

CARACTERISTICAS DEL GENERADOR SINCRONICO

8-1 Característica de Vacío.- Esta gráfica nos muestra la relación que existe entre el voltaje inducido del generador y la corriente de campo a la velocidad nominal, cuando no tiene carga (ver - fig. 8-1).

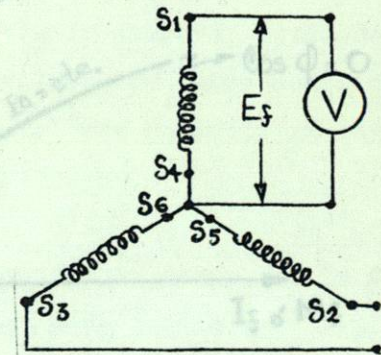
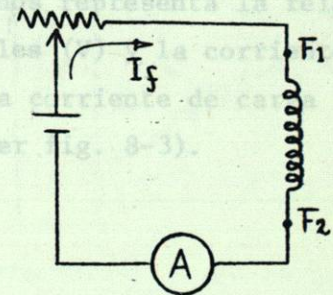
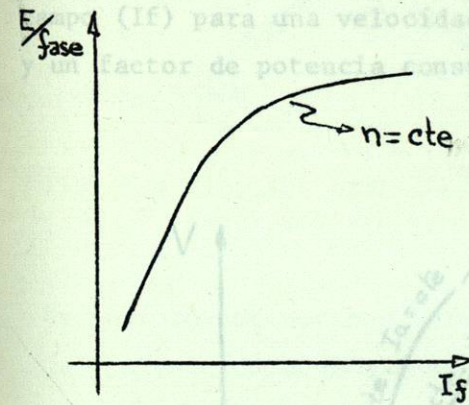


Fig. 8-3 Características en carga para diferentes factores de potencia.

Fig. 8-1 Característica de vacío y circuito para obtenerla

Según se mostró en el capítulo 4, el voltaje inducido para un ge

toraje inducido en el embobinado de armadura por la fuerza magnética resultante de la de campo (Mf) y la producida por la corriente de armadura (Ma) y, El solo es inducido por el campo.

En las figs. 7-5 y 7-6 aparecen 2 diagramas vectoriales, se su- giere al alumno, dibujar los 2 restantes.

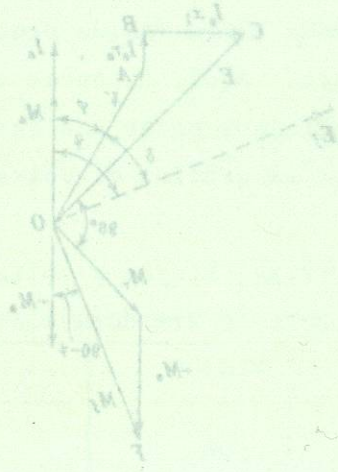


Fig. 7-5 Diagrama Vectorial de un generador

síncrono saturado, con rotor cilíndrico corriente atrasada

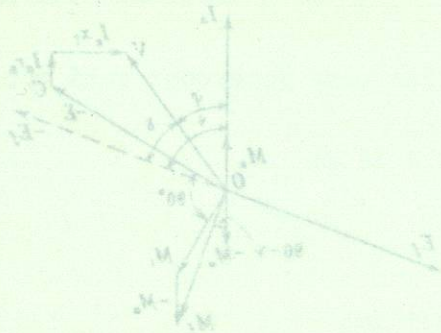


Fig. 7-6 Diagrama Vectorial de un motor síncrono saturado con rotor cilíndrico corriente adelantada.

CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR SINCRÓNICO

Característica de Vacío.- Esta gráfica nos muestra la relación que existe entre el voltaje inducido del generador y la corriente de campo a la velocidad nominal, cuando no tiene carga (ver fig. 8-1).

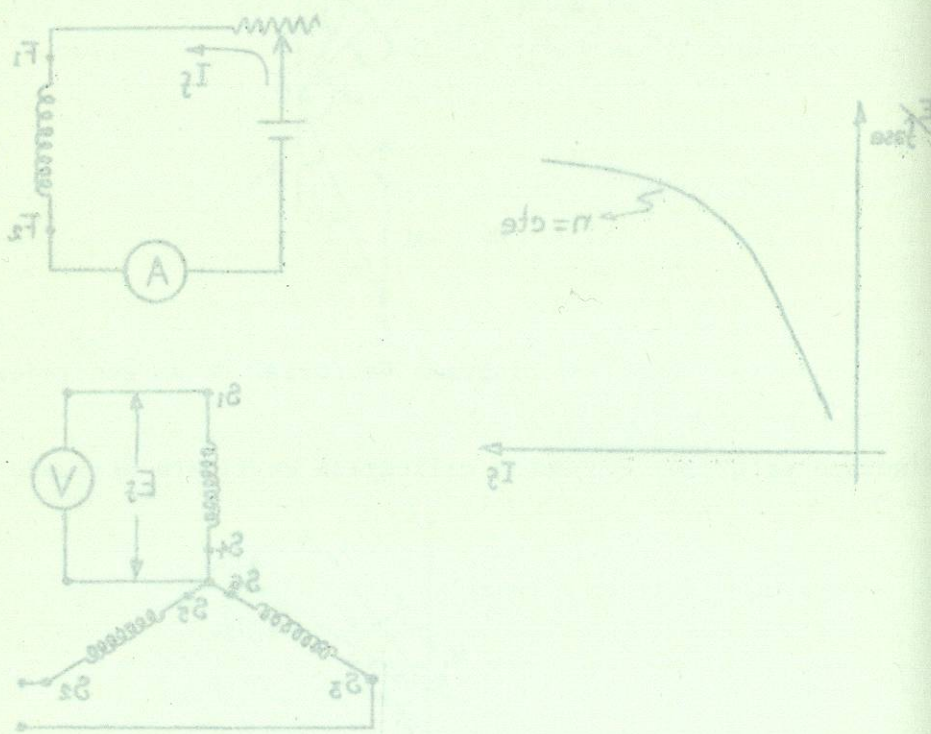


Fig. 8-1 Características de vacío y circuito para obtenerlas

según se mostró en el capítulo 4, el voltaje inducido para un ge

nerador dado, depende de la frecuencia y del flujo. Es decir, - al mantener constante la velocidad, la frecuencia también estará constante y el voltaje dependerá solo del flujo ($E \propto \phi$). Como - la relación entre fuerza magnetomotriz (M_f) y flujo en un circui to magnético es la curva de saturación, dicha curva representará también nuestro caso a voltaje inducido ($E_f \propto \phi$) contra corrien te de campo ($I_f \propto M_f$), por eso a la característica de vacío se - le nombra también la curva de saturación.

8-2 Característica en Carga.- Esta curva nos representa la relación- existente entre el voltaje en terminales (V) y la corriente de - campo (I_f) para una velocidad (n), una corriente de carga (I_a) - y un factor de potencia constantes (ver fig. 8-3).

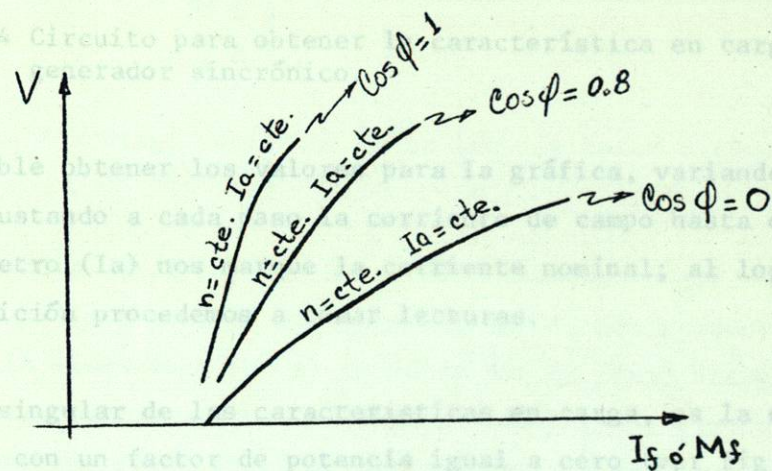


Fig. 8-4 Circuito para obtener la característica en carga de un generador sincrónico. Es posible obtener los datos para la gráfica, variando la carga y ajustando a cada una una corriente de campo constante que el amperímetro (I_a) nos indique. Al lograr esta condición proceder a las lecturas.

La más singular de las características que se obtiene con un factor de potencia igual a cero (ver fig. 8-3), - y es importante para el estudio de la potencia reactiva para la obtención del momento del eje, es la característica de potencia reactiva pura, la que se obtiene aplicando a la máquina una carga inductiva pura.

El circuito con el que podemos obtener la característica en car

erador dado, depende de la frecuencia y del flujo. Es decir, al mantener constante la velocidad, la frecuencia también estará constante y el voltaje dependerá solo del flujo ($E \propto \phi$). Como la relación entre fuerza magnetomotriz (MM) y flujo en un circuito magnético es la curva de saturación, dicha curva representará también nuestro caso a voltaje inducido ($E \propto \phi$) contra corriente de campo (I_f o MM), por eso a la característica de vacío se le nombra también la curva de saturación.

Característica en carga. - Esta curva nos representa la relación existente entre el voltaje en terminales (V) y la corriente de campo (I_f) para una velocidad (n), una corriente de carga (I_a) y un factor de potencia constantes (ver fig. 8-3).

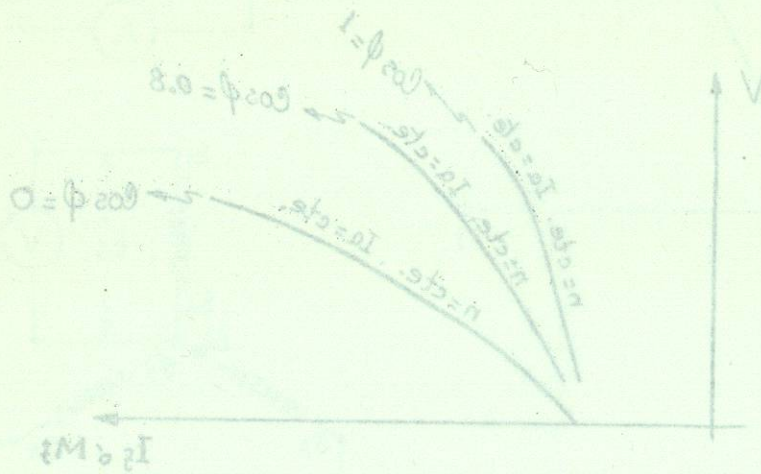


Fig. 8-3 Características en carga para diferentes factores de potencia.

El circuito con el que podemos obtener la característica en car

ga, aparece en la fig. 8-4, aclarando que la lectura de voltaje puede hacerse por fase o por línea (en una conexión en estrella) y por tanto, la gráfica estará dada también en voltaje de fase o de línea.

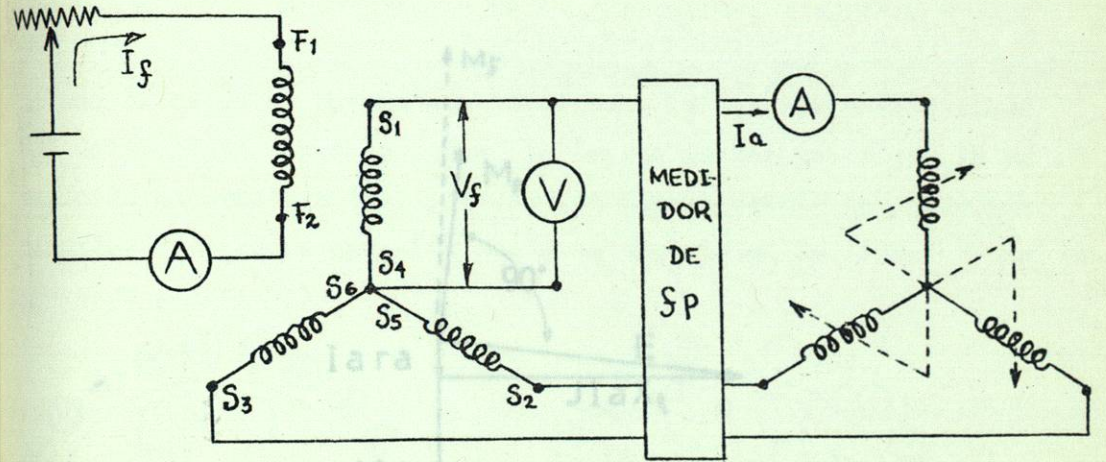


Fig. 8-4 Circuito para obtener la característica en carga de un generador sincrónico.

Es posible obtener los valores para la gráfica, variando la carga y ajustando a cada paso la corriente de campo hasta que el amperímetro (I_a) nos marque la corriente nominal; al lograr esta condición procedemos a tomar lecturas.

La más singular de las características en carga, es la que se obtiene con un factor de potencia igual a cero (ver fig. 8-3), y es importante precisamente porque nos proporciona datos para la obtención del Triángulo de Potier. Esta característica se obtiene aplicando a la máquina carga inductiva pura, sin embargo, para obtener el punto más bajo de la curva ($V=0$) deben cor

ca, aparece en la fig. 8-4, realizando que la lectura de voltaje puede hacerse por fase o por línea (en una conexión en estrella) y por tanto, la gráfica estará dada también en voltaje de fase o de línea.

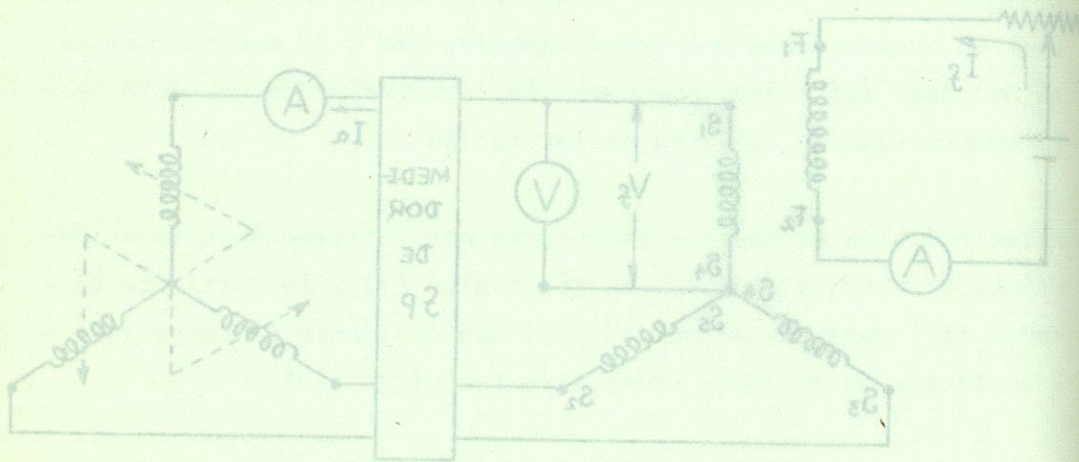


Fig. 8-4 Circuito para obtener las características en carga de un generador síncrono.

Es posible obtener los valores para la gráfica, variando la carga y ajustando a cada paso la corriente de campo hasta que el amperímetro (I_a) nos marque la corriente nominal; al lograr esta condición procedemos a tomar lecturas.

La más singular de las características en carga, es la que se obtiene con un factor de potencia igual a cero (ver fig. 8-3), y es importante precisamente porque nos proporciona datos para la obtención del triángulo de Potier. Esta característica se obtiene aplicando a la máquina carga inductiva pura, sin embargo, para obtener el punto más bajo de la curva ($V=0$) deben ser-

tocircuitarse las terminales. En este caso, como la reactancia del flujo de dispersión de la máquina es mucho mayor que la resistencia de armadura, la máquina se considera prácticamente -- con carga inductiva pura (ver fig. 3-5).

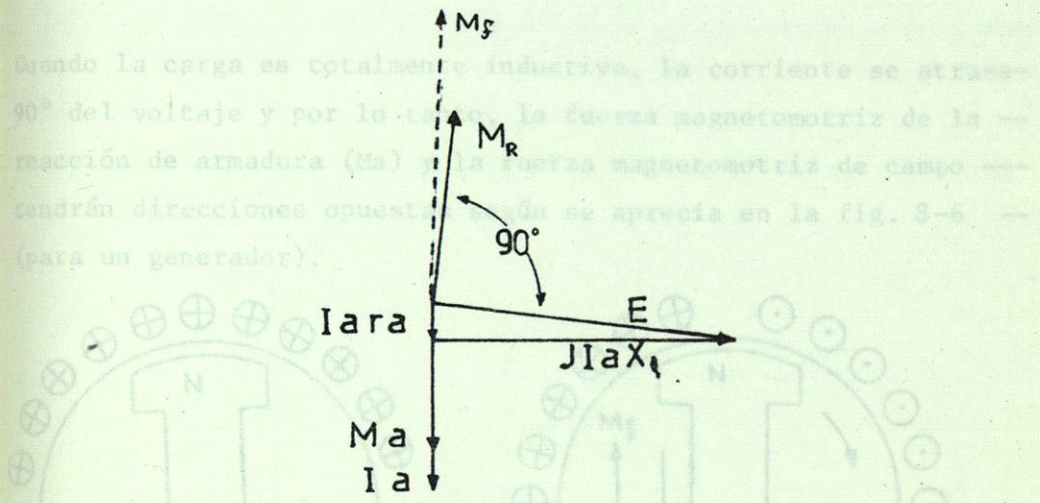


Fig. 8-5 Diag. vectorial de un gen. de rotor cilíndrico en corto circuito.

La reactancia de dispersión es aquella reactancia que multiplicada por la corriente de armadura existente, nos produce un voltaje de la misma magnitud al inducido por el flujo disperso de la máquina. Dicho en otras palabras, el voltaje que induce el flujo disperso puede ser representado con una reactancia inductiva de valor fijo (ya que el flujo se cierra a través del aire, la reactancia tendrá un valor fijo).

La dirección de la reacción de armadura (M_a) es la misma que de

... en este caso, como la reactancia
 del flujo de dispersión de la máquina es mucho mayor que la re-
 sistencia de armadura, la máquina se considera prácticamente
 con carga inductiva pura (ver fig. 8-5).

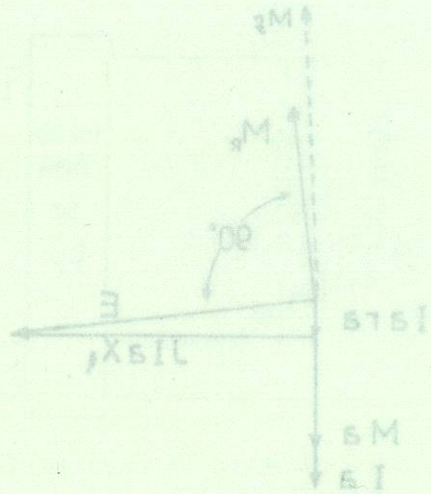


Fig. 8-5 Diag. vectorial de un gen. de rotor cilíndrico en corto circuito.

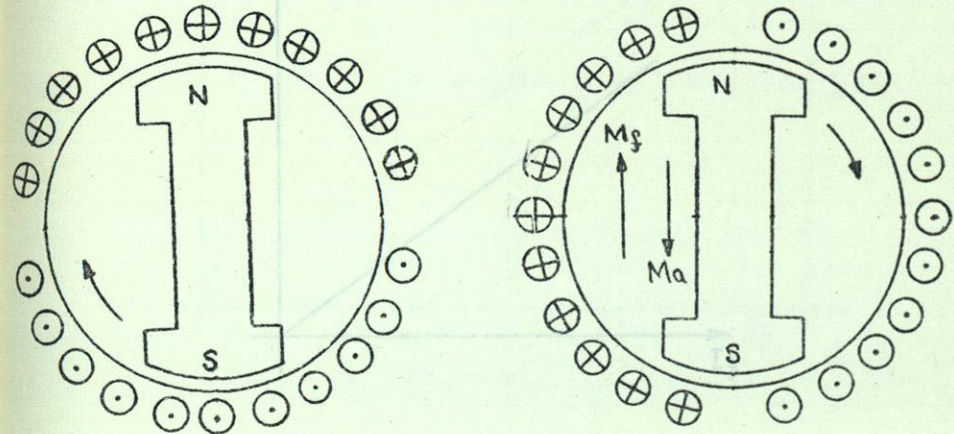
... la reactancia de dispersión es aquella reactancia que multiplica
 cada por la corriente de armadura existente, nos produce un vol-
 taje de la misma magnitud al inducido por el flujo disperso de-
 la máquina. Dicho en otras palabras, el voltaje que induce el
 flujo disperso puede ser representado con una reactancia induc-
 tiva de valor fijo (ya que el flujo se cierra a través del aire,
 la reactancia tendrá un valor fijo).

... la dirección de la reacción de armadura (Ma) es la misma que de

la corriente de armadura (Ia). Sin embargo, el voltaje E es el-
 inducido por la fuerza magnetomotriz resultante de la suma de -
 la de campo (Mf) y la de armadura (Ma).

$$M_R = M_f + M_a$$

Característica en Corto Circuito. Esta característica se ob-
 tiene cortocircuitando el generador y tomando lecturas de co-
 rriente de campo y corriente de armadura. Se tabulan y se pasan
 Cuando la carga es totalmente inductiva, la corriente se atrasa-
 90° del voltaje y por lo tanto, la fuerza magnetomotriz de la --
 reacción de armadura (Ma) y la fuerza magnetomotriz de campo ---
 tendrán direcciones opuestas según se aprecia en la fig. 8-6 --
 (para un generador).



Reacción de Voltajes Inducidos

Sentido de Corrientes

Fig. 8-6 Reacción de armadura en un generador con carga inductiva.

En la fig. 8-6, donde aparecen las corrientes (retrasadas 90° -
 con respecto a los voltajes) se aprecia que la fuerza magnetomo-
 triz de los polos va hacia arriba (sur a norte dentro de los po-
 los) mientras que la corriente de los conductores va hacia aba-

la corriente de armadura (Ia). Sin embargo, el voltaje E es ef-
 inducido por la fuerza magnetomotriz resultante de la suma de
 la de campo (Mf) y la de armadura (Ma).

$$M_R = M_f + M_a$$

Cuando la carga es totalmente inductiva, la corriente se atrasa
 90° del voltaje y por lo tanto, la fuerza magnetomotriz de la
 reacción de armadura (Ma) y la fuerza magnetomotriz de campo
 tendrán direcciones opuestas según se aprecia en la fig. 8-6

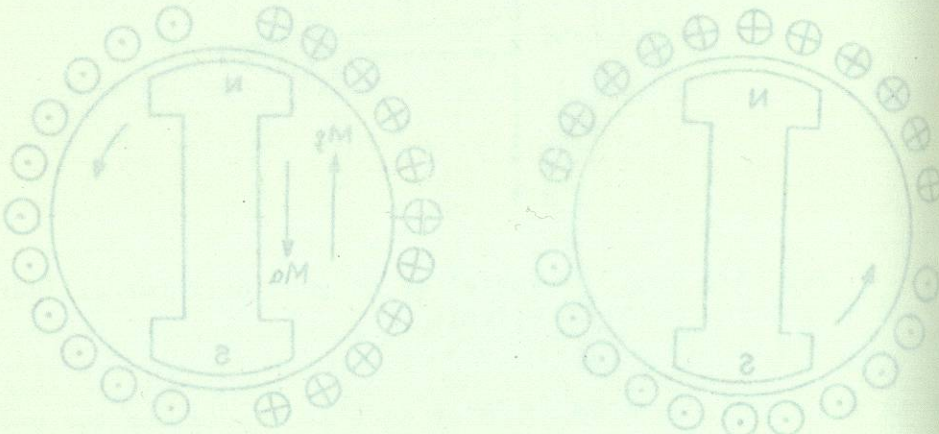


Fig. 8-6 Reacción de armadura en un generador con carga inductiva.

En la fig. 8-6, donde aparecen las corrientes (retrasadas 90°
 con respecto a los voltajes) se aprecia que la fuerza magnetomo-
 triz de los polos va hacia arriba (sur a norte dentro de los po-
 los) mientras que la corriente de los conductores va hacia aba-

jo (Ma). Es decir, la máquina en corto circuito nunca se satura
 porque la Mr es muy pequeña.

3 Característica en Corto Circuito.- Esta característica se ob-
 tiene cortocircuitando el generador y tomando lecturas de co-
 rriente de campo y corriente de armadura. Se tabulan y se pasan
 a un gráfico en el cual la corriente de campo I_f aparecerá en la
 horizontal y la de armadura en la ordenada. Esta característica
 será una línea recta debido a que la máquina no se satura. Ver-
 figura 8-7.

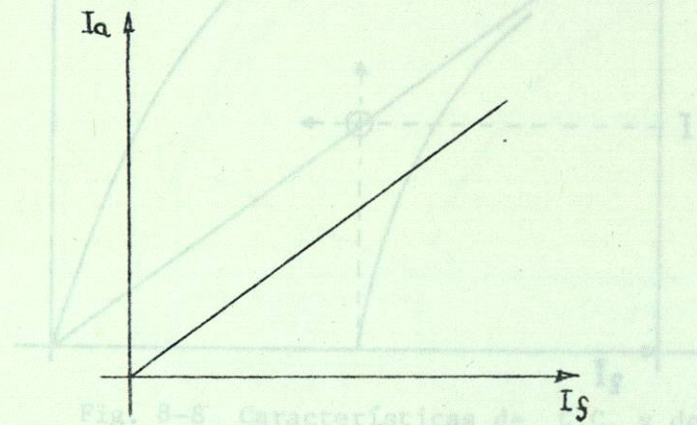


Fig. 8-7 Característica de Corto Circuito

Dado que esta característica es una línea recta se puede obtener
 con un solo punto y para tener menos error, este puede ser uno
 tal que la corriente de armadura sea un 150% del valor nominal.
 Obtención de la característica en cortocircuito a partir de la
 f.p. = 0.

... (M). Es decir, la máquina en corto circuito nunca se satura...
 porque la Mr es muy pequeña.

Característica en Corto Circuito.- Esta característica se obtiene cortocircuitando el generador y tomando lecturas de corriente de campo y corriente de armadura. Se tabulan y se pasan a un gráfico en el cual la corriente de campo I_f aparece en la horizontal y la de armadura en la ordenada. Esta característica será una línea recta debido a que la máquina no se satura. Ver figura 8-7.



Fig. 8-7 Características de Corto Circuito

Dado que esta característica es una línea recta se puede obtener un solo punto y para tener menos error, este puede ser uno de los que la corriente de armadura sea un 150% del valor nominal.

Obtención de la característica en cortocircuito a partir de la...

Cuando se tiene ya la característica a f.p. = 0, es fácil obtener la de cortocircuito sin tener que ir al laboratorio. Esto se logra trazando una nueva ordenada en el lado derecho del gráfico y en el cual se pondrá a una escala conveniente la corriente de armadura. En el punto donde quede $I_{a \text{ nom.}}$ se traza una horizontal y en el origen de f.p. igual a cero una vertical, donde crucen estas dos líneas ahí será un punto de la característica en cortocircuito. Ver figura 8-8.

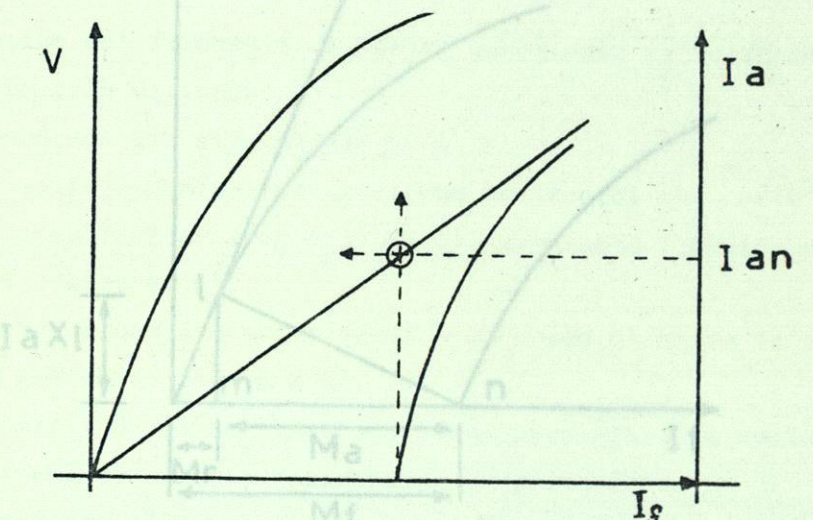


Fig. 8-8 Características de C.C. y de fp=0

4 Triángulo de Potier.- La ecuación de voltaje del generador sincrónico es:

$$E = V + I_a R_a + j I_a X_l$$

Aparentemente, en la ecuación no hemos tomado en cuenta la reacción de armadura, pero realmente si el voltaje E es ya el voltaje inducido por la fuerza magnetomotriz resultante (MR)-

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

Cuando se tiene ya la característica a f.p. = 0, es fácil obtener la de cortocircuito sin tener que ir al laboratorio. Esto se logra trazando una nueva ordenada en el lado derecho del gráfico y en el cual se pondrá a una escala conveniente la corriente de armadura. En el punto donde quede I_a nom. se traza una horizontal tal y en el origen de f.p. igual a cero una vertical, donde cruzan estas dos líneas así será un punto de la característica en cortocircuito. Ver figura 8-8.

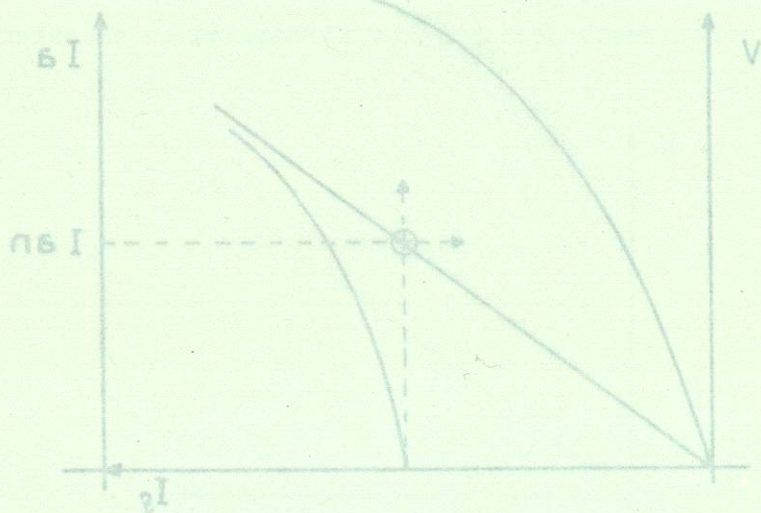


Fig. 8-8 Características de C.C. y de fp=0

Triángulo de Potier - La ecuación de voltaje del generador sincro es:

$$E = V + I_a R_a + j I_a X_l$$

Aparentemente, en la ecuación no hemos tomado en cuenta la reacción de armadura, pero realmente el voltaje E es ya el voltaje inducido por la fuerza magnetomotriz resultante (MR)

$$MR = M_f + M_a$$

de dispersión (Im).

Cuando la máquina está en corto circuito, (punto mas bajo de la curva de fp=0), la fuerza magnetomotriz de campo y la de armadura prácticamente están en oposición por lo que la resta vectorial de ambas se convierte en una resta de magnitudes (ver fig. 8-9).

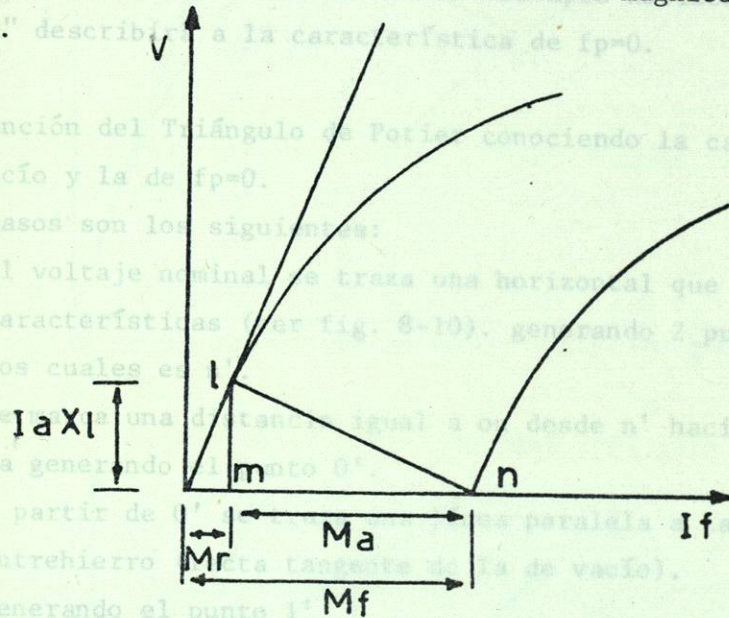


Fig. 8-9 Triángulo de Potier

Por lo tanto si M_f es la fuerza magnetomotriz del campo, al restarle M_a nos dará la fuerza magnetomotriz resultante (MR) capaz de inducir dentro de la máquina un voltaje igual a $I_a R_a + I_a X_l$ debido a que está en corto circuito ($V = 0$). Sin embargo, como $I_a R_a \ll I_a X_l$. De esta forma, se dibuja el triángulo 1, m, n - conocido como triángulo de Potier, que tiene como lados del mismo a la reacción de armadura (mn) y a la caída por reactancia -

$$MR = ME + Ma$$

Cuando la máquina está en corto circuito, (punto más bajo de la curva de $f_p=0$), la fuerza magnetomotriz de campo y la de armadura prácticamente están en oposición por lo que la resta vectorial de ambas se convierte en una resta de magnitudes (ver fig. 8-9).

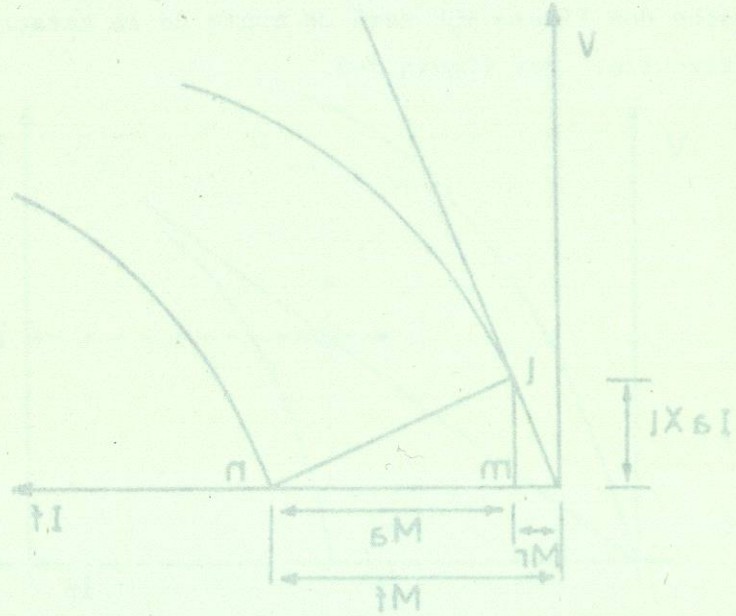


Fig. 8-9 Triángulo de Potier

Por lo tanto si ME es la fuerza magnetomotriz del campo, al restarle Ma nos dará la fuerza magnetomotriz resultante (MR) capaz de inducir dentro de la máquina un voltaje igual a $IaRa + IaXl$ debido a que está en corto circuito ($V = 0$). Sin embargo, como la $Ra \ll IaXl$. De esta forma, se dibuja el triángulo l, m, n conocido como triángulo de Potier, que tiene como lados del mismo a la reacción de armadura (mn) y a la caída por reactancia

de dispersión (lm).

Conocida la característica de vacío y el triángulo, la de $f_p=0$ - se puede obtener al correr el triángulo con el vértice "l" tocando a la de vacío y con el lado "mn" siempre horizontal, el vértice "n" describirá a la característica de $f_p=0$.

*Obtención del Triángulo de Potier conociendo la característica de vacío y la de $f_p=0$.

Los pasos son los siguientes:

- 1.- Al voltaje nominal se traza una horizontal que corte a ambas características (ver fig. 8-10). generando 2 puntos uno de los cuales es n' .
- 2.- Se marca una distancia igual a on desde n' hacia la izquierda generando el punto o' .
- 3.- A partir de o' se traza una línea paralela a la recta de - - entrehierro (recta tangente de la de vacío). Generando el punto l' .
- 4.- A partir de l' se baja una vertical hasta la horizontal que trazamos primero generando el punto m' .

Los puntos l', m' y n' formarán el triángulo de potier.

Relación de corto circuito.- Esta relación está definida como - la corriente de campo necesaria para inducir el voltaje nominal en vacío entre la corriente de campo necesaria para producir la corriente de armadura nominal en corto circuito (ver fig. 8-11).

Fig. 8-11 Relación de Corto Circuito

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

la dispersión (m).
 Conocida la característica de vacío y el triángulo, se puede obtener al correr el triángulo con el vértice "l" tocando a la de vacío y con el lado "lm" siempre horizontal, el vértice "n" describirá a la característica de $\phi=0$.
 Obtención del Triángulo de Potier conociendo la característica de vacío y la de $\phi=0$.
 Los pasos son los siguientes:
 1.- Al voltaje nominal se traza una horizontal que corte a ambas características (ver fig. 8-10). generando 2 puntos uno de los cuales es n'.
 2.- Se marca una distancia igual a on desde n' hacia la izquierda generando el punto o'.
 3.- A partir de o' se traza una línea paralela a la recta de entrehierro (recta tangente de la de vacío).
 4.- A partir de l' se baja una vertical hasta la horizontal que trazamos primero generando el punto m'.
 Los puntos l', m' y n' formarán el triángulo de potier.
 Relación de corto circuito.- Esta relación está definida como la corriente de campo necesaria para inducir el voltaje nominal en vacío entre la corriente de campo necesaria para producir la corriente de armadura nominal en corto circuito (ver fig. 8-11).

Las curvas en la gráfica serían:

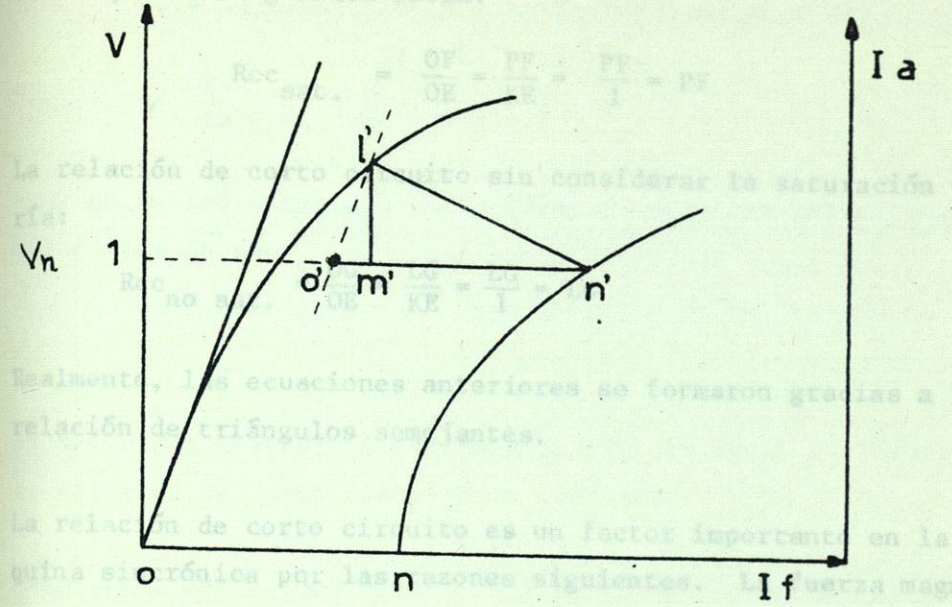


Fig. 8-10 Obtención del Triángulo

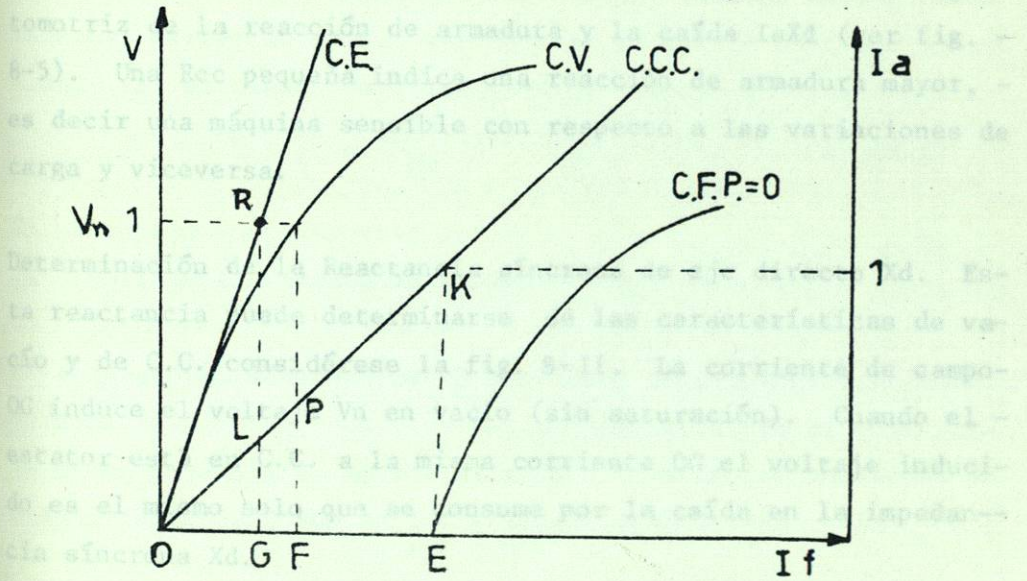


Fig. 8-11 Relación de Corto Circuito