

Máquinas síncronas

Por: Ing. César Chilet

Temario

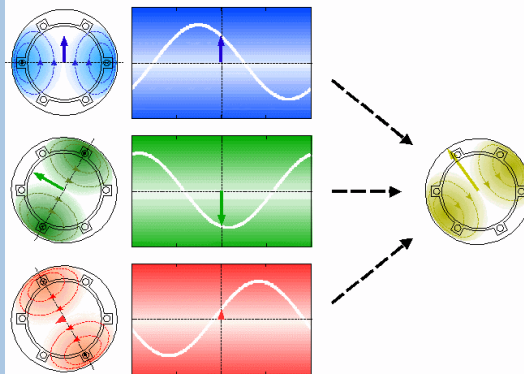
- ***Introducción.***
- ***Generador síncrono.***
- ***Motor síncrono.***
- ***Compensador síncrono.***

cchilet@continental.edu.
pe

Introducción

Síncrona

- El campo magnético giratorio creado por el devanado del estator gira a la velocidad síncrona.
- El rotor gira a la misma velocidad del campo giratorio.



cchilet@continental.edu.
pe

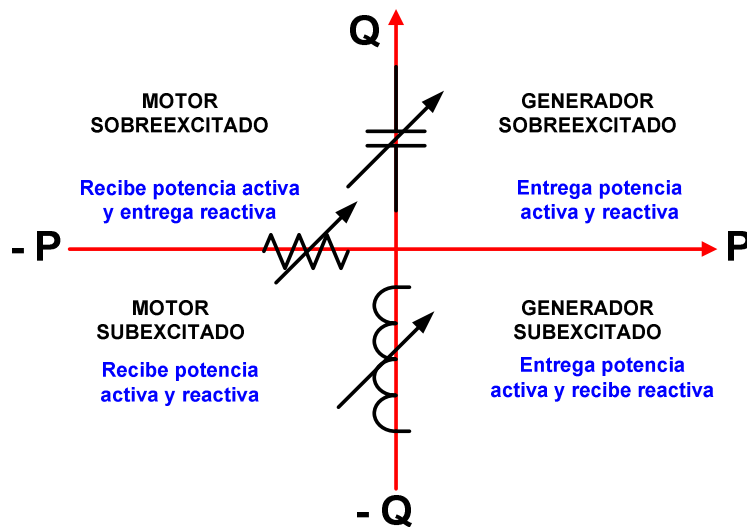
Formas de operar

- Generador.
- Motor.
- Compensador síncrono (*Reactor o capacitor variable*)



cchilet@continental.edu.
pe

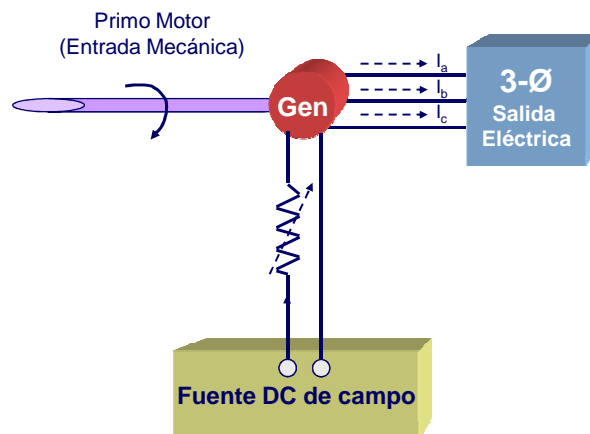
Formas de operar



cchilet@continental.edu.
pe

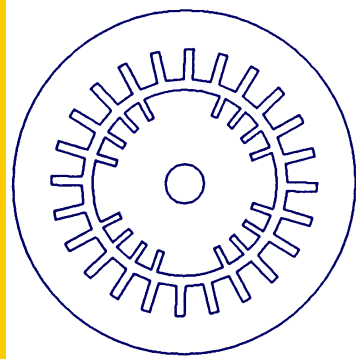
Generador síncrono

Generador síncrono

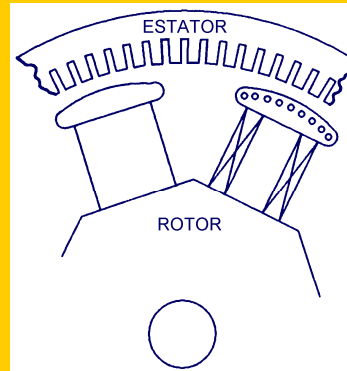


cchilet@continental.edu.
pe

Tipos de generadores síncrono



Rotor cilíndrico



Rotor de polos salientes

cchilet@continental.edu.
pe

Generador de polos salientes

Este tipo de generadores, son movidos por turbinas hidráulicas, son de gran cantidad de polos (por ejemplo 32, 16 polos), y de baja velocidad.



cchilet@continental.edu.
pe

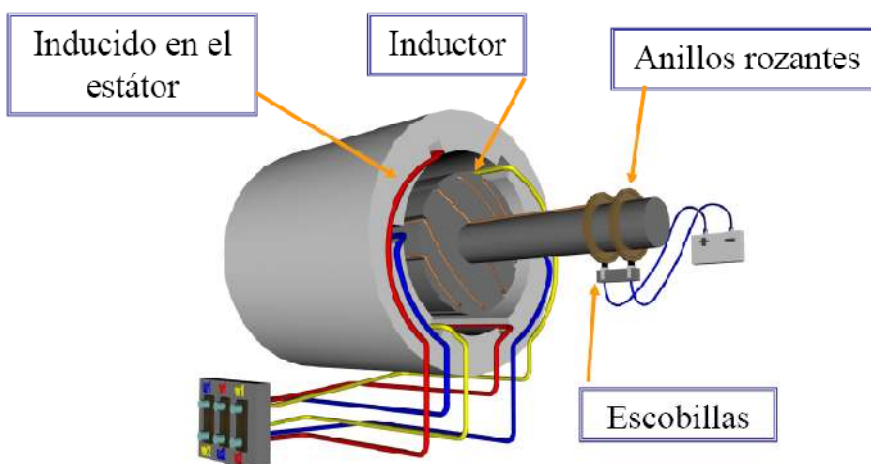
Generador de polos lisos

- Este tipo de generadores posee generalmente dos polos, presentando un entrehierro prácticamente uniforme. Son de alta velocidad y son movidos por turbinas a gas y/o petróleo.



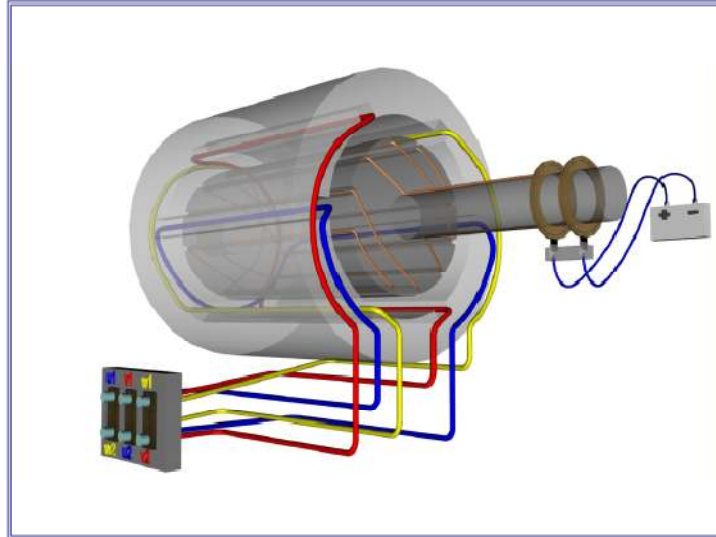
cchilet@continental.edu.
pe

Generador de rotor cilíndrico



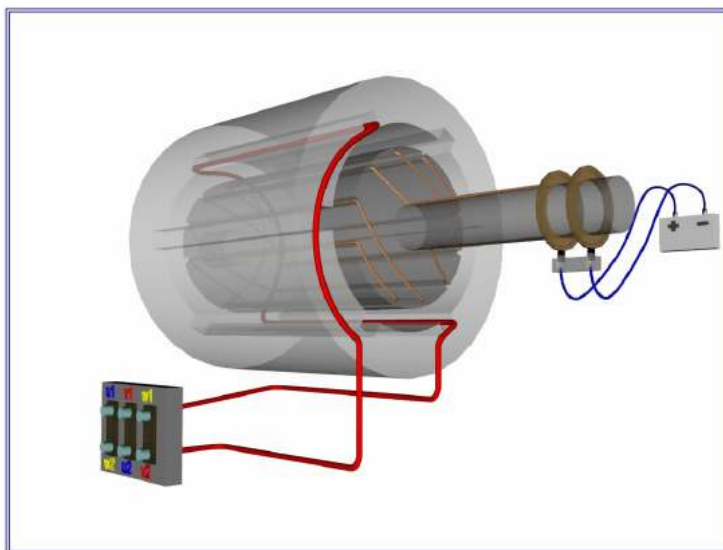
cchilet@continental.edu.
pe

Generador de rotor cilíndrico (hierro transparente)



cchilet@continental.edu.
pe

Generador con rotor cilíndrico (hierro transparente, vista de una sola fase)



cchilet@continental.edu.
pe

Máquina de rotor cilíndrico

Velocidad turbinas de vapor
entre 3600 y 1800 r.p.m.

Generador del tipo
Rotor cilíndrico
o de polos lisos
(longitud axial grande en
relación con el diámetro)

2 ó 4 polos
Para 1000 - 1500 MVA
Diámetro: 1 - 2 m
Longitud: 10 - 12 m

Típico: eje horizontal



Denominación habitual:
turbogenerador

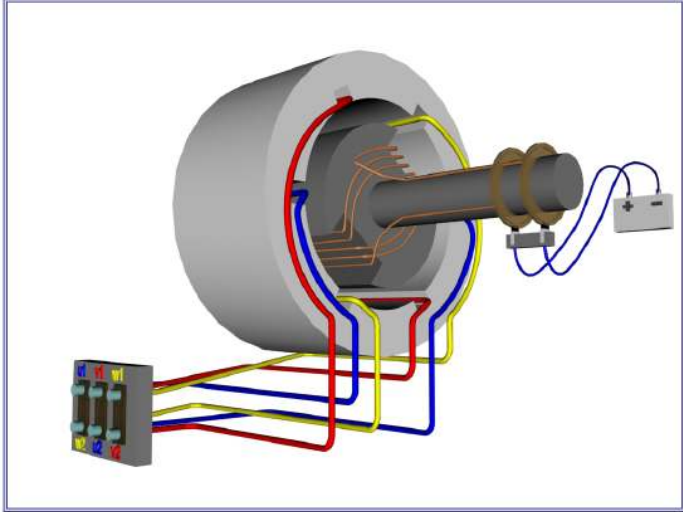
cchilet@continental.edu.
pe

Máquina de rotor cilíndrico



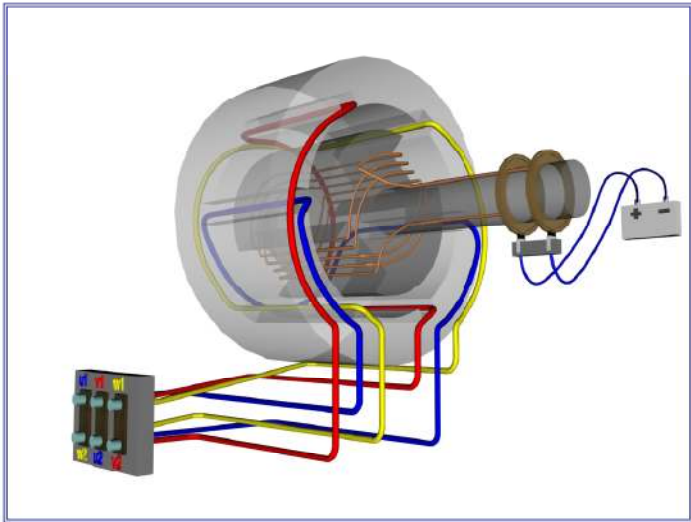
cchilet@continental.edu.
pe

Generador con rotor de polos salientes



cchilet@continental.edu.
pe

Generador con rotor de polos salientes (hierro transparente)



cchilet@continental.edu.
pe

Máquina de polos salientes

Velocidad turbinas
hidráulicas:
menos de 900 r.p.m.)

Generador del tipo
Rotor de polos salientes
(longitud axial pequeña
en relación con el
diámetro)

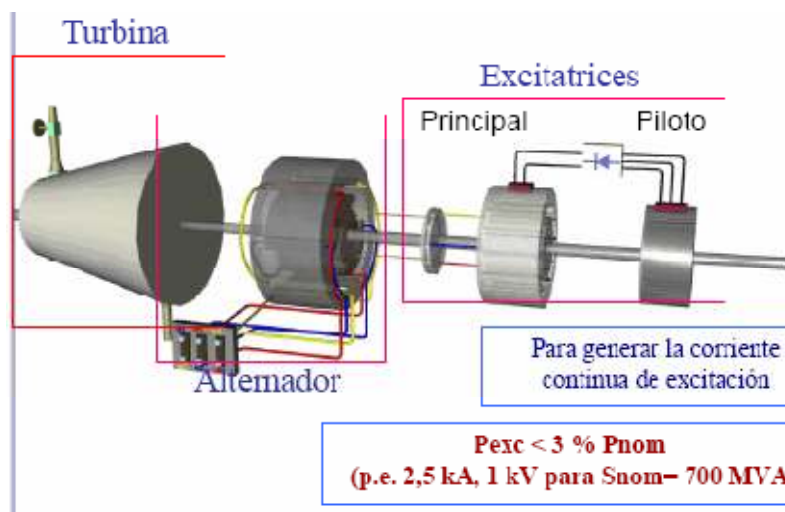
8 - 30 polos
Para 200 MVA
Diámetro: 5 - 7 m
Longitud: 2 - 3 m

Típico: eje vertical



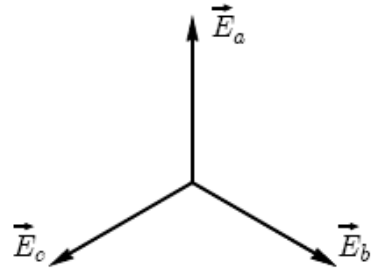
cchilet@continental.edu.
pe

Conjunto turbina-generator-excitatrices



cchilet@continental.edu.
pe

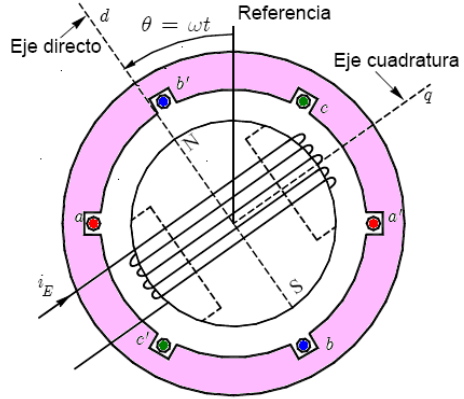
Principio básico de funcionamiento



$$f = pn / 60$$

$$E = k \omega i_E$$

$$\omega = cte \Rightarrow E = k' i_E$$



Sección transversal del alternador

cchilet@continental.edu.
pe

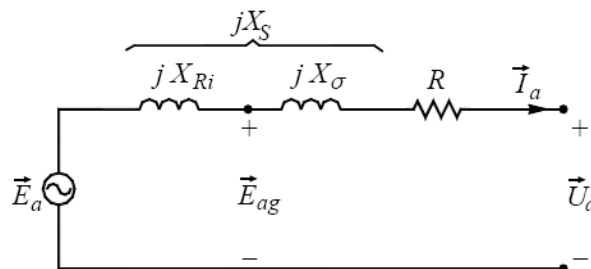
Modelo en régimen permanente

Máquina polos lisos

$$\vec{U}_a = \vec{E}_a - \left[R + j(X_{Ri} + X_{\sigma}) \right] \vec{I}_a$$

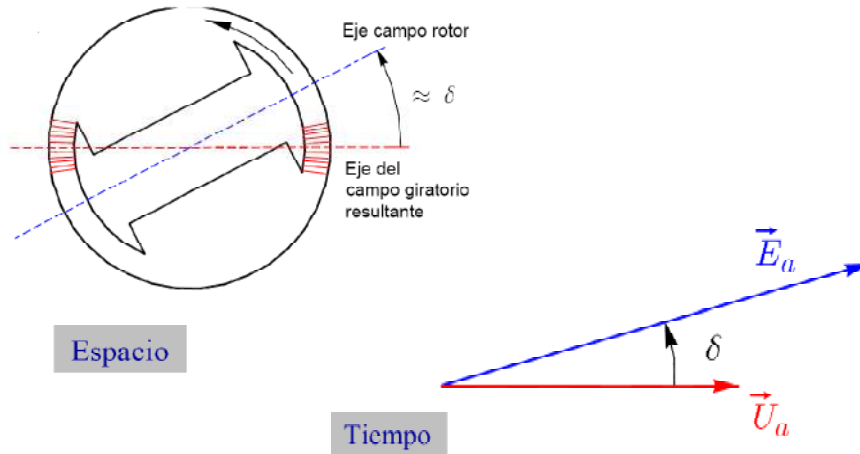
Etiquetas de los términos en la ecuación:

- Efecto resistencia devanados estator (R)
- Efecto reacción de inducido ($j(X_{Ri} + X_{\sigma})$)
- Efecto flujo de dispersión (X_{σ})



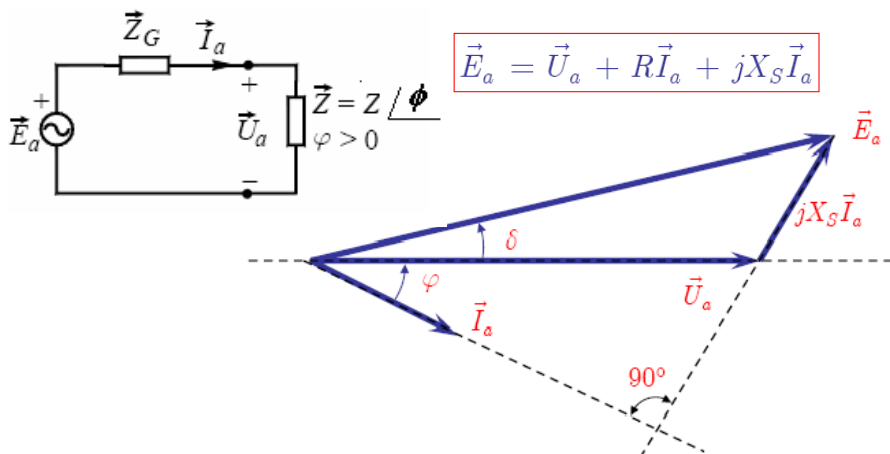
cchilet@continental.edu.
pe

Ángulo de potencia δ en el espacio y en el tiempo



cchilet@continental.edu.
pe

Diagrama fasorial

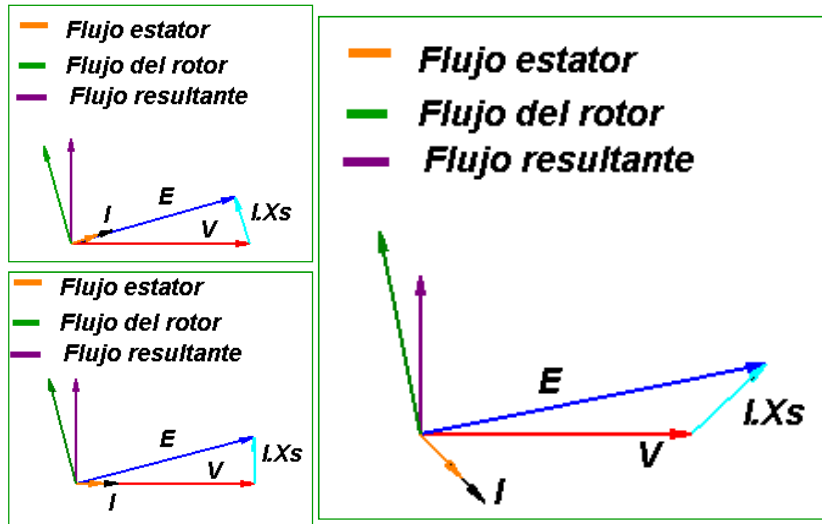


Como ejercicio:

- diagramas fasoriales para los casos: generador con carga R, con carga L y con carga RC.
- diagramas fasoriales para los casos: motor con sobrecitación y con subexcitación.

cchilet@continental.edu.
pe

Diagrama fasorial



cchilet@continental.edu.
pe

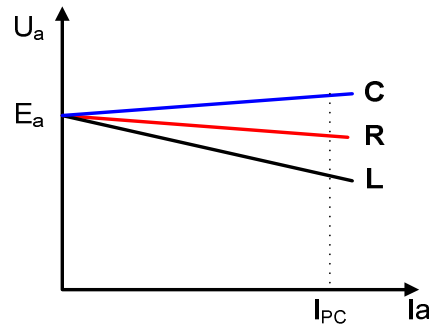
El alternador con carga

- Al cargar un alternador, habrá un efecto sobre la tensión de salida.
- El efecto sobre el generador dependerá de la magnitud y factor de potencia de la carga.
- Las cargas resistivas e inductivas causan desmagnetización del generador, siendo mayor el efecto de las cargas inductivas.
- Las cargas capacitivas magnetizan al generador elevando la tensión en terminales al aumentar la carga.

cchilet@continental.edu.
pe

Alternador con carga

- La tensión en terminales en función al tipo y tamaño de la carga
- La tensión en terminales U_a es menor que E_a para carga R, L o R-L; siendo mayor para cargas capacitivas.



cchilet@continental.edu.
pe

Regulación de tensión

- Es la caída o elevación de la tensión que se produce internamente, debido a la carga ($I \cdot Z_s$).
- Se expresa como porcentaje de la tensión en terminales.

$$U_{reg\%} = \left(\frac{E_a - U_a}{U_a} \right) \times 100$$

cchilet@continental.edu.
pe

Modelo en régimen permanente

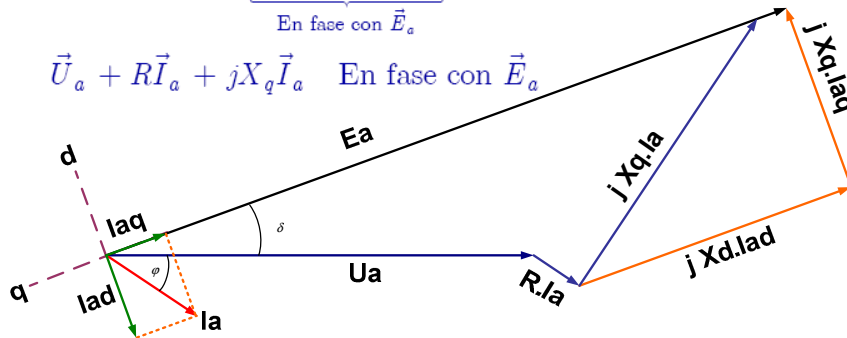
Máquina polos salientes.

Reacción de inducido diferente en ejes d y q

$$\vec{U}_a = \vec{E}_a - R\vec{I}_a - jX_d\vec{I}_{ad} - jX_q\vec{I}_{aq}$$

$$\vec{U}_a = \vec{E}_a - R\vec{I}_a - \underbrace{j(X_d - X_q)\vec{I}_{ad}}_{\text{En fase con } \vec{E}_a} - jX_q\vec{I}_a$$

$$\vec{U}_a + R\vec{I}_a + jX_q\vec{I}_a \quad \text{En fase con } \vec{E}_a$$



cchilet@continental.edu.
pe

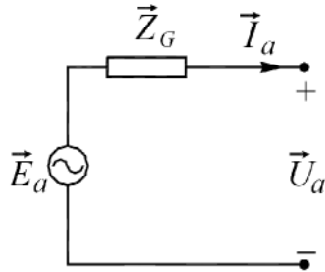
Valores típicos y rangos de variación por unidad de parámetros de generadores síncronos

	Rotor liso		Polos salientes	
X_g	1,20	0,95 a 1,45		
X_d			1,25	0,6 a 1,5
X_q			0,70	0,4 a 0,8
R	0,001 a 0,007		0,003 a 0,015	

cchilet@continental.edu.
pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor cilíndrico



Tomando

$$\vec{U}_a = U_a \angle 0^\circ$$

$$\vec{E}_a = E_a \angle \delta$$

$$\vec{Z}_G = Z_G \angle \varphi_G$$

$$\vec{S}_G = \vec{U}_a \cdot \vec{I}_a^*$$

$$\vec{S}_G = \vec{U}_a \cdot \vec{I}_a^* = \vec{U}_a \cdot \left(\frac{\vec{E}_a - \vec{U}_a}{\vec{Z}_G} \right)^*$$

$$= \frac{\vec{U}_a \cdot \vec{E}_a^*}{\vec{Z}_G^*} - \frac{U_a^2}{\vec{Z}_G^*}$$

$$= \frac{U_a E_a}{Z_G} e^{j(\varphi_G - \delta)} - \frac{U_a^2}{Z_G} e^{j\varphi_G}$$

cchilet@continental.edu.
pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor cilíndrico

Con la simplificación $R = 0$, y separando parte real e imaginaria:

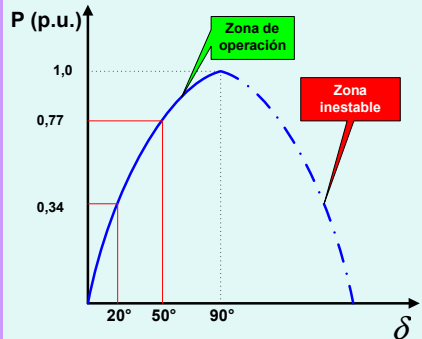
$$P_G = \frac{E_a U_a}{X_S} \text{sen } \delta$$

$$Q_G = \frac{U_a (E_a \cos \delta - U_a)}{X_S}$$

cchilet@continental.edu.
pe

Ecuación potencia-ángulo

- Cuando la potencia de la carga aumenta, el desfase angular entre el eje magnético del campo creado por el rotor y el eje magnético del campo creado por el estator (ángulo de potencia δ), se incrementa.



$$P_G = \frac{E_a \cdot U_a}{X_s} \cdot \text{Sen}(\delta)$$

cchilet@continental.edu.
pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor de polos salientes

$$\vec{S}_G = \vec{U}_a \cdot (\vec{I}_{ad} + \vec{I}_{aq})^*$$

$$\vec{U}_a = U_a \angle 0^\circ \quad \vec{E}_a = E_a \angle \delta$$

$$\vec{I}_{ad} = I_{ad} \angle (\delta - \pi/2)$$

$$\vec{I}_{aq} = I_{aq} \angle \delta$$

$$R = 0 \left\{ \begin{array}{l} I_{ad} = \frac{E_a - U_a \cdot \cos \delta}{X_d} \\ I_{aq} = \frac{U_a \cdot \text{sen} \delta}{X_q} \end{array} \right.$$

l.edu.

pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor de polos salientes

Separando parte real e imaginaria:

$$P_G = \frac{U_a E_a}{X_a} \operatorname{sen} \delta + \frac{U_a^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \operatorname{sen} 2\delta$$

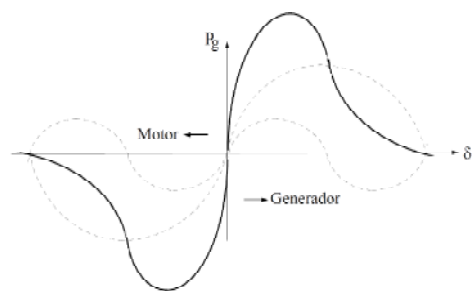
$$Q_G = \frac{U_a E_a}{X_d} \cos \delta - U_a^2 \left(\frac{\cos^2 \delta}{X_d} + \frac{\operatorname{sen}^2 \delta}{X_q} \right)$$

cchilet@continental.edu.
pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor de polos salientes

- En líneas de segmentos están dibujadas las curvas correspondientes al primer término (la fundamental) y al segundo término (la segunda armónica).



Curva Potencia-ángulo para una máquina de polos salientes

cchilet@continental.edu.
pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor de polos salientes

El segundo término de (P_G):

- Se denomina componente de reluctancia o de saliencia y es pequeño comparado con el primero (10 a 20%).
- No depende de la excitación E_a y por ello existe aunque la corriente de excitación sea nula.
- Para corrientes de excitación grandes no se comete un error importante al despreciarlo.

cchilet@continental.edu.
pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor de polos salientes

- Si la máquina está conectada a una barra infinita:

$$U_a = \text{cte};$$

$E_a = f(\text{corriente de excitación})$, también se mantendrá constante.

- *Por lo tanto:* para finés prácticos se puede afirmar que P_g depende sólo de δ .

cchilet@continental.edu.
pe

Potencia suministrada por el generador

Rotor de polos salientes

- Si $\delta > 0$, $P_G > 0$, **Ea** adelanta a **Ua**.
- A un aumento de δ corresponde un aumento no proporcional de **P**, ya que el denominador “coeficiente de sincronización” $dP_G/d\delta$ no es constante.
- Existe un δ , para el que, $dP_G/d\delta = 0$, o sea para el cual se obtiene la $P_{Gm\acute{a}x}$ compatible con los valores de **Ua** y **Ea** adoptados.
- Si δ sigue aumentando, P_G se reducirá y la máquina perderá el sincronismo.

cchilet@continental.edu.
pe

Ejemplo

Ejemplo 1.2. Un motor síncrono de polos salientes con $X_d=80\%$ y $X_q=50\%$, está conectado a una barra infinita cuyo voltaje es el nominal. Los datos están en la base propia de la máquina. Despreciando las pérdidas calcular:

- a) El valor mínimo de E para que la máquina permanezca en sincronismo a carga nominal.
- b) La potencia reactiva (consumida o generada).

cchilet@continental.edu.
pe

a1) Límite de estabilidad: $\Rightarrow dP_g/d\delta = 0$; es decir:

$$\frac{dP_g}{d\delta} = \frac{V E}{X_d} \cos \delta + \frac{X_d - X_q}{X_d X_q} V^2 \cos 2\delta = \frac{1 * E}{0,8} * \cos \delta + \frac{0,8 - 0,5}{0,8 * 0,5} * 1^2 * \cos (2 * \delta) = 0$$

despejando E de la ecuación anterior se tiene: $E = -0,6 * \frac{\cos (2 * \delta)}{\cos \delta}$ (a)

a2) Carga nominal: $\Rightarrow P_g = -1$ en ecuación (1.8), de donde se obtiene:

$$-1 = \frac{1 * E}{0,8} * \sin \delta + \frac{0,8 - 0,5}{2 * 0,8 * 0,5} * 1^2 * \sin (2 * \delta) = 0; \text{ es decir:}$$

$$-1 = 1,25 * E * \sin \delta + 0,375 * \sin (2 * \delta) \quad (b)$$

Introduciendo (a) en (b) y ordenando se puede escribir:

$$F(\delta) = 0,75 * \tan \delta - 0,375 * \tan (2 * \delta) - \frac{1}{\cos (2 * \delta)} = 0$$

**cchilet@continental.edu.
pe**

Empleando un método iterativo (Newton-Raphson, por ejemplo), se obtiene que con $\delta = -60,5^\circ$; $F(\delta) = -0,008$.

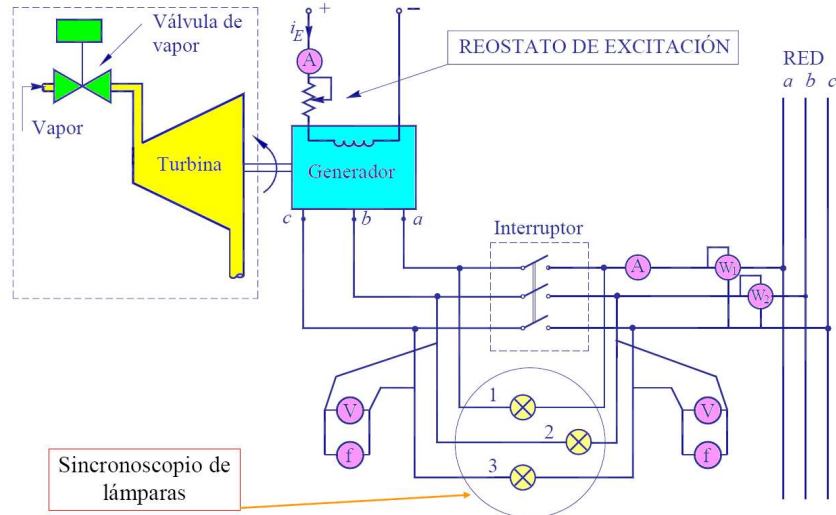
Reemplazando δ en la ecuación (a) se obtiene finalmente: **E=0,6276 (pu)**

b) Potencia reactiva: Reemplazando valores en la ecuación (1.9), se tiene:

$$Q_M = \frac{1 * 0,6276}{0,8} * \cos (60,5^\circ) + \frac{0,8 - 0,5}{2 * 0,8 * 0,5} * 1^2 * \cos (2 * 60,5^\circ) - \frac{0,8 + 0,5}{2 * 0,8 * 0,5} * 1^2 \rightarrow Q_M = -1,4318 \text{ (pu)}$$

**cchilet@continental.edu.
pe**

Sincronización de un generador a una barra infinita



cchilet@continental.edu.
pe

Puesta en paralelo

Para poner en paralelo un generador síncrono a una barra infinita, debe de:

- Previamente se debe haber verificado igualdad de secuencia de fases.
- Llevar la velocidad de la turbina a la velocidad síncrona.
- Luego cerrar el circuito de campo, e incrementar la corriente de campo (I_E) hasta obtener en bornes la tensión nominal.

cchilet@continental.edu.
pe

Puesta en paralelo

- Mediante un doble voltímetro y doble frecuencímetro, verificar que las tensiones del generador y de la barra infinita sean iguales en magnitud y frecuencia.
- Luego cuando estén en fase (verificando en el sincronoscopio) ambas tensiones, cerrar el interruptor de potencia.

cchilet@continental.edu.
pe

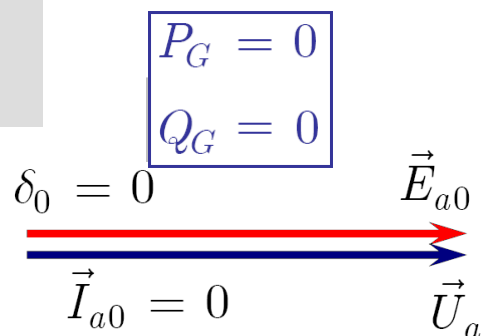
Generador sincronizado (I)

Rotor cilíndrico y $R = 0$

$$\vec{E}_a = \vec{U}_a + jX_S \vec{I}_a$$

\vec{U}_a no varía.

Flotante



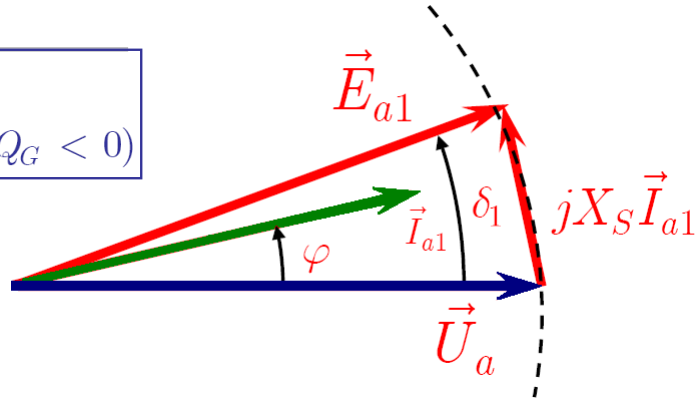
cchilet@continental.edu.
pe

Generador sincronizado (II)

Flotante \Rightarrow Aumento Potencia Turbina

$$P_G > 0$$

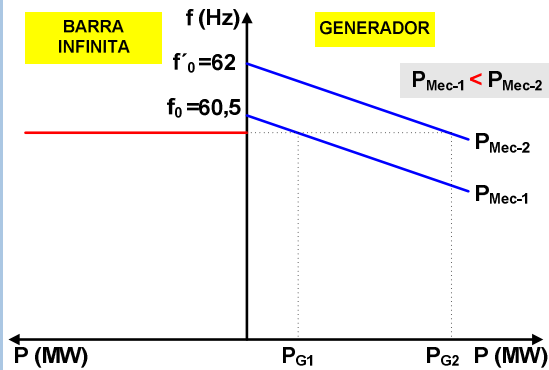
$$Q_G \rightarrow 0 \text{ (} Q_G < 0 \text{)}$$



cchilet@continental.edu.
pe

Generador en paralelo a barra infinita

Si se incrementa el ingreso de la potencia mecánica (P_{Mec}) en la turbina, se incrementa la potencia generada (P_G), a la misma velocidad.

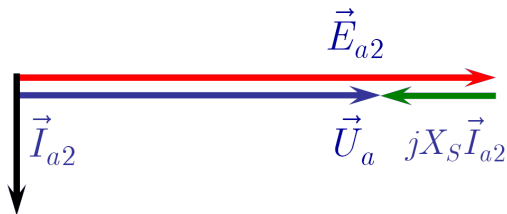


cchilet@continental.edu.
pe

Generador sincronizado (III)

Flotante \Rightarrow Sobre-excitación

$$\begin{cases} P_G = 0 \\ Q_G > 0 \end{cases}$$

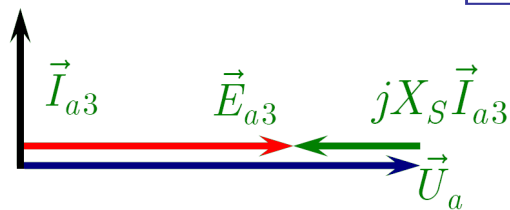


cchilet@continental.edu.
pe

Generador sincronizado (IV)

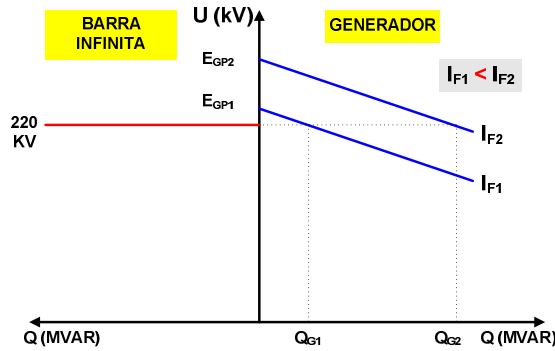
Flotante \Rightarrow Sub-excitación

$$\begin{cases} P_G = 0 \\ Q_G < 0 \end{cases}$$



cchilet@continental.edu.
pe

Generador en paralelo a barra infinita



- Si se incrementa la corriente de excitación (I_F), la tensión no se incrementa, pero si la potencia reactiva generada (Q_G).

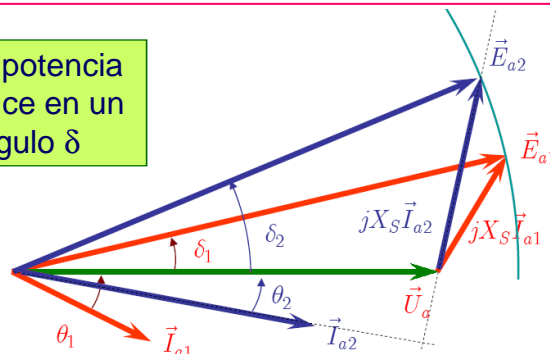
cchilet@continental.edu.
pe

Excitación fija y potencia de la turbina variable.

$$\left. \begin{array}{l} E_a = \text{cte} \\ U_a = \text{cte} \\ X_S = \text{cte} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_G = \frac{E_a U_a}{X_S} \sin \delta; \quad P_{\text{Turbina}} \nearrow \Rightarrow P_G \nearrow \Rightarrow \delta \nearrow \\ Q_G = \frac{U_a (E_a \cos \delta - U_a)}{X_S} \approx \frac{U_a (E_a - U_a)}{X_S} = \text{cte} \end{array}$$

Un incremento de potencia mecánica se traduce en un incremento del ángulo δ

$$\begin{array}{l} P_G > 0 \\ Q_G > 0 \end{array}$$



cchilet@continental.edu.
pe

Excitación fija y potencia de la turbina variable.

El límite de estabilidad teórico es cuando $\delta = 90^\circ = (\pi/2)$

$$\dots \delta > \pi/2 \Rightarrow P_G \searrow \Rightarrow P_{Turbina} > P_G \Rightarrow \omega \nearrow$$

Pérdida de sincronismo

Control P – f:

Para mantener la frecuencia debe de existir balance entre la potencia generada (P_G) y la demanda.

Demanda = potencia consumida por la carga (P_L) + pérdidas (P_p)

$$\text{Si } P_G = P_L + P_p \Rightarrow f = \text{cte}$$

$$\text{Si } P_G > P_L + P_p \Rightarrow f \uparrow$$

$$\text{Si } P_G < P_L + P_p \Rightarrow f \downarrow$$

cchilet@continental.edu.
pe

Excitación variable y potencia de la turbina fija

$$\left. \begin{array}{l} P_G = \text{cte} \\ U_a = \text{cte} \\ X_S = \text{cte} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_G = \frac{E_a U_a}{X_S} \text{sen } \delta = \text{cte} \Rightarrow E_a \text{sen } \delta = \text{cte} \\ Q_G = \frac{U_a (E_a \cos \delta - U_a)}{X_S} \Rightarrow \begin{cases} E_a \cos \delta > U_a \Rightarrow Q_G > 0 \\ E_a \cos \delta = U_a \Rightarrow Q_G = 0 \\ E_a \cos \delta < U_a \Rightarrow Q_G < 0 \end{cases} \end{array}$$

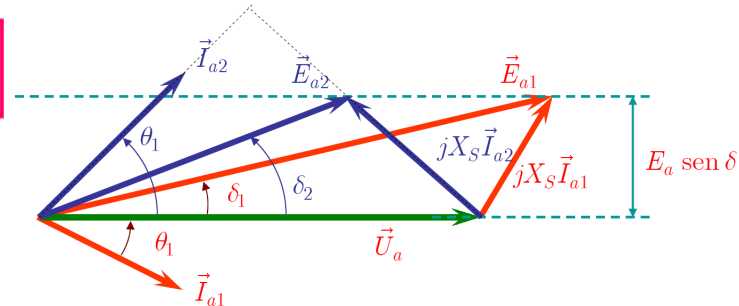
Variando la excitación se consigue variar la potencia reactiva generada

cchilet@continental.edu.
pe

Excitación variable y potencia de la turbina fija

$$P_G = \text{cte}$$

$$Q_G \nearrow$$



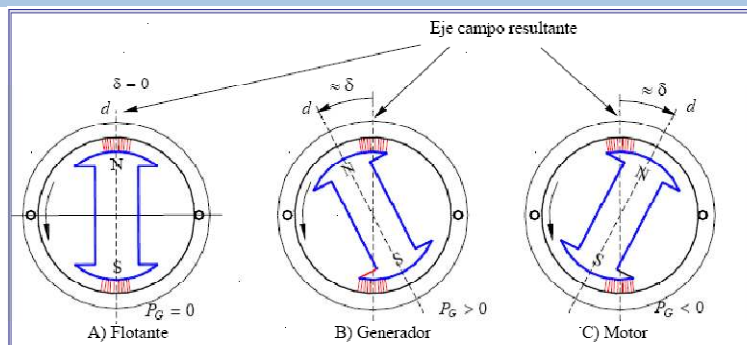
Control Q – U:

El incremento de la potencia reactiva en la carga, reduce la tensión en terminales. Si se quiere recuperar el nivel de tensión tiene que incrementarse la excitación; y viceversa.

cchilet@continental.edu.
pe

Interpretación del ángulo δ

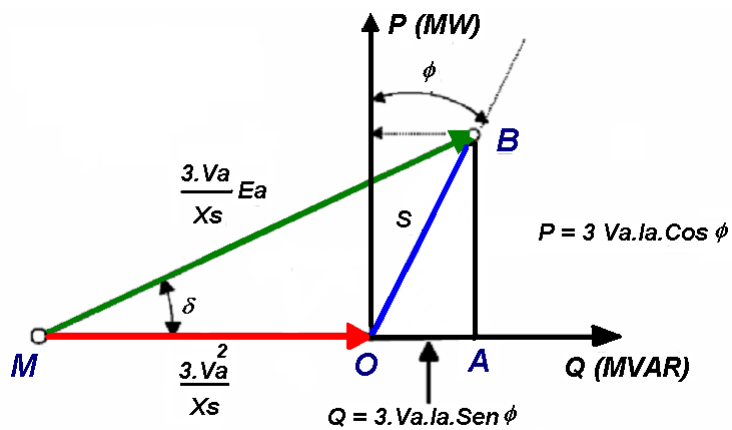
- El ángulo δ , en grados eléctricos es igual al que formaría el eje de un polo de la máquina síncrona funcionando en carga, sobre un nudo de potencia infinita, con la posición que ocuparía ese mismo eje en régimen “flotante” con la misma excitación.



pe

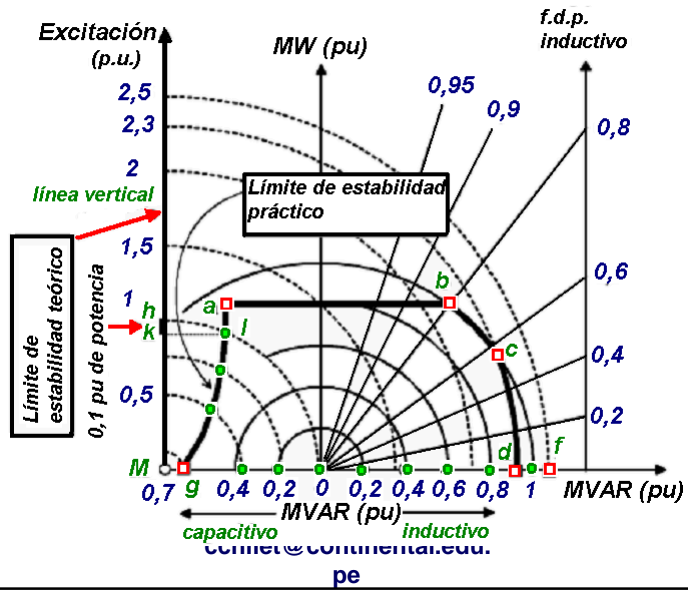
Curva de capacidad del generador

Diagrama fasorial de potencias

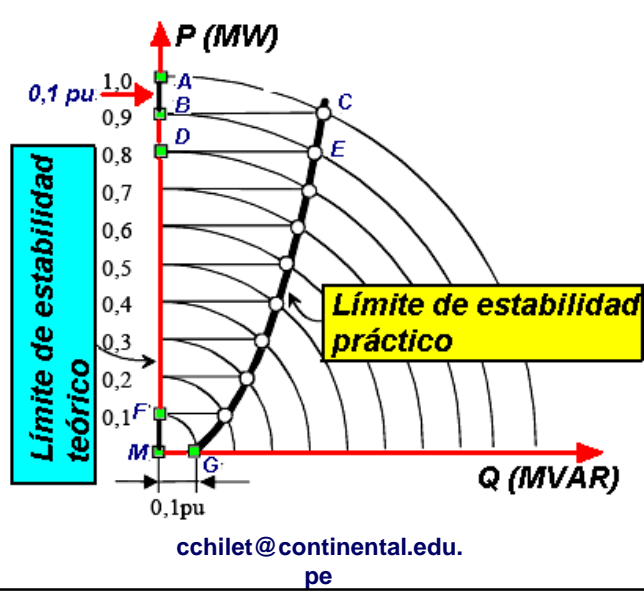


cchilet@continental.edu.
pe

Curva de capacidad en p.u.

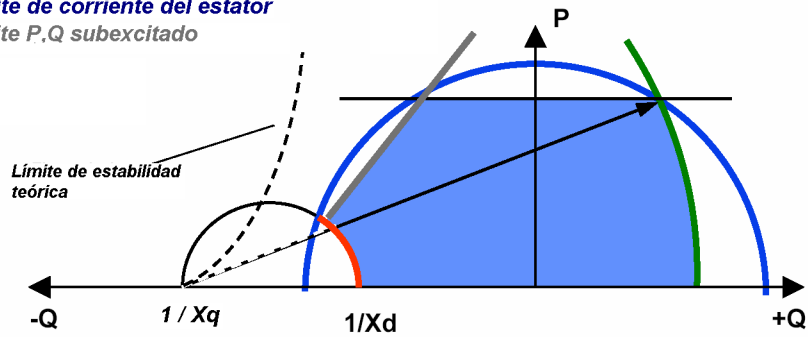


Límite de estabilidad

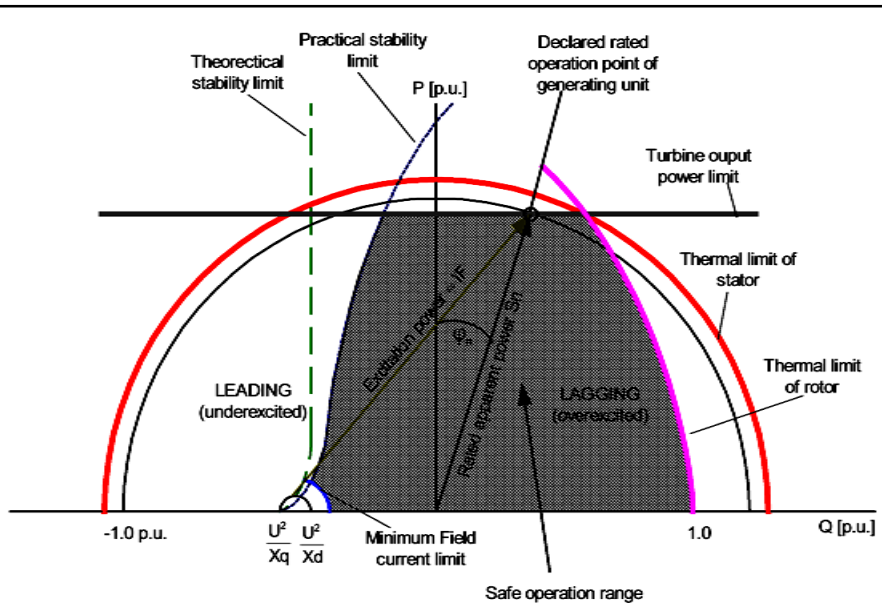


Límites de operación de un generador síncrono de polos salientes

- Límite máx de corriente de campo
- Límite mín. de corriente de campo
- Límite de corriente del estator
- Límite P,Q subexcitado

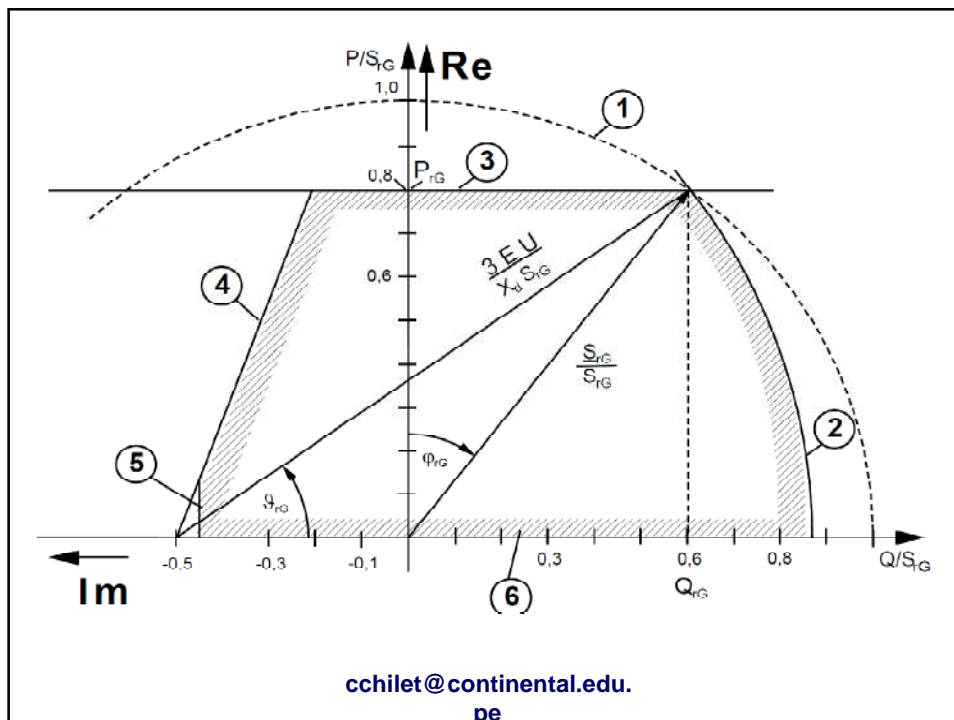


cchilet@continental.edu.
pe

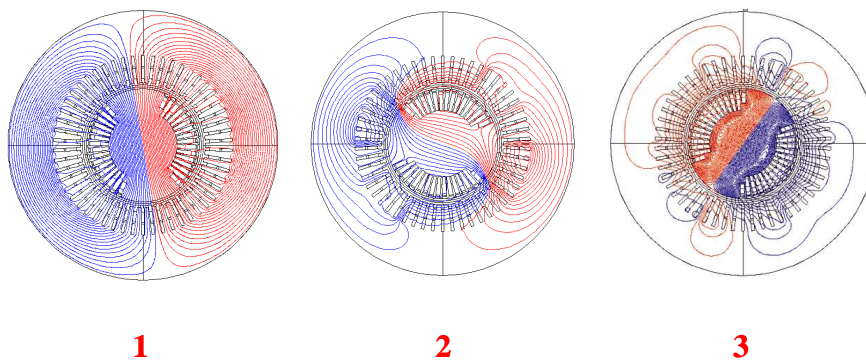


Curva de capacidad - generador polos salientes

pe

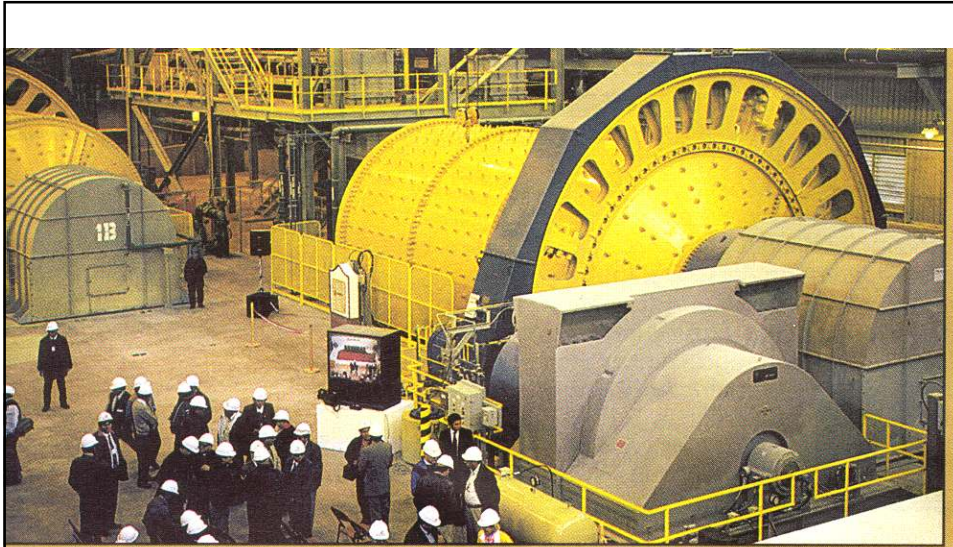


Cortocircuito trifásico súbito de un generador en vacío:
 (1) Campo magnético antes, (2) después de 5 ms, (3) después de 5s



cchilet@continental.edu.
pe

Motor síncrono



Motor síncrono

Motor síncrono

- Cuenta con dos tipos de alimentación, uno trifásico para el devanado del estator y el otro DC para el devanado del rotor.
- La alimentación trifásica sirve para la conversión de la potencia eléctrica en potencia mecánica y para ciertas condiciones de operación para magnetizar la máquina.
- Esencialmente la alimentación DC es para magnetizar la máquina.

cchilet@continental.edu.
pe

Arranque

- El motor síncrono **no tiene par de arranque propio**. Por eso, en el diseño de éstos motores, hay que incluir algún tipo de dispositivo, o sistema, de arranque.
- Tres son los métodos básicos que pueden usarse para arrancar un motor síncrono:
 - Reducir la velocidad del campo magnético giratorio.
 - Empleando un motor primo externo.
 - Usando devanados amortiguadores.

cchilet@continental.edu.
pe

Arranque empleando convertidor de frecuencia

- Si la velocidad síncrona es suficientemente baja, no habrá problema para que el rotor acelere y se enganche con el campo magnético del estator.
- La velocidad síncrona se puede aumentar gradualmente incrementando la frecuencia hasta obtener su velocidad nominal.
- La variación de la frecuencia se consigue con la ayuda de un convertidor de frecuencia.

cchilet@continental.edu.
pe

Arranque empleando motor primo

- Se acopla un motor primo externo y se lleva mediante este al motor síncrono a la velocidad síncrona. A ésta velocidad el motor se sincroniza con la red mientras que se desacopla el motor primo.
- Como el motor se arranca sin carga, el motor primo puede ser de una potencia mucho menor que la del motor síncrono.

cchilet@continental.edu.
pe

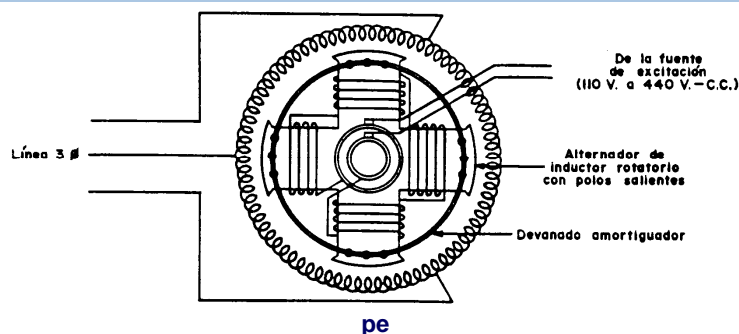
Arranque empleando el devanado amortiguador

- Es la forma más popular, donde las barras del devanado amortiguador hacen el papel de jaula de ardilla, proporcionando torque de arranque, de aceleración y torsión mínima.
- En el arranque, de preferencia la máquina no debe de tener carga, pues, su sección transversal es relativamente pequeña, y se sobrecalentará si se le aplica carga haciéndole operar como motor de inducción con carga.

cchilet@continental.edu.
pe

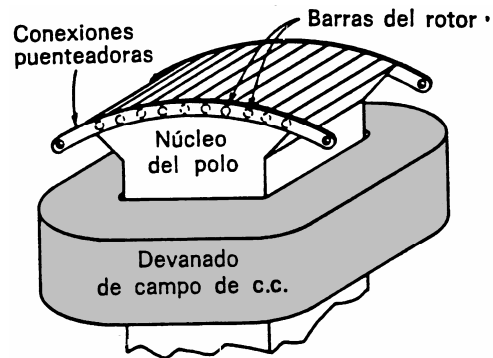
Arranque empleando el devanado amortiguador

- Cuando el rotor alcanza la velocidad máxima a la que puede acelerar como el tipo en jaula de ardilla (aproximadamente 95 %, o más, de la velocidad síncrona), se aplica corriente continua al campo del rotor.



Devanado amortiguador

- El devanado amortiguador, también sirve para mantener el sincronismo de la máquina ante oscilaciones bruscas de carga.



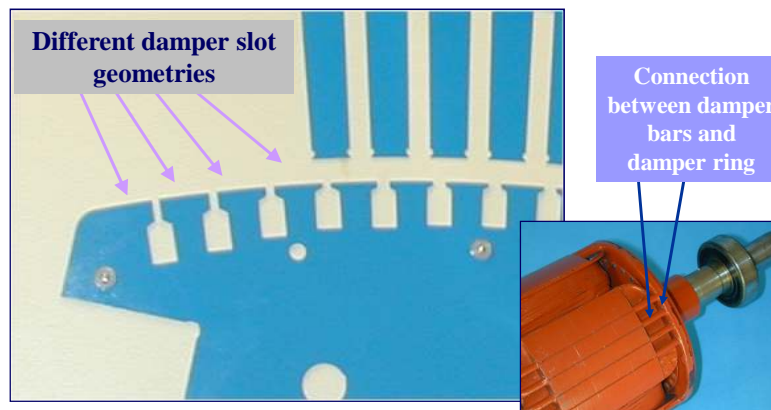
cchilet@continental.edu.
pe

Devanado amortiguador

Single-phase synchronous machine

Amsteg power plant

50 MVA, 11 kV, 16 2/3 Hz, 333.3 rpm



cchilet@continental.edu.
pe

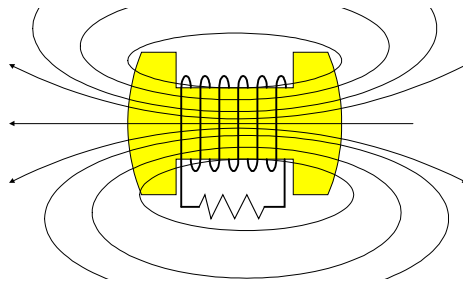
Tensión inducida

- **IMPORTANTE** : En el instante del arranque, el campo magnético giratorio creado por el devanado 3 ϕ del estator, cortará a los devanados del rotor, (que están estacionarios) como en un transformador, y si no se toman **precauciones**, se pueden producir sobrevoltajes que dañen al aislante. Cabe indicar que el bobinado del rotor tiene gran cantidad de espiras (vueltas).

cchilet@continental.edu.
pe

Solución

- Si el devanado de campo del rotor se encuentra en cortocircuito, o conectado a una resistencia de descarga, durante el proceso de arranque; no se presentarán éstas sobretensiones.



cchilet@continental.edu.
pe

Aplicaciones del motor síncrono

Aplicaciones

- Para cargas grandes de baja velocidad, fijas y velocidades constantes.
- Por ejemplo:
 - Compresores grandes de baja velocidad.
 - Ventiladores y bombas.
 - Muchos tipos de trituradores.
 - Molinos.
 - Diversos usos en la industria de la pulpa, papel, caucho, sustancias químicas, harina y laminadoras de metales.

cchilet@continental.edu.
pe

Capacitor síncrono

- Una característica muy especial hace que los motores síncronos sean útiles en las aplicaciones industriales donde se emplean muchos motores de inducción.
- Si al rotor de un motor síncrono se le suministra más corriente DC que la requerida, se dice que el motor está sobreexcitado, y tomará una corriente de fase en adelanto; como un capacitor conectado a la línea.

cchilet@continental.edu.
pe

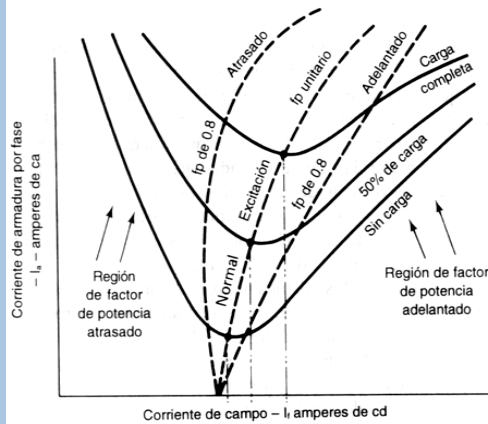
Ventajas

- La más importante es que su velocidad es constante, ante variaciones de cargas.
- Otra, es su capacidad de operar, aún en condiciones de plena carga, a un factor de potencia en atraso, o en adelanto, el cual se puede ajustar fácilmente, al variar la excitación DC del devanado del rotor.
- En otras palabras, su factor de potencia puede ser cambiado a voluntad actuando sobre la excitación.

cchilet@continental.edu.
pe

Curvas en "V"

- Apreciamos como variando la corriente de excitación cambia la corriente de línea en el motor.

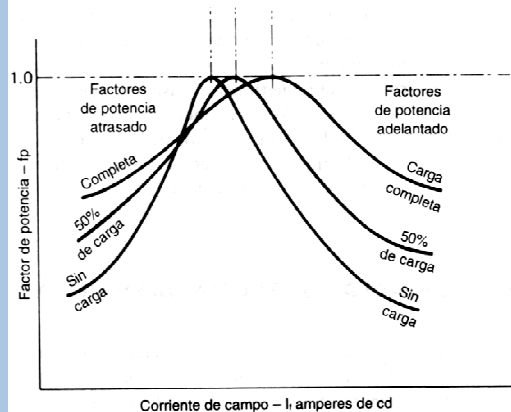


(a) Corriente de armadura vs. corriente de campo

cchilet@continental.edu.
pe

Curvas en "V"

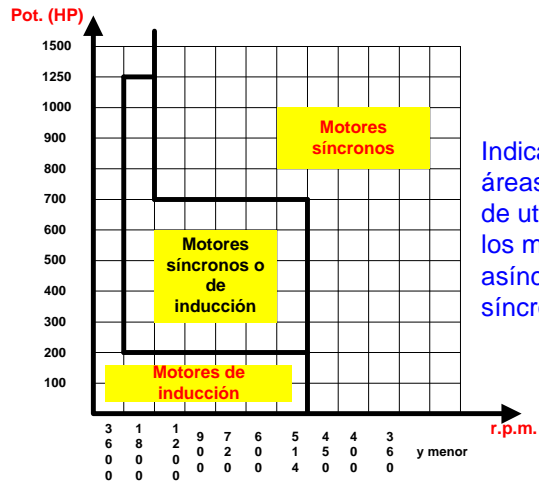
Cuando el motor está subexcitado se comporta como una carga inductiva y si está sobrecitado se comporta como un capacitor, siendo su $\cos\phi$ máximo de 1.



(b) Factor de potencia vs. corriente de campo

cchilet@continental.edu.
pe

Selección



Indicación de las áreas generales de utilización de los motores asíncronos y síncronos.

cchilet@continental.edu.
pe