



UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI

**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

TESIS:
PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:
INGENIERO ELECTRICO

**"CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA UNIVERSAL
DE INDUCCION DE LABORATORIO PARA PRUEBAS
DE MOTORES CON 2, 4 Y 6 POLOS".**

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. KLEBER CORONEL**

**AUTOR:
VICTOR ZAVALA TIGUA
LEONARDO SANCHEZ DELGADO**

2012 – 2013
MANTA – MANABI – ECUADOR



“TEMA: CONTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA UNIVERSAL DE INDUCCIÓN DE LABORATORIO PARA PRUEBAS DE MOTORES CON 2, 4 Y 6 POLOS”.





TEMARIO DE TESIS.

1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA
2. OBJETIVOS
3. RESUMEN
4. SUMARIO DE LA TESIS
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
6. BIBLIOGRAFÍA



AGRADECIMIENTO:

A NUESTROS PADRES, YA QUE ELLOS NOS GUIARON EN LA SELECCIÓN DE ESTE TEMA Y AL PROFESOR DIRECTOR, POR LA AYUDA EN EL DESARROLLO DE ESTA TESIS.

VICTOR ZAVALA TIGUA



AGRADECIMIENTO:

A DIOS Y A MI FAMILIA QUE JAMAS DEJARON DE CONFIAR EN MI, PARA MI HIJA QUE ESTO SEA UN EJEMPLO DE SUPERACION

LEONARDO SANCHEZ DELGADO



CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo investigativo, fue realizado en su totalidad por el Egresado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Sr. Víctor Zavala Tigua y Sr. Leonardo Sánchez Delgado, como requerimiento parcial a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Eléctrico.

.....

Ing. Kléber Coronel Pineda, Mg. A.P.

DIRECTOR DE TESIS



DECLARATORIA DE AUTORIA DE TESIS

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a los autores, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado corresponderá a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí”

Egdo. Víctor Zavala Tigua

Egdo. Leonardo Sánchez D.

**III SUMARIO DE LA TESIS**

I.	CAPITULO 1: CONSTITUCION DE LA MAQUINA DE INDUCCION.	14
a.	PARTES DEL MOTOR	14
b.	ROTOR JAULA DE ARDILLA	15
c.	CARCASA	16
d.	ESCUDOS	17
e.	EJES	18
II.	CAPITULO 2: MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO	19
a.	INTRODUCCION	19
b.	CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES POLIFASICOS DE INDUCCION	20
c.	MOTORES JAULA DE ARDILLA	20
d.	APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE INDUCCION	21
e.	MOTORES JAULA DE ARDILLA DE VELOCIDADES MULTIPLES	21
f.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN	21
III.	CAPITULO 3: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN	24
a.	CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION	25
b.	CAMPO ALTERNO Y CAMPO GIRATORIO	26
c.	DESLIZAMIENTO Y FRECUENCIA DEL ROTOR	27
d.	FRECUENCIA DEL ROTOR	28
e.	FUNCIONAMIENTO COMO TRANSFORMADOR	30
f.	PAR MOTOR	30
g.	PAR DE GIRO	31
h.	DIAGRAMA DEL MOTOR TRIFASICO	33
IV.	CAPITULO 4: ARROLLAMIENTO DE CORRIENTE ALTERNA	34
a.	F.E.M. DE ARROLLAMIENTOS DE C.A.	34
b.	CAMPO MAGNÉTICO EN EL ENTREHIERRO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS	35
c.	F.M.M. Y CAMPO MAGNÉTICO EN EL ENTREHIERRO	36
d.	EJEMPLOS DE ARROLLAMIENTOS TRIFÁSICO	39
e.	DIAGRAMA VECTORIAL DEL CAMPO GIRATORIO DE UN ARROLLAMIENTO TRIFÁSICO	40



V.	CAPITULO 5: BOBINADOS DE CORRIENTE ALTERNA	41
a.	GENERALIDADES	41
b.	SECCION DE DEVANADOS	41
c.	FACTOR DE DISTRIBUCION DE DEVANADO	41
d.	FACTOR DE PASO	42
e.	BOBINAS PARA UNA VELOCIDAD	42
f.	DEVANADOS CONCÉNTRICOS	44
g.	CALCULO DEL DEVANADO	46
h.	DIAGRAMA DE DEVANADOS CONCENTRICO A UNA VELOCIDAD CON ENTRADAS Y SALIDAS DE CADA BOBINA	48
i.	BOBINAS PARA DOS VELOCIDADES, DEVANADOS INDEPENDIENTES	48
j.	BOBINAS PARA DOS VELOCIDADES, CONEXIÓN DAHLANDER	49
k.	DEVANADOS EXCENRICOS	50
l.	CALCULO DE DEVANADOS	50
m.	CALCULO DEL DAVANADO CON DOS VELOCIDADES	51
n.	DIAGRAMA DE DEVANADO IMBRICADOS DE 2 CAPAS DOS VELOCIDADES CON ENTRADAS Y SALIDAS DE CADA BOBINA	53
o.	MOTORES TRIFÁSICOS DE POLOS CONMUTABLES CON VARIAS DEVANADOS	53
VI.	CAPITULO 6: CONSTRUCCION DE BOBINADO DEL MOTOR	55
a.	PROCESO PARA EL BOBINADO DEL MOTOR	55
b.	TOMA DE DATOS	55
c.	LIMPIEZA DE LAS RANURAS DEL MOTOR	55
d.	AISLAMIENTO DE LAS RANURAS	56
e.	MATERIALES AISLANTES	58
f.	COLOCACION DE AISLANTES EN LAS RANURAS	59
g.	CONDUCTORES PARA BOBINA	60
h.	CONFECCIONES PARA LAS BOBINA	61
i.	MARCADO DE LAS PUNTAS DE LAS BOBINAS	64
j.	COLOCACION DE LAS BOBINAS IMBRICADO	65
k.	CONFECCION DE DEVANADO CONCENTRICO	67
l.	COLOCACION DE LAS BOBINAS CONCENTRICAS	70
VII.	CAPITULO 7: CALCULO Y DIAGRAMAS , CONEXIONES FUNDAMENTALES DE LAS BOBINAS	72
a.	CONEXIÓN ESTRELLA	73
b.	CONEXIÓN TRIANGULO	79
c.	CONEXIÓN EN PARALELO	80
d.	MOTORES 3Ø PARA DOS O MAS VELOCIDADES	82



	DE REGIMEN	
e.	CONEXIÓN CORTAS Y CONEXIONES LARGAS	84
VIII.	CAPITULO 8: MONTAJE DEL MOTOR Y EL TABLERO DE CONEXIONES DEL BOBNADO.	86
a.	TABLERO GRANDE DE CONEXIONES	87
b.	TABLERO PEQUEÑO DE CONEXIONES DE BOBINA	89
IX.	CAPITULO 9: TABLERO DE CONTROL DEL MOTOR DAHLANDER.	94
a.	ARRANQUE DEL MOTOR DAHLANDER	94
b.	TABLERO PEQUEÑO DE CONEXIONES DE BOBINA	94
c.	DIGRAMA DE CONTROL	99
d.	DIAGRAMA DE FUERZA	100
e.	CONEXIONES	103
X.	CAPITULO 10: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	107
XI.	CAPITULO 11: BIBLIOGRAFIA	108



JUSTIFICACION DEL TEMA

En el presente trabajo se tratará del estudio de un motor de inducción y de sus bobinas de velocidad. Inicialmente se analizarán dos puntos importantes los cuales son: funcionamiento y sus características principales.

Una de sus partes principales es el estator, el cual es el elemento que aloja los devanados de cobre donde se crea el campo magnético y la otra parte es el rotor, que está hecho de una masa sólida unido entre aluminio y barras de cobre, que está alojado en el interior del estator, donde debido al campo magnético presente alcanza velocidades preestablecidas.

Se analizarán los arrollamientos, los cuales se utilizan en todos los motores, sus campos magnéticos y conceptos.

Siendo éste un trabajo práctico, enseña la operación de los bobinados de los motores, mediante el cual los estudiantes de nuestra escuela, comprenderán su funcionamiento y podrán realizar las labores de rebobinaje.

El devanado o arrollamiento inducido es el principal devanado conductor de la corriente. Existen varios tipos de devanados de corriente alterna, cuya variación radica principalmente en su geometría y en su forma de conexión, los más comunes son el: imbricado y el concéntrico.

Se conocerán los procesos para el rebobinado en el devanado imbricado y concéntrico, se verán los conceptos, reglas y fórmulas para su aplicación; los diagramas de conexión de los polos y de las líneas, cómo se ubican las bobinas en el estator, los materiales a usar y el acabado del proceso.



OBJETIVOS

- Conocer un motor de inducción y sus partes importantes.
- Conocer los conceptos de arrollamientos y los efectos internos de cada motor como sus campos magnéticos
- Enseñar la operación de los bobinados de los motores, para comprender su funcionamiento y que puedan realizar las labores de rebobinado.
- Conocer los varios tipos de devanados de corriente alterna, siendo los más comunes son los del tipo imbricado y el concéntrico.



INTRODUCCION

Los motores eléctricos desempeñan un papel muy importante, pues nos proporcionan potencia para distintos tipos de aplicaciones, como son las domésticas, comerciales e industriales.

En el desarrollo del trabajo vamos a ver los componentes internos de un motor de inducción y debido a la carencia de teoría sobre el motor Dahlander, se ha creído conveniente realizar un trabajo práctico, el mismo que una vez instalado en el laboratorio de máquinas eléctricas de nuestra unidad académica, contribuirá en el proceso del aprendizaje de los futuros ingenieros eléctricos.

Este trabajo, además de ser un aporte didáctico para nuestro laboratorio, ayudará a despejar dudas y a conocer diversos tipos de bobinados, de conexiones, especialmente de aquellos motores de corriente alterna denominados “de inducción”, que son muy convenientes en aplicaciones para el cambio de velocidades.

Esperamos que este trabajo práctico, cuyo tema se lo ha denominado “Construcción de una Máquina Universal de Inducción de Laboratorio para pruebas de motores de 2-4-6-8 polos”, cumpla un papel importante y ayude a mejorar el desenvolvimiento del estudiante en las prácticas de mismo.



CAPITULO I

1.1 CONSTITUCION DE LA MAQUINA DE INDUCCION.

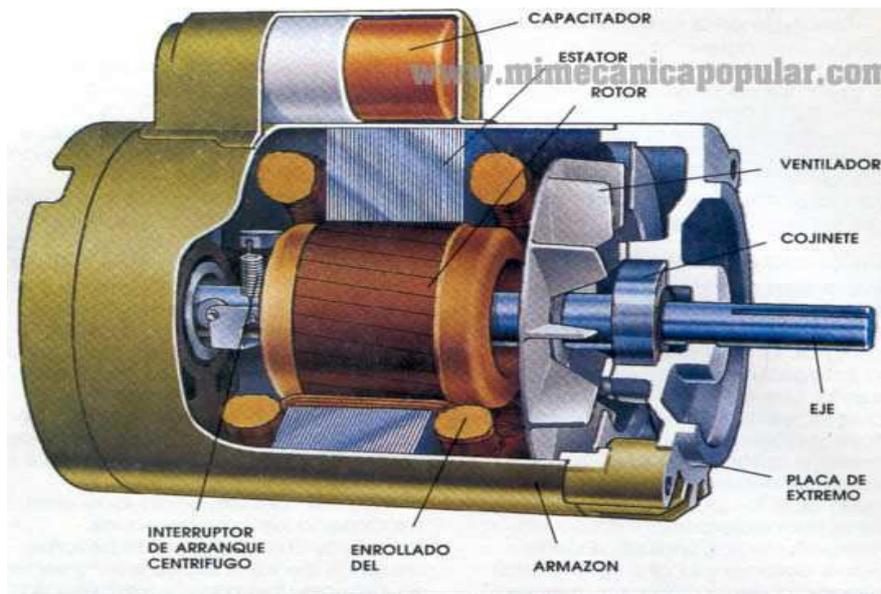


Figura1. Partes del motor

Los motores están constituidos de dos partes principales:

Una parte fija que es externa en forma de cilindro conocida como Estator y la otra parte que es la giratoria y conocida como el Rotor, además de otras partes que también lo constituyen como la carcasa, los escudos y el eje.

1.1.1 Estator.

Es la parte fija del motor. Como se puede observar, el estator posee numerosas ranuras que es donde va alojado el bobinado estatórico. Para la fabricación de los motores se utiliza estatores de 24 y 36 ranuras, dependiendo del motor en cuestión que se vaya a construir, el estator es de chapas delgadas del orden de 0,5 milímetros de espesor y a la vez van soldadas entre si y el material es de acero al silicio y están aisladas entre ellas por oxidación mediante barnices aislantes.

Hemos seleccionado este estator por el tipo de ranura que es bien profundo y ancho y de esa manera, se pueden colocar los devanados de manera fácil en las ranuras. En las



ranuras es donde se colocan los arrollamientos estáticos destinados a producir el campo giratorio.

La forma y presentación del estator es la que se ilustra en la figura siguiente:



Figura2. Estator

1.1.2 Rotor jaula de ardilla

La diferencia con el motor de rotor bobinado consiste en que el rotor de éste está formado por un grupo de barras de aluminio o de cobre en forma similar al de una jaula de ardilla.

Los conductores longitudinales de jaula de ardilla son de cobre y van soldados a las piezas terminales de tipo metálico. Cada conductor forma una espira con el conductor opuesto conectado por las dos piezas circulares de los extremos.

Cuando este rotor está entre dos polos de campo electromagnético que han sido magnetizados por una corriente alterna, se induce una f.e.m. en las espiras de la jaula de ardilla, una corriente muy grande las recorre y se produce un fuerte campo que contrarresta al que ha producido la corriente.

Una representación del mismo se ve a continuación en la



Figura3. Rotor jaula de ardilla

1.1.3 Carcasa.

La carcasa del motor de inducción constituye el medio de soporte mecánico del estator, tiene la forma cilíndrica, la carcasa soporta también a las tapas. La carcasa debe ser fuerte y rígida ya que es el medio de soporte del motor y se provee de “costillas” para aumentar el área de disipación de calor.





Figura4. Carcasa del motor

1.1.4 Escudos.

Los escudos también llamadas placas terminales. Los escudos están fijados a la carcasa del estator por medio de tornillos o pernos y su misión principal es mantener el eje del rotor en posición invariable. Cada escudo tiene un orificio central previsto para alojar el rodamiento de una medida específica, sea de bola o de deslizamiento, donde descansa el extremo correspondiente del eje rotórico, elementos que reciben el nombre de cojinetes.

Los dos cojinetes cumplen la importante función de sostener el peso del rotor, manteniéndolo a éste exactamente centrado en el interior del estator, permitiendo el giro del rotor con la mínima fricción; es decir, evitan que el motor llegue a rozar con el estator.



Figura5. Escudos del motor



1.1.5 Eje.

Se fabrica normalmente corto y delgado de manera que el rotor no tenga ninguna deflexión significativa, ya que las deflexiones pueden crear irregularidades en el entrehierro, lo que puede conducir a un “jalón” magnético desbalanceado, creando la posibilidad de que el rotor y el estator tengan rozamiento uno con otro.





CAPITULO 2

2.1 MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO

Introducción

El motor de inducción tiene su principal aplicación en la industria. En la actualidad se puede decir que más del 80% de los motores eléctricos utilizados en la industria son de este tipo, trabajando en general a velocidades prácticamente constantes.

Un motor de inducción trifásico está esquemáticamente constituido por la parte fija que está formada por tres devanados, los cuales están dispuestos entre sí 120° . En la parte interna al centro de los devanados, se encuentra situado el rotor, el mismo que está constituido por un circuito eléctrico cerrado por sí mismo.

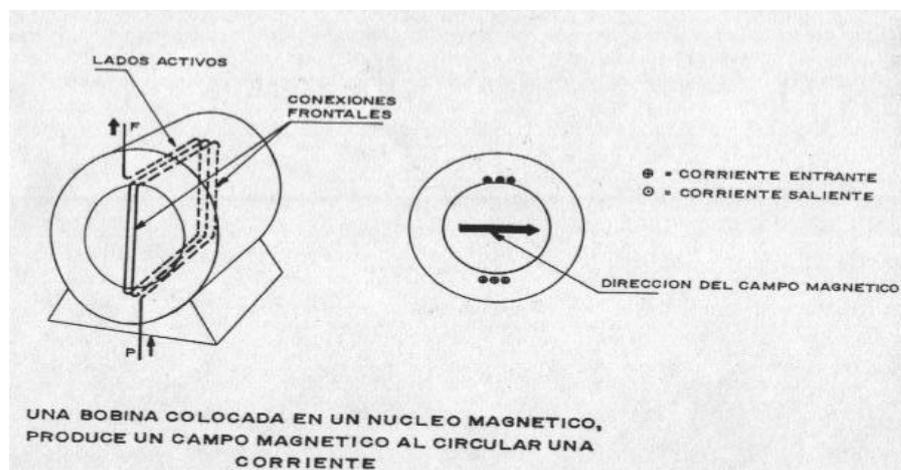


Figura6. Campo magnético

En la figura se tiene un campo magnético donde está colocado un devanado o bobina que tiene un principio (p) y un final (f). Esta bobina indicará el sentido de la dirección del campo magnético; es claro que si se invierte el sentido de la corriente, cada medio periodo se invierte también la dirección del campo magnético.

La combinación de los campos pulsantes producidos por las tres corrientes desfasadas temporalmente, circulando por las tres bobinas desfasadas especialmente, se traduce en un campo magnético distribuido senoidalmente en el espacio, que rota a la velocidad de variación de las corrientes en el tiempo.



2.2 CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES POLIFASICOS DE INDUCCION.

Todos los motores polifásicos de inducción se pueden clasificar como jaula de ardilla o de rotor devanado y pueden ser del tipo de una velocidad o de velocidades múltiples.

La NEMA (National Electrical Manufacturers Association), clasifica además a los motores de jaula de ardilla, respecto a las curvas par-velocidad, como de los diseños A, B, C y D por las designaciones del código, desde A hasta V, respecto a los KVA/H con rotor bloqueado. Para todos los motores de inducción, los aumentos permisibles en la temperatura y los sistemas de aislamiento se designan por la clase A, B, F y H

2.3 MOTORES JAULA DE ARDILLA

Todas las categorías de diseños de motores de inducción con número entero de caballos de potencia, soportan los esfuerzos magnéticos y los pares con rotor bloqueado del arranque a pleno voltaje de línea. En las figuras se muestran las curvas de par-velocidad y corriente-velocidad para motores jaula de ardilla de los diseños A, B, C y D. Los motores de diseño B se usan más a menudo; éstos tienen características de par de arranque de líneas adecuadas para la mayor parte de los sistemas de potencia.

Los motores de los diseños C y D tienen un par más alto que los de diseño de clases A y B. Para los motores de todos los diseños, los porcentajes de los pares tienden a decaer al aumentar la capacidad nominal en HP, a continuación se hablara de ciertos tipos de motores:

2.3.1 Motores Tipo A

Los motores del diseño A están diseñados para los mismos pares con rotor bloqueado y deslizamiento que los diseños B, pero también pares de falla y corrientes con rotor bloqueado más alto.

Estos motores resultan adecuados para cargar un par de arranque del 40% al 70%, par de aceleración del 20% al 50% y par pico del 130% al 175% del par nominal, en donde los arranques y detenciones no son frecuentes. Es posible que se requiera arranque a voltaje reducido debido a la elevada corriente con rotor bloqueado.

2.3.2 Motores Tipos B



Los motores de diseños B suelen arrancarse en línea a pleno voltaje. Estos motores se pueden acelerar hasta elevarlos a plena velocidad, con cualquier carga que puedan arrancar. Este tipo de motores son adecuados para cargar con par de arranque menor del 50 %, par de aceleración menor del 50% y par de pico menor de 25%; el bajo deslizamiento excluye las cargas de pulsación del par. También son adecuados para la operación de carga estable continuos con arranques y paradas no frecuentes.

2.3.4 Motores Tipo D

Los motores de la clase D están diseñados para arrancar a pleno voltaje y desarrollar pares con rotor bloqueado del 275% del par nominal. Las corrientes con rotor bloqueado son las mismas que para el diseño B. Estos motores tienen más del 5% de deslizamiento con el par nominal y están diseñados para cargas que se aplican y eliminan con frecuencia. Estos se dividen en grupos del 5% al 8% de deslizamiento.

2.4 APLICACIÓN DE LOS MOTORES DE INDUCCION

Un motor de inducción se debe relacionar para satisfacer las necesidades de arranque y operación de la carga, las restricciones de las condiciones del medio ambiente y de la línea de alimentación el ciclo de trabajo, con el tamaño, capacidad nominal en caballos y costos mínimos. Siempre se pueden seleccionar motores con un tamaño mayor que el necesario pero a expensas de la corriente de arranque, el factor de potencia en generación y en costo.

2.5 MOTORES JAULA DE ARDILLA DE VELOCIDADES MULTIPLES

Los motores jaula de ardilla de velocidades múltiples pueden ser del tipo devanado sencillo o de dos devanados. Los primeros tienen un devanado del estator que se pueda conectar para suministrar una de dos velocidades, las cuales se encuentran en la razón 2:1. El método de conexión debe ser proporcionado por el fabricante del controlador. La armazón del motor de devanado sencillo de dos velocidades suele ser el mismo que el del motor de una sola velocidad. El motor de dos velocidades tiene dos devanados separados del estator, como es el caso del motor que presentamos en nuestro tablero, los



cuales se pueden bobinar para cualquier número de polos, de modo que se puedan obtener dos velocidades. Los devanados del estator, se pueden disponer para ser conectados, como en un motor de un solo devanado, lo que da un total de tres o cuatro velocidades, pero las dos velocidades que se obtienen con un solo devanado deben estar a razón de 2:1.

Los motores de velocidades múltiples se diseñan como:

1. Motores de par variables
2. Motores de par constantes
3. Motores de caballaje constante.

En la figura se muestra el par nominal en cuatro puntos de velocidades.

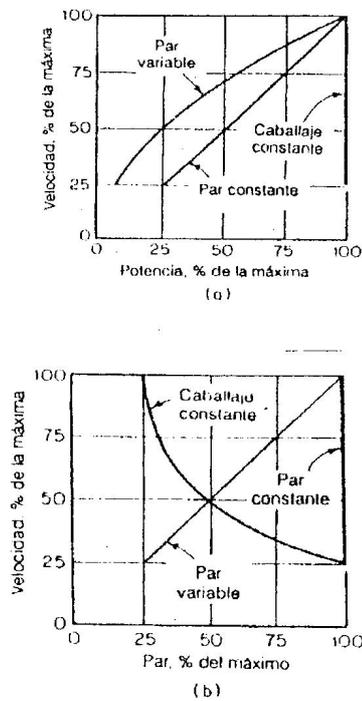


Figura7. Gráfico de los cuatro puntos de velocidad

Los motores de par variable tienen 1200/600 r.p.m. y se utilizan como cargas, como bombas y ventiladores centrífugos en los que la necesidad de potencia en HP disminuye con mayor rapidez que el cuadrado de la reducción en la velocidad. Los motores de par constante tienen caballos de potencia nominales en cada velocidad directamente proporcionales a esta última; por ejemplo, 20/10 HP y 1200/600 r.p.m., se emplean en transportadoras, compresores recíprocos, prensas para imprimir y otras cargas de “par constante”. Los motores de caballaje constante tienen la misma potencia nominal a



todas las velocidades; se usan principalmente en máquinas herramientas, como son los tornos, mandriladoras, depiladoras y taladros radiales.



CAPITULO 3

3.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

El motor de inducción es el motor de corriente alterna más utilizado, debido a su fortaleza y sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo costo, así como a la ausencia de colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante. El motor de inducción no necesita escobillas ni colector. Su armadura es de placas de metal magnetizable. El sentido alterno de circulación de la corriente en las espiras del estator, genera un campo magnético giratorio que arrastra las placas de metal magnetizable y las hace girar.

Se puede sintetizar el principio del motor de inducción de la siguiente forma: se suspende un imán permanente de un hilo sobre una torna mesa de cobre o aluminio que gira en un cojinete colocado en una placa fija de hierro. El campo del imán permanente se completa así a través de la placa de hierro. El pivote debería estar relativamente sin fricción y el imán permanente debe tener la suficiente densidad de flujo. Cuando gira el imán en el hilo, se observará que el disco que está debajo gira con él, independientemente de la dirección de giro del imán.

El disco sigue el movimiento del imán, como se muestra en la figura, debido a las corrientes parásitas inducidas que se producen por el movimiento relativo de un conductor (el disco) y el campo magnético.

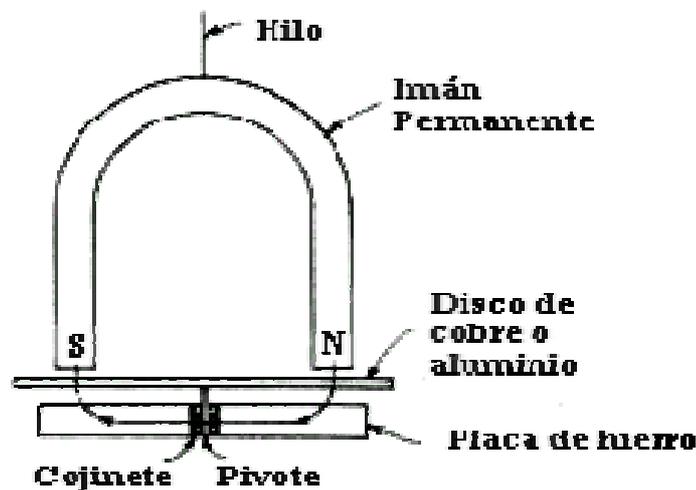


Figura10. Principio de motor de inducción

Las corrientes parásitas que se producen tienden a producir a su vez un polo S unitario en el disco en un punto bajo el polo N giratorio del imán y un polo N unitario en el



disco bajo el polo S giratorio del imán. Por lo tanto, siempre que el imán continúe moviéndose, continuará produciendo corrientes parásitas y polos de signo contrario en el disco que está abajo. El disco, por lo tanto, gira en la misma dirección que el imán, pero debe girar a velocidad menor que la del imán. Si el disco girara a la misma velocidad que la del imán, no habría movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético y no se producirían corrientes parásitas en el disco.

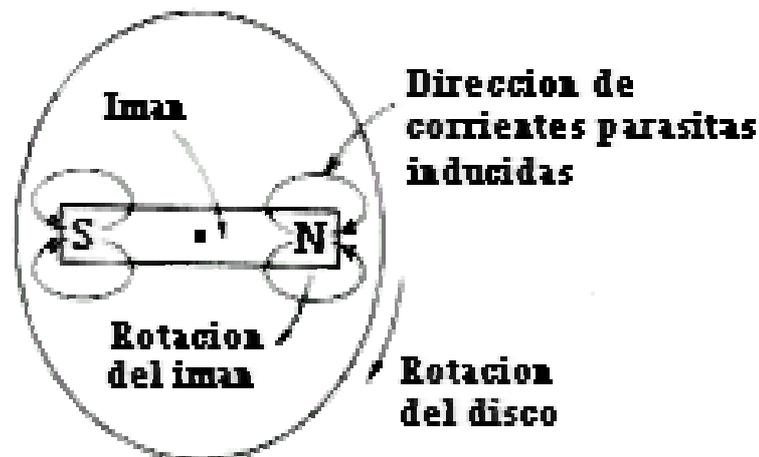


Figura 11. Corrientes parásitas

3.2 CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION.

El funcionamiento de un motor, en general, se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear, a partir de ellas, unas determinadas fuerzas de atracción y repulsión encargadas de actuar sobre un eje y generar un movimiento de rotación.

Los pares desarrollados al arranque y al valor del deslizamiento que produce el par máximo, superan (en el caso normal) al par aplicado a la carga. Por lo tanto, la velocidad del motor aumentará, hasta que el valor del deslizamiento sea tan pequeño que el par que se desarrolla se reduzca a un valor igual al par aplicado por la carga. El motor continuará trabajando a esta velocidad y valor de equilibrio del deslizamiento hasta que aumente o disminuya el par aplicado.

Se muestra la relación entre los pares de arranque, máximo y nominal a plena carga que desarrolla un motor de inducción, como función de la velocidad de éste y del



deslizamiento. Esta figura es presentación gráfica de la corriente y el par desarrollados en el rotor del motor como funciones del deslizamiento desde el instante del arranque (punto a) hasta la condición de funcionamiento en estado estable (en general entre marcha en vacío y marcha a plena carga - puntos c y d) cuando los pares desarrollado y aplicado son iguales.

Curva característica.

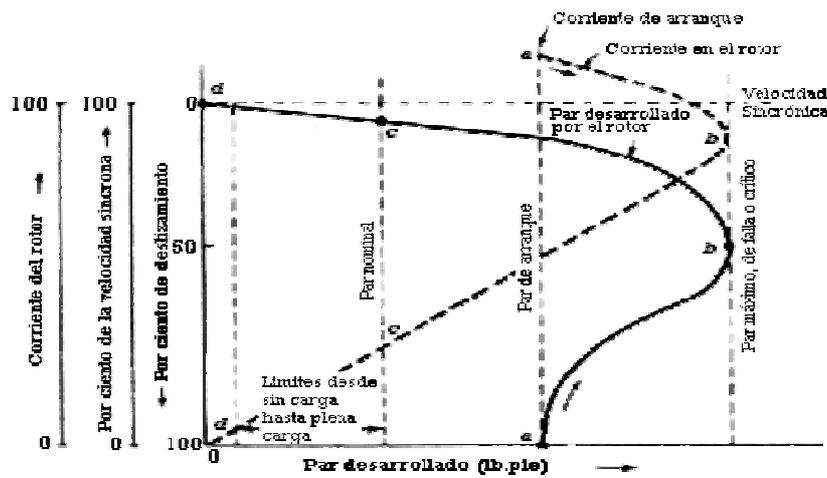


Figura12. Curvas de par desarrollado

3.3 CAMPO ALTERNO Y CAMPO GIRATORIO.

El campo magnético del motor asíncrono es también un campo giratorio. En el caso de un motor trifásico está generado por las tres corrientes desfasadas que circulan por el arrollamiento estático. Para que se genere el campo giratorio es preciso que los arrollamientos estén uniformemente repartidos en la periferia del estator, como lo están en el tiempo (es decir, en el orden de sucesión) las 3 corrientes de fase. En las máquinas bipolares, el ángulo entre bobinas correspondientes de cada fase deberá ser, por consiguiente, de 120° . Las 3 corrientes estáticas dan lugar a 3 campos alternos, también desfasados 120° entre sí, cuya resultante es un campo magnético giratorio. La dirección que posee este campo en un momento dado puede representarse por medio de una flecha.

El Permutando dos bornes de la red se invierte el sentido de giro del campo. El rotor se movería entonces en sentido contrario al de las agujas de un reloj.

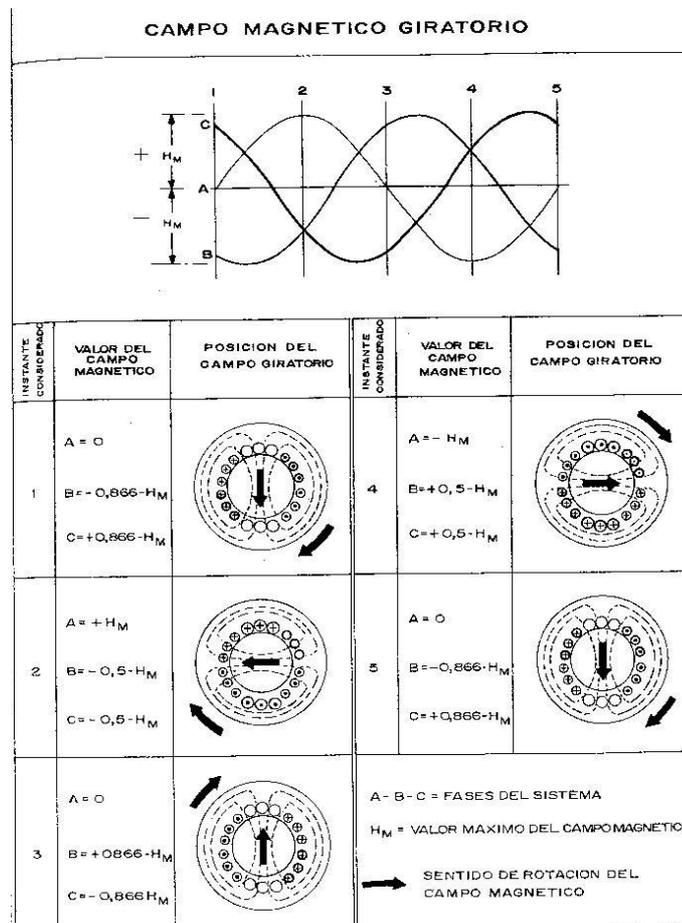


Figura13. Campo magnético giratorio

3.4 DESLIZAMIENTO Y FRECUENCIA DEL ROTOR.

Es conveniente observar de inmediato que la velocidad del rotor en un motor de inducción, no podría alcanzar jamás la velocidad síncrona, es decir la velocidad del campo giratorio en el estator. El rotor gira siempre a una velocidad próxima a la síncrona, pero no la alcanzará nunca. El adjetivo “síncrono” indica una acción que se presenta en el mismo momento y en el mismo lapso de tiempo.

La diferencia entre la velocidad síncrona N_s y la velocidad efectiva de rotación del rotor N se define como “el deslizamiento”. Este deslizamiento S se expresa como un porcentaje de la velocidad síncrona o bien como una fracción de la misma.

El deslizamiento porcentual es:



$$S\% = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100$$

N_s = velocidad síncrona
 N = velocidad del rotor

El deslizamiento expresado como una fracción de la velocidad síncrona es:

$$S = \frac{N_s - N}{N_s}$$

El deslizamiento aumenta al aumentar la carga; es decir, con el aumento del par resistente aplicado al motor. En vacío, el deslizamiento es mínimo, (casi despreciable) y a la potencia nominal, dependiendo de la potencia del motor, varía entre el 2% y el 7%. De hecho la velocidad del rotor no es rigurosamente constante con la carga y como no puede alcanzar la velocidad de sincronismo, se la denomina también a estos motores “asíncrona”. Debido a la poca variación en la velocidad, para ciertas aplicaciones prácticas, se considera como constante.

La velocidad síncrona se obtiene de la expresión:

$$N_s = 120f / p$$

N_s = Frecuencia de la fuente de alimentación
 N = Número de polos en el estator

3.5 FRECUENCIA DEL ROTOR.

En el momento que se alimenta el rotor, éste se encuentra aún parado, donde la frecuencia de la tensión inducida en el rotor es igual a la de la tensión de alimentación del estator. De hecho, los conductores del rotor son cortados una vez por cada rotación del campo magnético giratorio; es decir, una vuelta por cada periodo de la tensión de alimentación. En estas condiciones, el estator y el rotor se comportan exactamente como el primario y el secundario de un transformador. Pero en cuanto el rotor comienza a girar y a tomar velocidad, el número de revoluciones por segundo que el flujo del



estator corta a los conductores del rotor, disminuye hasta quedar en un valor muy pequeño. Precisamente este número, y por lo tanto, la frecuencia f_R del voltaje inducido en el rotor, es igual a la frecuencia de alimentación del estator, multiplicada por el deslizamiento:

$$f_R = S f$$

Por otra parte, hablando de transformadores, se ha mencionado que la tensión inducida es proporcional al valor máximo de flujo eslabonado y a la rapidez con que éste varía. En otras palabras, la fuerza electromotriz inducida es proporcional a la frecuencia y al número de espiras. En el caso específico del rotor, si se designa por f_R la frecuencia del rotor y con N_R el número de espiras del rotor, la tensión inducida en el rotor (E_R) se obtiene de la expresión:

$$E_R = 4.44 \phi f_R N_R$$

O bien, si en lugar de usar el número de espiras en el rotor, se usa el número de conductores: $N_C = N_R/2$, el voltaje inducido en el rotor se puede expresar como:

$$E_R = 2.22 \phi f_R N_C$$

Como se sabe que la frecuencia en el rotor es: $f_R = S f$, se observa que la tensión inducida en el rotor es también proporcional al deslizamiento. Cuando el rotor está parado $S = 1$, $E_R = 4.44 \phi f N_R$. Esto quiere decir que la tensión inducida es máxima cuando el rotor está parado y disminuye al aumentar la velocidad, hasta llegar a ser muy pequeña ya en funcionamiento normal.

Cuando el rotor está parado, el circuito del motor es equivalente al de un transformador trifásico con el secundario en corto circuito, de manera que la fuerza electromotriz o voltaje inducido por fase E_R por fase en el rotor, cuando está parado y en el instante del arranque es:

$$E_{RO} = E \times N_R/N$$

Donde:

E = voltaje aplicado por fase en el devanado del estator

N_R = numero de espiras por fase en el devanado del rotor

N = numero de espiras por fase en el devanado del estator

El voltaje en el rotor en operación es $E_R = s E_{RO}$



3.6 FUNCIONAMIENTO COMO TRANSFORMADOR.

La máquina de inducción en reposo, con el devanado estatórico conectado a la red trifásica y el devanado rotórico en cortocircuito, es equivalente a un transformador estático ordinario con el devanado en cortocircuito. Sin embargo, en el transformador ordinario, el campo magnético excitado por la f.m.m. resultante de los amperios-vueltas primarios y secundarios, es senoidal (alterna) de posición espacial fija, y no se manifiestan por tanto pares de giro, mientras que en la máquina de inducción, el campo magnético excitado también por la onda de f.m.m. resultante de los amperios-vueltas del rotor y estator, es de distribución bastante senoidal en el arco del entrehierro giratorio y como consecuencia en virtud de la ley de Lenz, las corrientes inducidas oponiéndose a la causa que las producen, engendran fuerzas electromagnéticas y pares que tienden a arrastrar al rotor en el mismo sentido en que gira el campo.

En segundo lugar, los devanados del transformador están constituidos por espiras arrolladas sobre los núcleos magnéticos, abarcando todas el mismo flujo, con una dispersión entre devanados muy reducida, mientras que en la máquina de inducción, los devanados del estator y del rotor se hallan distribuidos a lo largo de las coronas magnéticas ranuradas correspondientes, lo que hace que no todas las espiras abarquen el mismo flujo.

Otra particularidad de la máquina de inducción en reposo como transformador, es que no presenta el transformador estático de campo alternativo, es que así como en este último las f.e.m. inducidas en los primarios están en fase en el tiempo con las f.e.m. inducidas en los respectivos secundarios, en el transformador de campo giratorio es posible, desviando angularmente el rotor, variar la fase de las f.e.m. rotóricas respecto a las f.e.m. estatóricas, podremos pues utilizar también la máquina como transformador y como variador de fase.

3.7 PAR MOTOR.

Cuando las líneas del campo magnético cortan las barras del rotor, se produce en ellas una fuerza electromotriz que da lugar a corrientes que circulan en los sentidos opuestos (en los hilos más próximos a los polos); es decir, que se producen esas corrientes en hilo separados 180° . Estos hilos se ven sometidos a unas fuerzas que tienden a moverlos en dirección perpendicular al campo magnético y produciendo con ello el llamado par motor. En un motor eléctrico, el par M y la velocidad de giro n están relacionadas de tal forma que cuando la velocidad decrece el par aumenta.

El par en un motor de inducción se debe a la interacción de los campos del rotor y el estator y, por lo tanto, depende de la intensidad de los mismos y las relaciones de fase



entre ellos. De hecho el par es proporcional al flujo y a la corriente en el rotor. En la expresión matemática siguiente se puede ver que el valor del par de giro del motor viene dado por:

$$M = K \cdot \delta \cdot I_r$$

Siendo:

K = Constante.

δ = Flujo magnético del campo giratorio.

I_r = Intensidad de corriente del rotor.

Un motor de potencia excesiva da lugar a una mayor intensidad de corriente durante el arranque.

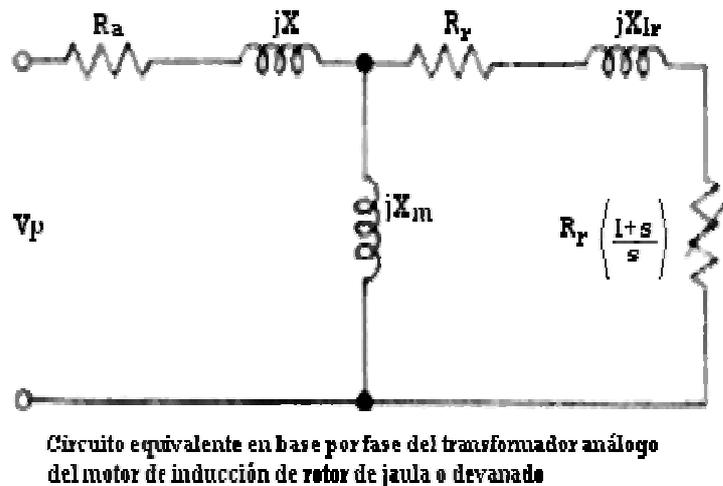


Figura 14. Circuito equivalente del motor como transformador

3.8 PAR DE GIRO

En los motores suelen indicarse la frecuencia de giro, que es el número de revoluciones del rotor en un tiempo determinado. Es frecuente tomar el tiempo transcurrido como un minuto.

Frecuencia de giro = N_0 . (Revoluciones / tiempo transcurrido).



Frecuencia = 1 ciclo / periodo

Frecuencia de giro = n dada en R.P.M.

$$N = 60s \times f / 1m$$

Se genera un momento de giro cuando una fuerza se aplica fuera del centro de giro de un cuerpo. El producto de fuerza F por un radio r del brazo de palanca se denomina par M de la fuerza.

Par símbolo: M

$$M = F \times r$$

$$[M] = N \times m$$

Cuando los pares de giro a la derecha y los de giro a la izquierda son iguales, la palanca se encuentra en equilibrio; o sea, en reposo. Si los dos pares son diferentes, la palanca debe girar en el sentido del par mayor. En las máquinas eléctricas rotativas, también se representan por pares.

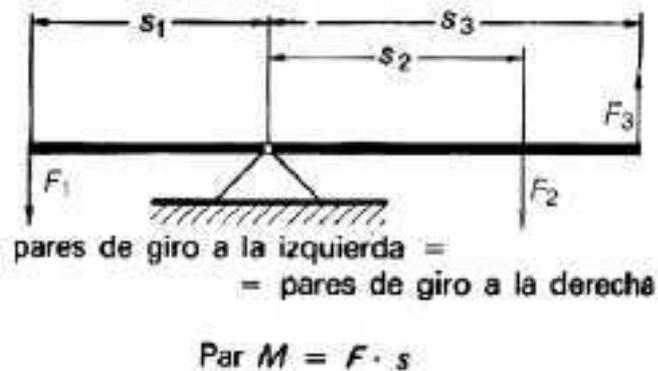


Figura 15. Pares de giro del motor



3.9 DIAGRAMA DEL MOTOR TRIFÁSICO.

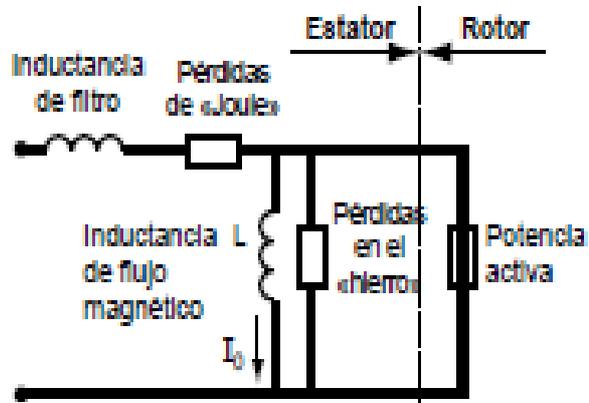


Figura 16. Motor

trifásico



CAPITULO 4

ARROLLAMIENTOS DE CORRIENTE ALTERNA

4.1 F.E.M. DE ARROLLAMIENTOS DE C.A.

Una fuerza electromotriz es inducida en un medio cuando se cambia el enlazamiento de flujo magnético asociado con el madio. Si el medio es un conductor de electricidad y forma una trayectoria cerrada, una corriente fluye en él debido a la f.e.m. inducida. La magnitud de la f.e.m. inducida es proporcional a la rapidez de cambio en el tiempo de los enlazamientos del flujo. La ley de Lenz nos ayuda a determinar el sentido de la f.e.m. inducida y, por lo tanto, el de la corriente. El sentido de la f.m.m. es tal que ocasiona el flujo y una corriente en trayectoria cerrada con una dirección tal que la corriente tiende a contrarrestar el cambio de los enlazamientos de flujo.

Ejemplo: Si las líneas de flujo están disminuyendo, entonces la corriente inducida circulará en el sentido de las manecillas del reloj, de modo que el flujo establecido por la corriente, tiende a cancelar la disminución del flujo original.

Se expresa por:

$$e(t) = \pm \frac{d(\phi N)}{dt} = \pm \frac{d\lambda}{dt}$$

Donde:

$e(t)$ es la f.e.m. inducida en voltios (MKS)

ϕ es el flujo inducido en webers (MKS)

N es el número de vueltas del conductor

λ son los enlazamientos del flujo en webers vueltas

t es el tiempo en segundos (MKS)

Si $e(t)$ es negativo, entonces $e(t)$ es considerado como una elevación de voltaje y se opone al voltaje aplicado en cada instante de tiempo. Si $e(t)$ es positivo, entonces $e(t)$ es considerado como una caída de voltaje.

La ecuación anterior puede ser escrita en otras formas diferentes:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_A \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot \vec{n} dA$$



En forma diferencial:

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{d\bar{B}}{dt}$$

4.2 CAMPO MAGNÉTICO EN EL ENTREHIERRO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

El campo magnético en el entrehierro de una maquina eléctrica, es el resultado de las f.m.m. combinadas de los devanados del inductor e inducido, que actúan en esa región. En principio es el devanado inductor el que produce el campo en el entrehierro, creando f.e.m. en el devanado del inducido, que da lugar a las corrientes cuando se cierra el circuito por un sistema exterior. Al circular una intensidad por el devanado del inducido, se crea una f.m.m. del inductor que origina, de acuerdo con la ley de Ampere, el campo magnético resultante en el entrehierro de la máquina. Teniendo en cuenta además, que de acuerdo a la ley de Faraday, la f.e.m. inducida es función de la inducción, se podrá comprender la importancia de la distribución del campo magnético en la forma de onda de la f.e.m. Cuando estos devanados están recorridos por corrientes, se genera un campo magnético total que se puede descomponer en dos partes:

- a. El campo magnético común, también denominado principal o magnetizante, es el que transmite energía entre los dos órganos de la máquina y sus líneas de inducción recorren la totalidad del circuito magnético común de la máquina.
- b. El campo de dispersión, también denominado de fugas, que incluye el resto de las líneas de inducción. Se denomina flujo por polo al flujo debido al campo magnético en el entrehierro que atraviesa a una espira de paso diametral colocada en la posición donde dicho flujo es máximo.

En la figura se muestra la líneas de campo magnético que atraviesan el entrehierro originadas por una fase de un devanado en una máquina de entrehierro uniforme.

En esta figura se observa que las líneas de este campo magnético, cortan al entrehierro dos veces en dos posiciones simétricas con respecto al eje de simetría de la distribución de corriente de la fase, el cual denominaremos eje de devanado. A 90° eléctricos de este eje, se encuentra el eje de simetría de la distribución en el entrehierro de las líneas de campo magnético creado por esta fase, el cual denominaremos eje magnético. Como el reparto de corriente y el campo magnético se repiten idénticamente en cada par de polos de la máquina, cada uno de estos pares de polos tiene sus respectivos ejes de devanado y magnético, desfasados entre sí 90° eléctricos.

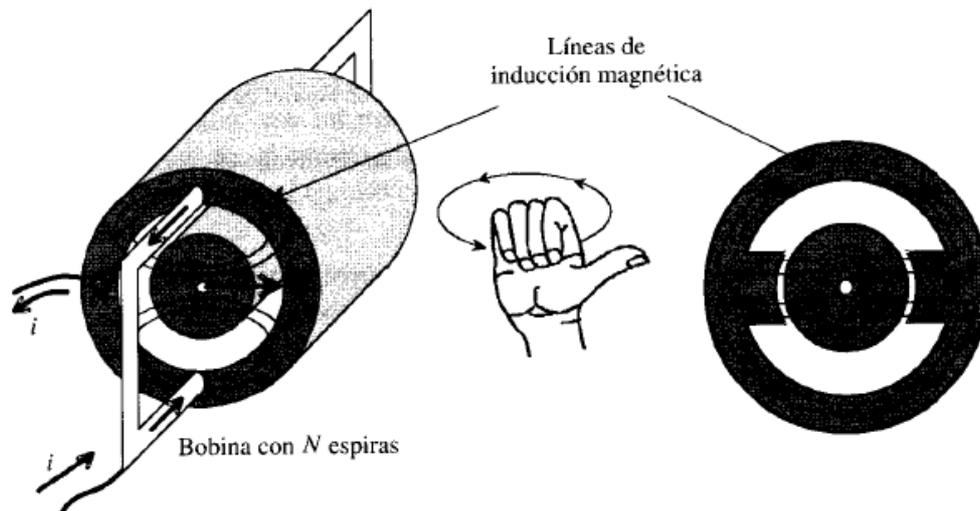


Figura17. Líneas de campo magnético

4.3 F.M.M. Y CAMPO MAGNÉTICO EN EL ENTREHIERRO.

En las máquinas eléctricas, las bobinas se distribuyen en ranuras de tal manera que producen una cierta distribución espacial de fuerza magnetomotriz en el entrehierro. Por ejemplo, en la figura se muestra las bobinas de una fase alojadas en las ranuras del estator. Estas se interconectan entre ellas de modo que al circular corrientes, se generan distribuciones de fuerza magnetomotriz que al sumarlas producen una resultante de fase considerada.

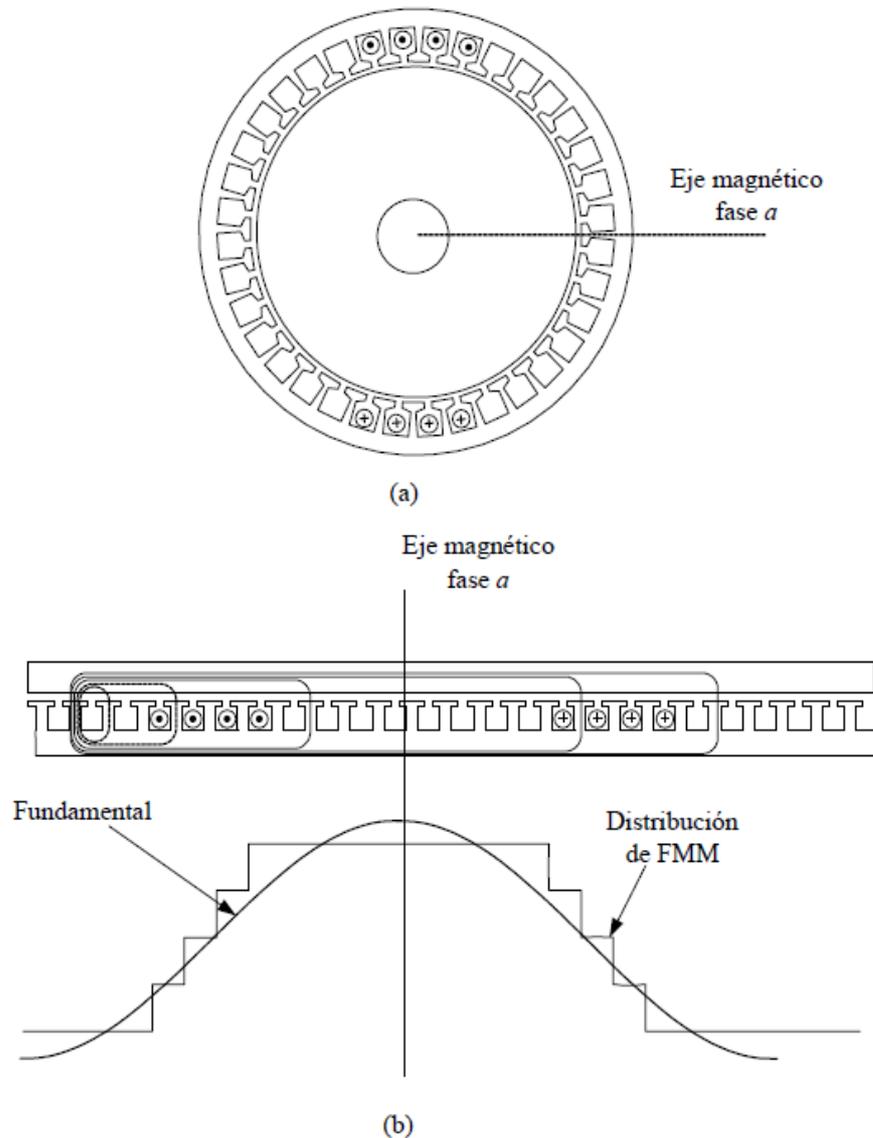


Figura18. Bobinas de fase alojadas en la ranuras del estator

En la figura se observa las f.m.m. la resultante de la interconexión de las bobinas del estator. Además se muestra la componente fundamental de la onda de f.m.m., donde para un instante dado se puede tener que la distribución de f.m.m. impone una distribución de densidad flujo como la mostrada en la figura.

La representación del flujo en el entrehierro se hace trazando la curva $B = B(\theta)$ sobre un sistema de ejes rectangulares. Esto equivale a hacer un corte en la máquina y desarrollar el entrehierro sobre un eje. La figura es la representación desarrollada de la distribución de flujo de la figura 5, la figura de $B(\theta)$ depende del tipo de bobinado,



independientemente de ello, $B(\theta)$ es siempre periódica y además el área sobre el eje es igual al área bajo ella. En las máquinas reales, los diseñadores conforman los bobinados y el de las caras polares de modo de producir un $B(\theta)$ con forma sinodal en el espacio. Particularmente válido en máquina de corriente alterna, no así en el caso de máquinas de corriente continua, donde la onda de flujo es más aplanada.

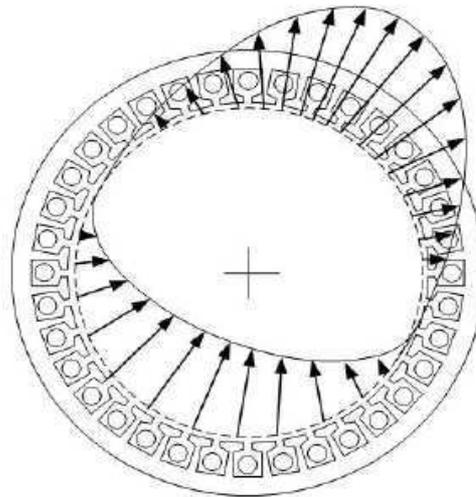


Figura 5. Flujo en el entrehierro

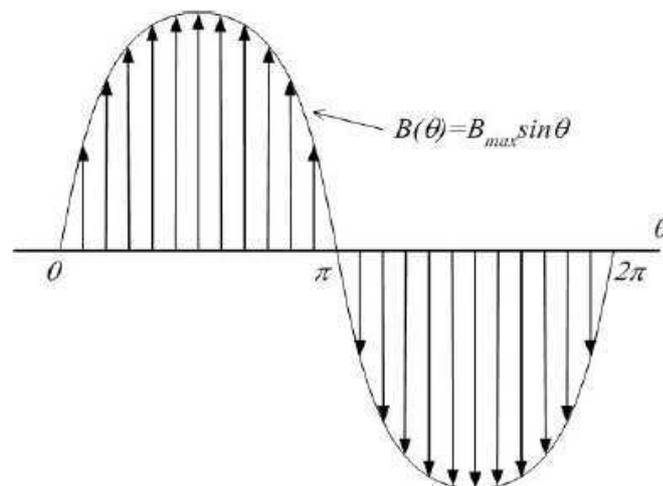


Figura19. Flujo en el entrehierro



4.4 EJEMPLOS DE ARROLLAMIENTOS TRIFÁSICOS.

4.4.1 Arrollamiento de dos capas.- La disposición más perfecta es la del arrollamiento de dos capas, en el cual todas las bobinas son idénticas. El arrollamiento de dos capas proporciona una gran flexibilidad en el diseño, pues en él se puede elegir con suma facilidad. La disposición lógica sería utilizar las cuatro principales ranuras para la fase A, las otras cuatro de la fase B y otras para la fase C. En un arrollamiento imbricado de dos capas, esto daría origen a grupos de conductores ocupando un ángulo de 120° .

4.4.2 Arrollamientos ondulados o imbricado de dos capas.- Para un número dado de conductores e idéntico tamaño y velocidad, el arrollamiento ondulado da mayor tensión en bornes y menor corriente que el arrollamiento imbricado. El arrollamiento ondulado se utiliza en las máquinas pequeñas y en máquinas grandes de velocidad reducida, con el fin de poder generar una f.e.m. suficientemente grande. El arrollamiento imbricado se utiliza en las máquinas más grandes y, en general, para una velocidad y potencia determinadas, tiene mejor conmutación, siempre que las bobinas de una sola espira puedan producir la tensión requerida.

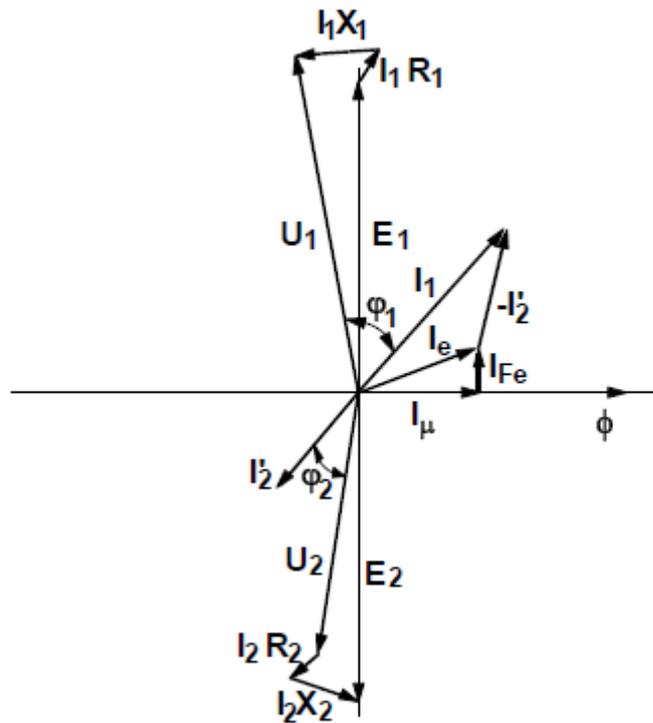
Se usan en casos especiales y para obtener la tensión requerida, es preferible la de bobinas de una sola espira a la de dos bobinas por ranuras. En este caso existe un ahorro de material en las cabezas y conexiones entre bobinas, pues los grupos quedan conectados entre sí de forma natural, debido a la propia distribución del arrollamiento; este ahorro es más notable cuanto mayor sea el número de polos.

4.4.3 Arrollamiento de una capa.- En este tipo de arrollamiento, que en su totalidad las ranuras quedan ocupadas por un solo lado de la bobina, esta capa única está formada normalmente por numerosas espiras aisladas entre sí y la sección de cobre en ellos puede incluso estar subdividida con el fin de reducir las pérdidas por corrientes parásitas.

4.4.4 Arrollamientos fraccionarios.- Este es un tipo de arrollamiento en el que el número de ranuras por polo y fase, que no es entero. Estos arrollamientos pueden realizarse con una sola capa, aunque ello implica mayores restricciones que en los de dos capas. Para que las fases estén equilibradas es necesario que el número total de ranuras sea divisible por tres, pero no es necesario que lo sea por el número de polos.



4.5 DIAGRAMA VECTORIAL DEL CAMPO GIRATORIO DE UN ARROLLAMIENTO TRIFÁSICO.





CAPITULO 5

BOBINADOS DE CORRIENTE ALTERNA

5.1 GENERALIDADES.

Los devanados de corriente alterna, donde se desarrollan los procesos vitales de producción y aprovechamiento de la energía eléctrica, podemos clasificarlos en dos grupos: de inducción y de campo o inductor. El devanado o arrollamiento inducido es el principal devanado conductor de corriente, en el que se induce la fuerza electromotriz de rotación; la corriente de este arrollamiento se conoce con el nombre de corriente de inducido.

La colocación del arrollamiento depende del tipo de máquina; los generadores omotores síncronos de corriente alterna se construyen normalmente con el arrollamiento de inducido en el estator y con el arrollamiento de campo en el rotor. Sin embargo, no existe una clara distinción entre arrollamientos de inducido y de campo de generadores o de motores de inducción de corriente alterna; uno de los arrollamientos puede conducir la corriente principal de la máquina y establecer también el campo magnético.

5.2 SECCION DE DEVANADOS.

En la mayor parte de los alternadores, los conductores de una misma fase no están concentrados en una ranura por polo, sino que están distribuidos en varias ranuras. El grupo de conductores pertenecientes a una fase y que corresponden a un polo, se designa como sección de devanado. Cuando el número de ranuras por polo y fase es un número entero, todas las secciones de devanado de una fase dada están en la misma posición relativa, y la fuerza electromotriz de la fase tendrá la misma forma que la de una simple sección.

5.3 FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE DEVANADO.

Para utilizar la totalidad de la superficie activa entrehierro, los devanados industriales se componen de varias bobinas por fase, distribuidas convenientemente en ranuras equidistantes. A pesar de que la fuerza electromotriz para el mismo número de espiras, es menor que con el devanado concentrado de paso diametral (una ranura por polo y fase), sin embargo los armónicos son reducidos en una apreciable cuantía y el número total de espiras, que puede ser acomodadas en un determinado diámetro del inducido, es incrementado, aprovechándose mejor el hierro del circuito magnético de la máquina.



Vamos a ver como efectivamente la fuerza electromotriz inducida en el conjunto de las bobinas distribuidas de una fase, conectadas en serie, es menor que la que se obtiene al conectarlas todas en una misma ranura.

5.4 FACTOR DE PASO.

Los devanados, con objeto de mejorar la forma de onda de la tensión inducida o la fuerza magneto motriz creada, pueden estar formados por bobinas con un ancho inferior al paso polar. En los devanados de doble capa, llamados así por la disposición d sus bobinas, esta disposición de paso es muy fácil de obtener.

El efecto de este acortamiento es limitar el flujo concatenado con la bobina, en relación a la de paso diametral. La principal ventaja consiste en la posibilidad de eliminar determinados armónicos de la onda de fuerza electromotriz y al mismo tiempo reducir la longitud de las cabezas de bobinas.

5.5 BOBINAS PARA UNA VELOCIDAD.

En los motores de CC y CA se usan bobinas normales tanto imbricados y concéntricos que son de una sola velocidad como común vienen los motores, en un algunos motores también vienen a para dos cambios de tensión pero con la misma velocidad.

En este capítulo no se va a hablar a fondo sobre los tipos de devanados empleados en las maquinas eléctricas de corrientes alternas, sino dar algunas definiciones aplicables a todos ellos y explicar el procedimiento de ejecución de los devanados empleados en este proyecto.

El diseño de un devanado, es esencialmente la definición o descripción de los contenidos de las ranuras en términos en números de fase, sentido de conexión de las bobinas y el número de vueltas de cada una de estas.

Existen varios tipos de devanados de corriente alterna cuya variación radica principalmente en su geometría y en su forma de conexión. Los más comunes son:

Devanados imbricados

Devanados concéntricos



Al igual que los imanes naturales que cuentan con dos polos magnéticos inseparables, llamados polo norte (N) y polo sur (S), cuando se forma un electroimán por medio de una bobina y un núcleo de hierro no tenemos que devanar la bobina en un sentido y la otra mitad en otro, o bien, dos bobinas devanadas en sentido contrario para formar sus dos polos, debido a que siempre que exista un polo norte consecuentemente ha de existir un polo sur.

La forma de conexión es un factor de importancia, ya que dependiendo de si las bobinas se conectan para formar un solo tipo de polo, sean estos norte o sur, o se conectan los grupos de bobinas para formar un solo tipo de polos, para que al formar un tipo de polos, consecuentemente se forma el otro tipo, que estos son:

Los devanados por polos se forman con un grupo de bobinas para formar los polos, sean estos N o S. Otra de las características de este tipo de devanados es que cada una de sus fases tiene tantos grupo de bobinas (G_f) como números de polos ($2p$) tiene la maquina.

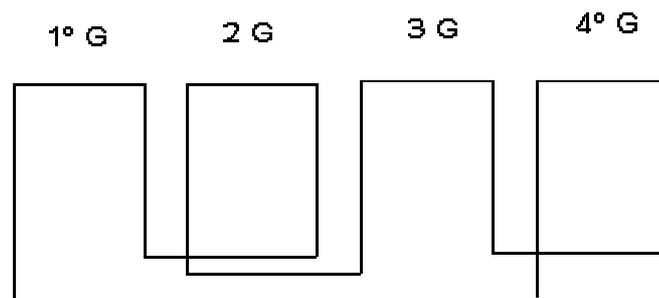


Figura21. Devanados por polos

Los devanados por polos consecuentes se constituyen con grupos de bobinas con el propósito de formar un solo tipo de polos, para que consecuentemente se formen los polos contrarios. Un devanado está formado por polos consecuentes, cada una de sus fases esta a su vez formada por tantos grupos de bobinas (G_f) como pares de polos (p) tiene la maquina. En las figuras se observa el principio de ejecución de ambos tipos de ejecución de ambos tipos de devanados, donde se ve que el motor tiene el doble de grupos de bobinas cuando esta hecho por polos que cuando esta hecho por polos consecuentes, pero el numero de espiras y bobinas por fase han de ser las mismas en ambos tipos de ejecución, como se ve en la figura.

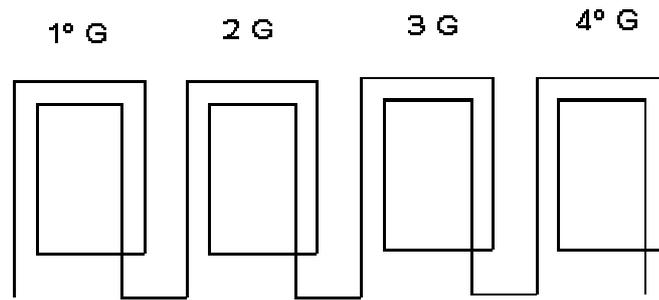


Figura22. Devanado por polos

5.6 DEVANADOS CONCÉNTRICOS.

5.6.1 Grupos de bobinas por fase (G_f) y número total de grupos (G).

Tomando en cuenta lo mencionado en la sección anterior, se tiene lo siguiente:

Para bobinados ejecutados por polos:

$$\text{Grupos por fase: } G_f = 2p$$

$$\text{Grupos totales: } G = 2p \cdot q$$

Para bobinados ejecutados por polos consecuentes:

$$\text{Grupos por fase: } G_f = p$$

$$\text{Grupos totales: } G = p \cdot q$$

Donde q es el número de fases.

5.6.2 Numero de ranuras por polos y por fase. (k_{pq}).

Termino aplicable para ambas tipos de configuración de devanados, el cual es el resultado de dividir el número total de ranuras de la armadura, por el producto entre el numero de pares de polos p de la maquina y sus números de fases q .

Numero de ranuras por polo y por fase:

$$k_{pq} = K / 2p \cdot q$$

El resultado deberá ser un valor entero para que en la ejecución por polos se tenga cada grupo con el mismo número de bobinas. Si este valor es impar, implica que los grupos tienen diferente número de bobinas, o bien bobinas con distinto números de espiras.



Si el devanado es ejecutado por polos consecutivo, se espera que el resultado de la división resulte también en un número entero, para de esta forma tener el mismo número de bobinas, aunque es admisible en este tipo de ejecución tener el valor del número de ranuras por polo y por fase como un número entero mas media unidad.

5.6.3 Número total de bobinas (**B**) y de bobinas por grupo (U_g).

Los devanados pueden ser hechos de “una capa” cuando los lados activos o costados de bobinas, ocupan íntegramente dos ranuras o de “dos capas”, cuando la ranura es ocupada por dos costados o lados activos de dos bobinas diferentes.

Según el tipo de hechura, el número de bobinas que se requieren es como sigue:

$$\text{Devanados de dos capas: } \mathbf{B = K}$$

$$\text{Devanados de una capa: } \mathbf{B = K / 2}$$

Donde **K** es el número de ranuras del estator.

Por otro lado, una vez determinado el número de bobinas requeridas (**B**) y el número de grupos de bobinas (**U**), es posible determinar el número de bobinas que ha de tener cada grupo (U_g).

$$\text{Numero de bobinas por grupo: } \mathbf{U_g = B / G}$$

Es comun en la practica expresar este valor en numero de ranuras de estator.

Según el tipo de ejecucion tenemos:

Devanados ejecutados por polos:

$$\text{De dos capas: } \mathbf{U_g = B / G = K / 2p.q}$$

$$\text{De una capa: } \mathbf{U_g = B / G = K / 4p.q}$$

Devanados por polos consecuentes:

$$\text{De dos capas: } \mathbf{U_g = B / G = K / p.q}$$

$$\text{De una capa: } \mathbf{U_g = B / G = K / 2p.q}$$



5.6.4 Distancia entre principios de fase (Y_q), ángulo eléctrico.

En los devanados de corriente alterna es de vital importancia que las fases que conforman dicho devanado generan fuerzas electromotrices fuera de fases entre sí, con el mismo ángulo, para que de esta forma el campo magnético generado sea de naturaleza giratoria y uniforme. Para esto, es necesario que los principios de sus fases estén situados en ranuras con una separación tal que brinden el ángulo eléctrico requerido por el sistema. Dado que un ciclo eléctrico se da cada 360° , lo cual se cumplen cada dos polos, lo que implica entonces, que cada vuelta del rotor le corresponden $p \cdot 360^\circ$.

En los sistemas trifásicos las corrientes están 120° fuera de fase, por lo que la distancia entre principios de fases expresados en número en ranuras será:

$$\text{Devanado trifásico: } Y_q = K / 3p = \text{ranuras}$$

5.6.5 Amplitud de grupo (m), en los devanados concéntricos.

Este término es aplicado a los devanados concéntricos de corriente alterna, ya que se denomina amplitud de grupo al número de ranuras que han de quedar libres en el interior de un grupo de bobinas, con el fin de poder alojar a los grupos de las otras fases.

Su valor expresado en números de ranuras es:

$$\text{Amplitud de grupo: } m = (q - 1)k_{pq}$$

Este tipo de devanado suele ejecutarse en una capa. La expresión anterior puede ponerse a partir del número de bobinas por polo y fase U_g y según el tipo de devanado se calcula como:

$$\text{Para devanados por polos consecuentes: } m = (q - 1)U_g$$

$$\text{Para devanados por polos: } m = (q - 1)2U_g$$

Siguiendo la figura, se observa el valor del ancho de bobina, cuyo valor será diferente para cada bobina del grupo, pudiéndose obtener los valores como sigue:

$$Y_1 = m + 1; Y_2 = m + 3; Y_3 = m + 5; Y_4 = m + 7; \text{ etc.}$$

5.7 CALCULO DEL DEVANADO.

Con los datos siguientes como punto de partida se realiza el diseño del devanado del motor de inducción estudiado en esta tesis.



Numero de ranuras = $K = 36$

Numero de polos = $2p = 6$

Numero de fases = $q = 3$

Aplicando lo anterior de formulas tenemos:

Numero de ranuras por polos y por fase

$$K_{pq} = K / 2p \cdot q = 36 / 6 \cdot 3 = 2$$

Numero de grupos de bobinado

$$G = p \cdot q \quad G = 3 \cdot 3 = 9$$

Numero de bobinas

$$B = K / 2 \quad B = 36 / 2 = 18$$

Numero de bobinas por grupo

$$U_g = B / G \quad U_g = 18 / 9 = 2$$

Amplitud de grupo

$$m = (q - 1)U \quad m = (3 - 1)2 = 4$$

Pasos de bobina

$$p = 1 - 8$$

$$p = 2 - 7$$

Paso de principios

$$Y_q = K / 3p \quad Y_q = 36 / 3 \cdot 3 = 4$$

Principios de fases del motor en estudio

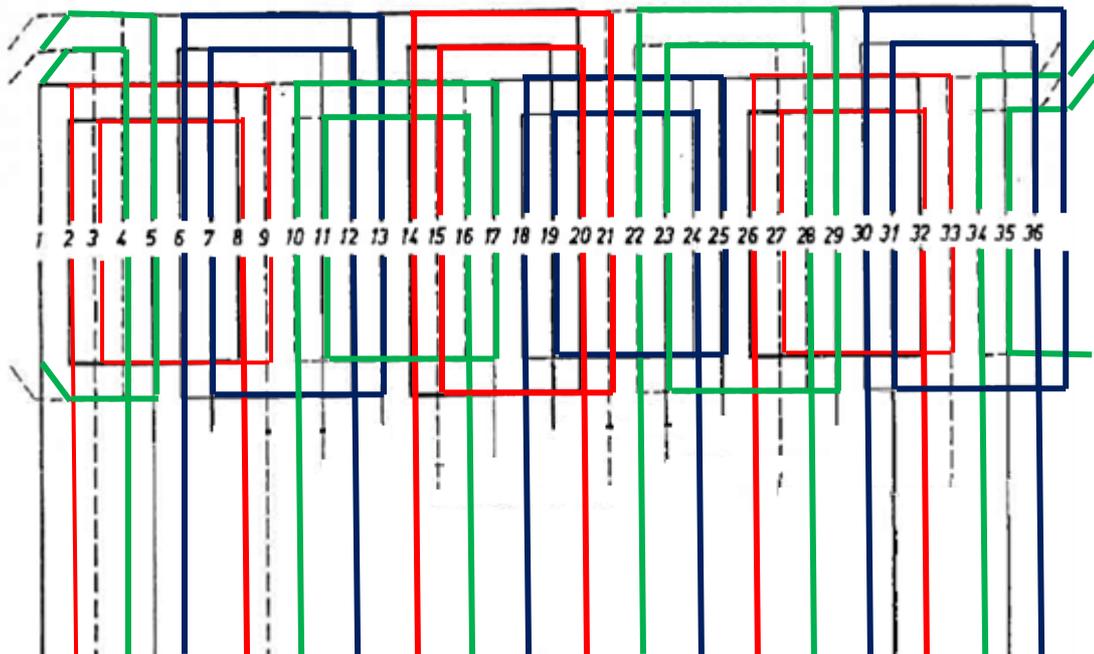
	Fase U	Fase V	Fase W
Principio	1	5	9
	X	Y	Z
Final	31	35	3



En este caso sería la velocidad aparte de bobina concéntrica para la velocidad de 1200 r.p.m., de este proyecto se realizó aparte una bobina para otra velocidad.

5.7 DIAGRAMA DE DEVANADOS CONCENTRICO UNA VELOCIDAD CON ENTRADAS Y SALIDAS DE CADA BOBINA.

CABCABC AB



P1F3 P1 F1P1F1 P2F1P2 F2P2 F2 P3 F2 P3 F3P3 F3

5.8 BOBINAS PARA DOS VELOCIDADES, DEVANADOS INDEPENDIENTES.

Los motores trifásicos con rotor en cortocircuito que llevan dos devanados separados, normalmente conectados cada uno de ellos en estrella y teniendo también cada uno de ellos distinto número de polos para obtener una velocidad por cada bobinado.

Estos tipos de motores solamente se pueden conectar a una tensión y, en este caso, se puede realizar el tipo de arranque directo.

Los motores con devanados independientes, teóricamente permiten cualquier relación de velocidad y de potencia, aunque son preferibles los montajes a potencia constante y relación de velocidad distinta a 2:1, cosa que no resulta posible en la conexión Dahlander.



El empleo de este tipo de motores es bastante reducido y prácticamente ha desaparecido su uso, pues tienen poca potencia y mucho volumen.

La relación de velocidades con respecto al número de polos suele ser:

Velocidades	500 / 700	750 / 1000	1000 / 1500
Nº de polos	12 / 8	8 / 6	6 / 4

5.9 BOBINAS PARA DOS VELOCIDADES, CONEXIÓN DAHLANDER.

El motor de dos velocidades tiene las mismas características constructivas que el motor normal, su diferencia está únicamente en el bobinado, pues mientras en el motor normal cada bobinado corresponde a una fase, en el motor Dahlander el bobinado de una fase está dividido en dos partes iguales con una toma intermedia.

Según conectemos estas bobinas conseguiremos una velocidad más lenta o más rápida, pues en realidad lo que se consigue es variar el número de pares de polos del bobinado.

Para conseguir la velocidad pequeña o lenta, conectaremos la línea a los bornes marcados con la letra “P” o sea, en los bornes correspondientes a la conexión triángulo, dejando libres los otros. De esta manera el número de polos es mayor y el número de revoluciones es más pequeño.

Para conseguir la velocidad rápida conectaremos la línea a los bornes marcados con la letra “M” y unimos entre sí los marcados con la letra “P”. De esta manera conseguimos un menor número de polos y aumentamos el número de revoluciones.

El bobinado en esta conexión queda dividido en dos partes, conectadas en estrella y en paralelo entre sí, formando una conexión en doble estrella.

En la conexión Dahlander hemos de tener en cuenta lo siguiente:

- En la conexión triángulo - doble estrella, permite el arranque estrella - triángulo y se reduce la corriente de arranque.
- Solamente lleva una tensión y corresponde a la de la línea.
- Al pasar de la conexión triángulo a la de doble estrella, se produce una inversión del campo giratorio, por lo que el motor invertirá el sentido de giro, para evitar esto, se debe prever la adecuada conexión en los elementos de accionamiento del motor.
- La relación de potencias entre la velocidad lenta y la rápida es de 1: 1'5.



-La relación entre las velocidades en la conexión Dahlander es de 2:1, mientras que en el motor de dos velocidades independientes no existe esta relación. Las velocidades más utilizadas en la conexión Dahlander son:

Velocidad	500 / 1000	750 / 1500	1500 / 3000
Nº de Polos	12 / 6	8 / 4	4 / 2

5.10 DEVANADOS EXCÉNTRICOS.

En los bobinados excéntricos, todas las bobinas del devanado son iguales. Todos los bobinados excéntricos son realizados “por polos”, por lo que teniendo esto presente resulta que cada fase tiene tantos grupos de bobinas como polos tiene el motor.

Los bobinados excéntricos de corriente alterna pueden ser imbricados y ondulados y realizarse con una o dos capas. Los bobinados pueden ser enteros o fraccionarios.

Bobinados	imbricados	enteros	regulares
Excéntricos	ondulados	fraccionarios	irregulares

5.11 CALCULO DE DEVANADO.

A continuación se enumeran los puntos a seguir en el proceso de cálculo bobinados imbricados enteros, a continuación se enumeran los pasos a seguir en el proceso de cálculo de bobinados imbricados enteros que pueden ser de una o dos capas. Son los más sencillos de calcular, ya que no presentan ninguna irregularidad, tanto en su cálculo como en su ejecución.

Datos necesarios para calcular el bobinado imbricado

Numero de ranuras = K

Numero de polos = 2p

Numero de fases = q

Las fórmulas de este devanado son similares al de devanados concéntricos

Por una capa

Numero de ranuras por polo y fase

$$K_{pq} = K / 2p \cdot q$$



Numero de grupos de bobinados

$$G_{pq} = 2p \cdot q$$

Numero de bobinas por grupo

$$U = k / G_{pq}$$

Paso de ranuras

Corresponde aproximadamente al paso polar

$$Y_k = k / 2p$$

Pasos de principios

$$Y_{120} = K / 3p$$

Por dos capas, en este tipo de bobinados por cada ranura hay dos lados activos correspondiente a dos bobinas diferentes. El cálculo es igual que el estudiado para los bobinados imbricados de una capa. En este bobinado se puede acortar el paso, sobre todo cuando es bipolar, para que las bobinas no sean grandes.

5.12 CALCULO DEL DEVANADO DE DOS VELOCIDADES.

Para hacer el cálculo de este tipo de bobinados se han de seguir las siguientes normas:

Bobinados imbricados:

Llamando (**P**) la polaridad mayor y (**p**) la polaridad menor se tendrá:

Numero de grupo

Numero de ranuras por polo y fase

Numero de bobinas por grupo

Paso de ranuras

Paso de principios

Por lo que resumiendo queda:

N⁰ de ranuras por polo y fase $\left\{ \begin{array}{l} \text{Con la polaridad mayor se calculara} \end{array} \right.$



Paso de ranuras

N⁰ de grupos del bobinado
Con la polaridad menor se calculara

$\left\{ \begin{array}{l} \text{N}^0 \text{ bobinas por grupo} \\ \text{Paso de principios} \end{array} \right.$

Datos:

$$N^0 \text{ de ranuras} = K = 36$$

$$N^0 \text{ de polos} = 2p = 2; 2P = 4$$

$$N^0 \text{ de fases} = q = 3$$

$$N^0 \text{ de bobinas } B = K$$

Bobinado imbricado realizado “por polos” para dos velocidades

Número de grupos

$$G = 2p \cdot q \quad G = 3 * 2 = 6$$

Numero de ranuras por polo y fase

$$K_{pq} = K / 2P \cdot q \quad K_{pq} = 36 / 4 * 3 = 3$$

Numero debobinas por grupo

$$U = B / 2p \cdot q \quad U = 36 / 2 * 3 = 6$$

Paso de ranuras

$$Y_k = k / 2P \quad Y_k = 36 / 4 = 9$$

Paso de principios

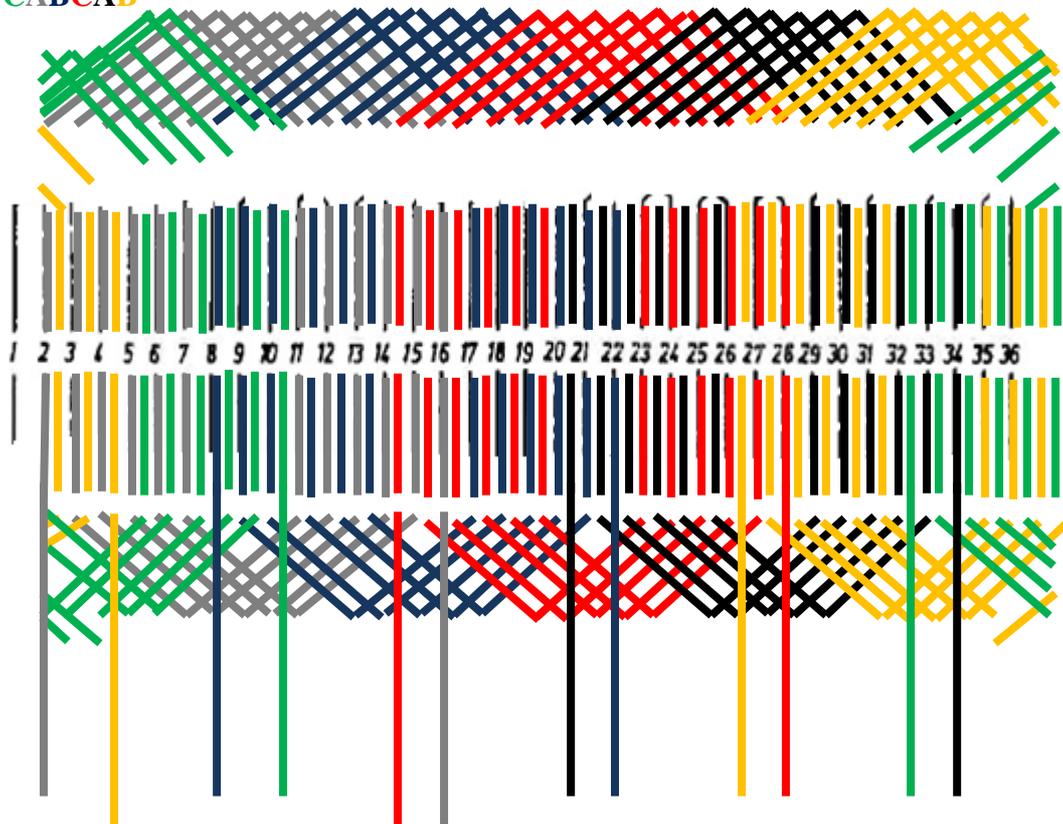
$$Y_{120} = K / 3p \quad Y_{120} = 36 / 3 = 12$$



5.13 DIAGRAMA DE DEVANADO IMBRICADOS DE 2 CAPAS

DOS VELOCIDADES CON ENTRADAS Y SALIDAS DE CADA BOBINA.

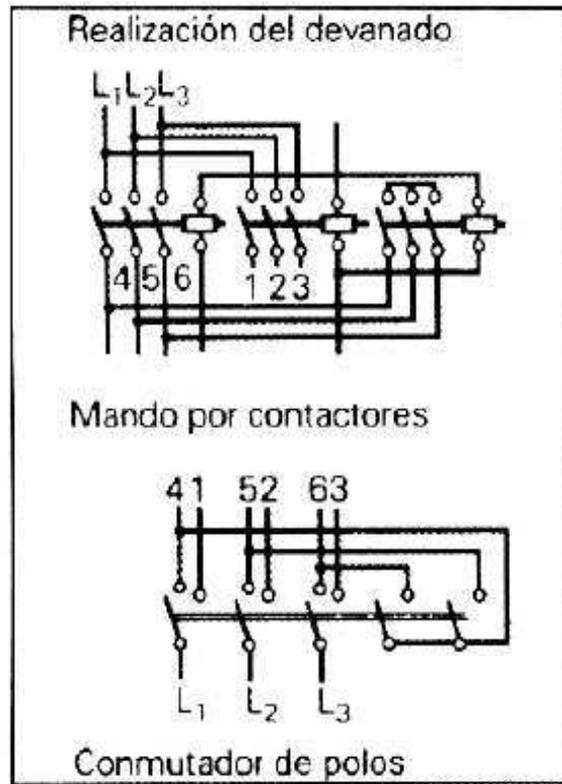
CABCAB



U1W2W3V4V1U2U3 W4W1V2V3U4

5.14 MOTORES TRIFÁSICOS DE POLOS CONMUTABLES CON VARIAS DEVANADOS.

En los motores trifásicos, variando el número de polos, se puede cambiar la velocidad de giro. Los motores de este tipo son en general motor con rotor jaula de ardilla; aunque en los motores de anillos rozantes el devanado rotórico debe ser conmutable. Los motores de polos conmutables en ejecución normal, se suministran sólo para conexión directa, a cualquiera de las velocidades.





CAPITULO 6

6.1 CONSTRUCCION DEL BOBINADO DEL MOTOR.

Para poder realizar el trabajo se tenía que buscar un motor totalmente desarmado, que no tenga ningún bobinado y que sea apropiado para que puedan entrar los tipos de bobinas que se requieran para lograr el objetivo de hacer posible el motor de varias velocidades; además, constatar que tenga unas ranuras anchas y profundas. Así se pudo encontrar un estator de 36 ranuras, al que se le dio el mantenimiento respectivo necesario para este proyecto de tesis.

6.2 PROCESOS PARA EL BOBINADO DEL MOTOR.

1. Toma de datos
2. Extracción de arrollamiento defectuoso.
3. Limpieza de las ranuras.
4. Aislamiento de las ranuras (encartonado).
5. Confección de las bobinas
6. Colocación de las bobinas dentro de las ranuras
7. Conexión del nuevo arrollamiento

6.3 TOMA DE DATOS.

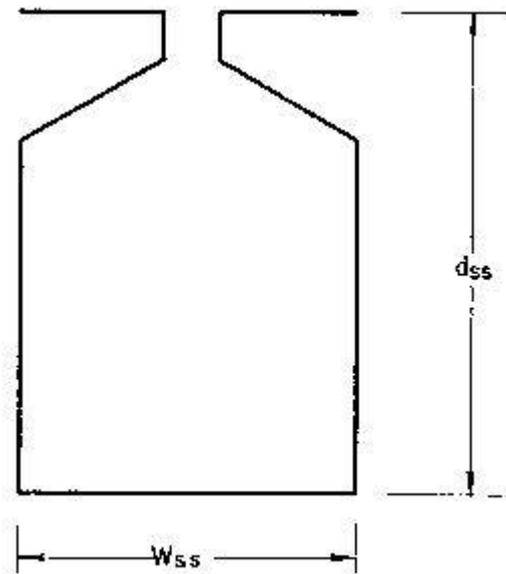
La toma de datos es donde se ve la placa del motor y se anota las características, se anotan las medidas de las ranuras el número total de ranuras, el diámetro interno y externo del estator.

6.4 LIMPIEZA DE LAS RANURAS DEL ESTATOR.

El mantenimiento consistió en limpiar la parte exterior de la carcasa que es de tipo aleado y de material de hierro fundido, luego se limpió el estator por dentro y entre ranuras, para eso se utilizó una varilla fina, la cual tenía que entrar en las ranuras en toda su longitud y luego utilizar una lija gruesa de hierro para lijar y limpiar con líquido diluyente y retirarle bien el óxido. Una vez limpio el estator, nos dedicamos a obtener los datos para iniciar el proceso del cálculo y trabajar en el devanado.



6.5 AISLAMIENTO DE LAS RANURAS.

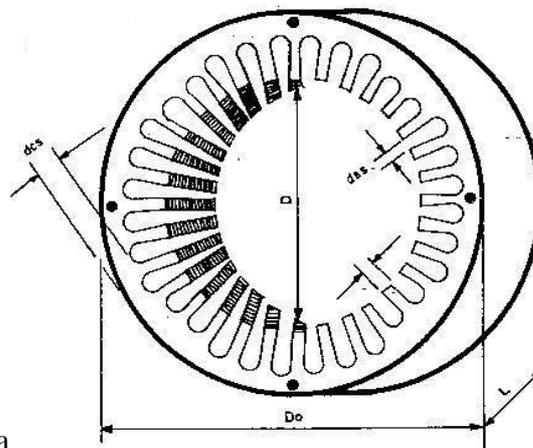
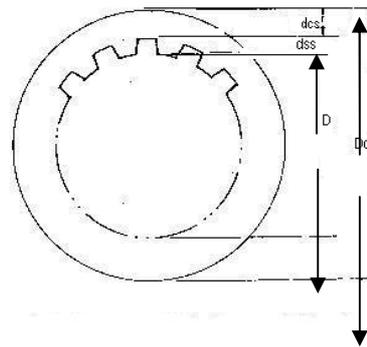


DETALLE DE UNA RANURA

Figura 23.Ranura

Para colocar el material aislante en la ranura, se lo realiza por medio de los datos obtenidos del motor, se toma en cuenta la longitud de la ranura, profundidad y ancho.

dss = profundidad de la ranura



wss = ancho de la ranura

L = longitud del estator

D = diámetro interno del estator

Do = diámetro exterior del estator

dcs = profundidad del estator

Datos del estator:

Longitud de la ranura, L = 6.4 cm

Profundidad ranura, dss = 1.9 cm

Ancho de ranura, Wss = 0.99 mm

Diámetro interno, D = 14.1 cm

Diámetro externo, Do = 22.3 cm

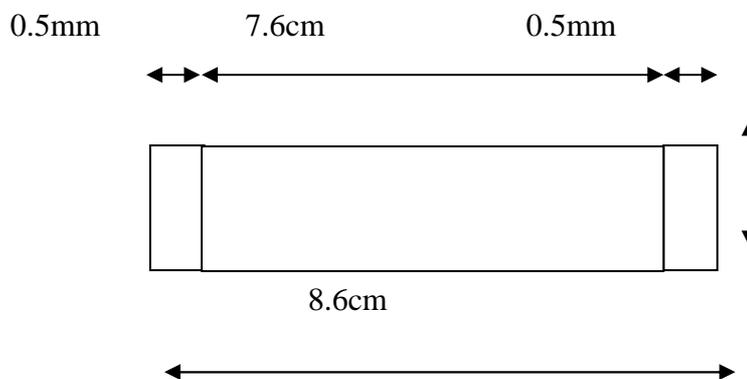


Entonces a proceder a buscar el material aislante adecuado para colocarlo en las ranuras el material a usar es el NOMEX un material grueso de cartulina para que soporte el calentamiento de los bobinas y no se derrita y no pueda causar cortocircuito en las chapas del estator y el alambre.



Figura 24. Nomex

Comenzamos a trazar el cartón NOMEX de acuerdo a la medida de las ranuras que tenemos; la medida que tomamos del estator mas 2.2cm y lo sumamos de allí sacamos el aislante a colocar que nos da 8.6cm de longitud y de ancho de acuerdo a la medida de la ranura, trazamos en el cartón los 36 tiras de aislante y lo cortamos



6.6 MATERIALES AISLANTES.

Los materiales aislantes para maquinas eléctricas con relación a su estabilidad térmica cubre básicamente, estas clases de materiales aislantes que se usan por lo general:

Clase Y, este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales como algodón, seda y papel sin impregnar. (90^0)



Clase A, este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales, tales como el algodón, seda y papel con alguna impregnación o recubrimiento o cuando se sumergen en dieléctrico líquidos tales como aceites. (105^0).

Otros materiales o combinación de materiales que caigan dentro de estos límites de temperaturas pueden caer dentro de esta categoría.

Clase E, este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales que por experiencia o por pruebas pueden operar a temperaturas hasta de 15^0c sobre la temperatura de los aislamientos de Clase A. (120^0)

Clase B, este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales, tales como la mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con algunas sustancias aglutinantes, puede haber otros materiales inorgánicos (130^0).

Clase F, este aislamiento consiste de materiales o combinaciones de materiales, tales como mica, fibra de vidrio, asbestos, etc. Con sustancias aglutinantes, así como otros materiales o combinaciones de materiales no necesariamente inorgánico. (155^0)

Clase H, este aislamiento consiste de materiales, tales como el silicón, elastoneros y combinaciones de materiales tales como la mica, la fibra de vidrio, asbestos, etc.

Con sustancias aglutinantes como las resinas y siliconas apropiados. (180^0)

Clase C, este aislante consiste de materiales o combinaciones de materiales, tales como la mica, la porcelana, vidrio, cuarzo con o sin aglutinantes, mayor a 180^0

6.7 COLOCACIÓN DE LOS AISLANTES EN LAS RANURAS.

La manera de colocar el aislante se muestra en la figura, una vez realizado los cálculos y medido correctamente y rallado en el cartón aislante.



Figura 25. Colocación de aislante en las ranuras



Figura 26. Colocación de aislante en las ranuras

6.8 CONDUCTORES PARA BOBINAS.

Los conductores de cobre para bobinas se diferencian principalmente para las clase de aislamientos que los recubre, es necesario esta capa aislante ocupa poco aislante y que puede resistir los efectos de un calentamiento considerable y continuo, el espesor de aislamiento varía según las casos.

Los materiales aislante que te protegen conductores, ranuras y otras partes del motor se clasifican en función de su resistencia térmica. En motores y generadores se emplean los cientos de clases siguientes de aislamiento: **clase A** (105°), clase B (130°), clase F



(155⁰) y clase H (180⁰). Las temperaturas de régimen excepcionalmente altas acortan la vida de una maquina eléctrica.

Un aislamiento de clase A (105⁰) solo puede ser utilizado en motores cuya temperatura total de régimen no exceda de 105⁰C.

Los motores equipados con aislamiento de **clase A** están normalmente previstos para un servicio continuo con calentamiento admisible al 40⁰C y 50⁰C y a una temperatura ambiente de 40⁰C.

Clase B suelen estar aislado con una película de poliuretano y un recubrimiento exterior de nilón, algunos de ellos pueden soldarse directamente sin necesidad de despojarlos previamente de la película aislante.

Los de **clase F y H** se utilizan generalmente en motores que trabajan en condiciones térmicas extremadamente desfavorables el aislamiento se compone de fibras de vidrio aglomerados con siliconas u otros materiales, también se rebobinan motores si bien en menor grado, con hilo esmaltado recubierto con una capa de algodón, seda o fibra de vidrio.

El hilo formwar (sencillo o reforzado) aislado con una película de resina polivinilo , es uno de los más ampliamente usado, posee excelentes propiedades, como elevado resistencia a la adsorción y flexibilidad y en cuanto aplicación en prácticamente todos los casos donde basta aislamiento clase A. algunos tipos de hilos Formwar están provisto de un recubrimiento exterior a base de nilón, que los confiere elevada resistencia al ataque de los activos disolventes contenidos en los barnices usuales.

6.9 CONFECCION DE LAS BOBINAS.

Se hace bobinas de numero 22 calibre del alambre con numero de vueltas 46 y con grupo de 6 bobinas hay que hacer 36 bobinas por todo, se confeccionan por grupo y luego se cortan por separados para dejar las puntas fuera del motor, y de esta manera poder colocarla en la ranura del estator una vez terminado todos los grupos de bobina en la máquina de rebobinadora.



Figura 27. Confección de las bobinas

Pero antes de hacer la primera bobina hay que tomar la medida de muestra para no hacerlo grande o pequeño sino que hay que hacer a la medida del molde y calcé bien en el estator porque si no tendríamos problema al armar todo el motor o sea al colocar las tapas del motor de atrás y adelante, sino toca las bobinas y esto nos causaría un corto dentro del motor.

$$\pi (D + d_{ss}) \cdot 10 \quad D_{ss} = \frac{\quad}{\# \text{ de ranuras}} + L \cdot 2$$

Donde:

$$\frac{\pi (14.1 + 1.9) \cdot 10}{36} \quad D_{ss} = \quad + 6.4 \cdot 2$$

$$D_{ss} = 40.8 \text{ cm}$$

Longitud para molde de bobina D_{ss}

Diámetro interno del estator = D

Profundidad del estator = ss

Longitud de la ranura = L



Se ha dedicado hacer el molde de bobinado imbricado este método es más usado y más económico y para ver la medida exacta del molde de la bobina tenemos que hacerlo mediante una fórmula que se utiliza para estos caso y se lo realiza con los datos que se obtienen en el motor con las ranuras y el diámetro del estator interno con la formula antes mencionada.



Figura 28. Molde para bobinado imbricado

Con esta fórmula sale exacto la longitud del molde y tamaño de la bobina que se va a realizar hacer y con esta medida nos vamos a la máquina de hacer bobinas y buscamos unos moldes de la medida apropiada para la medida y lo colocamos en la máquina.



Figura 28. Alambre

6.10 MARCADOS DE LAS PUNTAS DE LAS BOBINAS.

Las bobinas se lo realiza en grupos como se diseña de acuerdo al cálculo realizado, en la figura, está conformado las bobinas en grupos de seis bobinas por grupo y de esta bobina se consigue separar todo el grupo uno por uno, individualmente se lo corta la unión de todas las bobinas.



Figura 29. Alambre



Marcamos las `puntas de cada bobina con letra “P” principio y “F” con final, estas letras son las que se usan siempre al determinar una punta de salida de cada bobina que se realiza y con esto se logra conectar rápido las bobinas sin estar adivinando cual es el principio y final.

6.11 COLOCACION DE LAS BOBINAS IMBRICADO.

Al tener confeccionado todos los grupos de bobinas realizado con el molde adecuado, al finalizar los grupos es necesario amarrar cada devanado con cinta para que no se dañe la forma al sacarlo del molde.

1. Concluido estos proceso comenzamos a ubicar las bobinas en la ranuras del estator, se coloca el primer grupo de la siguiente manera, el primer grupo de seis bobinas se aloja la mitad del grupo hasta el fondo de la ranura y la otra mitad queda fuera, (alzada).

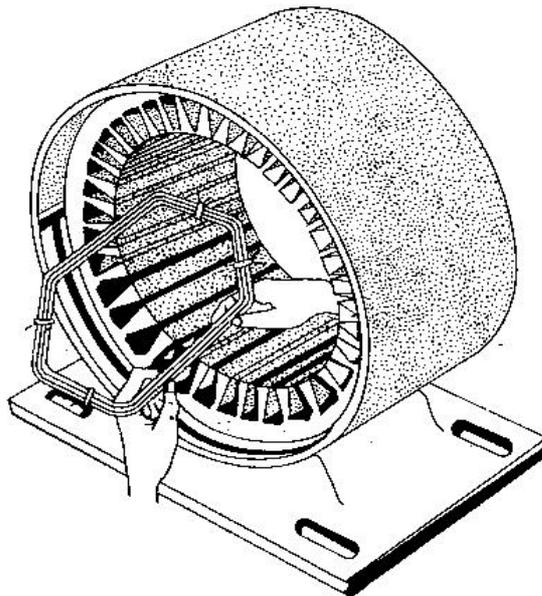
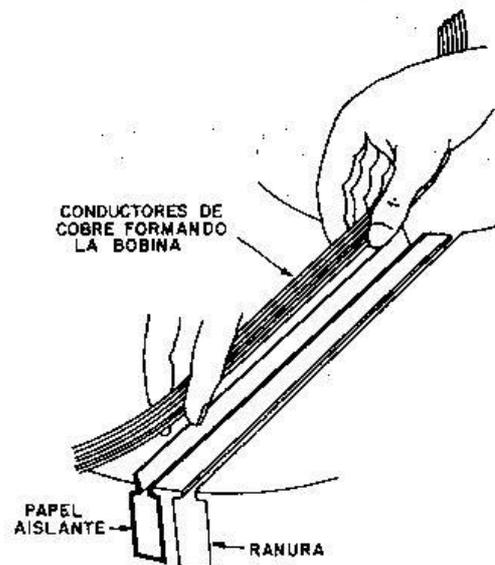


Figura 30. Colocación de bobinas imbricado

2. Con la siguiente bobina que es del mismo número de grupo se coloca de la siguiente manera, aquí ya se introduce todo el grupo desde el principio hasta el final pero se comienza a meter después, de contar los seis espacios del primer grupo de bobina.



3. De esta manera iremos colocando todos los grupos de bobinas una tras otra tomando en cuenta el paso 1 – 10 y al colocarlo de no confundir las entradas y salidas de cada grupo, porque a veces se confunde, en el lado que va alojada la entrada se equivoca y meter el de salida.

4. Como se observa con este tipo de devanado llamado en dos capas cada bobina tiene su lado alojado en el fondo de una ranura, lado inferior y el otro lado en la parte superior de otra ranura distanciada de la primera en número de ranuras equivalentes al paso del bobinado.

5. Puesto que los dos lados de bobinas alojados en una misma ranura suelen pertenecer a una fase distinta, es preciso aislar convenientemente entre si. Para ello puede procederse de la manera indicada en las figuras. Antes de alojar el lado superior de bobinas en cada ranura se inserta sobre el inferior una tira aislante doblada, cortada que encaje bien en el ancho de la ranura.



Figura 31. Estator



Figura 32. Estator

6.12 CONFECCION DEL DEVANADO CONCENTRICO.

Este devanado concéntrico es uno independiente, es para la otra velocidad que se necesita para lograr desarrollar este proyecto. Al obtener los cálculos adecuados para este devanado lo hace es buscar con un alambre cualquiera y aplicando la fórmula para escoger la longitud y sacar el molde que se necesita.

$$\# \text{ de ranuras} = \frac{\pi (D + d_{ss}) \delta}{D_{ss}} + L \times 2$$



Donde:

$$D_{ss} = \frac{\pi (14.1 + 1.9) 8}{36} + 6.4 \times 2$$
$$D_{ss} = 35.1 \text{ cm}$$



Figura 33. Confección de devanado concéntrico

$$D_{ss} = \frac{\pi (14.1 + 1.9) 7}{36} + 6.4 \times 2$$

$$D_{ss} = 32.3 \text{ cm}$$

Y con paso 1 – 8, 2 – 7 sacamos el molde que se lo lleva a medir a los moldes que se encuentran en la máquina para embobinar.



Figura 34. Moldes para máquina de embobinar

Colocamos el molde y empezamos a trabajar en la maquina y estar pendiente de las vueltas que se obtuvieron del calculo que son 46 vueltas con alambre numero 22, este devanado va colocado frente o encima del otro devanado imbricado separado con una tira de cartón aislante nomex, como se explico anteriormente.



Figura 35. Máquina para embobinar

En esta bobina se lo realiza por separado por lo que son de distintos pasos a las anteriores bobinas, al terminar de realizar un grupo se lo amarra o encinta por los lados para que no se pierda la forma al retirarlo del molde



6.13 COLOCACION DE LAS BOBINAS CONCENTRICAS.

A continuación se mostrara los pasos importantes para el desarrollo del mismo:

1. Las bobinas van colocadas de la manera parecida al imbricado, se empieza con las bobinas pequeñas o sea del paso 2 – 7, se toma una mitad de la bobina que queda levantada y la otra mitad queda introducida encima de la de bobina imbricada pero esta si logra meterse en un espacio de ranura, teniendo cuenta el paso que se tiene en la figura se aprecia la manera de colocar esta bobina.
2. A continuación se introduce el lado mayor del grupo en este caso el paso 1 – 8 que es que va alrededor del pequeño pero de igual manera solo queda introducido un lado de este y el otro lado queda alzado, este lado queda alzado para que logre quedar encima del grupo que viene después al cerrar todo los grupos.
3. Colocando el principio de este devanado, sucesivamente vamos colocándolo los demás grupos que son 9 grupos de 2 bobinas cada uno, de acuerdo al cálculo obtenido.
4. Aquí el extremo de la punta del grupo 2 de principio va colocado encima de la bobina del grupo 1 y así sucesivamente se van alojando las demás bobinas, el extremo de una bobina va por encima de la anterior bobina.



Figura 35.

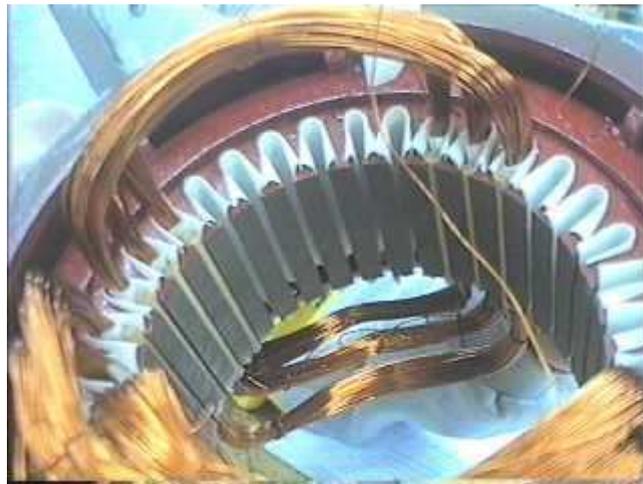


Figura 36.



CAPITULO 7

7.1 CALCULO Y DIAGRAMAS, CONEXIONES FUNDAMENTALES DE LAS BOBINAS.

7.1.1 FASES.- Generalmente los motores 3Ø están provistos de un arrollamiento estático en doble capa, es decir, con igual número de bobinas y de ranuras.

Las bobinas van conectadas formando tres arrollamientos independientes llamados fases las cuales se designan generalmente; con las letras A, B y C (ó R, S y T). Puesto que cada fase debe estar constituida por el mismo N° de bobinas, éste será igual a un tercio del N° total de bobinas existentes en el estator.

Las tres fases de un motor 3Ø están siempre conectada en Y ó en Δ .

REGLA 1: N° de bobinas por fase = N° total de bobinas establecidas por el N° de fases del motor.

Ejm.1. En un motor trifásico provisto de 36 bobinas, habrá:

$$\underline{36 \text{ bobinas}} = 12 \text{ bobinas por fase}$$

3fases

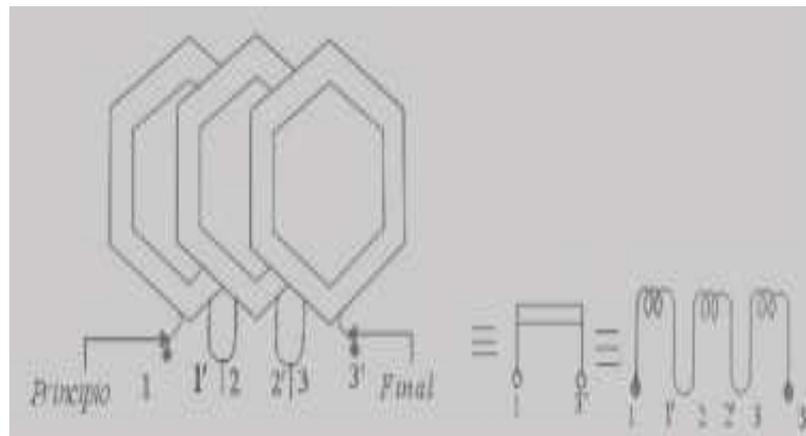
7.1.2 POLOS.- Las bobinas de un motor trifásico también están conectadas de modo que el estator del mismo conforme un determinado N° de polos iguales.

REGLA 2: N° bobinas por polo = N° total de bobinas estáticas por el N° de polos del motor.

Ejm.2. En un motor 3Ø tetrapolar provisto de 36 bobinas habrá:

$$\underline{36 \text{ bobinas}} = 9 \text{ bobinas polo } 4 \text{ polos.}$$

7.1.3 GRUPOS.- Se llama grupo a un determinado N° de bobinas contiguas conectadas en serie. Los motores 3Ø llevan siempre tres grupos iguales de bobinas en cada polo, uno por fase. Dicho en otros términos, un grupo pertenece a la fase A, otro a la fase B, y el tercero a la fase C. Es evidente que un grupo define el N° de bobinas por polo y fase.



Conexión de las bobinas de cada grupo en un motor. El final de la bobina 2 va al principio de la bobina 3. El principio de la bobina 1 y el final de la bobina 3

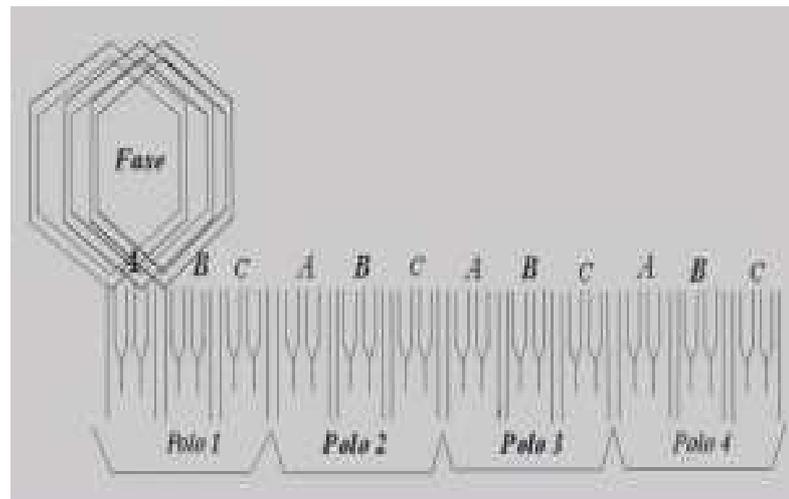
7.2 CONEXIÓN EN ESTRELLA.

Se trata de conectar en estrella las 3 fases del motor 3Ø ya considerado (4 polos, 36 bobinas estáticas).

1. Se conectan primero todas las bobinas en grupos. Las tres bobinas de cada grupo se unen en serie. Si dichas bobinas han sido confeccionadas en grupos no será precisa esta operación.
2. Se conectan seguidamente entre si todos los grupos que pertenecen a la fase A. La conexión debe efectuarse de manera que por el primer grupo circule la "i" en sentido de las agujas del reloj, por el segundo grupo en sentido contrario, por el 3º nuevamente en el sentido horario, etc. De esta forma se obtendrán polaridades sucesivas de signo alterno.

El principio de la fase A se empalma a un terminal flexible, que se lleva al exterior, el final de dicha fase se unirá posteriormente a las finales de las fases B y C.

Esta unión se encintará convenientemente.



REGLA 3: Para determinar el N° de grupos de bobinas, se multiplica el N° de polos por el N° de fases del motor.

Ejem. 3 . En el motor 3Ø tetrapolar que nos sirve de referencia habrá:

$$4\text{polos} \times 3\text{fases} = 12 \text{ grupos de bobinas}$$

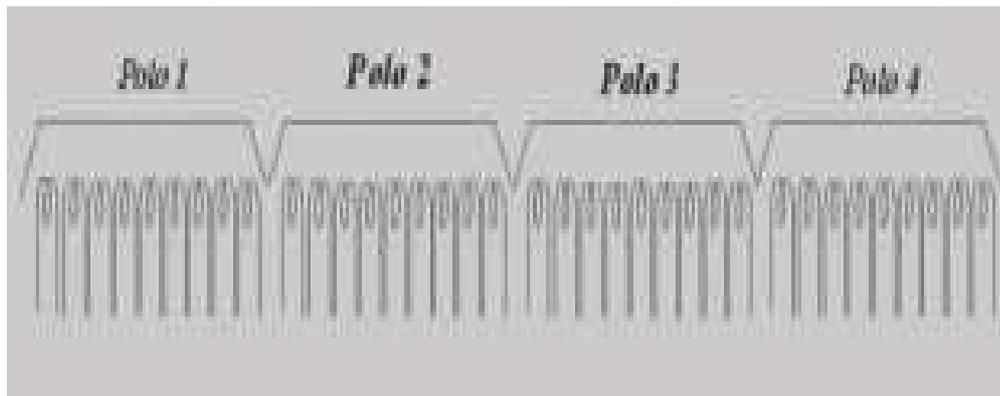
REGLA 4: Para determinar el N° de bobinas grupo, se divide el N° total de bobinas del motor por el N° de grupos

Ejem. 4. En el motor 3Ø de referencia se tendrá:

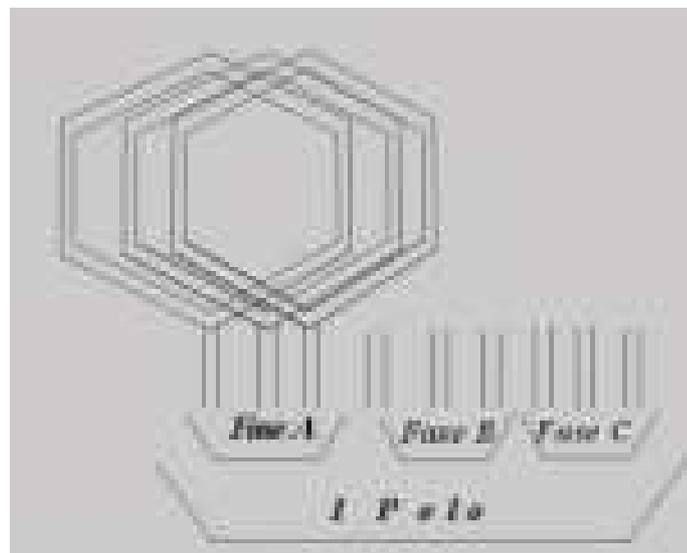
$$\underline{36 \text{ bobinas}} = 3 \text{ bobinas / grupo}$$

12grupos

En el motor del caso anterior se ha visto que hay 9 bobinas por polo, luego cada polo estará subdividido en 3 grupos, y cada grupo estará constituido por 3 bobinas de circulación de la corriente que figuran debajo de cada grupo.



Subdivisión de los polos del motor en 3 grupos, uno por fase. Cada grupo comprende 3 bobinas.



Estas bobinas señalan sucesivamente direcciones opuestas, de esta manera:

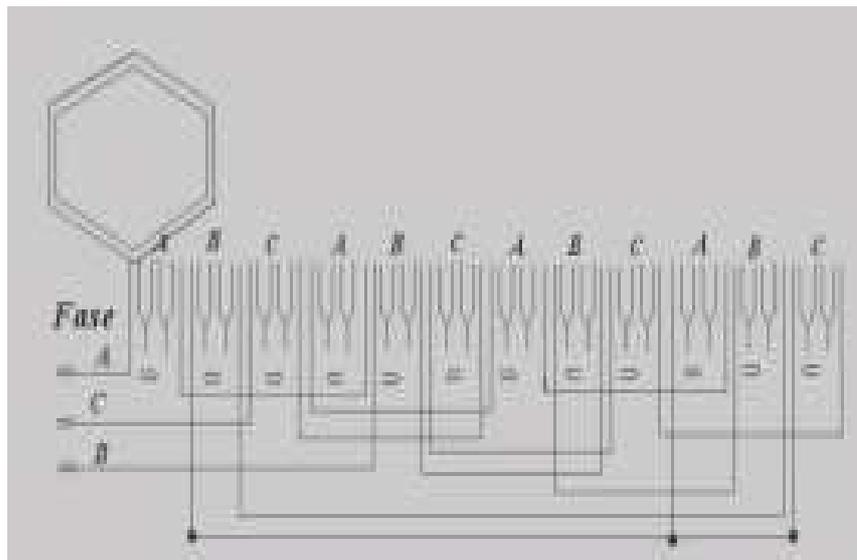
La primera flecha indica el sentido de las agujas del reloj.

La segunda el sentido contrario

La tercera el mismo sentido de la primera

La cuarta el mismo que la segunda etc.

Este es uno de los métodos que permiten comprobar si la polaridad de cada grupo es correcta.

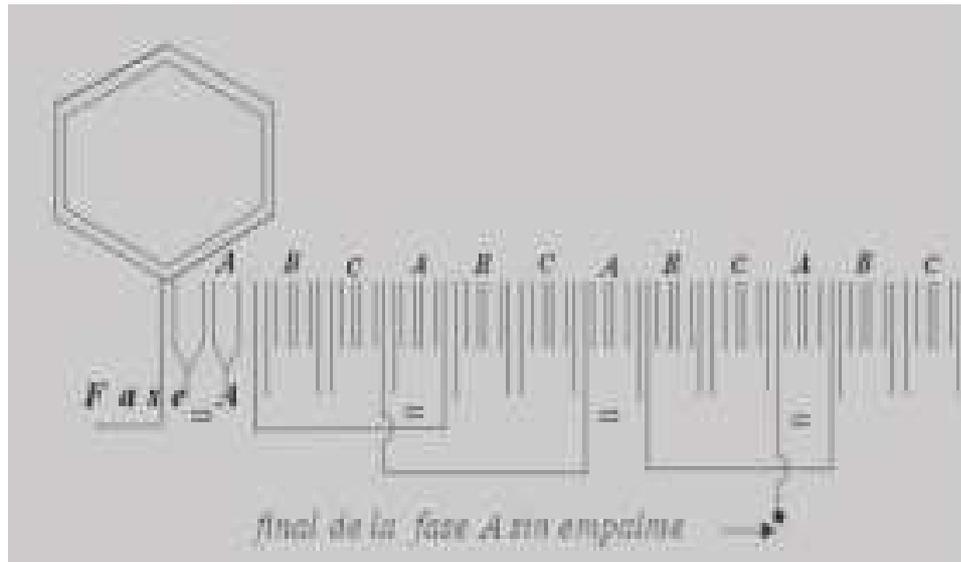


Los extremos de las tres fases van empalmados entre sí; al punto de conexión se le llama punto neutro.

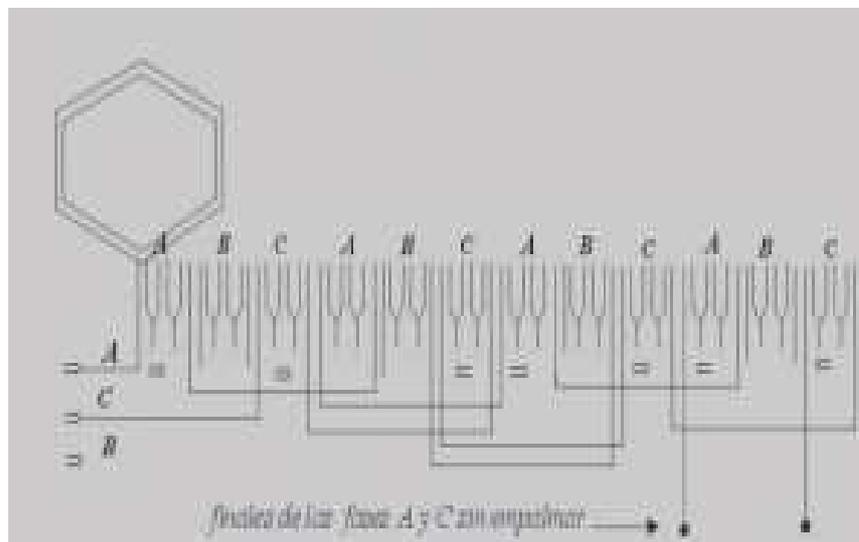
Conexión de los grupos de la fase B, idéntica a las anteriores, pero empezando por el 2do y terminando por el primero (conexión de grupo “saltado”) la corriente que circula por la fase B es de sentido opuesto a las que circulan por las fases A y C, como indican las flechas.

Con el sentido de simplificar el esquema de arriba puede sustituirse cada grupo de bobinas por un pequeño rectángulo ó a veces también es costumbre emplear un esquema circular.

Las bobinas del motor 3Φ conectadas formando 12 grupos iguales. Cada grupo se compone de 3 bobinas. Los cuatro polos son también iguales.



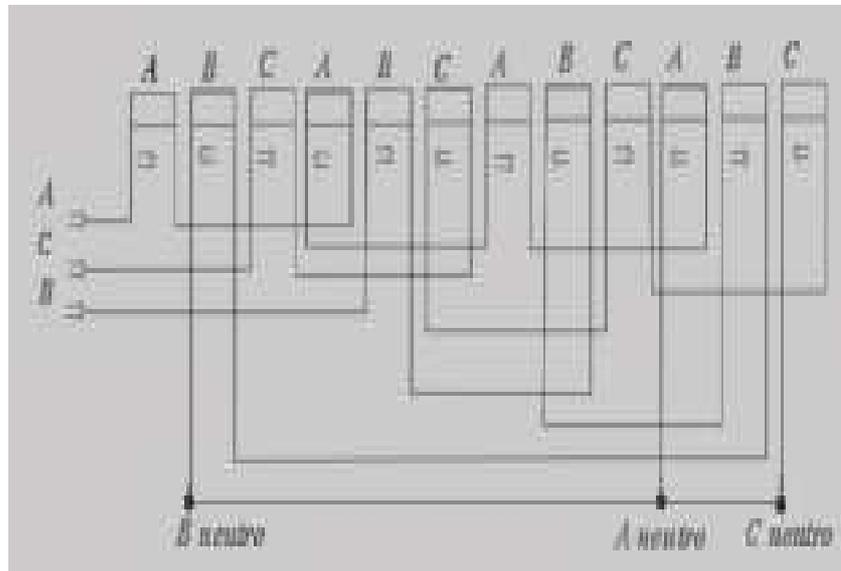
Se conectan ahora entre sí los grupos de la fase C, exactamente igual que los de la fase A. El primer grupo libre, perteneciente a la fase B, ha sido “saltado” intencionalmente con objeto de que la inyección del conexionado entre grupos pueda ser idéntica para las tres fases.



Finalmente, se conectan los grupos de la fase B del mismo modo que se ha procedido con los de la fase A y C, pero empezando por el segundo de dicha fase, es decir, el quinto a partir del principio. Gracias a éste artificio llamado conexión con grupo



“saltado”, las flechas respectivas del sentido en cada Rectángulo representa un grupo de 3 bobinas.



El diagrama siguiente permite poner más claramente de manifiesto la clase y las características de conexión del motor considerado hasta ahora.

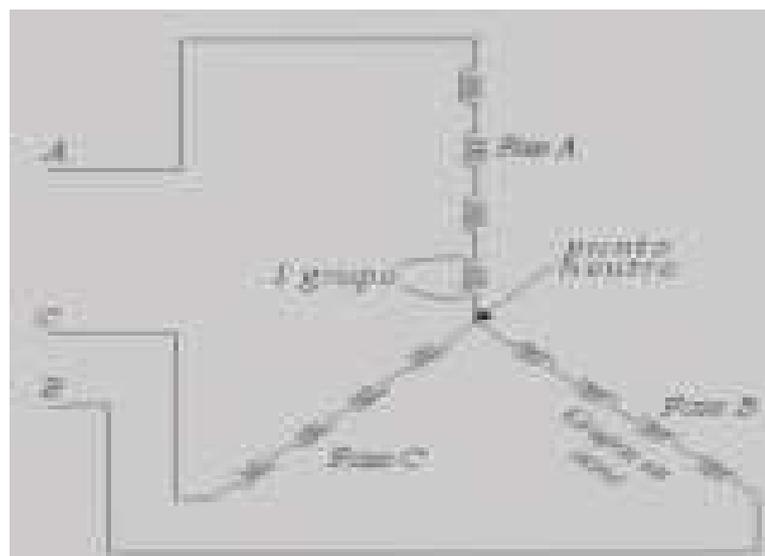


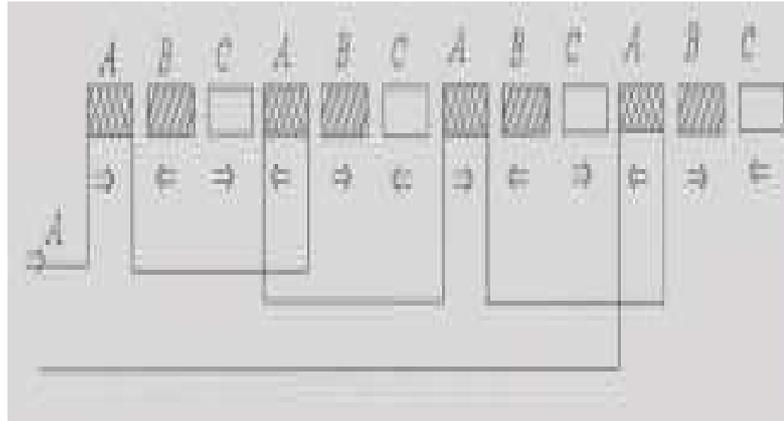
Diagrama esquemático de un motor 3Ø tetrapolar conectado en estrella (1Y).



7.3 CONEXIÓN EN TRIÁNGULO:

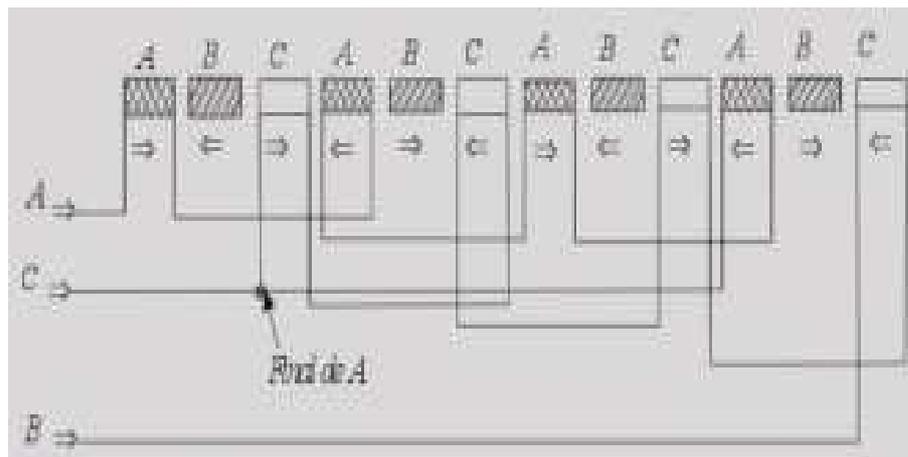
1. Los grupos pertenecientes a la fase A se unen entre sí de igual manera que se hizo con la conexión en estrella, es decir, alternando el signo de sus polaridades.

Es una buena norma poner encima de cada grupo la letra característica de la fase a la cual pertenece, y debajo de él la flecha indicativa del sentido de circulación de corriente



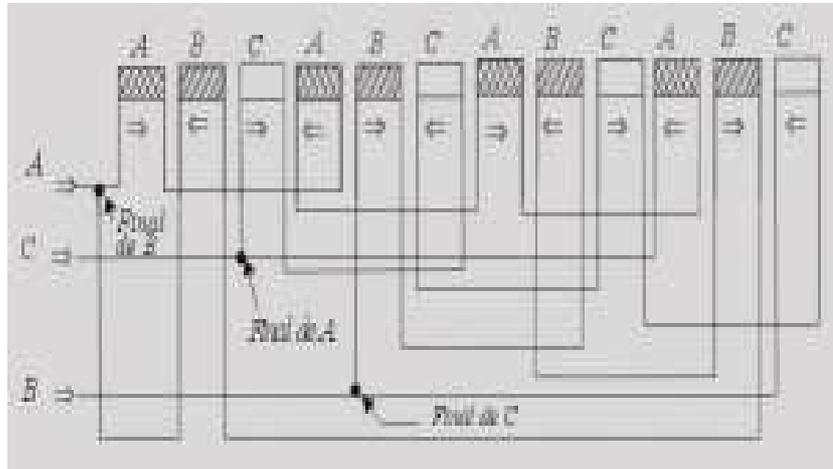
Conexión de los grupos que componen la fase A

2. Se unen ahora los grupos de la fase C exactamente igual como se ha procedido con los de la fase A. Conéctese entonces el final de la Fase A con el principio de la fase C.



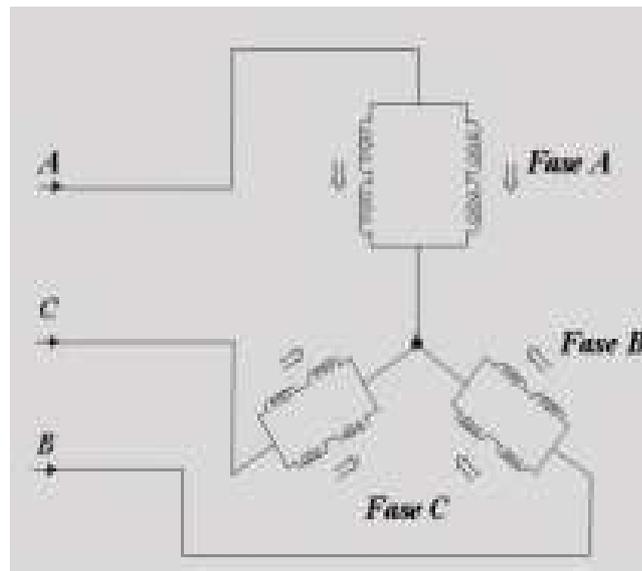


3. Se unen a continuación el final de la fase C con el principio del segundo grupo perteneciente a la fase B. Los grupos que componen dicha fase tendrán también polaridades alternadas y siempre de signo alternado.

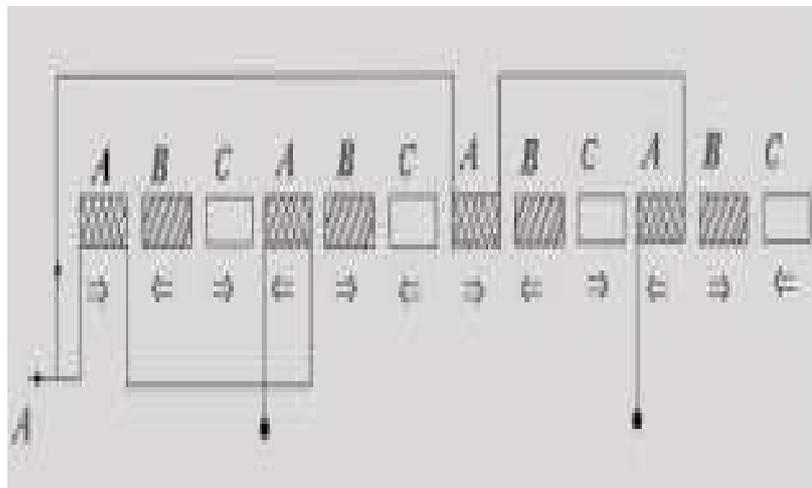


7.4 CONEXIONES EN PARALELO

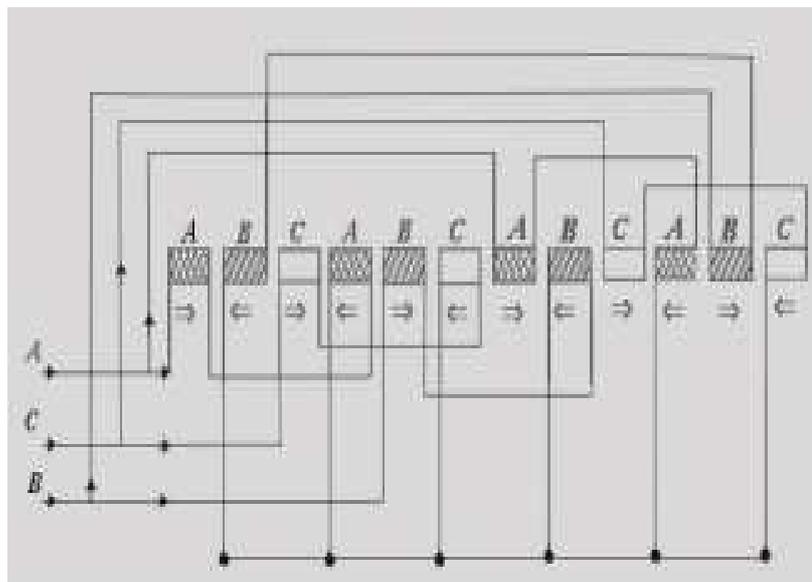
Se muestra una conexión en estrella / doble paralelo (2Y), presenta dos vías al paso de la corriente, puesto que está formada por dos ramas iguales unidas en paralelo.



Se observa la conexión de los 4 grupos de la fase A en doble paralelo:

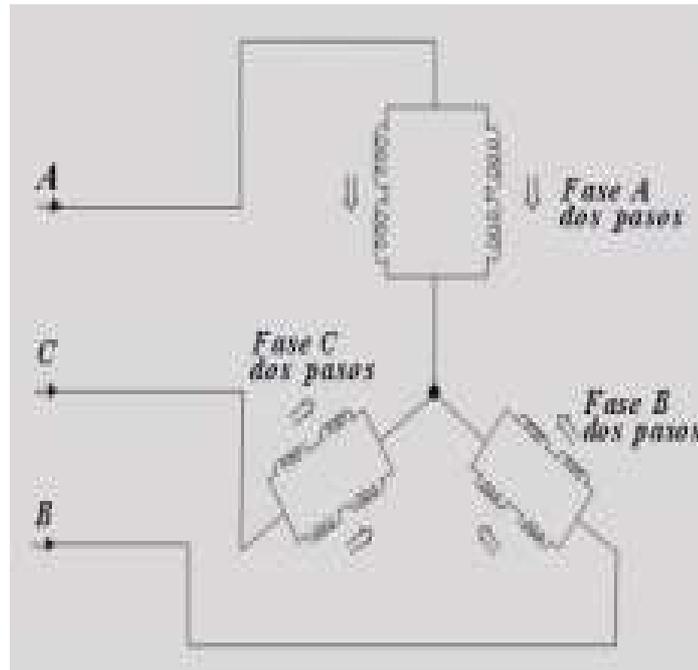


Conexión en doble paralelo de los cuatro grupos de la fase A. Los dos terminales libres irán conectados al punto neutro.



Conexión en doble paralelo de los cuatro grupos de las fases A y C.

Ahora son cuatro los terminales libres pendientes de su unión al punto neutro.



Esquema final completo del motor 3Ø tetrapolar conectado en estrella / doble paralelo (2Y). Cada fase ofrece dos vías al paso de la corriente, puesta que está formada por dos ramas iguales unidas en paralelo.

7.5 MOTORES 3Ø PARA DOS O MÁS VELOCIDADES DE RÉGIMEN

Con frecuencia de alimentación constante, la velocidad síncrona del campo magnético giratorio excitado por el estator, se modificara a saltos y en razón inversa al número de pares de polo, si el devanado estatorico por simples cambios en las conexiones de las bobinas es capaz de variar el número de polos del campo. Esta solución permite obtener con cierta facilidad dos velocidades, lo cual indica que los números pares de polo se obtienen de un mismo devanado están en la relación 1 a 2. Como el numero de polos de devanado rotorico debe ser siempre igual al del estator para no tener que alterar simultáneamente la conexión de ambos devanados los motores de inducción con conmutación del numero de polos son siempre de rotor simple o doble jaula, los cuales se caracterizan por adaptar automáticamente su número de polos a los del campo de derivación estatorico. Un sistema entre otros de modificación del número de polos de un devanado en forma simple, se consigue tal como muestra la siguiente figura.

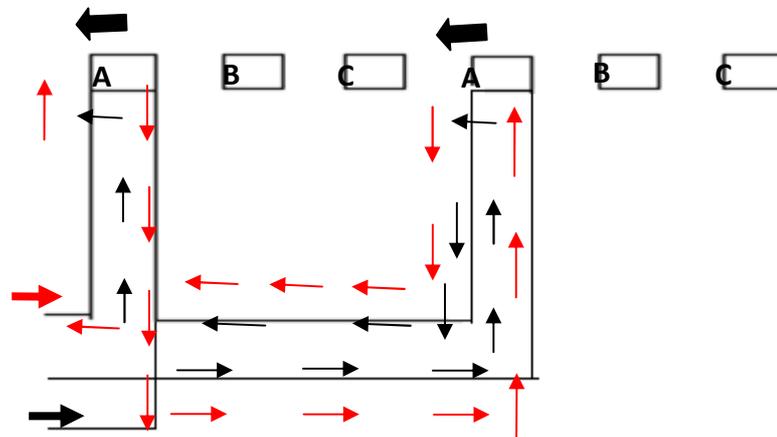
Alterando la conexión entre las bobinas, lo cual equivale a que las mismas bobinas sean de paso igual, o superior al paso polar con el número de polos más alto parte de la figura anterior y de paso acortado cuando tenga solo la mitad parte b de la figura. En este



La figura de un motor 3 Ø de par constante, 2/4 polos.

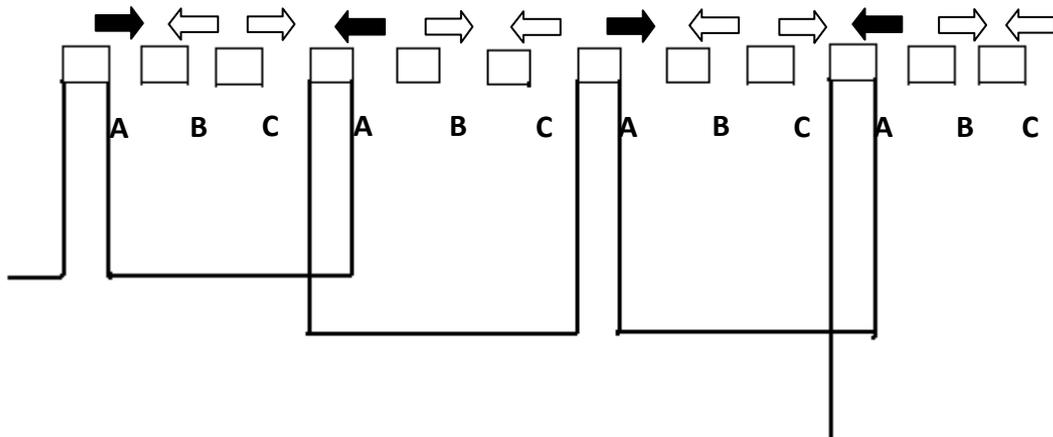
Siguiendo el circuito desde el terminal de alimentación T6, se observa que el sentido de la corriente varia alternativamente al saltar de un grupo al contiguo; se forman por consiguiente 2 polos y para los 4 polos se toma en cuenta la misma figura y suponiendo los terminales T1 y T2 unidos en el centro de la estrella, se nota también que la fase queda subdividida en dos ramas en paralelo.

Las conexiones entre grupos son exactamente los mismos, sin embargo la alimentación tiene lugar ahora por el terminal T1, suponiendo el terminal T2 unido al principio de la fase siguiente, y el terminal T6 aislado, se ve que los grupos quedan unidos en serie y la corriente es igual.

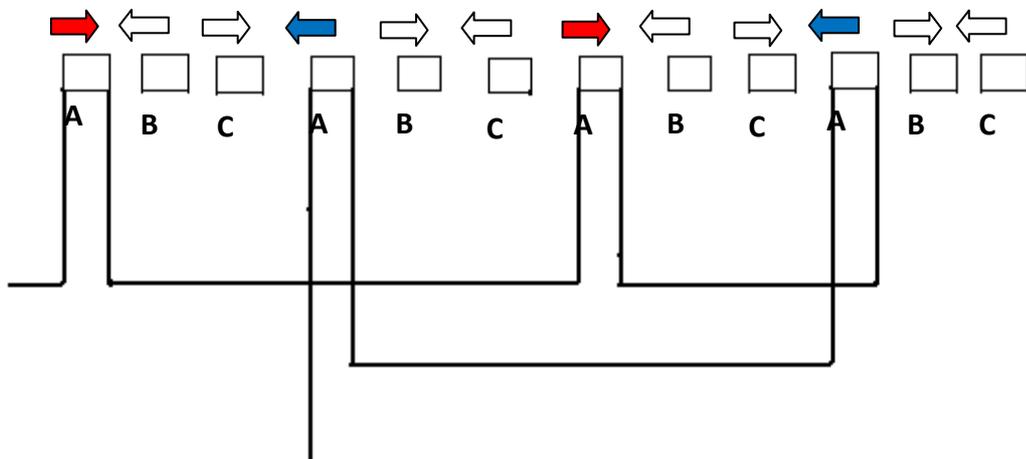


7.6 CONEXIONES CORTAS Y CONEXIONES LARGAS

En todos los esquemas representados hasta ahora se ha hecho uso de las llamadas “conexiones cortas”, también conocidas por las designaciones “final a final”, “principio a principio” y arriba hacia arriba”. Estas conexiones se caracterizan porque con ella se une siempre el final y de un grupo con el final del grupo siguiente, perteneciente a la misma fase. Así lo muestra claramente el esquema lineal de la fig. en el que para mayor simplicidad se ha representado únicamente una sola fase de un motor en Y.



Se emplea la conexión larga, arriba hacia abajo, final a principio o principio a final, cuando se une el final de un grupo con el principio del grupo más próximo de idéntica polaridad, perteneciente a la misma fase, en la figura se observa por ejemplo como el final del primer grupo está unido al principio del tercero (ambos de igual polaridad) de la misma fase, el final del segundo al principio del cuarto, etc. Las conexiones largas se utilizan principalmente en motores para velocidades de régimen o para uniones en paralelo.





CAPITULO 8

8.1 MONTAJE DEL MOTOR Y EL TABLERO DE CONEXIONES DEL BOBINADO

Ya armado el motor totalmente después de haberlo rebobinado, amarrado y con sus puntas de entrada y salida de cada bobina, se necesitan una mesa o banco para alojar al motor y los tableros de conexión y con sus respectivos cables de entrada y salida.



Figura 37. Mesa de trabajo



Figura 38. Base de mesa de trabajo



Aquí están soldados los pedazos de ángulo para la base donde va asentado el motor.



Figura 39. Base de la mesa de trabajo

8.2 TABLERO GRANDE DE CONEXIONES

Se necesita de un material aislante para evitar que no sufra contacto entre los pernos y terminales con la carcasa y sufra una reacción de campo con el inducido.

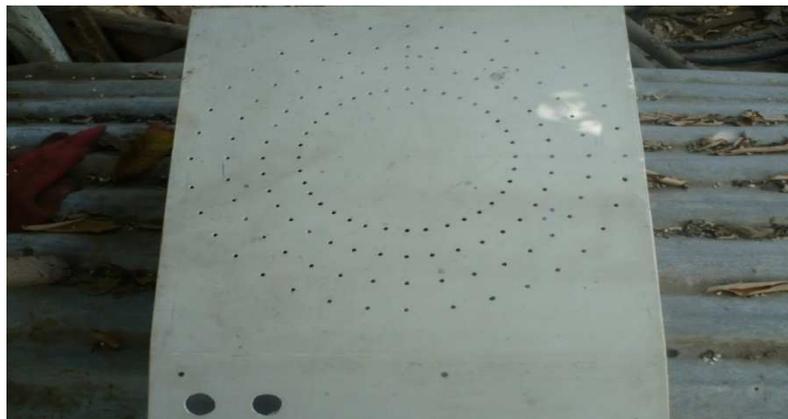


Figura 40. Tablero grande de trabajo

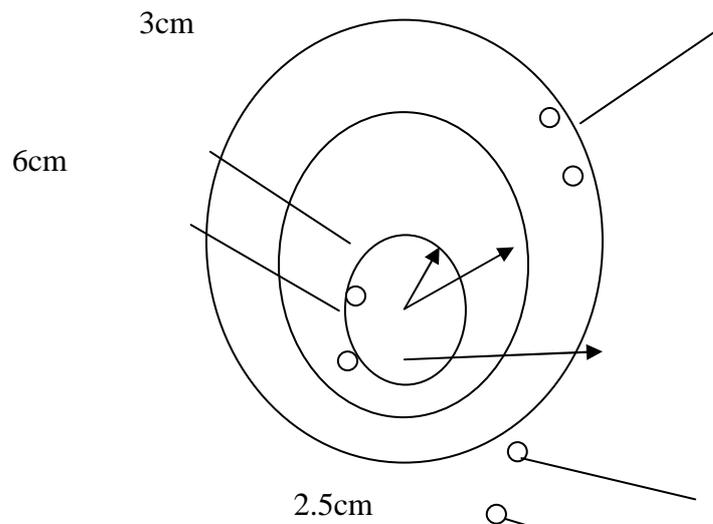


Figura 41. Tablero grande de trabajo



Figura 42. Cables de conexión

Para realizar los puntos en el tablero grande se lo tenía que colocar en un círculo para verse como el interior de un estator van colocado las bobinas se lo realiza de esta manera.



Con el círculo mayor de 18 cm de radio y con una separación de 3 cm cada agujero donde el tornillo va conectado con el cable en un terminal hay que hacer 36 agujeros como el estator, para colocar las primeras bobinas se realizan otros agujeros con otras medidas.

Con el círculo siguiente con radio 30 cm y con una separación de 25mm cada agujero se hace 36 agujeros igual como el estator y se coloca el bobinado siguiente del bobinado grande el imbricado de dos capas

Seguimos con el círculo que sigue que es para el bobinado pequeño, el concéntrico que el círculo es de 9cm de radio y con separación de 2cm cada agujero aquí se lo realiza con 36 agujeros, sino con solo 18 agujeros porque es este bobinado solo salen 18 puntas.

8.2 TABLERO PEQUEÑO DE CONEXIÓN DE BOBINAS

En el tablero pequeño se realiza un igual procedimiento del tablero grande que se realiza con 36 agujeros para un grupo de bobina y otros 36 agujeros para otro grupo y 18 agujeros mas para el bobinado pequeño.

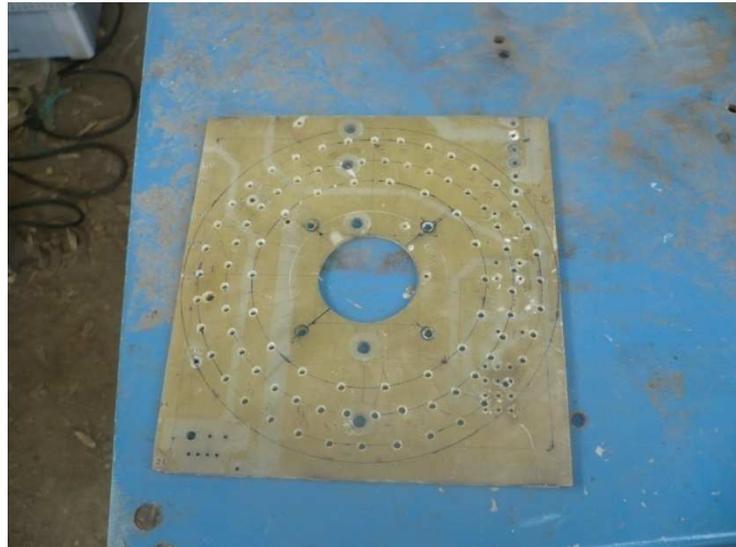


Figura 43. Tablero pequeño de conexiones de bobina

El círculo grande se hace con un radio de 8cm y una separación de 13mm para el primer grupo del bobinado imbricado y el segundo círculo con radio de 6cm y una separación de 11mm cada agujero con el ultimo círculo de radio de 5cm y una separación de 16mm.

11mm

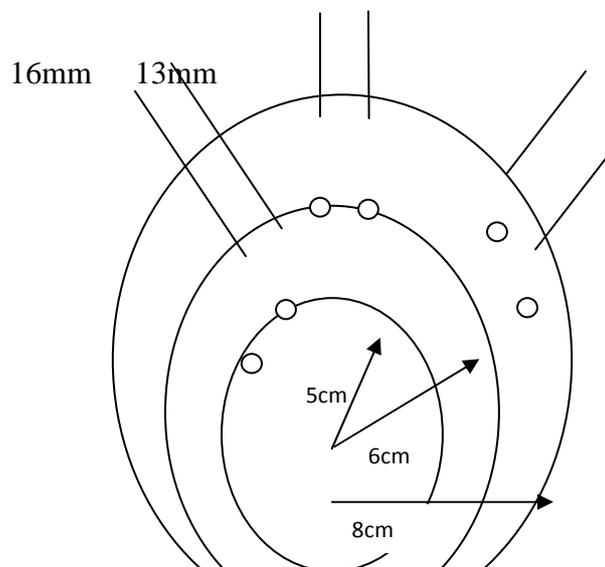
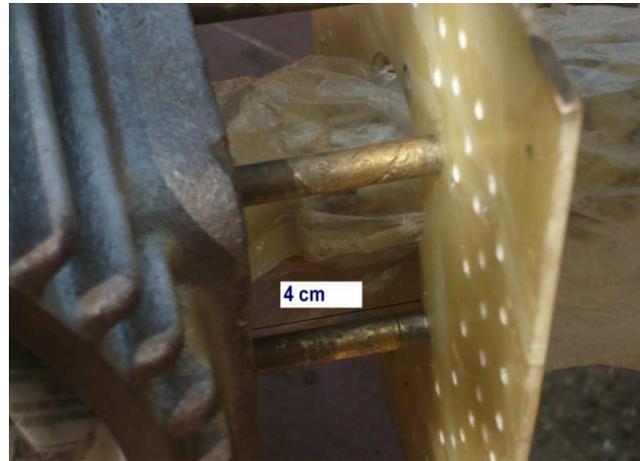


Figura 44.

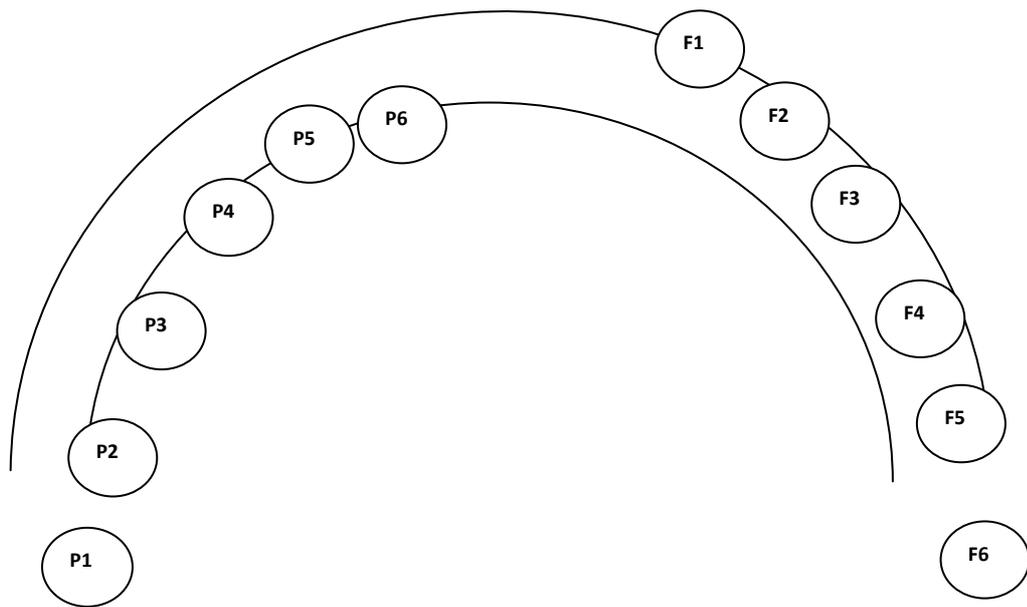


Con el tablero ya realizado con sus respectivos agujeros se lo emperna en los agujeros donde va ubicado la bornera del motor con unos pernos separados de 4cm

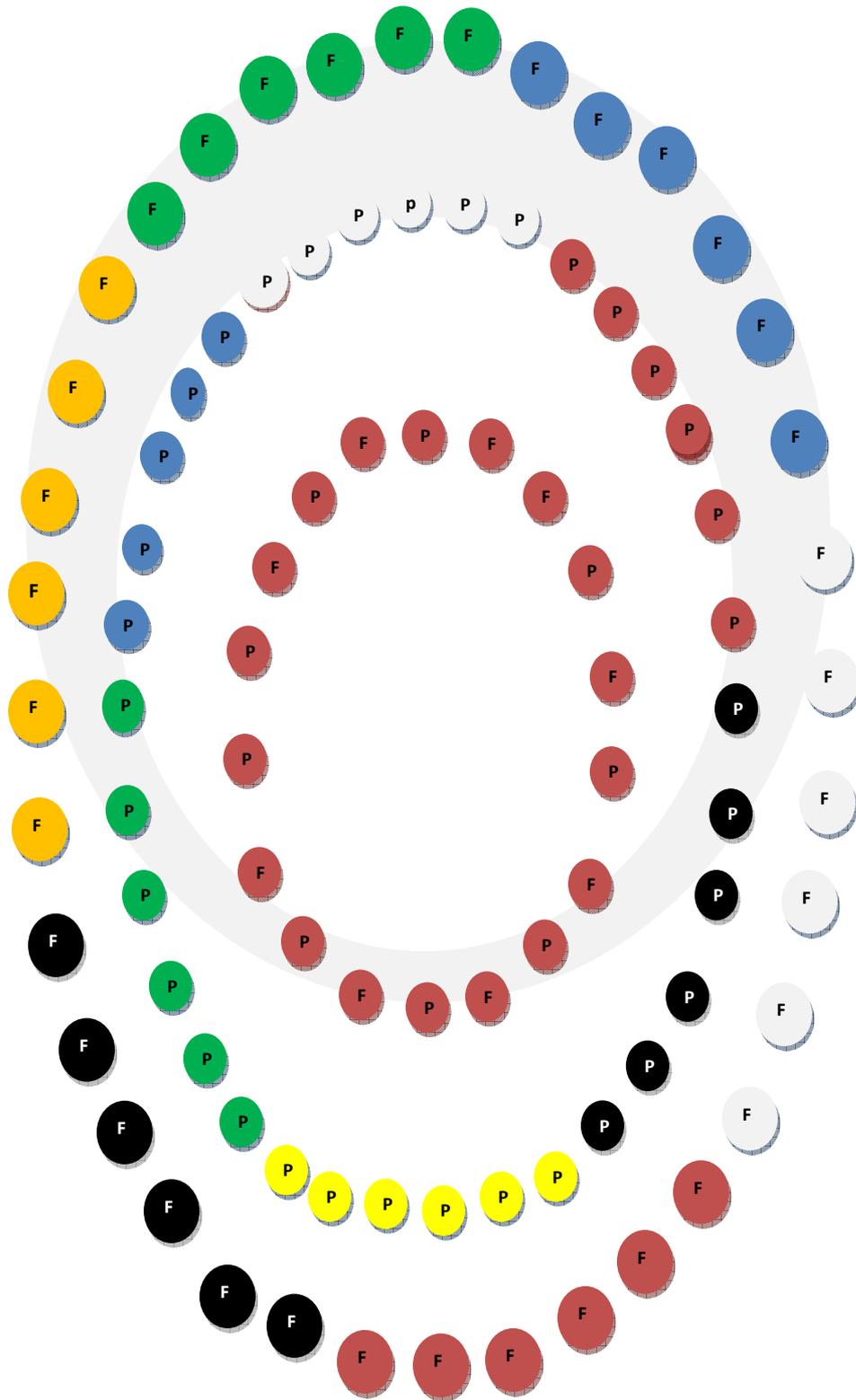


Entonces se empieza a buscar el primer grupo de bobina que debe de tener 12 puntas 6 de entrada y 6 de salida que van colocadas como si se estuviera colocando en las ranuras, los finales se colocan en el primer círculo mayor y los principios en el círculo medio

De manera siguiente, se coloca el principio uno a un perno del tablero pequeño y de ahí se cuenta espacio 10 a lo que llega el punto 10 ahí va colocado la punta final uno del primer grupo.



Para colocar las líneas del tablero pequeño al tablero grande se necesita tener unos tornillos de dos medidas de 3mm en el tablero pequeño y 4mm en el tablero grande, se diferencian los cables de colores para determinar los grupos de bobinas que hay dentro del motor.





CAPITULO 9

TABLERO DE CONTROL DEL MOTOR DAHLANDER

9.1 ARRANQUE DEL MOTOR DAHLANDER

Definición:

El Motor de 2 velocidades, es aquel que debido a su conexión o conexionado del devanado estatorico se obtiene con un único devanado 2 velocidades diferentes, siempre en la proporción $\frac{1}{2}$ es decir una velocidad será la mitad que la otra, por ejemplo en la conexión triángulo el campo magnético estatorico alcanzara 1500 revoluciones y la conexión doble estrella alcanzara 3000 revoluciones también puede darse la conexión triángulo doble estrella en la cual en el triángulo el campo magnético estatorico alcanzara la mitad de las revoluciones que la conexión doble estrella.

Componentes:

Hilo de cobre suficiente para toda la instalación, pulsador de marcha y de apagado, contactores, selectores, enchufe trifásico, sensor de velocidad y motor trifásico.

Características y función de los componentes.

Contactor:

Es un componente eléctrico formado por una bobina que van montadas en la parte estática o sin movimiento del núcleo, están formadas por dos partes una fija o sin movimiento y otra dinámica y con movimiento, en el estado de reposo las dos partes dinámicas van separadas sobre un muelle y al recibir corriente la bobina vence la acción del muelle y une las dos partes magnéticas.

Sobre las parte dinámica van unos contactos parecidos a los pulsadores los cuales cambian cuando estos reciben corriente en la bobina, y la parte móvil del núcleo se desplaza de esta forma conmuta o cambian el estado de sus contactos, y los contactos cerrados se abren y al contrario.

Pulsadores de marcha:

Al ejercer una presión sobre una zona metálica sobre la parte dinámica del pulsador, la lámina metálica puentea los bornes del pulsador, dando lugar aún paso de corriente que alimenta a otros componentes.

Selector de dos posiciones:



Es un dispositivo es aplicado en un aparato o una maquina sirve para escoger una operación entre varias o para regular una función.

En este caso su función es de conectar un arranque distinto, en doble estrella o triangulo.

Accesibilidad.

Este motor de conexión Dahlander, se tiene 9 bornes de los cuales 3 bornes pertenecen a los 3 principios de fase, otros 3 bornes pertenecen a los 3 finales de fase y los 3 bornes restantes a los 3 puntos medios o centrales de cada fase del devanado.

Conexión triangulo de un motor Dahlander

Para realizar la conexión triangulo doble estrella habremos de realizar los puentes correspondientes entre principios y finales como si de un motor trifásico normal se tratara es decir U-Z, V-X, W-Y.

Estas conexiones se lo realiza directamente al contactor, le aplicaremos servicio igual que si se tratara de un motor trifásico con conexión triangulo, U, V, W consiguiendo con esta forma la velocidad más corta.

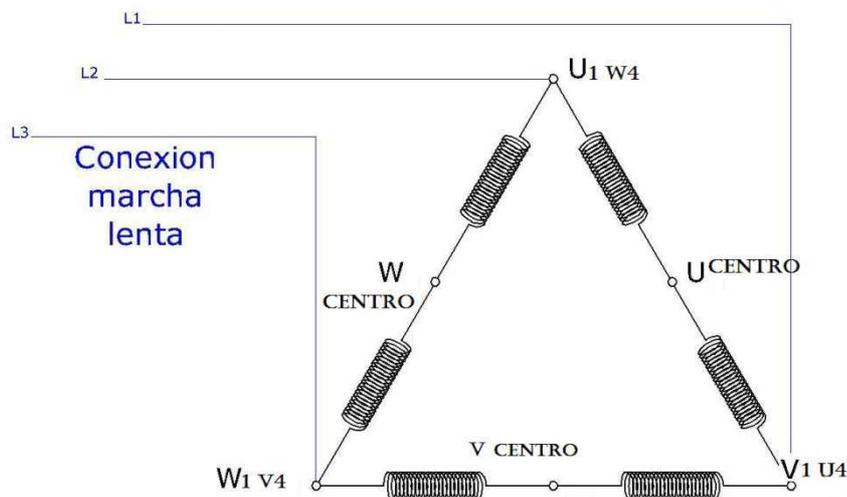
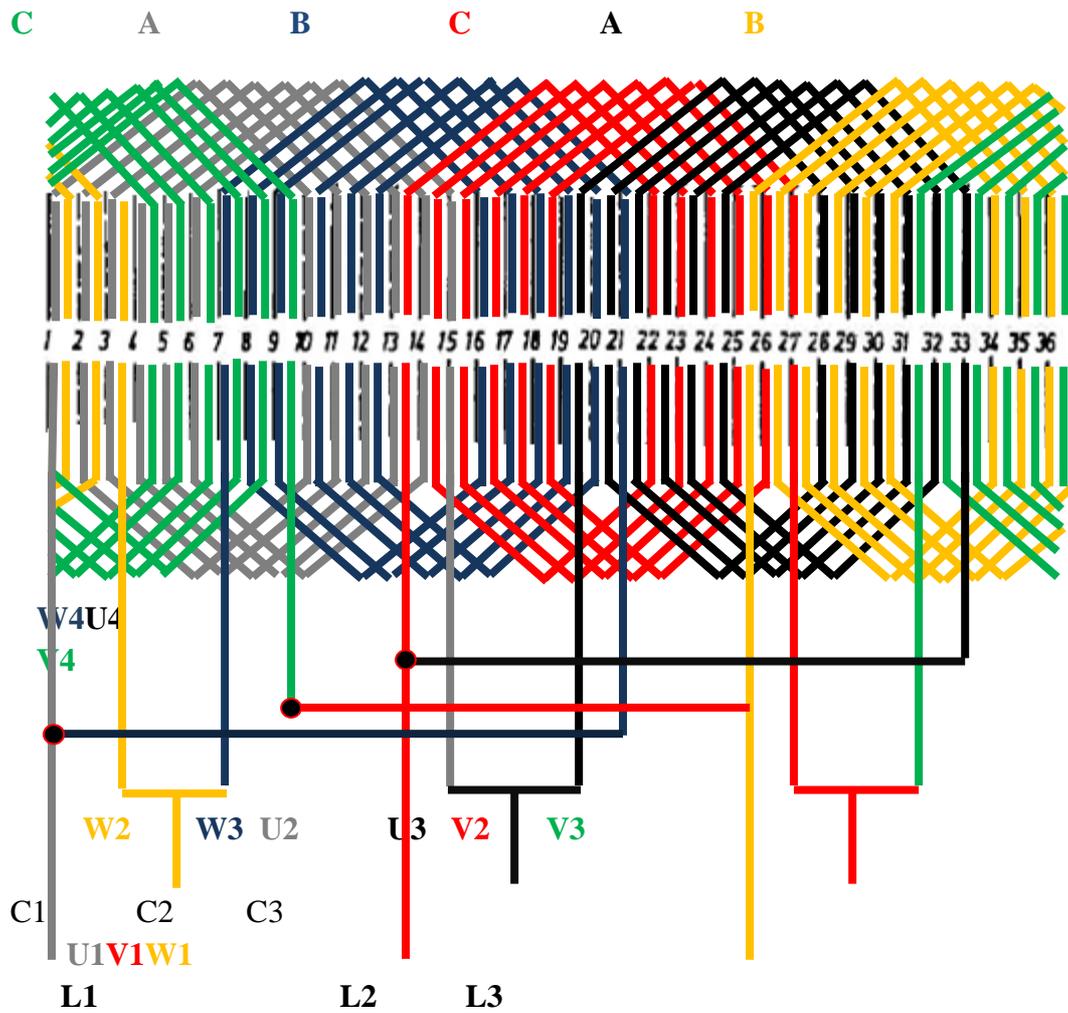


Figura 76 conexión triangulo



Diagrama devanado imbricado triangulo 4 polos



Los puntos U1, V1, W1, en conexión triangulo es donde se energiza el motor.



Conexión doble estrella de un motor Dahlander

Para conseguir la velocidad más larga es decir la conexión doble estrella es necesario aplicarle servicio a los puntos medios o centrales de cada fase del devanado y puentear los principios y finales de forma temporal todos los principios por donde le aplicaremos servicio, a la hora de hacer las conexiones estrella, doble estrella, como triángulo, es necesario tener en cuenta no invertir la entrada de corriente entre una conexión y otra es decir tenemos que tener la precaución por ejemplo de que en estrella y doble estrella cada fase del devanado recibir la misma fase de corriente tanto cuando se le aplica servicio por principio o los puntos medios.

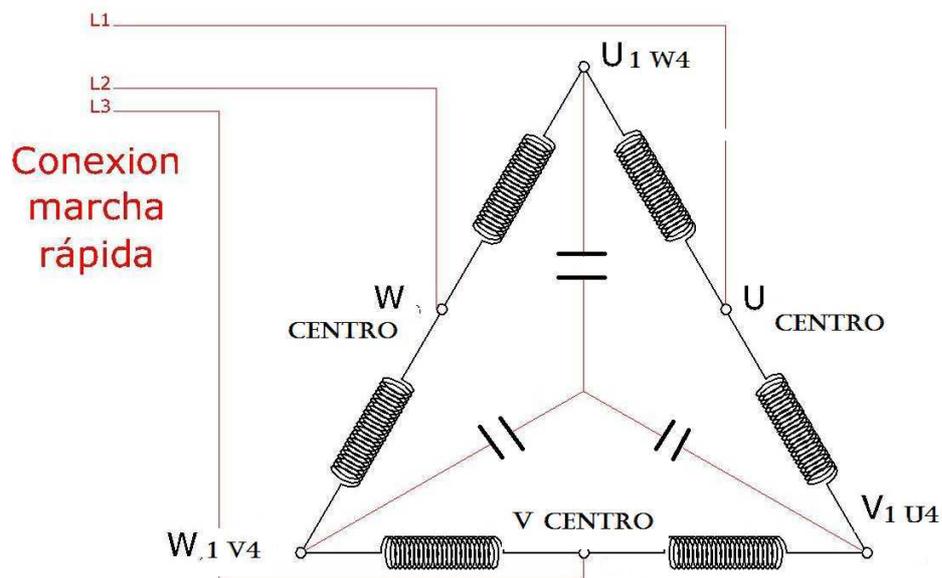
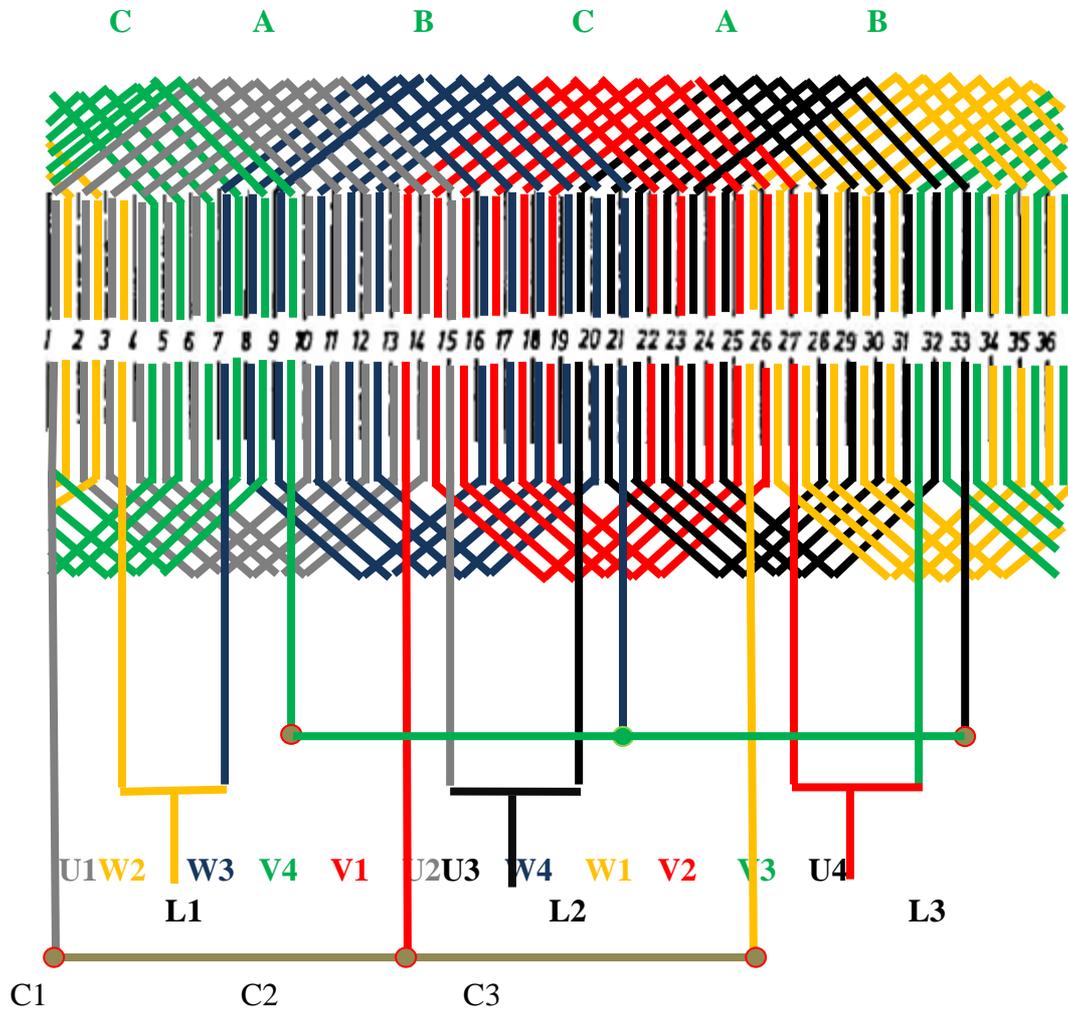


Figura 78.- conexión doble estrella



Devanado imbricado doble estrella 2 polos



Los puntos c1, c2, c3, son los centros de cada grupo del bobinado en este caso es por donde se logra energizar el motor. En doble estrella.



DIAGRAMA DE CONTROL

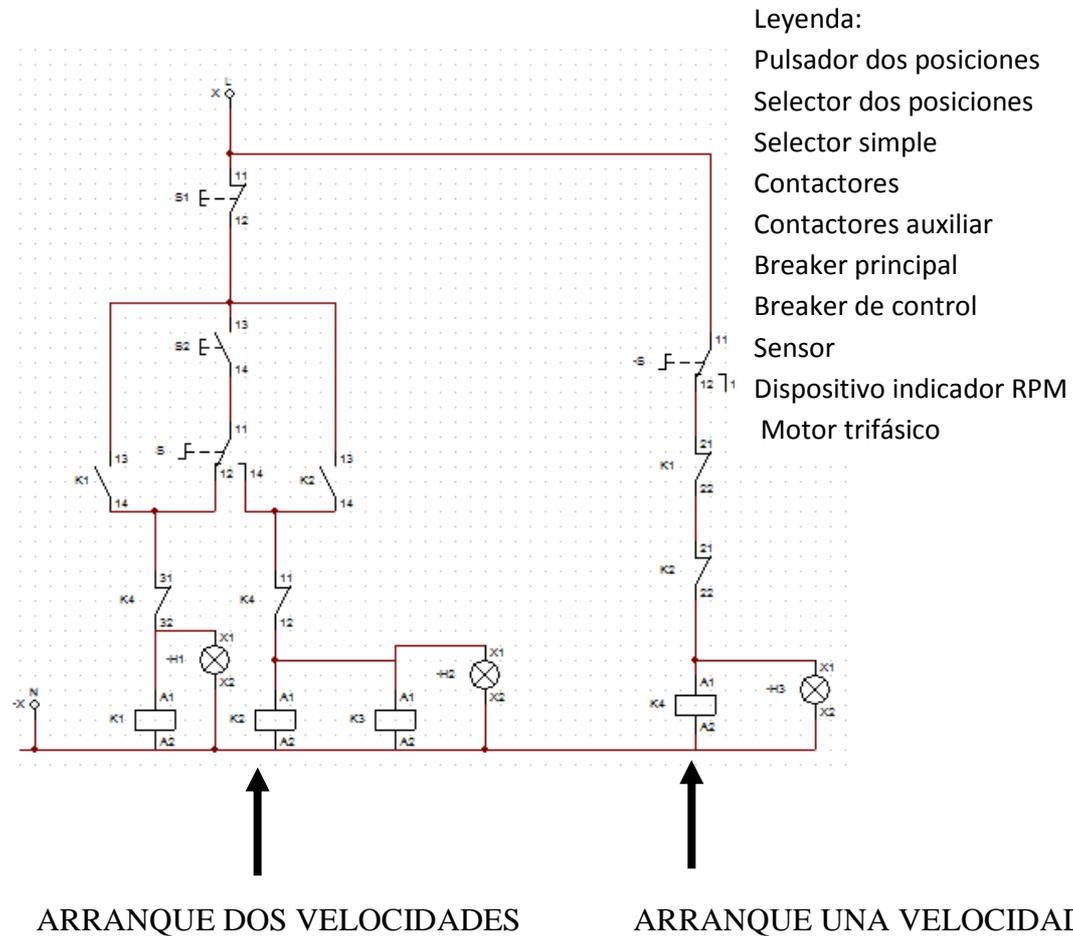


Figura 80.- Diagrama de control, arranque de dos velocidades y una velocidad y con paro del motor.



DIAGRAMA DE POTENCIA

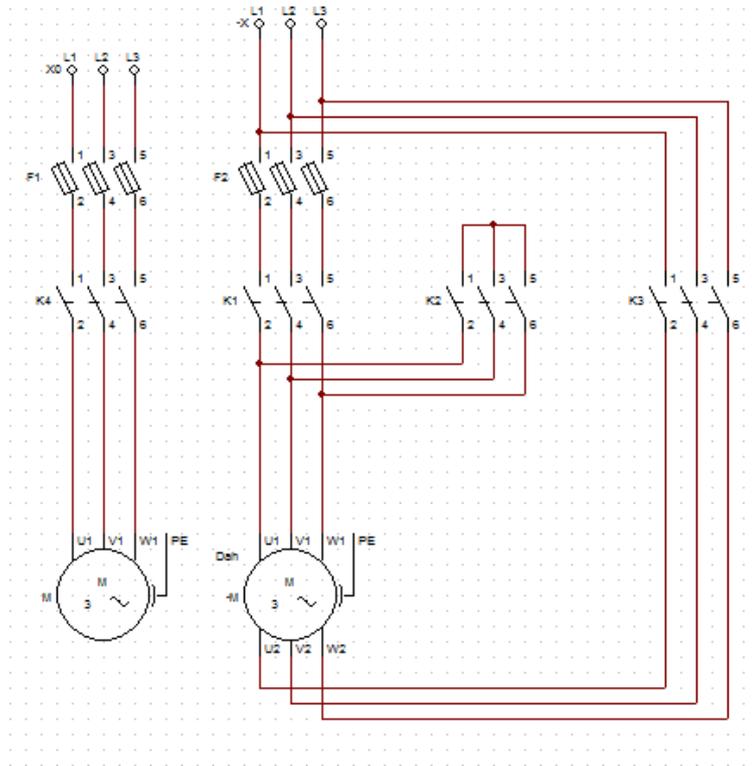


Figura 81.- Diagramas de fuerza aplicadas al motor



Desarrollo

Se energiza por el pulsador S0 (NC), que sigue por un conductor hasta el pulsador S1 (NO) y en serie con el selector de dos posiciones, con el selector podemos iniciar dos arranques en triangulo y doble estrella.

Colocamos el selector en la posición uno lo energizamos con el pulsador (S1) y hace que se active la bobina K1 y se logra cerrar el contactor K1 (NO) y también se activa el contacto K1 (NC) para bloquear por seguridad el arranque de 6 polos, al activarse estos elementos se logra arrancar el motor en triangulo a 4 polos velocidad menor.

Una vez detenido el motor con el pulsador S0 (NC) después de haber arrancado en triangulo, se ubica el selector en la segunda posición que es doble triangulo lo energizamos con el mismo pulsador S1 se logra cerrar la bobina K2 y también el contacto K2 (NO) junto con el contacto K3 (NO), aquí también se cierra K2 para bloquear por seguridad el arranque de 6 polos, después de cerrarse el circuito como debe de ser el motor arranca en doble estrella 2 polos velocidad mayor.

En los arranques de las dos velocidades del motor se observara en el indicador RPM las respectivas velocidades.



Conexión triángulo una velocidad 6 polos

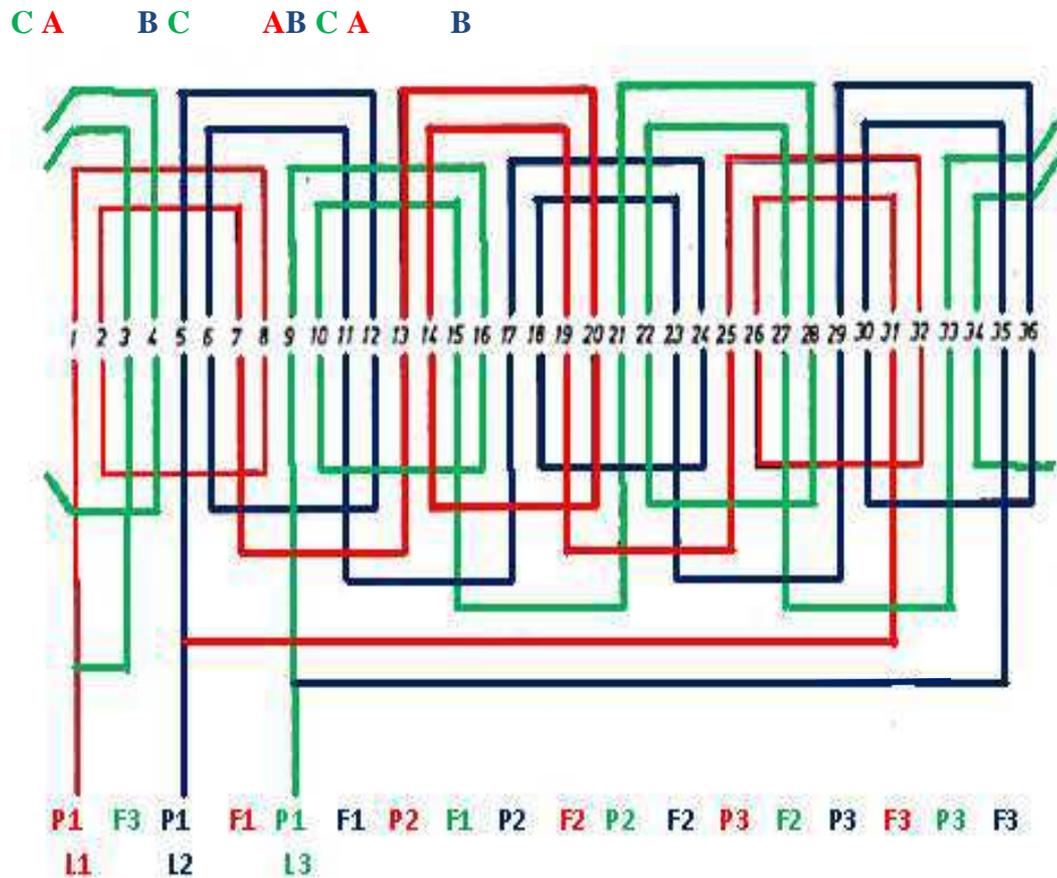


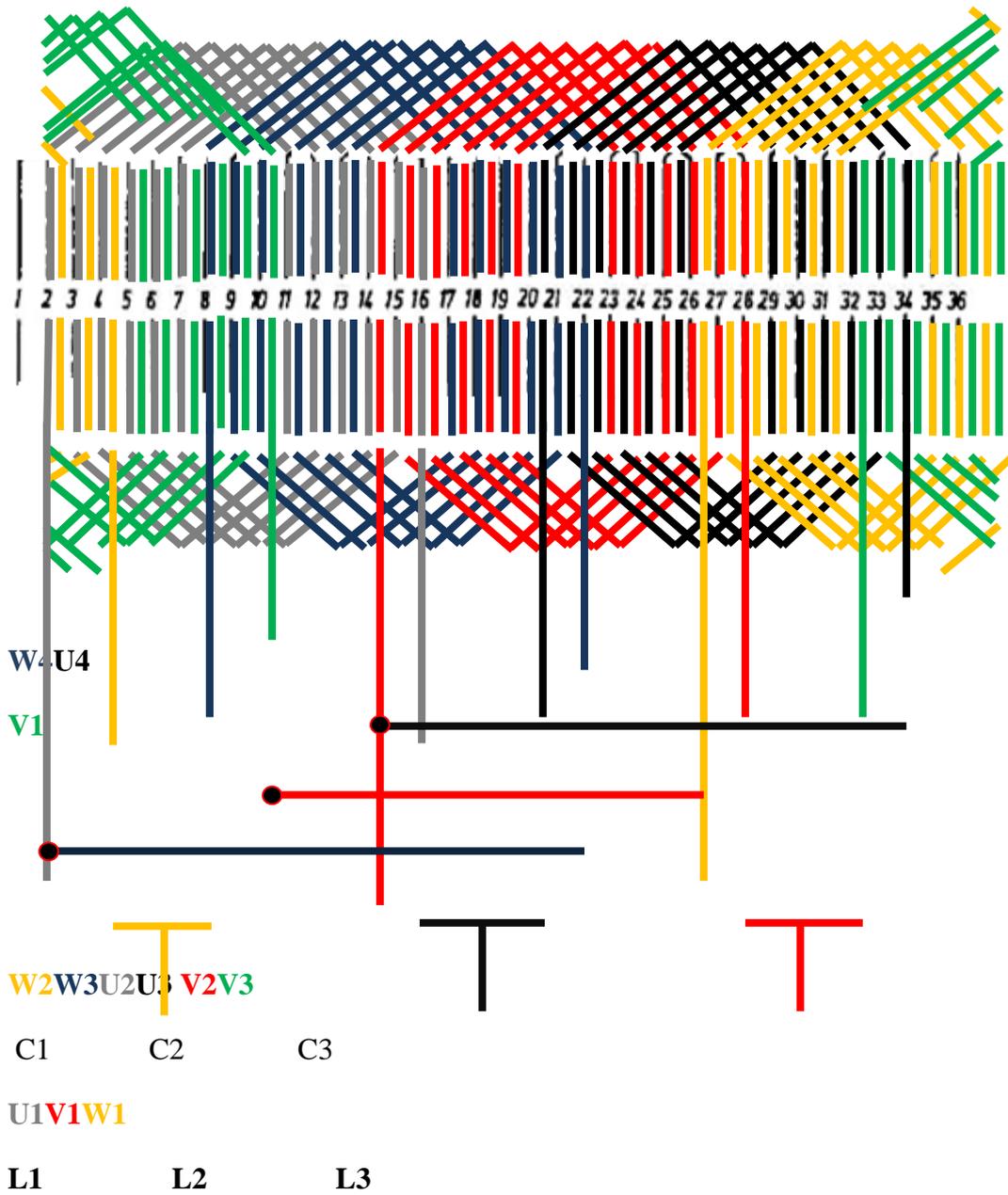
Figura 82.-Este diagrama de conexión triángulo se lo energiza con un arranque directo, el diagrama de control y fuerza de esta conexión está ubicado en el diagrama de las dos velocidades, en la sección anterior.



9.4 CONEXIONES

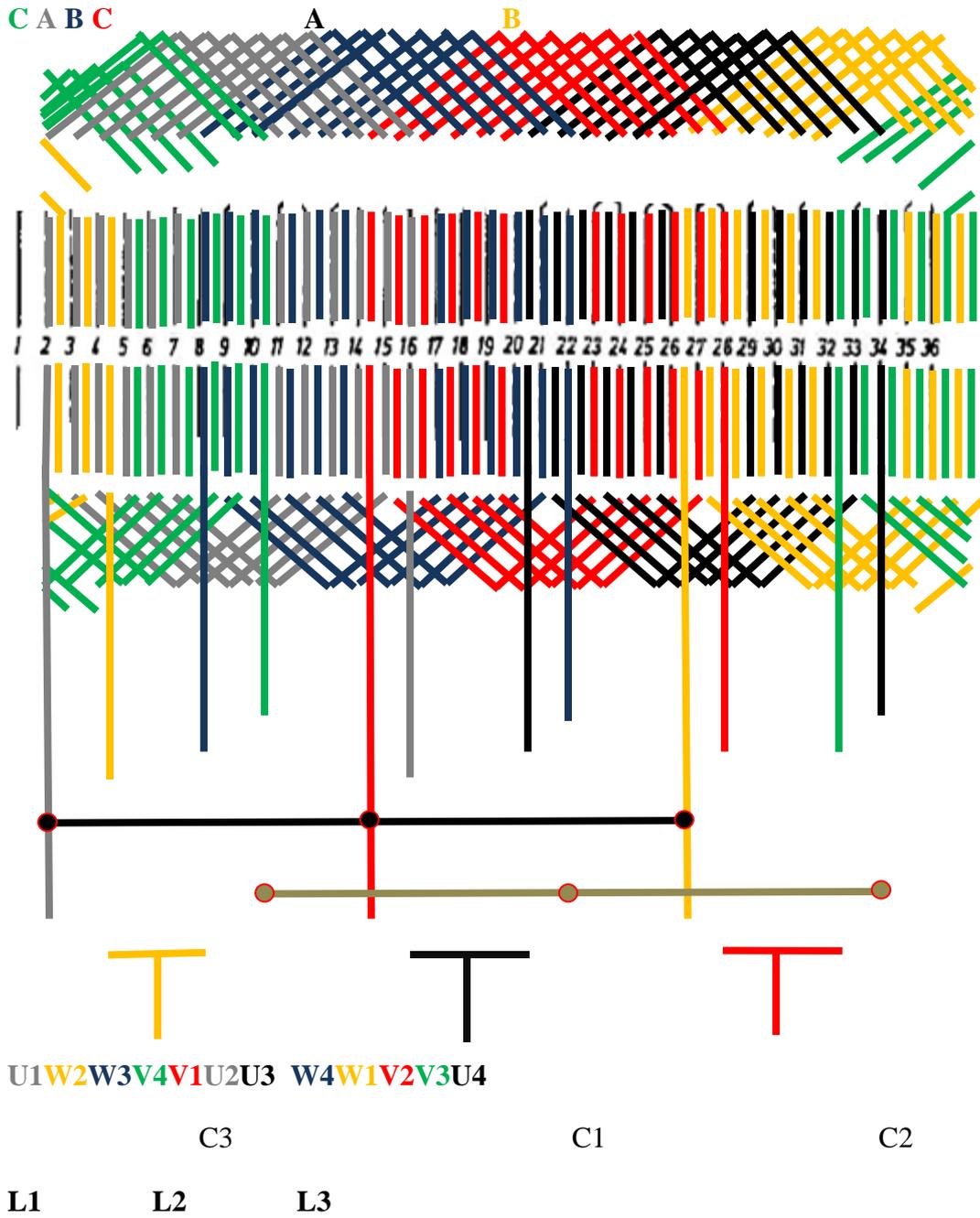
9.4.1 CONEXIÓN DE LAS BOBINAS IMBRICADO TRIANGULO 4 POLOS

CAB CA B





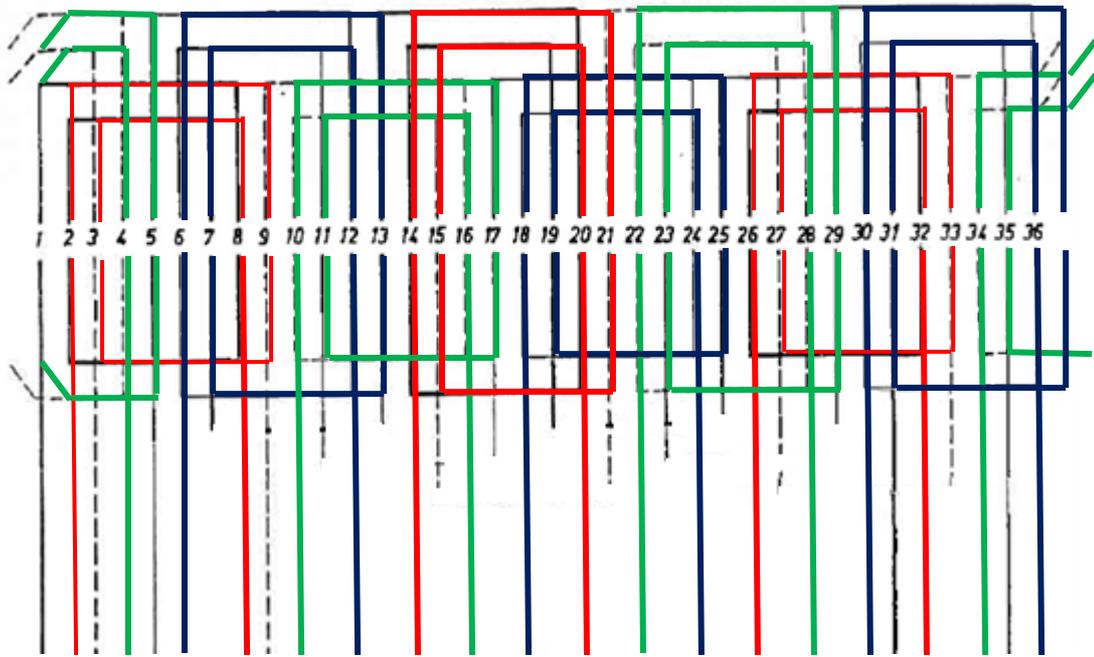
9.4.2 CONEXIÓN DE LAS BOBINAS IMBRICADO DOBLE ESTRELLA 2 POLOS





9.4.3 DIAGRAMA DE BOBINA CONCENTRICO CON TODAS LAS PUNTAS DE ENTRADA Y SALIDA

CA BC AB CAB

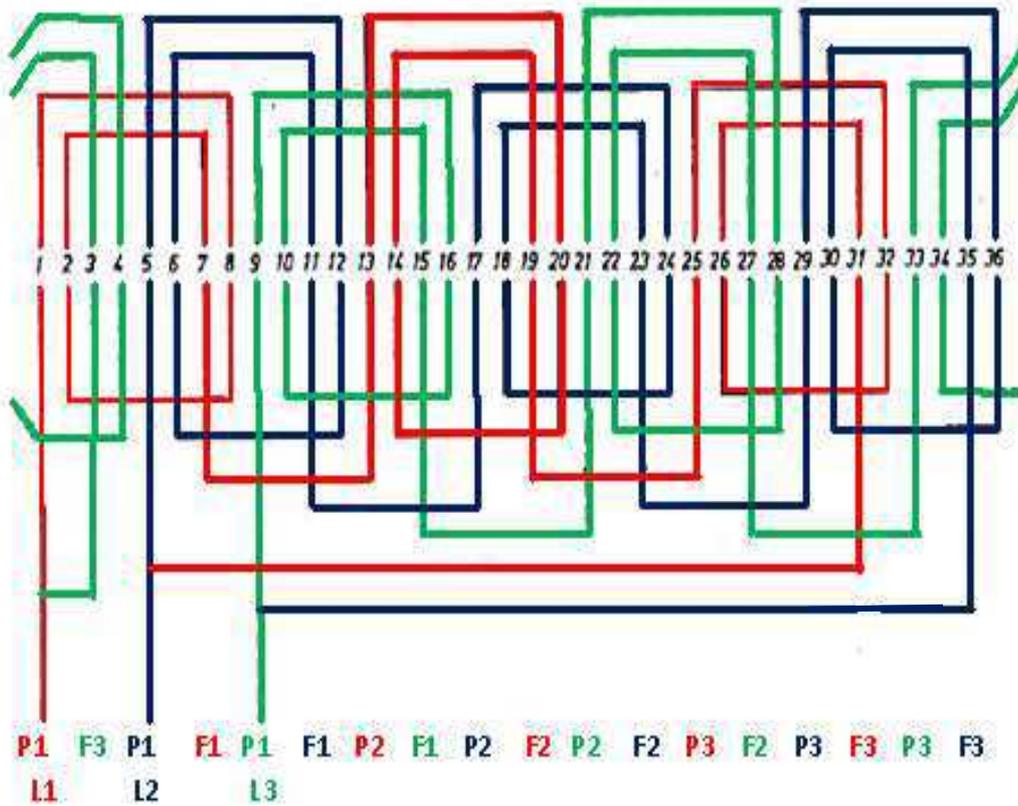


P1F3P1F1P1F1P2F1P2 F2P2F2P3F2P3F3P3 F3



9.4.4 DIAGRAMA CONEXIÓN DE DEVANADOS CONCENTRICOS TRIANGULO UNA VELOCIDAD

CAB CAB CAB





CAPITULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Este proyecto va a hacer un incentivo valioso para el estudiante que quiera conocer a fondo los motores.

Se aprenderá la ubicación de cómo irán alojadas las bobinas, dentro de las ranuras, para tener un inicio de conocimiento para lograr rebobinar un motor.

En este proyecto se podrá realizar prácticas de cálculo de las bobinas y realizar diagramas de las ranuras con las bobinas y conexiones de bobinas.

Se podrá realizar conexiones tanto para voltaje de 110V como para 220V y hacer consultas sobre el tema y tener conocimiento para su carrera a fines.

Que con este proyecto se logrará estudiar los motores más a fondo y va a hacer bastante práctico en el área de laboratorio.

RECOMENDACIONES

Según el desarrollo de la tesis se mostraron los diferentes cálculos para la correcta realización de un mantenimiento y rebobinación de un motor eléctrico, y por ende se recomienda tomar en cuenta estos puntos para realizar un correcto desarrollo de los mismos.

Otro punto importante es conocer los elementos de un motor eléctrico y sus demás características eléctricas para un buen dimensionamiento de las protecciones.

**CAPITULO 11****BIBLIOGRAFIA**

HARPER Enríquez, El ABC de las Máquinas Eléctricas, “Motores de corriente alterna” Grupo noriega editores, Balderas 1995, México.

VELEZ José, Tesis de Grado “Estudio y Montaje de una Máquina Polifásica de Inducción con una Máquina de Corriente Continua para Laboratorio de Máquinas de Eléctricas”.

DANIELS, “The Performance of Electrical Machines, Nueva York: McGraw-Hill, Inc, 1968

PRACTICAS DE ELECTRICIDAD, “Cálculo de bobinado de Máquina de Corriente Alterna”

SINGER Francisco, “Tratado de Bobinados”, Editorial HASA, Buenos Aires 1958