

$$Q = \text{Número de bobinas por grupo} = \frac{Q}{m \cdot p}$$

$$\text{Desfasamiento entre ranuras adyacentes} = \frac{180^\circ \cdot p}{Q}$$

$$K_d = \text{Factor de Distribución} = \frac{\text{sen} \left( \frac{Q \cdot \text{Desf}}{2} \right)}{\text{sen} \left( \frac{\text{Desf}}{2} \right)}$$

$$K_p = \text{Factor de Paso} = \text{sen} \left( \frac{W}{T} \cdot 90^\circ \right)$$

$$K_{dp} = K_d \cdot K_p = \frac{N}{S} \cdot \Phi \cdot K_{dp}$$

$Q =$  Número de ranuras

$m =$  Número de fases

$p =$  Número de polos

$Q =$  Número de bobinas por grupo

$\text{Desf} =$  Desfasamiento entre ranuras en paralelo por fase

$\Phi =$  Flujo por polo (webers)

$K_{dp} =$  Factor del Devanado

CAPITULO V

DEVANADOS POLIFASICOS DE ARMADURA

Bajo este título, deseamos en este capítulo anotar algunos detalles que nos parecen interesantes sobre el tema, sin pretender desarrollar un tratado sobre el mismo, tarea de la cual se ocupan ampliamente algunos textos.

Es justo aclarar, que los embobinados del estator para las máquinas de Inducción y las Síncronas, son los mismos, sin embargo donde mas probablemente podamos conocerlos es en las primeras -- por su uso generalizado en la industria.

5-1 Principios Generales.- Los devanados polifásicos del estator los podemos encontrar en dos tipos principalmente: Imbricado y Ondulado (ver fig. 5-1) de los cuales el mas común es el primero.

Los devanados polifásicos generalmente son de doble capa por lo tanto, el número de ranuras (Q) es igual al número de bobinas -- (figs. 5-2 y 5-3).

DEVANADOS POLIFASICOS DE ARMADURA

En este capítulo, deseamos en este capítulo anotar algunos detalles que nos parecen interesantes sobre el tema, sin pretender desarrollar un tratado sobre el mismo, tema de la cual se ocupan ampliamente algunos textos.

Es justo aclarar, que los devanados del estator para las máquinas de inducción y las síncronas, son los mismos, sin embargo donde más probablemente podamos conocerlos es en las primeras por su uso generalizado en la industria.

Principios Generales. - Los devanados polifásicos del estator los podemos encontrar en dos tipos principalmente: Imbricado y Ondulado (ver fig. 5-1) de los cuales el más común es el primero.

Los devanados polifásicos generalmente son de doble capa por lo tanto, el número de ranuras (Q) es igual al número de bobinas (figs. 5-2 y 5-3).

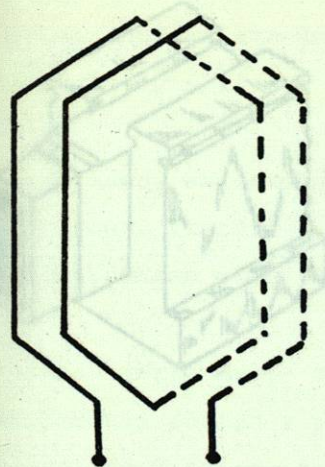


Fig. 5-1(a) Bobinas de un devanado imbricado.

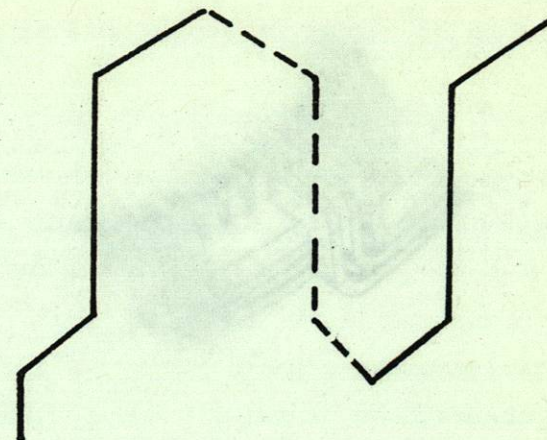


Fig. 5-1(b) Bobinas de un devanado ondulado.

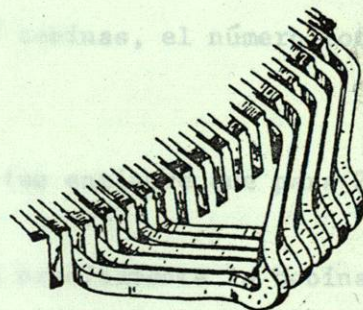
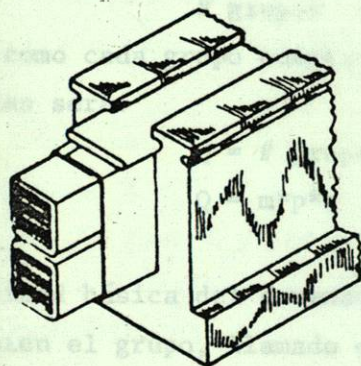


Fig. 5-2 Devanado de 2 Capas

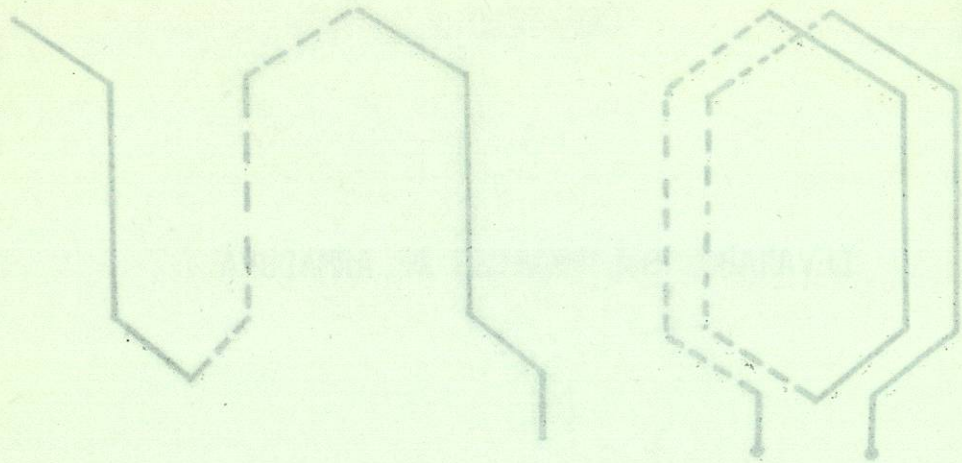


Fig. 2-1(a) Bobinas de un devanado imbricado.  
Fig. 2-1(b) Bobinas de un devanado ondulado.

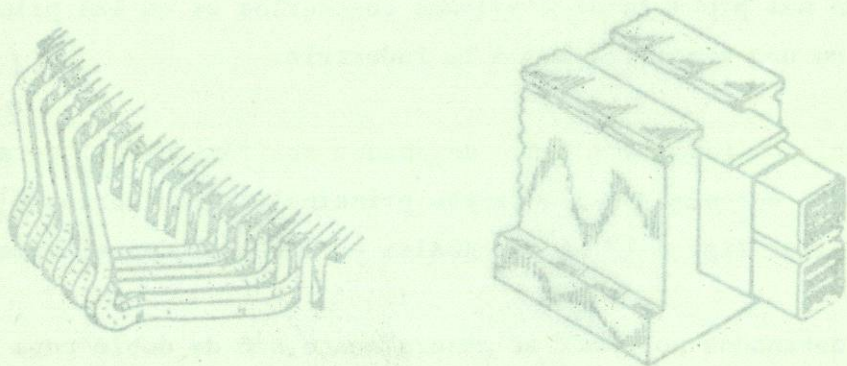


Fig. 2-2 Devanado de 2 Capas

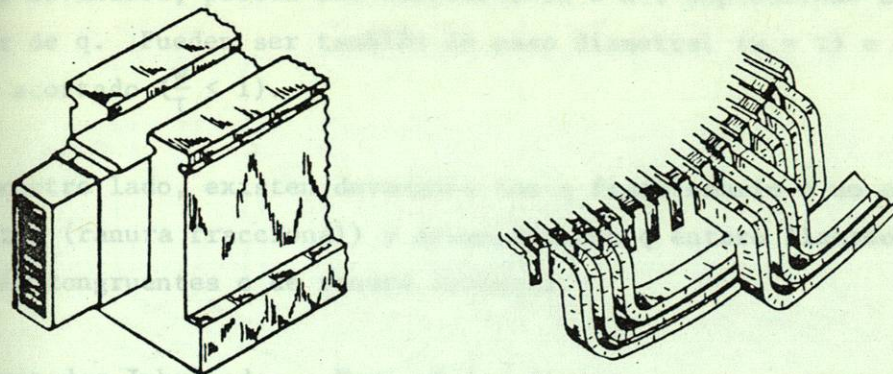


Fig. 5-3 Devanado de una sola capa

Como antes mencionamos, cada fase aporta un grupo de bobinas para la formación de cada polo, por lo que cada fase contendrá tantos grupos como polos. El número de grupos totales será entonces:

$$\# \text{ grupos} = m * p$$

... como cada grupo cuenta con "q" bobinas, el número total de bobinas será:

$$Q = \# \text{ grupos} * q$$

$$Q = m * p * q \quad (\text{se entiende que para 2 capas})$$

La unidad básica del devanado no es precisamente la bobina sino más bien el grupo, llamado en ocasiones el "grupo polo-fase".

En cada fase, al tener tantos grupos como polos, se podrán como máximo formar tantas trayectorias en paralelo como grupos, es decir, como polos.

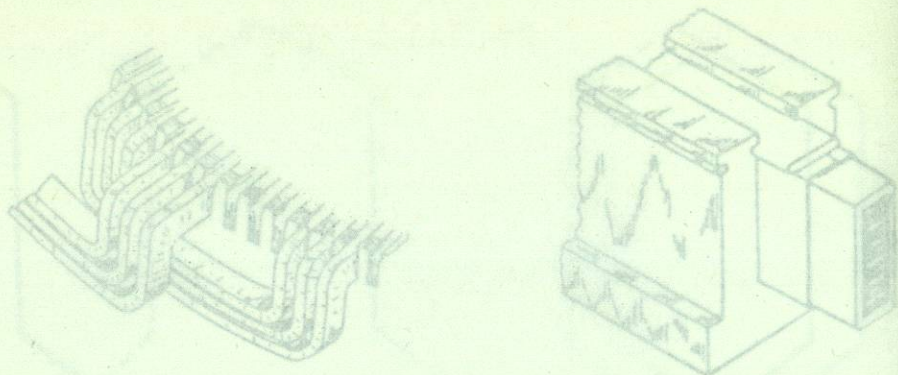


Fig. 5-3 Devanado de una sola capa

Los devanados, pueden ser distribuidos o no, dependiendo del valor de  $q$ . Pueden ser también de paso diametral ( $w = \tau$ ) o de paso acortado ( $\frac{w}{\tau} < 1$ ).

Por otro lado, existen devanados con  $q$  fraccionario o no congruentes (ranura fraccional) y devanados con  $q$  entero llamados también congruentes o de ranura integral.

Devanados Imbricados.- Para obviar tiempo, vamos a esquematizar en diferentes formas y para diferentes conexiones, un devanado imbricado de 2 polos, trifásico, de 2 capas, en un estator de 12 ranuras y de paso completo.

$$q = \frac{Q}{m \cdot p} = \frac{12}{3 \cdot 2} = 2 \text{ bobinas por grupo}$$

$$\tau_{\text{paso polar}} = \frac{Q}{P} = \frac{12}{2} = 6 \text{ ranuras por polo}$$

como es de paso completo,  $w = \tau$

$$w = 6 \text{ ranuras (ancho de la bobina)}$$

Para continuar, conviene ir viendo la figura 5-4. Si asignamos las ranuras 1 y 2 a un grupo de la fase A, las ranuras 3 y 4 serán para la fase C y las 5 y 6 para la fase B (para comprender mejor esta distribución, ver tema del campo giratorio en el siguiente capítulo).

Los devanados, pueden ser distribuidos o no, dependiendo del va-  
 lor de  $p$ . Pueden ser también de paso diámetro ( $w = \tau$ ) o de pa-  
 so acortado ( $\frac{w}{\tau} < 1$ ).

Por otro lado, existen devanados con  $p$  fraccionario o no congru-  
 entes (ranura fraccionaria) y devanados con  $p$  entero llamados tam-  
 bién congruentes o de ranura integral.

Devanados Imbricados. - Para evitar tiempo, vamos a esquematizar  
 en diferentes formas y para diferentes conexiones, un devanado  
 imbricado de 2 polos, trifásico, de 2 capas, en un estator de 12  
 ranuras y de paso completo.

$$p = \frac{Q}{m \cdot p} = \frac{12}{2 \cdot 2} = 3$$

$$\text{Paso polar} = \frac{Q}{p} = \frac{12}{3} = 4$$

$$w = 6 \text{ ranuras (ancho de la bobina)}$$

$$\text{como es de paso completo, } w = \tau$$

Para continuar, conviene ir viendo la figura 5-4. Si asignamos  
 las ranuras 1 y 5 a un grupo de la fase A, las ranuras 3 y 7 a  
 otro grupo de la fase A y las 2 y 6 para la fase B (para comprender  
 mejor esta distribución, ver tema del campo giratorio en el si-  
 guiente capítulo).

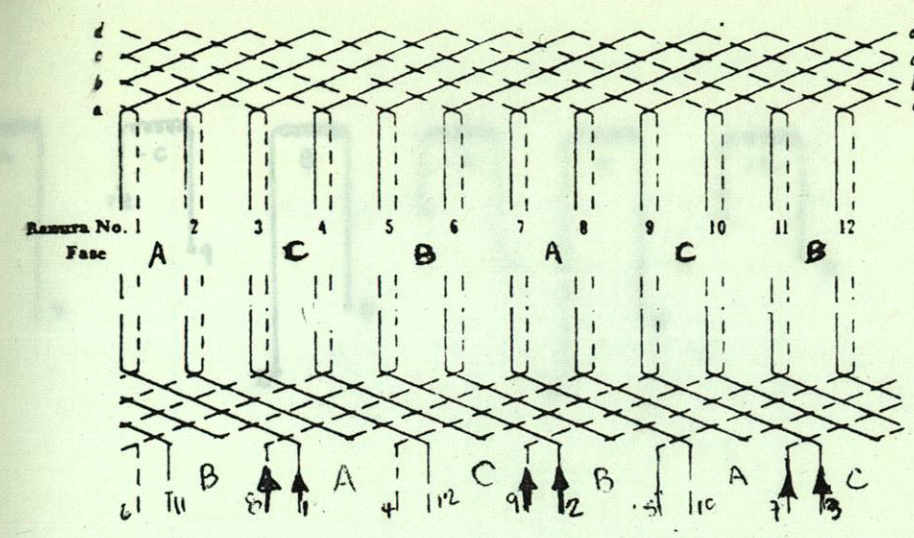


Fig. 5-4 Devanado Imbricado Desarrollado

El sentido de las corrientes en la fig. 5-4 solo indica la pola-  
 ridad de las bobinas (podíamos haberlas marcado con puntos como  
 se acostumbra en transformadores). Esto quiere decir que por e-  
 jemplo, para la fase A en el momento en que la corriente entra  
 por 1 debe también entrar por 7 (para crear polos opuestos).

La entrada de la fase B debe ser la terminal 2 debido a que esta  
 terminal hace contacto con la ranura 6 la que está  $120^\circ$  eléctri-  
 cos desfasada de la entrada de A (ranura 1). Otra forma de es-  
 quematizar el devanado es como indica la fig. 5-5.

Esta forma de esquematizar el desarrollo de los grupos, también-  
 se puede hacer en forma circular y en lugar de señalar la polari-  
 dad con puntos. Hacerlo con flechas (fig. 5-6).

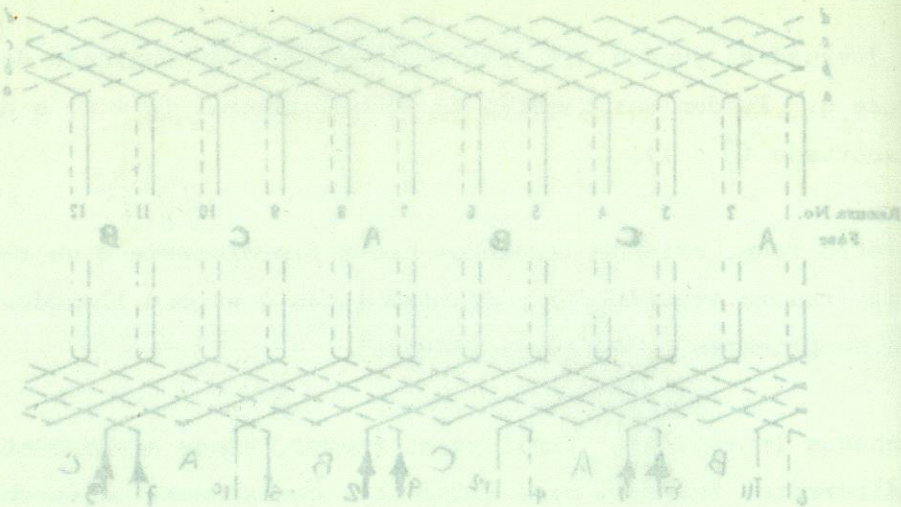


Fig. 5-4 Devanado Imbricado Desarrollado

El sentido de las corrientes en la fig. 5-4 solo indica la polaridad de las bobinas (podríamos haberlas marcado con puntos como se acostumbra en transformadores). Esto quiere decir que por ejemplo, para la fase A en el momento en que la corriente entra por 1 debe también entrar por 7 (para crear polos opuestos).

La entrada de la fase B debe ser la terminal 2 debido a que esta terminal hace contacto con la ranura 6 la que está 120° eléctrica con respecto de la entrada de A (ranura 1). Otra forma de esquematizar el devanado es como indica la fig. 5-5.

Esta forma de esquematizar el desarrollo de los grupos, también se puede hacer en forma circular y en lugar de señalar la polaridad con puntos. Hacerlo con flechas (fig. 5-6).

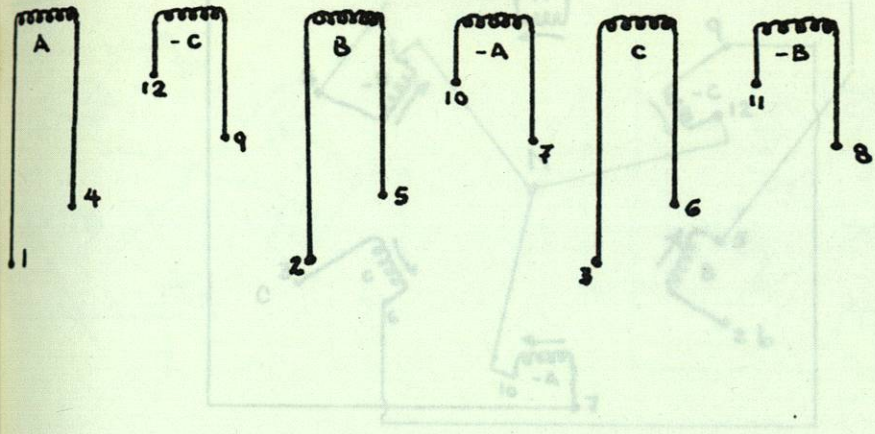


Fig. 5-5 Diagrama de Grupos del Devanado

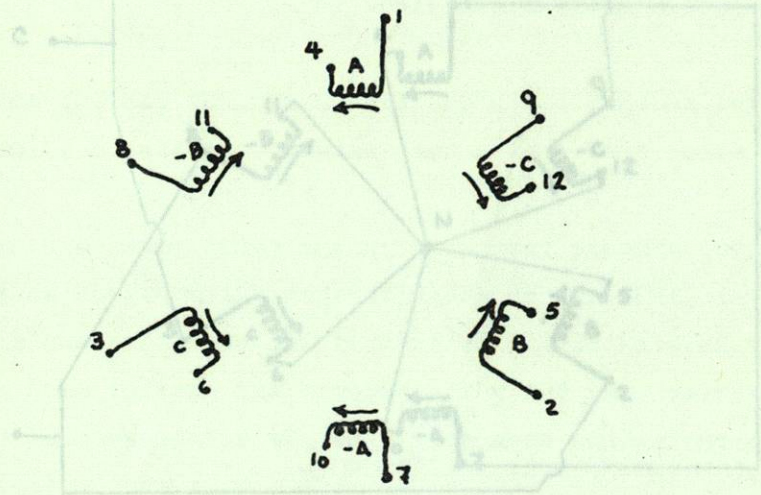


Fig. 5-6 Diagrama Circular (Bajo Voltaje)

Enseguida, vamos a dibujar los diagramas circulares del mismo devanado conectado en diferentes maneras (fig. 5-7, 5-8 y 5-9).

En una máquina encontramos en la placa especificada las

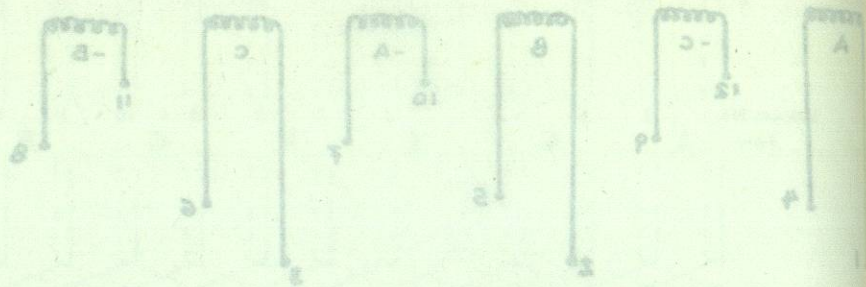


Fig. 5-2 Diagrams de Grupos del Devanado

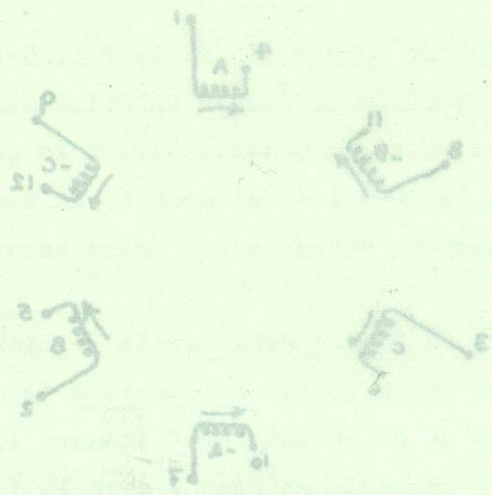


Fig. 5-6 Diagrama Circular

seguida, vamos a dibujar los diagramas circulares del mismo devanado conectado en diferentes maneras (fig. 5-7, 5-8 y 5-9).

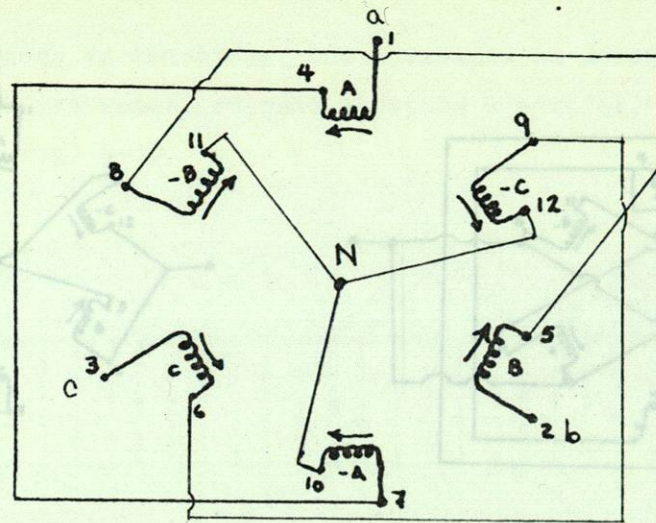


Fig. 5-7 Conexión para una Estrella Simple (Alto Voltaje)

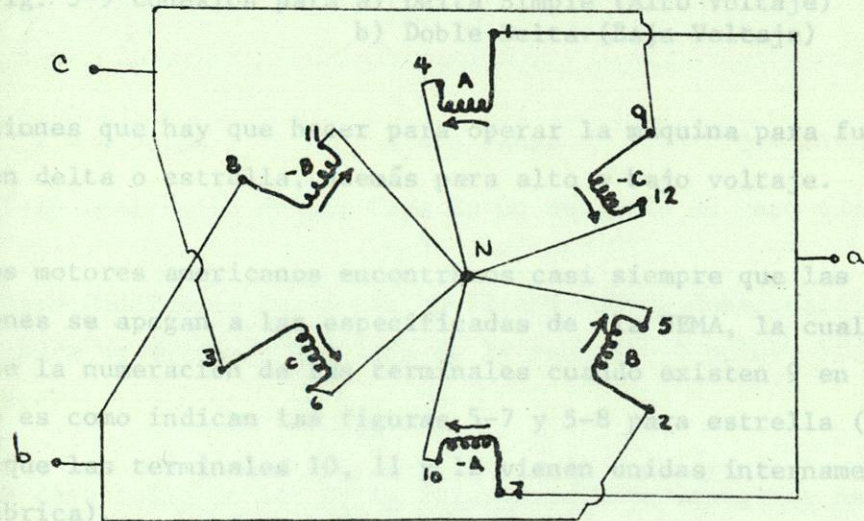


Fig. 5-8 Conexión para una Doble Estrella (Bajo Voltaje)

Los estatores de las máquinas sincrónicas tienen devanados iguales a los estatores de los motores de inducción. Con frecuencia, en una máquina encontramos en la placa especificadas las

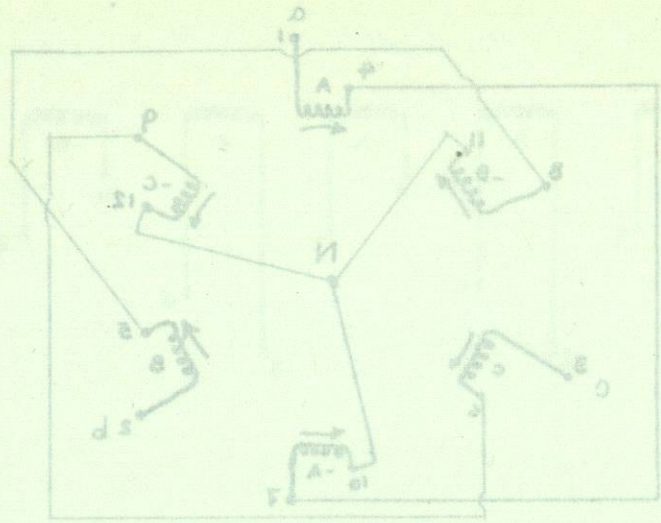


Fig. 5-7 Conexión para una Estrella Simple (Alto Voltaje)

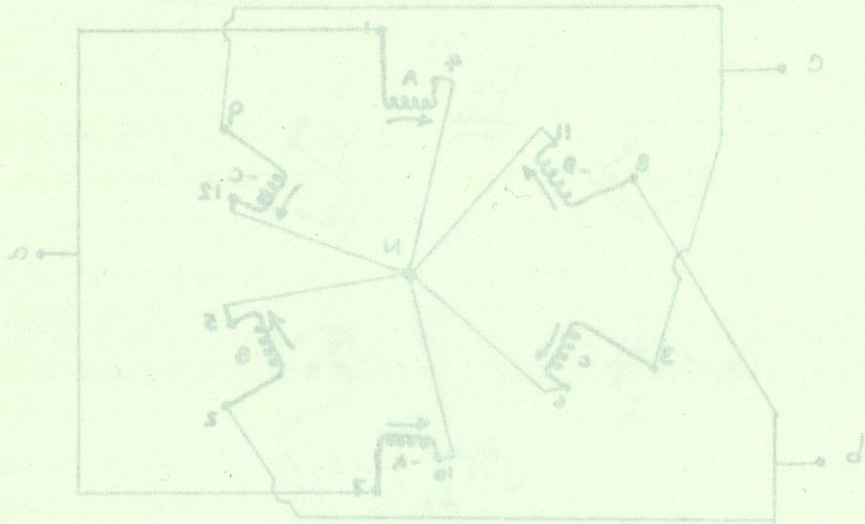


Fig. 5-8 Conexión para una Doble Estrella (Bajo Voltaje)

Los estatores de las máquinas síncronas tienen devanados iguales a los estatores de los motores de inducción. Con frecuencia, en una máquina encontramos en la placa especificadas las

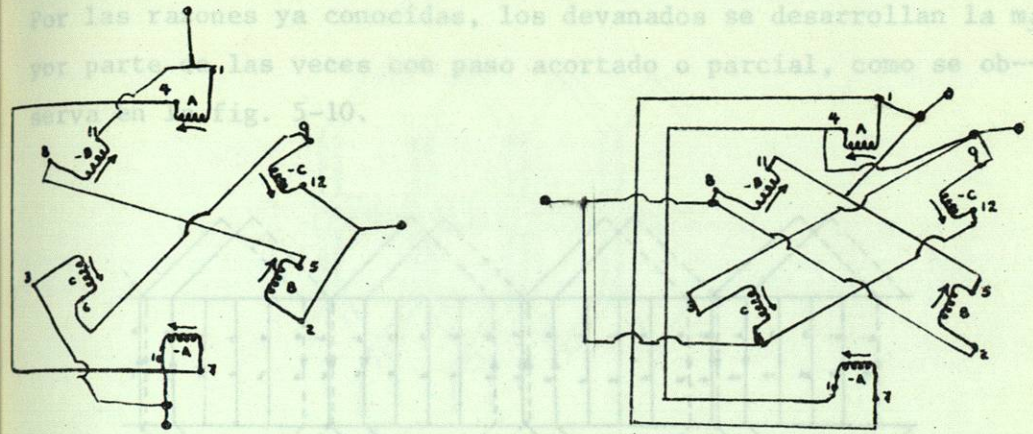


Fig. 5-9 Conexión para a) Delta Simple (Alto Voltaje)  
b) Doble Delta. (Bajo Voltaje)

conexiones que hay que hacer para operar la máquina para funcionar en delta o estrella, además para alto y bajo voltaje.

Fig. 5-10 Desarrollo de una fase de un devanado de paso parcial

En los motores americanos encontramos casi siempre que las conexiones se apegan a las especificadas de la NEMA, la cual indica que la numeración de las terminales cuando existen 9 en el tablero es como indican las figuras 5-7 y 5-8 para estrella (se supone que las terminales 10, 11 y 12 vienen unidas internamente de fábrica).

Diagramas Circulares.- En las siguientes figuras, veremos aparecer algunos devanados arreglados en diagramas circulares de grupos para diferentes conexiones.



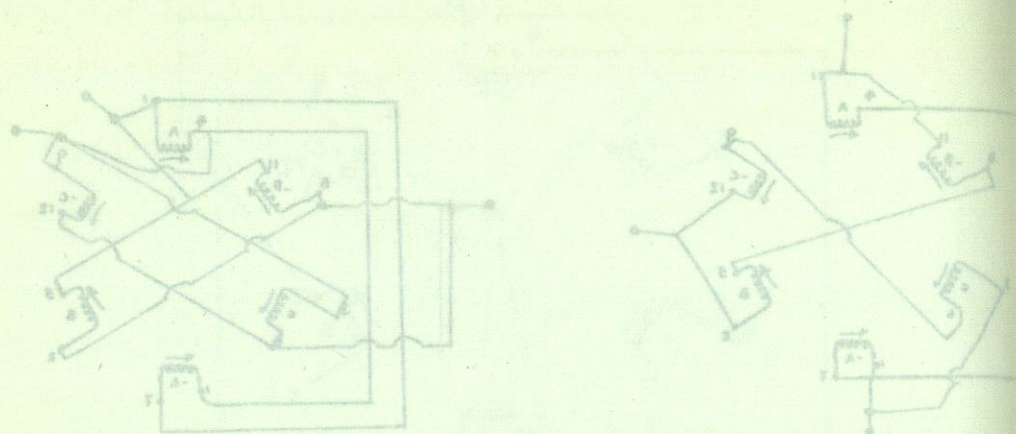


Fig. 5-9 Conexión para a) Delta Simple (Alto Voltaje)  
b) Doble Delta (Bajo Voltaje)

conexiones que hay que hacer para operar la máquina para funcio-  
nar en delta o estrella, además para alto y bajo voltaje.

En los motores americanos encontramos casi siempre que las co-  
nexiones se apegan a las especificadas de la NEMA, la cual indi-  
ca que la numeración de las terminales cuando existen 9 en el ca-  
sido es como indican las figuras 5-7 y 5-8 para estrella (se su-  
pone que las terminales 10, 11 y 12 vienen unidas internamente  
de fábrica).

Por las razones ya conocidas, los devanados se desarrollan la ma-  
yor parte de las veces con paso acortado o parcial, como se ob-  
serva en la fig. 5-10.

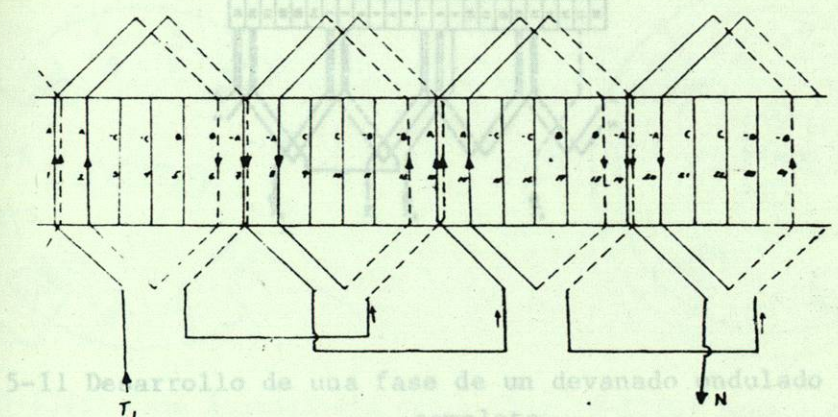


Fig. 5-10 Desarrollo de una fase de un devanado de paso parcial

$P = 4$  Polos                       $m = 3$  Fases                       $Q = 24$  Ranuras

Fig. 5-10 Desarrollo de una fase de un devanado de paso parcial

3 Devanado Ondulado.- En la fig. 5-11 aparece el desarrollo de una  
fase para un devanado ondulado de 24 ranuras, 4 polos, 2 capas,-  
3 fases:

En el desarrollo de las otras 2 fases se hace enseguida para que  
dar como aparece en la fig. 5-12.

4 Diagramas Circulares.- En las siguientes figuras, veremos apare-  
cer algunos devanados arreglados en diagramas circulares de gru-  
pos para diferentes conexiones.

Fig. 5-12 Devanado Ondulado de 24 ranuras, 4 polos, 2 capas, 3 fases