



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

“DETERMINACIÓN DE LAS MARCAS DE POLARIDAD
EN MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS”

TESIS

Que para obtener el Título de
INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

Alberto Gutiérrez Martínez

Asesor de Tesis

Dr. Carlos Pérez Rojas

Morelia, Michoacán, Enero del 2009.

Agradecimientos

Por todo el apoyo que me brindaron incondicionalmente.

A mis profesores y amigos.....

A mis amigos David y Heriberto, por su amistad.

A mis profesores Víctor y Alejandra, por su gran apoyo y humanidad.

A mi asesor de tesis Dr. Carlos Pérez Rojas, por su paciencia y tolerancia en el logro de esta meta.

A mis dos grandes hermanos, Javier y Lulú, que son un ejemplo a seguir.

A mis padres Sra. Lourdes Martínez, Gracias mamá lo logramos! y en memoria de mi padre Javier Gutiérrez † donde quiera que estés gracias papá.

A mi novia Ruth Martínez, por estar al pendiente de mí en todo momento.

Gracias por estar conmigo siempre, por el apoyo incondicional y el gran afecto que he tenido de ustedes en todo momento

Resumen

En muchas ocasiones al dar mantenimiento a los motores eléctricos utilizados en la industria, no se cuenta con algunos de los datos de fabricación como lo son las marcas de polaridad; por lo que se es necesario determinarlas y establecer un procedimiento que permita obtenerlas de una manera sencilla y eficiente.

Sabemos que las marcas de polaridad en motores eléctricos, son de vital importancia ya que con ellas podemos establecer el tipo de conexión en dicha máquina.

A lo largo de los capítulos de este trabajo, el desarrollo del tema se inicia con los conceptos básicos acerca de la inducción electromagnética, las máquinas de inducción; en especial del principio del transformador y de la aplicación de las marcas de polaridad a las bobinas de éstos; para identificar las direcciones de los voltajes inducidos en los devanados y las direcciones relativas en las que los dos embobinados se encuentran arrollados sobre el núcleo. Las marcas de polaridad aplicadas al transformador son la base de la investigación de la determinación de las marcas de polaridad aplicadas al motor de inducción trifásico ya que con éstas se tiene identificado las direcciones de arrollamiento de los devanados del estator.

Como método de comprobación a la investigación, se utilizan los diagramas fasoriales, en los cuales se representan las direcciones relativas de los voltajes inducidos, así como los vectores resultantes correspondientes a los voltajes inducidos.

Dentro de las aportaciones de la investigación, es proponer una metodología a seguir para este tipo de casos que se presentan en la industria, lo cual es de suma importancia para el desarrollo del trabajo, ahorro de tiempos y costos.

Por tal motivo se realizan las pruebas en motores más comunes y comerciales utilizados en la industria, de tal manera que se pueda comprobar la teoría que de acuerdo a las marcas de polaridad y la conexión de éstas, interviene en el campo magnético generado.

Contenido

Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tablas.....	xii
Lista de Símbolos y Abreviaciones.....	xiii

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Metodología.....	3
1.5 Contenido de la Tesis.....	3

Capítulo 2 Fundamentos Teóricos

2.1 Principios de las máquinas de inducción.....	7
2.1.1 Campos magnéticos.....	7
2.2 La máquina de inducción trifásica.....	8

2.2.1. Principio de operación.....	10
2.2.2 Campo magnético giratorio.....	12
2.3 Características de la máquina de inducción trifásica.....	14
2.3.1 Conexión corta y conexión larga.....	15
2.3.2 Devanados estáticos trifásicos.....	16
2.4 Conexiones fundamentales de los motores de inducción trifásicos.....	18
2.4.1 Conexión en estrella.....	21
2.4.2 Conexión en delta.....	24
2.4.3 Conexión en serie o en paralelo.....	27
2.5 Polaridad de un transformador.....	32
2.6 Propiedades de las marcas de polaridad.....	35
2.7 Marcas de polaridad en terminales.....	36
2.8 Pruebas de polaridad.....	37
2.9 Marcas de polaridad de transformadores trifásicos.....	38
2.10 Polaridad en motores de inducción.....	40

Capítulo 3. Determinación de las marcas de polaridad en motores de inducción.

3.1 Motores utilizados en la investigación.....	41
3.2 Determinación de las marcas de polaridad apartir de la caja de terminales.....	42
3.2.1 Identificando el tipo de conexión interna y el número de terminales.....	43
3.2.2 Designación de nombres arbitrarios y numeración estandarizada.....	44
3.2.3 Pruebas a realizar para determinar las marcas de polaridad.....	45

3.3 Metodología a seguir para determinar las marcas de polaridad en motores.....	50
3.4 Analisis vectorial de la determinación de las marcas de polaridad.....	56
3.5 Conexiones adecuadas finales.....	65

Capítulo 4. Conclusiones.

Referencias.....	69
------------------	----

Lista de Figuras

2.1 La fem inducida en una bobina es proporcional al número de espiras de alambre que cruzan a través del campo	7
2.2 Dirección de línea de flujo a), Líneas de flujo magnético b).....	8
2.3 Sección del circuito magnético de estator y rotor en un motor de inducción tipo jaula de ardilla.....	9
2.4 Motor de inducción trifásico.....	9
2.5 Vista despiezada del motor de inducción, que muestra el estator, el rotor, las tapas laterales, el ventilador, los cojinetes y la caja de terminales.....	10
2.6 Imán en movimiento que pasa sobre la escalera conductora.....	11
2.7 Escalera enrollada para formar una jaula de ardilla.....	11
2.8 Esquema de un motor de inducción trifásico.....	12
2.9 Ilustración del campo magnético giratorio del estator.....	13
2.10 Combinación instantánea de los fasores de FMM de las fases A, B, C, que da como resultado FMM total constante que gira en el sentido del reloj.....	13

2.11 Devanado estatórico trifásico.....	17
3.12 Esquema de la conexión en estrella.....	18
3.13 Esquema de la conexión en delta.....	19
2.14 Conexión de las bobinas de cada grupo.....	20
2.15 Conexión de grupos de bobinas.....	20
2.16 Conexión de los grupos saltados. La corriente que circula por la fase B es de sentido opuesto a las que circulan por la fase A y C, como indican las flechas.....	21
2.17 Diagrama esquemático de un motor trifásico conectado en estrella/ serie (1Y).....	22
2.18 Designación y conexión de terminales en motores estrella para doble tensión de servicio.....	23
2.19 Diagrama esquemático de un motor trifásico, 4 polos, doble tensión de servicio en estrella a), Con las dos mitades de cada fase unidas en paralelo b).....	24
2.20 Diagrama esquemático de un motor trifásico conectado en delta/serie.....	24
2.21 Esquema lineal completo del motor delta.....	25
2.22 Las fases han sido ejecutadas por el método de grupos sucesivos.....	26
2.23 Designación y conexión de terminales en motores delta para doble tensión de servicio.....	26
2.24 Las dos mitades de cada fase están unidas en serie.....	27
2.25 Las dos mitades de cada fase están unidas en paralelo.....	27
2.26 Diagrama esquemático de un motor trifásico conectado en estrella/serie a) y esquema de motor trifásico conectado en estrella/ doble paralelo b).....	28
2.27 Esquema lineal completo del motor.....	28

2.28 Conexión serie/estrella, por que a cada línea de alimentación va unido un solo grupo, a) y Cada línea de alimentación está conectada a un solo grupo b)...	29
2.29 La conexión delta, a) como la conexión estrella, b), tienen la particularidad de presentar dos grupos de bobinas unidos a cada línea de alimentación, y se distinguen por que en la segunda los 6 grupos tienen un extremo en común.....	30
2.30 Diagrama esquemático de conexión en estrella con 2 puntos neutros.....	30
2.31 Conexión delta/doble paralelo, a) y estrella cuádruple paralelo, b).....	31
2.32 Conexión 2 serie/ doble paralelo estrella.....	32
2.33 Voltaje inducido en un devanado secundario.....	33
2.34 Las terminales con misma polaridad instantánea son marcadas con un punto.....	33
2.35 Conexiones eléctricas entre terminales de embobinados.....	34
2.36 Una corriente que entra en la marca de polaridad que produce un flujo positivo...	35
2.37 Polaridades instantáneas cuando la corriente se está intercambiando, a), Relación fasorial, b).....	36
2.38 Las polaridades aditiva y sustractiva dependen de la ubicación de las terminales H1-X1	37
2.39 Determinando marcas de polaridad mediante fuentes de CA.....	37
2.40 Determinando marcas de polaridad mediante fuentes de CD.....	38
2.41 Marcas de polaridad de transformadores trifásicos.....	39
2.42 Conexión de fase correcta. La brújula señala polaridades alternadas.....	40
2.43 Conexión de fase incorrecta. La brújula señala tres polaridades iguales.....	40

3.1 Motor de inducción.....	42
3.2 Caja de terminales de conexión.....	43
3.3 Identificando terminales de caja de conexión.....	43
3.4 Conexión interna.....	44
3.5 Numeración estandarizada.....	45
3.6 Alimentación y medición de voltaje en terminales	46
3.7 Alimentación de terminales T7 y T9, conectando referencia T7 con el resto de terminales de los grupos T5 y T6 y medición de T9 a T2 y T3.....	47
3.8 Localizando la conexión intermedia.....	48
3.9 Alimentación del voltaje al circuito de referencia.....	49
3.10 Marcación de polaridad inicial en circuito de referencia de conexión en estrella...51	
3.11 Alimentando conexión interna en estrella.....	52
3.12 Medición de voltaje inducido en circuito correspondiente a grupo de bobina de referencia.....	52
3.13 Representación aditiva o sustractiva según el sentido de arrollamiento de las bobinas.....	53
3.14 Identificando conexión interna.....	54
3.15 Marca de polaridad inicial de referencia.....	54
3.16 Realizando las mediciones de prueba.....	55
3.17 Determinando la marcación de polaridad en circuito correspondiente.....	55
3.18 Diagrama fasorial.....	57
3.19 Esquema de conexión y representación vectorial	59

3.20 Analisis vectorial de conexión interna en estrella.....	60
3.21 Diagrama vectorial de magnitudes de conexión interna en delta.....	63
3.22 Representación vectorial, de vectores resultantes obtenidos en las pruebas realizadas al motor de inducción.....	64
3.23 Conexión en estrella.....	65
3.24 Conexión en delta.....	65

Lista de Tablas

2.1 Posibles devanados de dos a ocho polos.....	15
2.2 Distribución de bobinas (número fraccionario de bobinas por grupo).....	16
3.1 Valores de alimentación, conexión y medición de terminales internas en estrella...47	
3.2 Valores de alimentación, conexión y medición de terminales internas en delta.....	50

Lista de Símbolos y Abreviaciones

N Número de vueltas en una bobina.

V Volts.

Φ Flujo magnético.

t Tiempo.

hp Caballos de potencia.

E Voltaje inducido

B Campo magnético.

v Velocidad.

l Longitud.

vs velocidad síncrona.

f frecuencia.

np número de polos.

FMM	Fuerza magnetomotriz.
I_m	Corriente magnetizante.
A	Amperes.
nbf	Número de bobinas por fase.
ntbe	Número total de bobinas estáticas.
nfm	Número de fases del motor.
nbp	Número de bobinas por polo.
ntbm	Número total de bobinas del motor.
ngb	Número de grupos de bobinas.
nbg	Número de bobinas por grupo.
Δ	Conexión en delta.
Y	Conexión en estrella.

|Capítulo 1

Introducción.

En muchas ocasiones al dar mantenimiento a los motores eléctricos utilizados en la industria, no se cuenta con algunos de los datos de fabricación como lo son las marcas de polaridad; por lo que se es necesario determinarlas y establecer un procedimiento que permita obtenerlas de una manera sencilla y eficiente.

Se sabe que las marcas de polaridad en motores eléctricos, son de vital importancia ya que con ellas se puede establecer el tipo de conexión en dicha máquina; para lo cual, se realizan las pruebas en motores más comunes y comerciales que hay en el mercado, de tal manera que se pueda comprobar la teoría que de acuerdo a las marcas de polaridad y la conexión de éstas, interviene en el campo magnético generado.

1.1 Antecedentes.

En 1885, *Galileo Ferraris*, entonces profesor de física de la universidad de *Turín*, construyó un pequeño motor, el cual consistía en dos pares de electroimanes dispuestos radialmente y sujetos a una misma pieza en común y un cilindro de cobre montado concéntricamente que entraba en rotación al ser excitados los electroimanes, por parejas, por dos Fuerzas electromotrices (fems) alternas desplazadas mutuamente de fase.

Casi simultáneamente, pero independientes, en 1886, *Nikola Tesla*, que por aquel tiempo estaba en relación con la *Westinghouse Electric and Manufacturing Company*, concibió la idea del campo magnético giratorio como medio para impulsar un inducido desprovisto de colector y escobillas, considerados hasta el momento como características estructurales necesarias; en su lugar utilizó un inducido provisto de un arrollamiento cerrado, en el que la corriente de trabajo podría establecerse por inducción en vez de por conducción.

Como sucede con todas las máquinas eléctricas, los motores son sometidos a una serie de pruebas de recepción para comprobar su buen funcionamiento y proceder en su caso, a la reparación. Una conexión errónea en cualquier parte del arrollamiento puede determinar una inversión de la polaridad o que el motor no gire. Para esto se utilizan métodos tradicionales muy prolongados de tiempo, como el desmontar toda la unidad, la ayuda de una brújula, la cual se va situando frente a cada grupo de bobinas, o la ayuda de un probador de luz, con el cual nos guiamos observando los focos a la intensidad que encienden.

En 1831, Michael Faraday realizó uno de los descubrimientos más importantes en el electromagnetismo. La ley de Faraday de inducción electromagnética, reveló una relación entre el voltaje y el flujo en un circuito.

1.2 Objetivo.

El objetivo de esta tesis radica en determinar las marcas de polaridad de los motores eléctricos, desde sus terminales, sin necesidad de proceder a desmontar el motor y utilizar los métodos tradicionales. Obteniendo una secuencia de pasos a seguir para los motores de inducción trifásicos.

Esto ayuda a reducir tiempos en el mantenimiento. Igualmente se evita aumentar las pérdidas mecánicas al no destapar el motor, debido a que al ensamblarlo no quedan en la misma posición en la que salen de fábrica sus partes mecánicas.

Al igual se reducen costos de reparación a los clientes, como ganancias mayores para los negocios industriales en el área de reparación y mantenimiento de motores eléctricos.

1.3 Justificación.

En la actualidad muchos de los negocios industriales que dan mantenimiento y reparación a los motores eléctricos, tienen que realizar tareas muy prolongadas al recibir el motor, debido a que no se cuenta con los datos de placa y se procede a desmontar todo el motor para realizar la toma de datos.

En muchas ocasiones se cuenta con las terminales de conexión en la caja de terminales del motor, pero no se cuenta con ningún señalamiento o numeración que permita realizar una conexión adecuada y segura, lo cual, obliga a destapar el motor, para verificar los sentidos de arrollamiento de las bobinas y sus terminales correspondientes.

1.4 Metodología.

Este trabajo se realiza por medio de la metodología de investigación documental y de campo, posteriormente con pruebas físicas en motores de inducción trifásicos más comerciales, utilizando como medio de comprobación de la teoría y métodos tradicionales.

1.5 Contenidos.

A lo largo de estos 4 capítulos que conforman el presente texto se desarrollarán los conceptos básicos sobre los que se basa esta investigación y de su gran importancia en la industria.

En el capítulo 1 “Introducción”, se realiza un resumen del tema para visualizar lo que encontraremos al desarrollar la lectura, donde se habla de los antecedentes de la investigación de marcas de polaridad, las cuales se han aplicado en las máquinas primitivas que trabajan a través de la inducción electromagnética de donde parte la base del tema, así como la justificación de la metodología a enumerar para desarrollar lo investigado, destacando los aspectos más importantes para poder dar soluciones a los problemas de la industria y finalizar con la metodología de investigación hablando acerca de las fuentes de investigación y métodos existentes para obtener una buena solución de información y los contenidos del capítulo.

En el capítulo 2 “Fundamentos Teóricos,” se inicia con la máquina de inducción y de los campos magnéticos los cuales son el inicio de nuestro estudio, haciendo mención desde su inicio y de cómo es que una es la base de funcionamiento de la otra; y como objeto de la investigación, la máquina de inducción trifásica, partiendo de su principio de operación y conexiones fundamentales. Se continua con el estudio de las propiedades de las marcas de polaridad en los transformadores y las marcas de polaridad de terminales; posteriormente se habla de algunas pruebas de polaridad, para continuar con el autotransformador y el transformador trifásico donde se habla de las marcas de polaridad en ambos equipos, lo cual, dará la información clave para determinar partes importantes de la investigación. Continuando con el principio de la máquina de inducción, de la cual, se describe su principio de operación, el campo magnético giratorio y sus características fundamentales, posteriormente se hace mención de los devanados del estator donde se describe las conexiones cortas, conexiones largas, tipos de devanados imbricados, distribuidos y concéntricos; conexiones en serie y conexiones en paralelo, finalizando con los motores trifásicos para doble tensión de servicio conectados en estrella o en delta y la numeración estandarizada de las conexiones en delta y estrella de los datos de placa.

En el capítulo 3 “Determinación de las marcas de polaridad en motores de inducción trifásicos,” se habla de la gran importancia de implementar las marcas de polaridad en los motores de inducción. En el cual se inicia presentando los motores utilizados en la investigación siendo los más comerciales y de uso más frecuente los de inducción, posteriormente se plantea la determinación de las marcas de polaridad a partir de la caja de terminales en el cual se habla de los beneficios más importantes al

aplicar la metodología a proponer y de cómo llevar a cabo la obtención de los datos; Identificando el tipo de conexión interna y el número de terminales realizando la designación de nombres arbitrarios y numeración estandarizada que comúnmente se localizan en la placa de datos de características proporcionada por los fabricantes de los equipos o algunos autores de libros de reparación y mantenimiento, a continuación se describe acerca de las pruebas realizadas a los equipos y de los resultados obtenidos, con lo cual se podrá fundamentar un procedimiento de pasos a seguir para hablar así de la metodología a implementar para determinar las marcas de polaridad en motores donde se plantean los pasos a seguir para la obtención de las marcas de polaridad, el análisis vectorial como método de comprobación se habla de cómo se comportan los voltajes en nuestros circuitos de prueba de cada motor en análisis en el cual se corroboran los datos obtenidos en la metodología propuesta, para finalizar con la conexión final adecuada del motor en donde se habla de la experiencia de la persona que realizará una tarea con este tipo de casos, lo que facilitará realizar las conexiones adecuadas y poder realizar cambios de tensión de servicio.

Finalmente, en el capítulo 4 “Conclusiones”, se presenta un resumen de los resultados de la investigación así como la motivación y los grandes beneficios de la investigación, como propuestas de implementación a futuro.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos

Las metodologías de las marcas de polaridad aplicadas principalmente en los transformadores, son de gran importancia para lograr determinar los sentidos de arrollamiento de los devanados y poder obtener las conexiones finales de éstos. Por lo cual, al ser una máquina que funciona bajo el principio de la inducción electromagnética se describe, en este capítulo, el principio del funcionamiento de los equipos electromagnéticos y de como se dan las marcas de polaridad en éstos.

La máquina primitiva, es un dispositivo que no tiene partes móviles, el cual transfiere la energía eléctrica de un circuito a otro bajo el principio de inducción electromagnética. La transferencia de energía la hace por lo general con cambios en los valores de voltajes y corrientes. A la cual se le conoce actualmente como transformador.

2.1 Principios de las máquinas de inducción.

Gracias al descubrimiento de Michael Faraday y a su ley de inducción electromagnética, dio a conocer una relación fundamental entre el voltaje y el flujo en un circuito. La cual establece que:

1. Cuando un conductor corta las líneas de flujo magnético, se produce un voltaje inducido entre los extremos de dicho conductor.
2. El valor del voltaje inducido es proporcional a la velocidad de cambio del flujo.

Si el flujo varía dentro de una bobina de N vueltas, el voltaje inducido está dado por

$$E=N\Delta\Phi/\Delta t \quad (2.1)$$

En la Figura 2.1 se puede observar una bobina con un número de vueltas moviéndose a través de un campo magnético donde la magnitud de la corriente inducida es directamente proporcional al número de espiras y a la rapidez del movimiento con la que la bobina corta las líneas de flujo magnético.

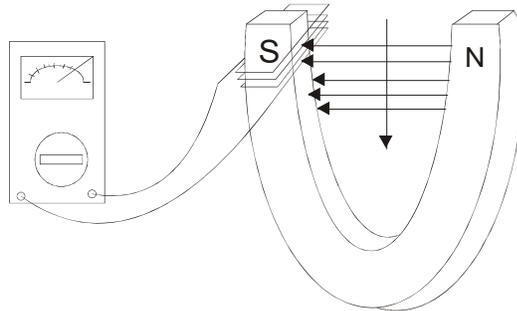


Figura 2.1 La fem inducida en una bobina es proporcional al número de espiras de alambre que cruzan a través del campo.

La ley de inducción electromagnética establece la base de operación de transformadores, generadores y motores de corriente alterna.

2.1.1 Campos magnéticos.

Las líneas de campo magnético conocidas también como líneas de flujo, son de mucha utilidad para visualizar los campos magnéticos. La dirección de una línea de flujo en cualquier punto tiene la misma dirección de la fuerza magnética que actuaría sobre un polo norte aislado y colocado en un punto Figura 2.2a.

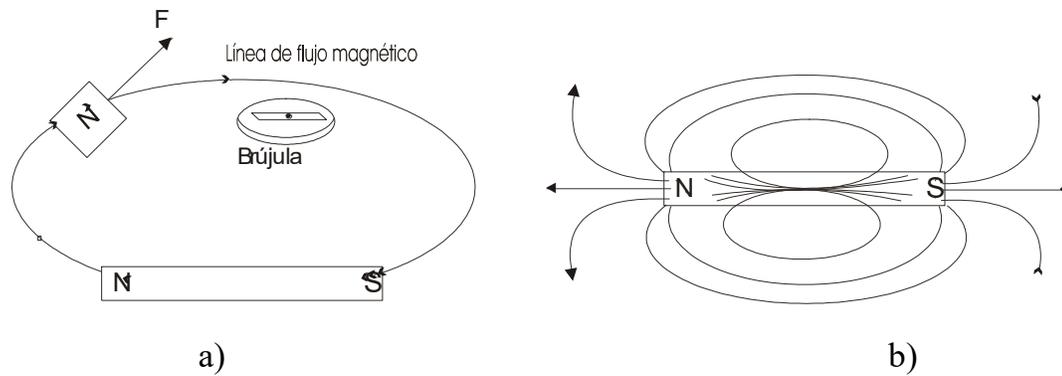


Figura 2.2a) Dirección de línea de flujo, b) Líneas de flujo magnético.

De acuerdo con esto, las líneas de flujo magnético salen del polo norte de un imán y entran en el polo sur y no tienen puntos iniciales o finales; forman espiras continuas que pasan a través de la barra metálica Figura 2.2b.

2.2 La máquina de inducción trifásica.

Los motores de inducción, son los generalmente empleados para toda clase de industrias debido a su bajo costo, sencilla construcción y alto rendimiento.

Por su naturaleza, los motores de inducción reciben el nombre de monofásicos, bifásicos y trifásicos, siendo monofásicos los que reciben corriente de una sola fase, bifásicos los que reciben de dos y trifásicos los que reciben de tres.

Los motores trifásicos de inducción marchan a una velocidad fija relacionada directamente al número de polos del motor, fabricándose estos motores desde 2 hasta 24 polos. El número de polos en un motor, corresponden al número de veces que varía la corriente en denominación norte y sur.

Un motor de inducción está constituido por dos componentes básicas: una parte estacionaria o estator y una parte giratoria o rotor. Se muestra una sección del circuito magnético, Figura 2.3, de un motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla.

El núcleo del estator está formado por laminaciones de acero eléctrico de aproximadamente 0.5 mm de espesor, troqueladas individualmente y unidas entre sí por cordones de soldadura u otro procedimiento equivalente que permita mantener alineadas las ranuras que servirán de alojamiento a las bobinas.

El núcleo del rotor está formado por un grupo de laminaciones fabricadas individualmente y unidas entre sí, también consta de un grupo de barras de cobre o

aluminio, cortocircuitadas en sus extremos por las que fluye la corriente inducida éstas van acoplados sobre un flecha o eje el cual va montado sobre baleros. El rotor y estator se encuentran separados por un entrehierro muy pequeño que permite girar al rotor sin tener problemas mecánicos en los que puedan tener contacto.

Los devanados del estator se alimentan por medio de corriente alterna y de ahí se genera por inducción las corrientes en los devanados del rotor.

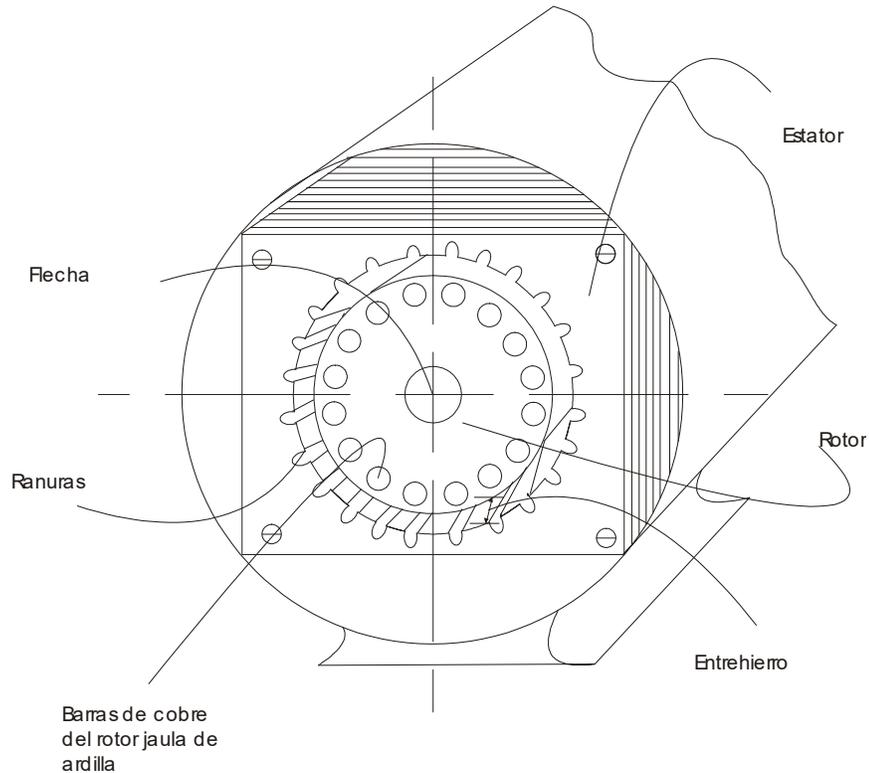


Figura 2.3. Sección del circuito magnético de estator y rotor en un motor de inducción tipo jaula de ardilla.

La máquina de inducción es el motor eléctrico que se emplea más comúnmente, y se considera el motor de más uso en la industria, Figura 2.4.

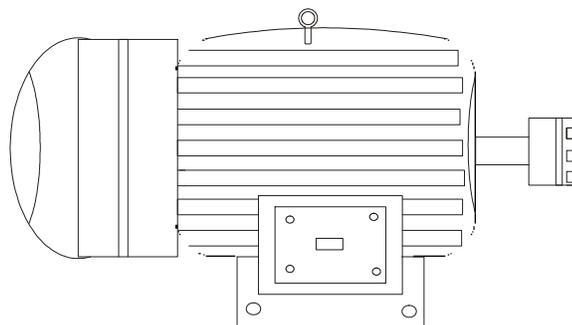


Figura 2.4 Motor de inducción trifásico.

Desde el punto de vista electromagnético, el estator consiste en un núcleo formado de recortes de lámina (o laminaciones) que contienen conductores ubicados en ranuras. Estos conductores se interconectan en una forma determinada y constituyen el devanado de la armadura.

Un motor de inducción consta básicamente de un rotor, un estator, tapas, baleros, ventilador y tornillería, Figura 2.5.

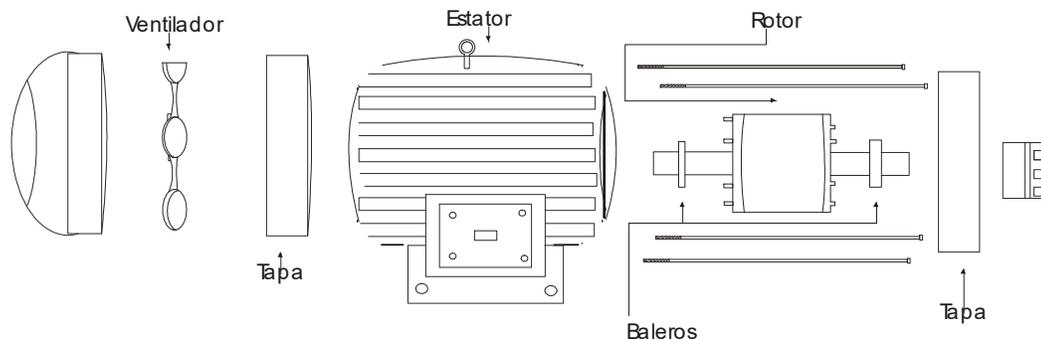


Figura 2.5 Vista despiezada del motor de inducción, que muestra el estator, el rotor, las tapas laterales, el ventilador, los cojinetes y la caja de terminales.

2.2.1. Principio de operación.

La operación de un motor de inducción trifásico está basada en la aplicación de la ley de Faraday y la fuerza de Lorentz en un conductor; el comportamiento es fácil de entender, si se considera una serie de conductores de longitud l , cuyos extremos se ponen en corto circuito mediante dos barras A y B. Un imán permanente colocado sobre esta escalera conductora se mueve con rapidez a una velocidad v , para que su campo magnético B pase a través de los conductores.

$$E=Blv \quad (2.2)$$

Entonces ocurre que se induce un voltaje en cada uno de los conductores mientras el flujo pasa por ellos (Ley de Faraday), Figura 2.6.

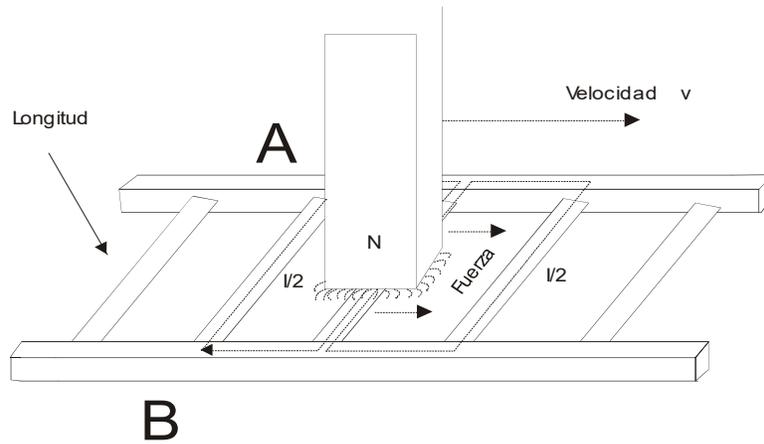


Figura 2.6 Imán en movimiento que pasa sobre la escalera conductora.

El voltaje inducido produce de inmediato una corriente I , la cual fluye por el conductor debajo de la cara del polo, a través de las barras extremas y regresa a por los demás conductores.

Como el conductor que transporta corriente queda en el campo magnético del imán permanente, experimenta una fuerza mecánica (Fuerza de Lorentz).

La fuerza siempre actúa en una dirección para arrastrar el conductor junto con el campo magnético.

Si la escalera conductora está libre para moverse, se acelerará. Sin embargo, conforme ésta adquiere velocidad, el imán móvil pasará con menos rapidez por los conductores, por lo que el voltaje inducido E y la corriente I disminuirán. En consecuencia, la fuerza que actúa en los conductores también disminuirá. Si la escalera tuviera que moverse a la misma velocidad que el campo magnético, el voltaje inducido E , la corriente I y la fuerza que arrastra a la escalera serían cero.

En un motor de inducción, la escalera se cierra así misma para formar una jaula de ardilla y el imán es remplazado por un campo rotatorio, Figura 2.7.

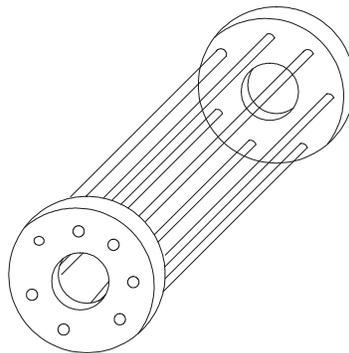


Figura 2.7. Escalera enrollada para formar una jaula de ardilla.

El campo es producido por las corrientes trifásicas que fluyen en los devanados. La clave del funcionamiento de un motor de inducción es la generación del campo magnético giratorio. La excitación de un estator trifásico produce un campo magnético giratorio en el entrehierro de la máquina y el movimiento giratorio del campo tiene una velocidad síncrona dada por:

$$v_s = \frac{120f}{np} \quad (2.3)$$

Cuando el campo magnético gira, corta los conductores del rotor, y por medio de este proceso se inducen los voltajes en los conductores. Los voltajes inducidos producen las corrientes del rotor, las cuales interactúan con las del campo del entrehierro para producir un par. Este par se mantiene durante todo el tiempo que exista el campo magnético giratorio y la corriente inducida en el rotor. En consecuencia, el rotor comienza a girar en dirección del campo magnético giratorio.

2.2.2 Campo magnético giratorio.

En la Figura 2.8 se representa en forma esquemática el estator de un motor trifásico de dos polos. En un motor real, el devanado de cada fase está distribuido en las ranuras del estator, pero el hecho de considerarlos concentrados como se indica en la figura no altera los resultados.

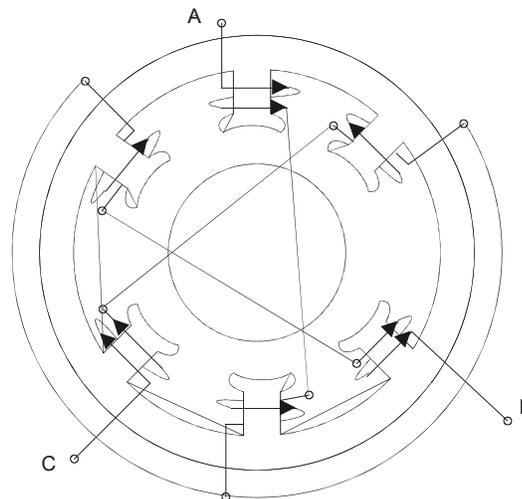


Figura 2.8 Esquema de un motor de inducción trifásico.

Se representa la corriente que circula por las bobinas. Como se puede ver, la corriente en la fase A sólo puede producir una FMM vertical

hacia arriba o hacia abajo, según el sentido de la corriente. Igualmente sucede con B y C.

Si en la Figura 2.9 se considera el punto de partida el punto $1t$, la FMM de la fase A tendrá ahí su máxima intensidad en el sentido de arriba hacia abajo, en tanto las FMM de las fases B y C tendrán la mitad de la intensidad máxima y los sentidos indicados, Figura 2.10. Al sumar los tres vectores se obtiene uno solo dirigido de arriba hacia abajo.

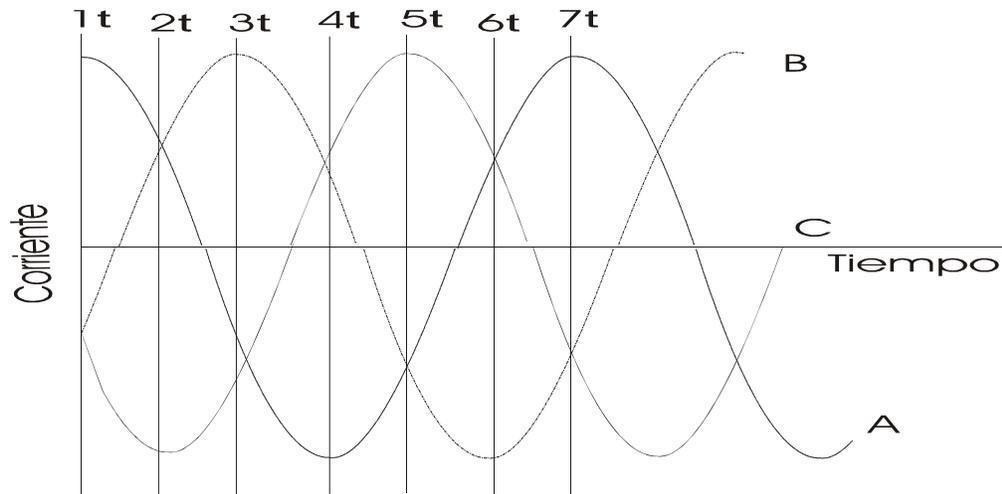


Figura 2.9 Ilustración del campo magnético giratorio del estator.

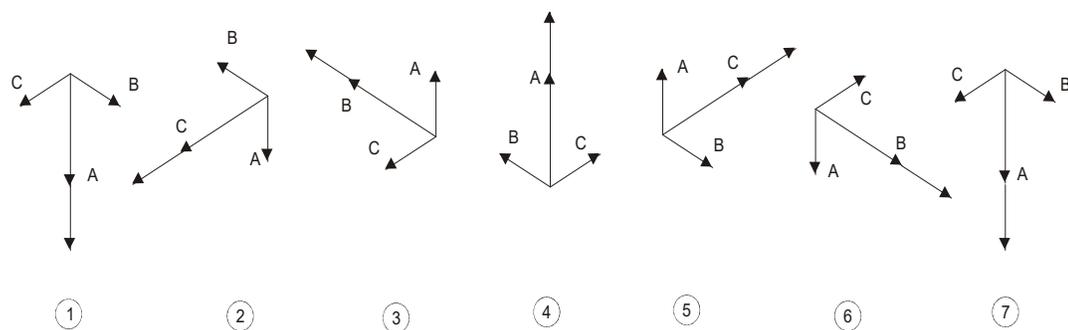


Figura 2.10 Combinación instantánea de los fasores de FMM de las fases A,B,C que da como resultado FMM total constante que gira en el sentido del reloj.

Al pasar al punto $2t$ se observa que la intensidad en la fase A se ha reducido a la mitad, que la fase B tiene la misma intensidad, pero dirección opuesta a la que tenía en el punto $1t$, y que en la fase C la intensidad ha alcanzado el valor máximo, por lo que ahora la suma de los tres fasores tendrá la misma dirección que el fasor C; es decir, del

punto 1t al 2t el fasor que representa la FMM total ha girado 60° , en el sentido de las manecillas del reloj.

Haciendo un análisis similar para los puntos 3t, 4t, 5t y 6t se encontrará que el fasor mencionado seguirá girando 60° en cada caso y habrá dado una vuelta completa al llegar al punto 7t (coincidente con 1t), lo que constituye un ciclo completo de variación de la corriente de la fase A.

De lo anterior al ser alimentados con una tensión trifásica equilibrada, los tres devanados de la fase del estator producen una fuerza magnetomotriz constante que gira uniformemente y produce un campo magnético igualmente constante, que gira a la misma velocidad. El campo magnético giratorio en un motor de dos polos, efectúa una revolución completa por cada ciclo de la corriente alterna.

2.3 Características de la máquina de inducción trifásica.

Estos motores se fabrican de las más diversas potencias, desde una fracción de caballo hasta varios miles de caballos de potencia. Tienen una característica de velocidad sensiblemente constante, y una característica de par que varía ampliamente según los diseños. Hay motores trifásicos que poseen un elevado par de arranque y otros, lo poseen reducido.

Hay tipos diseñados para que absorban una corriente de arranque más bien moderada, y otros que están previstos para absorber una corriente de arranque elevada. Se les construye para prácticamente todas las tensiones y frecuencias de servicio normalizadas, y muy a menudo están equipados para trabajar a dos tensiones nominales distintas. Los motores trifásicos se emplean para accionar máquinas, herramienta, bombas, montacargas, ventiladores, grúas, maquinaria elevada, sopladores, entre otros más.

Los motores de inducción, son sometidos a tres pruebas típicas con las cuales se determinan las características de comportamiento de los motores de inducción las cuales son:

1. Motor sin carga.
2. Motor sometido a carga.
3. Con el rotor bloqueado.

La principal característica apreciable al aplicar las pruebas anteriores a los motores es la corriente de arranque.

2.3.1 Conexión corta y conexión larga.

Las conexiones de los grupos de bobinas, se suelen encontrar conectados de dos maneras, que son la conexión corta y la conexión larga. Cuando se utiliza la conexión corta, cada grupo se conecta a otro grupo desfasado 180° eléctricos respecto del primero. En cambio, en la conexión larga, ello se hace a un grupo desfasado 360° eléctricos respecto del primero.

Se tiene dos o más circuitos en paralelo, es preferible utilizar la conexión larga para contrarrestar el posible desequilibrio magnético, que tiende a desplazar el rotor. Sin embargo, si se tienen grupos desiguales de bobinas, es necesario utilizar la conexión corta. Si el devanado se conecta en serie, puede usarse cualquiera de las dos conexiones.

Al calcular el número de bobinas por grupo se obtiene un número fraccionario, es posible en muchos casos diseñar un devanado que tenga grupos con diferente número de bobinas, pero que esté equilibrado.

En la Tabla 2.1 se presentan algunas de las posibilidades para devanados de dos a ocho polos. Ahí se indica el número de bobinas por grupo y el de circuitos en paralelo que puede tener el devanado. Cuando el número de circuitos es cero, significa que no es posible diseñar un devanado equilibrado (o balanceado) en esas condiciones.

Cunado el número de bobinas por grupo es un número entero, todos los grupos tienen ese número de bobinas. Si el número no es un entero, las bobinas deben distribuirse como se indica en la Tabla 2.2

Tabla 2.1 Posibles devanados con dos a ocho polos.

No. de ranuras	dos polos		cuatro polos		seis polos		ocho polos	
	No. de circuitos	bobinas por grupo						
6	2	1						
9	1	1 1/2						
12	2	2	4	1				
15	1	2 1/2	1	1 1/4				
18	2	3	2	1 1/2	6	1		
21	1	3 1/2	1	1 3/4	0			
24	2	4	4	2	0		8	
27	1	4 1/2	1	2 1/4	3	1 1/2	1	1 1/8
30	2	5	2	2 1/2	0		2	1 1/4
33	1	5 1/2	1	2 3/4	0		1	1 3/8
36	2	6	4	3	6	2	4	1 1/2
39	1	6 1/2	1	3 1/4	0		1	1 5/8
42	2	7	2	3 1/2	0		2	1 3/4
45	1	7 1/2	1	3 3/4	3	2 1/2	1	1 7/8
48	2	8	4	4	0		8	2

Tabla 2.2 Distribución de bobinas (número fraccionario de bobinas por grupo).

No. Promedio de bobinas por grupo	Número de grupo																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1 1/10	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 1/8	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 1/6	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 1/4	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 3/10	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	
1 3/8	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 2/5	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 1/2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 3/5	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 5/8	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	
1 3/4	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1 7/8	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
2 1/4	3	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
2 1/2	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
2 3/4	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
3 1/4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
3 1/2	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
3 3/4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
4 1/2	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	
5 1/2	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	
5 3/2	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	
7 1/2	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7	6	7

Cuando se utiliza un agrupamiento desigual, es necesario recurrir a la conexión corta para devanados conectados en paralelo.

Por razones de economía, muchos motores se devanan en forma automática, lo cual suele limitarse a casos con número entero de ranuras por polo y por fase, y prácticamente obliga a utilizar devanados concéntricos, de los cuales hay una gran variedad.

2.3.2 Devanados estatóricos trifásicos.

Los devanados de corriente alterna, donde se desarrollan los procesos vitales de producción y aprovechamiento de la energía eléctrica, suelen clasificarse en dos grupos: de inducción y de campo o inductor. Con frecuencia se refiere al arrollamiento de estator y arrollamiento de rotor para identificar los devanados del motor de inducción.

El devanado inductor produce el campo magnético de la máquina; la corriente del mismo se denomina corriente de campo o de excitación. La colocación del arrollamiento depende del tipo de máquina.

En la mayor parte de los estatores trifásicos, 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.

Como puede verse en la Figura 2.11, existen tres circuitos independientes cada uno de ellos corresponden a una de las tres fases de la corriente trifásica que alimenta el devanado del estator. En el se supone que la corriente de la primera fase entra por A. El segundo circuito entra por B y finalmente el tercero entra por C formado por las bobinas correspondientes. Observando la figura, la corriente circula en sentido opuesto en cada dos bobinas consecutivas de la misma fase, esto es debido a que el devanado de las dos bobinas citadas está realizado en sentidos opuestos. Por ello también son opuestos los sentidos de la circulación de la corriente de alimentación en cada dos bobinas consecutivas, sean de la fase que sean.

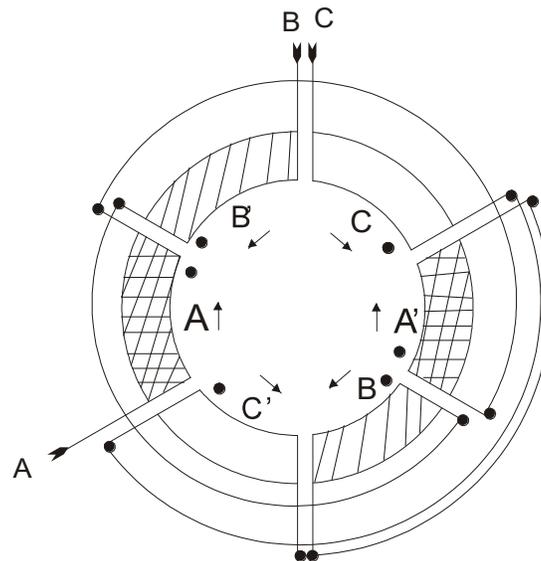


Figura 2.11 Devanado estatórico trifásico.

De ahí se deduce la formación del campo magnético giratorio en el devanado del estator, ya que la corriente cambia el sentido simultáneamente en todas las bobinas, tantas veces en cada segundo como unidades tenga la frecuencia de la corriente trifásica que alimenta el devanado.

Se ha indicado mediante flechas colocadas en los distintos conductores, el sentido que la corriente posee en cada una de las tres fases, en el instante que en la figura se indica.

En el instante representado en la Figura 2.11, la corriente que circula por todas las bobinas va a parar a un mismo punto, que para este caso está constituido por el trozo de conductor A B C

2.4 Conexiones fundamentales de los motores de inducción trifásicos.

Casi todos los motores trifásicos están provistos de un arrollamiento estatórico con igual número de bobinas que de ranuras. Las bobinas van conectadas formando tres arrollamientos independientes llamados fases, las cuales se designan generalmente con las letras A, B y C. Cada fase debe estar constituida por el mismo número de bobinas existentes en el estator.

Para determinar el número de bobinas por fase (nbf), se divide el número total de bobinas estatóricas (ntbe) por el número de fases del motor (nfm).

$$nbf = \frac{ntbe}{nfm} \quad (2.4)$$

Las tres fases de un motor trifásico están siempre conectadas en estrella o en delta. En la conexión en estrella, los finales de las fases están unidos conjuntamente en un punto común (centro de la estrella), y cada principio de fase va conectado a una de las líneas de alimentación de la red, Figura 2.12.

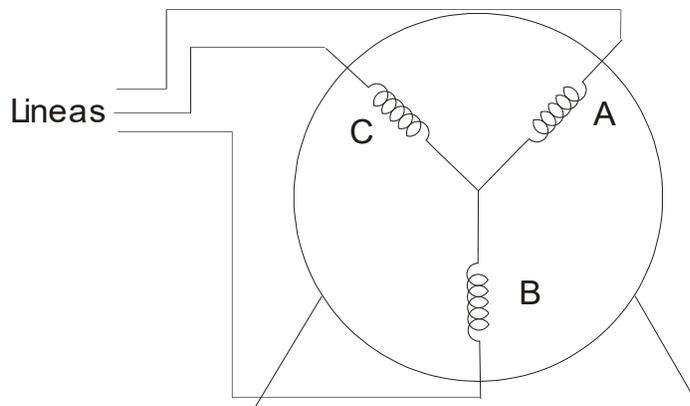


Figura 2.12 Esquema de la conexión en estrella.

La conexión es en delta cuando el final de cada fase está unido al principio de la siguiente. En la Figura 2.13, que muestra esta conexión, se aprecia que el final de la fase A está unido al principio de la fase B, el final de B al principio de la fase C, y el

final de la fase C al principio de la fase A. Cada punto de unión o vértice parte una conexión hacia la red. También se habría obtenido una conexión en triángulo uniendo el final de la fase A al principio de la fase C, el final de la fase C al principio de la fase B, y el final de la fase B al principio de la fase A.

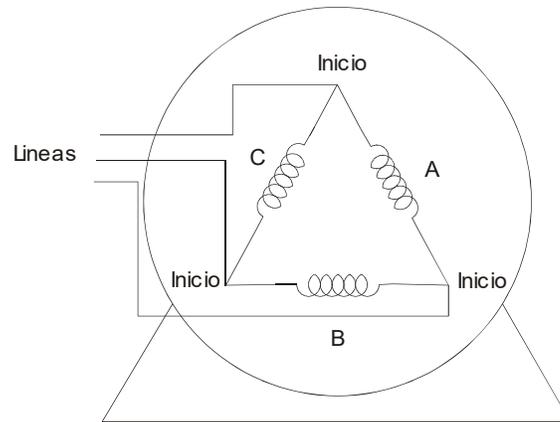


Figura 2.13 Esquema de la conexión en delta.

Las bobinas de un motor trifásico están también conectadas de modo que en el estator del mismo se forme un determinado número de polos iguales.

Para determinar el número de bobinas por polo (nbp), se divide el número total de bobinas estatoricas ($ntbe$) por el número de polos del motor (np).

$$nbp = \frac{ntbe}{np} \quad (2.5)$$

Se llaman grupos a un determinado número de bobinas contiguas conectadas en serie. Los motores trifásicos llevan siempre tres grupos iguales de bobinas en cada polo: uno por fase. 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 número de bobinas por polo y fase.

En el grupo de la Figura 2.14 el final de la bobina 1 va unido al principio de la bobina 2, y el final de la bobina 2 al principio de la bobina 3. El principio de la bobina 1 y el final de la bobina 3 constituyen los terminales del grupo.

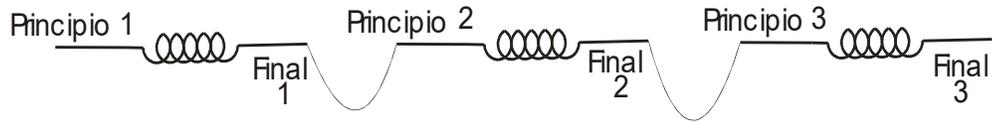


Figura 2.14 Conexión de las bobinas de cada grupo.

Las bobinas de un grupo son conectadas entre sí cuando se confeccionan por separado; con el sistema de devanado por grupos, éstos ya quedan formados automáticamente y no es preciso efectuar conexión interior alguna.

Para poder conectar entre sí las bobinas estáticas de un motor polifásico es preciso determinar ante todo el número de grupos de que consta el arrollamiento.

Para determinar el número de grupos de bobinas (ngb), se multiplica el número de polos (np) por el número de fases del motor (nfm).

$$ng = np \cdot nfm \quad (2.6)$$

Para determinar el número de bobinas por grupo, se divide el número total de bobinas del motor por el número de grupos.

$$ngb = \frac{ntbe}{ng} \quad (2.7)$$

Una vez conocido el número de bobinas por grupo puede conectar éstas en grupos, Figura 2.15, sean de confección individual o en grupos.

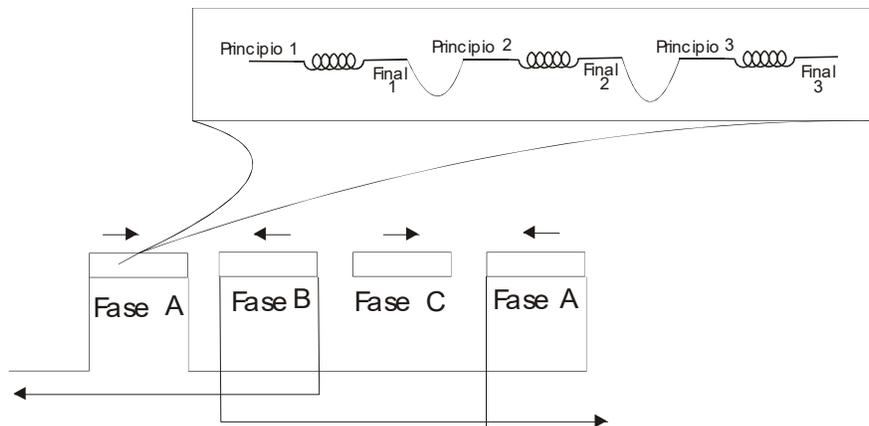


Figura 2.15 conexión de grupos de bobinas.

Como es evidente, todos los grupos deben constar del mismo número de bobinas.

2.4.1 Conexión en estrella.

Al tratar de conectar las tres fases de un motor en estrella se proceder de una forma muy general.

Se conecta primero todas las bobinas en grupos. Las tres bobinas de cada grupo se unen en serie como en la Figura 2.15. Si las bobinas han sido confeccionadas en grupo no será precisa esta operación. Se conectan seguidamente entre sí todos los grupos que pertenecen a la fase A. La conexión debe efectuarse de manera que por el primer grupo circule la corriente en sentido de las agujas del reloj, por el segundo grupo en sentido contrario, por el tercero 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 una terminal flexible, que se lleva al exterior; el final de dicha fase se unirá posteriormente a los finales de las fases B y C. Esta unión se encintará convenientemente. Después se conectan 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” intencionadamente con objeto de que la ejecución de conexión 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, Figura 2.16.

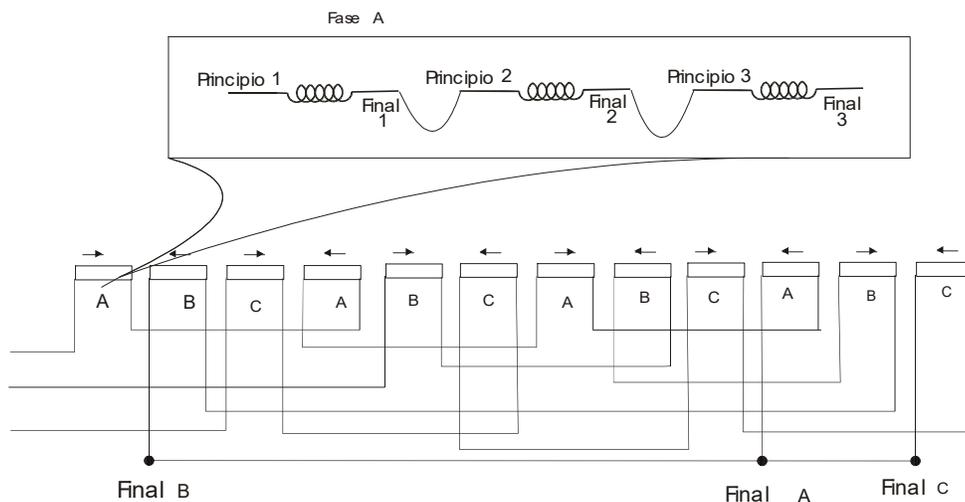


Figura 2.16 Conexión de los grupos saltado. La corriente que circula por la fase B es de sentido opuesto a las que circulan por la fase A y C, como indican las flechas.

Las flechas representativas del sentido de circulación de la corriente que figuran debajo de cada grupo señalan sucesivamente direcciones opuestas: así, la primera flecha indica el sentido de la agujas de un reloj, la segunda el sentido contrario, la tercera el mismo sentido que la primera, la cuarta el mismo que la segunda, etc. Este es uno de los métodos que permiten comprobar la polaridad de cada grupo que sea correcta.

La Figura 2.17 muestra las características de conexión del motor. El número de fases y la disposición de las mismas, con un extremo común o centro de estrella, muestran inmediatamente que estamos en presencia de un devanado trifásico conectado en estrella.

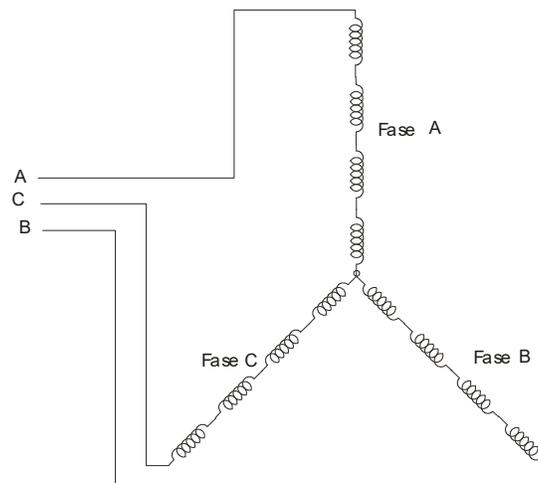


Figura 2.17 Diagrama esquemático de un motor trifásico conectado en estrella/ serie.

De los esquemas precedentes se deduce, en efecto, que cada fase se compone de tantos grupos iguales como polos tiene el motor. Para saber el número de polos de un motor cuyo diagrama esquemático es conocido basta contar el número de grupos de cada fase. El diagrama indica también que los grupos de cada fase están conectados en serie entre sí.

Casi todos los motores trifásicos previstos para doble tensión de servicio llevan nueve terminales exteriores, que se identifican con las designaciones normalizadas T1 hasta la T9. La Figura 2.18 reproduce estas designaciones, aplicadas al caso de motores conectados en estrella. En esta clase de motores se forman cuatro circuitos: tres con dos terminales y uno con tres terminales.

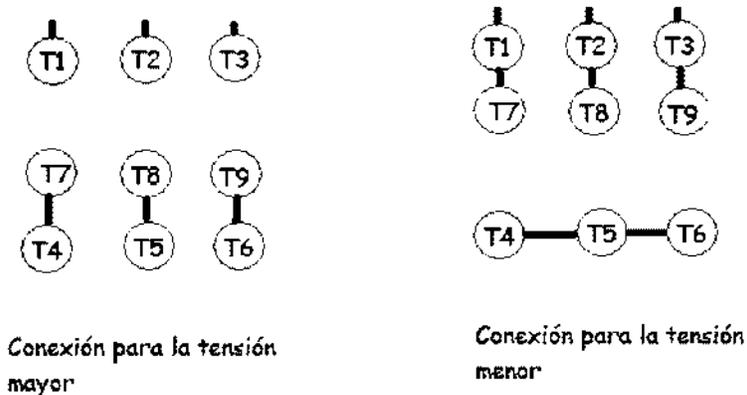


Figura 2.18 Designación y conexión de terminales en motores Y para doble tensión de servicio.

Estas designaciones suelen ir marcadas sobre cada cable que sale de cada grupo de bobinas y llega a la caja de terminales, en esta caja también se encuentran marcadas las puntas que van a la alimentación.

Este diagrama se encuentra en la placa de datos que va colocada sobre la carcasa del motor o caja de conexiones y sirve de guía para cambiar las conexiones cuando el motor se quiera cambiar para trabajar en otra tensión de servicio.

Obsérvese que cada fase se halla subdividida en dos mitades, las cuales se unen en serie o en paralelo según la alimentación sea con la tensión mayor o con la tensión menor. En el primer caso se procede del modo siguiente (Figura 2.19a). Primero se empalman los terminales T6 y T9, luego los terminales T4 y T7, y finalmente los terminales T5 y T8. Una vez encintados dichos empalmes se conectan los terminales restantes T1, T2 y T3 a las respectivas líneas L1, L2 y L3 de la red trifásica de alimentación. En el segundo caso se procede del modo indicado en la figura 2.19b). Primero se une el terminal T7 al T1, y éste a la línea L1; luego el terminal T8 al T2, y éste a la línea L2; a continuación, el terminal T3 al T9, y éste a la línea L3; finalmente, se enlazan los terminales T4, T5 y T6 para formar un centro de estrella exterior.

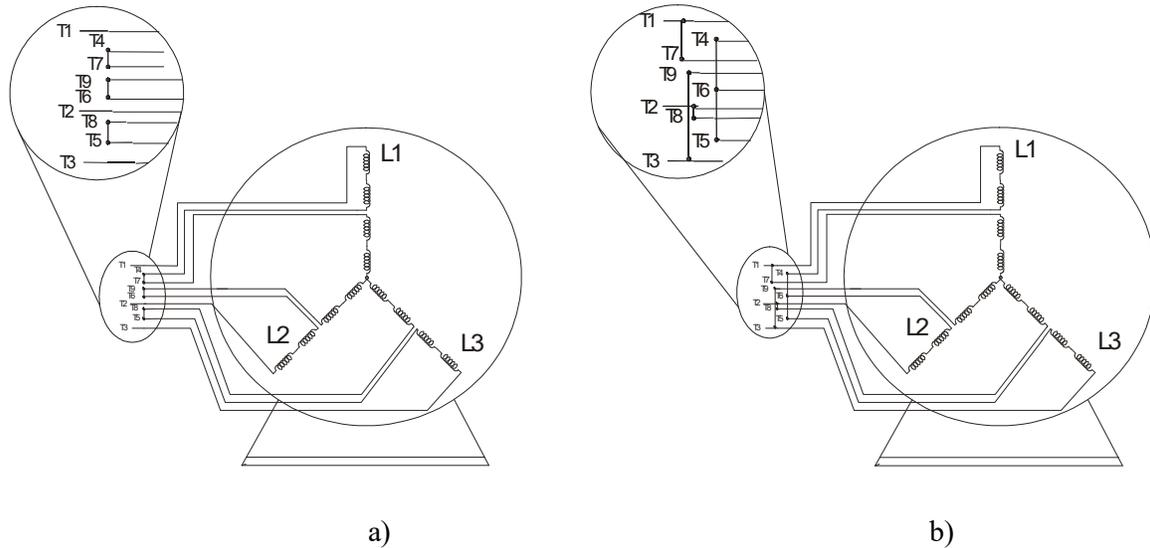


Figura 2.19a) Diagrama esquemático de un motor trifásico, 4 polos, doble tensión de servicio, en estrella. b) Con las dos mitades de cada fase unidas en paralelo.

2.4.2 Conexión en delta.

El diagrama esquemático de la Figura 2.20, se ve que no existe en él ningún centro de estrella y las tres fases están unidas de modo que el final de la bobina A coincide con el principio de la C, el final de la C con el principio de la B, y así sucesivamente, no cabe duda que la conexión es en delta. Observando además que cada fase está formada por grupos de bobinas, y que dichos grupos de hallan unidos en serie entre sí, se podrá concluir que el diagrama corresponde ahora a un devanado trifásico conectado en triángulo.

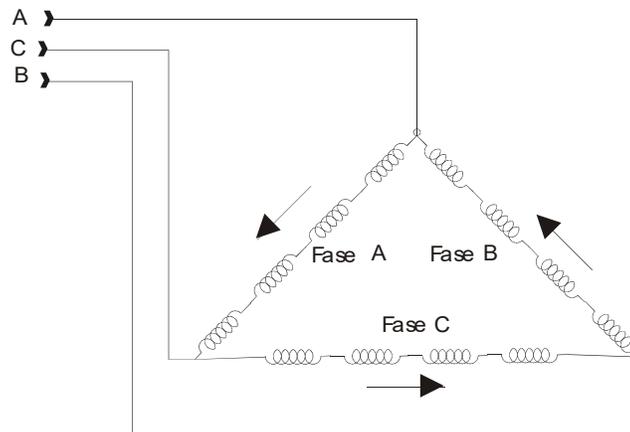


Figura 2.20 Diagrama esquemático de un motor trifásico conectado en delta/serie .

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 la corriente.

Al conectar las tres fases de un motor en delta se procederá de una forma generalizada. Los grupos pertenecientes a la fase A se unen entre sí de igual manera que se hizo con la conexión en estrella, alternando el signo de sus polaridades, Figura 2.21. Previamente se ha dibujado debajo de dichos grupos una serie de flechas sucesivas que vayan indicando alternativamente sentido horario y sentido anti-horario, se verá fácilmente cómo deben irse ejecutando las uniones.

Se unen ahora los grupos de la fase C exactamente igual que se ha procedido con los de la fase A, de modo que el signo de sus polaridades vaya alternando sucesivamente y coincida siempre con el grupo A correspondiente. Para verificar que no ha habido error, compruébese que las dos flechas indicativas del sentido de la corriente a la entrada de las fases A y C señalan hacia el interior del devanado. Conéctese entonces el final de la fase A con el principio de la fase C.

Se une a continuación el final de la fase C con el principio del segundo grupo perteneciente a la fase B, Figura 2.21. Los grupos que componen dicha fase tendrán también polaridades alternadas y siempre de signo contrario a las de los grupos contiguos pertenecientes a las otras dos fases. Una vez unidos entre sí dichos grupos del modo indicado, se conecta el final de la fase B al principio de la fase A, y el devanado queda concluido.

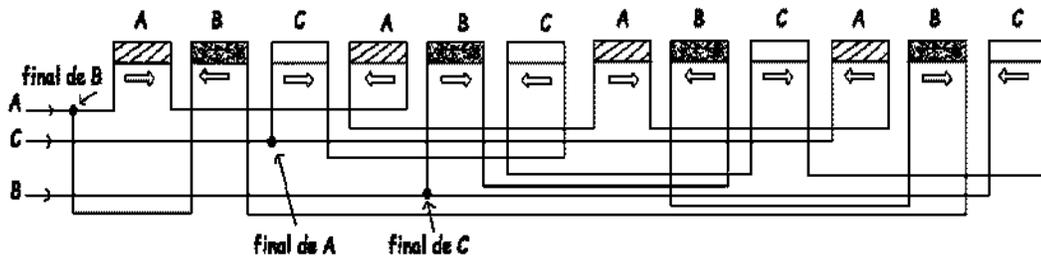


Figura 2.21 Esquema lineal completo del motor en delta.

La manera de unir los grupos de cada fase entre sí es idéntica en caso de conexión en estrella que en caso de conexión en delta; lo único que difiere en ambas es la forma de empalmar los extremos de las fases respectivas. En la conexión en estrella, los finales de las tres fases están unidos conjuntamente para formar el punto neutro o centro de estrella; en la conexión en delta, el final de cada fase va unido al principio de la

siguiente, de modo que si se sigue el circuito formado, empezando por el principio de la fase A, se llega de nuevo al punto de partida tras haber recorrido íntegra y sucesivamente las fases A, C y B.

Los devanados anteriores, tanto los conectados en estrella como los conectados en triángulo, han sido ejecutados por el *método del grupo saltado*, es decir, pasando de la fase A a la fase C y dejando la fase B para el final. También es posible realizar el mismo trabajo por el *método de grupos sucesivos*, siguiendo el orden natural A, B y C de las tres fases, Figura. 2.22.

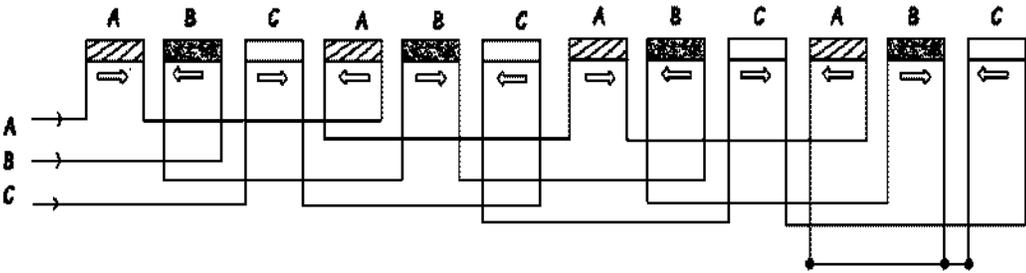


Figura 2.22 Las fases han sido ejecutadas por el método de grupos sucesivos.

En general ambos métodos son absolutamente equivalentes, muchos operarios prefieren el primero por resultar más sencillo.

La Figura 2.23 reproduce las designaciones normalizadas T₁ a T₉ de los nueve terminales exteriores que llevan los motores trifásicos para doble tensión de servicio, en caso de conexión en delta. Nótese que los circuitos formados son ahora solamente tres, provistos cada uno de tres terminales.

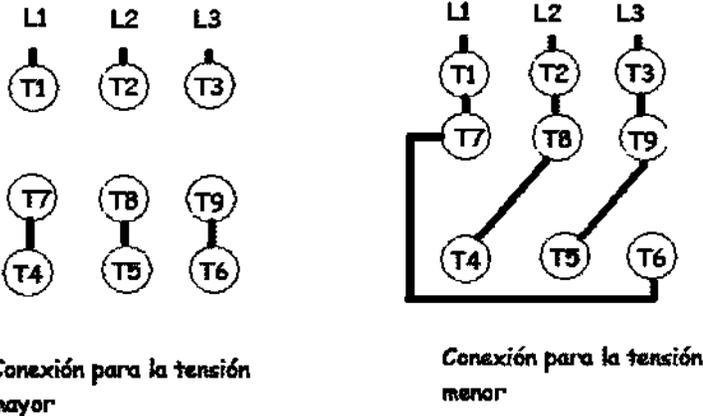


Figura 2.23 Designación y conexión de terminales en motores delta para doble tensión de servicio.

Para alimentar el motor a la tensión mayor es preciso unir las dos mitades de cada fase en serie, como indica la Figura 2.24. Esto se lleva a término empleando sucesivamente los terminales T4 y T7, T5 y T8, T6 y T9; luego se conectan los terminales T1, T2 y T3 a las respectivas líneas L1, L2 y L3 de la red.

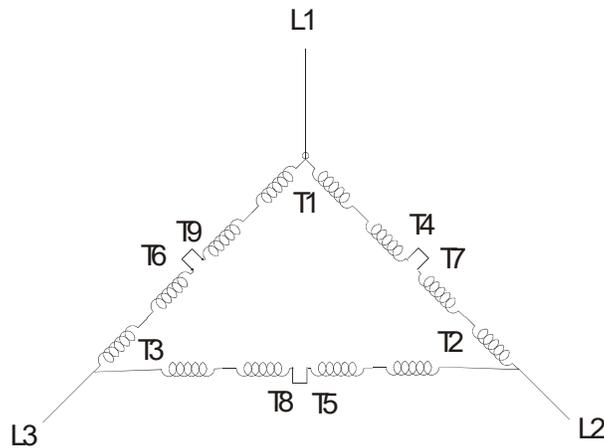


Figura 2.24 Las dos mitades de cada fase están unidas en serie(tensión mayor).

Para alimentar el motor a la tensión menor se procede según el diagrama de la Figura 2.25. Basta conectar los terminales T1, T7 y T6 a la línea L1, los terminales T2, T4 y T8 a la línea L2, y los terminales T3, T5 y T9 a la línea L3.

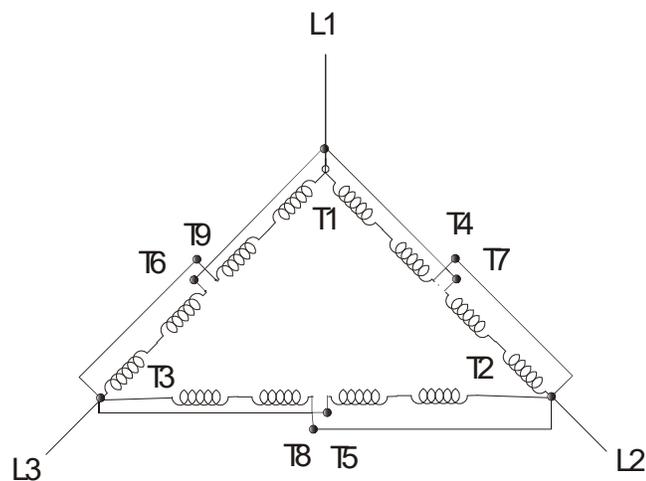


Figura 2.25 Las dos mitades de cada fase están unidas en paralelo (tensión menor).

2.4.3 Conexiones en serie o paralelo.

Muchos motores trifásicos están constituidos de manera que cada una de sus fases esté subdividida en varias ramas o derivaciones iguales, unidas entre sí en paralelo. Según el

número de derivaciones existentes en cada fase se tiene una conexión de dos ramas (o doble paralelo), tres ramas (o triple paralelo), etc.

En las Figura 2.26a) (1Y) y 2.26b) (2Y) se han representado, los diagramas esquemáticos de una conexión en estrella / serie (1 Y) y de una conexión en estrella / doble paralelo (2 Y), respectivamente.

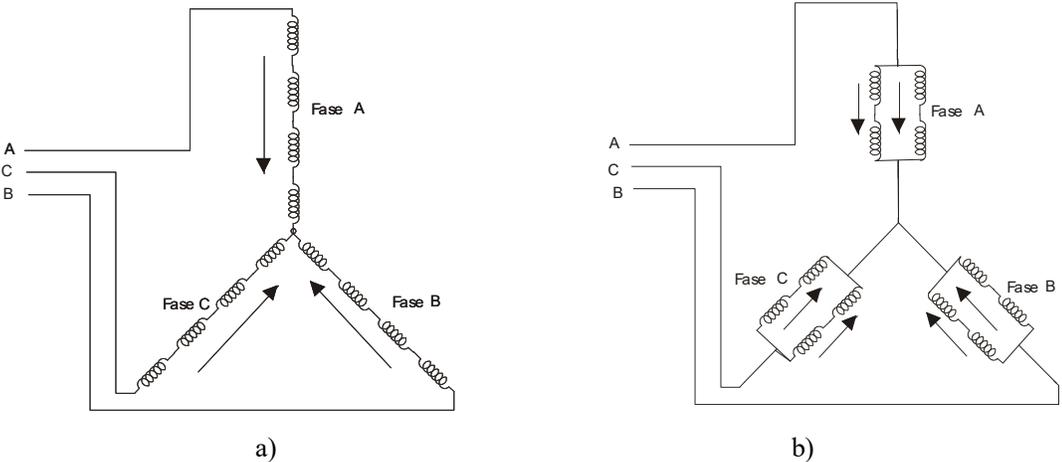


Figura 2.26a) Diagrama esquemático de un motor trifásico conectado en estrella/serie y b) Esquema de motor trifásico conectado en estrella/doble paralelo.

La Figura 2.27 permite visualizar la conexión de los grupos de la fase A en doble paralelo. Se empieza por conectar uno de los terminales de alimentación al principio de los grupos 1° y 3° de la fase A. Seguidamente se une el final del grupo 1° con el final del grupo 2° y el final del grupo 3° con el final del grupo 4°. Los principios de los grupos 2° y 4° quedarán libres para su conexión posterior al centro de estrella o punto neutro. Terminada ya la fase A se procederá de forma absolutamente idéntica con los grupos de la fase C, y finalmente con los de la fase B. Entonces se conectan conjuntamente los seis terminales libres para formar el punto neutro.

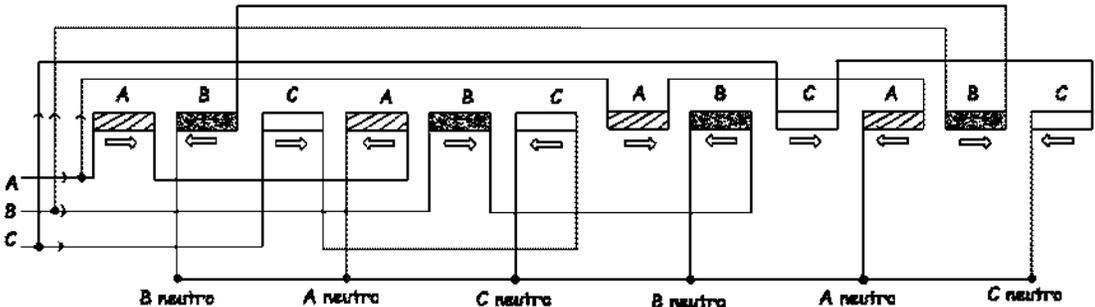


Figura 2.27 Esquema lineal completo del motor.

Cuando el motor está previsto para trabajar a dos tensiones de servicio salen generalmente al exterior nueve terminales, que son las que permiten unir grupos de cada fase en serie o en paralelo, tanto si la conexión entre fases es en estrella como si es en delta. Cuando el motor tiene dos velocidades de régimen, salen normalmente seis terminales a la caja de conexiones.

Para determinar el tipo de conexión se debe de considerar cualquiera de las líneas o terminales de alimentación y determinar cuántos grupos de bobinas están unidos a dicha línea. Si no hay más que un solo grupo, se tiene una conexión en estrella/serie. El diagrama esquemático de la figura 2.28a) se observa justamente que cada línea de alimentación se halla unida a un solo grupo, por consiguiente se trata de una conexión estrella / serie. El diagrama corresponde a un motor trifásico de 2 polos, el más simple de todos los motores trifásicos existentes. El diagrama de la figura 2.28b) se ve que corresponde también a una conexión estrella / serie. La única diferencia entre ambos motores es en el número de polos.

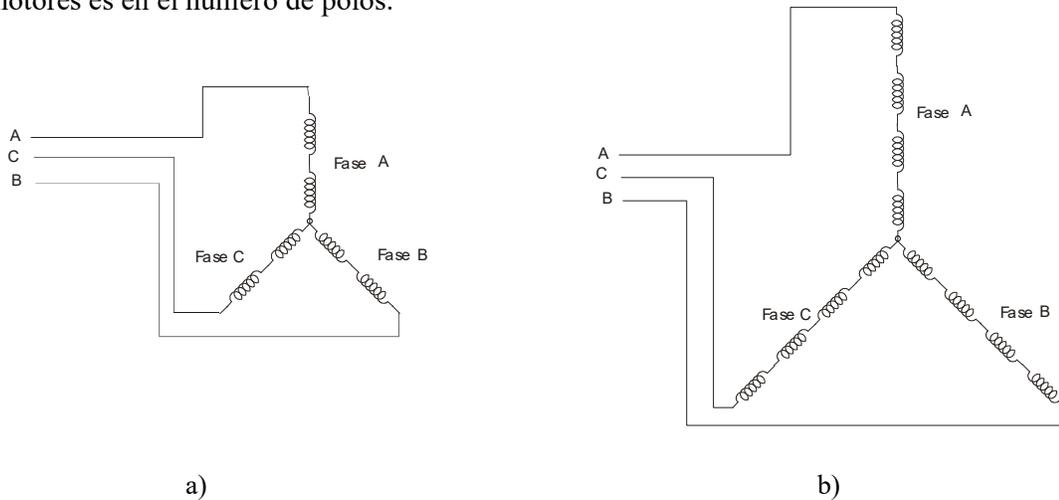


Figura 2.28a) Conexión serie/estrella, porque a cada línea de alimentación va unido un solo grupo, b) Cada línea de alimentación está conectado a un solo grupo.

El número de grupos puede deducirse siempre en función de la velocidad (dato que figura en la placa de características), y a veces, contando éstos directamente. Cuando son dos los grupos de bobinas unidos a cada línea o terminal de alimentación, hay la posibilidad de que la conexión sea en delta / serie (1Δ) o bien en estrella / doble paralelo ($2Y$). En la Figura 2.29 se han representado estos dos casos conjuntamente. Para resolver la cuestión se averigua si existe algún centro de estrella, es decir, un punto común al cual estén unidos los grupos; en caso afirmativo, se trata de la conexión $2Y$, y en caso contrario, de la conexión 1Δ . Es conveniente recordar que a veces pueden encontrarse no uno, sino dos centros de estrella separados, a cada uno de los cuales van conectados tres grupos. Figura 2.30

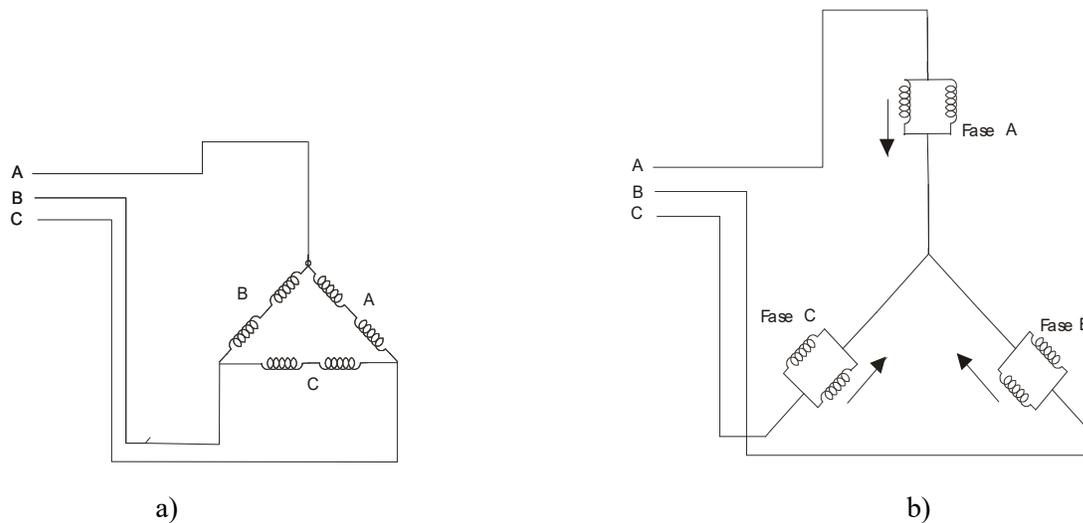


Figura 2.29 La conexión en delta(a), como la conexión en estrella(b), tienen la particularidad de presentar dos grupos de bobinas unidos a cada línea de alimentación, pero la segunda se distingue de la primera porque los seis grupos tienen un extremo en común.

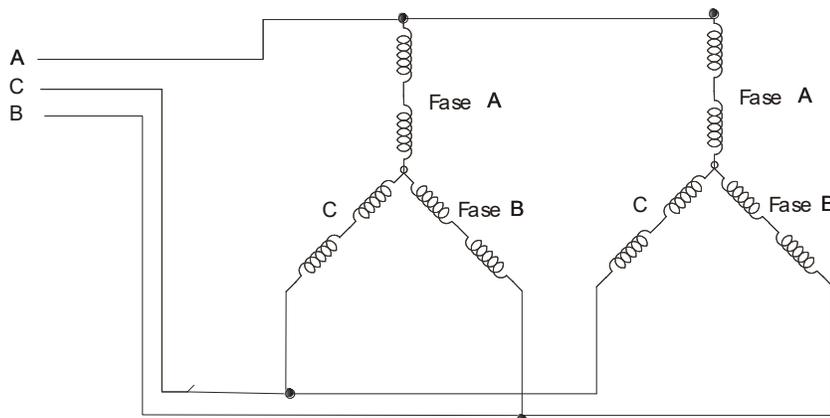


Figura 2.30 Diagrama esquemático de conexión en estrella con dos puntos neutros.

Si a cada línea de alimentación van unidos tres grupos de bobinas, estamos en presencia de una conexión en estrella / triple paralelo (3Y). No existe ninguna otra conexión que cumpla también esta condición.

Cuando son cuatro los grupos unidos a cada línea de alimentación Figura 2.31, existen dos posibilidades: la conexión es en delta / doble paralelo (2Δ) o bien en estrella / cuádruple paralelo (4Y). Se trata de la segunda si se encuentra un punto común al cual estén unidos los grupos, y de la primera si no se encuentra dicho punto.

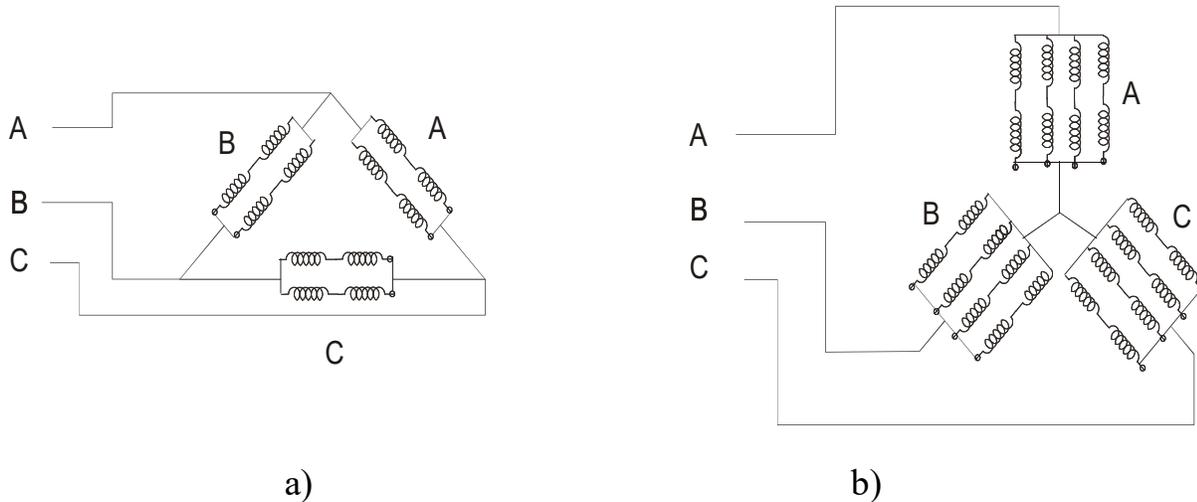


Figura 2.31a) conexión en delta/ doble paralelo, b)conexión en estrella/ cuádruple paralelo.

Basta lo anterior para demostrar que un conocimiento previo de los diagramas esquemáticos facilita extraordinariamente la identificación del tipo de conexión de un motor dado.

Para determinar el número de polos pueden emplearse varios métodos. Si la velocidad del motor es conocida, el problema no tiene dificultad, ya que en todo motor asíncrono existe una relación bien definida entre el número de polos y el de revoluciones.

También puede saber el número de polos contando el número de puentes de conexión existentes entre grupos de una misma vía, suponiendo previamente determinados el tipo de conexión y el número de vías en paralelo. Si se ha averiguado que un motor está conectado en estrella / doble paralelo y se han contando seis puentes de unión entre grupos, Figura 2.32, no cabe duda que dicho motor es tetrapolar. En el diagrama esquemático, las cifras indican el número correlativo de orden de cada puente.

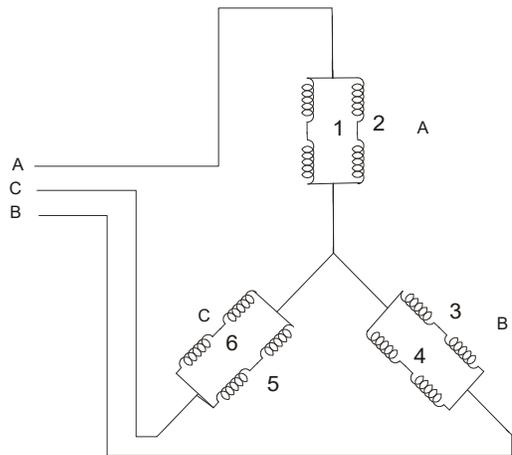


Figura 2.32 Conexión 2 serie/ doble paralelo.

La mayoría de los motores trifásicos de tamaño pequeño y mediano se construyen de manera que puedan conectarse a dos tensiones de alimentación distintas. La finalidad de ello es hacer posible el empleo de un mismo motor en localidades con red de suministro eléctrico a diferente tensión.

Por regla general, la unión conveniente de los terminales exteriores del motor permite conseguir una conexión en serie de los arrollamientos parciales (correspondiente a la tensión de servicio mayor) o una conexión en doble paralelo de los mismos (correspondiente a la tensión de servicio menor).

2.5 Polaridad de un transformador.

Las polaridades de un transformador nos ayudan a identificar las direcciones de los voltajes inducidos en los devanados y son el resultado de las direcciones en las que los dos embobinados se encuentran arrollados sobre el núcleo.

En la Figura 2.33 los flujos Φ_{F1} y Φ_{M1} son producidos por una corriente I_m . Por consiguiente, los flujos están en fase y ambos alcanzan sus valores pico en el mismo instante. También pasan por cero en el mismo instante. En consecuencia, el voltaje E_2 alcanzará sus valores pico en el mismo instante que (voltaje del generador) E_g . En uno de

estos momentos pico, la terminal primaria 1 es positiva con respecto a la terminal secundaria 3 la cual es positiva con respecto a la terminal secundaria 4, Figura 2.34.

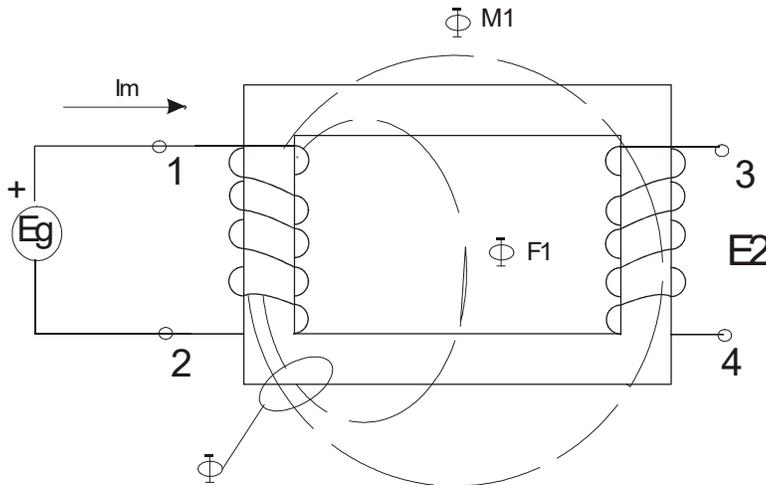


Figura 2.33 Voltaje inducido en un devanado secundario.

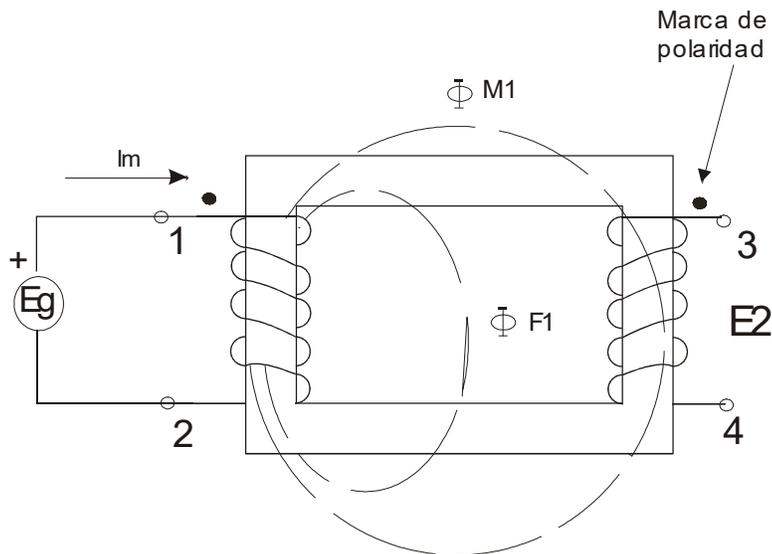


Figura 2.34 Las terminales que tienen la misma polaridad instantánea están marcadas con un punto.

Se dice entonces que las terminales 1 y 3 poseen la misma polaridad. Esta semejanza se puede demostrar colocando una marcación junto a la terminal primaria 1 y otro junto a la terminal secundaria 3. Los puntos reciben el nombre de marcas de polaridad.

Las marcas de polaridad que se muestran en la Figura 2.34 bien podrían ser colocadas junto a las terminales 2 y 4 porque, como el voltaje alterna, ellas también llegan a ser

simultáneamente positivas cada medio ciclo. Por consiguiente, las marcas de polaridad pueden ser colocadas junto a las terminales 1 y 3.

Para el funcionamiento es necesario conocer las polaridades, las cuales se pueden verificar por medio de una simple prueba en la que sólo se necesitan mediciones de voltajes con el transformador sin carga. En esta prueba, el voltaje nominal se aplica a uno de los embobinados, asimismo se hace la conexión eléctrica entre una terminal de algún embobinado, y otra terminal del otro, Figura 2.35.

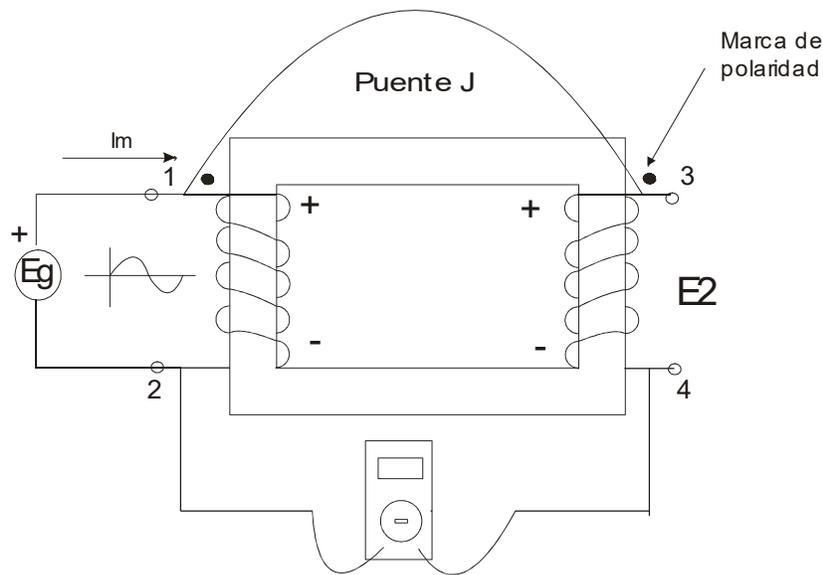


Figura 2.35 Conexión eléctrica entre terminales de embobinados.

El voltaje entre las dos terminales restantes, se coloca un voltímetro para realizar la medición. Si el voltaje medido es más grande que el de la fuente de alimentación, la polaridad es aditiva, porque los devanados se han conectado de tal manera que el sentido de arrollamiento es el mismo, esto ocasiona que el flujo magnético aumente y la fem sea mayor por que los flujos de ambos devanados se suman; pero si es más pequeño, la polaridad es sustractiva, lo que indica que los devanados se conectaron de manera que su sentido de arrollamiento es distinto y los flujos producidos se restan.

2.6 Propiedades de las marcas de polaridad.

La gran mayoría de los transformadores se instala dentro de un recinto metálico; teniendo sólo las terminales primarias y secundarias accesibles, junto con sus marcas de polaridad.

Pero aun cuando el transformador puede no estar visible siempre se aplican las mismas reglas a las marcas de polaridad:

Las polaridades de un transformador identifican las direcciones relativas de los voltajes inducidos en los devanados y son resultado de las direcciones en las que los dos embobinados se encuentran arrollados sobre el núcleo, Figura 2.36.

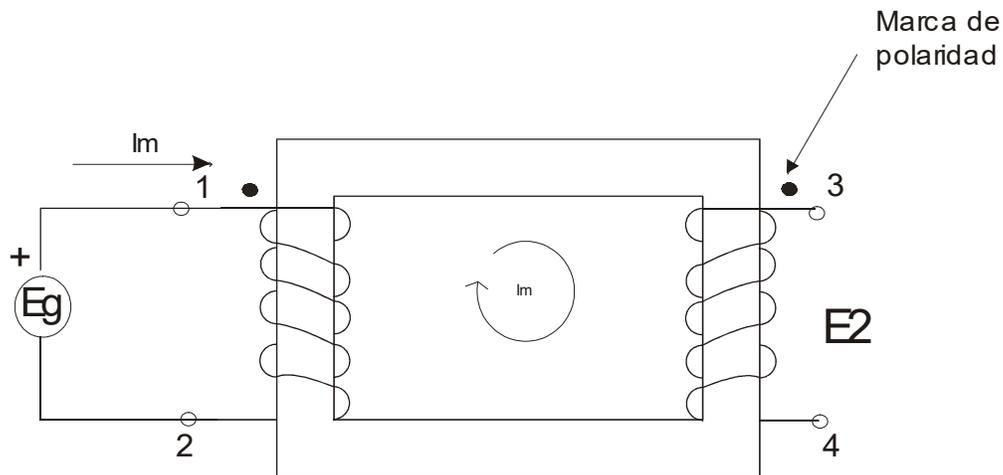


Figura 2.36 Una corriente que entra con marca de polaridad produce un flujo en una dirección “positiva”.

A la inversa, una corriente que sale de una terminal con marca de polaridad produce una FMM y un flujo en la dirección “negativa”. Así pues, las corrientes que respectivamente entran y salen de terminales con marca de polaridad de dos bobinas producen fuerzas magnetomotrices que se contrarrestan entre sí.

Si una terminal con marca de polaridad es momentáneamente positiva, entonces la otra terminal con marca de polaridad es momentáneamente positiva, cada una con respecto a su otra terminal. Esta regla nos permite relacionar el voltaje fasorial del lado del secundario con el voltaje fasorial del primario. Como muestra la Figura 2.37 el fasor E_{dc} está en fase con el fasor E_{ab} .

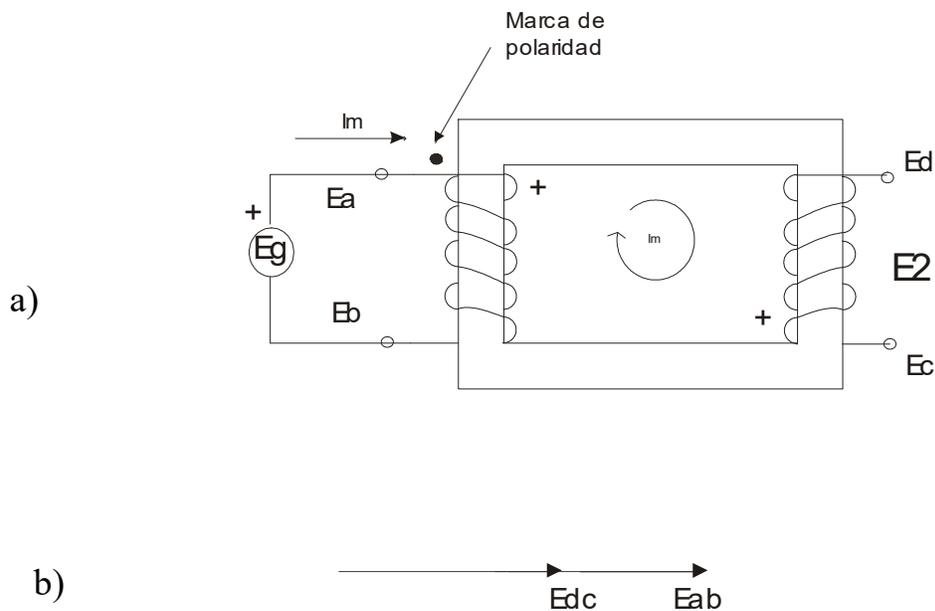


Figura 2.37 a) Polaridades instantáneas cuando la corriente magnetizante se está incrementando. b) Relación fasorial.

2.7 Marcas de polaridad de terminales estándar.

El tipo de marcación por medio de puntos en las terminales del primario y secundario se utilizan en transformadores de instrumentos. Sin embargo, en transformadores de potencia, las terminales están designadas por los símbolos H1 y H2 para el devanado de alto voltaje (AV) y por X1 y X2 para el devanado de bajo voltaje (BV). por convención H1 y X1 tienen la misma polaridad.

Aunque se conoce la polaridad cuando se dan los símbolos. H1, H2, X1 y X2, en el caso de transformadores de potencia es común montar las cuatro terminales en el tanque del transformador de una manera estándar para que el transformador tenga polaridad aditiva o sustractiva.

Se dice que un transformador tiene polaridad aditiva cuando la terminal H1 está diagonalmente opuesta a la terminal X1. Asimismo, un transformador tiene polaridad sustractiva cuando la terminal H1 está adyacente a la terminal X1, Figura 2.38. Si sabemos que un transformador de potencia tiene polaridad aditiva (o sustractiva), no tenemos que identificar las terminales mediante símbolos.

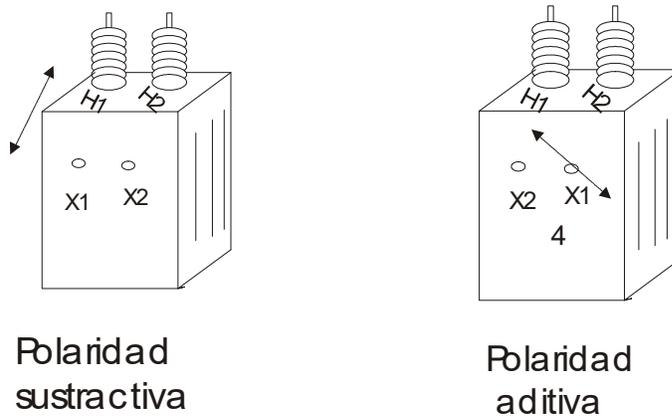


Figura 2.38 Las polaridades aditiva y sustractiva depende de la ubicación de las terminales H1-X1.

2.8 Pruebas de polaridad.

Para determinar si un transformador posee polaridad aditiva o sustractiva se procede como se muestra e indica a continuación, Figura 2.39.

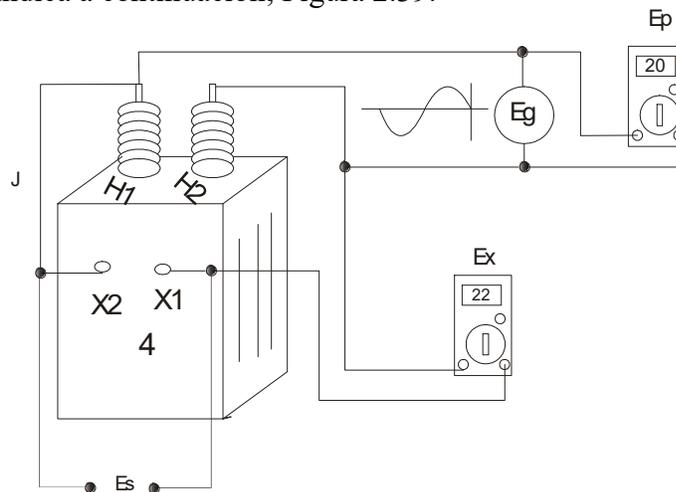


Figura 2.39 Determinación de la polaridad de un transformador mediante una fuente de ca.

Conectamos el devanado de alto voltaje a una fuente de corriente alterna (ca) $E_{\text{generador}}$ de bajo voltaje (en promedio 120 volts). Conectamos un alambre de cierre o puente J entre dos terminales H1 y X2 adyacentes cualesquiera. Conectamos un voltímetro E_x entre las otras dos terminales H2 y X1 adyacentes. Conectamos otro voltímetro E_{primario} a través del devanado H1,H2. Si E_x da una lectura más alta que E_{primario} , la polaridad es aditiva. Esto quiere decir que H1 y X1 están diagonalmente opuestas y internamente las bobinas se conectaron en el mismo sentido de arrollamiento, donde la corriente tendrá el mismo sentido y el campo magnético aumentará, provocado un voltaje inducido mayor. Por otra

parte, si E_x da una lectura más baja que E_{primario} , la polaridad es sustractiva y las terminales H1 y X1 son adyacentes. En esta prueba de polaridad, el puente J conecta en serie el voltaje $E_{\text{secundario}}$ del secundario con el voltaje del primario E_{primario} , Por consiguiente $E_x = E_{\text{primario}} + E_{\text{secundario}}$ o $E_x = E_{\text{primario}} - E_{\text{secundario}}$, según la polaridad.

Al realizar la prueba de polaridad, se puede conectar una fuente ordinaria de 120V y 60Hz al devanado H1, H2, aún cuando su voltaje nominal sea de varios cientos de KV. La Figura 2.40 muestra otro circuito que se puede utilizar para determinar la polaridad de un transformador. Una fuente de corriente directa (cd) en serie, con un interruptor abierto, se conecta el devanado X1, X2 del transformador.

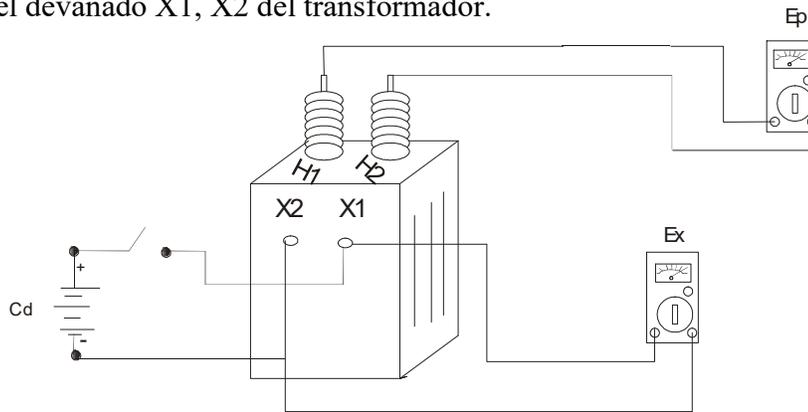


Figura 2.40 Determinación de la polaridad de un transformador mediante una fuente de cd.

La terminal del transformador conectada al lado positivo de la fuente se designa X1. Un voltímetro de cd está conectado a través de las terminales H1, H2. Cuando se cierra el interruptor, se induce momentáneamente un voltaje en el devanado H1, H2. Si en ese momento la aguja del voltímetro se mueve hacia arriba de la escala, la terminal del transformador conectada a la terminal (+) del voltímetro se designa H1 y la otra H2; de lo contrario sería H2 y la otra H1.

2.9 Marcas de polaridad de transformadores trifásicos.

La marcación de polaridad de un transformador se usa una marcación estandarizada, en el caso de las terminales de alto voltaje de un transformador trifásico son H1, H2, H3, y las de bajo voltaje son X1, X2, X3. La secuencia que se sigue suele ser estandarizadas:

Si los devanados primario y secundario están conectados en (conexión estrella-estrella)Y-Y o (delta-delta) Δ - Δ , los voltajes entre terminales con marcas similares están en fase. Por lo tanto:

EH_1H_2 está en fase con EX_1X_2

EH_2H_1 está en fase con EX_2X_1

EH_1H_3 está en fase con EX_1X_3

Y así sucesivamente.

Si los devanados primario y secundario están conectados en Y- Δ o Δ -Y, resulta un desplazamiento de fase de 30° entre los voltajes de línea. Las conexiones internas se hacen de modo que los voltajes de lado de H1, H2, H3 siempre estén adelantados respecto a los voltajes de terminales marcadas similarmente del lado de X1, X2, X3.

Por lo tanto;

EH_1H_2 está adelantado 30° respecto a EX_1X_2

EH_2H_1 está adelantado 30° respecto a EX_2X_1

EH_3H_2 está adelantado 30° respecto a EX_3X_2

Y así sucesivamente.

La Figura 2.41 muestra dos formas de representar las marcas de terminales en una conexión Δ -Y.

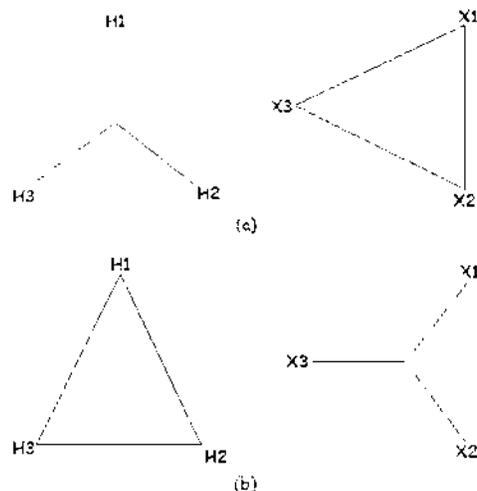


Figura 2.41 Marcas de polaridad de transformadores trifásicos.

Estas secuencias de pasos no se ven afectadas por la secuencia de fase del voltaje de línea aplicado al lado primario.

2.10 Polaridad en motores de inducción.

Una conexión errónea en cualquier parte del arrollamiento puede determinar una inversión de la polaridad, que se ha de determinar. El caso más frecuente de error, es conectar indebidamente la fase segunda o media de las tres que componen el arrollamiento del motor. Este error puede comprobarse fácilmente.

Se conectan las fases una a una y sucesivamente a una fuente de corriente continua de baja tensión.

Se dispone una brújula junto al estator y se va situando junto a cada grupo de bobinas, observando el movimiento de la aguja magnética. Si la aguja se invierte sucesivamente, tal como se ve en la Figura 2.42, la conexión de las fases es correcta. Si la aguja marca varios polos norte o polos sur seguidos Figura 2.43, es señal de que la fase central esta mal conectada. Para efectuar esta prueba, si la conexión del motor es en estrella, no es necesario desmontar los terminales de las tres fases; bastará con conectar uno de los terminales unidos a la fuente de corriente con el punto neutro de la estrella y con la otra terminal ir tocando sucesivamente cada uno de las terminales sueltas del motor. Si la conexión es en delta, habrá que desmontar las tres fases y probar individualmente.

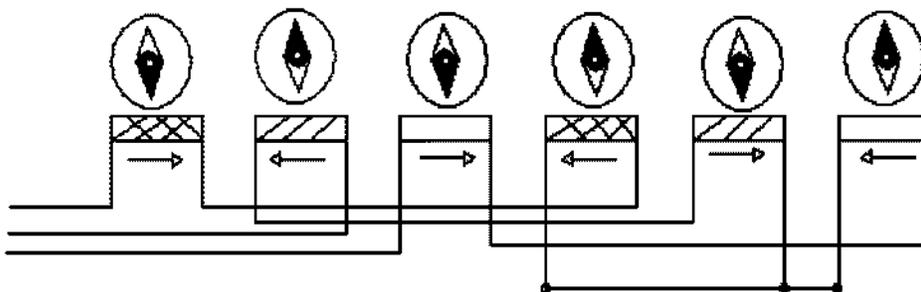


Figura 2.42 Conexión de fases correcta. La brújula señala polaridades alternadas.

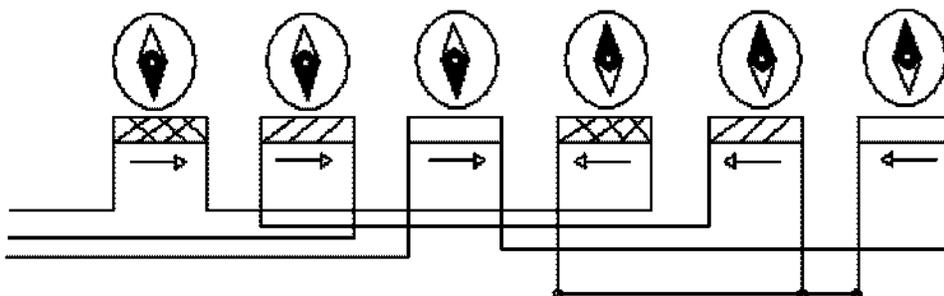


Figura 2.43 Conexión de fases incorrecta. La brújula señala tres polaridades iguales.

Capítulo 3

Determinación de las marcas de polaridad en motores de inducción.

El transformador como máquina primitiva y como principio de la máquina rotatoria, es uno de los dispositivos eléctricos más útiles.

La determinación de las marcas de polaridad en los transformadores, han demostrado que son el principio de la máquina rotatoria. Por lo tanto se puede desarrollar una secuencia de pasos para determinar las marcas de polaridad en los motores de inducción.

3.1 Motores utilizados en la investigación.

Para este proyecto de tesis, se utilizaron las máquinas de inducción, debido a su bajo costo y gran existencia en la industria, comercios, casas habitación, escuelas, etc.

En los talleres electromecánicos industriales, llegan a reparación o servicio con mayor frecuencia los motores de inducción, siendo los más sobresalientes los trifásicos a dos tensiones de servicio, Figura 3.1, que van desde los 2 hp (caballos de fuerza) hasta los 10 hp en promedio, de dos y cuatro polos.

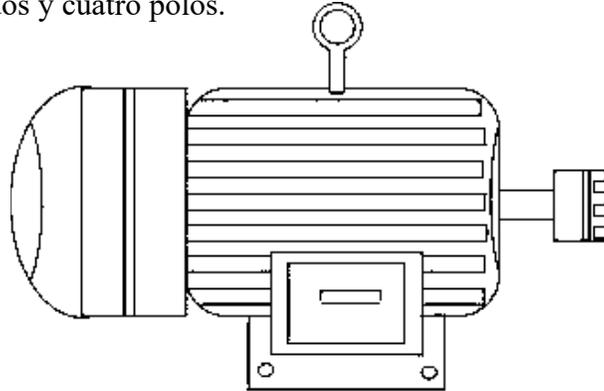


Figura 3.1 Motor de inducción.

Para esta investigación se utilizaron motores de diferentes potencias y diferentes fabricantes, con lo cual se pudo observar que las pruebas aplicadas a cada uno, hay que seguir una misma secuencia de pasos, debido a que la máquina se puede generalizar; por que el principio del funcionamiento es el mismo ya que todos los motores tienen que contar con un par de polos, polo norte y sur.

3.2 Determinación de las marcas de polaridad a partir de la caja de terminales.

Al llegar un motor a un taller de mantenimiento, se procede a revisar el motor para diagnosticarlo y proceder a realizar su reparación o mantenimiento.

Muchos de los casos principales, es destapar el motor para poder visualizar las condiciones en las que se encuentran los devanados, piezas mecánicas e identificar las terminales de conexión. Debido a que en ocasiones no se cuenta con la placa de características, no se cuenta con una numeración o marcación de puntas y la información es insuficiente, Figura 3.2.

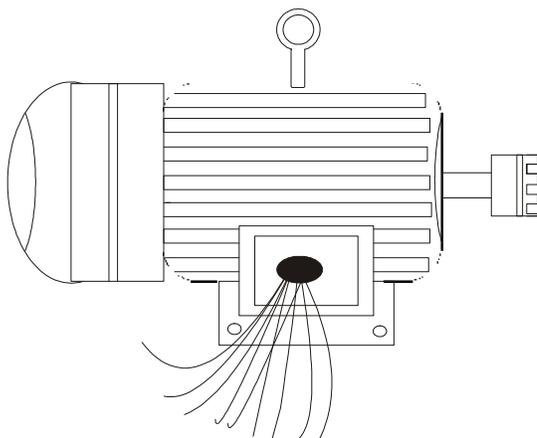


Figura 3.2 Caja de terminales de conexión.

Lo que se requiere es realizar una serie de pruebas al recibir la unidad a revisar. Desde la caja de terminales o conexiones, sin desmontar ni destapar el motor.

3.2.1 Identificando el tipo de conexión interna y el número de terminales.

Al destapar la caja de conexiones de un motor en el cual, carece de datos de placa y designación de terminales, se realizan las siguientes operaciones.

La primera operación, consiste en averiguar si el motor en cuestión cuenta con una conexión interna. Esto es, porque no se puede tener acceso a las terminales internas de la máquina. Por lo general, todas las máquinas trifásicas de inducción, suelen traer una conexión interna de tipo estrella o delta. Para ello, se efectuará una prueba de continuidad entre cada una de las terminales, para esta prueba ocuparemos poner el selector del multímetro en la opción de continuidad o en su defecto un probador de continuidad, Figura 3.3.

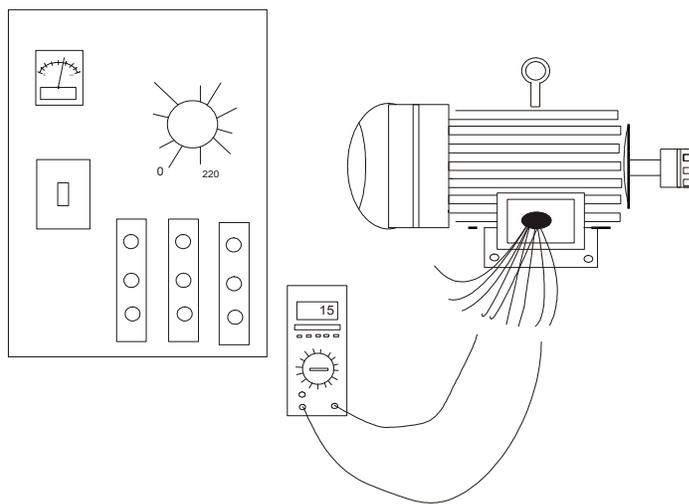


Figura 3.3 Identificando terminales de caja de conexión.

Es importante localizar todas las terminales con las que cuenta el motor, al igual, la conexión interna. El objeto es determinar el número de circuitos internos que componen el arrollamiento del devanado.

En los dos casos típicos se suele encontrar una conexión en estrella interna, en donde se encuentra un circuito de tres terminales y los otros tres de dos terminales, Figura 3.4.

Si solo se localizan tres circuitos de tres terminales, una terminal corresponde a la conexión interna y los otros dos son terminales extremos, Figura 3.4.

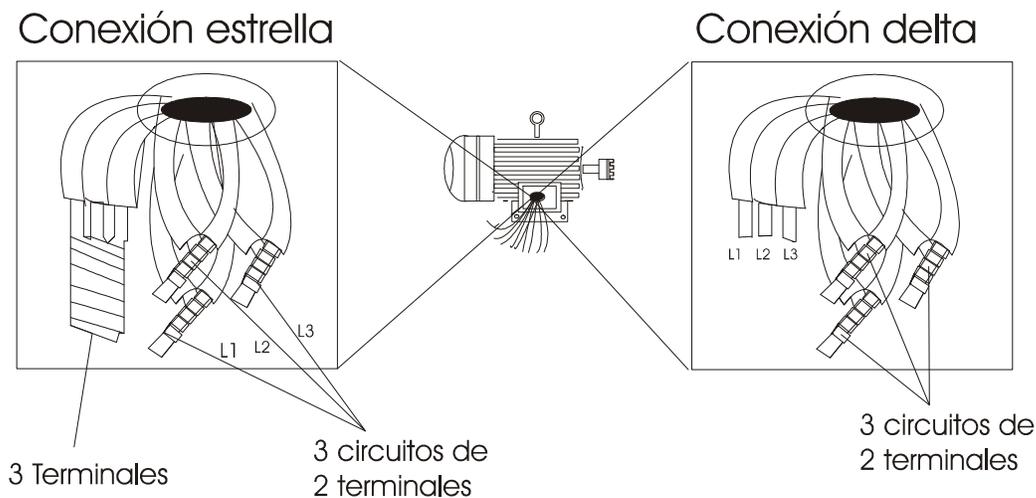


Figura 3.4 Conexión interna.

La gran mayoría de los motores de inducción suelen venir con esta cantidad de terminales, lo cual permite que el motor pueda cambiar de conexión para otra tensión de servicio.

3.2.2 Designación de nombres arbitrarios y numeración estandarizada.

Cuando contamos con todas las terminales identificadas y la conexión interna, podemos designar arbitrariamente o nombrar las puntas de la conexión interna.

Las terminales de la conexión interna llevarán la designación definitiva A, B y C seleccionadas arbitrariamente ó T7, T8 y T9 para conexión interna en estrella. Y T1, T2 y T3 para conexión interna en delta; En el caso de utilizar numeración estandarizada, Figura 3.5. El resto de las terminales llevarán las designaciones provisionales A', B' y C' o en el caso de la numeración estandarizada T1-T4, T2-T5 y T3-T6 para la conexión en estrella. Y

para delta T4-T9, T5-T7 y T6-T8, puesto que aún no se sabe si cada uno está provisto de la designación que le corresponde.

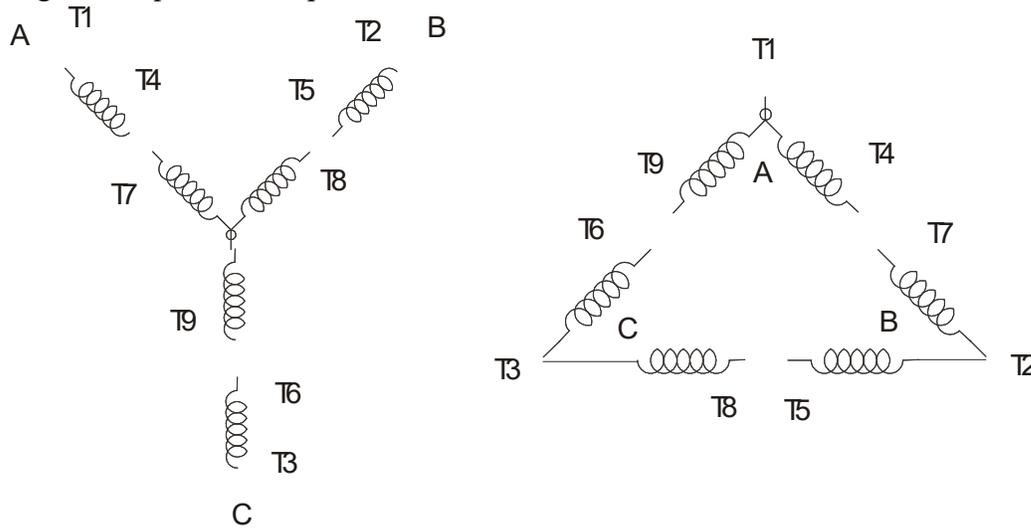


Figura 3.5 Numeración estandarizada.

3.2.3 Pruebas a realizar para determinar las marcas de polaridad.

Recordando, la polaridad de un transformador, se sabe que identificando las direcciones relativas de los voltajes inducidos en los devanados como resultado de las direcciones en que se encuentran arrollados los embobinados sobre el núcleo. Para el motor de inducción se aplicará lo mismo, ya que se cuenta con un núcleo donde van alojadas las bobinas y el devanado primario para energizar, el cual, sería el circuito de conexión interna con el que cuenta el motor. Para localizar la conexión interna, con la que cuenta el motor de inducción, se utiliza un medidor de resistencia, o continuidad, para detectar las terminales correspondientes a cada grupo de bobinas del estator. En el caso de encontrar un grupo donde marque continuidad en 3 terminales y tres grupos donde marque continuidad en 2 terminales. Se tendrá localizada una conexión interna tipo estrella.

En el desarrollo de la investigación se utilizaron varios motores de inducción trifásica, en los 2 casos más típicos de la conexión interna en estrella y delta.

Para el caso de los motores de inducción con conexión interna en estrella se procede de la siguiente manera.

Se alimentan dos extremos de la conexión interna con 20 volts de corriente alterna monofásicos, con el fin de no causarle algún daño al motor durante las pruebas, Figura 3.6 a). Se alimentan las terminales T8 y T7 de la conexión interna, después se toman las

terminales del grupo correspondiente a T7 y se conecta T4 a T7. Con un voltímetro se mide el voltaje de la terminal T8 a T1, del que se obtiene 22.38 volts.

Al invertir la conexión de la terminal T4, T7 por T1, T7 y medir T8, T4 Figura 3.6 b), se obtiene un voltaje de 17.11 volts. Con esto se puede apreciar que el voltaje es mayor que el voltaje de alimentación cuando la corriente fluye en el mismo sentido de arrollamiento de las bobinas. Los grupos de bobinas se encuentran distribuidos en la periferia del estator, las corrientes trifásicas están a 120° desfasada una de la otra, por lo que las mediciones de voltaje en el resto de los grupos es distinta.

Al cambiar la terminal de alimentación interna tomando T9, T7, Figura 3.6 c), y dejando los mismos grupos de referencia T7, T4 se obtiene 22.72 volts.

Después se invierte la conexión por T7 y T1, Figura 3.6 d), de donde se obtiene la medición de 17.22 volts.

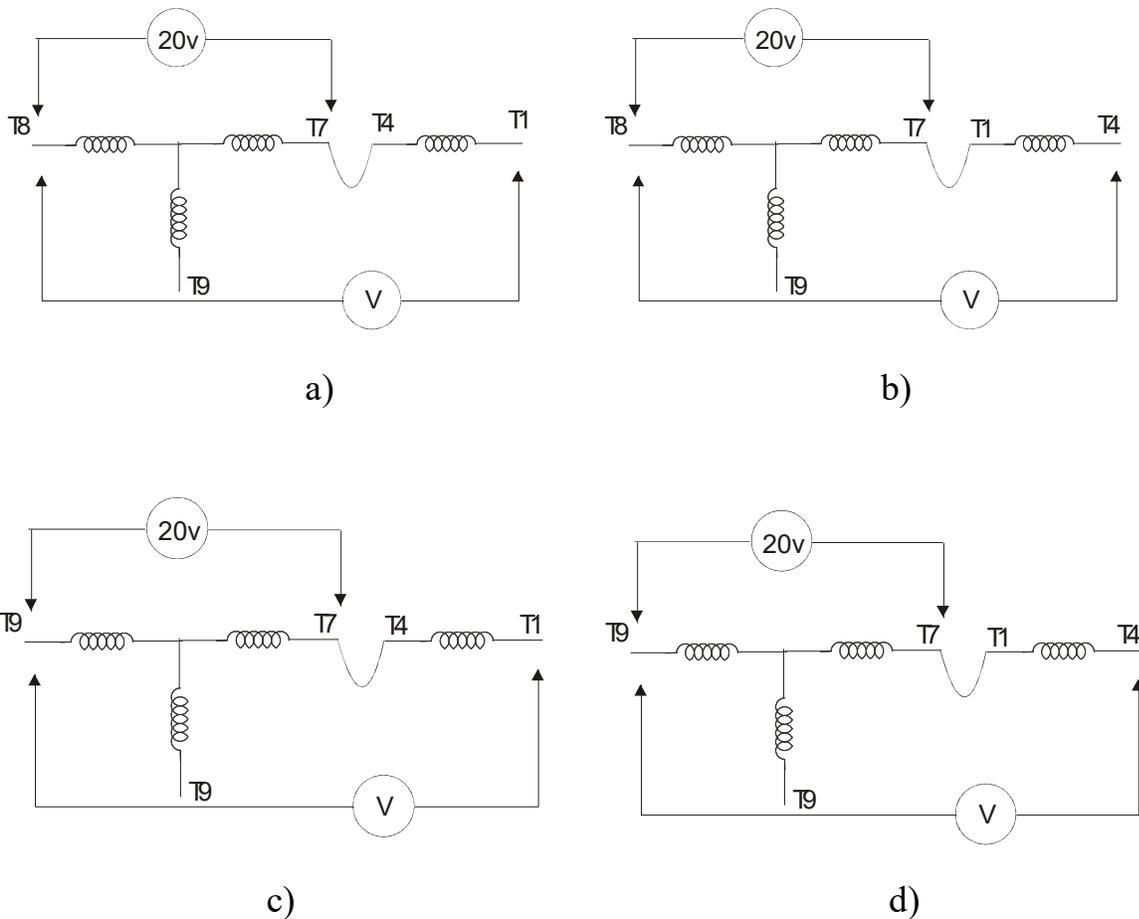


Figura 3.6 Alimentación y medición de voltaje en terminales.

Lo siguiente es dejar la referencia T7 y conectar el resto de los grupos T2, T5 y T3, T6, e invertirlos. Repitiendo la operación al alimentar T7, T8; T7, T9 y T8, T9 de la conexión interna, Figura 3.7, el resto de voltajes obtenidos se muestran en la Tabla 3.1.

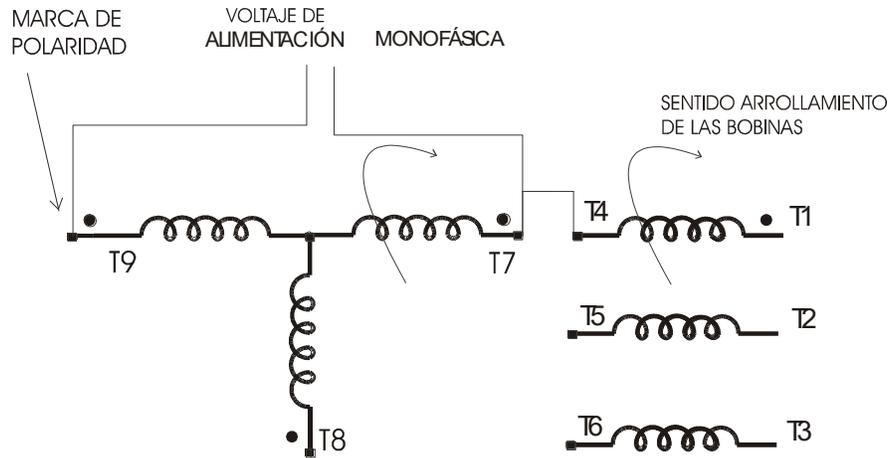


Figura 3.7 Alimentación de terminales internas T7 y T9, conectando referencia T7 con el resto de las terminales de los grupos T5 y T6 y medición de T9 a T2 y T3 respectivamente.

Tabla 3.1 Valores de alimentación, conexión y medición de terminales internas en estrella del motor de inducción en prueba.

Alimentación	Conexión	Medición	Voltaje	Alimentación	Conexión	Medición	Voltaje
7,8	4,7	1,8	22.82	7,9	4,7	1,9	22.72
7,8	1,7	4,8	17.11	7,9	1,7	4,9	17.22
7,8	5,7	2,8	17.13	7,9	5,7	2,9	19.9
7,8	2,7	5,8	22.9	7,9	2,7	5,9	20.1
7,8	6,7	3,8	19.9	7,9	6,7	3,9	17.68
7,8	3,7	6,8	20.1	7,9	3,7	6,9	22.3
8,7	4,8	1,7	17.13	8,9	4,8	1,9	19.9
8,7	1,8	4,7	22.95	8,9	1,8	4,9	20
8,7	5,8	2,7	22.86	8,9	5,8	2,9	22.64
8,7	2,8	5,7	17.1	8,9	2,8	5,9	17.21
8,7	6,8	3,7	19.81	8,9	6,8	3,9	17.23
8,7	3,8	6,7	20	8,9	3,8	6,9	22.7
9,7	4,9	1,7	17	9,8	4,9	1,8	19
9,7	1,9	4,7	22.9	9,8	1,9	4,8	20.3
9,7	5,9	2,7	20.03	9,8	5,9	2,8	17.7
9,7	2,9	5,7	20	9,8	2,9	5,8	22.7
9,7	6,9	3,7	22.7	9,8	6,9	3,8	22.71
9,7	3,9	6,7	17.2	9,8	3,9	6,8	17.3

Analizando las mediciones se puede encontrar un patrón de secuencia que siguen los voltajes obtenidos, al realizar todas las combinaciones de conexiones posibles. Al encontrar el grupo perteneciente a cada terminal de la conexión interna, de esta manera se puede determinar la configuración adecuada, esto es, las designaciones normalizadas de las marcas al encontrar el grupo perteneciente a cada terminal de la conexión interna.

En la Tabla 3.1 se observan las mediciones, de las cuales, siguen el mismo patrón, al alimentar las terminales internas cuando se alimenta de T7 a T8 o de T7 a T9 y se conecta la terminal del grupo correspondiente T4 con T7 o T1 con T7, se obtienen los mismos valores 22.82 volts de forma aditiva y 17.11 volts de forma sustractiva. Ocurriendo de forma distinta para el resto de grupos cuando son conectados a la referencia T7. Al cambiar la terminal interna de referencia T7 por T8 o T9 los voltajes del grupo T1, T4, son totalmente distintos a los obtenidos cuando T7 es la referencia.

Encontrando los mismos valores de voltaje en los otros grupos cuando se conectan a su terminal interna de referencia.

Las pruebas realizadas a cada uno de los circuitos de la conexión interna con cada uno de los circuitos independientes de dos terminales con numeración estandarizada temporal, se encontraron de acuerdo a las mediciones obtenidas.

En el caso de encontrar una conexión interna en donde se encuentren tres circuitos de tres terminales cada uno, se habrá encontrado una conexión delta, para identificar las terminales centrales de cada circuito se conectó un multímetro en la opción del ohmetro, Figura 3.8. En los cuales se observó que en una de las mediciones era el doble de la otra medición, con lo que se determina la conexión central del circuito en cuestión y se procede a marcar con la designación T1 que partirá como referencia para localizar las otras dos terminales centrales de los circuitos restantes, los cuales se designaran como T2 y T3 respectivamente.

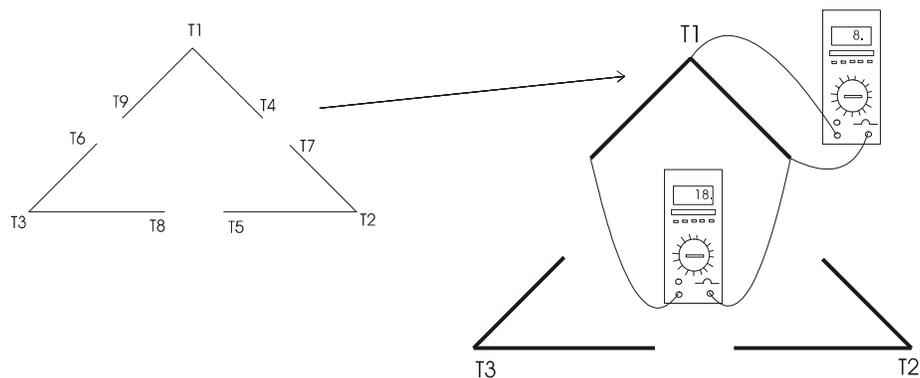


Figura 3.8 Localizando la conexión intermedia.

Como en el caso de la conexión interna en estrella, se realiza la misma rutina de mediciones a la conexión interna en delta. Para facilitar el trabajo las pruebas se basan en la conexión serie/delta, evitando con esto mediciones innecesarias, es decir, las conexiones centrales (T1, T2 y T3) a las conexiones de referencia (T4 a T9). Se toma un circuito de referencia, el designado como T1, T2 o T3 y se alimenta a

20 Volts de C.A. de la terminal central T1 a un extremo denominado temporalmente T4 o T9. donde uno de los extremos es la referencia inicial del grupo y se conecta con el resto de terminales, Figura 3.9 a).

Después se continúa con el segundo grupo correspondiente al circuito de prueba T5, T2, siguiendo los mismos pasos anteriores. La alimentación de 20 volts se mantiene en las terminales de referencia T1, T4 y se conecta T4 con T5 obteniendo una medición de 23.04 volts, Figura 3.9 b),

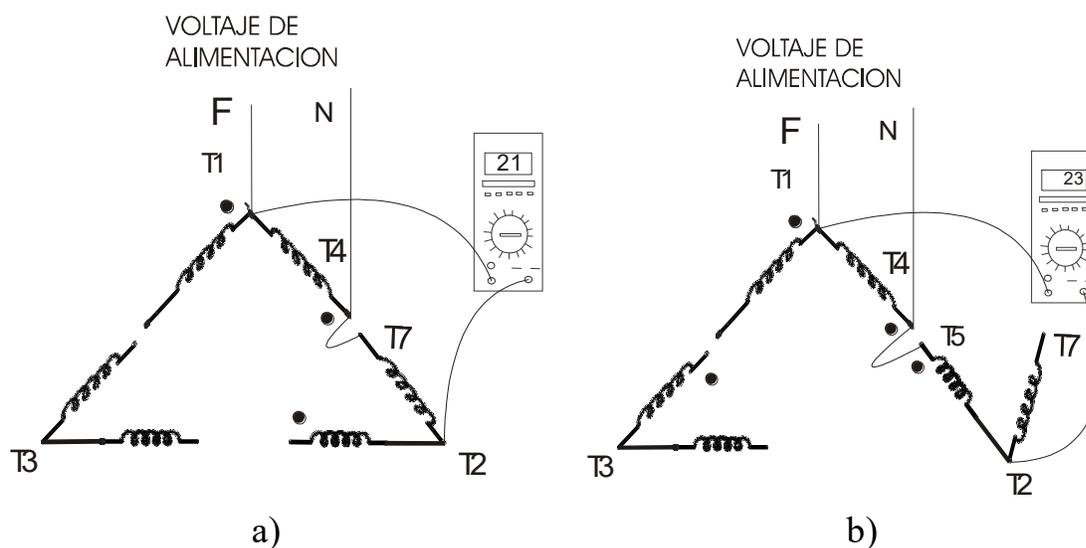


Figura 3.9 Alimentación de voltaje al circuito de referencia.

En la Tabla 3.2, se reporta el resultado de todas las combinaciones de conexión entre terminales correspondientes a un voltaje medido.

Tabla 3.2 Valores de conexión, alimentación y mediciones de voltaje para conexión interna en delta, del motor de inducción.

Alimentación	Conexión	Medición	Voltaje	Alimentación	Conexión	Medición	Voltaje
1,4	4,7	1,2	21.55	2,7	7,4	2,1	21.53
1,4	4,5	1,2	23.04	2,7	7,8	2,3	23.1
1,4	4,8	1,3	19.36	2,7	7,6	2,3	19.9
1,4	4,6	1,3	22.93	2,7	7,9	2,1	23
2,5	5,4	2,1	22.9	3,8	8,4	3,1	19.36
2,5	5,8	2,3	21.52	3,8	8,5	3,2	21.56
2,5	5,6	2,3	23	3,8	8,7	3,2	22.9
2,5	5,9	2,1	19.43	3,8	8,9	3,1	22.98
3,6	6,4	3,1	22.9	1,9	9,7	1,2	23
3,6	6,7	3,2	19.5	1,9	9,5	1,2	19.43
3,6	6,5	3,2	23.1	1,9	9,8	1,3	22.98
3,6	6,9	3,1	21.5	1,9	9,6	1,3	21.48

Como en el caso de la conexión interna en estrella se analiza la Tabla 3.2 de los resultados obtenidos, en la cual, se puede encontrar un patrón de secuencia que siguen los voltajes al realizar todas las combinaciones de conexiones posibles.

Se puede apreciar en la Tabla 3.2, que 3 valores de voltaje son mayores al voltaje de alimentación, y 2 son aproximadamente iguales, los cuales se descartan debido a que ninguno pertenece a la conexión de referencia, el voltaje que se considera es el voltaje mayor al de alimentación pero menor que los dos voltajes anteriores, debido a que es el que pertenece a la referencia.

Con lo anterior se realiza un secuencia de pasos a seguir cuando se presenta cualquiera de los 2 casos de conexión interna en estrella o delta, en los motores de inducción trifásica.

3.3 Metodología a seguir para determinar las marcas de polaridad en motores.

Con lo anterior se propone una metodología, la cual, es realizar una secuencia de pasos a seguir para la obtención de las marcas de polaridad en motores trifásicos de inducción, que nos permita agilizar el trabajo de conexión del embobinado del estator desde la caja de terminales. Y generar los polos magnéticos adecuados para el buen funcionamiento de nuestra máquina giratoria. Esto ayudará a marcar e identificar rápidamente las terminales de cada grupo de bobinas que salen del estator y realizar la conexión adecuada. Para

determinar las marcas de polaridad en motores de inducción desde la caja de terminales, se elaboraron la siguiente secuencia de pasos:

1. Primero se averigua la conexión interna con la que cuenta la unidad en revisión, para lo cual, se realiza un prueba de continuidad entre las terminales localizadas en la caja de conexión, con esto se logra determinar el número de circuitos internos que componen el arrollamiento estático, encontrando 4 circuitos independientes, 3 de dos terminales y 1 de 3 terminales, por lo tanto se tiene una conexión interna en estrella.

2. Se marcan los 4 circuitos, iniciando con el de tres terminales, el cual es la conexión interna del motor, se designa inicialmente las marcas de polaridad, las cuales son referencia para el resto de marcas en los circuitos restantes, también se pueden marcar con las designaciones normalizadas, en este caso serán definitivas T7, T8, T9 Figura 3.10

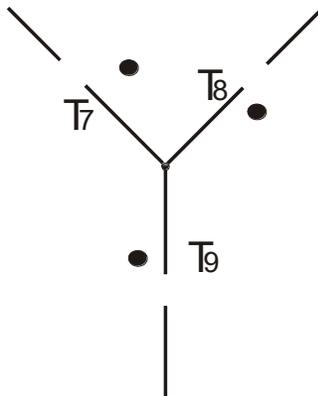


Figura 3.10 Marcación de polaridad inicial en circuito de referencia de conexión estrella.

3. Se conectó las terminales de la conexión interna ya designada, a una red de alimentación monofásica aplicando un voltaje pequeño, Figura 3.11; en la investigación se utilizaron 20 volts de corriente alterna, obtenidos de un módulo con un variador de voltaje.

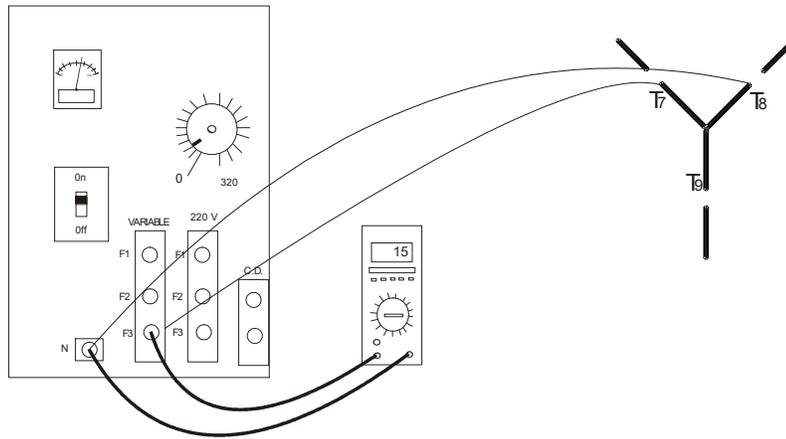


Figura 3.11 Alimentando conexión interna en estrella.

4. Se señala provisionalmente los otros tres circuitos restantes con T1-T4, T2-T5, T3-T6, y se conecta una de las terminales de los circuitos anteriores marcados con una de las terminales del circuito de la conexión interna. También se colocan dos multímetros de la terminal del circuito con designación provisional sin conectar, a las otras 2 terminales designadas de la conexión interna, Figura 3.12.

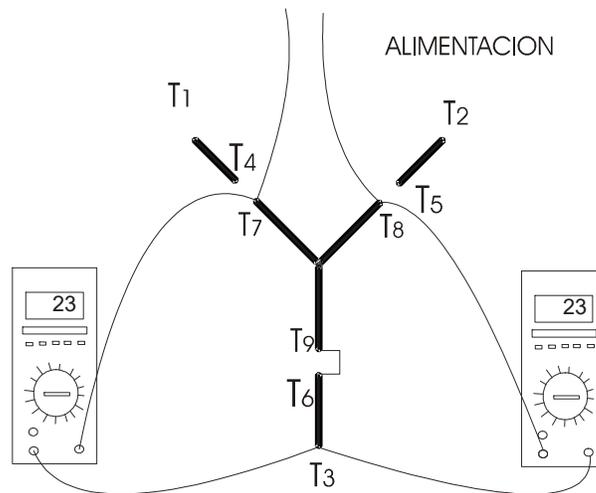


Figura 3.12 Medición de voltaje inducido en circuito correspondiente a grupo de bobinas de referencia.

5. Si ambas tensiones registradas en los multímetros son idénticas y mayores que la tensión aplicada, se habrán localizado las terminales adecuadas; esto por que los 2 devanados pertenecientes a cada uno de los circuitos estarán conectados en el mismo

sentido y su tensión se dará en forma aditiva, Figura 3.13, con lo que se asigna su marca de polaridad y marcación definitiva.

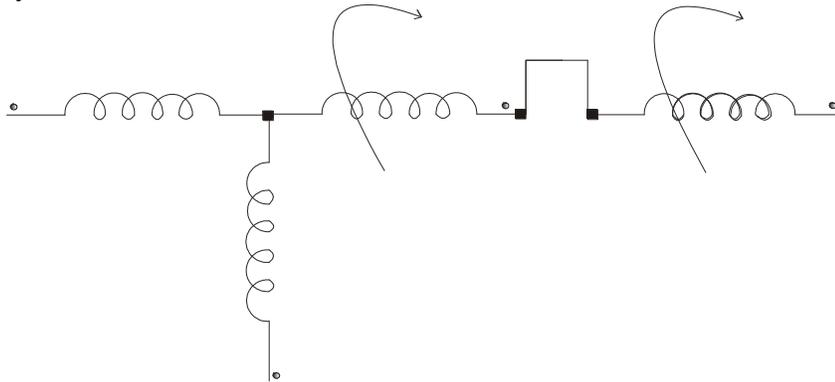


Figura 3.13 Representación aditiva o sustractiva según el sentido de arrollamiento de las bobinas.

6. Si ambas lecturas de tensión son iguales, pero menores a la tensión de alimentación, se procede a permutar las terminales del circuito conectado al circuito de la conexión interna.
7. Si ambas tensiones son distintas, se toma otro de los circuitos con designación temporal para conectarse con la terminal de conexión interna con designación definitiva, y se repetirán los pasos anteriormente mencionados hasta encontrar dos tensiones iguales y mayores a la tensión aplicada.
8. Se identificarán el resto de terminales con el mismo procedimiento, conectando T5-T8 y midiendo las tensiones en T2-T7, o también T4-T7 y midiendo en T1-T8, Figura 3.12.
9. Se pondrá en marcha el motor para verificar que es correcto la marcación e identificación de terminales, el cual podrá trabajar con una carga normal, y revisar las corrientes de las fases.

En el caso de detectar tres circuitos de tres terminales, indicará que se cuenta con conexión interna en delta, y para tal caso, se propone seguir la siguiente secuencia de pasos.

1. Con la ayuda del óhmetro se identificará la conexión intermedia de cada uno de los circuitos, para identificarla se verá que en dos extremos dará una resistencia mayor, y al medir cualquiera de éstos con el extremo restante dará una resistencia de la mitad de la medida anterior, Figura 3.14.

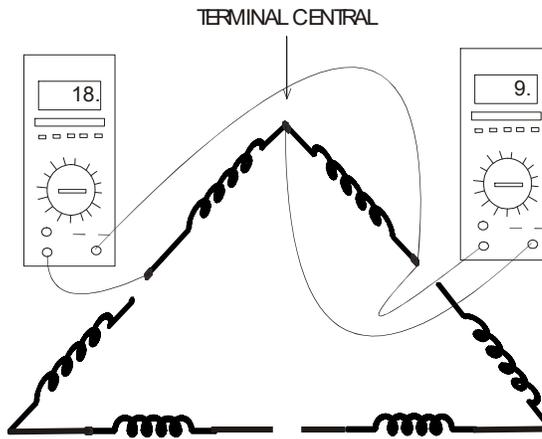


Figura 3.14 Identificando conexión intermedia.

2. Al obtener las terminales centrales de cada circuito se procederá a marcar una de las tres con numeración estandarizada permanentemente, la cual será la referencia de partida para localizar las terminales restantes, Figura 3.15, al igual se designa la marca de polaridad inicial para referencia de las demás, de acuerdo a la marca de polaridad inicial.

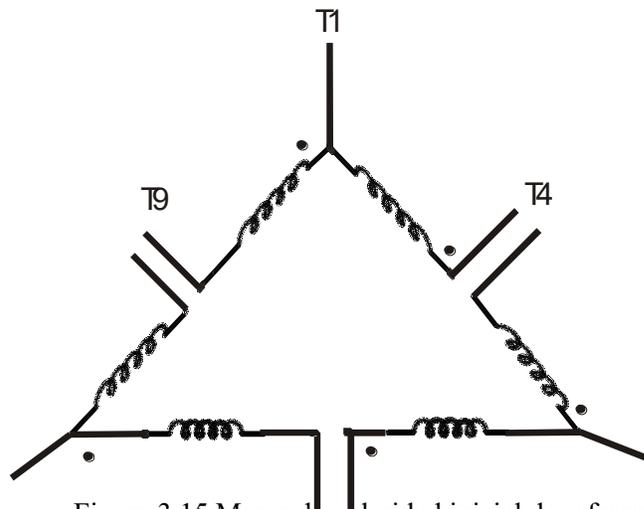


Figura 3.15 Marca de polaridad inicial de referencia.

3. Se alimenta con voltaje monofásico las terminales del circuito de referencia, se conecta uno de los extremos del circuito con las terminales referencia, se conecta uno de los extremos del circuito con las terminales de los circuitos restantes, se mide el voltaje de la parte central del circuito de referencia T1 y la parte central del circuito en cuestión T2 o T3, Figura 3.16.

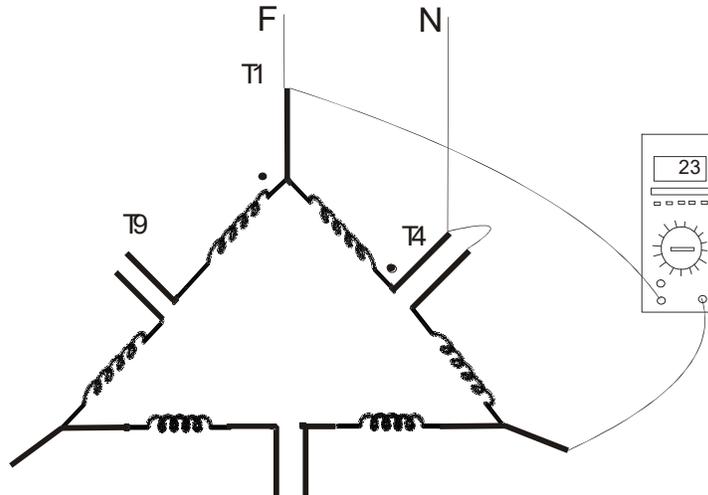


Figura 3.16 Realizando las mediciones de prueba.

4. Se realizan las 4 combinaciones entre las terminales de cada circuito, detectando tres de mayor voltaje por encima del de alimentación, de las cuales, dos son aproximadamente iguales y no corresponden a la terminal de referencia, el otro voltaje mayor que el de alimentación pero menor que los otros dos voltajes, es el que pertenece al grupo correspondiente que será conectado en el extremo de prueba. Y se procederá a asignar su marca de polaridad y numeración estandarizada, Figura3.17. Al igual, se asignará su marcación de polaridad al grupo restante al que se encuentra conectado.

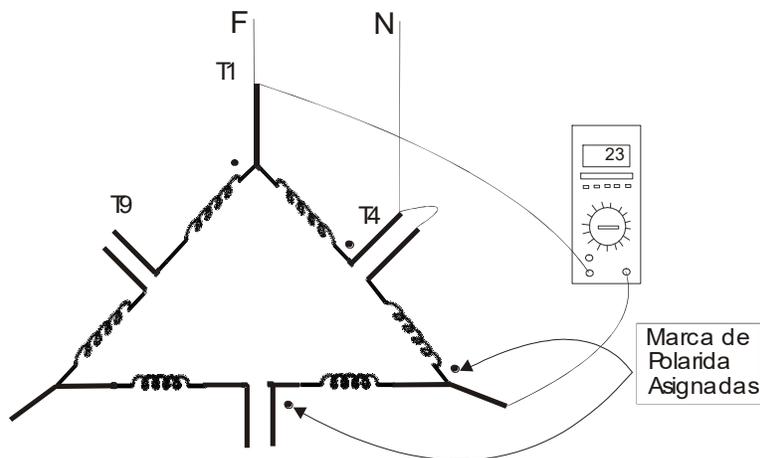


Figura 3.17 Determinando la marcación de polaridad en circuito correspondiente.

5. Al realizar las pruebas nuevamente entre las terminales de los circuitos faltantes, se procederá a marcar su polaridad determinada, al igual que en el paso anterior.

6. Al determinar todas las marcas se procederá a realizar la conexión adecuada del motor de inducción, la cual dependerá de la línea de alimentación y de la experiencia del técnico en el área.

3.4 Analisis vectorial de la determinación de las marcas de polaridad en motores.

Toda cantidad numérica se puede representar por medio de vectores, los propósitos básicos de los diagramas vectoriales, es mostrar las magnitudes y los ángulos entre voltajes y corrientes.

Una cantidad escalar se especifica por su magnitud, que consta de un número y una unidad. Como ejemplo, en el caso del voltaje aplicado a la conexión interna del motor de inducción, 20 Volts.

Una cantidad vectorial se especifica por una magnitud y una dirección. Como ejemplo Fase A= 120 volts a 120° respecto de Fase B.

Los métodos más usados para la suma o resta de vectores son, el método del polígono es el más útil, se aplica fácilmente a más de dos vectores. Y el método del paralelogramo que es muy conveniente para sumar sólo dos vectores a la vez. En ambos casos, la magnitud de un vector se indica a escala mediante la longitud de un segmento de recta. La dirección se marca colocando una punta de flecha en el extremo de la línea del segmento. Cuando se tiene una situación aditiva (suma) o sustractiva (resta), se debe considerar la magnitud como la dirección de los desplazamiento, teniendo en cuenta que la sumas son geométricas y no algebraicas.

Dentro del analisis vectorial, se pueden analizar las magnitudes de cada fase, al igual que se pueden representar las pequeñas magnitudes de los grupos por identificar de cada circuito. Las mediciones obtenidas en la Tabla 3.1 para conexión interna en estrella son datos escalares, los cuales, se representan en diagramas vectoriales, para poder apreciar el comportamiento de las pruebas realizadas a los motores de inducción. Las secuencias de fases se representan en la Figura 3.18, de forma fasorial y sus respectivos ángulos de desfaseamiento entre cada fase. Sobre este diagrama fasorial se representan los vectores resultantes y los vectores correspondientes a las magnitudes de cada grupo perteneciente a cada fase.

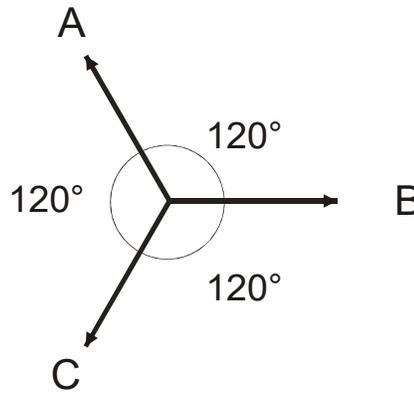


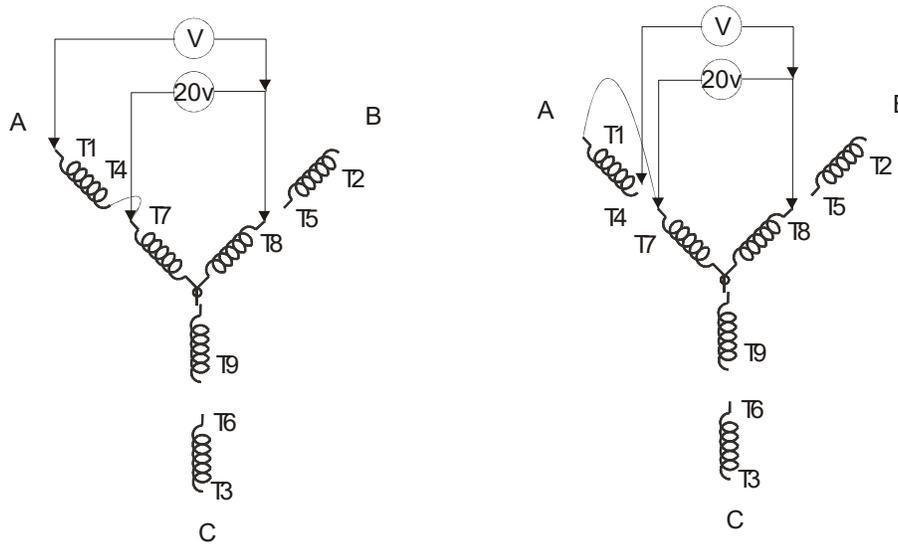
Figura 3.18 Diagrama fasorial.

En la Figura 3.19a), se representa una de las mediciones realizadas prácticamente y su respectiva representación vectorial de los vectores resultantes correspondientes a los valores obtenidos.

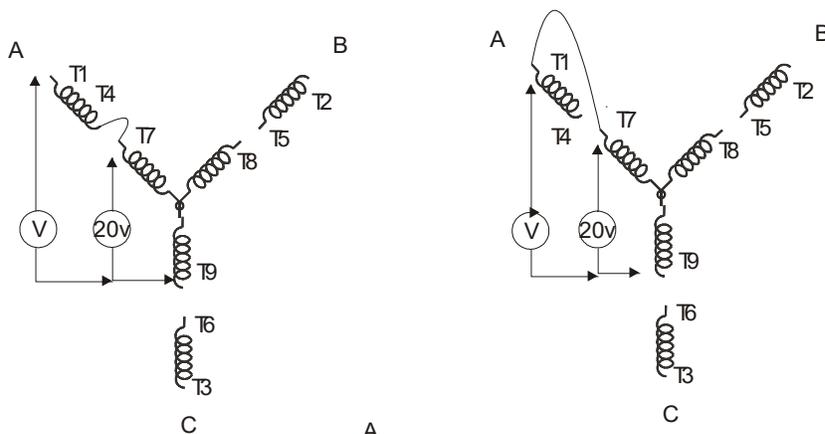
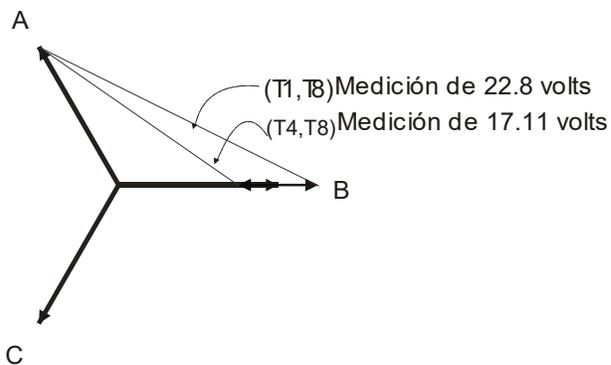
En el diagrama fasorial, la referencia es la fase A donde se realizan las conexiones de los grupos para realizar las pruebas que se requieren, en este caso se conecta el grupo perteneciente a la terminal de referencia marcada como T7, se conecta con T4 y se alimenta de T7 a T8, y su valor se mide de T1 a T8 de donde se obtiene un voltaje de 22.8 volts mayor al de alimentación de 20 volts. Al cambiar la conexión T7, T4 por T7 con T1, se mide de T4 a T8 y se obtiene una medición de 17.11 volts. Menor al voltaje de alimentación. En la figura 3.19b), se representan los mismos pasos de prueba anteriormente vistos, pero cambiando las terminales de alimentación T7, T8 por T7, T9 y permaneciendo la referencia T7.

Repetiendo lo anterior pero con un grupo distinto al utilizado T1, T4, conectamos T5 con la referencia T7, aplicando 20 volts en las terminales T7, T8 y se toman las mediciones en las terminales T2 a T8, Figura 3.19c).

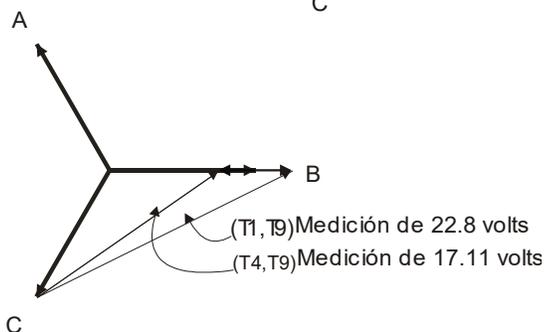
En la figura anterior se observan los vectores correspondientes a los valores de voltajes obtenidos, al realizar la misma prueba pero cambiando la alimentación de T7, T8 por T7, T9 se obtiene al conectar T7, T5 19.9 volts y al invertir la conexión T7, T5 por T7, T2 y medir de T5 a T9 se obtiene 20.1 volts, Figura 3.19d).



a)



b)



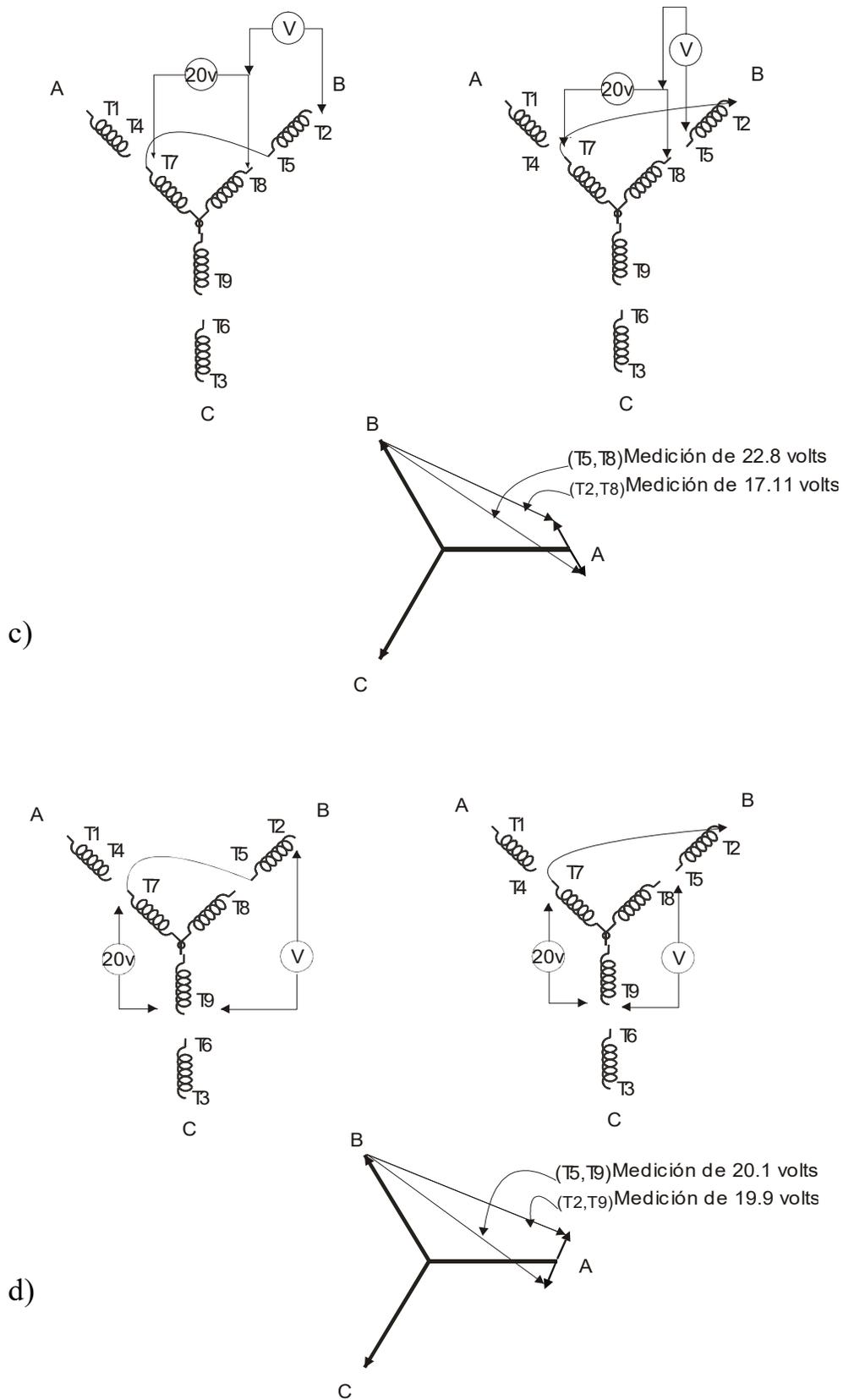


Figura 3.19 Diagrama de medición y su representación vectorial.

En la Figura 3.20 se puede apreciar todas las secuencias de fases de los vectores resultantes correspondientes a cada grupo de bobinas.

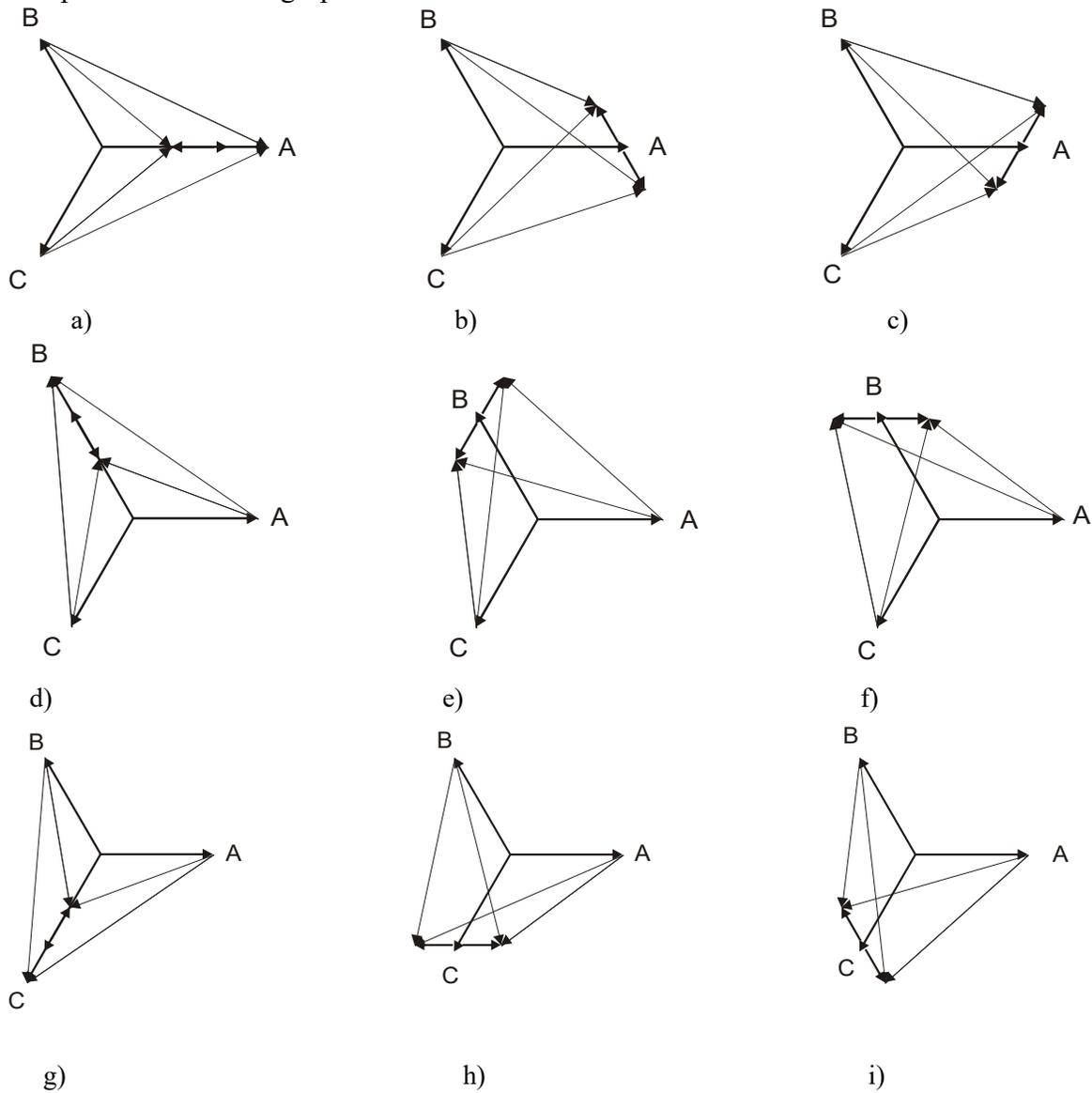


Figura 3.20 Análisis vectorial de conexión interna en estrella.

En la Figura 3.20a) se puede observar la simetría de ambos vectores que corresponden al grupo de bobinas de prueba llamados A, B, C que forman una conexión interna en estrella; cuando se realiza la alimentación de A a B, B a C, C a A, y los grupos restantes son conectados en A, después en B y después en C, para encontrar su grupo correspondiente, se

puede visualizar los resultados anteriormente obtenidos, donde los voltajes inducidos más altos son iguales de forma aditiva y de forma sustractiva también son iguales, de acuerdo a las mediciones realizadas las cuales corresponden a las mediciones de prueba.

Alimentando de A a B o de C a B estaría indicando que ese voltaje obtenido corresponde al grupo perteneciente a ese extremo de grupo de referencia y que su conexión realizada en forma aditiva o sustractiva con la misma alimentación, darán los mismos voltajes aproximados, tomando como referencia los vectores resultantes mayores por que ayuda a determinar el sentido por el que entrará la corriente y realizar su marcación correspondiente.

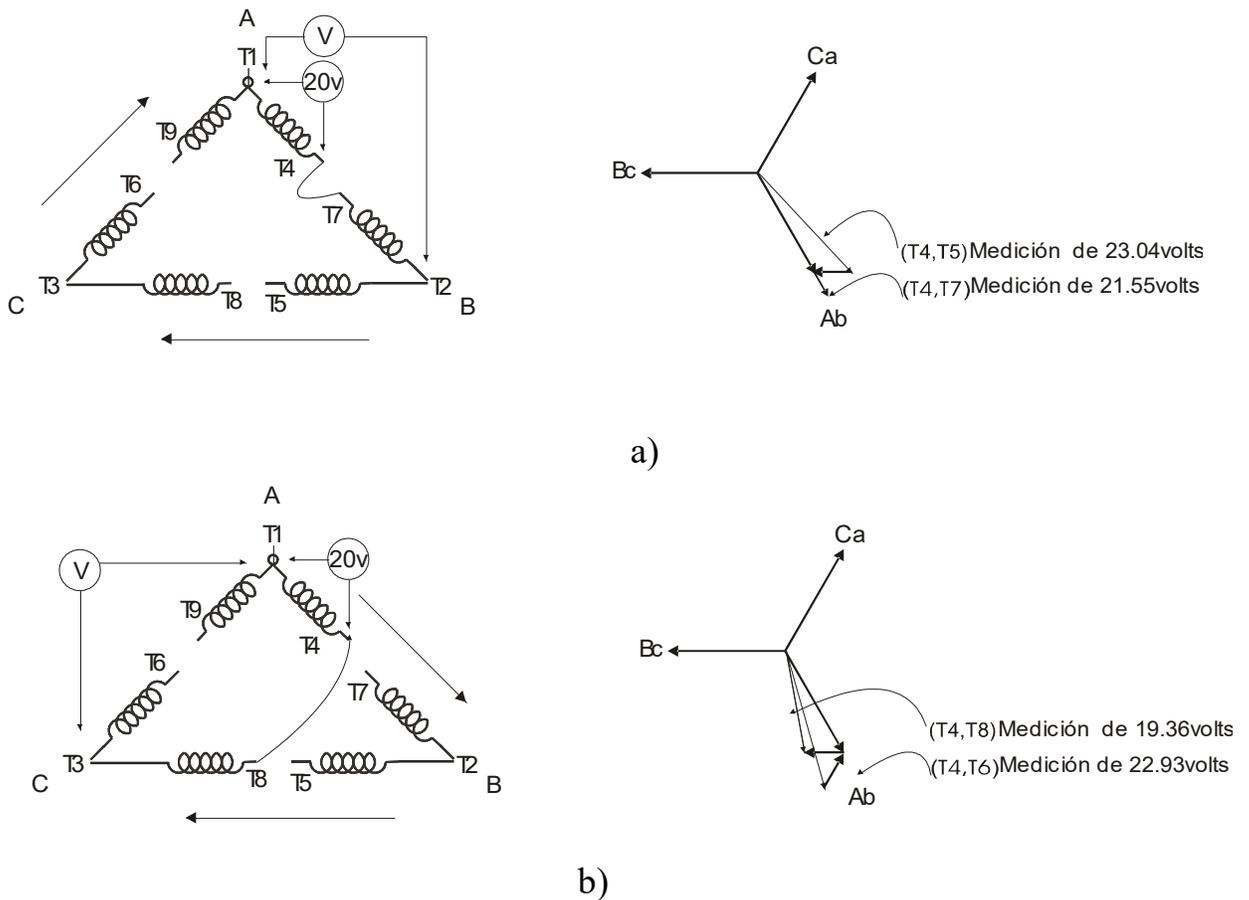
En el diagrama vectorial, Figura 3.20 b) y c), se pueden observar los vectores resultantes que son muy simétricos debido a la distribución simétrica que existe en el estator de los devanados, con lo que indica lo planteado anteriormente de que no son los grupos indicados a conectar con el grupo de prueba.

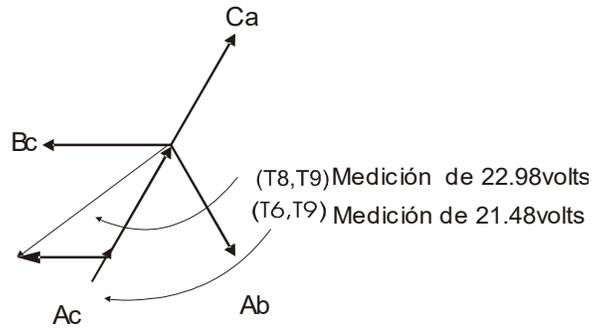
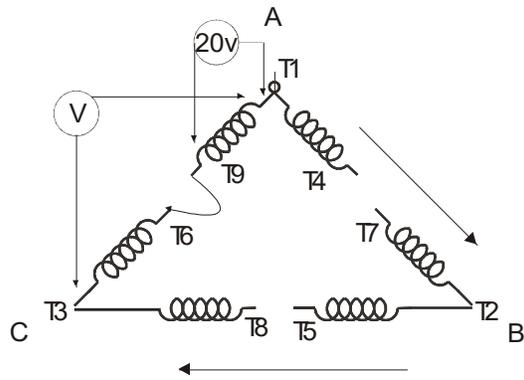
Los diagramas vectoriales restantes tomando como referencia al grupo C y A dan los mismos valores de resultantes aproximadamente, al conectar su grupo correspondiente y los no correspondiente. Esto por la simetría de distribución de grupos que existe dentro de la máquina de inducción. En el caso de las conexiones en delta se tendrá un caso muy semejante al ya analizado con los diagramas vectoriales en estrella. En los esquemas vectoriales, Figura 3.21, en las cuales se demuestra lo realizado en las pruebas prácticas aplicadas al motor de inducción. Se selecciona uno de los 3 grupos existentes y se alimenta con voltaje de 20 volts de la terminal intermedia del grupo seleccionado T1 a la terminal de referencia T4, se puede ver el valor correspondiente a las resultantes del voltaje inducido en el resto de los grupos, respecto al grupo de referencia, donde se conectó cada uno, al igual que su dirección.

Se tomó como referencia inicial T4 en la que se conectó la terminal T7, tomando las lecturas de voltaje de T1 a T2 de 21.55 volts, después se cambió la terminal T7 por la terminal T5 que se conectó a la terminal de referencia T4 obteniendo un voltaje medido de T1 a T2 de 23.04 volts. En el diagrama vectorial donde se representan estos valores resultantes, se pueden apreciar las direcciones que siguen cada uno de éstos, lo cual, depende de donde a donde se aplica la alimentación de prueba a los grupos de bobinas; así, como la secuencia que lleva cada vector, correspondiente a la referencia.

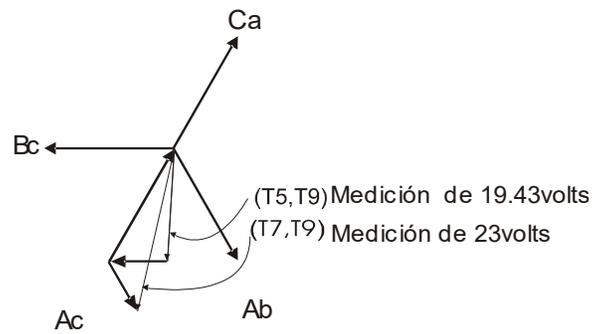
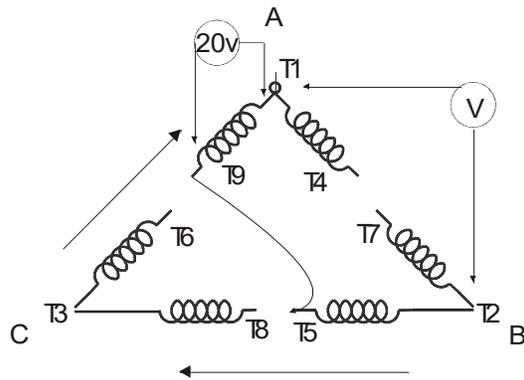
En la figura 3.21 se observan los vectores correspondientes al grupo de prueba conectado al grupo de referencia y a su vez los vectores resultantes de cada prueba realizada. Cuando se alimenta de A a B y se prueban los grupos respecto a éste, se mide el voltaje inducido en cada uno y cambiando la de alimentación de voltaje de A a C manteniendo la referencia de prueba A, se obtienen dos voltajes mayores al voltaje de alimentación y aproximadamente iguales. Los cuales no corresponden al grupo de referencia, y un tercer voltaje mayor al de referencia pero menor a los dos anteriores, que es el que pertenece al grupo en cuestión; con lo que se puede determinar su marcación de polaridad debido a que cumple con lo ya establecido anteriormente.

En el diagrama vectorial, Figura 3.21 d), sucede lo mismo tomando de referencia el otro extremo del mismo grupo para encontrar su correspondiente y determinar su marcación de polaridad. Lo único que cambia en la representación del diagrama vectorial, es la dirección que lleva el grupo de referencia al ser conectado con el resto de los grupos que serán sometidos a prueba, es decir el negativo de Ca.





c)



d)

Figura 3.21 Analisis vectorial de los voltajes obtenidos de las pruebas realizadas.

Al realizar los análisis vectoriales del resto de los grupos tomados como referencia, se obtuvieron los mismos resultados para cada uno. Encontrando los mismos casos en donde los vectores resultantes mayores no serán los correspondientes, únicamente el mayor al de alimentación pero menor a los dos vectores mayores e iguales. Figura 3.22.

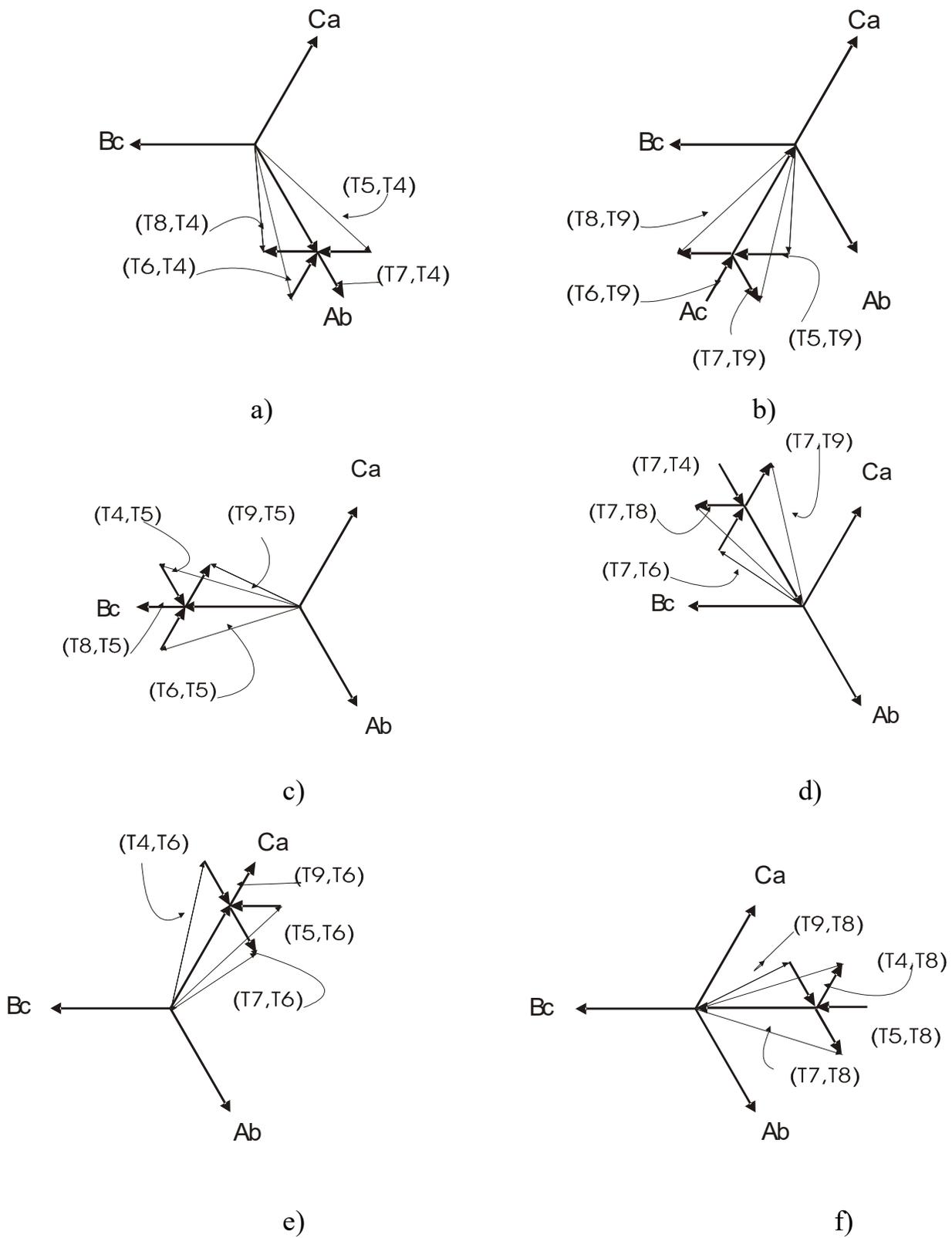


Figura 3.22 Representación vectorial de los vectores resultantes obtenidos en la pruebas realizadas a la motor de inducción.

Todos los diagramas vectoriales mostrados en la figura anterior, corresponden a los datos reportados en la Tabla 3.2 de tal forma que se pueda realizar la analogía de los diagramas vectoriales con respecto a los valores de prueba obtenidos y verificar la secuencia elegida, como referencia para la metodología propuesta.

3.5 Conexiones adecuadas finales.

Cuando se tienen identificadas todas las terminales con sus respectivas marcas de polaridad y su numeración estandarizada, se procede a realizar la conexión final, para su funcionamiento.

En el caso de una conexión interna en estrella se procederá a realizar otra conexión en estrella con las terminales restantes, para concluir con la conexión en serie o paralelo según la tensión con la que se piense alimentar, Figura 3.23.

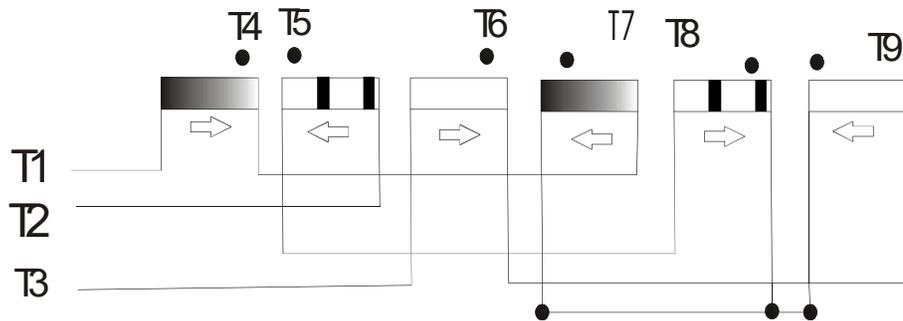


Figura 3.23 Conexión en estrella.

En el caso de una conexión interna en delta se procederá con una conexión delta en serie o paralelo según la tensión a la que se desee alimentar, Figura 3.24.

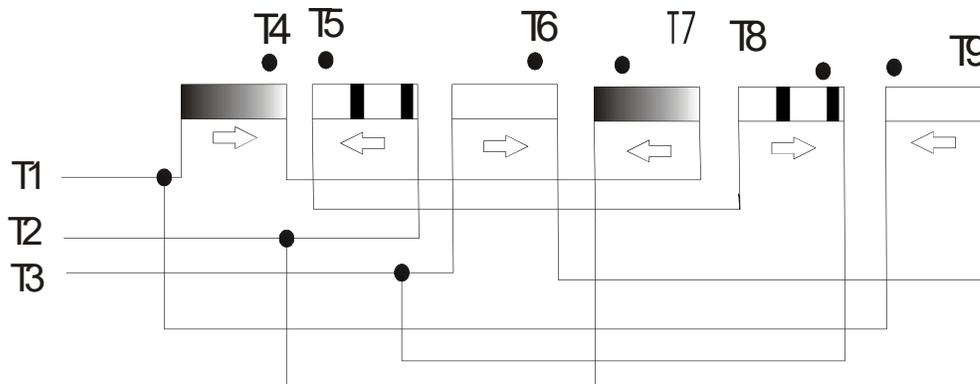


Figura 3.24 Conexión en delta.

En muchas ocasiones de la vida práctica, se presentan al bobinador electricista, casos por resolver, relativos a cambiar las condiciones de los motores, para adaptarlos a trabajar en distintas condiciones a las que fueron diseñados originalmente, siendo las más comunes:

1. Cambios en el voltaje.
2. Cambios en la frecuencia.
3. Cambios en la velocidad.
4. Cambios en las fases.

Algunos de estos cambios son perfectamente factibles, y los motores trabajan con su porcentaje de rendimiento absolutamente normal; en cambio, hay otros que solo verificando un nuevo devanado, se consigue; y otros más en que ningún cambio, debido a las características del motor y de las condiciones en que se desea que trabaje.

Cuando se tenga acceso a todas las terminales incluyendo las de la conexión interna, se puede realizar algún cambio en la conexión siempre y cuando no se altere el campo magnético. Teniendo en cuenta que si la conexión realizada no es correcta, la alimentación será afectada por el factor $\sqrt{3}$ que puede hacer circular una corriente mayor que la nominal a través de los devanados del motor, provocando calentamiento excesivo, o de lo contrario pérdida de potencia.

Capítulos 4

Conclusiones

Hoy en día, los talleres electromecánicos industriales; debido al crecimiento agigantado de la sociedad, a tenido también que ampliarse o crecer para satisfacer algunas de las demandas de las personas, debido a la creciente demanda de los motores para diversa cantidad de negocios comerciales, industriales, o de tipo doméstico.

Ésto a ocasionado un aumento de trabajo en los talleres, debido a que las máquinas son parte fundamental para desarrollar muchas de las tareas de la vida cotidiana; este aumento de trabajo, se da en la instalación, reparación y mantenimiento de las máquinas.

Al llegar una máquina al taller para reparación o mantenimiento, lo primero es realizar unas pruebas un poco tediosas y laboriosas, para poder diagnosticar la máquina y así mismo, poder determinar su proceso de reparación o mantenimiento, más aún, cuando éstas llegan faltos de datos de placa por extravío o deterioro de la misma. Uno de los problemas muy frecuentes que se dan en los talleres son la pérdida de datos, o la falta de los mismos desde la llegada de la máquina al taller. Lo cual ocasiona una gran pérdida de tiempo en identificar la gran parte de características de la máquina para su correcta reparación.

Con lo que, la secuencia de pasos a seguir propuesta en este proyecto de tesis para determinar las marcas de polaridad en motores, las cuales van a agilizar el trabajo de recepción y reparación de las mismas, es de gran utilidad para los talleres industriales.

Por lo tanto, se puede decir, que la secuencia de pasos a seguir propuesta es beneficiosa para las industrias y talleres electromecánicos, debido a que es aplicable en cualquier máquina giratoria, ya que está basado en los devanados de estator de las máquinas.

En esta área, el ingeniero electricista tiene mucho por explorar y aprender, y de la misma manera, mucho por aportar. El proponer metodologías un poco más ágiles y eficientes para el mantenimiento, desarrollar paquetería de software para monitoreo o escaneo de las máquinas, desarrollo de equipo de prueba, investigar sobre nuevos diseños o mejores materiales son tan solo algunos de los aspectos en los que se puede comenzar a trabajar.

Como trabajo futuro, se propone el desarrollo de esta metodología propuesta, para implementarse en alguna paquetería de software como LabVIEW. En el cual se tenga una conexión de terminales de la máquina directamente a una tarjeta de datos, la cual mande señales de voltaje y corriente a través de el puerto serial o paralelo. Para finalmente obtener los datos a través de la PC, y realizar en forma automática la secuencia indicada en esta investigación.

Referencias

[Rosenberg 1970]

R. Rosenberg. Reparación de motores eléctricos Tomo 1 y 2. México: G. Gili. 1970.

[Langsdorf 1967]

Alexander. S. Langsdorf. Teoría de las máquinas de corriente alterna. México: Mc Graw Hill. 1967.

[Paul *et. al.* 1991]

C.R. Paul, S.A Nasar y L.E Unnewehr. Introducción a la ingeniería eléctrica vol. III “Máquinas Eléctricas”. México: Mc Graw Hill. 1991.

[Matsch 1974]

Leander W. Matsch. Máquinas Electromecánicas y Electromagnéticas. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.. 1974.

[Ramírez *et. al.* 1986]

C. Ramírez, G. Ampudia, J.M. Ortega, J. Pisonero. Talleres Electromecánicos Bobinados, Enciclopedia CEAC de Electricidad. Barcelona: CEAC. 1986.

[Wildi 2006]

T. Wildi. Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia. México: Pearson Educación. 2006

[Lawrie 1990]

Robert J. Lawrie. Biblioteca Práctica de Motores Eléctricos Tomo 1 y 2. Barcelona: OCEANO/CENTRUM. 1990

[Camarena 1977]

P. Camarena. Manual Práctico de Bobinado. México: Compañía Editorial Continental. 1977.

[Kerchner y Corcoran 1974]

Russell M. Kerchner Y George F. Corcoran. Circuitos de Corriente Alterna. México: Compañía Editorial Continental. 1974.

[Halliday Resnick 1977]

David Halliday y Robert Resnick. Física, Parte I y II. México: Compañía Editorial Continental, S.A. 1977.

[Tippens 2001]

Paul E. Tippens. Física, Conceptos y Aplicaciones. México: McGRAW-HILL 2001.

[Harper 1999]

Enríquez Harper. Transformadores. México: Limusa Noriega Editores 1999.

[Harper 2002]

Enríquez Harper. Reparación de motores. México: Limusa Noriega Editores 2002.

[Roland H. y Markus 2000]

Roland H. y John Markus. Ingeniería eléctrica y electrónica Tomo 1 y 2. Barcelona: Marcombo, S.A. 2000.