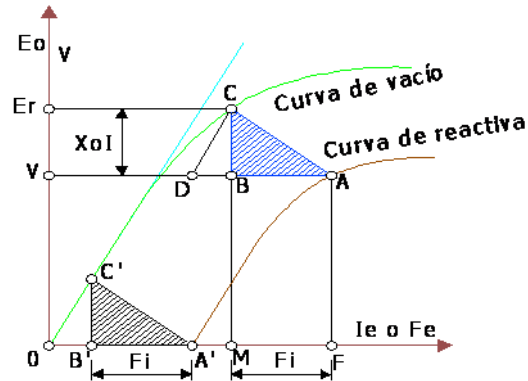


MÉTODO TRIANGULO DE POTIER



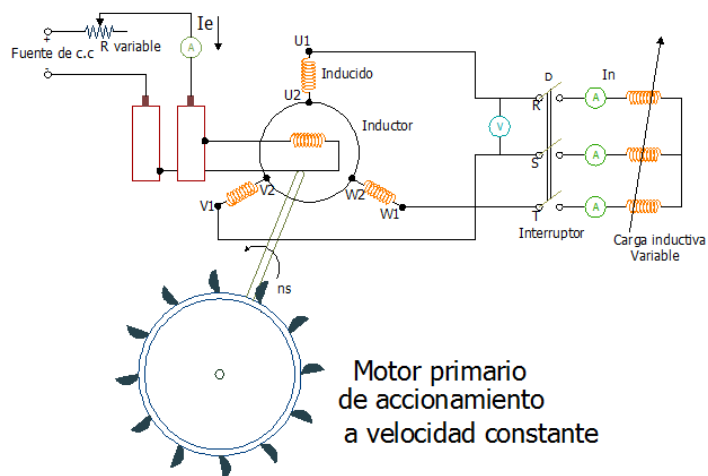
1

INTRODUCCIÓN:

El Triángulo de Potier es un método gráfico que tiene un papel importante dentro de la selección y puesta en funcionamiento de las máquinas síncronas de rotor cilíndrico que trabajan en la zona de saturación. Gracias a que este método nos permite calcular la reactancia de dispersión y la f.m.m. de reacción del inducido posteriormente podemos calcular la regulación de tensión y la f.e.m.,  $E_0$ .

- Este método se aplica a las máquinas síncronas que trabajan en la zona de saturación.
- Determinar el valor de la caída de tensión en la reactancia de dispersión síncrona  $X_s$  la misma que está conformada por:
  - La reactancia de dispersión  $X_\sigma$
  - La reactancia de la reacción de la armadura  $X_{r.a}$

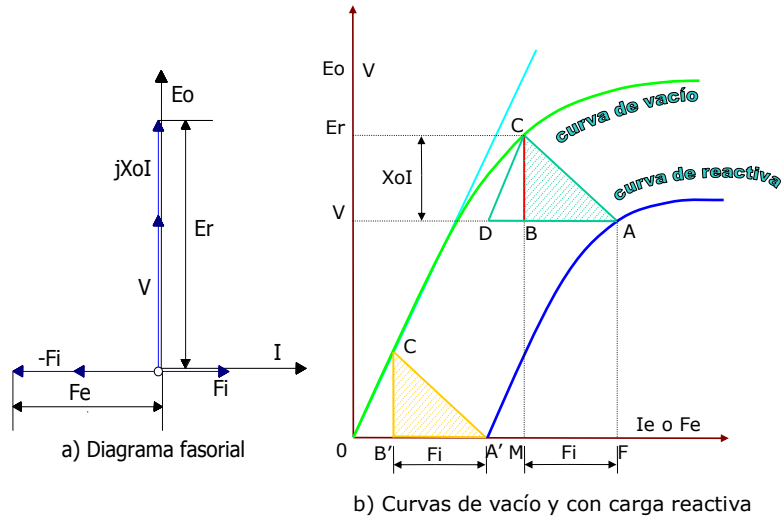
**FIG. 2 DISPOSICION DE LOS EQUIPOS EN LOS ENSAYOS PARA LA OBTENCION DEL TRIANGULO DE POTIER**



Ensayo con carga inductiva pura (f.d.p cero) del alternador



FIG. 3 DETERMINACION DE LA REACTANCIA DE POTIER.



TRIANGULO DE POTIER

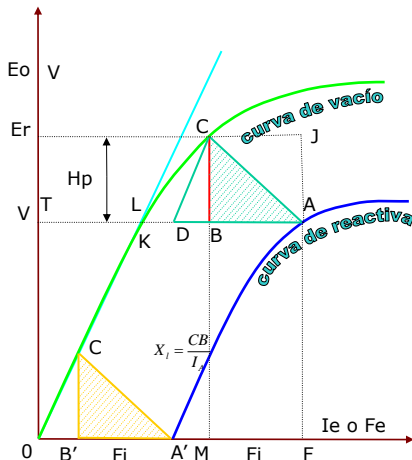
ING. HUBER MURILLO M



- Significado de los segmentos en la curva:
  - $F_e$ : OF (Fuerza magnetomotriz de excitación).
  - $F_i$  : MF (Fuerza magnetomotriz del inducido).
  - $F_r$  : OM (F.m.m resultante).
  - $E_r$  : MC (F.e.m resultante por fase).
  - $X_o I$ : CB (Valor de la caída en la dispersión).
  - $A'$  : Pto definido en la abscisa de excitación.  $OA'$  segmento necesario para que circule la corriente de plena carga en cortocircuito.

TRIANGULO DE POTIER

ING. HUBER MURILLO M



Característica de plena carga a F.P. atrasado

Reactancia de potier:

$$X_p = \frac{CB}{I_A}$$

**OA'**= Corriente que produce la corriente nominal de armadura, contrarresta el efecto de reacción de armadura y la reactancia de dispersión.

**JA**= Caída de tensión por reactancia de dispersión.

**KB**= Corriente de excitación que contrarresta la reactancia de dispersión.

**BA** = Corriente de excitación que contrarresta la reacción de armadura.

**TL** = corriente de excitación que induce la tensión nominal antes de la saturación.



## TRIANGULO DE POTIER

Cuando las MAQUINAS SINCRONAS trabajan frente a un **corto circuito** ó hacen frente a una falla, el INDUCTOR e INDUCIDO rebasan las tolerancias de excitación ( **trabajan en la zona de saturación** ).

En consecuencia es necesario contar con el valor de la **Xd saturada**, que se utilizará unicamente en la coordinación de la protección cuando se utilizan las normas:

- . IEC 947 – 2.
- . VDE 0120 – 1.
- . VDE 0120 – 2

Las que desarrollan los cortocircuitos :

- . Cercanos al generador.
- . Lejanos al generador.



## TRIANGULO DE POTIER

---

Consiste en la construcción de un triángulo a partir de ciertas pruebas realizadas en el laboratorio de máquinas síncronas.

Se utiliza un esquema de conexiones de una máquina síncrona, teniendo como carga una **XL pura** ( carga inductiva pura con **factor de potencia cero** ).

Esta prueba es muy especial, si lo realiza, tener cuidado con la protección del alternador.

Para comprender mejor la obtención de la gráfica de Potier; es necesario conocer las características del **factor de potencia cero** y de **circuito abierto**.



## DETERMINACION GRAFICA DEL TRIANGULO DE POTIER

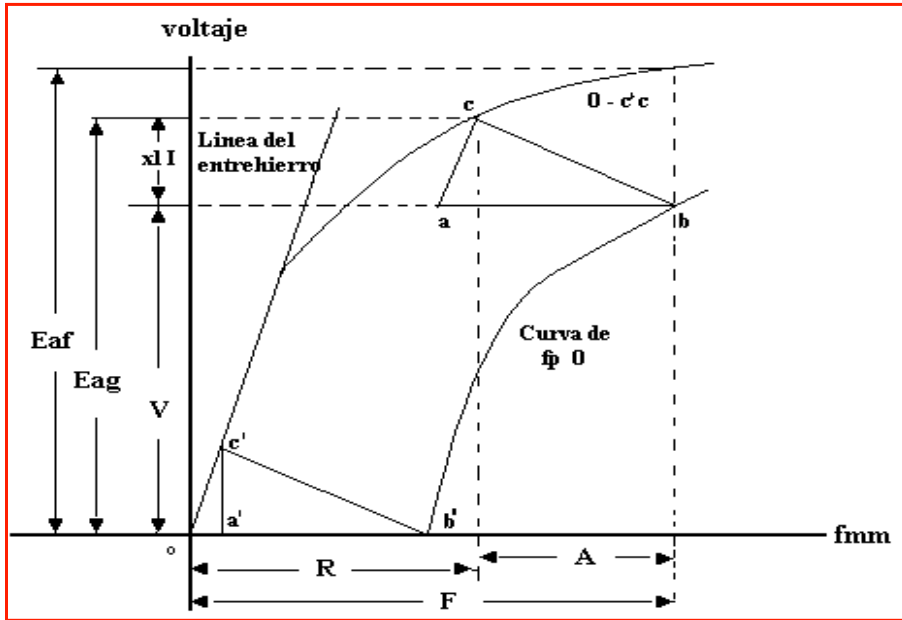
---

La fmm de la reacción de la armadura esta representada entonces por la base  $ab$  y la caída de la reactancia sincrónica por la altura  $ac$  del triángulo  $abc$  conocido como *triángulo de Potier*.

Para una corriente de armadura dada la base y altura de este triángulo son prácticamente constantes cuando el efecto del flujo de dispersión del campo es pequeño y si el vértice  $c$  se mueve a lo largo de la característica de circuito abierto, el vértice  $b$  indica la característica de factor potencia cero.

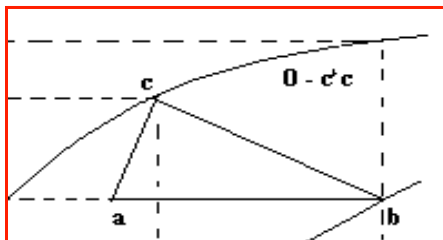


## Características de circuito abierto y factor de potencia cero de una máquina síncrona



En la figura anterior :  $F$  es la corriente del campo,  $A$  es la componente de la corriente de campo requerida para vencer la fmm de la reacción de armadura y  $R$  es la componente de la corriente del campo que produce el encadenamiento de flujo resultante, que a su vez influye en el voltaje del entrehierro.

El triángulo de Potier  $abc$ , de la figura, presenta la altura  $H$  y se plantea la siguiente expresión :



$$X = H / (\sqrt{3} \cdot I_n)$$

Donde :

$X$  reactancia saturada  
 $H$  altura del triángulo.  
 $I_n$  corriente nominal.



## PRUEBAS PARA DETERMINAR EL EL TRIANGULO DE POTIER

---

Las pruebas para determinar el triangulo de Potier están resumidas a continuación :

- Características de circuito abierto.
- Corriente de campo requerida para dar una corriente teniendo el factor de potencia cero.
- Corriente de campo para obtener la corriente nominal o la misma fracción conocida a factor de potencia cero y tensión nominal en terminales. ( La tensión debe ser la suficiente para requerir una apreciable saturación magnética del núcleo).



## REACTANCIA DE POTIER

---

El efecto del flujo de dispersión del campo en combinación con el flujo de dispersión de la armadura da lugar a una reactancia de dispersión equivalente  $X_p$  conocida como la **reactancia de Potier**, que es mayor que la reactancia de dispersión de la armadura  $X_1$ .

En el caso de maquinas de rotor cilíndrico, la reactancia de Potier no es mucho mayor que la reactancia de dispersión, una relación típica de  **$X_p/X_1 = 1.3$**  y en muchos casos  $X_p$  se asume igual a  $X_1$ .

Sin embargo el flujo de dispersión del campo en máquinas de polos salientes es considerable, particularmente en aquellas que tengan polos grandes y delgados, y la reactancia de Potier puede ser tanto como tres veces la reactancia de dispersión de la armadura.



## PROBLEMAS:

Un generador síncrono de rotor cilíndrico Marca ABB es movido por una turbina a gas de 96 Mw, el estator esta conectado en Y y sus datos de placa proporcionados por el fabricante son:

$$\begin{array}{ll} S_n = 120 \text{ Mva.} & P_n = 96 \text{ Mw} \\ F_{Pn} = 0.8 & V_n = 13.8 \text{ Kv.} \\ I_n = 5020 \text{ A.} & F = 60 \text{ Hz.} \\ \text{RPMs} = 3600 & p = 02 \end{array}$$

El valor de las reactancias son :

$$\begin{array}{ll} X_d = 227.3 \% & X_d' = 24.2 \% \\ X_d'' = 14.8 \% & X_2 = 20.3 \% \\ X_o = 8.7 \% & \end{array}$$

En estas condiciones se le solicita :



## continuacion:

- 1.- Dibuje las curvas de capacidad del generador indicando sus respectivos límites. Considerar que el generador opera como máximo a una  $P = 0.925 P_{nominal}$ .
- 2.- Pude el generador trabajar satisfactoriamente con una corriente de 4850 A con un  $FP = 0.5$  en retraso ?
- 3.- Cual es la potencia máxima reactiva que puede producir este generador?
- 4.- Si el generador entrega 80 Mw de potencia activa. Cual es la potencia reactiva que puede entregar en forma simultanea el generador?

## SOLUCION: SOLUCION DOMICILIARIA





## EJEMPLO DE APLICACIÓN

La característica de circuito abierto de un turbogenerador de dos polos, Potencia nominal = 13,529 Kva, Tensión nominal = 13 800 v, Frecuencia = 60 Hz, Número de fases = 3 fases.

Los datos obtenidos de la prueba de factor de potencia cero son las siguientes:

Línea-a-Línea (Volts)	Corriente de Campo (Amps)
13800	168 ( vacío )
13 800	368 ( FP = 0 )

Dibuje el triangulo de Potier y determine la reactancia de Potier  $X_p$  y la componente de la corriente de campo  $A$  para vencer la fmm de la reacción de armadura.

TIRANGULO DE POTIER

ING. HUBER MURILLO M



## SOLUCION

$$I = \text{Potencia Nominal} / \sqrt{3} \times \text{Tensión Nominal}$$

Remplazando valores:

$$I = 13\,529 / \sqrt{3} \times 13\,800 = 566 \text{ Amp.}$$

La distancia  $O_d$  es de 168 Amp. =  $A$ , que es la componente de la corriente de campo para vencer la fmm de la reacción de armadura.

$$\text{Del gráfico hallamos } H = 15,800 - 13800 = 2000$$

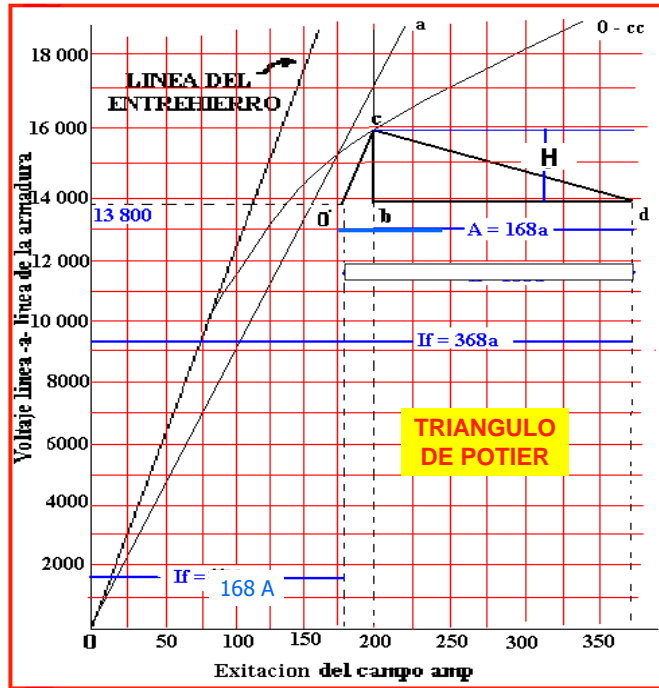
$$\text{React. Potier } (X_p) = 2000 / \sqrt{3} \times 566 = 2.04 \text{ Ohms}$$

( Son valores base )

$$\text{Pero } X_p \text{ en por unidad: } X_p = 2000 / 13800 = 0.145$$

TIRANGULO DE POTIER

ING. HUBER MURILLO M



### Ejemplo de aplicación:

Un alternador trifásico conectado en estrella de 45 kVA, 220V, ha dado los siguientes resultados en unos ensayos de vacío y f.d.p nulo:

#### Determinar:

- Reactancia de dispersión por fase.
- Corriente de excitación equivalente a la reacción de inducido a plena carga.
- Corriente de excitación necesaria en el inductor para desarrollar la plena carga a la tensión asignada con fdp 0.8 inductivo.
- Regulación de tensión.

**Nota:** Despreciar la resistencia del inducido

	$I_{exc}$						
Tensión de línea	0	120	200	220	240	260	300
I <sub>exc</sub> . en circuito abierto	0	1.44	2.6	3	3.5	4.1	5.9
I <sub>exc</sub> . con fdp cero y corriente asignada	2.2	3.64	5.2	5.8	6.56	7.5	-



**Solución:**

•En la figura .1 se muestran las curvas resultantes de los ensayos. Al construir el triangulo de Potier se obtienen los siguientes resultados:

$$X_{\sigma} I = \frac{260 - 220}{\sqrt{3}} = 23.1V = BC ; F_i = I_i = 1.7A = AB$$

Como quiera que la corriente reactiva del ensayo fue la asignada:  $I = \frac{45.000}{220\sqrt{3}} = 118.4$

La reactancia de dispersión será:  $X_{\sigma} = \frac{23.1}{118} = 0.196\Omega$

•La f.m.m de reacción de inducido expresada en amperios del inductor, de acuerdo con la construcción de la figura .1 , es:

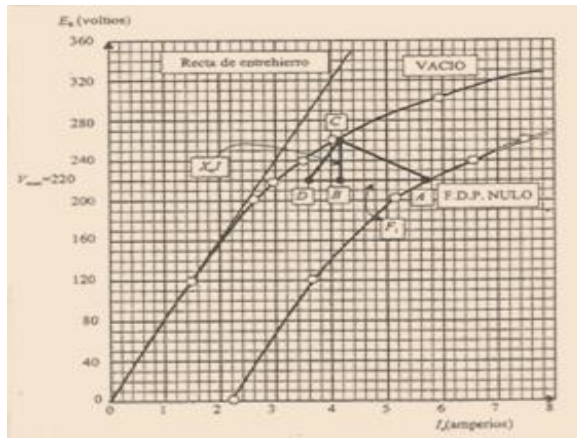
$$F_j = I_j = AB = 1.7A$$

•Para calcular la excitación necesaria en el inductor se ha de construir el diagrama fasorial del alternador. En la figura .2 se muestra esta representación, donde se ha tomado como referencia de fases la tensión asignada simple del alternador. Los fasores correspondientes serán:

$$V = \frac{220}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \approx 127 \angle 0^\circ ; I = 118 \angle - 36.87^\circ$$



Figura N° 1





En consecuencia, la f.e.m resultante por fase, será:

$$E_r = 127\angle 0^\circ + j0.196 \times 118\angle -36.87^\circ = 127\angle 0^\circ + 23.1\angle 53.13^\circ = 142.07\angle 7.5^\circ$$

Que corresponde a un modulo de la f.e.m de línea  $142.07\sqrt{3} = 246.1V$

En la curva de vacio se puede medir la f.m.m resultante que se necesita para producir  $E_r$  y que corresponde a una corriente de excitación  $I_r = 3.65 A$ . En la figura .1 se muestra la composición de f.m.m.s necesaria para calcular la excitación total que requiere el inductor. De acuerdo con el teorema del coseno, se podrá escribir:

$$I_c = \sqrt{I_r^2 + I_i^2 - 2I_r I_i \cos(90 + \beta)}$$

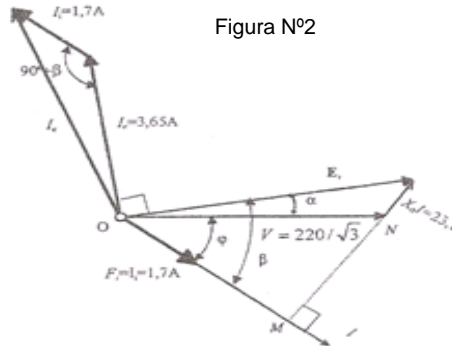


Figura N°2

TRIANGULO DE POTIER

ING. HUBER MURILLO M



Ahora bien, teniendo en cuenta la composición grafica de la figura 5.25 y observando los valores fasoriales obtenidos, resulta:

$$\alpha = 7.5^\circ ; \varphi = 36.87^\circ ; \Rightarrow \beta = \alpha + \varphi = 44.4^\circ$$

Y al sustituir el ángulo anterior en (1)  $I_g = 5A$ . resulta

•La excitación anterior produce una f.e.m en vacio (Fig .1) de 284V, y en consecuencia la regulación tendrá un valor igual a:

$$\varepsilon = \frac{284 - 220}{220} \cdot 100 = 29.1\%$$

TRIANGULO DE POTIER

ING. HUBER MURILLO M