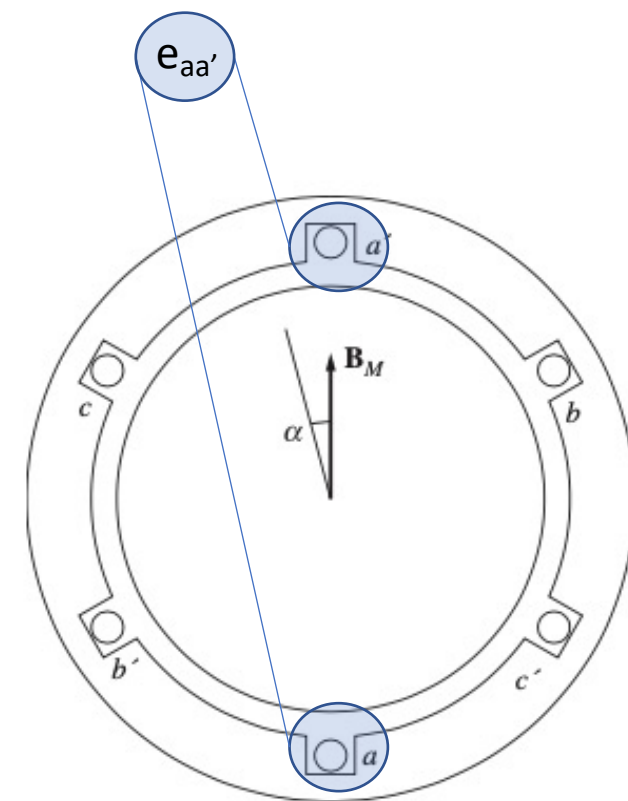
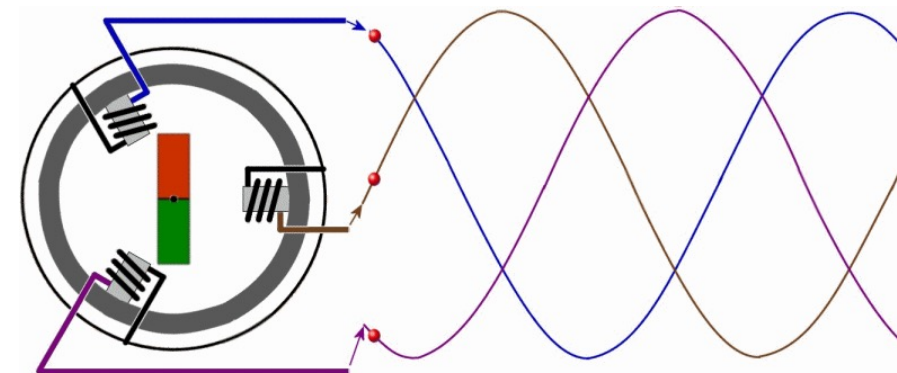


FIGURA 3-16 Producción de voltajes trifásicos con tres bobinas separadas por 120° .

$$e_{aa'}(t) = N_C \phi \omega \sin \omega t$$

El voltaje pico en cualquier fase de un estator trifásico de este tipo es

$$E_{\text{máx}} = N_C \phi \omega$$

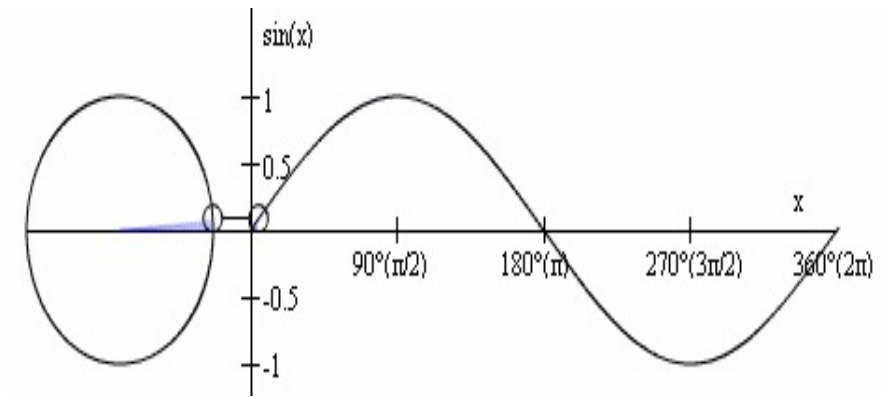
Debido a que $\omega = 2\pi f$, esta ecuación también se puede escribir así

$$E_{\text{máx}} = 2\pi N_C \phi f$$

Por lo tanto, **el voltaje rms en cualquier fase** de este estator trifásico es

$$E_A = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N_C \phi f$$

$$E_A = \sqrt{2} \pi N_C \phi f$$



El **voltaje rms en los *terminales* de la máquina** depende de si el estator tiene una **conexión en Y o en Δ** . Si la máquina tiene **una conexión en Y**, entonces el voltaje del terminal será $\frac{1}{\sqrt{3}}$ veces E_A ; si la tiene en Δ , entonces el voltaje del terminal será igual a E_A .

Este **voltaje** depende del **flujo** ϕ en la máquina, de **la frecuencia** o **velocidad de rotación** y de la **construcción de la máquina**. Para resolver problemas de máquinas síncronas, a menudo esta ecuación se escribe de una forma más simple que destaca las cantidades que varían durante la operación de la máquina. **Esta forma más simple es**

$$E_A = K\phi\omega$$

donde **K es una constante** que representa la construcción de la máquina. Si ω se expresa en **radianes *eléctricos* por segundo**, entonces

$$K = \frac{N_c}{\sqrt{2}}$$

- Sobre el generador sencillo bipolar de la figura se conoce la siguiente información: **la densidad de flujo pico del campo magnético del rotor es de 0.2 T**; **la tasa mecánica de rotación del eje es de 3 600 r/min**; el **diámetro del estator de la máquina es de 0.5 m**; **la longitud de su bobina es de 0.3 m** y tiene **15 vueltas en cada bobina**. La máquina está **conectada en Y**.
 - *a)* ¿Cuáles son los voltajes trifásicos del generador en función del tiempo?
 - *b)* ¿Cuál es el voltaje rms de fase del generador?
 - *c)* ¿Cuál es el voltaje rms del terminal del generador?

El flujo en esta máquina está dado por

$$\phi = 2rlB = dlB$$

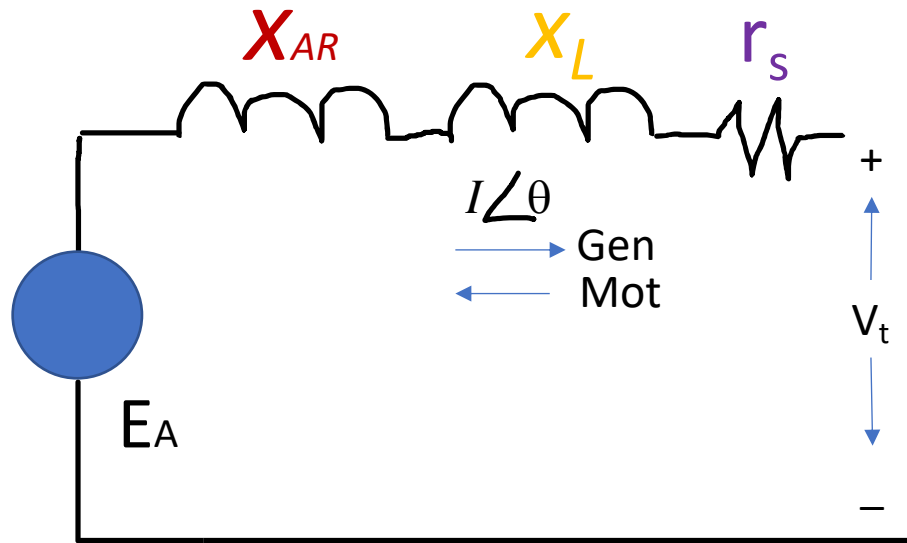
donde d es el diámetro y l es la longitud de la bobina.
Entonces, el flujo en la máquina está dado por:

y los voltajes trifásicos son

b) Y el voltaje de fase rms del generador es

c) Debido a que el generador está conectado en Y,

EQUIVALENT CIRCUIT MODEL



El voltaje E_A es el voltaje interno que se genera y produce en una fase de un generador síncrono.

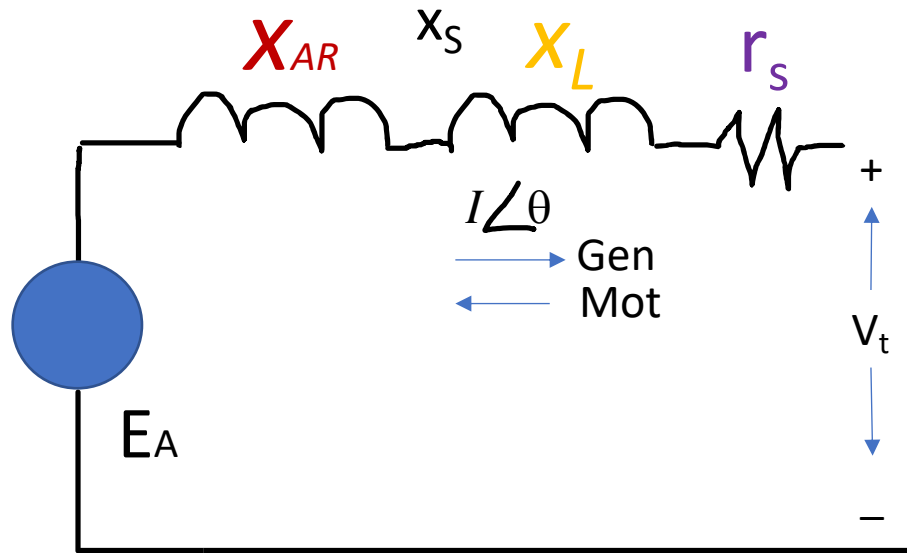
EMF inducida por el generador E_A se muestra *no* es el voltaje que se presenta en las terminales

x_{AR} es la reactancia debido a la reacción de armadura

x_L es la reactancia de dispersión debida al flujo de dispersión el cual no es mutua al estator y rotor, se le conoce como inductancia propia

r_s es la resistencia interna debido al cobre del embobinado

EQUIVALENT CIRCUIT MODEL



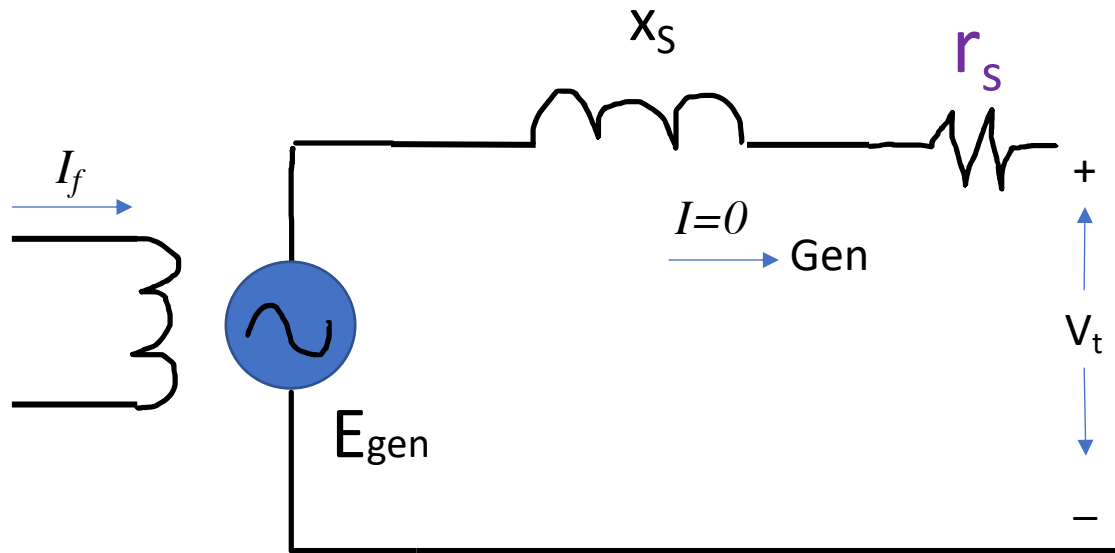
Debido a que x_{AR} y x_L son similares ambas dan como resultado a la reactancia sincrónica x_s

x_s y r_s forman la impedancia sincrónica
 $Z_s = r_s + j x_s$

En el caso que trabaja como generador

$$V_t = E_{\text{gen}} - z_s \mathbf{I}$$

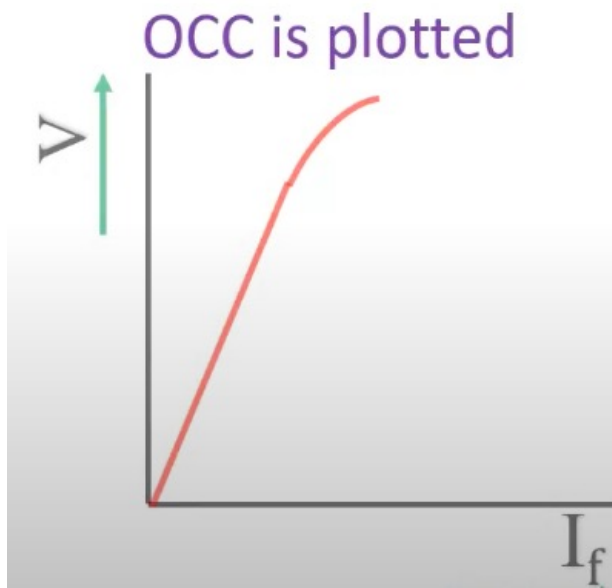
EQUIVALENT CIRCUIT MODEL



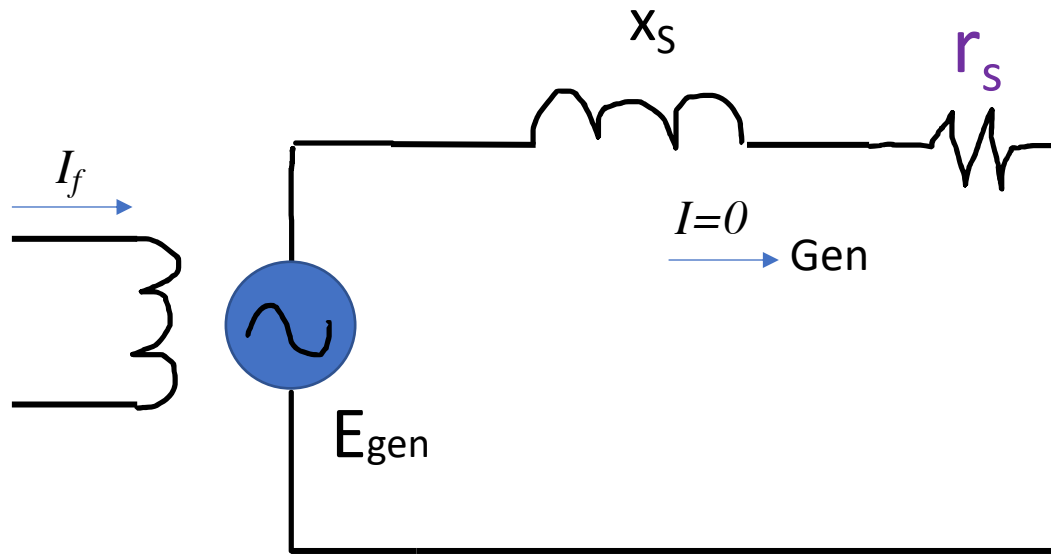
ZS se encuentra con procedimientos de circuito abierto y de corto circuito

En circuito abierto el generador corre a la velocidad sincrónica; el voltaje en terminales V_t vs corriente de campo se gráficán como sigue

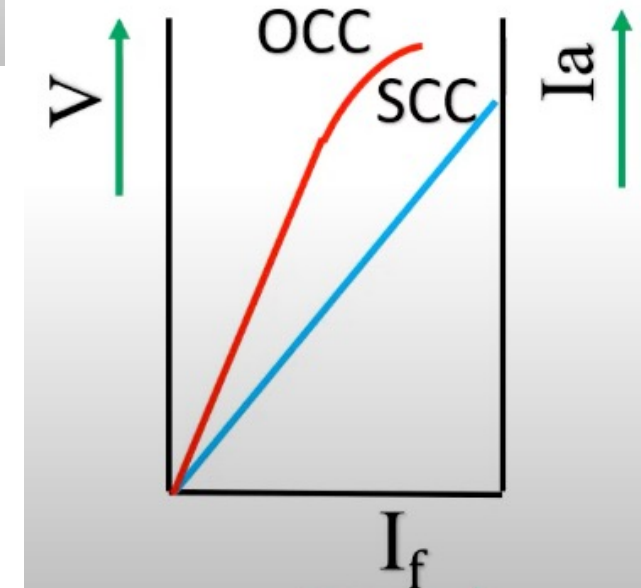
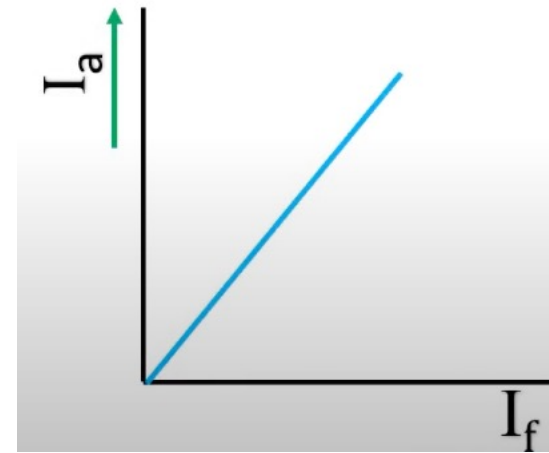
Debido a que la corriente es igual a cero entonces $E_{gen} = V_t$



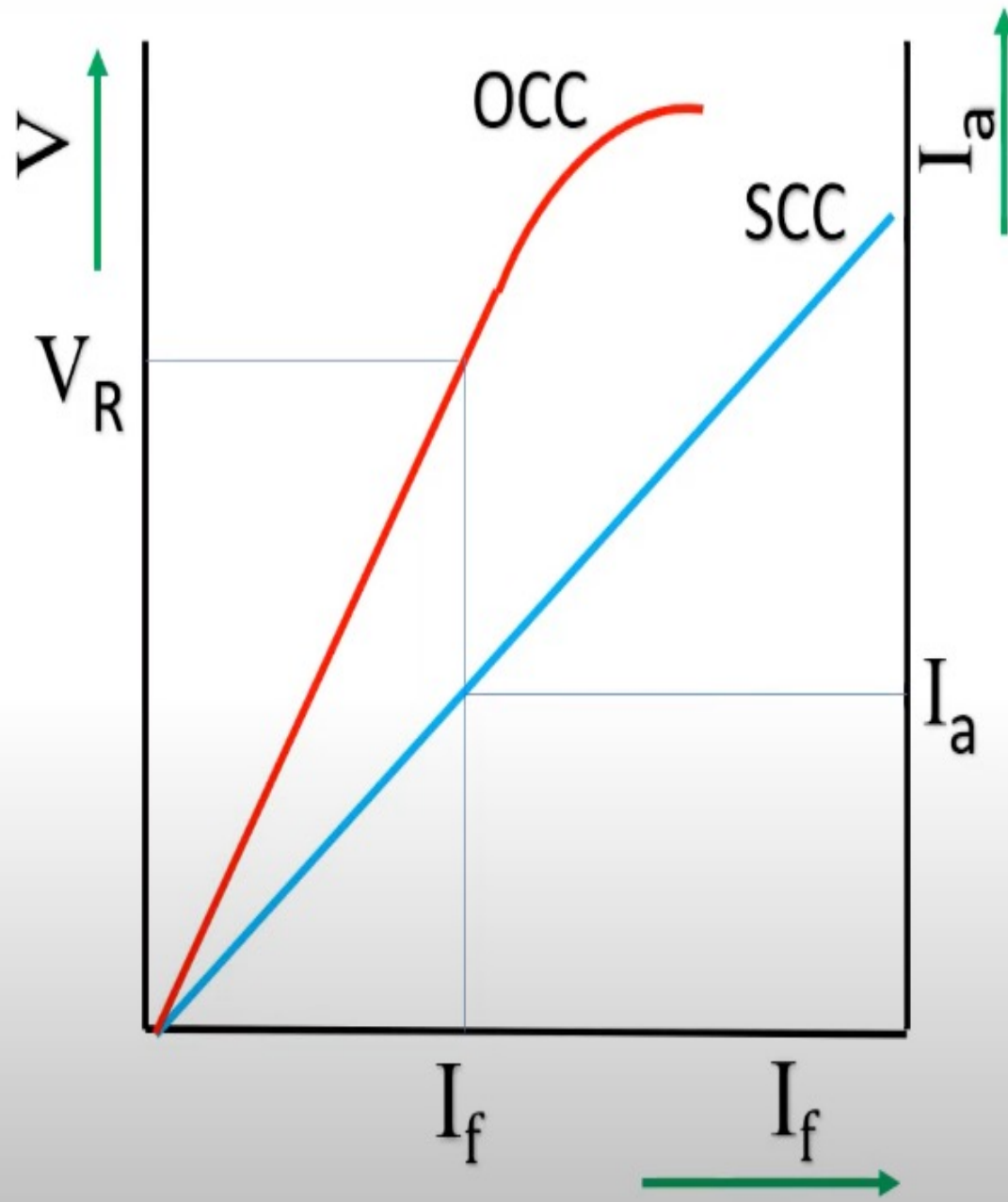
EQUIVALENT CIRCUIT MODEL



En corto circuito, la corriente de armadura I_a vs corriente de campo I_f



Equivalent Circuit

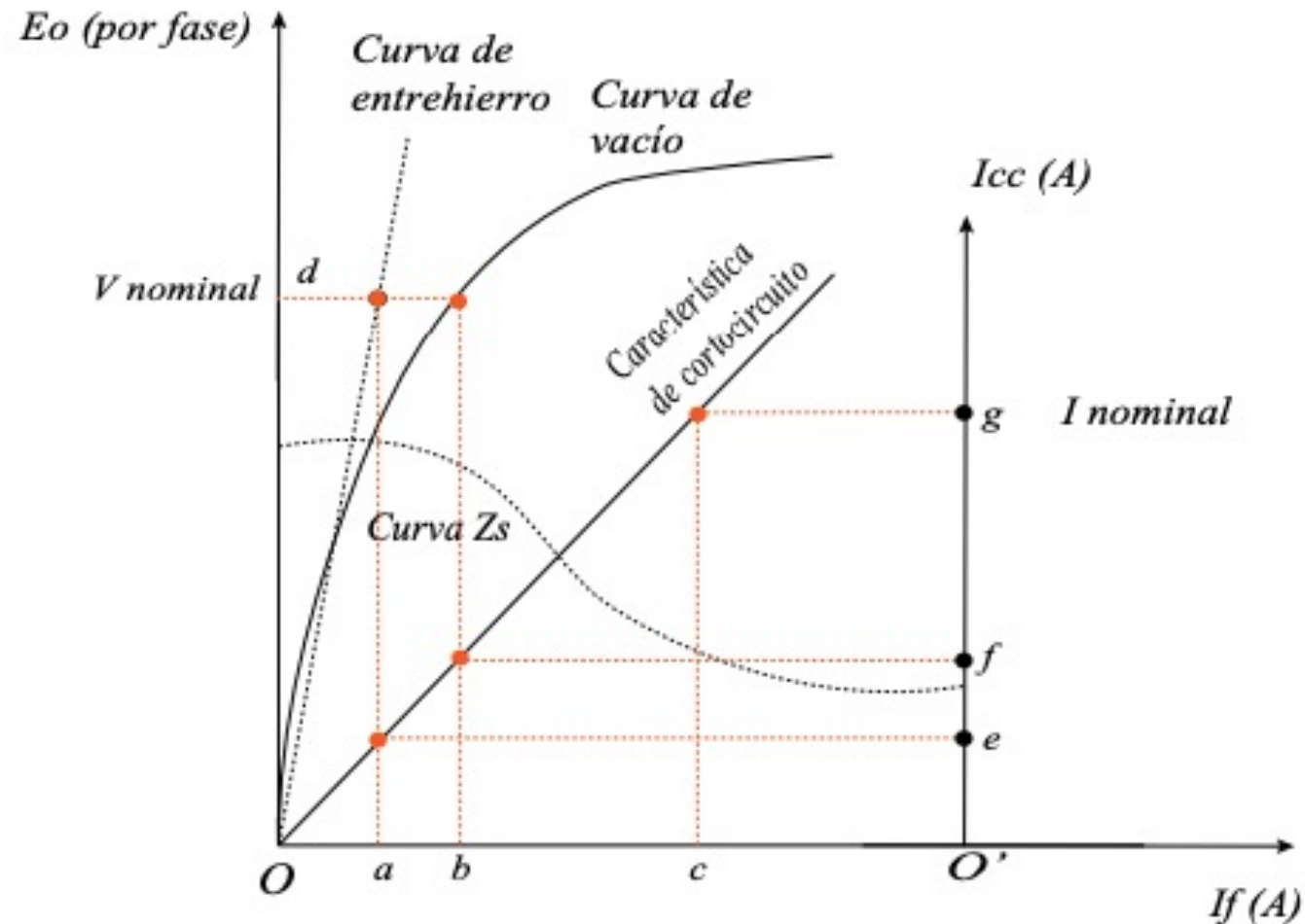


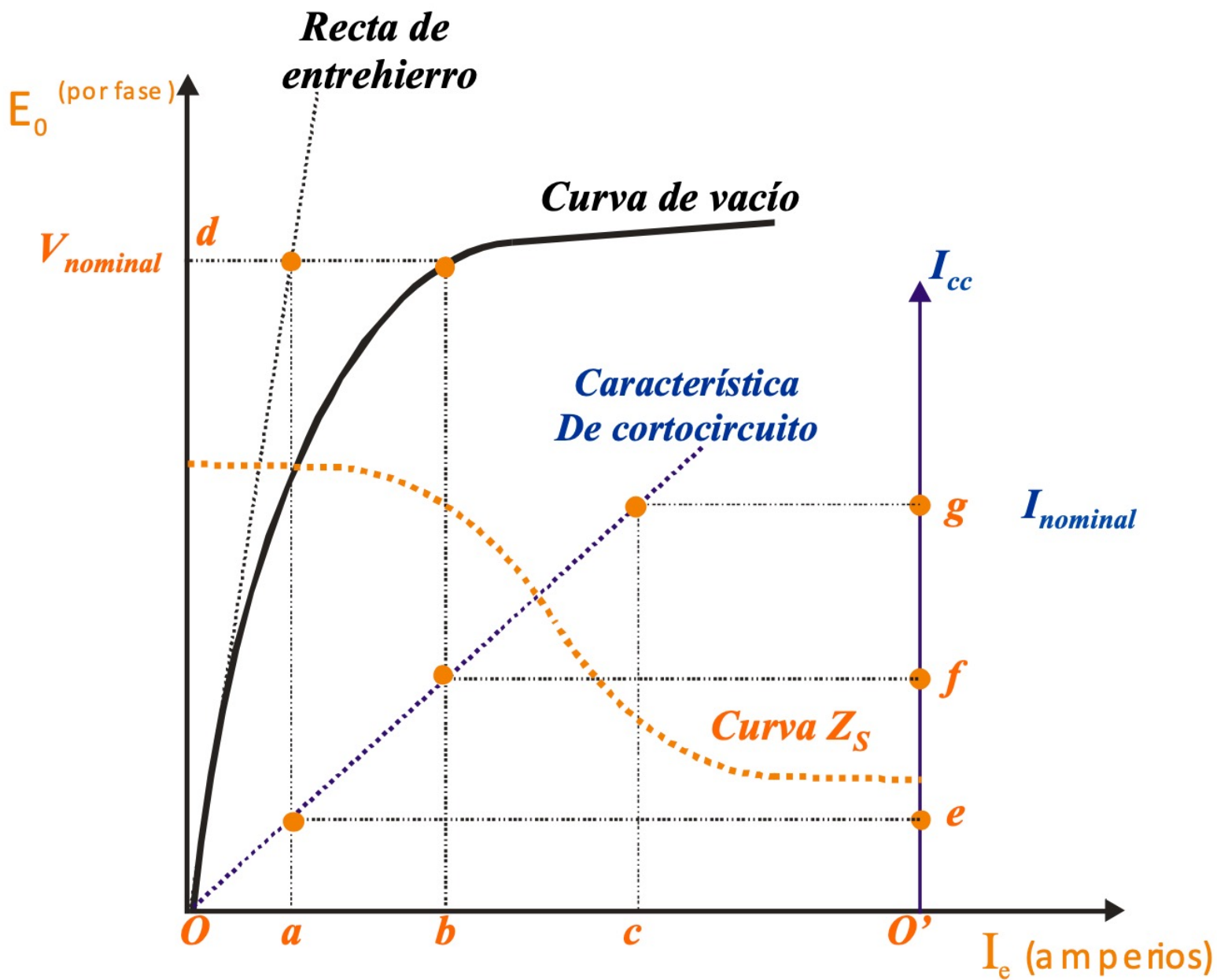
Against Rated Voltage (V_R), Field Current (I_f) is found

Against Field Current (I_f), Armature Current (I_a) is found

Synchronous Impedance z_s is given by V_R / I_a

- El método para calcular la impedancia sincrónica en los dos tipos de rotores esté basado en la obtención de las gráficas de comportamiento durante las pruebas experimentales, tal como lo muestra la Figura, que describe una gráfica detallada del comportamiento del generador y el método para el cálculo de la impedancia.





$$Z_s^{no_saturada} = Od / O'e$$

$$Z_s^{saturada} = Od / O'f$$

Nota: a veces se usa la relación de cortocircuito
 SCR (short-circuit ratio) $SCR = 1/Z_s$ (p.u.)
 Rotor cilíndrico $SCR = 0.5-0.8$
 Polos salientes $SCR = 1.5$