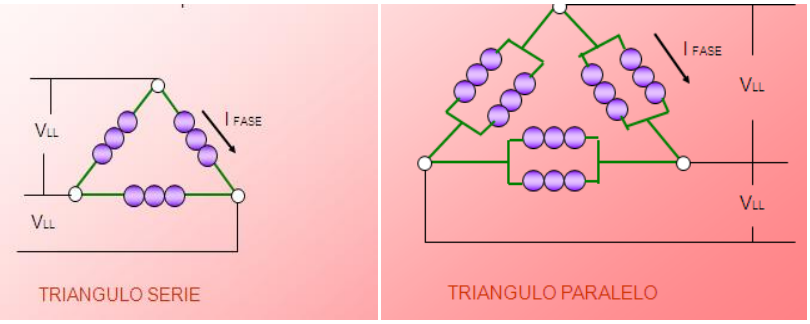
## TIPOS DE CONEXIONES EN MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS

Existen dos tipos:

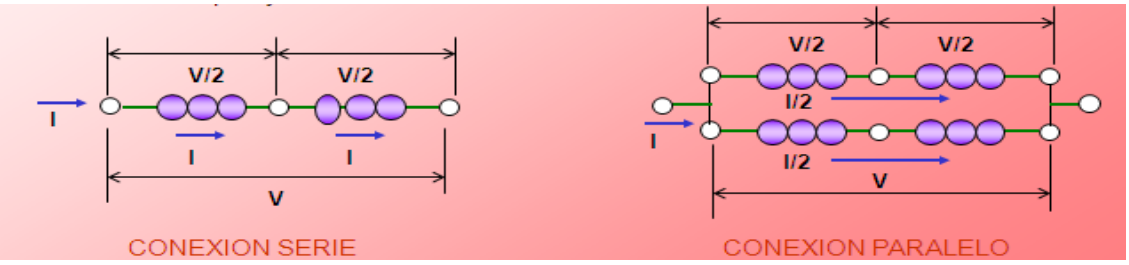
Motor trifásico tipo jaula de ardilla.




### CONEXIONES INTERNAS

Este tipo de conexiones se realizan cuando el motor se halla en el proceso del bobinado donde las cabezas de los arrollamientos no están amarrados, y por tanto se puede unir los grupos de cada fase tal como lo estipula el diseño.

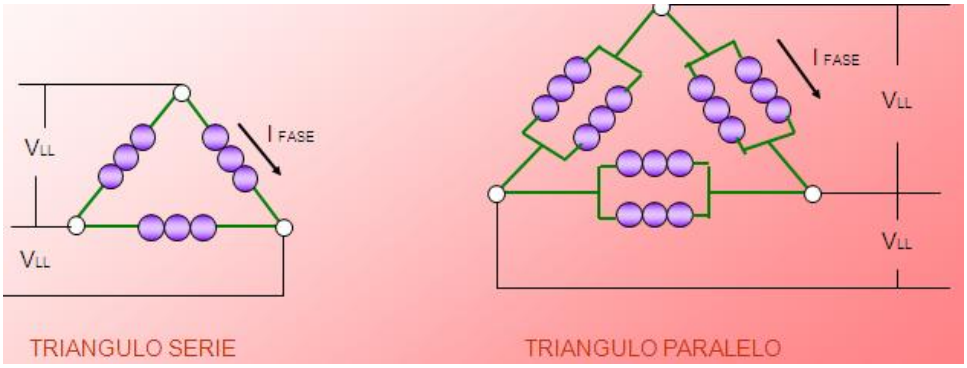
Existen dos tipos y son:



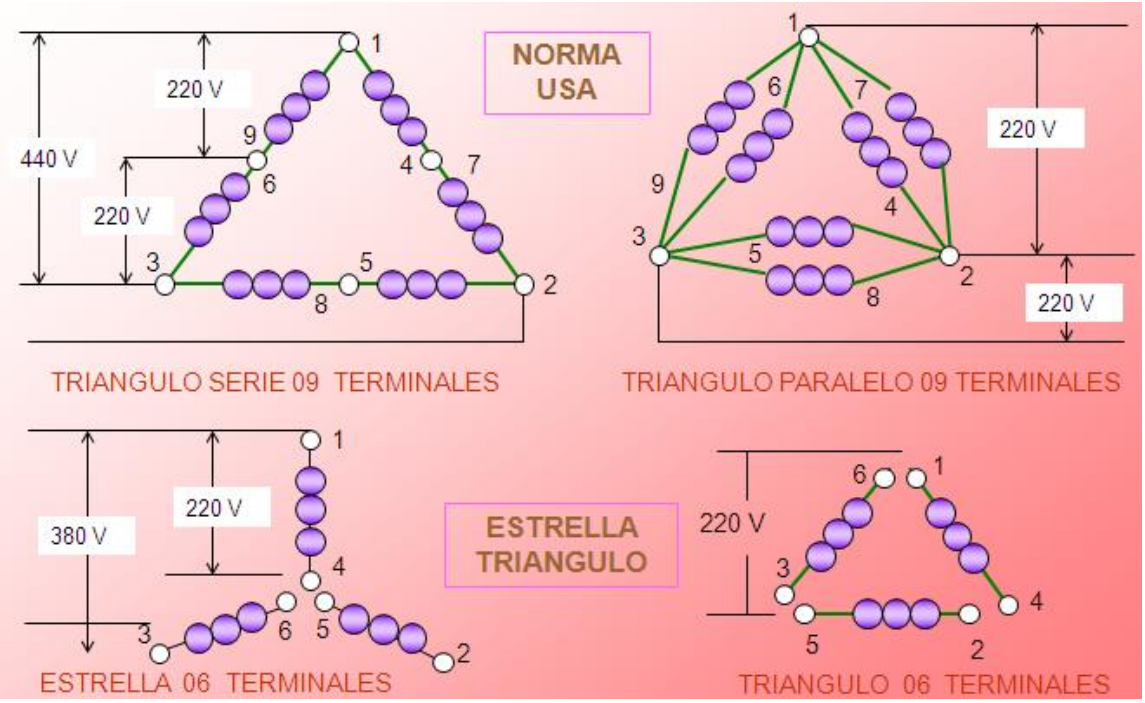

### CONEXIONES EXTERNAS

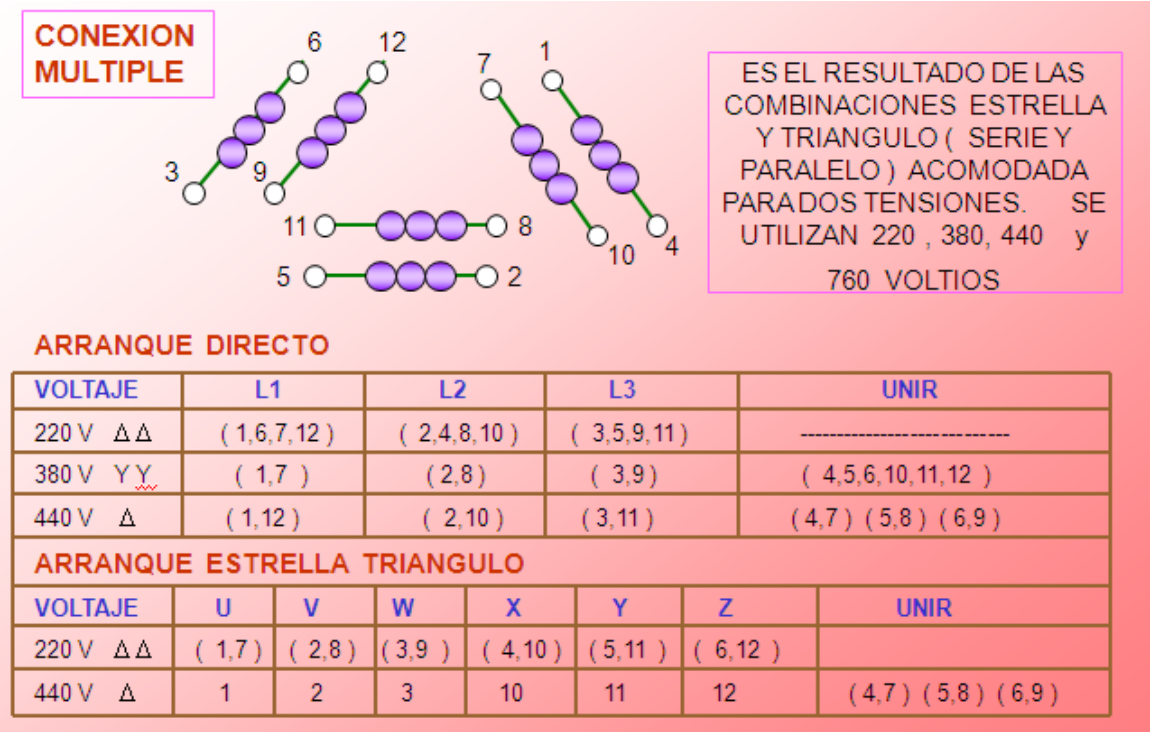
Este tipo de conexiones se realizan cuando el motor se halla completamente armado, listo para la venta. Este tipo de conexiones se efectúan, en la caja de conexiones, optando un esquema determinado en el diseño de la máquina.

A continuación los tipos de conexiones externas:



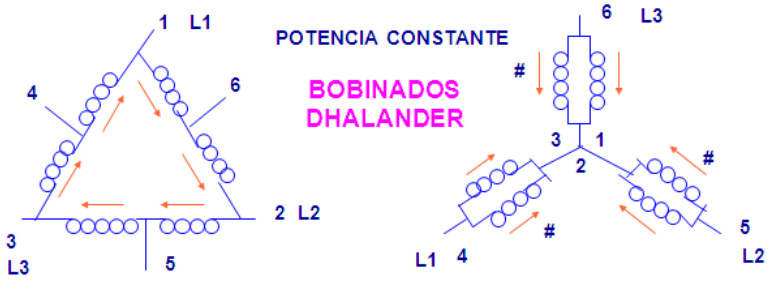
Consta únicamente de 03 terminales y sus conexiones toman la forma de un triángulo, pudiendo ser en serie ó paralelo.




| VOLTAJE | L1 | L2 | L3 | UNIR |
|---|---|---|---|---|
| 220 V ΔΔ | ( 1,6,7,12 ) | ( 2,4,8,10 ) | ( 3,5,9,11 ) | ---------- |
| 380 V YY | ( 1,7 ) | ( 2,8 ) | ( 3,9 ) | ( 4,5,6,10,11,12 ) |
| 440 V Δ | ( 1,12 ) | ( 2,10 ) | ( 3,11 ) | ( 4,7 ) ( 5,8 ) ( 6,9 ) |

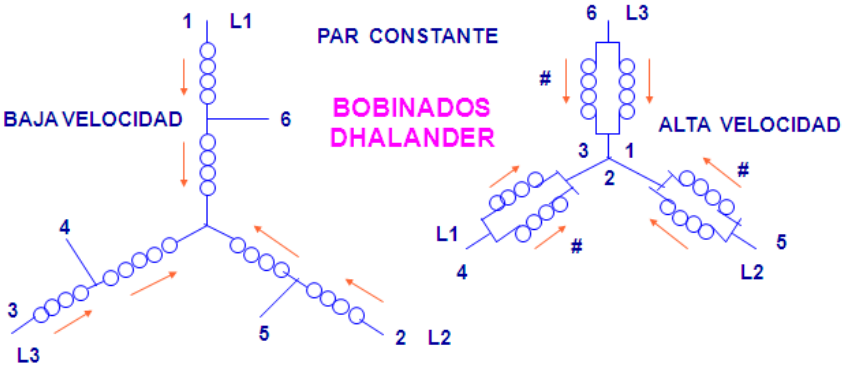
| VOLTAJE | U | V | W | X | Y | Z | UNIR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 220 V ΔΔ | ( 1,7 ) | ( 2,8 ) | ( 3,9 ) | ( 4,10 ) | ( 5,11 ) | ( 6,12 ) | |
| 440 V Δ | 1 | 2 | 3 | 10 | 11 | 12 | ( 4,7 ) ( 5,8 ) ( 6,9 ) |




BAJA VELOCIDAD ALTA VELOCIDAD

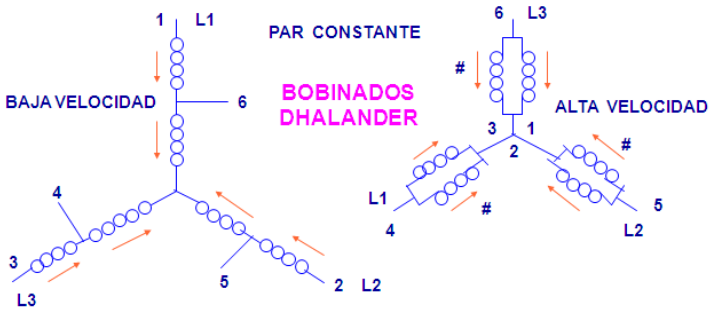
POR CAMBIO DEL NUMEROS DE POLOS

| BOBINADO DHALANDER - POTENCIA CONSTANTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VELOCIDAD | HILOS LINEA | UNIR | POLOS | CONEXION |
| ALTA | 4, 5, 6 | 1, 2, 3 | CONSEC. | PARALELO |
| BAJA | 1, 2, 3 | ------- | CONVENCIO. | SERIE |



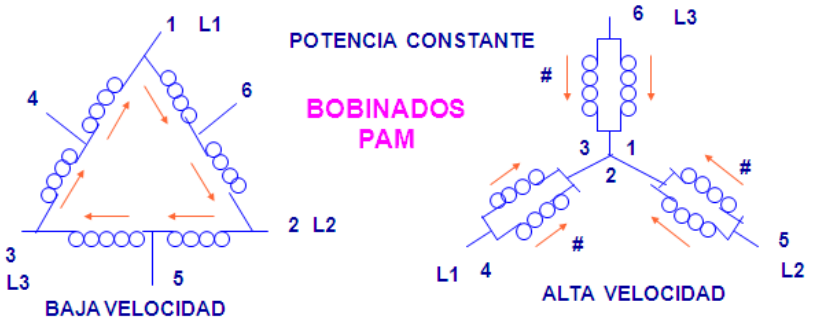

POR CAMBIO DEL NUMEROS DE POLOS

| BOBINADO DHALANDER - PAR CONSTANTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VELOCIDAD | HILOS LINEA | UNIR | POLOS | CONEXION |
| ALTA | 4, 5, 6 | 1, 2, 3 | CONSEC. | PARALELO |
| BAJA | 1, 2, 3 | ----- | CONVENCIO. | SERIE |




POR CAMBIO DEL NUMEROS DE POLOS

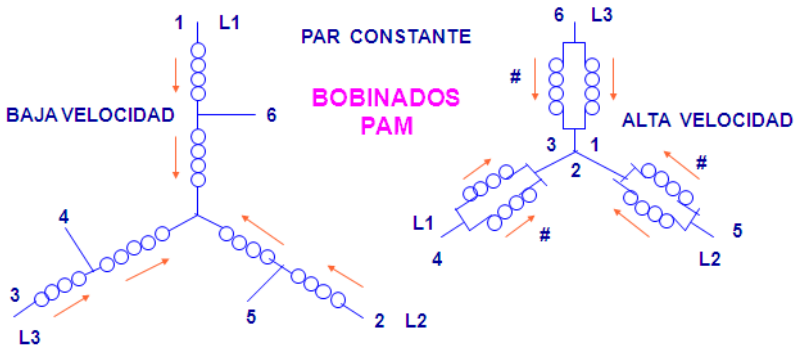
| BOBINADO DHALANDER - PAR CONSTANTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VELOCIDAD | HILOS LINEA | UNIR | POLOS | CONEXION |
| ALTA | 4, 5, 6 | 1, 2, 3 | CONSEC. | PARALELO |
| BAJA | 1, 2, 3 | ----- | CONVENCIO. | SERIE |




POR CAMBIO DEL NUMEROS DE POLOS

A2.- BOBINADOS PAM ( RELACION DIFERENTE A VELOCIDADES 2 a 1 )

| BOBINADOS PAM - POTENCIA CONSTANTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VELOCIDAD | HILOS LINEA | UNIR | POLOS | CONEXION |
| ALTA | 4, 5, 6 | 1, 2, 3 | CONSEC. | PARALELO |
| BAJA | 1, 2, 3 | -------- | CONVENCIO. | SERIE |




POR CAMBIO DEL NUMEROS DE POLOS

| BOBINADOS PAM - PAR CONSTANTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VELOCIDAD | HILOS LINEA | UNIR | POLOS | CONEXION |
| ALTA | 4, 5, 6 | 1, 2, 3 | CONSEC. | PARALELO |
| BAJA | 1, 2, 3 | ——- | CONVENCIO. | SERIE |

## CALCULO DE LOS ARROLLAMIENTOS EN MOTORES TRIFASICOS

### DEVANADOS

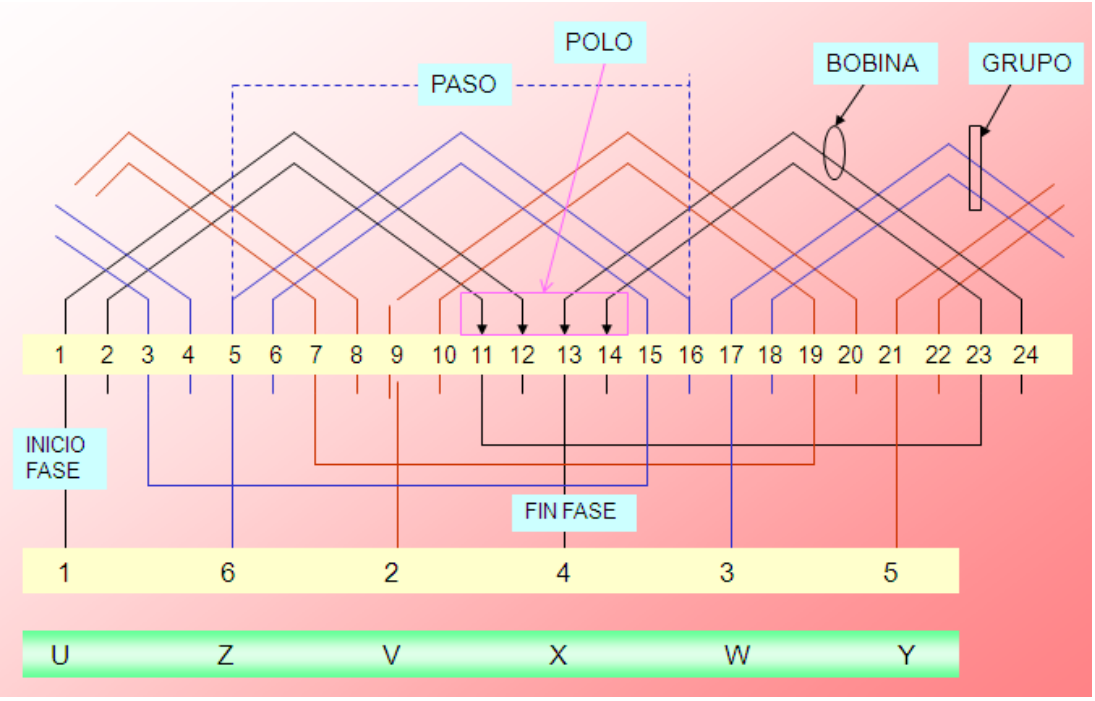
Los devanados de un motor de inducción son distribuidos en las ranuras del paquete magnético estatórico. Estos arrollamientos crearán la FMM. Los devanados están compuestos por:

- ✓ Espira.
- ✓ Bobina.
- ✓ Grupo.
- ✓ Fase.
- ✓ Bobinado

Los devanados de un motor de inducción son distribuidos en las ranuras del paquete magnético estatórico. Estos arrollamientos crearán la FMM.

Las características del bobinado trifásico entero de 24 ranuras:

- ✓ Desfasaje.
- ✓ Paso.
- ✓ Polo.
- ✓ Número de ranuras por polo y fase (q). … **Entero** y fraccionario.
- ✓ Tipos de bobinados :
  - ➢ **Concentrado** y distribuido.
  - ➢ De una y doble capa.
  - ➢ Mixto, ondulado, **imbricado**




## FACTOE DE BOBINADO

**PASO**: es la diferencia entre los números de ranura (hipotético) en los cuales son colocados los lados de la bobina. El paso puede ser.

**PASO COMPLETO** ($Y_C$) si el paso es igual al intervalo polar.

$$Y_C = \frac{S_1}{P}$$

Donde:

P: números de polos.

$S_1$: numero de ranuras estatoricas

**PASO RECORTADO (Y)** facilita la colocación de las bobinas, se ahorra alambre esmaltado en el bobinado y mejora las características de las maquinas eléctricas rotativas.

$$Y = \frac{5}{6} Y_C$$

**NUMEROS DE RANURAS POR POLO Y FASE (q)** una característica muy importantes de todo bobinado de corriente alterna es el numero de ranuras que ocupa una fase por polo.

$$q = \frac{S_1}{mp}$$

Donde:

m: números de fases

. **$q_{entero}$**:cada grupo del bobinado tendrá el mismo número de bobinas en serie.

. **$q_{fraccionario}$**:los grupos del bobinado tienen un numero desigual de bobinas en conectadas en serie.

. Factor de bobinado ($k_p$): es el indicador menor que la unidad. Que reúne dos conceptos teniendo en cuenta que las fuerzas electromotrices de los diferentes radio vectores están desfasados entre si y se componen verticalmente.

$$\mathrm{K_W} = \mathrm{K_P}.\mathrm{K_d}$$

. Factor de paso ($K_w$): nos da la idea de la cantidad de flujo concatenado por una bobina; cuando el $y_c$= y sucede ($k_p$=1), esto indica que se habrá concatenado todo el flujo.

$$K_P = sen\left(\frac{Y.90}{Y_C}\right)$$

. Factor de distribución ($K_d$): aparece en un grupo de bobinas que no tienen el mismo eje magnético debido a que la tensión inducida en el grupo de bobinas es menor que la suma aritmética de la tensión inducida en cada bobina.

$$\mathrm{k_d} = \frac{sen(\frac{q.\alpha}{2})}{qsen(\frac{\alpha}{2})}$$

Donde:

$$\alpha = \left(\frac{P}{2}\right)\left(\frac{360}{S_1}\right) grados\ electricos$$

**CONCENTRICO:** es un bobinado distribuido donde las bobinas individuales de cada fase por polo son concéntricas y tienen pasos diferentes.

En los bobinados concéntricos kd=1, debido a que el grupo de bobinas tienen el mismo eje magnetico por tanto solo se tendrá que realizar el cálculo del factor de paso:

$$K_P = sen(\frac{Y_1.90}{Y_C}) \qquad factor\ de\ paso\ promedio$$

$$y_i = \frac{(N_1Y_1 + N_2Y_2 + \cdots + N_NY_N)}{(N_1 + N_2 + \cdots + N_N)}$$

Donde:

$N_1$: números de vueltas de la bobina 1

$Y_1$: paso de la bobina 1

$Y_i$: paso promedio.

$N_N$: números de vueltas de la bobina N.

$Y_N$: paso de la bobina N.

Pero sabemos que los arrolla en maquinas asíncronas trifásicas el número de vueltas de todas las bobinas son iguales por tanto podemos afirmar que:

$$N_1 = N_2 = \cdots N_N = N$$

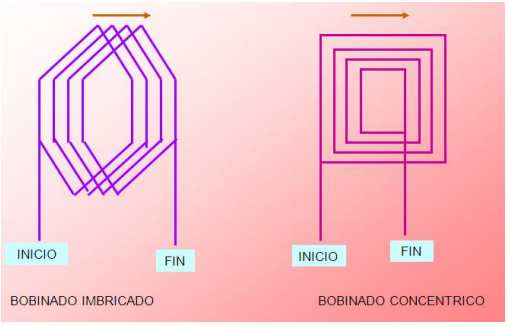
Reemplazando este valor en el paso promedio tenemos:

$$Y_i = \frac{(Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_N)}{n}$$

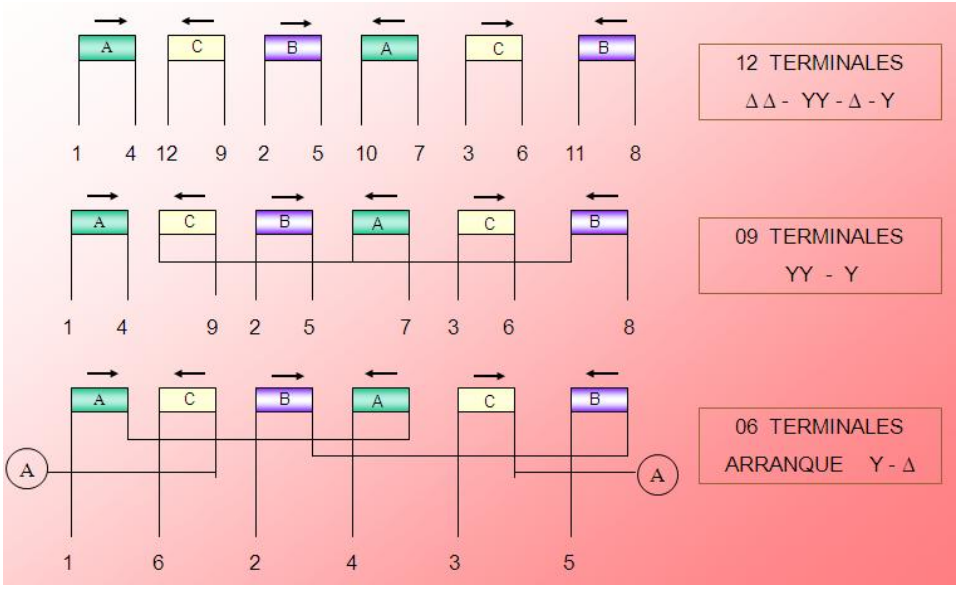
Donde:

n:es el numero de bobinas en serie

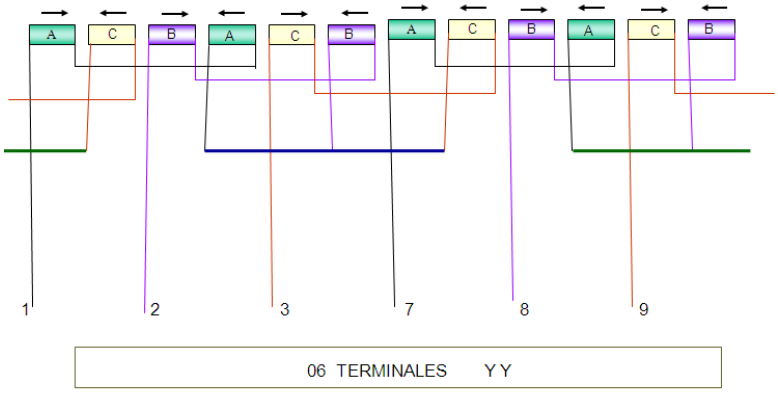
$$\mathrm{k_w} = \mathrm{k_p}$$

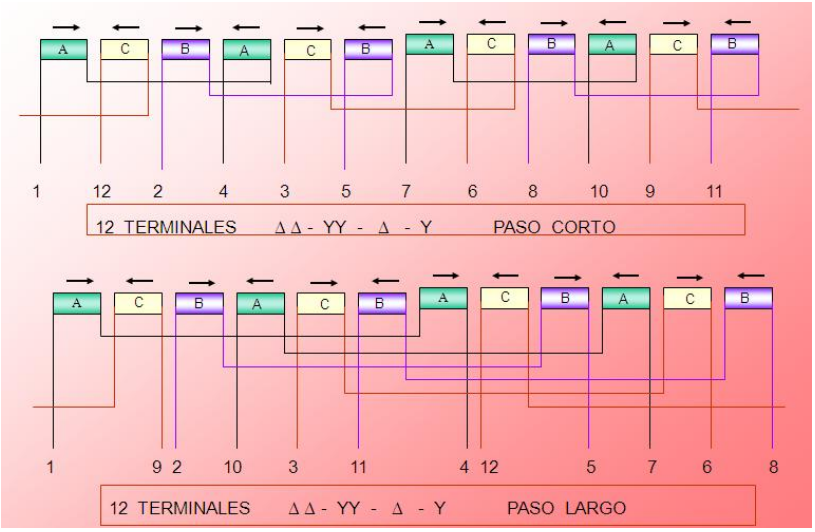


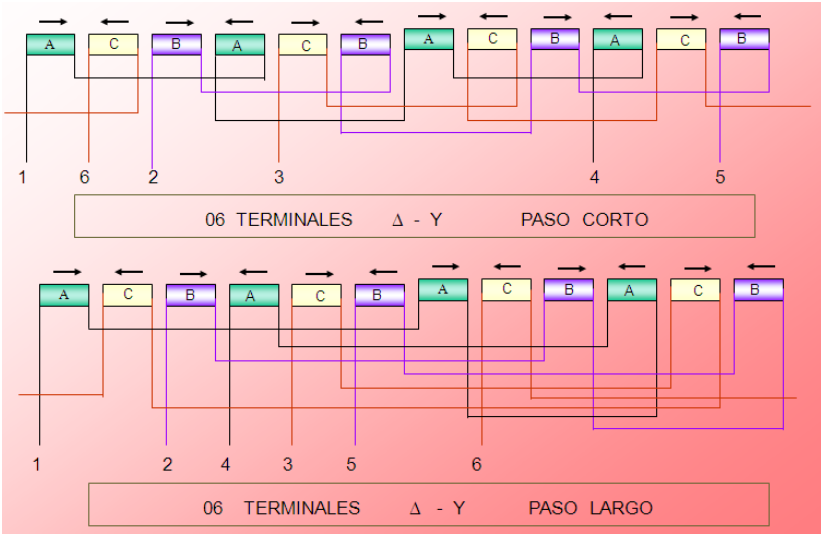

**CONEXION DE GRUPOS DE BOBINAS DE MOTORES TRIFASICOS DE 2 POLOS**




**CONEXION DE GRUPOS DE BOBINAS DE MOTORES TRIFASICOS DE 4 POLOS**






**CALCULO DE LOS ARAROLLAMIENTOS EN MOTORES TRIFASICOS**

1. PARAMETROS ELECTRICOS.- cuando por algún motivo se tienen que cambiar los parámetros originales de una maquina rotativa, resulta de mucha importancia comprobar la potencia nominal de la maquina rotativa, resulta, de muchas importancia comprobar la potencia nominal de la maquina con el nuevo bobinado ya que podemos dimensionarlo conociendo sus medidas geométricas.

DIMENSIONAMIENTO DE LA MAQUINA.
Método $D^2L$

$$HP = \frac{1.558.10^{-4}.EF.FP.A_1.K_W.B_g.n_s.D^2.L}{\mathrm{K_e}}$$

$$n_s = 120\frac{f}{P}$$

Dónde.
HP:potencia nominal
EF:eficiencia (catalogo del fabricante)
D:diámetro interno del estator(m)
L:longitud del paquete magnetico (m)
Bg:inducción magnetica en el entrehierro (tesla).
Ke: factor de caída de tensión acondiciones
$A_1$: densidad lineal (ver tabla)
$n_s$:velocidad síncrona
$K_W$:factor de bobinado.
La tensión aplicada a una fase se relaciona con la tensión inducida por el siguiente factor.

$$K_e = \frac{E_f}{V_f} \quad donde \quad K_e = (0.93 \ \ldots \ 0.98)$$

Donde Ke depende de la potencia y del numero de los polos del motor,pero como la potencia (parámetros de dimensionamiento)depende directamente del diámetro externo del estator (De) es que Ke=f(De,p).

Método DL

$$HP = 4.96.10^{-5}.EF.FP.S_1.\mathrm{D.L.}A_{cu}.J_1.\mathrm{KW.B_g}.n_s$$

Dónde.
$A_{CU} = K_u . A_{ranura.}$

$A_{CU} = Z_{u.} A_{cu.}$

$A_{CU}$ son el área de cobre neta por ranura ($mm^2$) y $K_{cu}$ es factor de utilización de ranura.
$S_1$: numero de ranuras estatoricas
Acu: área neta de los alambres en mano.
Corriente nominal de línea (de placa $I_L = \frac{KW}{\sqrt{3}.V_L.FP.EF})A$

2. PARAMETROS MAGNETICOS.-las fuerzas magnéticas resultante están desfasados en $120^0$ en el espacio y la componente fundamental de estas ondas periódicas pueden expresarse como ondas sinuosoidales.la ecuación de f.e.m inducida por fase (ley de fardada) en los devanados se deduce que:

$$Ef = 4.44.\mathrm{F.N_1}.K_W.\emptyset_P$$

Dónde.
Ef=f.e.m inducida por fase en voltios.
$N_1$=#de vueltas en serie de la fase.
$\emptyset_p$=flujo por polo.
D=diámetros interno del estator (m)
$B_g$=Inducción magnética en el entrehierro (tesla)
$V_f$=tensión de fase en voltios.
F=Frecuencia (Hz)
$K_W$=factor de bobinado.
$A_P$=Área por polo.
L=longitud. Paquete magnético. (m)
P=# de polos.

$$\emptyset_p = B_g.A_P = B_g(\frac{\pi.D.L}{P})$$

$$B_{g\ max} = (\frac{\pi}{2})B_g$$

3. INDUCCION EN EL ENTRE HIERRO ($B_{Gmax}$)

$$B_{G\ max} = \frac{0.38.P.V_L.a}{D.L.F.Z_1.S_1.K_W}(Tesla) \qquad (4)$$

Dónde.
$S_1$:#de ranuras en el estator.
A: factor de conexión.
$Z_1$:#total de conductores por ranura.
Los motores asíncronos se fabrican con: $0.6<B_{GMAX}<1.0$ tesla
El número total de conductores por ranura "$Z_1$" de un motor puede ser estimado suponiendo $B_{GMAX}$=0.8 tesla y reemplazando este valor en la ecuación (4)

| Tabla 1.- Factor de conexión "a". | | |
|---|---|---|
| Conexión del bobinado | Símbolo | "a" |
| 01 estrella serie | Y | 1 |
| 02 estrellas paralelo | YY | 2 |
| 03 estrellas paralelo | YYY | 3 |
| 01 triángulo serie | Δ | √3 |
| 02 triángulos paralelo | ΔΔ | 2√3 |
| 03 triángulos paralelo | ΔΔΔ | 3√3 |

Conociendo el flujo máximo por polo de la maquina podemos encontrar las inducciones en el diente y corona.

4. INDUCCION EN EL DIENTE ($B_{D\ Max}$)

$$B_{D\ max} = \frac{\pi.D.B_{g\ max}}{T_1.S_1.0.95} \quad (Tesla) \quad (5)$$

Dónde.
$T_1$: ancho del diente (m)
El factor de apilamiento es 0.95
Experimentalmente se ha encontrado que los valores permisibles de las inducciones en diente son: $1.5<B_{D\ MAX}<1.9$ tesla.

5. INDUCCION EN LA CORONA ($B_{C\ Max}$)

$$B_{C\ max} = \frac{D.B_{g\ max}}{C_1.P.\ 0.95} \quad (Tesla) \quad (6)$$

Dónde.
$C_1$: ancho del diente (m)
Los fabricantes de maquinas rotativas recomiendan utilizar las siguientes inducciones en la corona. $1.5<B_{c\ MAX}<1.8$ tesla.
Experimentalmente se ha encontrado que las inducciones máximas permisibles en motores eléctricos, dependiendo del material ferro magnético estatorico (por ejemplo si se usa acero H23 al silicio) son los siguientes:

| Tabla 2.- Inducciones máximas de la máquina. | | |
|---|---|---|
| Inducción | Acero al silicio | Acero al carbono |
| Bd max | 1.9 Tesla | 1.6 Tesla |
| Bc max | 1.8 Tesla | 1.4 Tesla |
| Bg max | 1.0 Tesla | 0.6 Tesla |

6. PARAMETROS TERMICOS.-los parámetros térmicos nos dan la información sobre el calentamiento de los bobinados y por ende del motor.

$$Q = JA$$

**DENSIDAD DE CORRIENTE (J)**

$$J = \frac{I_L}{a.S_{CU}} \quad A/mm^2$$

| Tabla 3.- Densidad de corriente (J) | |
|---|---|
| Clase de Aislamiento | Densidad de corriente (J) Amp./mm$^2$ |
| B | 2 ... 4 |
| F | 4 ... 6 |
| H | 5 ... 9 |

La densidad de corriente debe elegirse teniendo en cuenta la selección de la clase de aislamiento a usarse. Experimentalmente se tienen los resultados de la tabla.

| Tabla 4.- Intervalos de los parámetros térmicos | |
|---|---|
| Intervalos de Q | Clase de aislamiento |
| 1000 ... 1500 | B (130° C.) |
| 1500 ... 1800 | F (155° C.) |
| 1800 ... 2250 | H (180° c.) |

**DENSIDAD LINEAL DE CORRIENTE (A).-la** corriente distribuida en todo el entrehierro es igual a (IC.S1.Z1), siendo $I_C = \frac{I_L}{a}$ y si a esta magnitud la dividimos entre la longitud del entrehierro $\pi D$ tendremos el concepto de densidad lineal.

$$A = \frac{I_L S_1 Z_1}{a\,.\pi.\,D} \qquad (\,A\ /\ cm\,)$$

D: Diámetro interno del estator en cm.
$s_{cu} = seccion\ neta\ (util) del\ cobre\ en\ mm^2$
Cada uno de estos parámetros aisladamente tiene una influencia sobre las características electromagnéticas de la maquina. Pero el producto de ambos ejerce efecto decisivo sobre el calentamiento de los bobinados, tomandose como un índice seguro de la sobre elevación de temperatura.
Los valores recomendables de Q constituyen una información para la previsión del calentamiento, siendo estos datos enteramente empíricos (producto de la experiencia) Y suelen ubicarse en la tabla n$^o$4.

7. CAMBIOS DE TENSION, FRECUENCIA Y POLARIDAD.

**Cambio de la tensión nominal del motor.-**se considera que no se altera el tipo de bobinado, por tanto, las características del mismo seguirán siendo las mismas. Solo se cambiara el numero de vueltas por bobinado $Z_1(\#\ de\ conductores\ por\ ranura\ nueva)$, y la sección del alambre en mano $A^I_{CU}$, en este caso aplicar las siguientes relaciones.

$$Z^I_1 = Z_1 \frac{V^I_L}{V_L} \qquad Y \qquad A^I_{CU} = A_{CU} \frac{Z_1}{Z^I_1}$$

Dónde.
$Z_1$:#total de vueltas en la ranura antigua.
$Z^I_1$#Total de vueltas en la ranura nueva.
$V_L$: tensión de la red antigua en voltios.
$V^I_L$:Tension de la red nueva en voltios.
$A_{CU}$: área de cu neto antigua en mm$^2$.
$A^I_{CU}$:Area de cu neto nueva en mm$^2$
Encontrados los nuevos parámetros chequear la potencia del motor (no debe variar)

**Cambio de frecuencia de la red.-**en este caso la tensión de la red y el tipo de bobinado seguirán los mismos (manteniendo constante los parámetros magnéticos y densidad de corriente).al cambiar la frecuencia se debe cumplir.

$$HP^I = HP\frac{F}{F^I} \qquad S_1^I = S_1\frac{F}{F^I} \qquad A_{CU}^I = A_{CU}\frac{F^I}{F}$$

HP: potencia en el eje antiguo.
F: Frecuencia de la red antigua.
$HP^I$: potencia en el eje nuevo.
$F^I$: frecuencia de la red nueva.

**Cambiando la polaridad del motor.-** si por algún motivo se cambia la velocidad del motor y se mantiene constante la tensión, frecuencia, y tipo de bobinado, entonces, seguir los siguientes pasos.

a) Utilizando los métodos de dimensionamiento, calcular la nueva potencia de la maquina.
b) Por el diseño antiguo del entrehierro, se recomienda hacer este cambio cuando los $RPM^I$ deseados sean menor que los RPM ya establecidos ($RPM^I$> RPM).
c) Con esta nueva polaridad verificar los parámetros magnéticos, especialmente las inducciones en los dientes y corona de la maquina.
d) Verificar la compatibilidad de ranuras del estator (s1) y del rotor (s2) con la nueva polaridad.
   Si todos estos pasos se han cumplido, proceder al cálculo de los demás parámetros que permitan la realización completa de la reparación. Finalmente verificar la nueva potencia nominal utilizada:

$$HP^I = \left(\frac{J_1^I}{J_1}\right)\left(\frac{KW^I}{KW}\right)\left(\frac{B_d^i}{B_d}\right)HP$$

$J_1^I\ y\ J_1\ densidad\ de\ corriente\ nueva\ y\ antigua$
$KW^I\ y\ KW\ factor\ de\ bobinado\ nuevo\ y\ antiguo.$
$B_d^I\ y\ B_d\ inducciones\ en\ el\ diente\ nuevo\ y\ antiguo$
$HP^I\ y\ HP\ potencia\ nueva\ y\ antigua$