



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE MISIONES



FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
UNaM

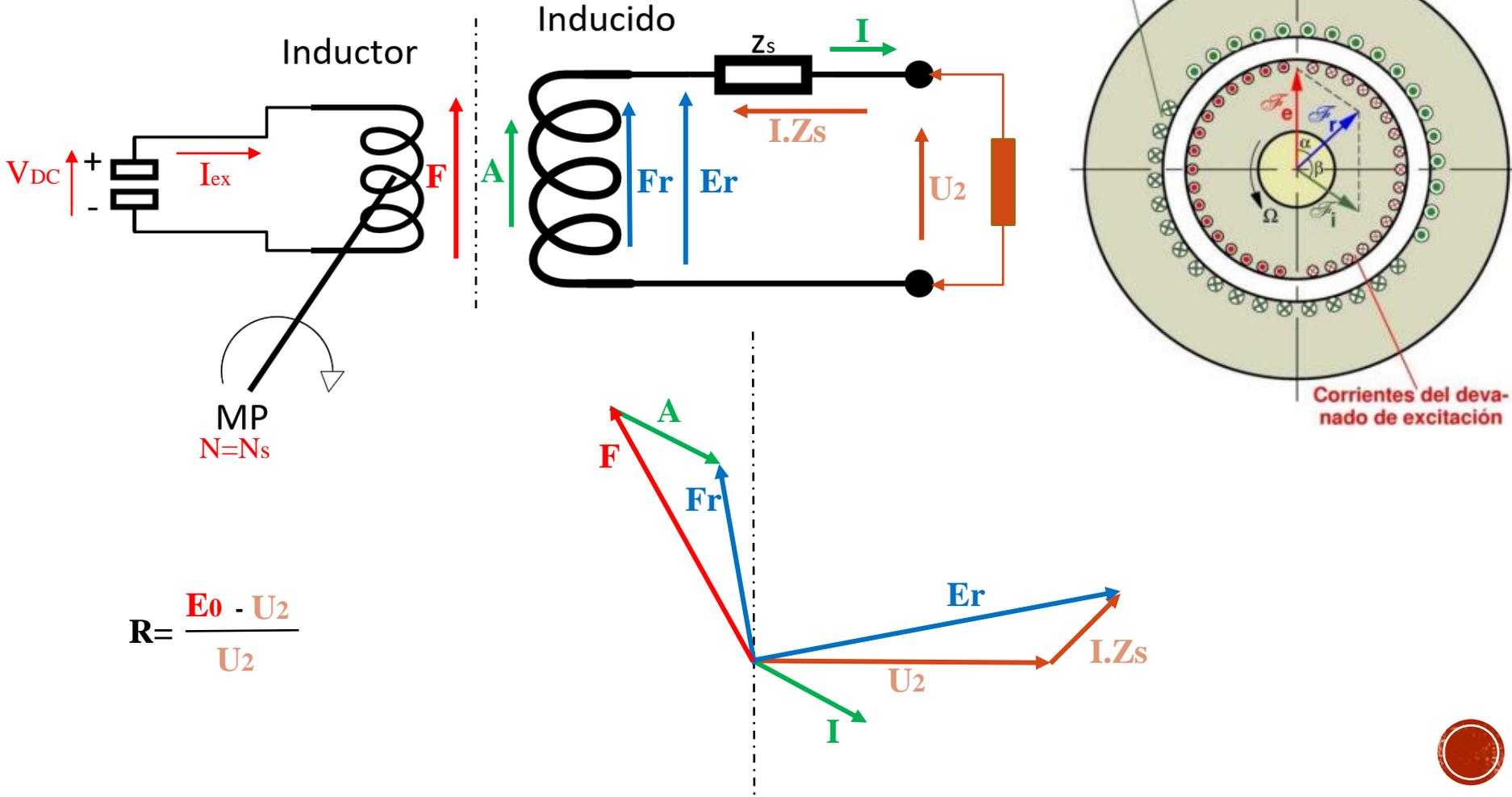
*2024 - año de la defensa de la vida, la libertad y la propiedad*

# ACTUADORES ELECTROMECAÑICOS

**INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**



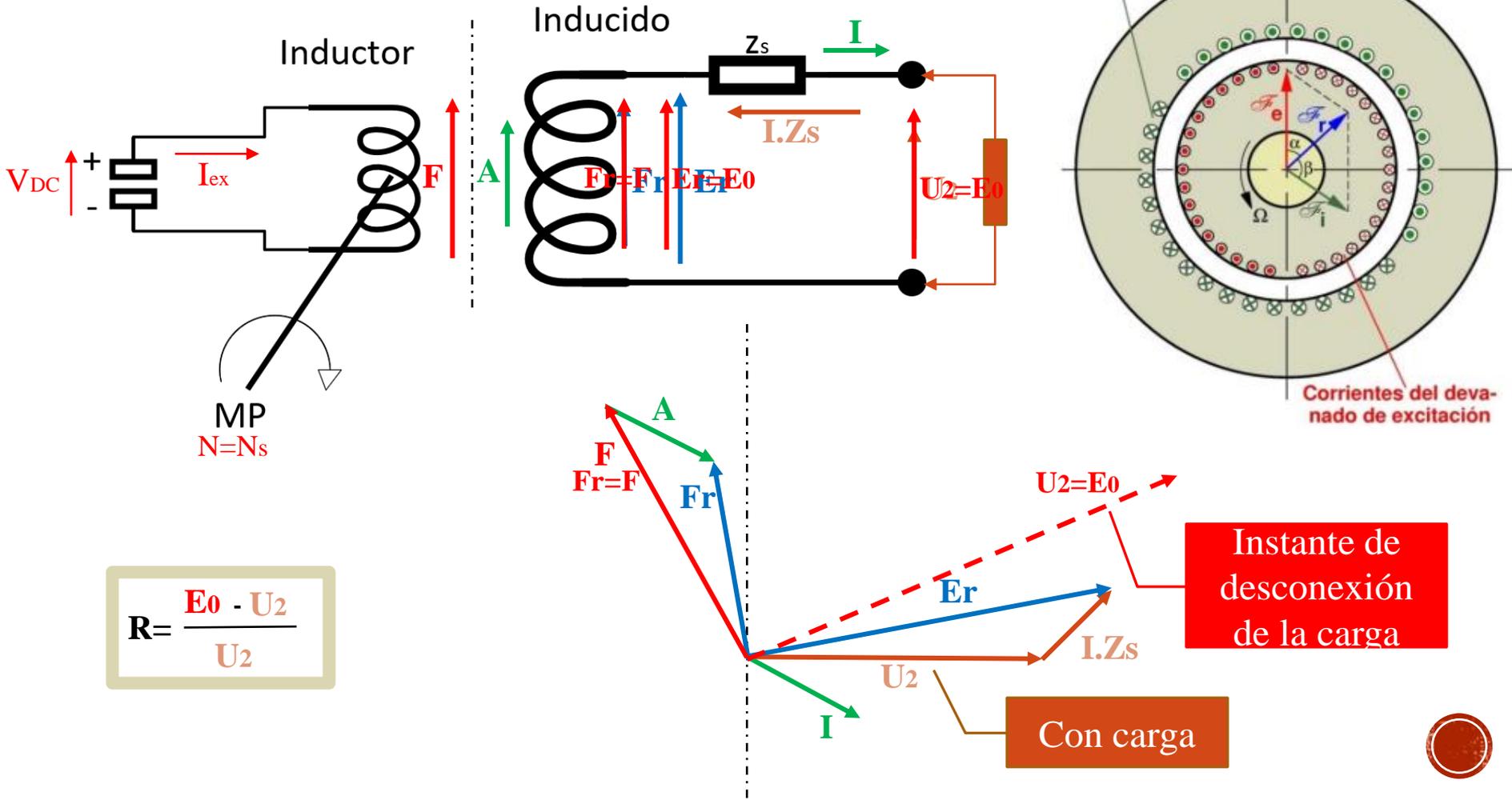
# FUNCIONAMIENTO CON CARGA



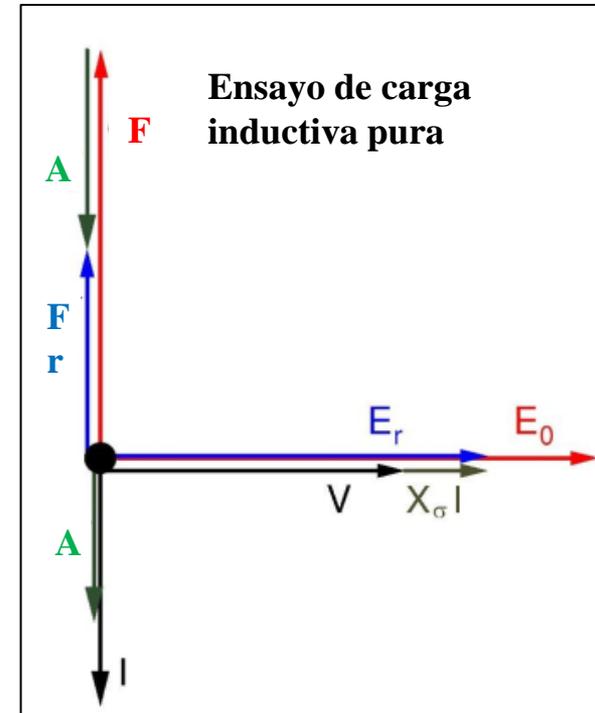
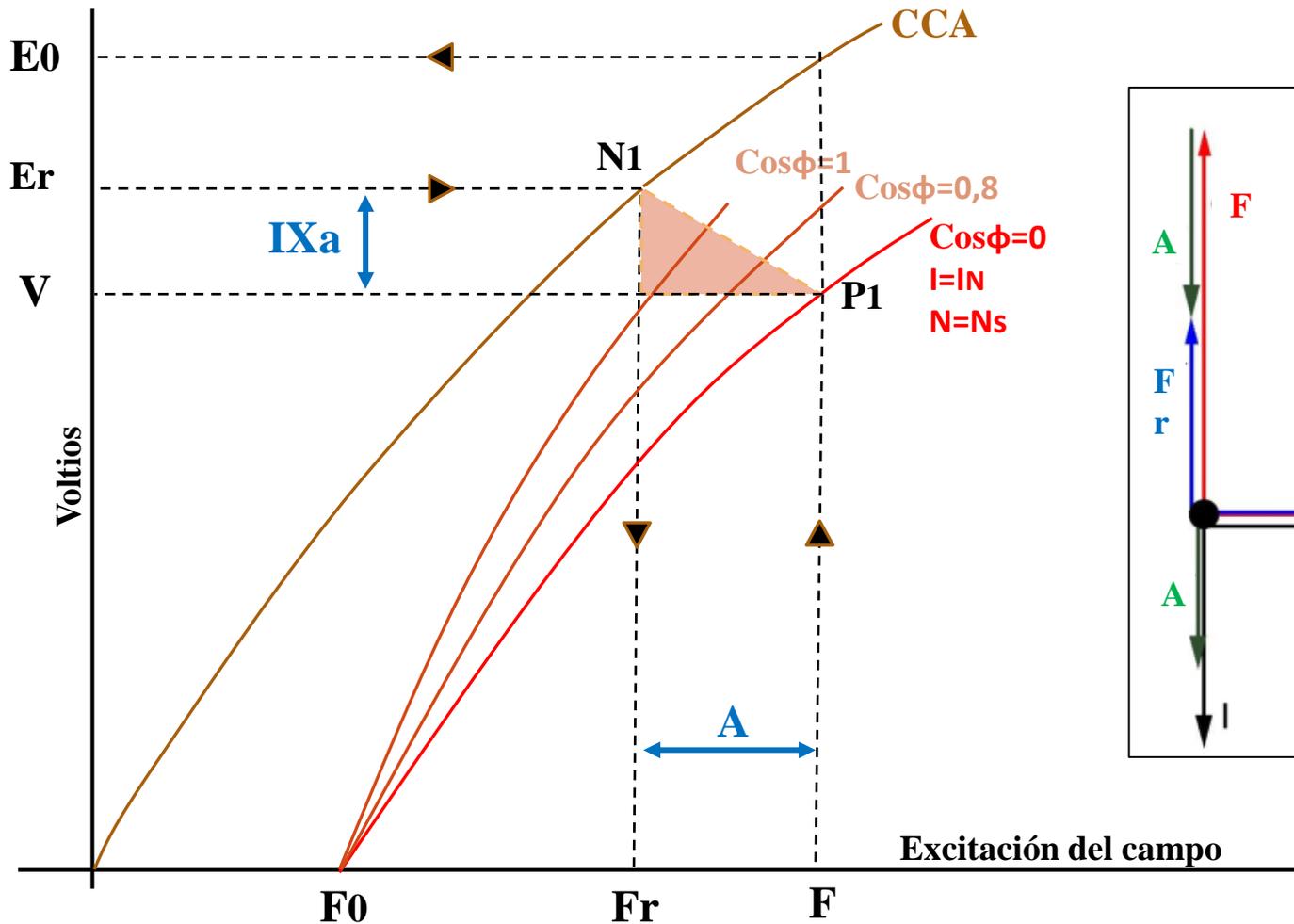
$$R = \frac{E_0 - U_2}{U_2}$$



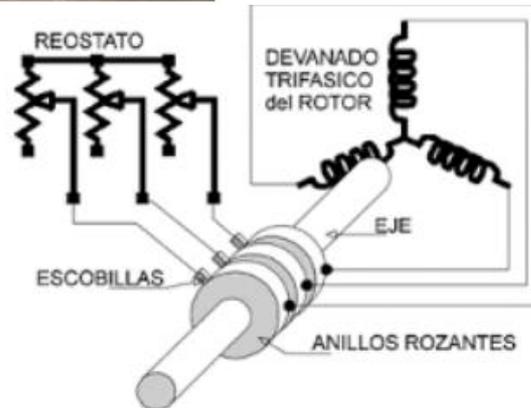
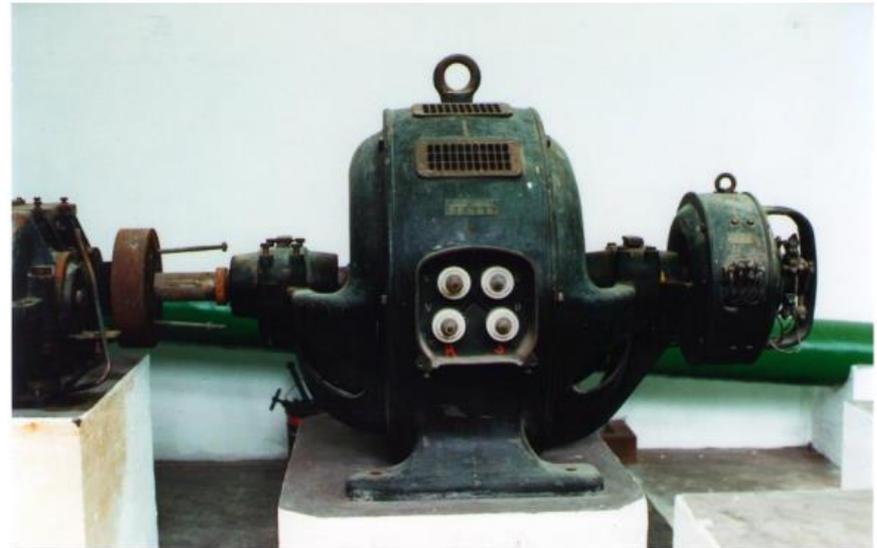
# DESCONEXIÓN REPENTINA



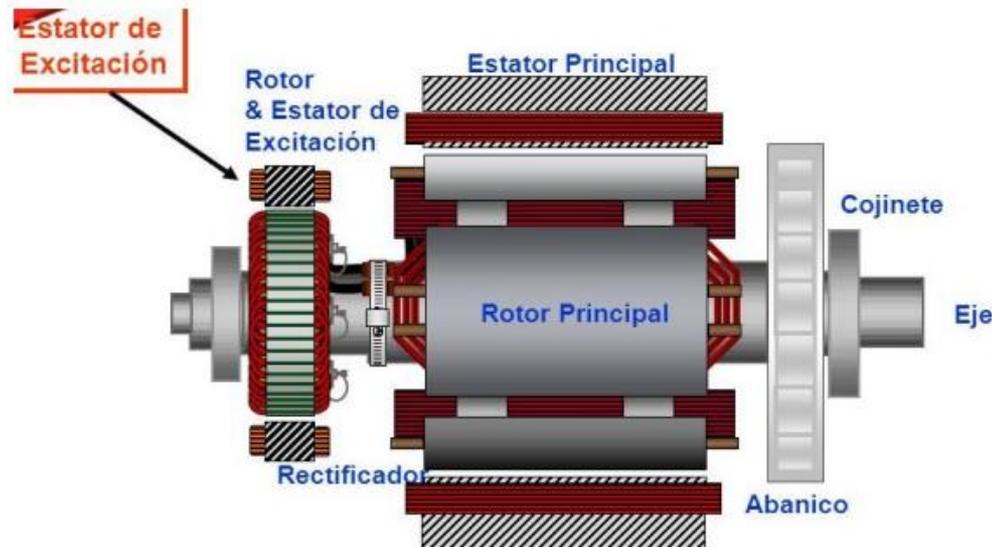
# CURVAS EN VACIO Y CON CARGA



# SISTEMAS DE REGULACIÓN DE TENSIÓN



# SISTEMAS DE REGULACIÓN DE TENSIÓN



- Proviene de la excitatriz (máquina destinada para esta función).
- La excitatriz suele ser del orden del 1 – 5% de la potencia del generador síncrono.
- Existen generadores compuestos por excitatriz de imanes permanentes.



# SISTEMAS DE EXCITACIÓN

El sistema de excitación es el que suministra la corriente continua que la máquina síncrona necesita para poder funcionar, ya que su inductor es un devanado de corriente continua.

El sistema de excitación no sólo debe proporcionar corriente continua al inductor de la máquina síncrona, sino que también debe ser capaz de regular dicha corriente.

Un generador síncrono necesita de un sistema de control de la corriente de excitación que le permita ajustar la tensión alterna a los valores deseados. Este sistema se denomina regulador automático de la tensión (RAT), que en inglés se convierte en automatic voltage regulator (AVR).



# TIPOS DE SISTEMAS DE EXCITACIÓN

## DC (*continua*)

Originalmente el control de la tensión era realizado manualmente por los operadores, hasta que se comenzaron a difundir sistemas automáticos basados en generadores de continua.

## AC (*alterna*)

Con la aparición de los semiconductores de tamaño razonable, los excitors pasan a ser pequeñas máquinas de alterna controladas. Se tienen menores tiempos de respuesta y mejoras en la estabilidad transitoria de los sistemas

## ST (*estático*)

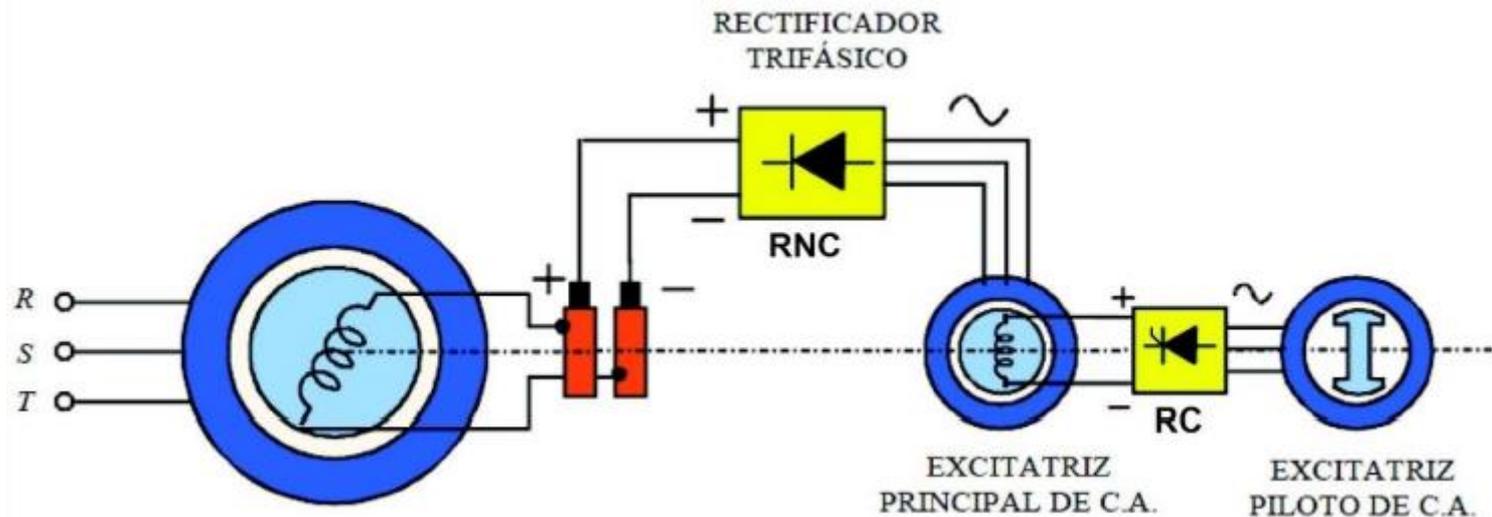
Finalmente los sistemas estáticos disminuyen la presencia de auxiliares rotativos (excitors) lo que simplifica el mantenimiento.





# TIPOS DE SISTEMAS DE EXCITACIÓN

## Excitación mediante excitatrices de corriente alterna con rectificador



En este sistema la excitatriz principal es un alternador síncrono cuyo inducido se conecta a un rectificador de diodos (no controlado) y la excitatriz piloto es una máquina síncrona de imanes permanentes -por lo que carece de colector de anillos cuyo inducido está conectado a un rectificador controlado.



# TIPOS DE SISTEMAS DE EXCITACIÓN

## **Excitación mediante excitatrices de corriente alterna con rectificador**

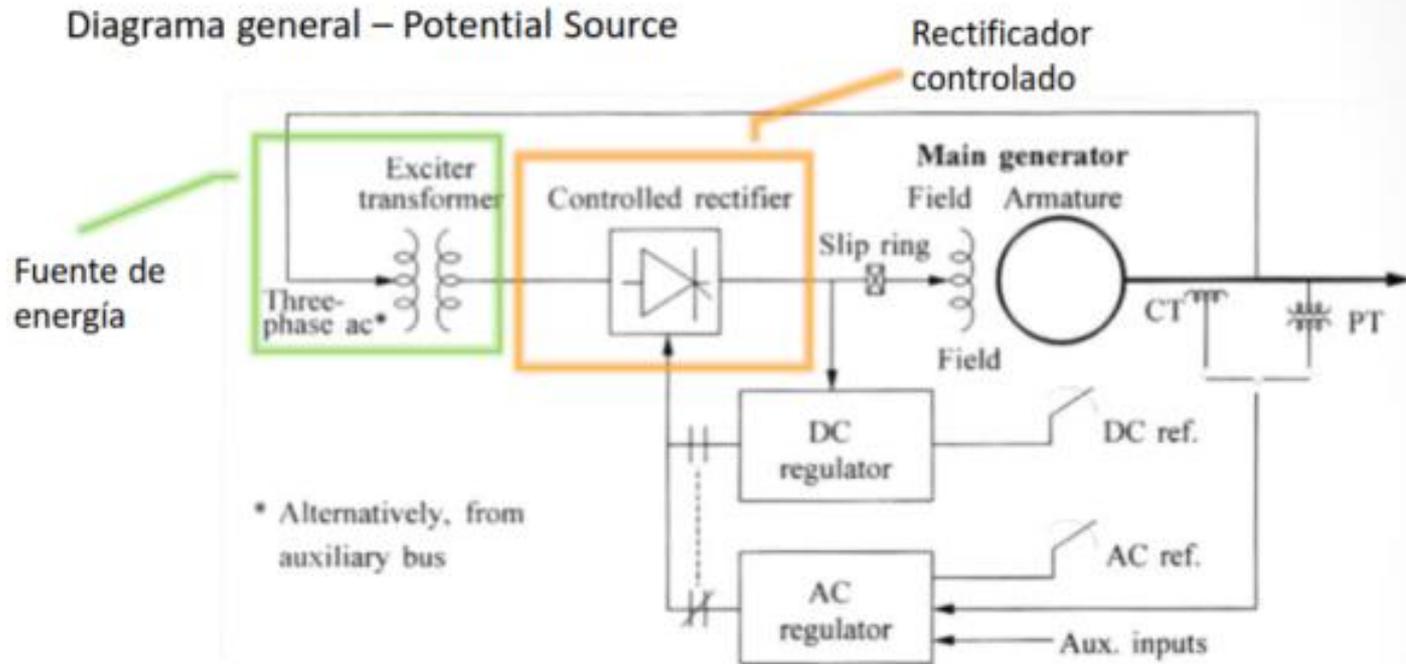
Para regular la corriente de excitación de la máquina síncrona se actúa sobre el rectificador controlado de la excitatriz piloto. Este regula la tensión continua con que se alimenta al inductor de la excitatriz principal; lo que, a su vez, controla la tensión alterna que esta última produce.

La tensión continua con que se alimenta el inductor de la máquina síncrona controla su corriente de excitación y es proporcional a la tensión alterna que procede de la excitatriz principal. Por lo tanto, con el rectificador controlado de la excitatriz piloto se consigue un control electrónico de la excitación de la máquina síncrona que presenta varias ventajas respecto al método anterior: mejor rendimiento, ajuste más fino, posibilidad de utilizar un sistema electrónico de control.



# TIPOS DE SISTEMAS DE EXCITACIÓN

## Sistemas Estáticos



# TIPOS DE SISTEMAS DE EXCITACIÓN

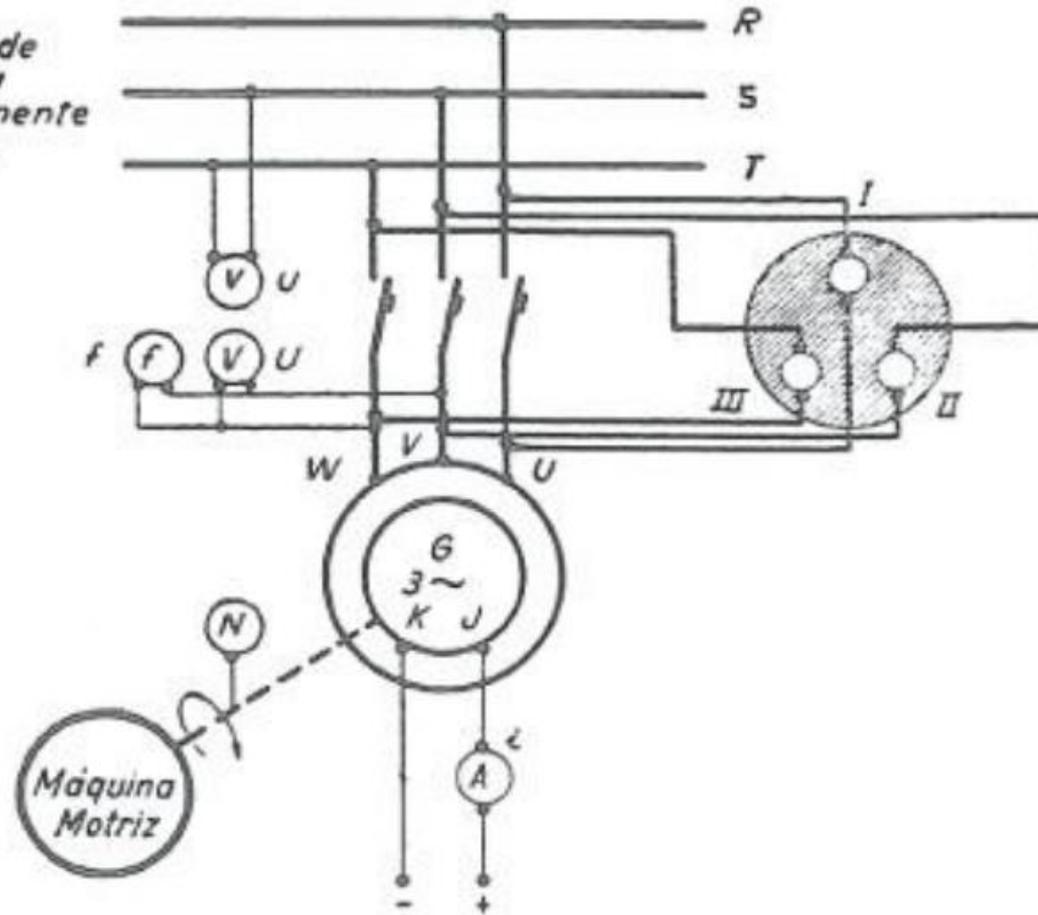
## Sistemas Estáticos

La propia Tensión de bornes del generador se reduce a un nivel aceptable para semiconductores utilizados.

- Mediante un puente controlado se regula la tensión continua que alimenta el campo del generador
- Ante cortocircuitos cercanos a la maquina la tensión de campo puede afectar el funcionamiento.



# RED DE POTENCIA INFINITA



# RED DE POTENCIA INFINITA

Se dice que un GENERADOR está acoplado a una **red de potencia infinita** cuando la potencia de nuestro generador es muy pequeña comparada del conjunto de los generadores de la red. Esto significa que los ajustes que se hagan sobre los reguladores no van a modificar las características de la red.

- Por lo tanto, el **valor eficaz de la tensión** y la **frecuencia** en la red de potencia infinita van a permanecer inmutables, no se modificarán aunque se cambien los ajustes de nuestro generador.
- Además, la red de potencia infinita va a ser capaz de absorber o suministrar toda la potencia, tanto activa como reactiva, que nuestro generador quiera enviarle o demandarle, respectivamente.



# CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO A UNA

## RED DE POTENCIA INFINITA

En el momento del acoplamiento a la red de potencia infinita los valores instantáneos de las tensiones del generador y de la red deben ser iguales. Esto conlleva que entre las tensiones del generador y de la red se cumplan estas condiciones:

- 1) Igualdad de valores eficaces
- 2) Igualdad de frecuencias
- 3) Igualdad de ángulos de fase
- 4) Igualdad en la secuencia de fases: se verifica cuando se pone en marcha por primera vez y no hace falta volver a comprobarla.



# CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO A UNA

## RED DE POTENCIA INFINITA

- 4) Igualdad en la secuencia de fases: esta condición se verifica cuando se pone en marcha el generador por primera vez y no hace falta volver a comprobarla.
- Las demás condiciones hay que verificarlas cada vez que se realiza la maniobra de acoplamiento del generador a la red **denominada sincronización**- y para ello se necesitan una serie de aparatos de medida. Entre estos están los **sincronoscopios**



# CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO A UNA

## RED DE POTENCIA INFINITA

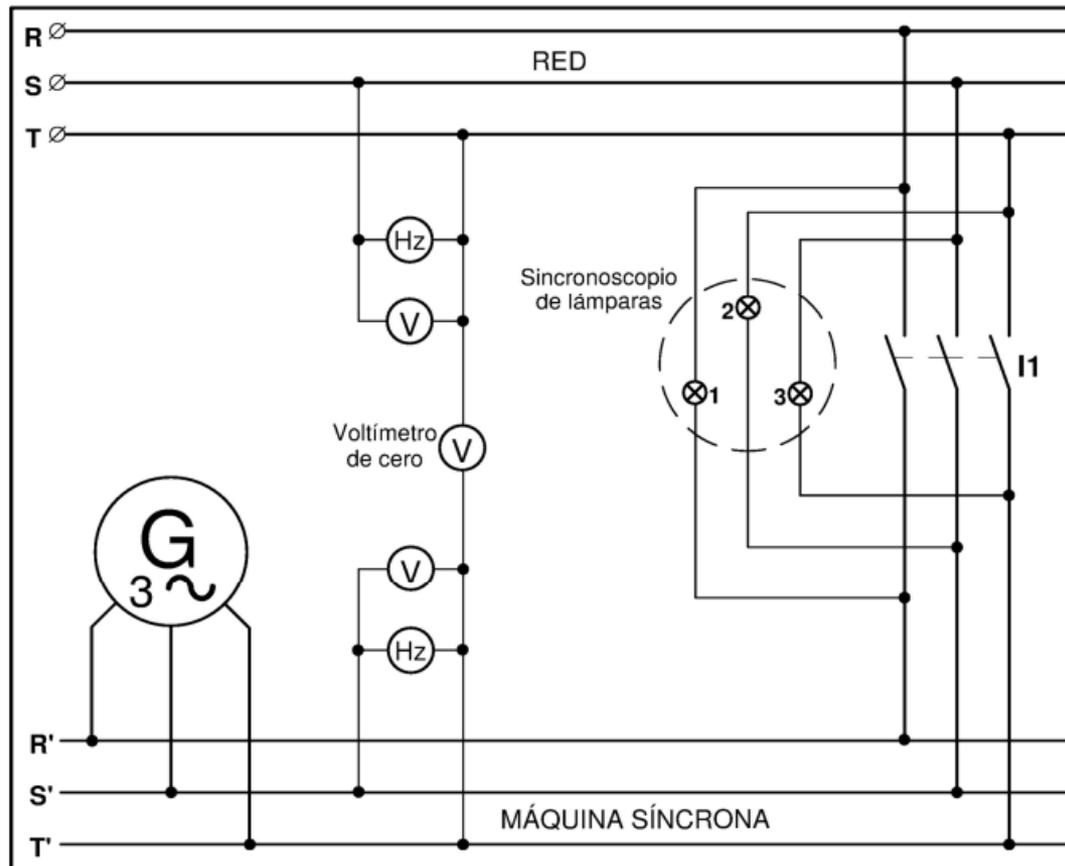
### **Pasos Fundamentales:**

- 1. Poner en marcha la maquina motriz del generador y regular la velocidad (aproximar frecuencias).
- 2. Ajustar la excitación del generador a modo que  $E_o$  sea igual a la tensión  $E$  del sistema.
- 3. Observar el ángulo de fase con un sincronoscopio.
- 4. Cerrar el interruptor de acople para conectar el generador con el sistema.



# CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO A UNA

## RED DE POTENCIA INFINITA

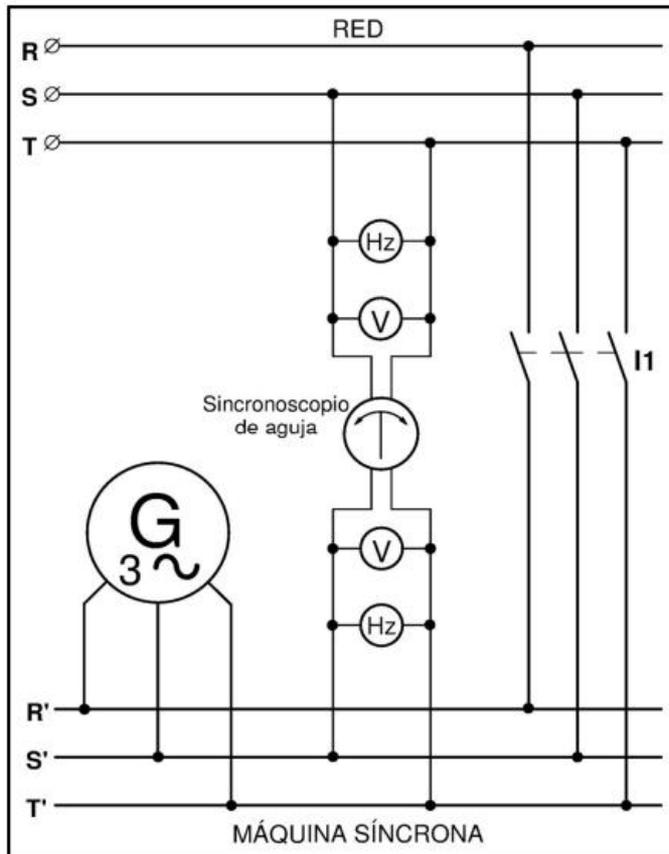


- Cuando se haya conseguido la igualdad de tensiones del generador y de la red este voltímetro indicará una tensión nula, entonces se podrá cerrar el interruptor I1 de acoplamiento y terminar así la maniobra de sincronización **sincronoscopios**



# CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO A UNA

## RED DE POTENCIA INFINITA

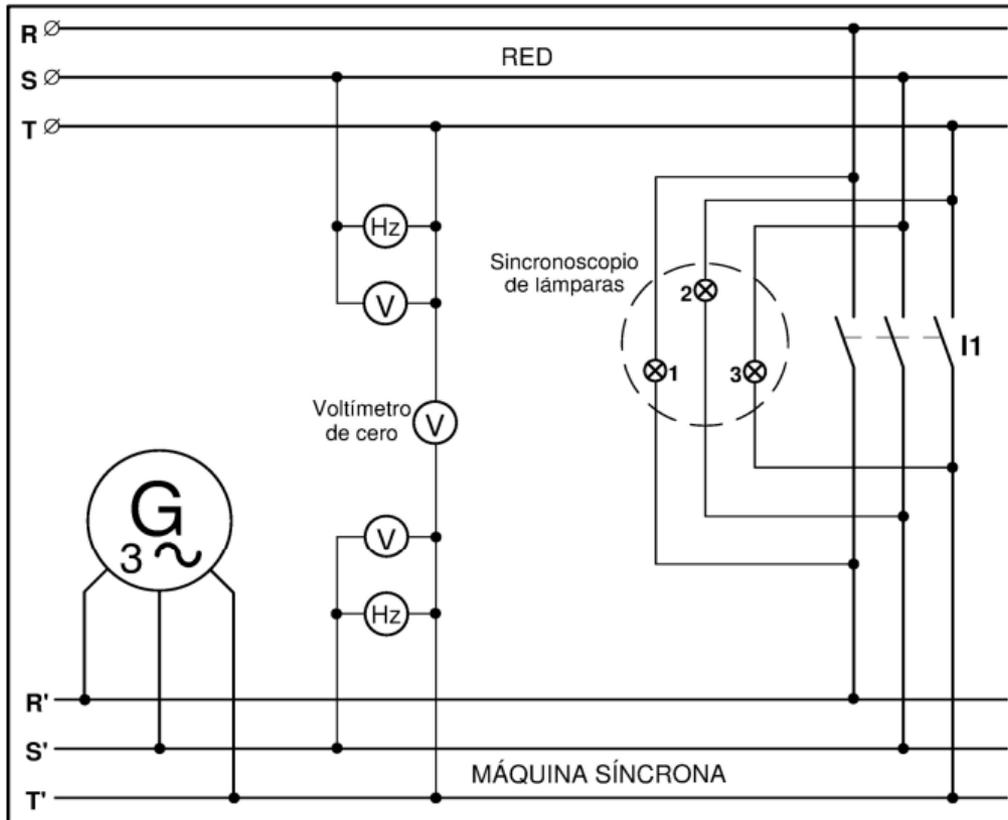


- Columna de sincronización:
- 1 secuencímetro doble
- 1 voltímetro doble
- 1 frecuencímetro doble

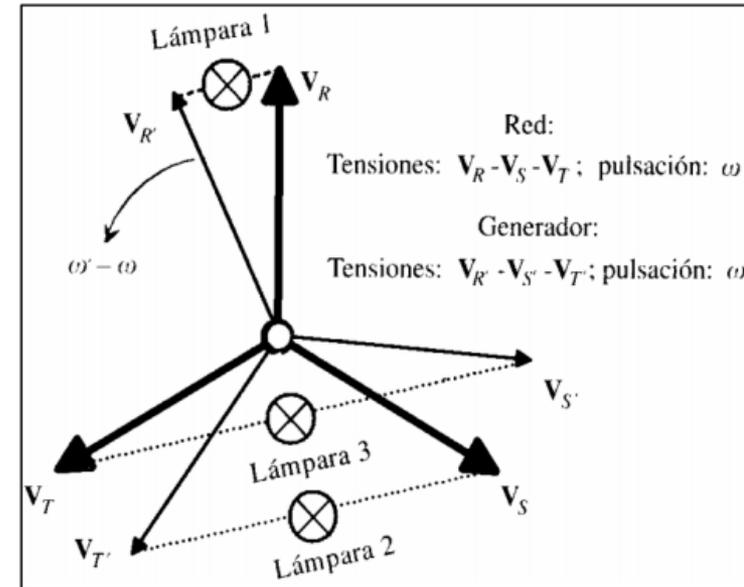


# CONDICIONES DE ACOPLAMIENTO A UNA

## RED DE POTENCIA INFINITA



## Método de lámparas apagadas



# RED DE POTENCIA INFINITA

## Características de conexión

- El generador pasa a ser parte del Sistema Infinito.
- No se puede especificar la naturaleza de la carga (grande o pequeña, resistiva o capacitiva/inductiva) conectada a los terminales.

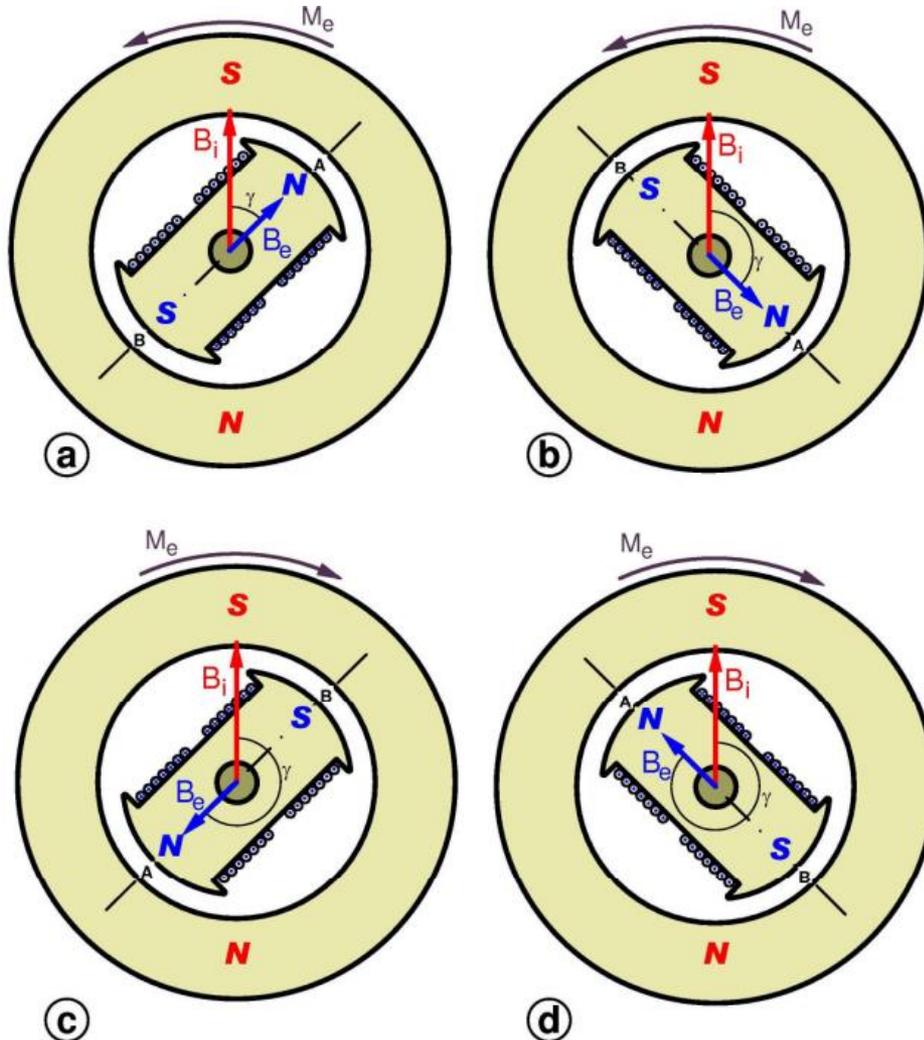
## ¿Qué determina, entonces, la potencia que suministra el generador?

- La corriente de excitación.
- El par mecánico (o momento de torsión) ejercido sobre la maquina primaria.



# RED DE POTENCIA INFINITA

Característica Par - ángulo de par ( $M - \delta$ )



- muestra el sentido del par electromagnético  $M_e$  en cuatro situaciones diferentes: a, b, c y d.
- En todas ellas se muestra el momento en que el devanado del estator origina un campo magnético dirigido verticalmente de forma que las líneas de este campo magnético salen al entrehierro por la parte inferior donde, por lo tanto, habrá un polo norte del estator, y entran al estator desde el entrehierro por la parte superior, donde se encontrará, entonces, un polo sur del estator. Este campo magnético del estator, al igual que el rotor, gira a la velocidad de sincronismo

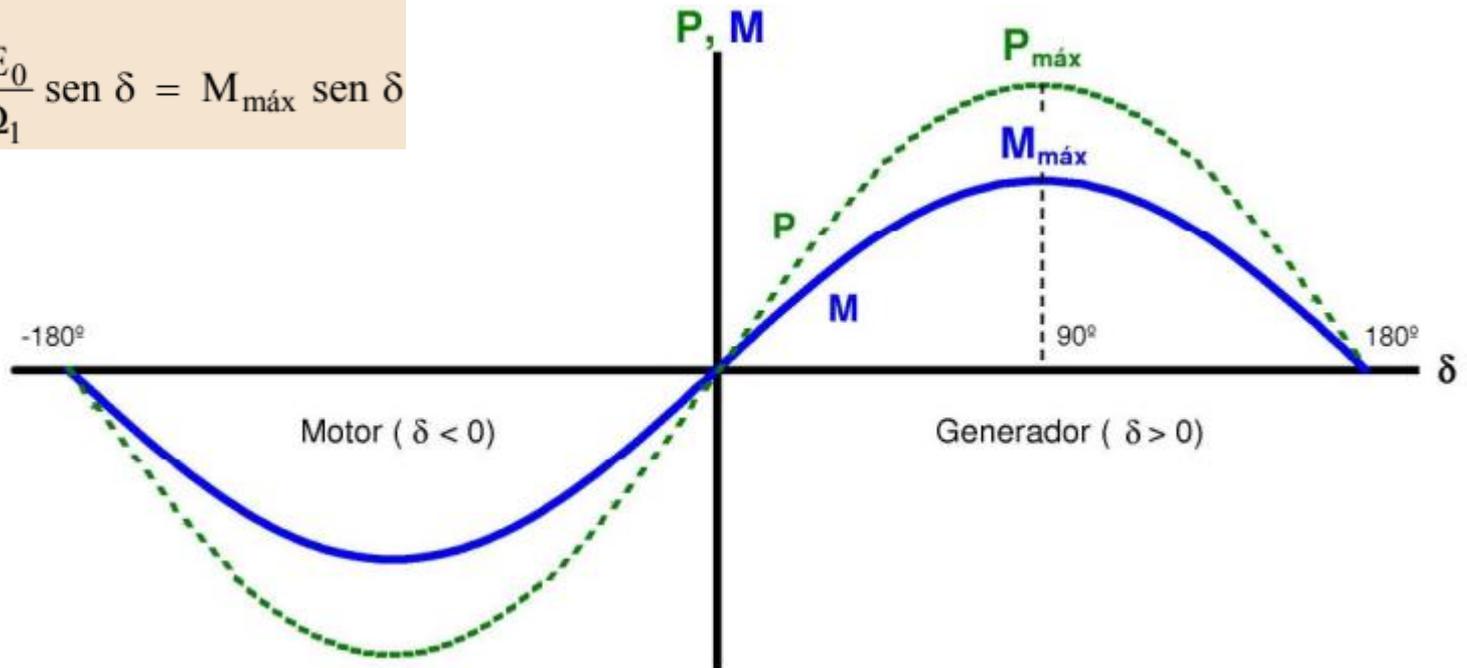


# RED DE POTENCIA INFINITA

Característica Par - ángulo de par (M -  $\delta$ )

$$P = \frac{3 V E_0}{X_s} \text{sen } \delta = P_{\text{máx}} \text{sen } \delta$$

$$M = \frac{3 V E_0}{X_s \Omega_1} \text{sen } \delta = M_{\text{máx}} \text{sen } \delta$$



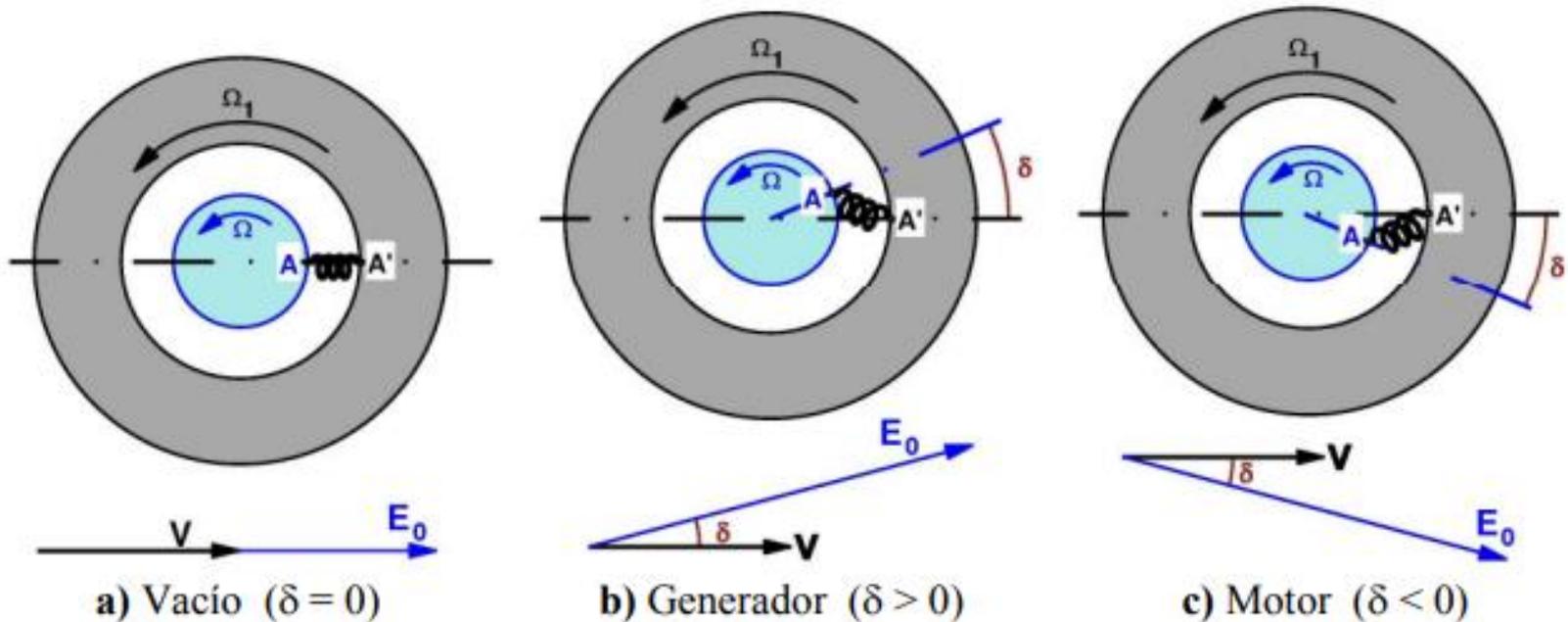
- las características  $P - \delta$  y  $M - \delta$  son sinusoidales y los valores máximos de estas magnitudes se producen cuando el ángulo de par  $\delta$  vale  $90^\circ$

# RED DE POTENCIA INFINITA

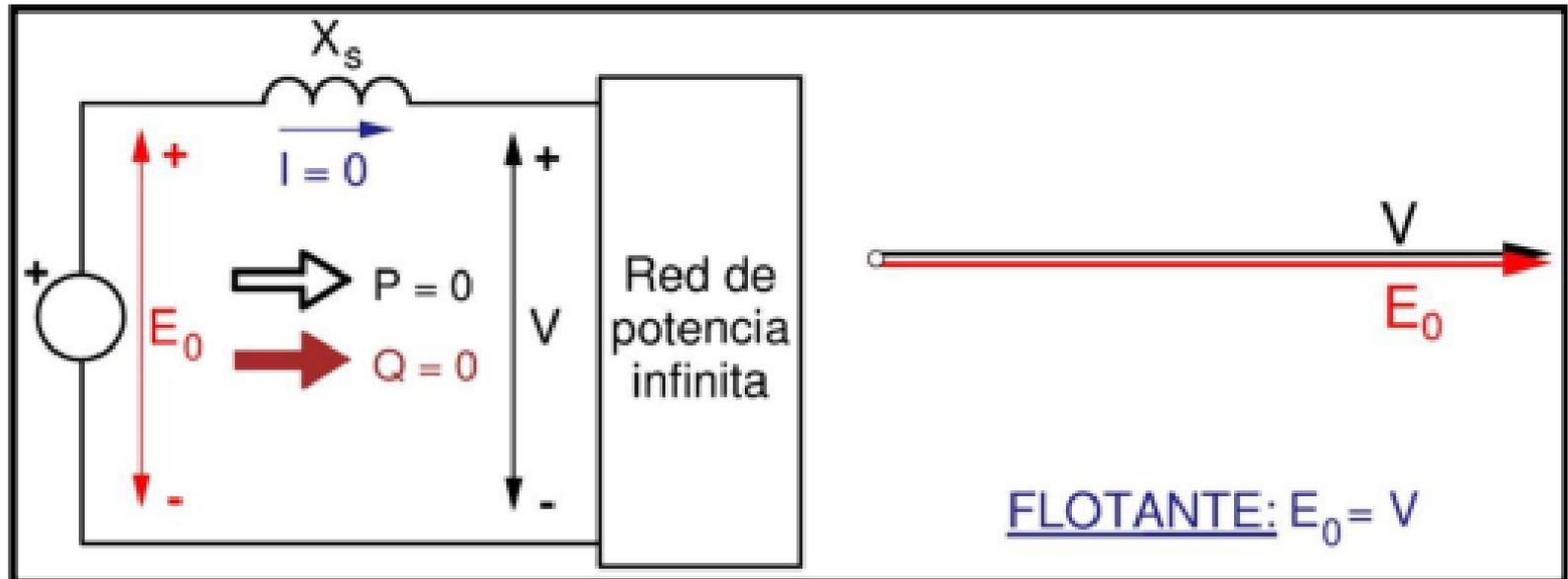
Característica Par - ángulo de par ( $M - \delta$ )

Cuando se considera que el ángulo  $\delta$  varía entre  $-180^\circ$  y  $+180^\circ$  y se emplea el convenio de signos generador, se deduce que:

- Si  $\delta > 0$ , resulta que  $P > 0$  y la máquina actúa como **generador**.
- Si  $\delta < 0$ , resulta que  $P < 0$  y la máquina actúa como **motor**.



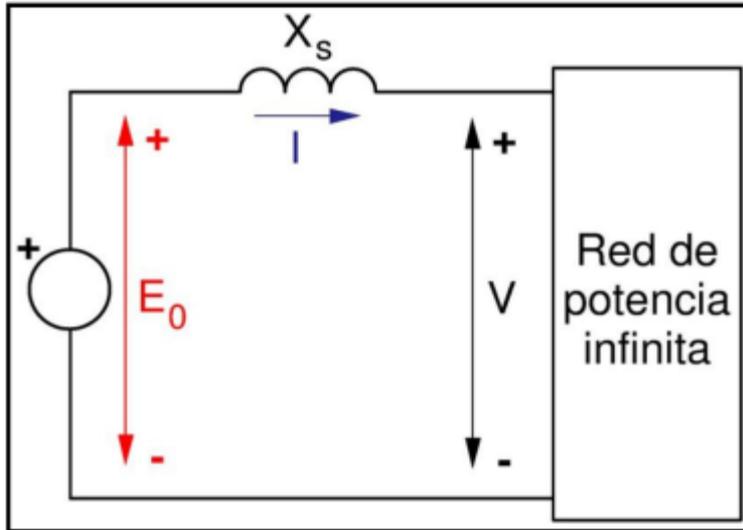
# ESTADO FLOTANTE



Después de sincronizar y conectar el generador con la Red la tensión inducida en la máquina ( $E_0$ ) es igual a la tensión de la red ( $V$ ) y no hay transferencia de potencia (activa ni reactiva) a la red.

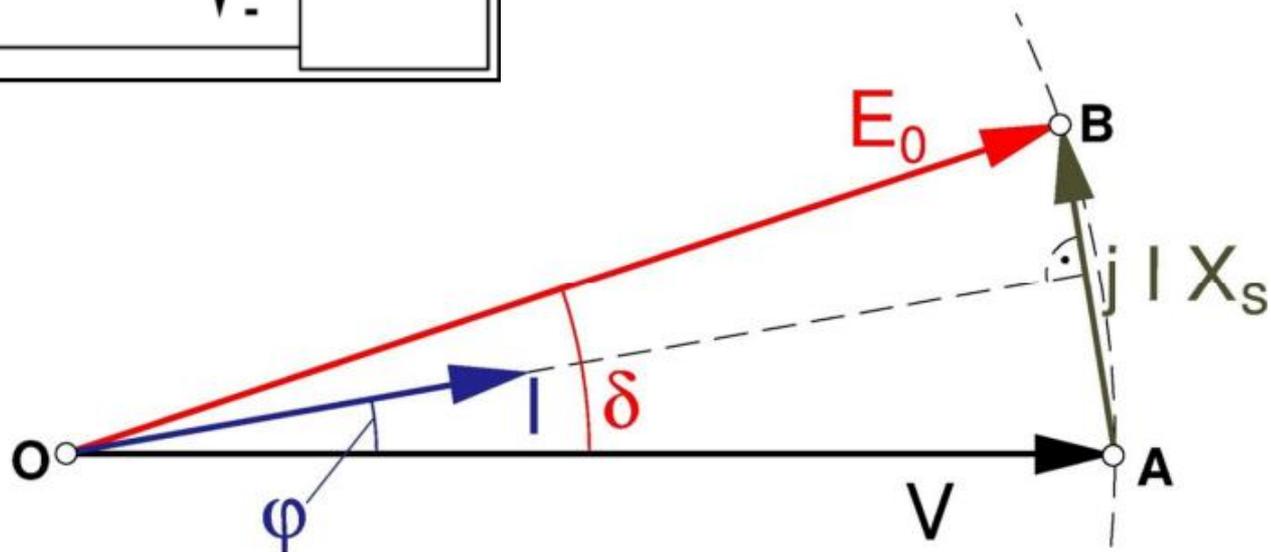


# VARIACIÓN DE PAR MECÁNICO

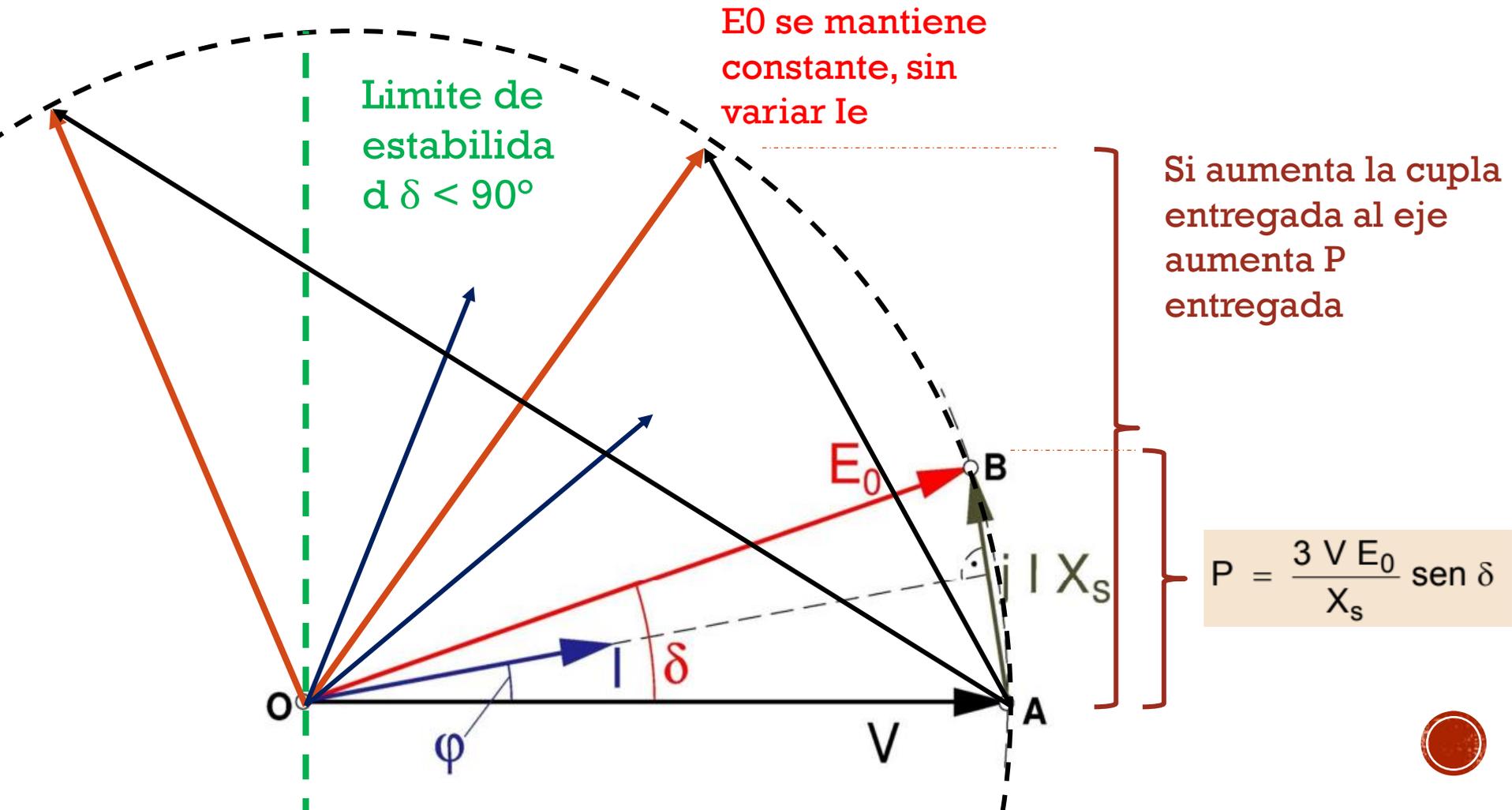


Si la máquina recibe potencia mecánica empieza a suministrar una potencia activa  $P$ , que se puede calcular así:

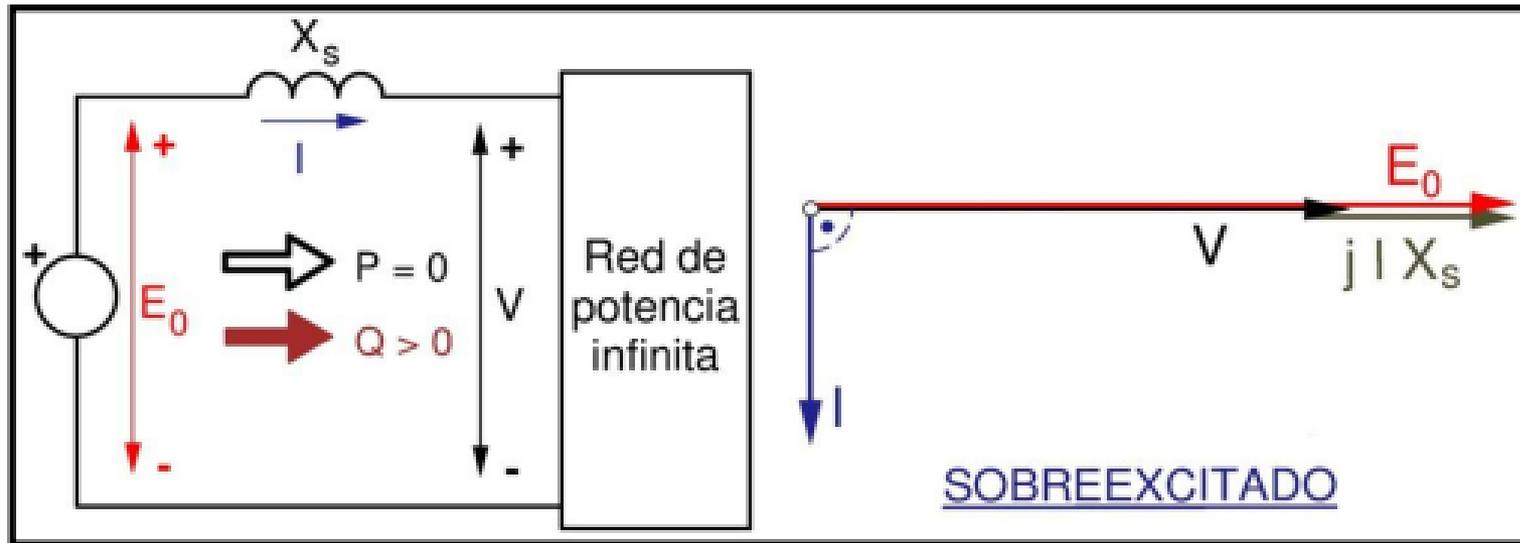
$$P = \frac{3 V E_0}{X_s} \text{ sen } \delta$$



# VARIACIÓN DE PAR MECÁNICO



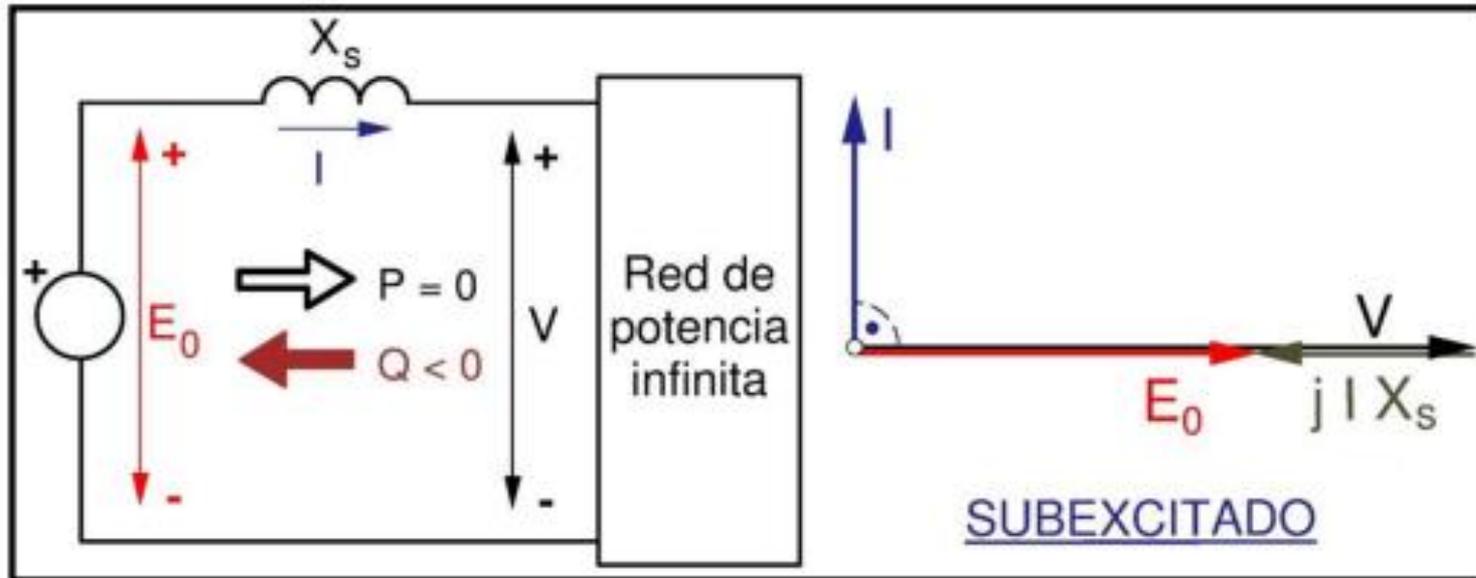
# COMPENSADOR SINCRONICO



**Sobre-excitación:** Si aumenta la corriente de excitación, aumentará la fem inducida en la máquina ( $E_0$ ), y será superior a la tensión de la red ( $V$ ) por lo cual provocará una corriente de circulación por el inducido.



# COMPENSADOR SINCRONICO



**Sub-excitación:** Si disminuye la corriente de excitación,  $E_0$  se hace menor a  $V$ , apareciendo una corriente de inducido que adelanta  $90^\circ$  a la tensión  $V$ . Esta corriente tiene un efecto desmagnetizante sobre el circuito de excitación



# COMPENSADOR SINCRONICO

Un compensador síncrono es una máquina síncrona que funciona siempre con potencia activa nula ( $P = 0$ ) y que sirve para proporcionar (o absorber) la potencia reactiva que se desee hasta un valor igual a su potencia asignada  $S_N$ .

Si manteniendo nula la potencia  $P$  (y por lo tanto, también el ángulo de par  $\delta$  es nulo) se modifica la corriente de excitación  $I_e$ , ocurre que la potencia reactiva  $Q$  se puede regular mediante  $I_e$

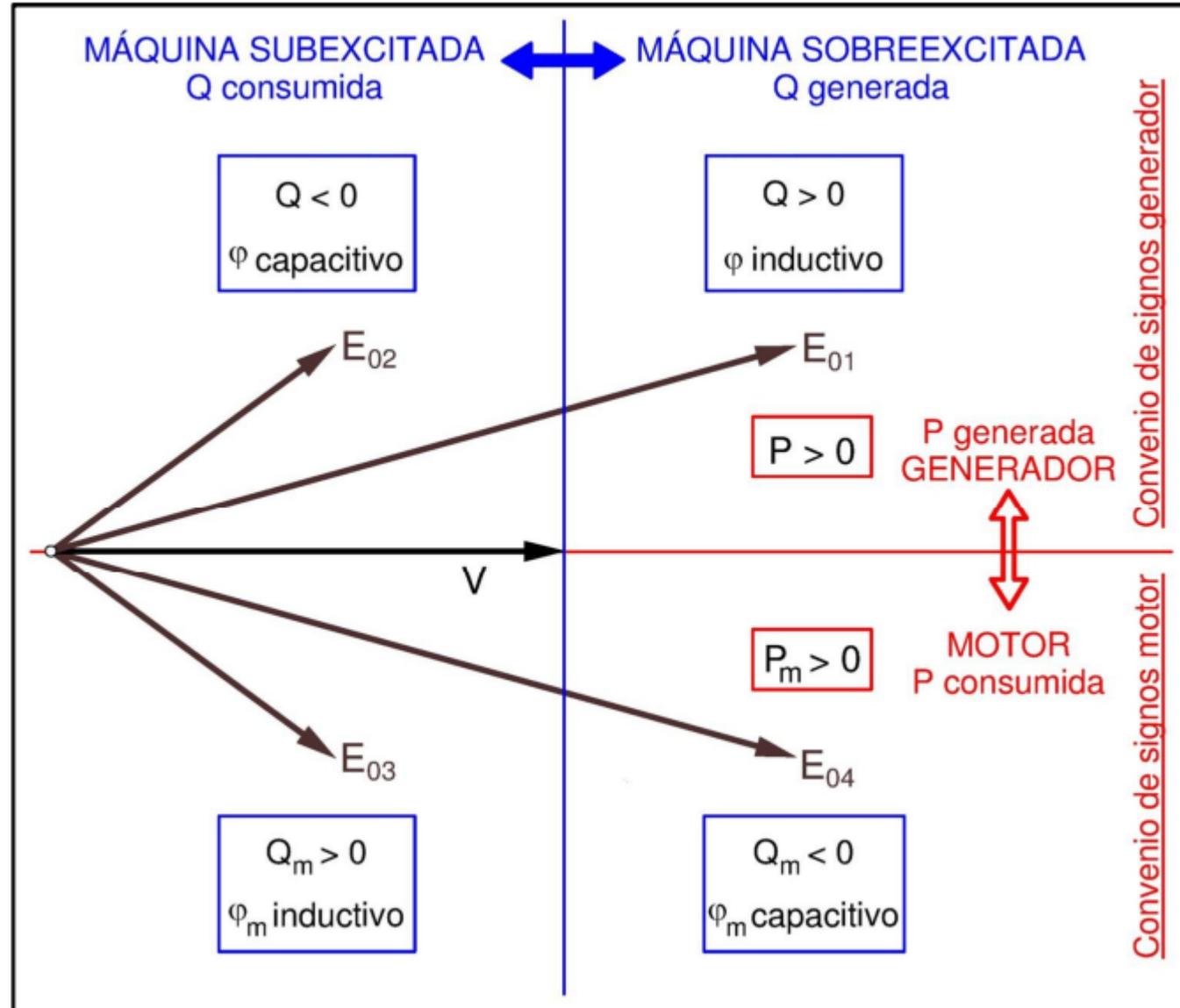
- Cuando aumenta la corriente de excitación  $I_e$  –es decir, cuando la máquina está sobreexcitada, Esto hace que se mantenga  $P = 0$  y se genere potencia reactiva ( $Q > 0$ ). f.d.p. inductivo.
- Cuando disminuye la corriente de excitación  $I_e$  –es decir, cuando la máquina está subexcitada, Esto hace que se mantenga  $P = 0$  y se consuma potencia reactiva ( $Q < 0$ ). f.d.p. capacitivo.



# RESUMEN

## Generador conectado a la red de potencia infinita:

Signos de las potencias activa y reactiva y del factor de potencia en función del módulo del fasor  $E_0$  y de su desfase respecto al fasor  $V$



# MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

## **Bibliografía y material audiovisual:**

- Jesus Fraile Mora. Maquinas Eléctricas. 5ta edición 2003
- Maquinas Eléctricas II, Tema 4. 2018, Miguel Ángel Rodríguez Pozueta
- Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4) - Métodos de arranque. Característica mecánica de la carga
- <https://salamoisian.uva.es/asincrona/>

