



Universidad Nacional Autónoma de México

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Facultad de Ingeniería

“Desarrollo de prácticas para el embobinado de
un motor de inducción”

T E S I S

Para obtener el título de:

Ingeniero Eléctrico Electrónico

PRESENTA:

Iván Sánchez Leonel

Asesor de tesis:

Ing. J. Jorge Téllez Lendeck

Ciudad Universitaria, Mayo 2016





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

Hago esta dedicatoria y me siento honrado para agradecer a todos los que han intervenido en mi vida y con lo cual he llegado a este punto. Me parecería imposible decir que fue por mis propios méritos y es por eso que pienso que este logro no solo pertenece a mí. *“De mi universo y para él”*.

A mi Madre que es la principal persona que intercedió en mis estudios. Gracias a tu apoyo polimorfo y a través de tus enseñanzas fue como logre realizar esta tesis. Bajo tu cimiento concibo el mundo.

A mi hermano y hermana. Deseándoles lo mejor y que tengan mucho éxito a mis mejores acompañantes. Con mi más grande Amor fraternal para ustedes.

A mi abuelo Francisco Leonel. Esta es tu sangre, esta es tu pasión impregnada en estas generaciones y que seguirá trascendiendo con la misma inercia. Ya me has hablado de tus superaciones, hoy me parece inevitable ver esa tendencia en nosotros, en esta tesis.

A mis Primos, a cada uno de ustedes les deseo éxito en cualquiera de las cosas que hagan. Para los que van por el mismo camino que completen sus estudios con éxito.

A los Sinodales Ing. F. Javier Uribe Ahumada, Ing. Hugo A. Grajales Roman, Ing Alex G. Ramirez Rivero y J. Armando Pluma Rosales por sus excelentes observaciones y apoyo en la realización de esta tesis.

A Mis amigos y compañeros, gracias a su amena compañía. Es un gusto pensar que pertenezco a ustedes y por tanto este logro a sus esperanzas y apoyo.

A mi Padre, pues uno de tus más grandes deseos por nosotros fue el estudio y siempre nos apoyaste dándonos lo que necesitábamos junto a enseñanzas. Procede de ti la fuerza en este logro.

A mi abuela Catalina, tu que sabias que esto pasaría tarde o temprano aquella última vez que nos vimos. Ahora te has ido, pero tu se sigue aquí transformandose en realidad, descansa en paz.

Al Ing. J. Jorge Téllez Lendeck por ofrecerme la oportunidad de hacer esta tesis, creer en mí y apoyarme durante su realización. Con especial agradecimiento por su comprensión por mí ante las adversidades, considero que usted es una excelente persona y profesionalista, GRACIAS.

A Dios, por la vida que tengo, por todo el bienestar, por el mundo y la prosperidad.

A las personas que estuieron cercas durante el tiempo que estuve realizando esta tesis y me apoyaron, con especial agradecimiento al Psicoterapeuta Alex Jacques por brindarme su apoyo y sabiduría de buena fe y a Diana Yayis por los buenos momentos y apoyo.

A la UNAM, a la facultad de ingeniería y a todos mis profesores por darme la oportunidad de ser alguien mejor y por todo lo que brindaron durante mis años de estudio.

Índice

I.	Introducción.....	4
II.	Motores eléctricos.....	7
III.	Tipos de embobinados de motores eléctricos y cómo influyen estos en las características del motor	14
IV.	Embobinado de un motor educacional de CA de inducción jaula de ardilla marca Westinghouse para el estudio de devanados.....	33
V.	Alambrado y pruebas.....	63
VI.	Prácticas.....	83
VII.	Conclusiones.....	86
	Bibliografía.....	87

I. Introducción

Motivación:

Actualmente las máquinas eléctricas rotativas o motores eléctricos son de gran importancia en el sector industrial; el conocimiento de éstas es vital para los ingenieros eléctricos ya que ellos suelen ser los facultados para utilizar dichas máquinas; hacerlas operar, dar solución mediante su aplicación a diversos problemas, hacer que funcionen eficientemente, así como diseñarlas y darles mantenimiento.

La Facultad de ingeniería como una institución de la UNAM tiene entre sus misiones, el deber de “aportar a la sociedad ingenieros competitivos” y “con capacidad para actualizar continuamente sus conocimientos” (UNAM, 1999). Por ello debe de capacitar a sus estudiantes y proporcionarles los conocimientos necesarios para su desarrollo profesional. En particular los conocimientos de máquinas eléctricas rotativas son saberes trascendentales para el desempeño de los ingenieros eléctricos, por lo tanto maximizar y mejorar los conocimientos que se pueden adquirir en las asignaturas del currículum de esta ingeniería e impartidas por la institución resulta ser de gran importancia.

Una de las debilidades de los recién egresados de la facultad es que al insertarse al campo laboral conocen el funcionamiento de un motor, pero no lo suficiente sobre cómo utilizarlo en una determinada aplicación, cómo está conformado, ni las características de diseño. Por ejemplo, difícilmente conocen lo referente a los tipos de embobinados que existen y cómo influyen estos en las características del motor; ésta falta de conocimiento puede ser una verdadera desventaja en el campo laboral. Esta tesis está planteada para coadyuvar a subsanar esta deficiencia en los alumnos, así que, se verán beneficiados el tesista que participa en ella, los alumnos que la empleen como fuentes de consulta y los docentes con las prácticas derivadas de ésta. Ya que este documento puede ser una herramienta para que los alumnos lleven a cabo prácticas relacionadas con los motores de inducción jaula de ardilla y los embobinados.

Formulación del problema:

En esta tesis se pretende que el tesista conozca los diversos tipos de embobinados para motores eléctricos que existen, como el bobinado ondulado, imbricado entre otros; que los implemente o alambre en un motor especial de embobinado ajustable (motor educacional para el estudio de los embobinados en los motores de inducción jaula de ardilla, trifásicos y monofásicos, y sus conexiones, marca Westinghouse), al probar los diversos embobinados y desarrollar algunas pruebas que posteriormente pueden ser empleados en clase con los alumnos en proceso de aprendizaje de la facultad de ingeniería .

Con relación al alcance de este proyecto es conveniente resaltar la necesidad de superar deficiencias relacionadas con el desempeño de los ingenieros eléctricos, que los posibiliten a ser mejores profesionistas y a desarrollar en los alumnos habilidades para que cuenten con conocimiento más amplio sobre el motor, su funcionamiento, construcción y diferentes tipos de embobinados. Este proyecto servirá para este fin y así mismo, como apoyo a las clases que se imparten.

Si bien la tesis se relaciona directamente con el modelado del motor y su caracterización, su análisis no es profundo ya que de cada embobinado se pueden obtener diferentes parámetros. Sin embargo si se obtendrán algunos valores como velocidad, voltaje y corriente en ejemplos desarrollados, con base a ello el análisis será breve.

Objetivo de la tesis:

Desarrollar algunas pruebas de laboratorio referentes al estudio del embobinado de un motor de inducción que permitan implementar prácticas de laboratorio a criterio de cada profesor con base a las pruebas aquí planteadas.

Metodología:

La metodología implementada en esta tesis fue planteada con el fin de realizar experimentos funcionales con el "Motor Educacional" y de esta manera proponer una serie de experimentos para realizarse en prácticas de laboratorio, las cuales pueden ser utilizadas para realizar en las materias relacionadas con esta temática.

La metodología consistió en primera instancia en adquirir los conocimientos necesarios para hacer funcionar el motor y a su vez estudiar las características del Motor Educacional para explotar estas cualidades. Posteriormente, en realizar experimentos de forma sistemática, se seleccionó estratégicamente entre los posibles experimentos y por último se eligió entre los experimentos funcionales aquellos que son los más pertinentes, adecuados y viables.

A continuación se muestra con detalle el proceso que se realizó en esta la tesis:

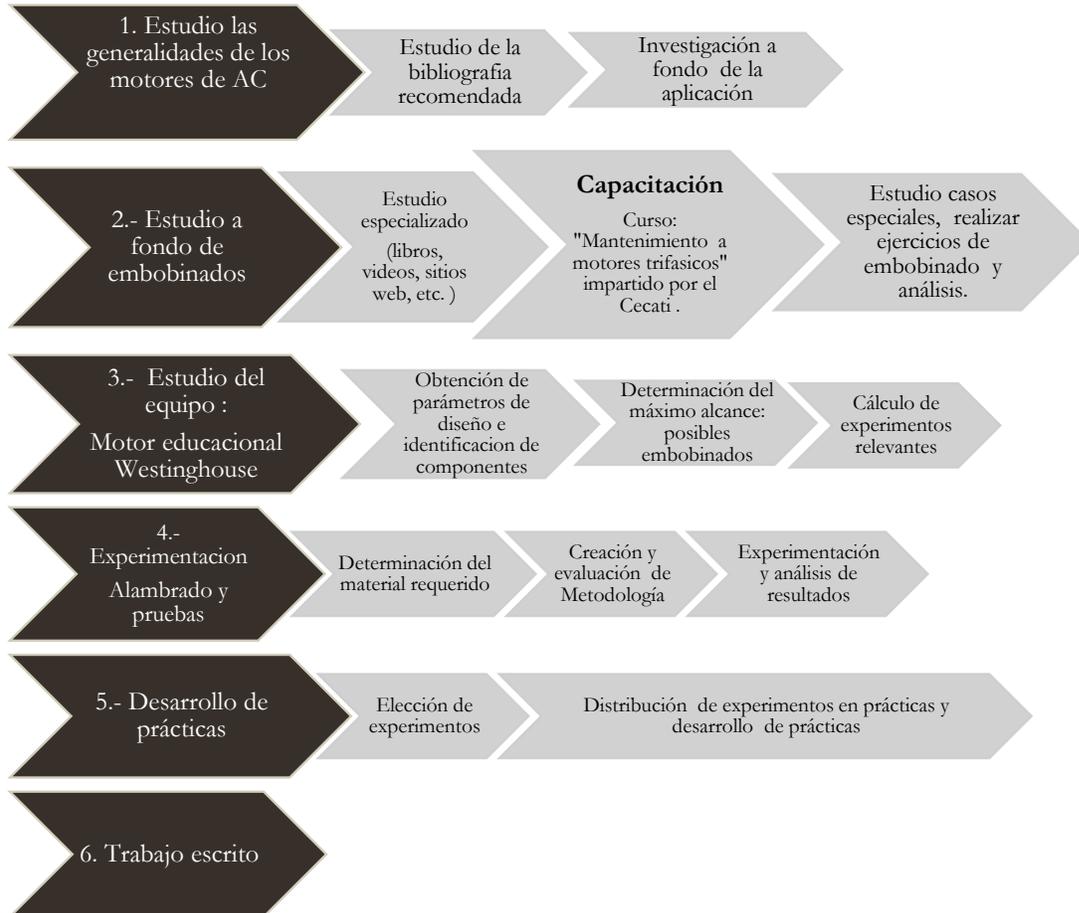


Figura 1. Proceso en tesis

II. Motores eléctricos

Definición: “Un motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de campos magnéticos generados por bobinas. Son máquinas Rotatorias compuestas por un estator y un rotor.” (Jorge Alvarado , 2014)

Las partes que componen un motor de inducción se muestra en la siguiente imagen:

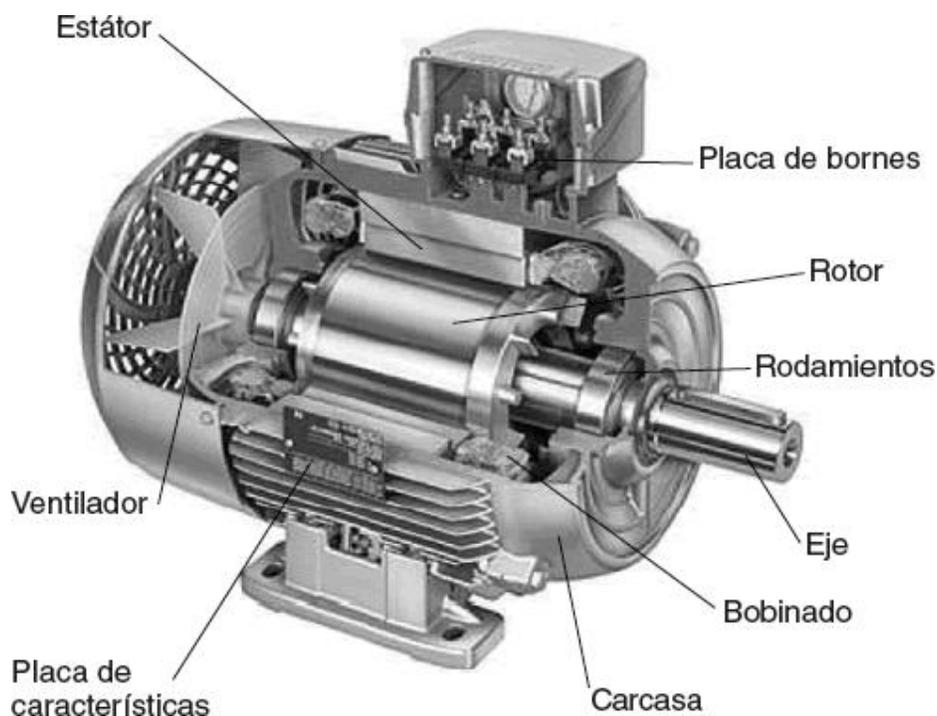


Figura 2: Partes del Motor (Home, 2014)

Tipos de motores

Los motores eléctricos se pueden separar en dos principales categorías; motores de corriente alterna (CA) y motores de corriente directa (DC), que a su vez existen diferentes tipos que se mencionan a continuación en el siguiente esquema.

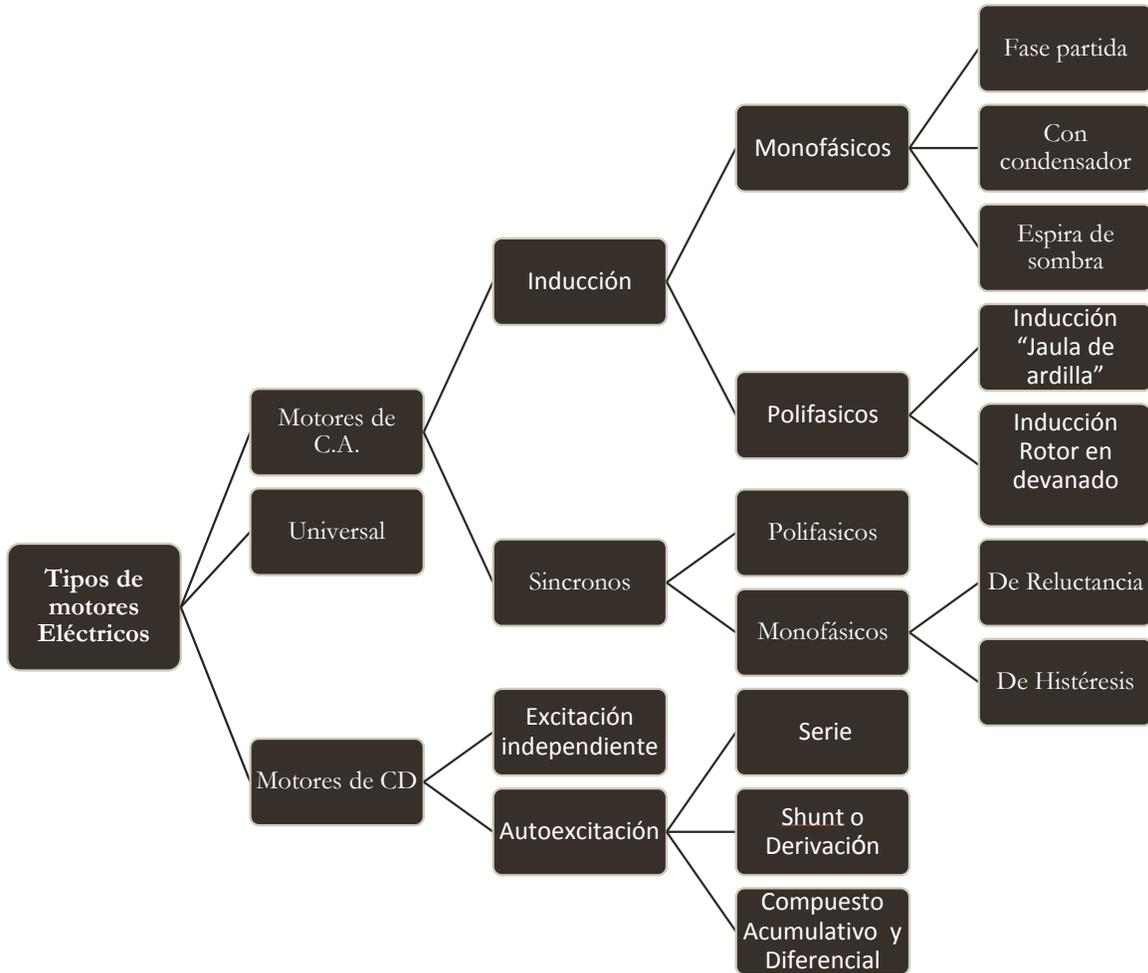


Figura 3. Tipos de motores por clasificación

Esta tesis se centra en los motores de corriente alterna de Inducción dado que el motor que se utilizara es de Inducción tipo Jaula de ardilla con capacidad de ser tanto monofásica como polifásica.

Principio de funcionamiento de los motores de CA.

El motor está compuesto por dos partes fundamentales que se denominan estator y rotor. Ambas partes llevan un devanado que al ser excitados con energía eléctrica crean dos campos magnéticos, los cuales al acoplarse desarrollan un par de fuerzas que dan origen a la rotación y se crea así un movimiento en el rotor. Esto puede entenderse aplicando la ley fundamental del magnetismo, en la que se menciona que aplicando polos iguales se repelen y polos desiguales se atraen.

Si el rotor consiste en una simple barra magnética (imán) montada sobre la flecha, es evidente que el polo norte de la barra es atraído por el polo sur del estator y por supuesto

el polo sur de la barra por el polo norte del estator. En los motores de AC el campo magnético generado en el estator es giratorio de tal manera que el rotor intenta seguir su movimiento.

Creación de un campo magnético giratorio

Como se mencionó en motores de AC tenemos un campo magnético giratorio generado por las bobinas del estator, esto es posible con dos o más señales Senoidales (AC) desfasadas y acomodando las bobinas que crean el campo magnético giratorio.

Lo primero que se debe considerar para el análisis es que si nosotros conectamos una bobina con una fuente de AC obtendremos como resultado un campo magnético alterno, de tal manera que tendremos de un lado de la bobina campo magnético Positivo (Norte) y del otro Negativo (Sur) durante medio ciclo de señal senoidal y después se invertirán los Polos.

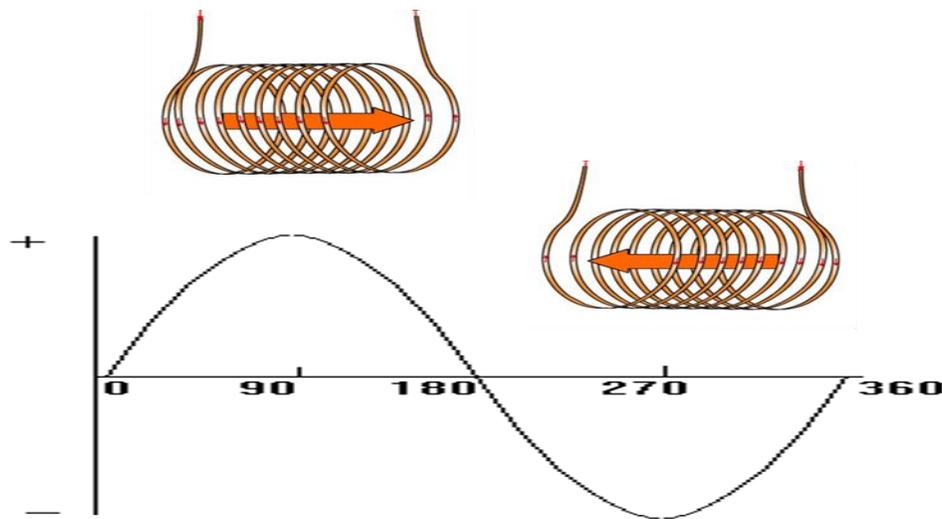


Figura 4. Señal AC en la creación de Campo de magnético Variable sobre una bobina.

A continuación se muestra en la imagen lo que ocurre cuando colocamos en el estator las bobinas "1A" y "2A", así como sus respectivas contrapartes "1B" y "2B" conectadas al revés que son alimentadas con la señal de AC Fase 1 y Fase 2.

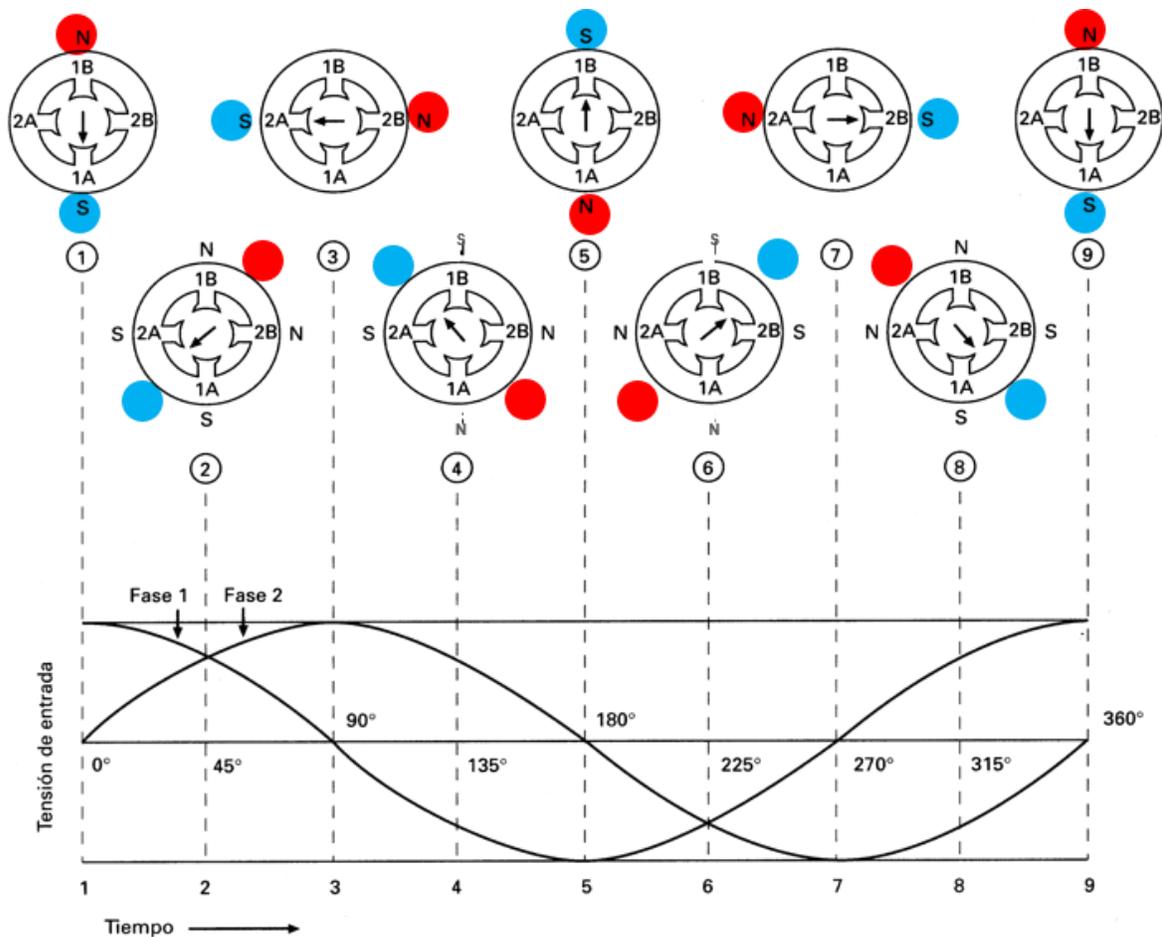


Figura 5. Señal AC en la creación de Campo de magnético giratorio como principio de funcionamiento de motores de AC.

Notamos que se van cambiando en cada instante las posiciones de Norte y Sur de modo que giran sobre el Estator (colores Azul y Rojo). Si consideramos que el rotor tenga una polaridad fija (Norte la punta de la flecha en la imagen), se vería atraído por los polos generados en el estator en cada momento, de tal forma que trataría de seguirlo en cada momento por atracción.

Funcionamiento motor monofásico

El principio de funcionamiento de un motor monofásico es idéntico al de dos fases que se acaba de mostrar anteriormente, con la diferencia que en un motor monofásico se utilizan distintas técnicas para conseguir las 2 fases que crearían el campo magnético giratorio. Estas técnicas dependen del tipo de motor monofásico que puede ser por fase partida, Espira de sombra o con condensador.

Motor trifásico

Para un motor Trifásico que es un motor polifásico, se necesitan 3 fases con desfase de 120 grados y un acomodo de las bobinas del estator distinto, las cuales están conectadas de fase a neutro o fase a fase. A continuación se muestra la imagen donde se muestra el principio de funcionamiento en el tiempo, donde las bobinas A, B y C representan las bobinas conectadas de fase y neutro de forma correspondiente y -A, -B y -C conectadas en forma inversa (neutro a fase).

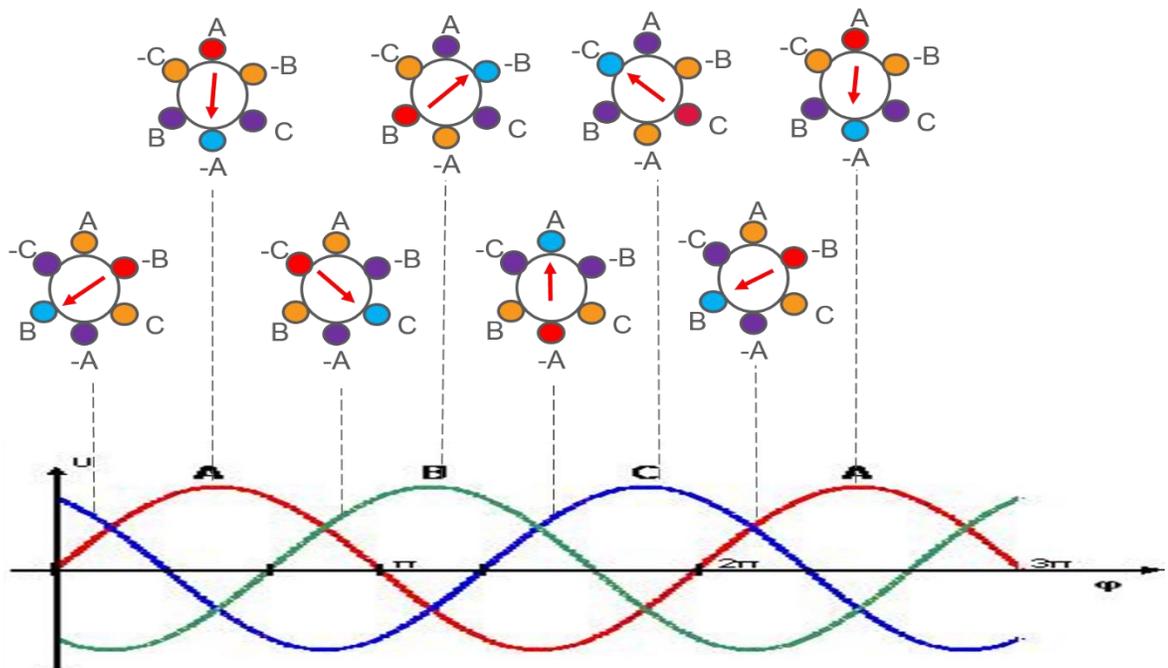


Figura 6. Creación de Campo de magnético giratorio de motores trifásicos de AC.

Motor de Inducción

Los motores de inducción o asíncronos, son los más utilizados debido a su robustez, sencillez constructiva y poco mantenimiento.

La utilización de los mismos, es apta para aquellos requerimientos en los cuales no se deba mantener una velocidad constante, ya que este tipo de motores, disminuye ligeramente su velocidad con el aumento de la carga en su eje.

El estator de un motor trifásico de inducción está formado por un conjunto de tres bobinas, las cuales son alimentadas por un sistema trifásico de corrientes, lo cual da origen a un campo magnético giratorio de modulo constante, según se ha estudiado anteriormente. Este campo magnético gira a la velocidad que llamamos de sincronismo.

Coloquemos dentro del estator una espira, montada sobre un eje, cuyo único movimiento permitido es el de rotación tal como se muestra en la **figura 7**. En esta situación, en la cual tenemos un campo magnético de modulo fijo girando alrededor de la espira mencionada, esta concatenara un flujo magnético que varía con el tiempo, lo cual dará origen a una fuerza electromotriz inducida (Ley Faraday).

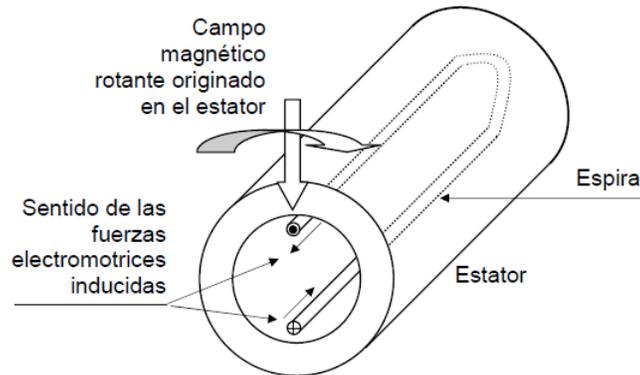


Figura 7: Fuerza electromotriz inducida en una espira

Si ahora cerramos la espira por ejemplo cortocircuitándola, circulara una corriente en el mismo sentido de la fuerza electromotriz inducida, cuyo valor dependerá de dicha fem y de la impedancia que presente dicha espira.

En esta situación nos encontramos, con un conductor por el cual circula corriente y se encuentra en presencia de un campo magnético, lo cual da origen a fuerzas en los conductores

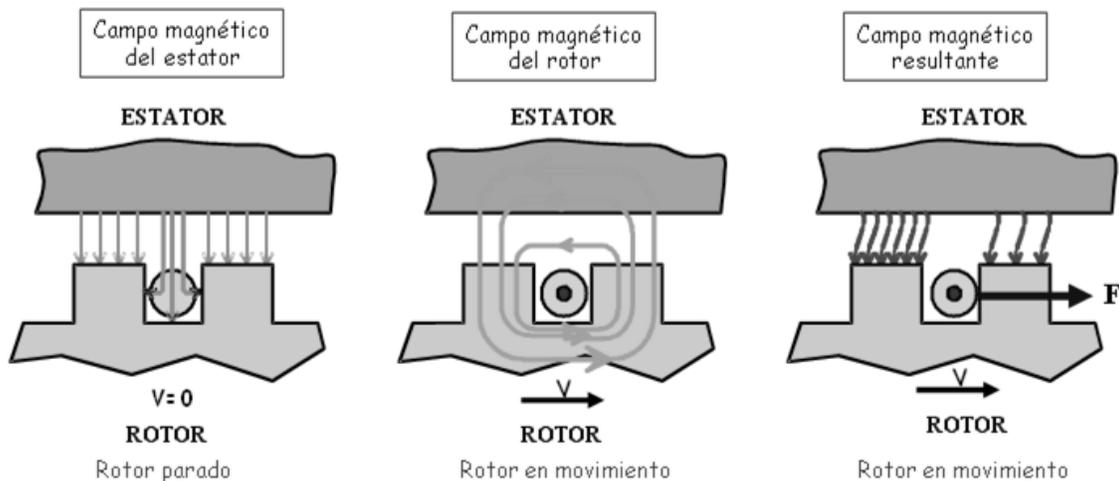


Figura 8: Sentido de las fuerzas sobre los conductores

Dado que las fuerzas se originan, únicamente, a lo largo de los conductores paralelos al eje (Corriente perpendicular al flujo magnético), y estando estos separados, se produce

un par que hace mover la espira, y estando está montada sobre un eje, comienza a girar, siguiendo el movimiento del campo magnético rotante.

La espira aumenta su velocidad hasta llegar a una velocidad levemente inferior a la del campo magnético, ya que de alcanzar la misma, la espira no cortaría líneas de campo magnético, con lo cual no habría flujo concatenado variable lo cual llevaría a la desaparición de las fuerzas mencionadas, tendiendo la espira a disminuir su velocidad, con lo que volvería a aparecer el par.

La velocidad a la que gira es levemente inferior a la del campo magnético rotante, y la misma está determinada por el equilibrio entre el par analizado y los pares antagónicos o resistentes (debidas a la carga mecánica en el eje y los rozamientos propios).

Velocidad y números de polos

Tratándose de un motor de inducción jaula de ardilla. Al aplicar al estator un conjunto trifásico de voltajes, un conjunto trifásico de corrientes estatóricas producen un campo magnético que rota en dirección contraria a las manecillas del reloj. La velocidad de rotación del campo magnético está dada por:

$$N_{sinc} = 120 f / P$$

Donde “f” es la frecuencia del sistema, en Hertz, y “P” es el número de polos de la máquina.

Funcionamiento de un motor con polos consecuentes

Basado en el principio de que no puede haber un polo norte sin un polo sur, ni sur sin su norte, al hacer formar una bobina con polaridad norte aparece otra sur o viceversa, pero es necesario que exista el espacio de hierro vacío para que aparezca el polo contrario, este es el principio de los bobinados por polos consecuentes poniendo bobinas de una sola polaridad (en un solo sentido de bobinado) tenemos las dos polaridades, una en la bobina y otra en un espacio donde pudiera haber otra bobina contraria.

III. Tipo de embobinados de motores eléctricos y cómo influyen estos en las características del motor

En este capítulo se estudiarán y analizarán los tipos de embobinados, el cómo se realizan y se diseñan, con la finalidad de aplicar estos conceptos directamente con el motor. Desde este punto de vista, no se incluirán las cuestiones relacionadas con el rebobinado o construcción de motores tales como: las técnicas de rebobinado, cálculos de calibre de conductores, estudio de materiales, etc., ya que como tal no requerimos esta información, puesto que nosotros no buscamos la reparación o construcción de motor, sino sólo manipular las interconexiones de los devanados del mismo motor para cambiar sus características.

a. Conceptos básicos

Los embobinados de un motor son la parte sustancial de la máquina, ya que son los encargados de crear la rotación y hacer el cambio de energía de eléctrica y magnética para producir un par mecánico. En el caso de la máquina de inducción el objetivo de los embobinados que están en el estator es crear un campo magnético giratorio. Basado en el objetivo de esta tesis el estudio de estos a fondo es de gran importancia.

Existen diversas características de los embobinados de un motor, como tal las propiedades surgen por la forma de las bobinas y la manera de acomodarlas a lo largo del estator sobre las ranuras. A continuación la descripción de estas propiedades.

Bobinas y Grupos de bobinas:

“Se denomina bobina o madeja a un conjunto de hilos o espiras arrolladas unas junto a otras, consignando su principio y su final. Como se muestra en la siguiente imagen.” (Pablo, 1974)

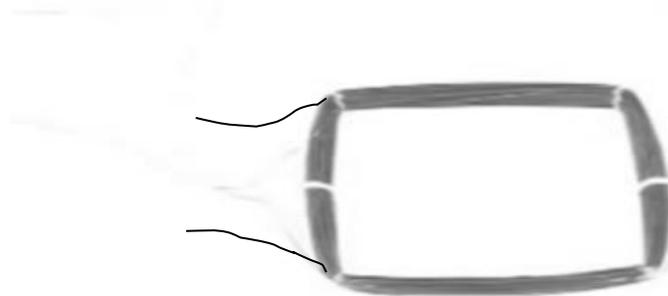


Figura 9: Bobina, terminales de su principio y final

También interconectar bobinas, donde el final de cada bobina se une con el inicio la siguiente bobina, formando así un grupo de bobinas o sección, este tiene un principio y un final como si se tratara de una sola bobina. Cuando hacemos esto en un diseño decimos que tenemos **embobinado diseminado**, mientras que si hacemos un

embobinado sin hacer grupos de bobinas (grupo de bobinas de una sola bobina) le llamamos a este diseño **embobinado concentrado**.

“Estas bobinas se pueden conectar a otras iguales, obteniéndose entonces una sección de **madeiras excéntricas**; si las madejas son desiguales se obtiene una sección de **madeiras concéntricas**” (Pablo, 1974).

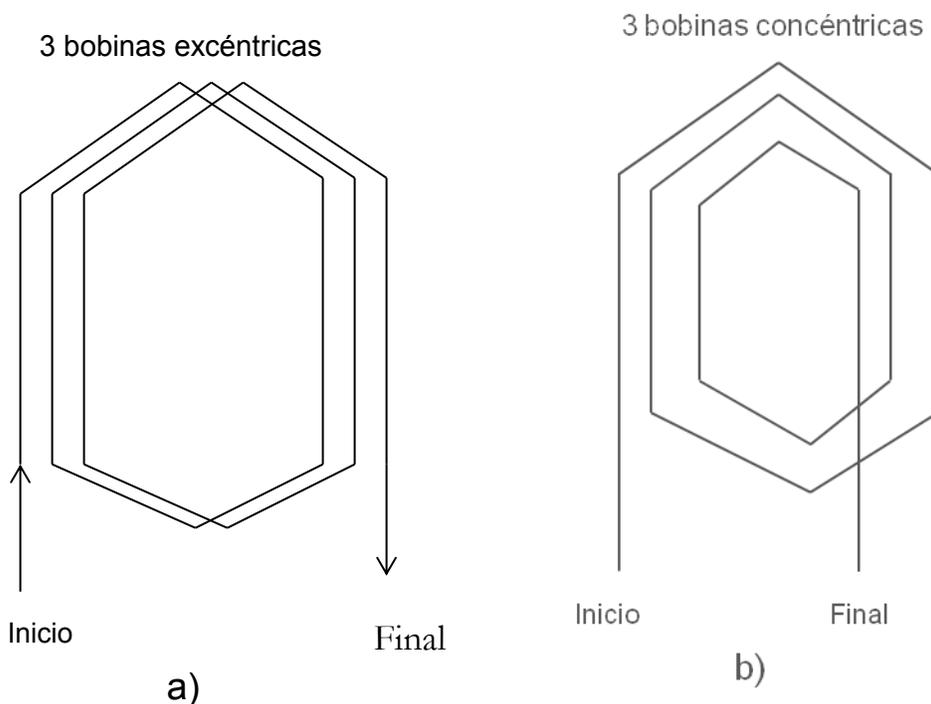


Figura 10: Tipos de secciones o grupos de bobinas. a) madejas excéntricas. b) madejas concéntricas.

Secciones superpuestas y secciones separadas.

Existen dos categorías diferentes para acomodar las secciones de un embobinado sobre el estator. De tal manera que cambia el proceso de embobinar, las características de las secciones con respecto al tamaño. A continuación la descripción de cada caso.

“**Secciones superpuestas** de bobinas concéntricas. Como ya se dijo, estas secciones están formadas por bobinas desiguales; en su interior queda un cierto número de ranuras libre y sin ocupar por la sección, llamándose a este conjunto de ranuras **amplitud**. Estas secciones quedan invadidas por secciones de las otras fases.

Secciones superpuestas de bobinas excéntricas. Están formadas de bobinas iguales y en su interior queda cierto número de ranuras libres sin ocupar por la sección.” (Pablo, 1974)

Estos casos se ilustran a continuación:

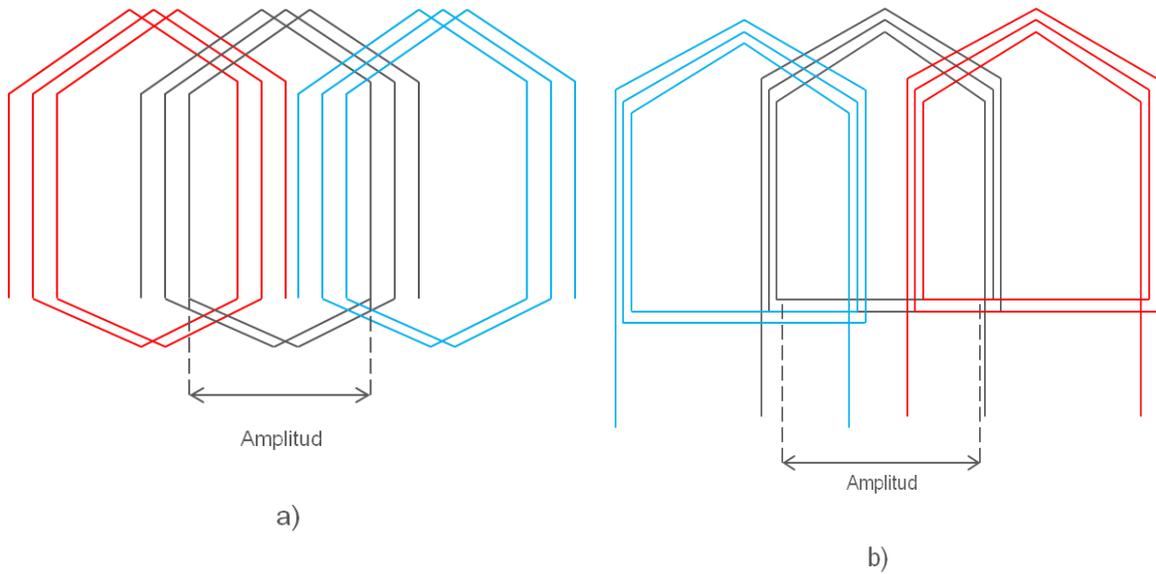


Figura 11: Secciones superpuestas. a) bobinas excéntricas. b) Bobinas concéntricas

Por otro lado **Secciones separadas** se refiere aquellas que no tienen amplitud, por lo tanto quedan separadas las secciones del embobinado, a diferencia de **Secciones superpuestas** en el que en las ranuras de la amplitud están invadidas por secciones de otra fase. El conjunto de secciones quedaría de la siguiente manera:

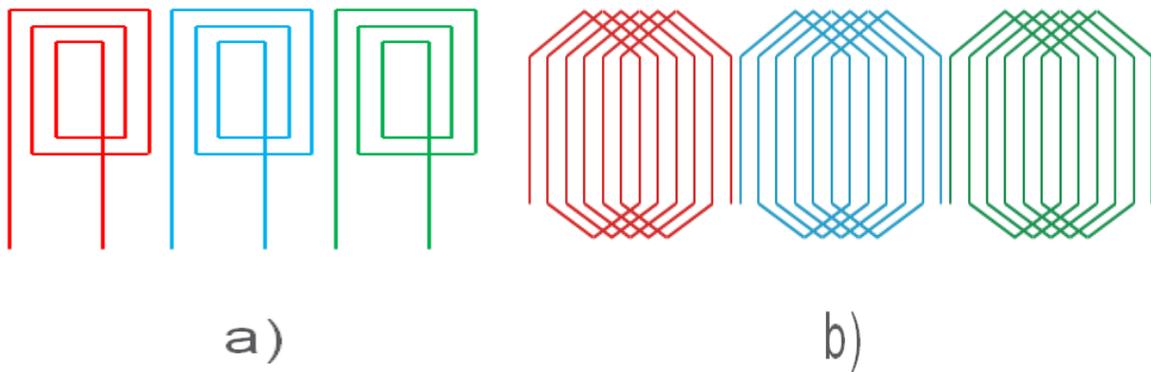


Figura 12: Conjunto de Secciones separadas. a) bobinas concéntricas. b) bobinas excéntricas

Capas:

Es posible colocar sobre cada ranura más de un lado activo de bobina, para ello se requiere como primera implicación que la forma y tamaño de las ranuras lo permita. En la práctica existen dos categorías: los embobinados a una capa y a dos capas.

“El de una capa también llamado “canasta”, cada ranura es llenada por un lado activo de una bobina “ (fons).se ilustra de la siguiente manera:

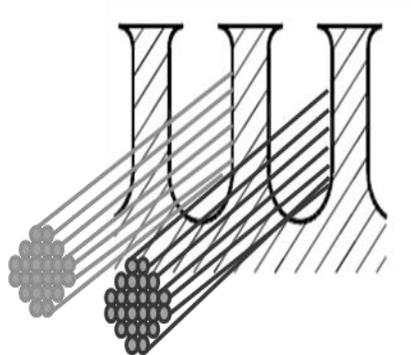


Figura 13: Bobinado a una capa, ilustración de bobina sobre la ranura

El de dos capas conocido también por “media ranura”, es aquel en donde cada ranura contiene dos lados activos de bobinas distintas, donde generalmente encontramos en cada ranura el inicio de una bobina y el final de otra, quedando de la siguiente manera:

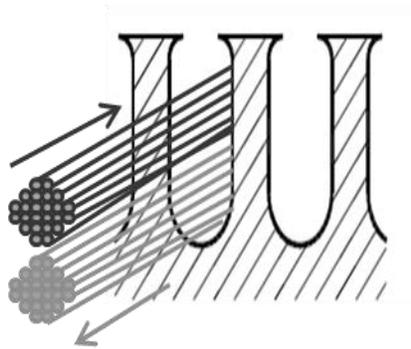


Figura 14: Bobinado a dos capas, ilustración de bobina sobre la ranura

Embobinado de motores de Polos consecuentes y polos alternados

El conjunto de bobinas que unen los lados activos de una misma fase, situados enfrente a polos consecutivos recibe el nombre de grupo. Según el número de grupos que conforman cada fase de los bobinados de CA se clasifican en:

Bobinados por polos: Son aquellos bobinados en los que en cada fase hay tantos grupos como número de polos, por lo tanto:

$$G_f = 2p$$

$$G = 2pq$$

Las fem generadas son alternativamente de sentido contrario, de manera que si en un grupo el sentido es horario, en el siguiente será anti horario.

Bobinados por polos consecuentes: Un bobinado se dice ejecutado por polos consecuentes cuando el número de grupos que lo componen es igual al número de pares de polos. Por tanto tendremos:

$$G_f = p$$

$$G = pq$$

“La característica constructiva de estos bobinados es que todos los lados activos de una misma fase colocados bajo un mismo polo, son unidos a los lados activos de esa misma fase situados frente a un sólo polo vecino al primero, sea el anterior o el posterior. Esto da lugar a que todos los lados activos de los grupos de una misma fase, generen fems, con el mismo sentido instantáneo, bien sea horario o anti horario. De acuerdo con lo anteriormente expuesto, existen dos reglas para la correcta conexión de los grupos de una fase.

En los bobinados por polos se unirá el final del primer grupo con el final del segundo grupo, el principio de este con el principio del tercero, el final del tercero con el final del cuarto, etc. Se une final con final y principio con principio.” (Juan José Hollos García, 2008)

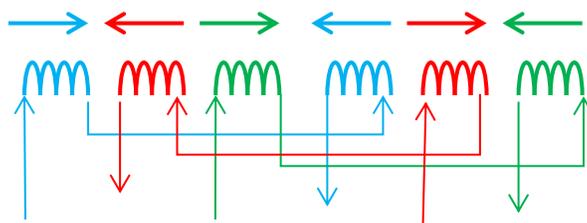


Figura 15: Unión de secciones para bobinados por polos, caso de un bobinado trifásico de 2 polos. Las flechas indican las direcciones de corrientes de línea. La primera sección se une con la siguiente de la misma fase, final con final

“En los bobinados por polos consecuentes se unirá el final del primer grupo con el principio del segundo; el final de este con el principio del tercero, el final del tercero con el principio del cuarto, etc. Es decir, se une final con principio”. (Juan José Hollos García, 2008)

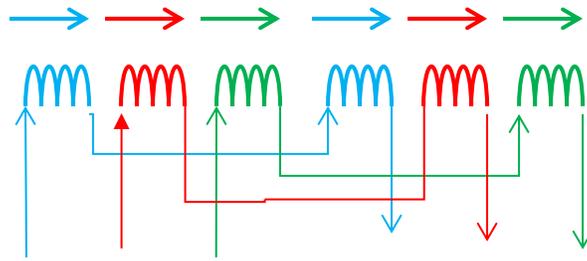


Figura 16: Unión de secciones para bobinados por polos consecuentes, caso de un bobinado trifásico de 4 polos. Las flechas indican las direcciones de corrientes de línea. La primera sección se une con la siguiente de la misma fase, inicio con inicio

Desplazamiento entre fases

Indica el principio de cada fase, esto quiere decir que entre la entrada de la fase 1 (borne U) y la entrada de la fase 2 (borne V) existirá un desplazamiento ' α ' de ranuras. Si U entra por 1; avanzamos ' α ' ranuras, encontraremos la entrada V por la ranura $(1+\alpha)$ y de forma análoga W entrará por la ranura $(1+\alpha+\alpha)$.

Para un sistema trifásico:

“El desplazamiento entre fases, que debe ser lo más próximo posible a 120° eléctricos ($2/3$ del paso polar), será:

$$\alpha = \frac{2}{3} \frac{N}{2 * p} = \frac{N}{3p}$$

Si por cualquier razón no fuera posible hacer este devanado, podrían tomarse $4/3$ del paso polar correspondientes a 240° eléctricos. Pero también pueden tomarse $8/3$ del paso polar como desplazamiento entre fases, lo que equivale a $8/3$ de 180° eléctricos, es decir 480° que es lo mismo que $360^\circ+120^\circ$, lo que significa un desplazamiento de 120° en teoría. Podría realizarse de forma parecida para más casos, En forma general tenemos que:

$$\alpha = \frac{2n}{3} \frac{N}{2 * p} = \frac{nN}{3p}$$

Donde ' n ' es un número natural (1, 2, 3,4...) y ' N ' Numero de ranuras (Pablo, 1974)

Para un bobinado bifásico o monofásico

El desplazamiento entre fases, que debe ser lo más próximo posible a 90° eléctricos ($1/2$ del paso polar), será:

$$\alpha = \frac{n}{2} \frac{N}{2 * p} = \frac{nN}{4p}$$

Donde ' n ' es un número natural (1, 2, 3,4...).

Hay que mencionar que podemos encontrar y proponer un punto de inicio de la fase (terminal por la que entra la fase), siempre y cuando sigamos el orden adecuado, para ello nos basamos en la teoría básica del motor de inducción y el orden de fases que se necesita para la creación de campo magnético giratorio. También se puede hacer uso de tablas para determinar el principio, como se explica a continuación:

“En un devanado trifásico, pueden ser tomados como principio de una fase determinada todas las ranuras separadas un ángulo correspondiente a un ciclo completo. En una máquina multipolar, existen varias ranuras en tales condiciones. Para determinarlas, se prepara un cuadro con tres columnas una para cada fase, y con tantas líneas como pares de polos tenga la máquina. Conociendo el paso de principios de fase (Y120), comenzaremos colocando un 1 en el cuadro superior izquierdo, para posteriormente en sentido de la escritura, ir situando los números que se obtienen al ir añadiendo sucesivamente el paso de principios. Así obtendremos en cada columna los números de las ranuras que pueden ser los principios de fase, eligiendo de entre ellos los más interesantes, con la precaución de que cada uno de ellos pertenezca a una columna distinta. Si el bobinado es estático conviene elegir la construcción que exija cables de salida a la placa de bornes lo más cortos posibles. Si el bobinado es rotórico conviene elegir la construcción de principios equidistantes geoméricamente con el fin de equilibrar lo dinámicamente” (Juan José Hollos García, 2008).

U	V	W	→K/3P
1			↓ K/P

Figura 17:

Construcción de la tabla de principios

Sobre el esquema podemos comprobar si la conexión entre las bobinas de distintas fases es o no correcta. También verificar que se forma el número de polos correctos de la máquina al hacer circular imaginariamente las corrientes por los devanados, teniendo en cuenta el sentido de recorrido de acuerdo con la polaridad de cada fase en un instante elegido.

Paso polar:

Es el número de ranuras que corresponden a cada polo. La fórmula es:

$$P.P = \frac{\text{numero de ranuras}}{2 * \text{pares de polos}} = \frac{N}{2p}$$

Otra de sus interpretaciones es la distancia que hay de un polo al siguiente. Dado que la fórmula anterior nos da esta distancia en ranuras por polo. Entonces tenemos que avanzar ese número de ranuras para encontrar el polo siguiente de esa fase.

Paso de ranura o de bobina.

“Paso de ranura: Se representa por “Yk”, y es el número de ranuras que es preciso saltar para ir desde un lado activo de una bobina hasta el otro lado activo. Este paso tiene que ser forzosamente entero. A veces es designado como “ancho de bobina” (Bohn Emiliano, 2009).

Paso diametral, paso alargado, paso acortado.

El paso de ranura se llama diametral o paso completo cuando coincide con el paso polar es decir:

$$Y_k = PP$$

“Se llama paso acortado cuando $Y_k < PP$, bien porque PP no es entero o por razones constructivas o de funcionamiento. Paso alargado es cuando $Y_k > PP$.” (Juan José Hollos García, 2008)

“En el paso completo, en la corona de las bobinas se enciman más, lo cual es un inconveniente para el bobinador, pero tiene más potencia que el acortado, porque abarca más hierro del polo.” (fons)

Pasos de unión.

Los Pasos de unión son el número de ranuras que se tiene que avanzar para llegar al próximo lado activo de cada bobina de una fase, con la finalidad de construir las secciones, a continuación se explican:

- **Pasos posteriores (Yx):** Son los pasos o ranuras a avanzar para llegar a los finales de cada bobina.
- **Pasos anteriores (Yy):** Son los pasos o ranuras avanzar para llegar a los principios de cada bobina.
- **Numero de pasos de la sección (Y):** El número de pasos que se tienen que realizar antes de pasar a la siguiente sección.

Bobinados fraccionarios o secciones desiguales

Son aquellos bobinados en el cual el número de bobinas por cada sección (“r”) no es un número entero, de tal manera que es igual a un número entero más una fracción.

$$r = E + \frac{D}{d}$$

Donde:

- E: parte entera
- D: numerador de la fracción
- d: denominador de la fracción

A partir de estas obtenemos que:

- El número de bobinas de la sección pequeña viene dado por **E**
- El número de bobinas de la sección grande viene dado por **E+1**
- En cada grupo de repetición **GR** hay un número de secciones grandes **D**
- En cada grupo de repetición **GR** hay un número de secciones pequeñas **d-D**

Grupos de repetición: los grupos de bobinas o secciones que se repiten con simetría, se llaman grupos de repetición y viene dado por:

$$GR = \frac{2p}{d}$$

(David Suárez, 2011)

Diseño de bobinados

Existen diferentes formas de hacer los devanados de un motor de inducción con la finalidad de obtener un campo giratorio deseado, en general se pueden hacer diferentes arreglos de devanados y sus conexiones para obtener una velocidad síncrona o número de polos.

Ya que son diversas las maneras de embobinar, podemos comenzar con las combinaciones básicas posibles de diseño de bobinados, y a partir de estas se expondrán también otros posibles casos. Subsiguientemente se explicará a detalles de cada caso y cómo calcular parámetros de diseño.

Cabe mencionar que nos referimos a 'diseño del bobinado' al diseño de las secciones y lo que corresponde a la forma de colocarlas a lo largo del estator. Otro proceso es realizar las interconexiones entre secciones para conseguir diferentes potencias (delta, estrella, paralelos), esto se hace posterior al diseño del bobinado, del cual se pueden obtener resultados finales diferentes para cada bobinado.

Tipos de bobinados básicos

En estos diseños el paso de bobina es igual que el paso polar, de tal manera que tenemos un paso completo o diametral. Además las bobinas de cada sección van acomodadas una tras otra en forma sucesiva a través de las ranuras, sin saltarse ranuras. Por ejemplo, si el número de bobinas de una sección es 3, entonces en la ranura 1 estaría el principio de la primera bobina, el principio de la segunda bobina en la ranura 2 y en la 3er ranura el principio de la tercera. A continuación se muestra un cuadro sinóptico de todas las formas posibles de embobinar con bobinados básicos.

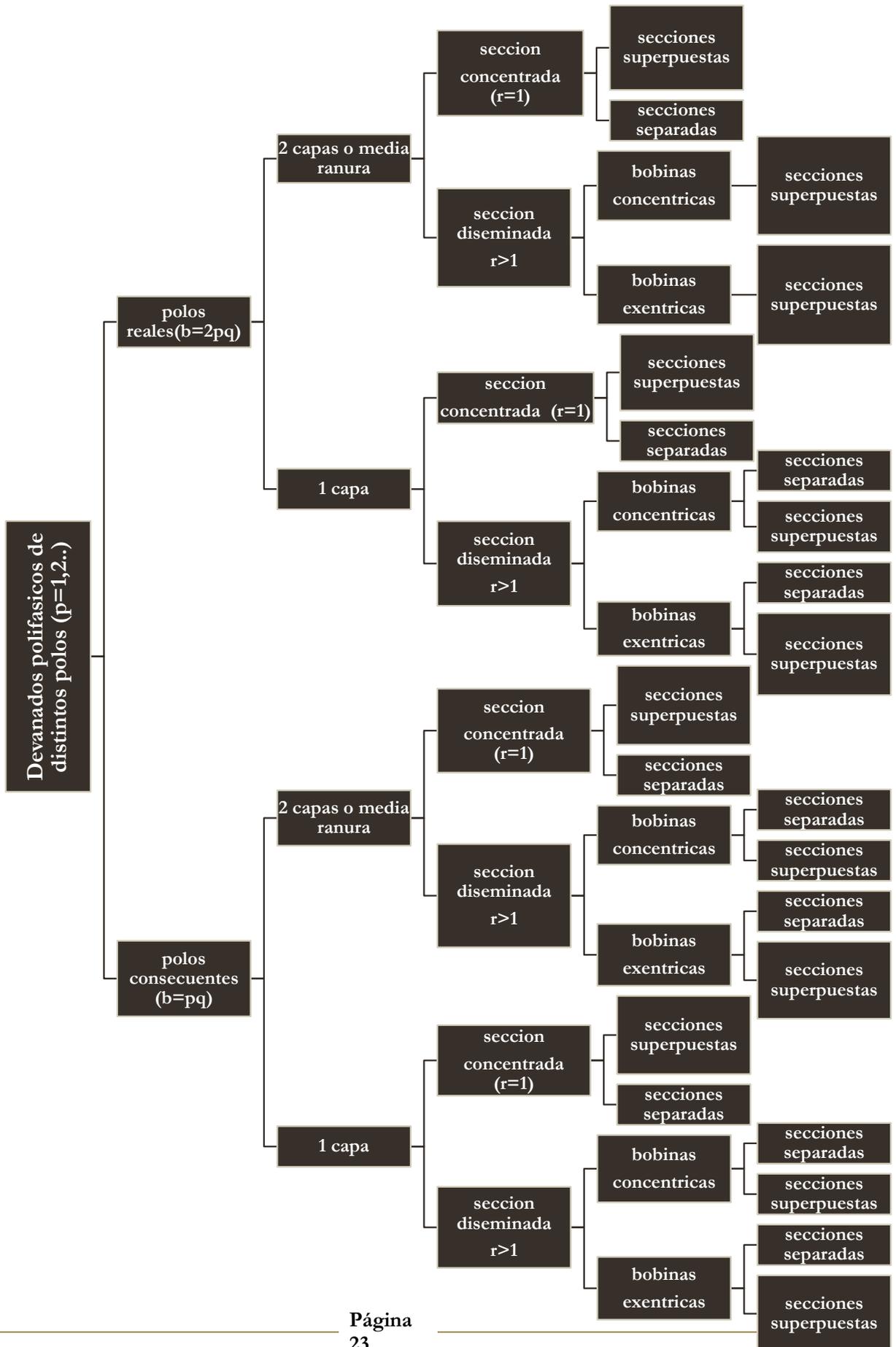


Figura 18: Cuadro sinóptico de los diferentes tipos de embobinados polifásicos para hacer motores de distintos polos, con embobinados básicos

Embobinados distribuidos

El cuadro antes mostrado corresponde a embobinados básicos, estos no incluyen los ondulados e imbricados.

“Los tipos básicos de arrollamientos distribuidos son dos: *imbricados* y *ondulados*, los que pueden tener variantes respecto a su forma básica. Los arrollamientos imbricados son los más utilizados, mientras que los ondulados suelen emplearse en máquinas de corriente alterna de gran porte o en algunos inducidos de máquinas de corriente continua.”
(Norberto A. Lemozy , 2010)

Embobinado imbricado

“Los bobinados imbricados están realizados con bobinas de igual tamaño y forma. En los bobinados imbricados, un grupo polar se obtiene conectando en serie varias bobinas de una misma fase, todas ellas correspondientes al mismo polo. Por esta razón, en estos bobinados hay que retroceder para conectar el final de una bobina con el principio de la siguiente.

Estos bobinados pueden ser de una o dos capas, de paso diametral, alargado o acortado y siempre se ejecutan por polos .Cuando un bobinado imbricado es de una sola capa el paso de bobina medido en número de ranuras, debe ser impar. Esto se debe a que en las ranuras se van colocando alternativamente el lado derecho de una bobina, el lado izquierdo de la otra bobina, el lado derecho y así sucesivamente. Por consiguiente, una bobina tendrá uno de sus lados en una ranura par y el otro en una ranura impar y el paso de bobina, es, pues, impar”. (Jorge Enrique Murillo Hurtado, 2010)

El bobinado imbricado de dos capas es otro tipo de bobinado de bobinas iguales, pero con la característica de estar superpuesto en cada ranura dos lados activos de bobinas distintas. En este tipo de bobinado no existe condición que forzosamente imponga un determinado valor al ancho de bobina o paso de ranura, pudiendo ser elegido tanto diametral como acortado, según convenga.

Arrollamientos ondulados

“En los arrollamientos ondulados dos bobinas sucesivas se encuentran distanciadas Aproximadamente un paso polar, es decir no se superponen” (Norberto A. Lemozy , 2010).

En los arrollamientos ondulados se cumple la siguiente relación entre los pasos:

$$Y = Y_x + Y_y$$
$$Y_x \approx Y_y \approx P.P$$

Por lo tanto:

$$Y \approx 2P.P$$

Esto significa que lo que llamamos nosotros paso anterior, con el cual unimos dos bobinas sucesivas es positivo. Además podemos modificarlo de tal manera que se cumpla la segunda condición.

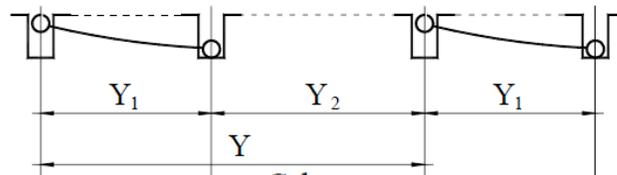


Figura 19: Distancias entre bobinas de una misma fase para un embobinado ondulado

“Los devanados ondulados también están realizados con bobinas de igual tamaño. A diferencia de lo que sucede en los bobinados imbricados, en los devanados ondulados una bobina se conecta con otra de la misma fase que está situada bajo el siguiente par de polos. Por esta razón, en estos devanados hay que avanzar a conectar el final de una bobina con el principio de la siguiente (pues el final de una bobina, está detrás del principio de la siguiente con la que se conecta). Esto hace que estos arrollamientos tengan forma de onda, lo que da origen a su denominación. Estos arrollamientos pueden ser de paso diametral, alargado o acortado” (Jorge Enrique Murillo Hurtado, 2010).

Otra de las características de este tipo de embobinados es que se ejecutan por polos consecuentes, dado que conectamos final con principio cada bobina del siguiente polo. Además también encontramos un distanciamiento entre polos cercano a el doble del paso polar.

Dado que cada bobina se conecta con otra del siguiente par de polos y así sucesivamente, se busca que después de dar una vuelta al estator (esto ocurre cada “N/p” pasos de unión), al unir la siguiente bobina esta pertenezca al polo donde comenzamos el alambrado. Se hace esto hasta terminar con las bobinas de todas las secciones. Esto muestra en la siguiente imagen.

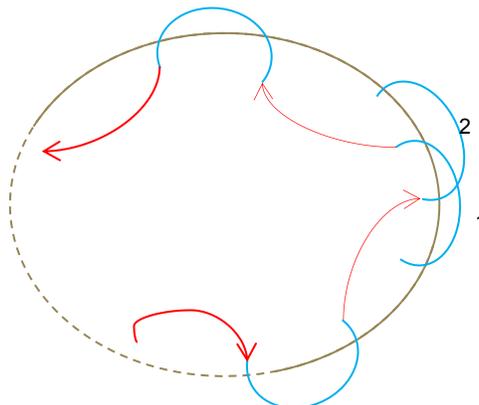


Figura 20: Formación de secciones con las uniones de un bobinado ondulado. Después de dar una vuelta al estator la próxima unión es con la siguiente bobina (2) del primer grupo de bobinas o sección

De estos embobinados debido a esto tenemos dos categorías, el progresivo y el retrogresivo. En el progresivo al recorrer las bobinas y dar vuelta cae la misma conexión ranuras adelante y siguiendo el recorrido dará varias vueltas adelantándose. El retrogresivo hará lo mismo pero ranuras antes cada vuelta.

En la práctica encontramos que este tipo de embobinados se ejecutan cuando se tienen número de ranuras impar lo que facilita que el avance o retroceso se ocasione ya que el paso polar es un valor no entero y basta con ajustar Y_x y Y_y a números enteros.

Para los casos en los que no se cumple esto se puede hacer progresivo o retrogresivo tan solo con modificar el paso con el cual empezamos a unir la siguiente vuelta, de tal manera de provocar un avance o un retroceso.

Cabe destacar que cuando se desea hacer un motor con conexiones en paralelo y con un embobinado ondulado, se suele seccionar el motor por vueltas para dar lugar a los grupos de bobinas, por ejemplo, si un embobinado ondulado se le dan 4 vueltas a las ranuras del estator uniendo las bobinas correspondientes a esa fase, se puede unir las bobinas de 2 vueltas y por separado las de otras dos vueltas, creando 2 grupos de bobinas que podemos ponerlas en paralelo o en serie.

Embobinado monofásico

Con respecto a diseños de embobinados para motores monofásicos se considera que se construye uno bifásico, donde las secciones que corresponden a la primera fase corresponden a las bobinas de trabajo y las bobinas de la otra fase equivalen a las bobinas de arranque, cuya impedancia suele ser distinta a las de trabajo por lo que las bobinas son distintas en calibre y número de vueltas. Este diseño puede ser usado ya sea para hacer un motor monofásico con capacitor de arranque, capacitor permanente o motor monofásico por división de fase.

También se puede realizar un diseño para el cual el bobinado principal ocupa normalmente los $2/3$ de las ranuras del estator, y el $1/3$ restante el bobinado auxiliar.

Lo que se pretende con este tipo de embobinado es que la cantidad de bobinas útiles (bobinas de trabajo) sean mayor que las auxiliares.

Para un diseño ejecutado por polos:

El número de bobinas de cada grupo y la amplitud m del bobinado principal se obtiene por la fórmula:

$$r_t = m = K / 6p$$

Como el bobinado auxiliar ocupa 1/3 de las ranuras tendremos:

$$r_a = K/12p$$

La amplitud del grupo auxiliar m_a considerando que el bobinado principal ocupa los dos tercios de las ranuras será:

$$m_a = K/3p$$

(Juan M. Fernández , 2010)

Bobinados en la práctica

En la práctica con fines constructivos o por las características finales que tiene cada tipo embobinado, se suelen escoger y realizar cada tipo de bobinado. Algunos autores mencionan el uso de algunos tipos de bobinado para las siguientes aplicaciones:

Embobinados a dos capas:

- “Suelen utilizarse para la construcción de motores Trifásicos” (Bohn Emiliano, 2009).

Embobinados Concéntricos, suelen hacerse bobinados concéntricos para motores:

- monofásicos , ejecutados por polos alternados
- “trifásicos ,ejecutados por polos consecuentes”
- Motores pequeños de carcasa rodada
(Jorge Enrique Murillo Hurtado, 2010)

Bobinados fraccionarios o bobinas desiguales:

- Los embobinados imbricados fraccionarios suelen utilizarse en alternadores, para obtener una señal senoidal más precisa. (David Suárez, 2011)

Interconexiones posibles obtener secciones en paralelo

Como ya se mencionó, podemos obtener resultados finales diferentes para cada bobinado con las interconexiones entre las secciones, previamente construidas en el proceso embobinado. Básicamente lo que se pretende es que a partir de un embobinado se obtengan diferentes potencias y voltajes de operación, ya que se cambia la impedancia total del motor por el hecho de hacer conexiones serie o paralelo.

Esta tarea consiste en realizar conectar en serie y paralelo las secciones de distintas formas dependiendo lo que la potencia que se desee y al final conectar en delta o estrella si se trata de un motor trifásico.

Tal como se menciona en el primer capítulo, existen diferentes combinaciones posibles dependiendo del embobinado que se ha realizado. A continuación se menciona como saber cuáles y cuántas son las combinaciones posibles dependiendo los casos.

El número de combinaciones posibles, para embobinados de secciones iguales, es la cantidad total de comunes divisores de las secciones por fase, de tal manera que aseguramos que a cada sección consume la misma potencia ya que tienen la misma impedancia. Por ejemplo, si tenemos un motor de 4 polos ejecutado por polos alternados y secciones iguales, significa que tenemos 4 secciones por cada fase, por lo cual podríamos conectar todas en serie (4 serie), todas en paralelo (4 paralelo), o hacer dos 2 grupos de 2 en serie y al final conectar los grupos en paralelo (2x2). Estos casos se muestran en las siguientes imágenes.

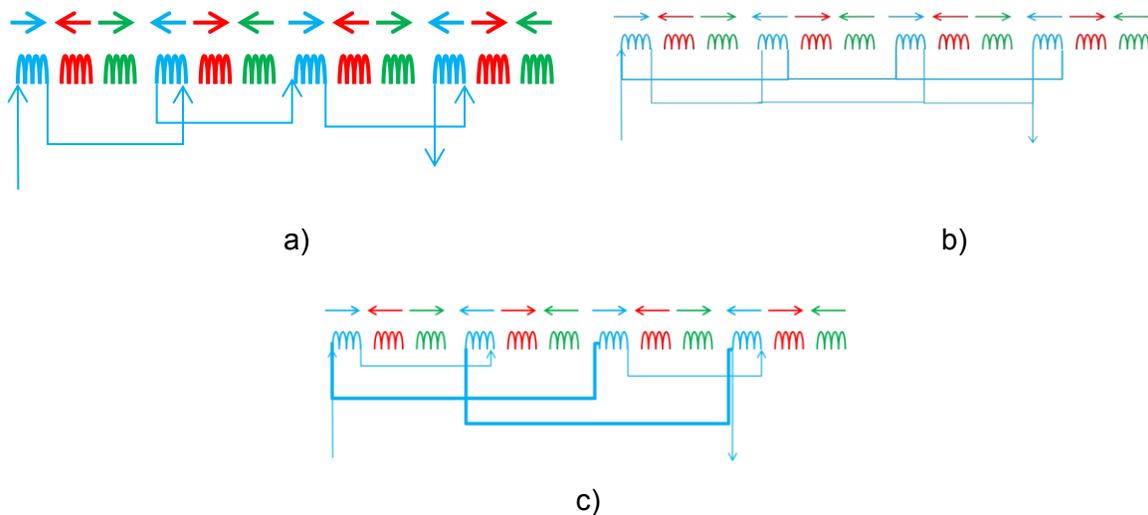


Figura 21: Interconexiones entre secciones de la fase color azul, para un embobinado de 4 polos ejecutado por polos alternados y secciones iguales. a) las 4 secciones en serie, b) las 4 secciones en paralelo. c) dos grupos de 2 secciones en serie cada uno conectados en paralelo

Cabe mencionar que para el caso de 2x2 del ejemplo anterior, se puede también hacer grupos de 2 secciones en paralelo y los 2 grupos formados conectarlos en serie. Realizamos dos conexiones diferentes en apariencia, pero en realidad obtenemos el mismo resultado ya que la impedancia total para ambos casos es la misma.

Numero polos (2p)	Polos alternados			Polos consecuentes		
	Secciones por fase	Numero de combinaciones (total de comunes divisores)	conexiones (SERIE x PARALELOS)	Secciones por fase	Numero de combinaciones (total de comunes divisores)	conexiones (SERIE x PARALELOS)
2	2	2	2x1, 1x2	1	1	1x1
4	4	3	4x1, 1x4, 2x2	2	2	2x1, 1x2
6	6	4	6x1, 1x6, 3x2, 2x3	3	2	3x1, 1x3
8	8	4	8x1, 1x8, 2x4, 4x2	4	4	8x1, 1x8, 2x4, 4x2
10	10	4	10x1, 1x10, 5x2, 2x5	5	2	1x5, 5x1
12	12	6	12x1, 1x12, 2x6, 6x2, 4x3, 3x4	6	4	6x1, 1x6, 3x2, 2x3
14	14	4	14x1, 1x14, 7x2, 2x7	7	2	1x7, 7x1
16	16	5	16x1, 16x2, 2x8, 8x2, 4x4	8	4	8x1, 1x8, 2x4, 4x2

Figura 22: Tabla de conexiones serie-paralelo posibles para embobinados con secciones iguales

Para el caso de embobinados con secciones desiguales, tiene que considerarse que no se puede conectar en paralelo grupos de secciones que tengan impedancia distinta ya que conectadas al mismo voltaje fluiría por las de menor impedancia más corriente y eso podría ocasionar estas se dañasen mucho antes que las otras con mayor impedancia. Dado que en embobinados con secciones desiguales tenemos secciones con impedancias unas mayores que otras, debemos buscar la forma de solo conectar en paralelo solo grupos de secciones que tengan el mismo valor de impedancia. Estos grupos son los que conocemos grupos de repetición en embobinados de este tipo, de tal manera conectamos en serie las secciones que forman un grupo de repetición y después ya podemos hacer interconexiones entre grupos de repetición en serie o paralelo.

Por lo tanto los casos posibles de conexiones serie paralelo para embobinados con secciones desiguales es el total de divisores de la cantidad de grupos de repetición del embobinado. Por lo que podemos plantear la siguiente tabla, muy similar a la obtenida con secciones iguales.

Embobinados con secciones desiguales		
Cantidad de Grupos de repetición	Numero de combinaciones (total de comunes divisores)	conexiones (SERIE x PARALELOS)
1	1	1x1
2	2	2x1,1x2
3	2	3x1, 1x3
4	4	8x1,1x8,2x4 4x2
5	2	1x5,5x1
6	4	6x1,1x6,3x2, 2x3
7	2	1x7,7x1
8	4	8x1,1x8,2x4 4x2

Figura 23: Tabla de conexiones serie-paralelo posibles para embobinados con secciones iguales

Para el caso de ondulado como ya se mencionó se suele seccionar el motor por vueltas dadas a las ranuras del estator para dar lugar a grupos de bobinas, para saber de qué formas podríamos hacer paralelos y serie, podemos tomar la tabla anterior y considerar a los grupos de repetición como los grupos de bobinas que hemos creado al separar por vueltas dadas.

Cálculo y obtención de parámetros de diseño.

En el diseño de Embobinados lo primero que se requiere es determinar el número de fases del motor (q), número de Ranuras (N), el número de pares de polos en base a la velocidad síncrona requerida (p) y el diseño que se tiene pensado ejecutar. Posteriormente se procede a calcular los parámetros de diseño. A continuación se explica el proceso para calcularlos y las formulas correspondientes.

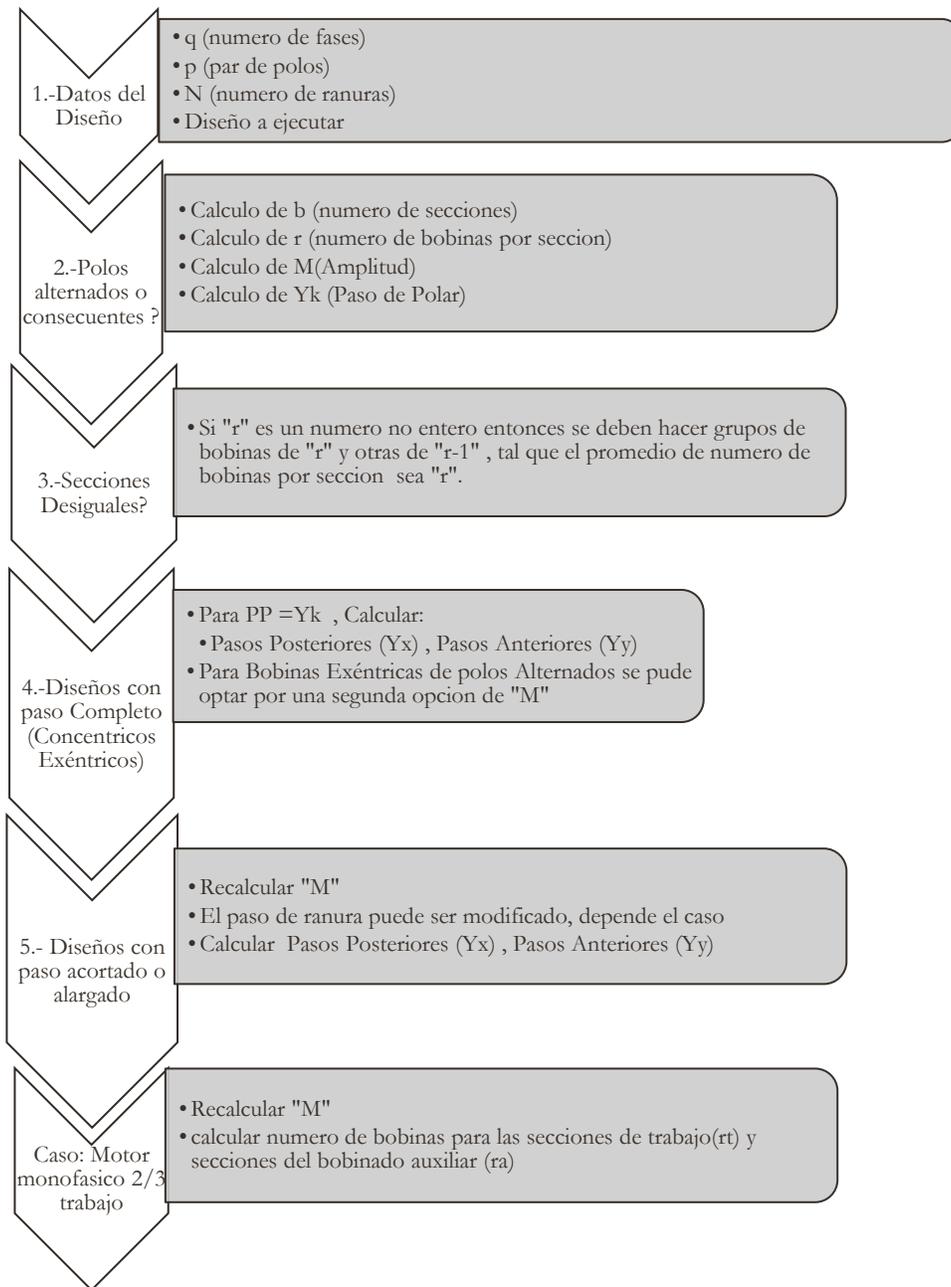


Figura 24: Método para obtener parámetros de diseño de embobinado

Desarrollo de prácticas para el embobinado de un motor de inducción

Tipo de Embobinado	Amplitud M	# secciones b	Bobinas por sección r	Numero de bobinas n	#Ranuras N	Pasos posteriores Yx	Pasos anteriores Yy	Pasos totales Yn	Paso de ranura Yk=PP
Polos reales o alternados	$M=2r(q-1)$	$b=2pq$	$r=N/(4pq)$		$N=4pqr$				$Yk=N/2p$
Polos consecuentes	$M=r(q-1)$	$b=pq$	$r=N/(2pq)$		$N=2pqr$				$Yk=N/2p$
1 capa				$n=N/2$					
2capas	$M'=M/2$		$r'=r*2$ r' es r corregida	$n=N$	$N'=N*2$ N' : Medias ranuras				$Yk=N/2p$
Secciones desiguales	Se calcula Mn (cada caso)		$r = \frac{\sum_i r_i}{i}$ <small>i:#secciones desiguales</small>			<i>Se calcula para cada Valor de r</i>	<i>Se calcula para cada Valor de r</i>	<i>Se calcula para cada Valor de r</i>	
Bobinas concéntricas						$Yx=2r-x$ $x=1,3,5..$	$Yy=-(2r-y)$ $y=2,4,6..$	$Yn=2r-1$	
Bobinas excéntricas	Polos reales a) $M=r(q-1)/2$ b) $M=r(q-1)$					$Yx=r$ $x=1,3,5..$	$Yy=-(r-1)$ $y=2,4,6..$	$Yn=2r-1$	
Secciones superpuestas						$Y'x=m+Yx$	$Y'y=Yy-m$		
Secciones separadas	$M=0$								
Imbricado	$M=yk-1$					$Yx=Yk$ No importa si son secciones desiguales	1 capa: $Yy=-(Yx-2)$ Dos capas $Yy=-(Yx-1)$ <i>No importa si son secciones desiguales</i>	$Yn=2r-1$	<i>Yk puede ser acortado o alargado</i> <i>Acortar si PP es par</i> <i>Yk ,Debe ser impar (1 capa)</i>
ondulado	$M=yk-1$					$Yx=yk$ $Yx=m+1$	$Yy \approx Yk$	$Yn=1$	<i>Yk puede ser acortado o alargado</i>
Monofásico Concéntrico 2/3 trabajo 1/3 auxiliar	$Mt=2*ra$ $Ma=2rt$		$rt=2/3(2r)$ $ra=1/3(2r)$					$Yn=2r-1$	

Figura 25: tabla resumen de las fórmulas para obtener parámetros de diseño de embobinado.

IV. Embobinado de un motor educacional de CA de inducción jaula de ardilla marca Westinghouse para el estudio de devanados

Descripción y estudio del equipo:

El motor que se tiene pensado utilizar, siendo ésta la finalidad de esta tesis, es patrimonio de la universidad y su objetivo final es la enseñanza del funcionamiento de los motores de CA y para ello lo primero que se hizo fue identificar sus características principales y algunas particulares. Cabe destacar que este motor es especial y no tiene una placa de datos convencional y en ella sólo dice que es educacional por lo que esta parte de la descripción es esencial.

Esto se llevó acabo primero estudiando motores de corriente alterna y sus particularidades por medio de investigación a fondo, inclusive con el refuerzo de conocimiento mediante un curso que se tomó acerca del embobinado de motores, que además ayudó con la parte práctica, lo anterior se encuentra en los capítulos anteriores de esta tesis. Posteriormente ya que estudiamos todo lo que requeríamos siguió aplicar estos conocimientos e identificar este equipo. A continuación algunas imágenes del equipo del que hablamos.



Figura 26: Motor, vista general

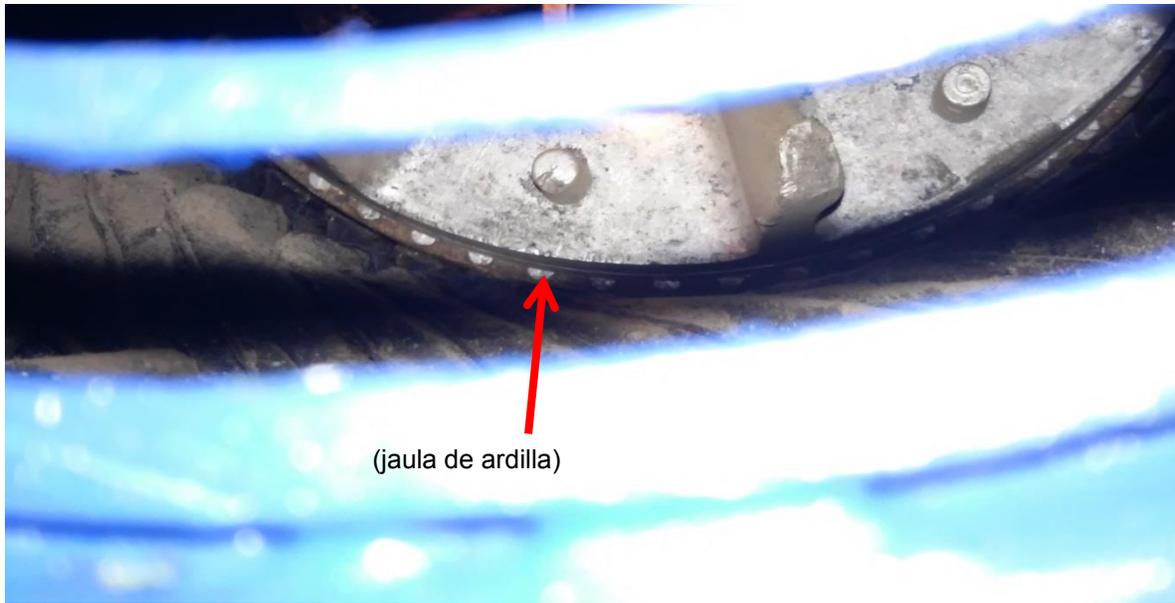


Figura 27: Vista del rotor.

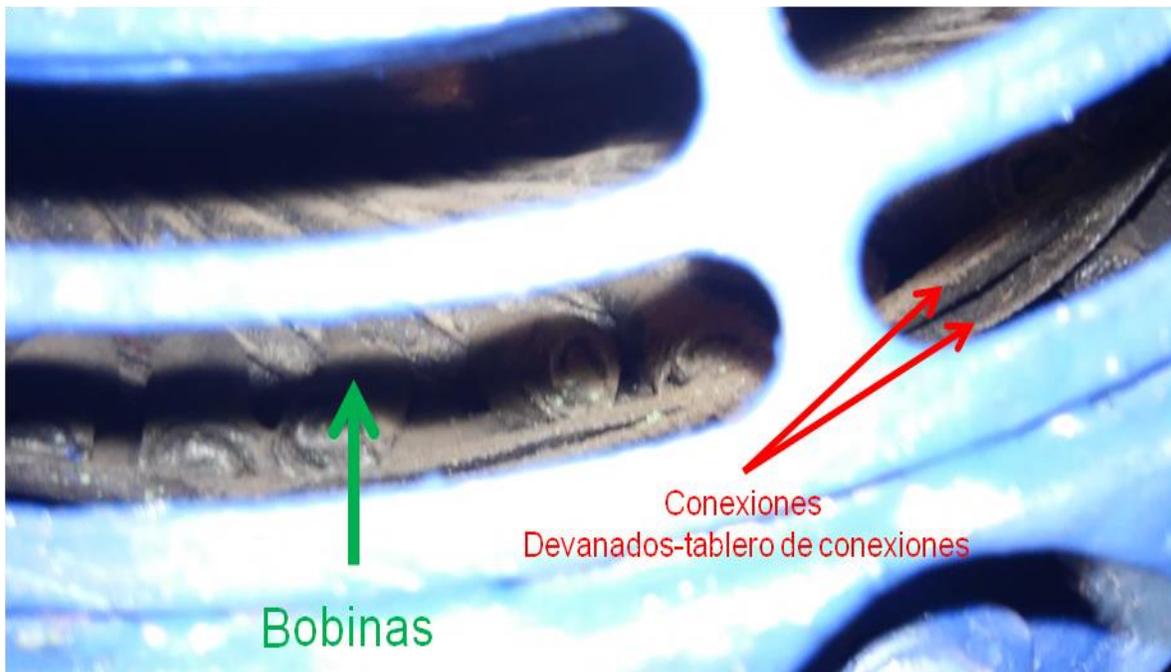


Figura 28: Vista de su enrollado interno



Figura 29: Vista del tablero de conexiones de sus bobinados

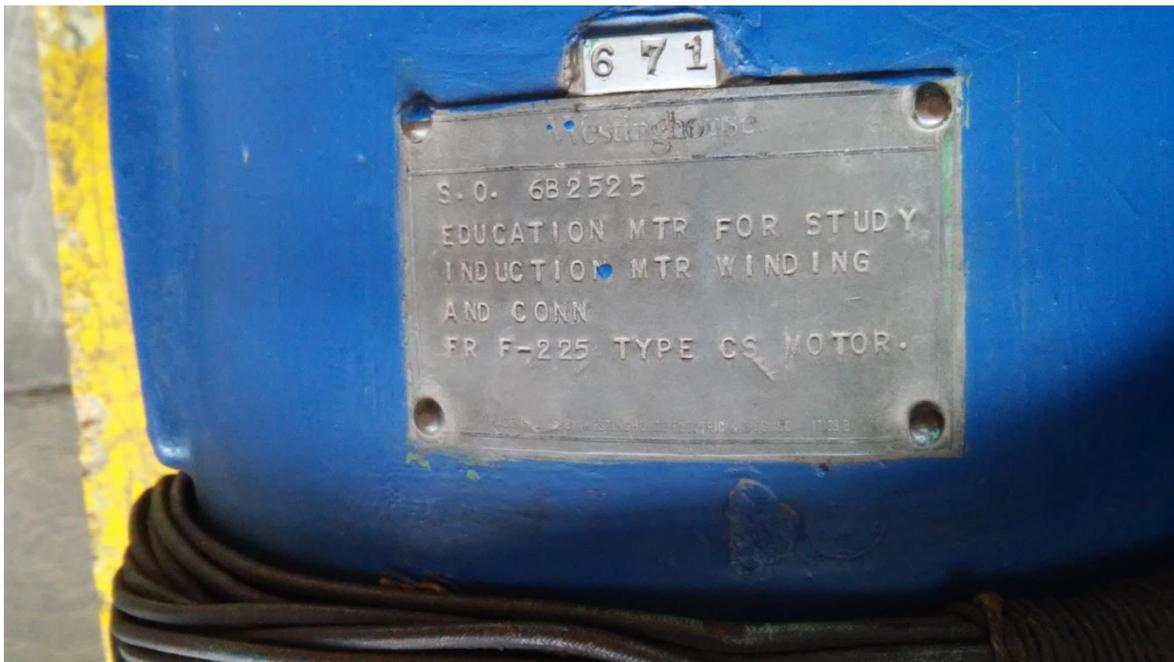


Figura 30: Placa de datos del motor

Descripción:

Como podemos ver en las imágenes anteriores nos encontramos con un motor de corriente alterna, ya que vemos que tiene un enrollado completo en ranuras del estator y no encontramos ningún bobinado en el rotor que podamos conectar ya que no contiene escobillas, ni conmutador. Además si observamos la forma del rotor y considerando lo anterior llegamos a la conclusión de que se trata de un motor de inducción jaula de ardilla.

Posteriormente podemos identificar la parte medular de este motor, que lo hace distinto y especial, lo cual es su tablero. Este tiene forma circular y tiene esquematizado a lo largo de su circunferencia como están acomodadas las bobinas en las ranuras internamente. Además, contiene las terminales de cada una, de tal manera que se pueden hacer las conexiones entre bobinas de manera externa, haciendo el diseño del embobinado manipulable por el usuario. También el dibujo que contiene nos dice algunas de las características inamovibles del tipo de embobinado del motor, estas son a continuación:

- El número de ranuras es igual a 48
- El embobinado es a dos capas o media ranura
- Contiene 48 bobinas, por ser de media ranura esto es evidente.
- Todas las bobinas tienen el mismo paso de ranura que es igual a 7, teniendo cada una un paso 1:8.

Podemos entonces hacer distintos embobinados en este motor cambiando sus propiedades, siendo esta la finalidad del motor educacional, por lo que una de las responsabilidades de esta tesis es estudiar cada uno de los posibles experimentos de embobinado que se pueden realizar.

Con respecto a la placa de datos del motor, ésta nos dice que es un motor con fines educacionales, pero no nos proporciona datos nominales. Tampoco alguna información acerca de sus propiedades eléctricas, mecánicas, de temperatura, de aislamiento, etc.

Debido a esto se complica el determinar que podemos realizar sin que se dañe el motor. Por lo que, por motivos de seguridad, esperamos no pasar de cierto valor de corriente, para proteger los devanados del motor. Esta es una tarea complicada ya que no tenemos el calibre del alambre de las bobinas, ni los datos de construcción que son propios para determinar valores nominales y máximos de operación del motor.

Se plantearon entonces las siguientes opciones:

- A. Desarmar el motor para obtener datos de construcción.
- B. Poner en marcha configuraciones y determinar valores en los cuales encontremos ruido, calentamiento o peculiaridades propias de una operación con valores críticos y funcionamiento no óptimo.
- C. Considerar las dimensiones del motor, buscar relaciones de HP para tamaños del motor.
- D. Caracterizar el motor utilizando el modelo equivalente.

Analizamos entonces cada una de las opciones planteadas:

- A) Al desarmar el motor, en este caso nos referimos a quitar la carcasa, esto nos permitiría visualizar y tener acceso a la parte interna del motor y poder tomar algunas medidas, que son necesarias para calcular valores nominales de éste. Los valores que podríamos obtener pueden ser:
- La longitud axial del núcleo
 - Diámetro interior del estator
 - Calibre del conductor del embobinado
 - Número de vueltas de cada bobina

Si nosotros tenemos estos datos, podemos obtener la corriente nominal, el voltaje nominal y la potencia nominal según las ecuaciones adecuadas. Además, con tan solo tener el calibre de los conductores podríamos encontrar una forma de proteger eléctricamente el motor.

Debido a los problemas que podría ocasionar el volver a ensamblar el motor no se desarmo, pese que sería la mejor opción para proteger el motor, es importante destacar que se corre el riesgo de que no se tenga la capacidad de volverlo a embonar y que se requiera equipo especial para hacerlo, lo que tendría un costo y un tiempo por reparación de por medio.

- B) Poner en marcha configuraciones para encontrar valores en los cuales encontramos y funcionamiento no óptimo y crítico no es la opción más viable, sin embargo siempre se tomara en cuenta que al realizar experimentos y notemos alguna anomalía en el funcionamiento, como lo es el ruido excesivo o sobrecalentamiento, depuraremos esta configuración, como una opción no viable para realizar.
- C) Las dimensiones de los motores generalmente son acordes a la capacidad mecánica nominal para los cuales fueron construidos. Algunos autores que en la práctica rebobinan motores cuya placa de datos no existe o pretenden obtener un motor distinto, toman algunos valores de tablas y calculan algunos parámetros del motor, teniendo como dato las dimensiones de su estator. En este caso tomaremos el método de un autor cuyo objetivo es obtener un motor trifásico o bifásico a partir de un monofásico, por lo que se tiene que aproximar los datos del motor que desea obtener. A continuación utilizamos su método para determinar valores aproximados de los parámetros del motor Educativo.

Datos necesarios del motor:

- D: diámetro del hueco del estator (cm)
- L : su longitud (cm)

Para obtener estos se hizo lo siguiente:

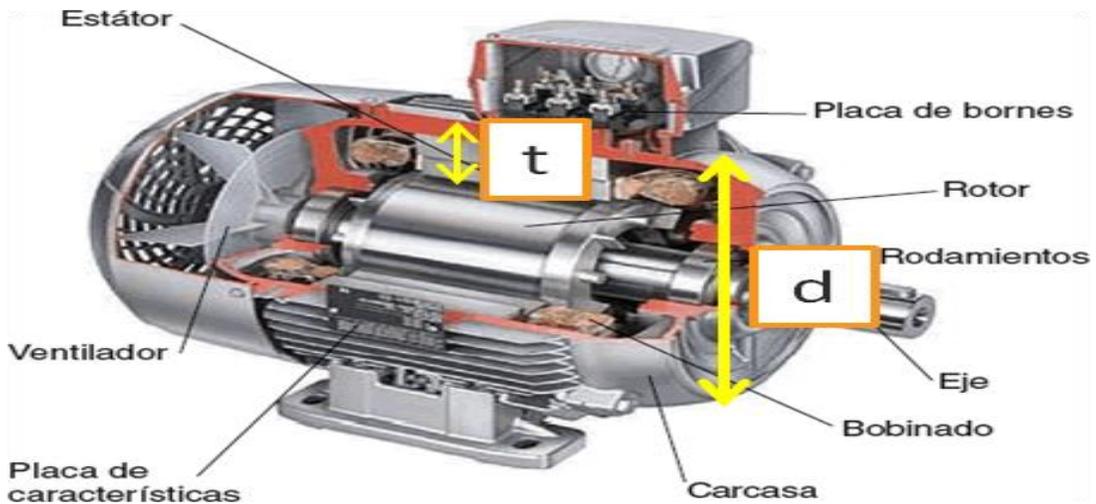


Figura 31: Distancias tomadas para el obtener D

Podemos obtener aproximadamente el valor de “D”, a partir de “d” y “t”

$$D = d - 2t = 25 - 2(5) = 15cm$$

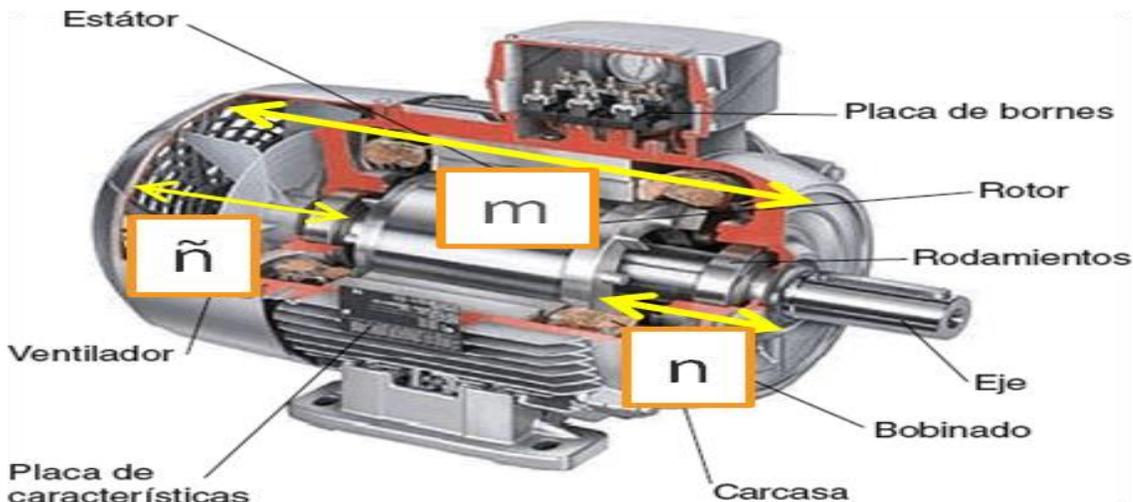


Figura 32: Distancias tomadas para obtener L

Podemos obtener aproximadamente el valor de “L”, a partir de “m”, “n” y “ñ”.

$$L = m - n - \tilde{n} = 32.5 - 8.5 - 13 = 11\text{cm}$$

Calculamos el volumen del prisma cuadrangular circunscrito al rotor.

$$v = D^2 * L = 15^2 * 11 = 2475\text{cm}^3$$

Con este dato y con la tabla proporcionada por el autor, obtenemos la potencia aproximada haciendo uso de una interpolación. Cabe mencionar que los datos de la tabla son para núcleos de 4 polos, 50hz. Pero la nota al pie nos indica los cálculos para número de polos diferentes.

TABLAS 415

TABLA 87. — *Volumen circunscrito mínimo y densidad de corriente, para motores de 50 H₂, cuatro polos, 1500 r. p. m.*

CV	Valor mínimo de $D^2 \times L$ en cm ³	Densidad en A/mm ²
$\frac{1}{4}$	235	6,16
$\frac{3}{8}$	392	5,25
$\frac{1}{2}$	490	4,37
$\frac{3}{4}$	590	4,15
1	785	3,94
$1\frac{1}{2}$	1080	3,75
2	1470	3,58
3	1770	3,30
5	2350	3,03
$7\frac{1}{2}$	3920	2,90

$\phi = 0,836 \times S_1 \times L \times B_m$
 $B_m = 3100$ a 4650 líneas/cm²
 $S_1 =$ Paso polar = $D \times 3,14 / \text{Número de polos}$.

$D^2 \times L$ necesario, igual a:
 para 6 polos = $1,5 \times (D^2L$ para 4 polos)
 para 8 polos = $1,85 \times (D^2L$ para 4 polos)
 para 10 polos = $2,70 \times (D^2L$ para 4 polos)

Figura 33: Tabla para determinar la potencia de los motores según sus dimensiones (Revuelta Antonio Lozano)

Considerando que “v” del motor educacional está entre 2350 y 3920 mm³, entonces acudimos a una interpolación cuya ecuación general es:

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1) + y_1$$

Donde:

- X1= 2350 cm³
- X2= 3920 cm³
- Y1= 5 CV
- Y2= 7.5 CV
- X= v= 2475mm³

Por lo tanto, para el motor educacional configurado a 4 polos:

$$potencia = \frac{2475 - 2350}{3920 - 2350} (7.5 - 5) + 5 = 5.2 CV = 3.8 KW$$

$$1 CV = 0.73539875 kW$$

El autor además nos proporciona un método para calcular otros parámetros de manera aproximada. Estos son el número de espiras y el diámetro del hilo conductor. Seguimos su procedimiento para calcularlos para el motor.

Para determinar el diámetro del conductor utilizamos la siguiente tabla, la cual es una lista de intensidades, potencias, rendimientos, y factores de potencia para motores a 200V. En caso de un motor de 110V la corriente se multiplica por 2 y para 400V se divide entre dos y así, en relación. Para la conexión estrella se divide entre 1.73 la corriente para obtener corriente de fase.

Corriente, rendimiento y factor de potencia para motores trifásicos y bifásicos de 220 V, 60 Hz y 40° de sobretemperatura

Trifásicos					Bifásicos				
CV	Polos	Amp. por terminal	En %		CV	Polos	Amp. por terminal	En %	
			Rendimiento	Factor de potencia				Rendimiento	Factor de potencia
1/4	4	,90	71,0	76,0	1/4	4	,82	69,0	75,0
1/2	4	1,61	76,0	80,0	1/2	4	1,45	74,0	79,0
1/2	6	1,90	72,0	73,0	1/2	6	1,71	69,0	72,0
1/2	8	1,92	71,0	72,0	1/2	8	1,80	68,0	70,0
3/4	4	2,33	77,0	82,0	3/4	4	2,09	75,0	81,0
3/4	6	2,48	75,0	80,0	3/4	6	2,17	73,0	80,0
3/4	8	2,65	73,0	71,0	3/4	8	2,32	72,0	78,0
1	4	2,95	80,0	83,0	1	4	2,65	79,0	82,0
1	6	3,02	79,0	81,0	1	6	2,81	78,0	81,0
1	8	3,60	75,0	71,0	1	8	2,97	76,0	80,0
1 1/2	4	4,42	82,0	82,0	1 1/2	4	3,82	82,0	82,0
1 1/2	6	4,48	81,0	80,0	1 1/2	6	3,88	81,0	80,0
1 1/2	8	5,15	77,0	74,0	1 1/2	8	4,01	80,0	79,0
2	4	5,7	82,0	87,0	2	4	5,0	81,0	86,0
2	6	6,0	79,0	81,0	2	6	5,3	78,0	79,0
2	8	7,9	78,0	63,0	2	8	7,4	77,0	59,0
3	4	8,1	86,0	87,0	3	4	7,2	82,5	86,0
3	6	8,7	83,0	79,0	3	6	7,5	82,0	83,0
3	8	9,7	81,0	73,0	3	8	8,5	81,0	73,0
5	4	13,1	87,5	87,0	5	4	11,5	85,6	87,0
5	6	13,6	85,0	86,0	5	6	12,1	85,0	82,0
5	8	14,1	84,0	82,0	5	8	12,6	83,0	81,0
7 1/2	4	19,1	87,0	88,3	7 1/2	4	17,1	87,0	87,0
7 1/2	6	19,5	86,0	87,0	7 1/2	6	16,8	87,0	85,0
7 1/2	8	20,6	85,0	82,0	7 1/2	8	20,0	86,0	82,0

Figura 31: Tabla de corrientes, rendimiento y factor de potencia para motores a 220V, 60hz

De la tabla, interpolamos para 5.2 CV, considerando que el voltaje es 220V (conexión delta), cuatro polos:

$$corriente(I) = \frac{5.2 - 5}{7.5 - 5} (19.1 - 13.1) + 13.1 = 13.58 \text{ Amperes}$$

$$rendimiento(\% \eta) \approx 87$$

$$factor \text{ de potencia } (\% \cos \alpha) \approx 87\% = .87$$

Ahora de la tabla de la **figura 29** interpolamos para obtener la densidad de corriente

$$\text{densidad de corriente}(J) = \frac{2475 - 2350}{3920 - 2350} (3.03 - 2.9) + 2.9 = 3.02 \frac{A}{mm^2}$$

El hilo entonces tendrá una sección de

$$\text{seccion} = \frac{I}{J} = 4.5 \text{ mm}^2$$

Para el número de espiras por fase, seguimos el siguiente procedimiento.

Calculamos el flujo total en líneas:

$$\emptyset = 0.636 * S1 * L * Bm$$

Donde:

- Bm: es la inducción del entre hierro en líneas por centímetro cuadrado, va de 3100 a 4650 en motores menores de 7.5 CV. Un buen valor medio es 3900 para 4 polos, que para un motor de ocho polos sería 3100.
- S1: es el paso polar en cm. Calculado por :

$$S1 = \frac{D * \pi}{\text{numero de polos}} = 11.78 \text{ cm}$$

Por lo tanto, para cuatro polos:

$$\emptyset = 0.636 * S1 * L * Bm = 321\ 436.5 \text{ líneas}$$

Para un motor trifásico en delta, el número de vueltas totales en una fase es:

$$Nt = \frac{E * 10^8}{7.35\emptyset F} = \frac{220 * 10^8}{7.35(60)(321436.5)} = 155 \text{ vueltas por fase}$$

- E: voltaje de línea en V
- F: frecuencia en Hz

Como el número de bobinas del motor es 48, entonces cada fase tiene 16 bobinas. Entonces cada bobina tiene:

$$N = \frac{155}{16} = 9.69 \approx 10 \text{ vueltas}$$

Todos los valores obtenidos son para el motor educacional con configuración trifásica en delta, 4 polos, 60Hz. Pero dado que el motor es configurable para diferente número de polos, a continuación mostramos una tabla resumen para diferentes números de polos.

Polos	Potencia	Corriente	Sección
	CV	A	(mm*mm)
4	5.2	13.58	4.5
6	7.17	18.31	6.28
8	8.55	24.5	8.61
10	11.9	39.23	14.69

Figura 35: Tabla de capacidades del motor

Otro punto a considerar es que al encontrar valores diferentes para cada configuración en la tabla, esperamos que los experimentos que se realicen se aproximen a lo que se encuentran ahí. Desde este punto de vista es conveniente hacer el análisis de resultados.

D) Estudiar el motor a través del modelo equivalente de un motor resulta no ser la mejor opción, ya que al ser completamente manipulables las interconexiones de sus devanados, podemos hacer que cambien completamente sus propiedades, tales como, la velocidad, potencia, etc. Desde este punto de vista podríamos estudiar y obtener parámetros de cada una de las configuraciones (embobinados posibles), y dado que podemos realizar una cantidad grande de estas, llevaría mucho tiempo hacer pruebas y además de que necesitaríamos del equipo adecuado y su disponibilidad.

Hay que destacar que para hacer esto se tienen que hacer las pruebas en vacío y a rotor bloqueado. En donde para esta última necesitamos conocer la corriente nominal del motor.

Por último, como un punto importante a mencionar es que estos estudios están fuera de los objetivos de esta tesis.

Alcance de los experimentos

Antes de comenzar es relevante considerar que en la práctica existen los motores monofásicos, bifásicos y trifásicos y como tal, en el laboratorio contamos con alimentación monofásica y trifásica. No se descarta el motor bifásico porque podemos obtener un sistema bifásico partir de un trifásico. Tenemos así entonces que el número de fases para el cual se diseñarán los bobinados se reduce a máximo 3.

Para determinar el alcance de los experimentos posibles que podemos realizar (número de experimentos) vamos a considerar los tipos de embobinados que existen y sus características, que estudiamos en el capítulo anterior. Desde este punto de vista podemos relacionar las características motor con el cuadro sinóptico de la **figura 15**, y obtendríamos el siguiente cuadro sinóptico reducido. En el siguiente cuadro no se mencionan los embobinados ondulado e imbricado, pero estos también son potenciales para desarrollar.

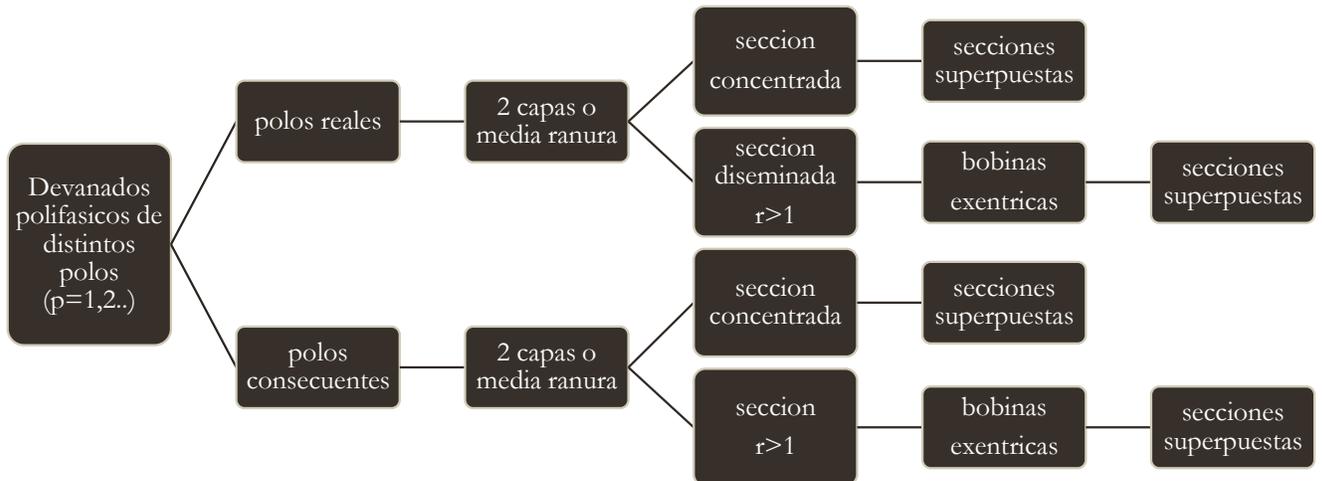


Figura 36: Cuadro sinóptico reducido de los posibles tipos de embobinados básicos polifásicos para hacer motores de distintos polos con el motor Educacional, marca Westinghouse

Para continuar utilizamos las fórmulas de diseño, de esta manera los casos posibles son aquellos en los que exista compatibilidad de los parámetros obtenidos con la realidad.

Tenemos para todos los casos:

- El número de ranuras: $N'=48$
- Numero de bobinas: $n=N'=48$
- Paso de bobina: $Y_k = 7$
- Paso posterior: $Y_x=7$

Estudio para bobinados básicos

Para el caso de polos reales, secciones separadas, bobinas excéntricas:

Paso posterior

$$Yx = r = 7..$$

Bobinas fase

$$r = \frac{n}{2pq} = 7$$

Tendríamos que el número de polos (2p)

$$2p = \frac{48}{q * 7}$$

Para un sistema trifásico q=3

$$2p = \frac{48}{3 * 7} = 2.29$$

Para un sistema bifásico q=2

$$2p = \frac{48}{2 * 7} = 3.42$$

Ambos casos son incompatibles con la realidad.

Para el caso de polos consecuentes, secciones separadas, bobinas excéntricas:

Paso posterior

$$Yx = r = 7..$$

Bobinas fase

$$r = \frac{n}{pq} = 7$$

Tendríamos que el número de par de polos (p)

$$p = \frac{48}{q * 7}$$

Para un sistema trifásico q=3

$$p = \frac{48}{3 * 7} = 2.29$$

Para un sistema bifásico q=2

$$p = \frac{48}{2 * 7} = 3.42$$

Ambos casos son incompatibles con la realidad.

Para el caso de polos reales, secciones superpuestas bobinas excéntricas:

Paso posterior

$$Yx = m + r = 7..$$

Bobinas fase

$$r = \frac{n}{2pq}$$

Amplitud

$$a) M = \frac{r(q-1)}{2}$$

$$b) M = r(q-1)$$

Para el caso a), cubriendo también con esta fórmula para el caso de polos consecuentes.

$$\frac{r(q-1)}{2} + r = 7$$

$$\frac{r(q-1) + 2r}{2} = 7$$

$$r(q+1) = 14$$

Sustituyendo r:

$$\frac{n(q+1)}{2pq} = 14$$

Tendríamos que el número de polos (2p)

$$\frac{n(q+1)}{14q} = 2p$$

Para un sistema trifásico q=3

$$2p = \frac{48(3+1)}{14(3)} = 4.57$$

Para un sistema bifásico $q=2$

$$2p = \frac{48(3 + 1)}{14(3)} = 4.57$$

Ambos casos son incompatibles con la realidad.

Para el caso b)

$$r(q - 1) + r = 7$$

$$r(q) = 7$$

Sustituyendo r:

$$\frac{n(q)}{2pq} = 7$$

Tendríamos que el número de polos ($2p$)

$$2p = \frac{n}{7} = \frac{48}{7} = 6.85$$

Caso incompatible con la realidad.

Con esto demostramos que ninguno de los casos de embobinados básicos se puede realizar, por lo que proseguimos con los casos de imbricado y ondulado.

Bobinados ejecutados por polos consecuentes

Tal como se menciona en la teoría, se necesita el espacio suficiente en el entre hierro para que se creen los polos consecuentes. Contemplamos entonces que el paso sea completo u acortado hasta un 66%, por lo que:

$$\frac{2}{3} \frac{N}{2p} < Yk < \frac{N}{2p}$$

Donde, para el motor:

- $N=48$
- $Yk=7$

Separamos entonces la igualdad para determinar cuáles son los números de polos permisibles.

$$\frac{2}{3} \frac{N}{2p} < Yk$$

$$Yk < \frac{N}{2p}$$

$$\frac{2}{3} \frac{N}{Yk} < 2p$$

Sustituyendo valores:

$$4.57 < 2p$$

$$2p < \frac{N}{Yk}$$

Sustituyendo valores:

$$6.86 < 2p$$

Por lo tanto el único embobinado ejecutado por polos consecuentes funcional es el de 6 polos, aunque en particular para esta tesis se considera como viable el de 4 polos, ya que casi entra en el rango teórico y además su paso sería acortado.

Cabe mencionar que el hacer pruebas reales con diferentes polos ayuda a verificar la teoría.

Estudio para Bobinados imbricados

Si deseamos que el paso de bobina sea completo $Yk=PP$:

$$Yk = Yx = PP = \frac{N}{2p} = 7$$

$$2p = \frac{N}{7} = \frac{48}{7} = 6.86$$

Incompatible con la realidad.

Pero podemos hacer bobinados para paso acortado, para estos casos $Yk < pp$

$$Yk = Yx = 7 < \frac{N}{2p}$$

$$2p < \frac{48}{7}$$

$$\underline{2p < 6.86}$$

También podríamos hacer bobinados para paso alargado, donde $Yk > pp$, aunque esto implique que se superpondrán polos de la misma fase, pero inversos.

$$Yk = Yx = 7 > \frac{N}{2p}$$

$$2p > \frac{48}{7}$$

$$\underline{2p > 6.86}$$

Ahora bien, para determinar el máximo número de polos que podríamos hacer, basta con considerar que sólo tengamos una bobina por cada sección, de tal manera que sea un bobinado imbricado concentrado.

Para dos capas, por polos, tenemos que:

$$r = \frac{n}{2pq} = 1$$

$$2p_{max} = \frac{n}{q}$$

Para un sistema trifásico

$$2p_{max} = \frac{48}{3} = 16$$

Para un sistema bifásico

$$2p_{max} = \frac{48}{2} = 24$$

Para un motor imbricado de dos capas por polos consecuentes tenemos que:

$$r = \frac{n}{pq} = 1$$

De tal manera que:

$$2p_{max} = \frac{2n}{q}$$

Para un sistema trifásico

$$2p_{max} = \frac{2(48)}{3} = 32$$

#	Polos	r	Característica
1	2	16	paso muy acortado No viable
2	4	8	paso acortado viable
3	6	5 1/3	paso acortado ,bobinas desiguales viable
4	8	4	paso alargado No viable

Tabla 36: Posibles embobinados para el motor educacional con un diseño trifásico imbricado ejecutado por polos consecuentes.

Nota: Los casos con paso alargado y muy acortado se consideran no funcionales.

Figura 37: Posibles embobinados para el motor educacional, con un diseño trifásico imbricado ejecutado por polos consecuentes. [Nota: Los casos con paso alargado y muy acortado se consideran no funcionales]

Para un sistema bifásico

$$2p_{max} = \frac{2(48)}{2} = 48$$

#	Polos	r	Característica
2	4	8	paso acortado viable
3	6	5 1/3	paso acortado viable

Tabla 38: Posibles embobinados para el motor educacional, con un diseño bifásico imbricado ejecutado por polos consecuentes.

Nota: Los casos con paso alargado y muy acortado se consideran no funcionales.

Estudio para Bobinados ondulados

Para este tipo de embobinado tenemos que:

$$\begin{aligned}
 Y &= Yx + Yy \\
 Yx &\approx Yy \approx P.P \\
 Y &\approx 2(P.P)
 \end{aligned}$$

Pero nosotros tenemos que :

$$Yx = 7$$

Por lo que:

$$Yy \approx 7$$

Partiendo de esto, buscamos aquellos casos en los que se cumpla que:

$$Y \approx 14 \approx 2(P.P)$$

Esto se cumple cuando:

$$2(P.P) \approx 2\left(\frac{N}{2p}\right) \approx 14$$

$$p \approx \frac{N}{14} \approx \frac{48}{14} \approx 3.43$$

Dado que es aproximado, podría ser $p=3$, $p=4$.

Particularmente hemos investigado otros casos para los cuales Y_y no es cercano al paso polar, dado que Y_x es inmodificable. Al final nos queda:

$$Y = Y_x + Y_y$$

Proponemos así las siguientes fórmulas para encontrar Y_y y que el embobinado ondulado sea progresivo o retrogresivo y, además, para un determinado número de ranuras máximas de separación entre bobinas de cada sección (ranuras antes o después cada vuelta).

Considerando que si Y es igual a dos veces el paso polar, damos la vuelta al estator cada $(Y \cdot p)$ uniones .

$$Y \cdot p = N$$

Pero deseando que sea progresivo proponemos un desplazamiento cada vuelta de $d=1$ o $d=2$ (máximo), entonces:

$$Y \cdot p = N + d$$

$$Y = \frac{N + d}{p}$$

Sabemos que forzosamente Y tiene que ser un número entero y, de esta forma, dado que Y_x es un entero inamovible, Y_y será un número entero. Estudiamos cada caso aplicado al motor:

Para $d=1$

$$Y = \frac{48 + 1}{p} = \frac{49}{p}$$

$$p = 1, 7, 49$$

Para $d=2$

$$Y = \frac{48 + 2}{p} = \frac{50}{p}$$

$$p = 1, 2, 5, 10, 25$$

Este caso en que $d=2$ es especial. Se estudió intencionalmente, ya que los bobinados imbricados a una capa tienen una separación entre ranuras de dos entre cada bobina de

la misma sección y es funcional. Pese a que en la bibliografía no encontramos estos casos se pretende estudiarlos.

Si ahora queremos que sea retrogresivo, entonces $d=-1$, $d=-2$. Entonces:

Para $d= -1$

$$Y = \frac{48 - 1}{p} = \frac{47}{p}$$

$$p = 1,47$$

Para $d= -2$

$$Y = \frac{48 - 2}{p} = \frac{46}{p}$$

$$p = 1,2,18$$

Hay que considerar que este tipo de embobinado, al ser ejecutado por polos consecuentes, limitamos los casos a sólo de 4 o 6 polos.

También hay que considerar que está el tipo en el que el avance es provocado, esto se logra modificando el paso después de dar la vuelta al estator con la finalidad de caer en una ranura atrás o delante para seguir con el alambrado. Por lo que nos quedan los siguientes casos para embobinados ondulados:

Numero de polos	fases	Y	Tipo de avance	Avance o retroceso
4	2,3	23	Retrogresiv	d=-2
		25	o progresivo	d=2
4	2,3	2PP	provocado	d=0
6	2,3	2PP	provocado	d=0

Tabla 39: Posibles embobinados para el motor educacional con un diseño ondulado.

Hay que considerar que en la bibliografía encontramos sólo ejemplos cuyo avance o retroceso no supera el de una ranura, por lo que consideramos estos casos como los más viables para construir. Se verifica por lo mismo los casos propuestos en que el avance es de 2 ranuras.

También hay que considerar que la progresión y retrogresión suele ser subconsecuente si se tienen número de ranuras impar y nosotros tenemos un número par.

Consideración de Interconexiones para delta, estrella, paralelos.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior una vez teniendo las secciones del diseño, unimos las terminales para al final conectar con la línea, dependiendo de qué tipo de

conexión queramos al final. También se analizó cómo obtener el máximo número de paralelos, que reglas se tienen que cumplir y cómo saber el número de combinaciones posibles.

Ahora bien, podemos obtener entonces el número de combinaciones posibles de conexiones de este motor para cada embobinado. Para esto, se considera si el bobinado, en cada caso, es regular o tiene secciones desiguales. A continuación, mediante una tabla, exponemos los posibles casos que podrían hacerse con este motor.

Tipo de Embobinado		Fases	Polos	r	Combinaciones serie - paralelo
Imbricado	Polos alternados	3	2	8	2
			4	4	3
			6	2 2/3	2
			8	2	4
			10	1 3/5	2
			12	1 1/3	3
			14	1 1/7	2
			16	1	5
		2	2	12	2
			4	6	3
			6	4	4
			8	3	4
			10	2 2/5	2
			12	2	6
			14	1 5/7	2
			16	1 1/2	4
			18	1 1/3	4
			20	1 1/5	3
	22	1 1/11	2		
	24	1	8		
	Polos consecuentes	3	4	8	3
			6	5 1/3	2
		2	4	12	3
			6	8	4
Ondulado	2	4	12	3	
		6	8	4	
		4	8	3	
	3	4	8	3	
		6	5 1/3	2	
		Total		91	

Figura 40: Configuraciones posibles para embobinados a dos capas con el motor Educacional.

Cabe destacar que para cada uno de estos experimentos obtendremos un Motor con las terminales donde inician la fase y donde terminan. Para motores trifásicos obtendremos

6 terminales (U,V,W,X,Y,Z) por lo que podemos conectarlos en delta o estrella. Por lo tanto tenemos un total de **124 Experimentos Posibles**.

Experimentos especiales

Existen ciertos experimentos posibles que por sus características y por los requerimientos para poder llevarlos a cabo, se consideran como experimentos especiales. A continuación de explican a detalle cómo se llevaran a cabo cada uno de los experimentos.

Funcionamiento Motor bifásico a partir de sistema trifásico

Como se sabe, podemos crear campo giratorio con un sistema bifásico a 90° , pero también podemos crearlo con unas señales desfasadas lo suficiente, como lo es el caso del motor monofásico.

Cuando nosotros diseñamos un motor bifásico algunas de las fórmulas predisponen que existe concordancia geométrica para un sistema defasado 90° . Sin embargo es posible que este diseño funcione para señales con otro defasamiento, aunque no sea el más óptimo funcionamiento.

En la práctica, nosotros tenemos sistemas trifásicos, del cual obtenemos sistemas monofásicos y bifásicos. Para el caso del bifásico, podemos obtenerlo usando el neutro y 2 fases de tal manera que quedan las siguientes combinaciones:

- Van, Vbn
- Vbn, Vcn
- Van, Vcn

Donde encontramos que en cada sistema bifásico tenemos un desfase de 120° , pero considerando que en los embobinados para la creación de campo giratorio encontramos los polos inversos a las fases (corrientes en sentido contrario), tendríamos un desfase de 60° entre polos con corriente dirección "positiva" y polos con dirección inversa.

Esto podemos verlo en el siguiente diagrama que muestra los voltajes de fase y sus inversos considerando el neutro.

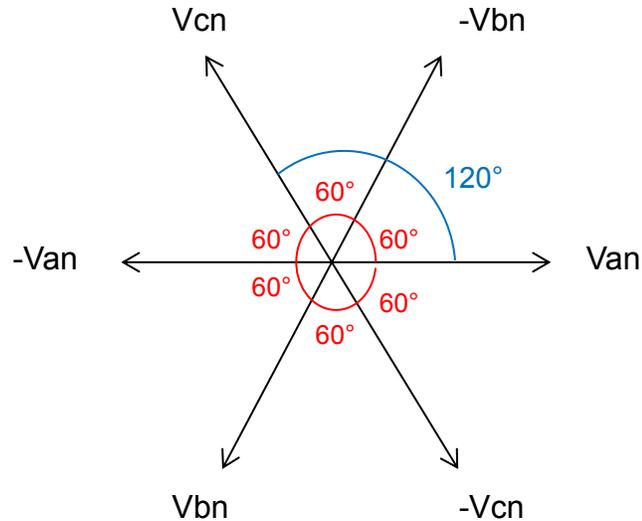


Figura 41: Fasores de voltajes en un sistema trifásico balanceado a partir del neutro y sus respectivos inversos.

Si nosotros tomamos dos fases y el neutro, en el embobinado tendríamos los respectivos inversos. Basados en la teoría del funcionamiento de los motores de corriente alterna, tendríamos un sistema bifásico desfasado 60° , pero con sentido de giro contrario. Este sistema en teoría funciona, ya que tenemos un desfase suficiente.

Funcionamiento como Motor Monofásico

Cómo ya se mencionó en el capítulo anterior, podemos utilizar el diseño del motor bifásico para obtener el embobinado de un motor monofásico, por lo tanto tendríamos la opción de hacer todas esas configuraciones.

También podemos realizar diseños donde la cantidad de bobinas se distribuyen, $2/3$ de las bobinas totales para las bobinas de trabajo y el resto para el auxiliar. Lo experimentos posibles que se pueden realizar bajo estas condiciones, para el motor educacional podrían ser prácticamente los que podemos hacer como embobinado bifásico, ya que se tienen 48 bobinas y este número es divisible entre 3, desde este punto de vista la nueva limitante será que el número de bobinas por sección del auxiliar “ra” sea mayor que 1.

Tenemos entonces que:

$$2r = ra + rt = \frac{3(2r)}{3} = \frac{2r}{3} + \frac{2(2r)}{3}$$

$$ra = \frac{2r}{3}$$

El valor máximo de polos, para el embobinado ejecutado por polos alternados es:

$$ra_{min} = \frac{2r}{3} = \frac{2}{3} \frac{n}{2pq} = 1$$

$$2p_{max} = \frac{2n}{3q}$$

$$2p_{max}(q = 2) = \frac{2(48)}{3(2)} = 16$$

Por polos consecuentes:

$$ra_{min} = \frac{2r}{3} = \frac{2}{3} \frac{n}{pq} = 1$$

$$2p_{max} = \frac{4n}{3q}$$

$$2p_{max}(q = 2) = \frac{4(48)}{3(2)} = 32$$

Por lo tanto:

Embobinado		Fases	Polos	rt	ra
Imbricado	Polos alternados	2 (Monofásico)	2	16	8
			4	8	4
			6	5 1/3	2 2/3
			8	4	2
			10	3 1/5	1 3/5
			12	2 2/3	1 1/3
			14	2 2/7	1 1/7
			16	2	1
	Polos consecuentes		4	16	8
			6	10 2/3	5 1/3

Figura 42: Configuraciones posibles para el desarrollo de experimentos con configuración monofásica, devanado repartido en 2/3 de trabajo y 1/3 auxiliar

A partir del objetivo que pretende seguir el tipo de embobinado anterior. Se propone que también se puedan realizar experimentos para los cuales se destine una fracción del total de bobinas para trabajo y las restantes para el auxiliar. De tal forma que:

$$2r = ra + rt = \frac{t(2r)}{t} = \frac{2r}{t} + \frac{(t-1)(2r)}{t}$$

Donde:

- t : es el numero para hacer la fracción relacionada con la repartición del número de bobinas (en los casos estudiados anteriormente valía 3)
- ra : número de bobinas de cada sección del bobinado auxiliar
- rt : número de bobinas de cada sección del bobinado de trabajo
- r : número de bobinas de cada sección del bobinado para un diseño normal, equitativo e indistinto entre ra y rt

$$ra = \frac{2r}{t}$$

$$rt = \frac{(t-1)(2r)}{t}$$

Estos casos no se estudiarán a fondo para esta tesis dado que ya tenemos una cantidad grande de experimentos que hacer para motores monofásicos y, además, esta propuesta no la encontramos en la bibliografía, por lo que no conocemos si estos puedan ser funcionales en la práctica.

Cabe mencionar que, pese a que nosotros cambiamos en número de bobinas de un tipo con respecto a otro, no conseguimos desfaseamiento entre fases, ya que al ser todas las impedancias de cada bobina del motor igual, tendíamos lo siguiente:

$$Z_t = 3Z_a$$

Esta operación no afecta al argumento, sólo al módulo.

Hasta el momento sólo se ha estudiado lo que respecta al embobinado, pero no a la forma de hacerlo funcionar como tal, para ello forzosamente necesitaríamos hacerlo con capacitor de arranque o permanente, para crear un desfaseamiento y pueda funcionar.

Esto, además de que nos obliga a formular una manera de obtener el capacitor que se necesita, nos limita también a realizar todas las configuraciones posibles, ya que cada embobinado diseñado va tener parámetros eléctricos particulares y, en consecuencia, el valor de capacitancia para hacer funcionar el motor sería diferente para cada caso. Por ello, se limita esta tesis a diseñar y poner en práctica sólo un diseño de embobinado monofásico con este motor.

En la práctica hay métodos usados por los técnicos para obtener el valor de capacitancia, donde dicho valor se saca mediante tablas, estos métodos como tal son muy eficaces en el momento de la práctica. Uno de los inconvenientes es que se requieren los valores nominales del motor, valores que, como tal, se desconocen. Otro de los inconvenientes es la poca eficiencia de dichos métodos, ya que se desconocen las bases con las que obtiene el valor del capacitor, si es mediante la práctica del ensayo y error que se obtienen las tablas, o están basadas en un cálculo físico matemático. Éstas son las premisas por las cuales se opta por usar otro método más minucioso y preciso basado en la teoría del motor. A continuación, el método llevado a cabo basado en la investigación bibliográfica y propuestas para adaptar un procedimiento en esta tesis.

Dado que el objetivo final es crear un desfaseamiento suficiente para que gire el motor (90 grados como óptimo), entonces se modifica el valor de la impedancia equivalente del motor de un devanado (devanado auxiliar). El resultado teórico se ilustra a continuación:

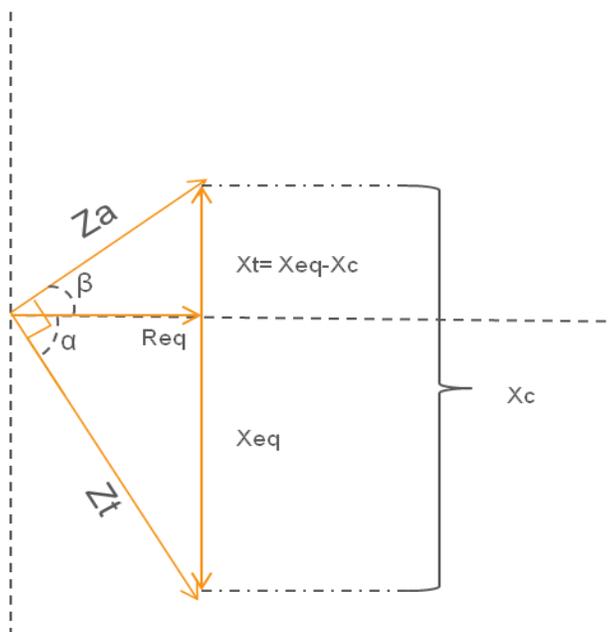


Figura 43: Diagrama fasorial de las impedancias del devanado auxiliar y trabajo de un motor monofásico

Donde :

- X_{eq} : reactancia equivalente del devanado sin capacitor o reactancia de las bobinas de trabajo
- R_{eq} : resistencia equivalente un devanado del motor
- X_c : reactancia del capacitor
- Z_a : impedancia del devanado auxiliar
- Z_t : impedancia del devanado de trabajo

Del diagrama podemos obtener lo siguiente:

$$\alpha = \text{angtan}\left(\frac{X_{eq}}{R_{eq}}\right)$$

$$\beta = \alpha - 90^\circ$$

$$\text{tang}(\beta) = \frac{X_{eq} - X_c}{R_{eq}}$$

Por lo tanto

$$X_c = X_{eq} - R_{eq} * \text{tang}(\beta)$$

$$X_c = X_{eq} - R_{eq} * \text{tang}(R_{eq} - 90)$$

Podemos obtener el capacitor, obteniendo la impedancia equivalente del motor. Debido a que un motor tiene características para cada punto de operación o valor de carga, donde los valores varían desde el rotor bloqueado hasta el vacío, hay que determinar el punto de operación deseado, donde el funcionamiento sería óptimo con el valor del capacitor. Además, también el valor del capacitor debe ser suficiente para que el motor arranque por sí solo.

En el caso de esta tesis se eligen los puntos de operación a rotor bloqueado y en vacío, con los siguientes propósitos:

- Rotor bloqueado: para obtener el valor de un capacitor de arranque, tal que optimice el momento del arranque, en otras palabras se alcance la cuadratura entre las bobinas auxiliares y las de trabajo
- Funcionamiento en vacío: Dado que las prácticas que se realizarán con este motor son sin carga, se desea plantearse el funcionamiento en vacío para obtener el valor de un capacitor permanente, tal que optimice el funcionamiento en el trabajo (sin carga)

Hay que mencionar que desconocemos los valores de impedancia del motor, que además son distintos para cada configuración monofásica posible. Estos valores podrían ser obtenidos a través de mediciones en pruebas del motor funcionando. Desde este punto de vista parecería paradójico este procedimiento, ya que se necesitaría primero hacer funcionar el motor para después calcular el capacitor necesario para hacerlo funcionar en forma monofásica. Pero, en realidad, sí es posible hacer funcionar el motor en esta configuración sin capacitor, ya que podemos obtener el desfase de una red bifásica. Por lo tanto, lo que se propuso es utilizar el modelo funcional de alguna configuración bifásica, tomar mediciones de éste y tratar de reproducir el experimento o mejorarlo con una fase, usando el capacitor (fase partida).

Para el cálculo de los valores de impedancia equivalente en estos puntos de operación, se eligió el equipo y la metodología utilizada en las prácticas de pruebas en vacío y a rotor bloqueado, que se pueden realizar en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería. A continuación, el diagrama adecuado correspondiente a las pruebas del motor, para obtener dichos parámetros.

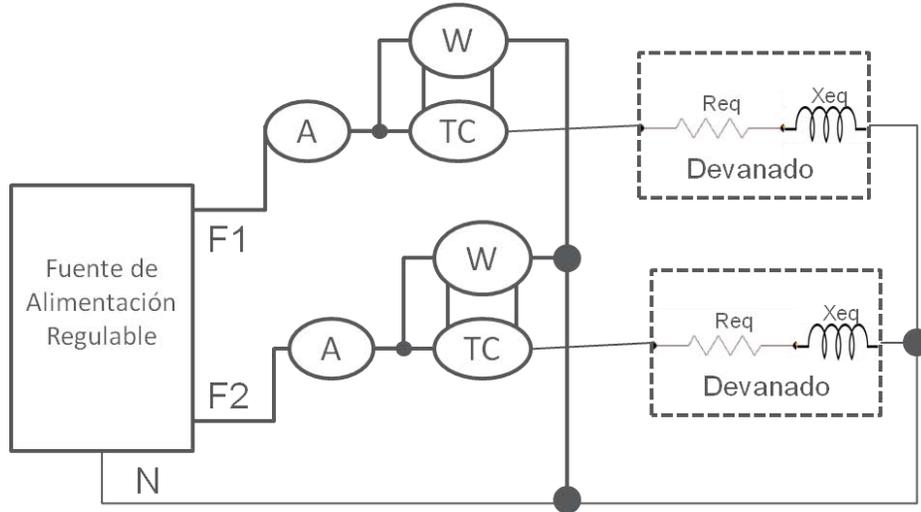


Figura 44: Diagrama de conexiones para hacer mediciones al motor en forma bifásica. Metodología para el cálculo del capacitor.

Del diagrama anterior y, las mediciones tomadas, se obtiene el promedio para todos los valores (corriente, voltaje, potencia). Partiendo de esto, podemos obtener la impedancia (R_{eq} , X_{eq}) de la siguiente manera:

$$Z_{eq} = \frac{V}{I}$$

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{VI}$$

$$R_{eq} = Z_{eq} * \cos\phi = \frac{V}{I} \left(\frac{P}{VI} \right) = \frac{P}{I^2}$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{\frac{V^2}{I^2} - R_{eq}^2}$$

Hasta este punto se muestra la teoría utilizada, en el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos.

Funcionamiento a 1 capa

Para el caso de imbricado, el paso de ranura o ancho de bobina es una cantidad impar, lo que permite el diseño en una capa.

$$Yk = Yx = 7$$

Para encontrar el número de experimentos posibles de embobinados imbricados a una capa, utilizamos las fórmulas que utilizamos para determinar los casos a dos capas.

Para polos consecuentes:

$$2p_{max} = \frac{2n}{q}$$

Para polos alternados:

$$2p_{max} = \frac{n}{q}$$

El número de bobinas para bobinados de una capa es la mitad que para los bobinados a dos capas, por lo tanto, dado que el número de polos máximo “ $2p_{max}$ ” es proporcional a “ n ” en ambas formulas, entonces tendremos que el número de polos máximo a una capa es la mitad que los bobinados a dos capas.

Obtenemos, a partir de lo mencionado, la siguiente tabla de posibles embobinados a una capa. Cabe mencionar que para polos consecuentes de igual manera que para dos capas consideramos como experimentos viables aquellos cuyo paso sea acertado.

Embobinado		fases	Polos	r	Combinaciones serie -paralelo
Imbricado	polos alternados	3	2	4	2
			4	2	3
			6	1 1/3	2
			8	1	4
		2	2	6	2
			4	3	3
			6	2	4
			8	1 1/2	3
			10	1 1/5	2
			12	1	6
	polos consecuentes	3	4	4	3
			6	2 2/3	2
		2	4	4	3
			6	2 2/3	2

Figura 45: Configuraciones posibles para el desarrollo de experimentos con el motor, considerando conexiones de secciones en paralelo, para embobinados a una capa

Por último, hay que destacar que se debe ser muy precavido con estas configuraciones ya que, se ocupa para estos diseños la mitad de bobinas del motor y de alguna manera tendrían que hacer labor doble las bobinas utilizadas, además de que la corriente sería el doble para el voltaje aplicado, ya que la impedancia se reduciría a la mitad.

Experimento de Motor a dos velocidades

Estos tipos de motores se pueden realizar de dos maneras. La primera es tener un embobinado que contenga un embobinado para cada velocidad y sólo se acciona uno o el otro. La segunda es cambiar las interconexiones entre secciones para hacer el motor por polos consecuentes o por polos alternados y cambiar la velocidad al doble.

Es posible realizar ambos casos, aunque que sí quisiéramos realizar los experimentos lo mejor sería tener un tablero de conexiones o control, donde estarían las terminales necesarias para hacer los cambios de configuración. Si dejamos las terminales volando, ejemplificando lo que es posible, equivaldría a no realizar un paso del embobinado.

Otros experimentos posibles que podrían hacerse consistirían en hacer cambios de velocidad mientras el motor está en funcionamiento. Esto puede lograrse cambiando las conexiones de manera manual, también podría lograrse en forma automatizada mediante un PLC.

Estos casos se dejan abiertos y no se estudiarán a fondo por el nivel de dificultad al momento de llevarlo a la práctica, ya que se requieren varios antecedentes teóricos y prácticos y el uso de equipo necesario, así como saber manejarlo.

Para esta tesis no se estudiarán a fondo porque en sí basta con realizar los experimentos anteriores para entender estos casos.

Experimentos para ejecutar tipos de arranques: estrella-delta, Y-YY, Δ - $\Delta\Delta$.

En el campo existen algunos motores que se arrancan con una conexión diferente a cuando se encuentran en operación, esta técnica se utiliza en motores grandes cuando la corriente sería elevada, si se arrancara con la configuración de operación, por lo tanto se utiliza una conexión que demande menos corriente durante el arranque.

Normalmente, se automatiza el proceso de cambiar la conexión una vez arrancado el motor. Esto puede ser con un PLC o algo menos eficiente de manera manual.

En esta tesis sólo se mencionará que es posible realizar estos experimentos, pero no se realizarán como tal, esto es, porque para empezar sería difícil que los alumnos pudieran realizar una práctica tan completa y compleja con el tiempo que disponen. Otra razón es que necesitaríamos el equipo para realizarlo y el manejo de éste.

V. Alambrado y pruebas

A continuación, se muestra en el siguiente esquema, el resumen de los posibles experimentos que pueden realizarse con el motor educacional. Cabe mencionar que para resumirlo aún más, en el esquema no aparecen las categorías de conexiones delta y estrella y paralelos posibles, dejando esto implícito para cada categoría.

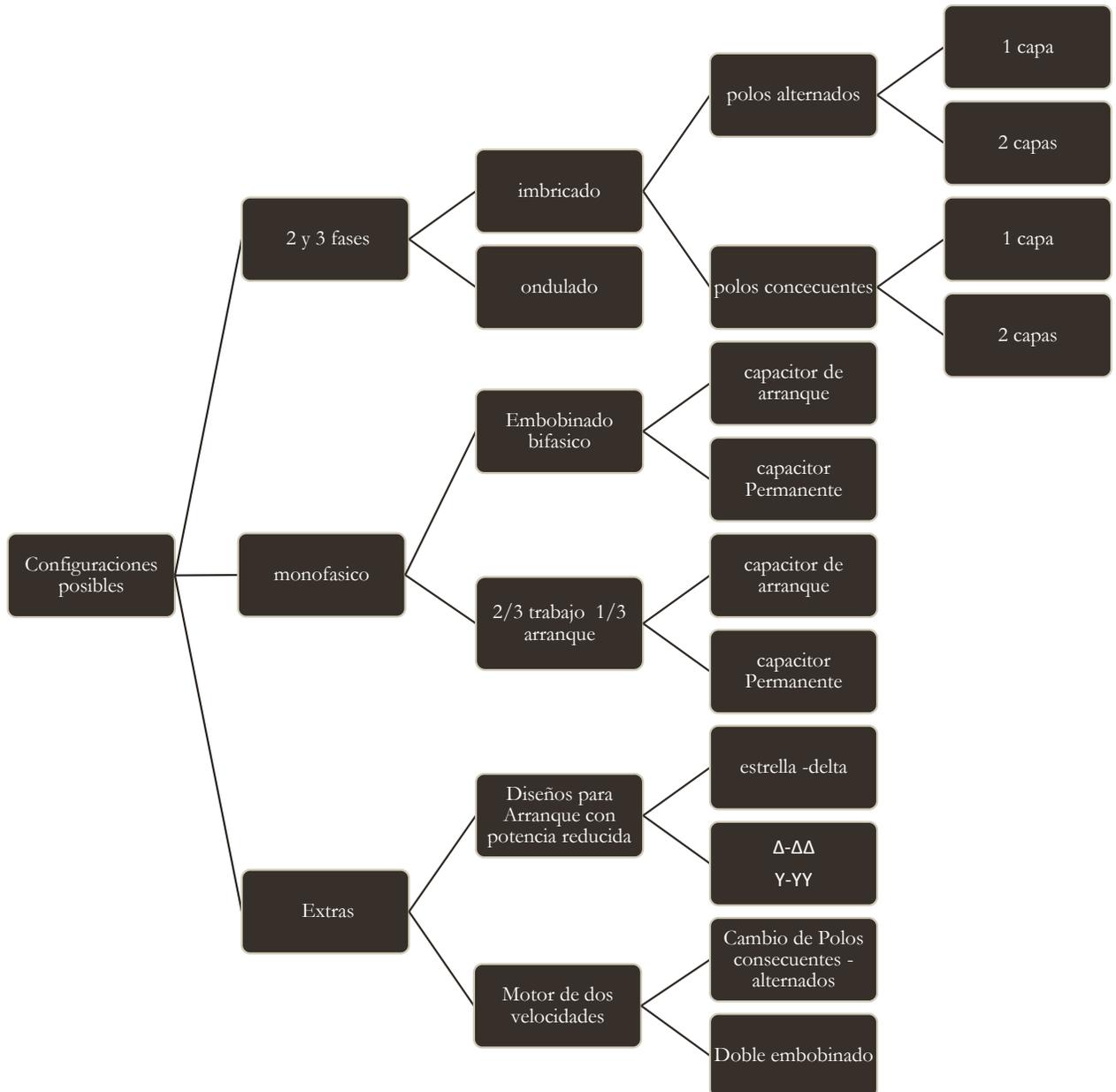


Figura 47: Configuraciones posibles para el desarrollo de experimentos con el motor

Desarrollo de prácticas para el embobinado de un motor de inducción

En esta sección de la tesis se dan algunos ejemplos de embobinados que se realizaron con el motor. Estos experimentos fueron escogidos metódicamente a partir del esquema anterior de configuraciones teóricas posibles, para cubrir con totalidad el cómo se diseña y cómo se pueden ejecutar cada tipo. También se eligieron los ejemplos por sus propiedades particulares y qué, además, nos permitieran identificar los experimentos funcionales de manera práctica.

Embobinado trifásico, imbricado, 2 polos, polos alternados, paso muy acortado.

(Conexiones: Polos en Serie, con 6 terminales, para conexión en delta o estrella)

Calculo para motor educacional

Constantes características del motor					
Numero de bobinas (n)=	48	bobinas	Paso de bobina (YK)=	7	ranuras , en grados: 52.5
Numero de ranuras(Nreal)=	48	ranuras	Pasos posteriores (Yx)=	7	ranuras
Variables de diseño					
Fases(q)=	3		Ejecutado por polos		
Polos(2p)=	2		Embobinado Imbricado		
			Numero de capas del diseño =	2	
variables calculadas					
Pares de polos(p)=	$2p/2$	1	pares de polos		
bobinas por seccion(r)=	$N/2pq$	8	bobinas		
paso polar(PP)=	$N/2p$	24	ranura/polos		
$\%(YK/PP)= (YK/PP)*100$		29	%		
Desplazamiento entre fases(α)=	$N/3p$	16	ranuras		
Amplitud(m)=	$2(yk-1)$	12	medias ranuras		
Paso anterior(Yy)=	$-(Yx-1)$	41	ranuras		
Numero de pasos de union(y_n)=	$Y_n=2r-1$	15	pasos		
bobinas por fase =	$2pr$	16	bobinas		

entrada	numero de ranura					
u	1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
v	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
W	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0

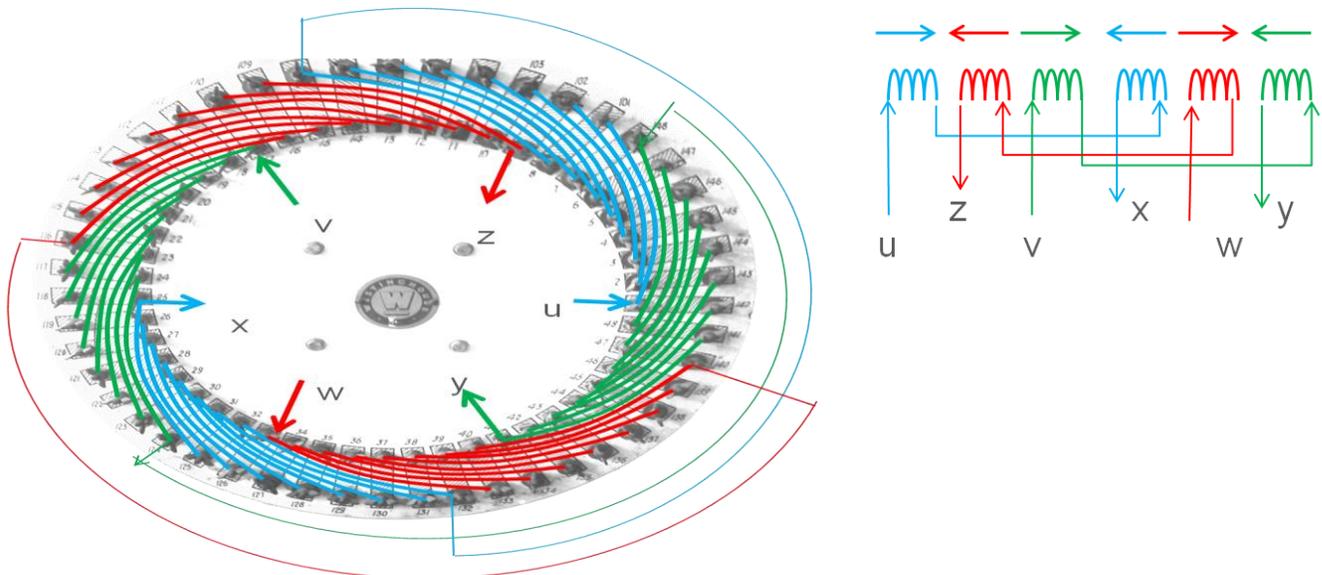


Figura 48: Cálculo y diagramas para el Embobinado trifásico, imbricado, 2 polos, polos alternados. Conexiones: Polos en Serie, con 6 terminales, para conexión delta o estrella

Embobinado trifásico, imbricado, 4 polos, polos alternados, paso acortado.

(Conexiones: Polos en Serie, con 6 terminales, para conexión en delta o estrella)

Calculo para motor educacional

Constantes características del motor			
Numero de bobinas (n)=	48 bobinas	Paso de bobina (Yk)=	7 ranuras , grados: 52.5
Numero de ranuras(Nreal)=	48 ranuras	Pasos posteriores (Yx)=	7 ranuras
Variables de diseño			
Fases(q)=	3	Ejecutado por polos	
Polos(2p)=	4	Embobinado	Imbricado
		Numero de capas del diseño =	2
variables calculadas			
Pares de polos(p)=	$2p/2$	2	pares de polos
bobinas por seccion(r)=	$N/2pq$	4	bobinas
paso polar(PP)=	$N/2p$	12	ranura/polos
$\%(Yk/PP)= (Yk/PP)*100$		58	%
Desplazamiento entre fases(α)=	$N/3p$	8	ranuras
Amplitud(m)=	$2(yk-1)$	12	medias ranuras
Paso anterior(Yy)=	$-(Yx-1)$	17	ranuras
Numero de pasos de union(y_n)=	$Y_n=2r-1$	7	pasos
bobinas por fase =	$2pr$	16	bobinas

entrada	numero de ranura					
	1	25.0	1.0	25.0	1.0	25.0
u	1	25.0	1.0	25.0	1.0	25.0
v	9.0	33.0	9.0	33.0	9.0	33.0
W	17.0	41.0	17.0	41.0	17.0	41.0

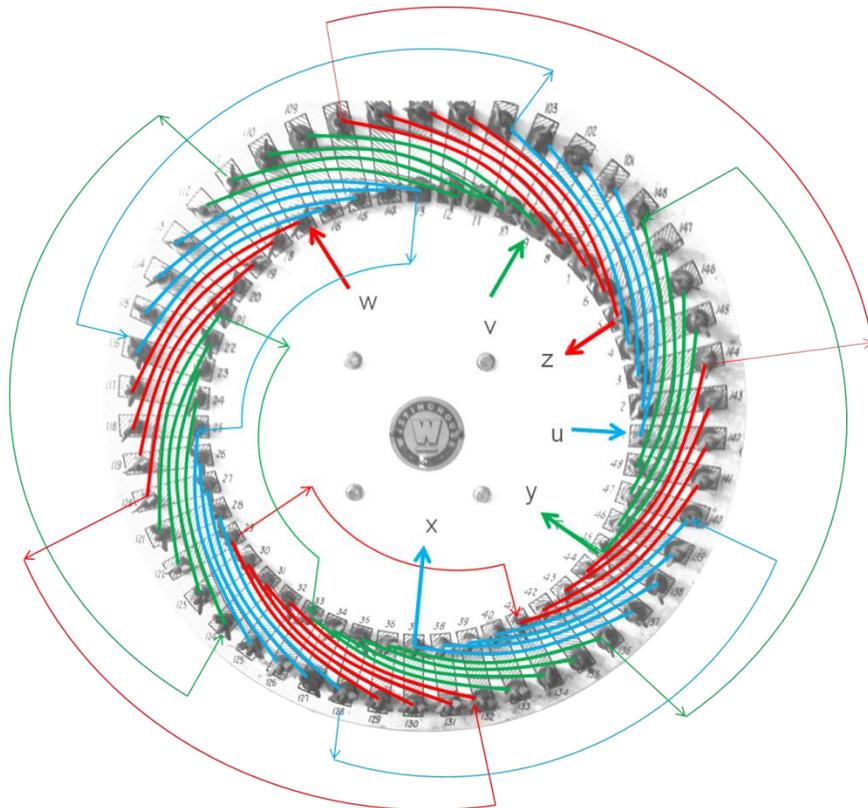


Figura 49: Cálculo y diagramas para el Embobinado trifásico, imbricado, 4 polos, polos alternados. Conexiones: Polos en Serie, con 6 terminales, para conexión delta o estrella

Embobinado trifásico, imbricado, 6 polos, polos alternados, paso acortado, bobinas desiguales.

(Conexiones: Polos en Serie, con 6 terminales, para conexión en delta o estrella)

Calculo para motor educacional

Constantes características del motor			
Numero de bobinas (n)=	48 bobinas	Paso de bobina (YK)=	7 ranuras , grados: 52.5
Numero de ranuras(Nreal)=	48 ranuras	Pasos posteriores (Yx)=	7 ranuras
Variables de diseño			
Fases(q)=	3	Ejecutado por polos	
Polos(2p)=	6	Embobinado Imbricado	
		Numero de capas del diseño =	2
variables calculadas			
Pares de polos(p)=	2p/2	3	pares de polos
bobinas por seccion(r)=	N/2pq	2 2/3	bobinas
paso polar(PP)=	N/2p	8	ranura/polos
%(YK/PP)=	(YK/PP)*100	88	%
Desplazamiento entre fases(α)=	N/3p	5	ranuras
Amplitud(m)=	2(yk-1)	12	medias ranuras
Paso anterior(Yy)=	-(Yx-1)	9	ranuras
Numero de pasos de union(yn)=	Yn=2r-1	4	pasos
bobinas por fase =	2pr	16	bobinas

entrada	numero de ranura					
u	1	17.0	33.0	1.0	17.0	33.0
v	6.3	22.3	38.3	6.3	22.3	38.3
W	11.7	27.7	43.7	11.7	27.7	43.7

istribucion para secciones desiguales		
r1=	2 bobinas ,repetidas	1 por grupo de repeticion
r2=	3 bobinas ,repetidas	2 por grupo de repeticion
Grupos de repeticion		2

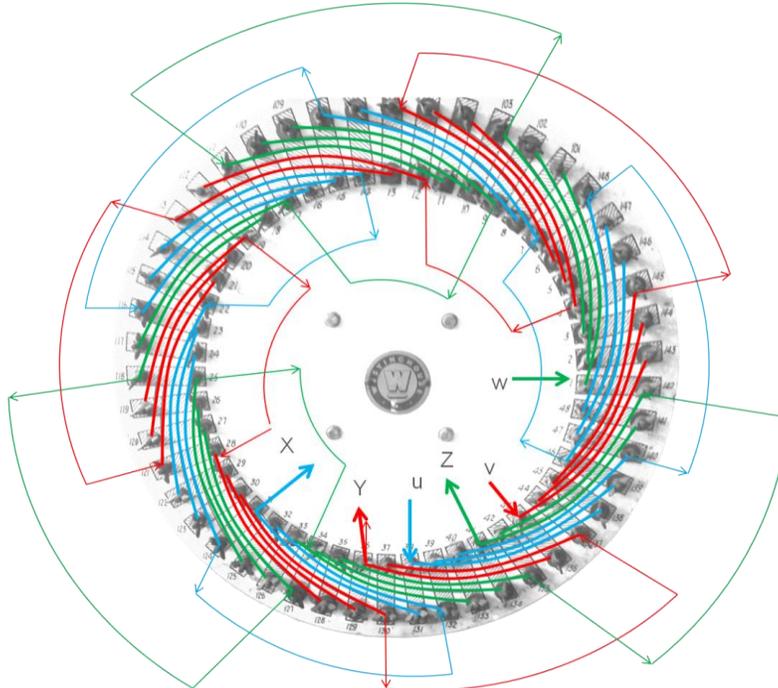


Figura 50: Cálculo y diagramas para el Embobinado trifásico, imbricado, 6 polos, polos alternados, Bobinas desiguales. Conexiones: Polos en Serie, con 6 terminales, para conexión delta o estrella.

Embobinado trifásico imbricado, 6 polos, polos alternados, paso acortado, bobinas desiguales.

(Conexiones: diagrama para hacer conexiones Δ , $\Delta\Delta$, Y, YY)

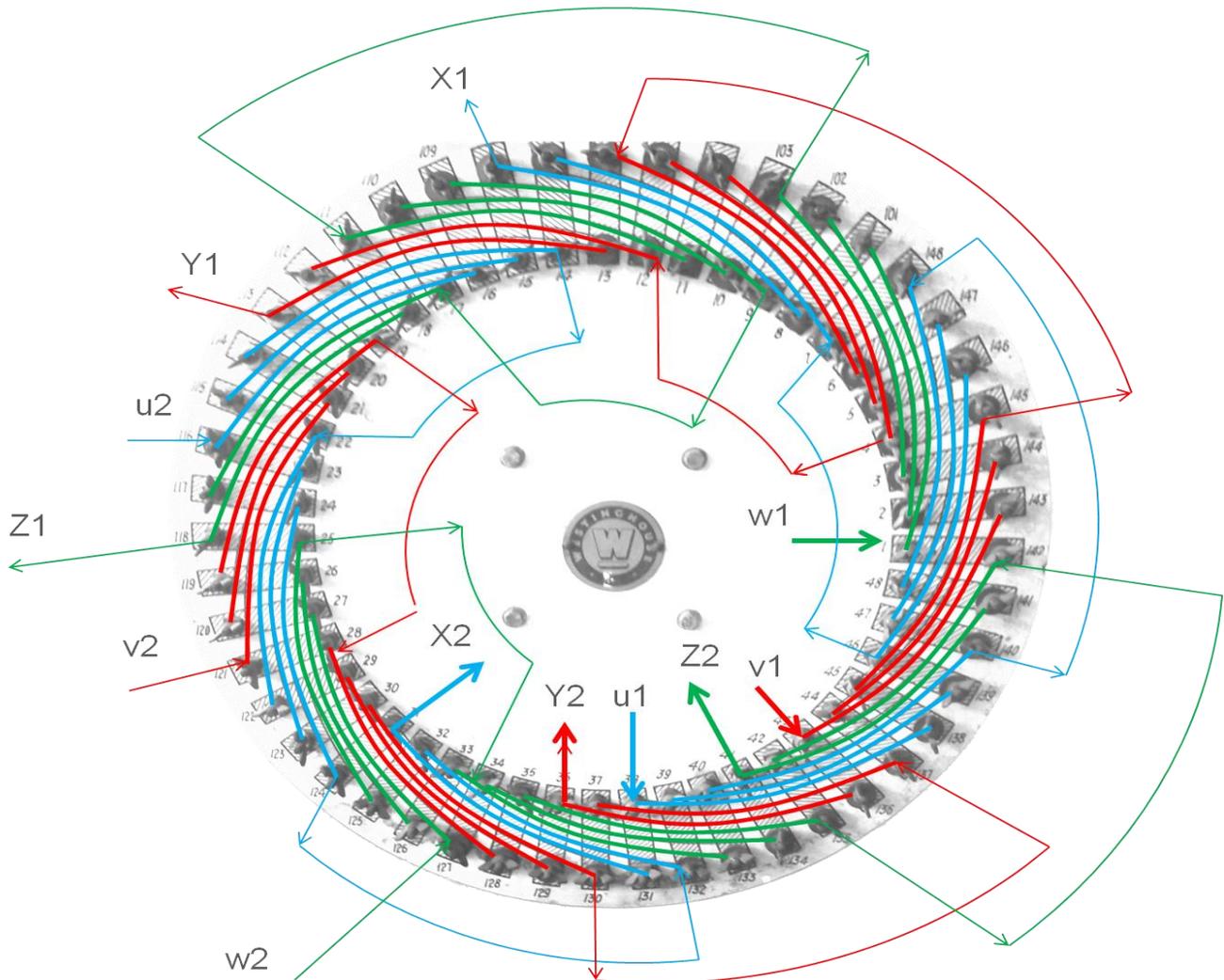


Figura 51: Diagramas para el Embobinado trifásico, imbricado, 6 polos, polos alternados, Bobinas desiguales. Diagrama para hacer conexiones Δ , $\Delta\Delta$, Y, YY

Para este caso se separan las 6 secciones que tiene cada fase en 2 grupos de 3 secciones conectadas en serie. Las entradas del primer grupo son u_1, v_1, w_1 , las del segundo grupo u_2, v_2, w_2 y las salidas correspondientes son X_1, Y_1, Z_1 y X_2, Y_2, Z_2 . De tal manera que podemos unir las terminales para obtener las siguientes combinaciones:

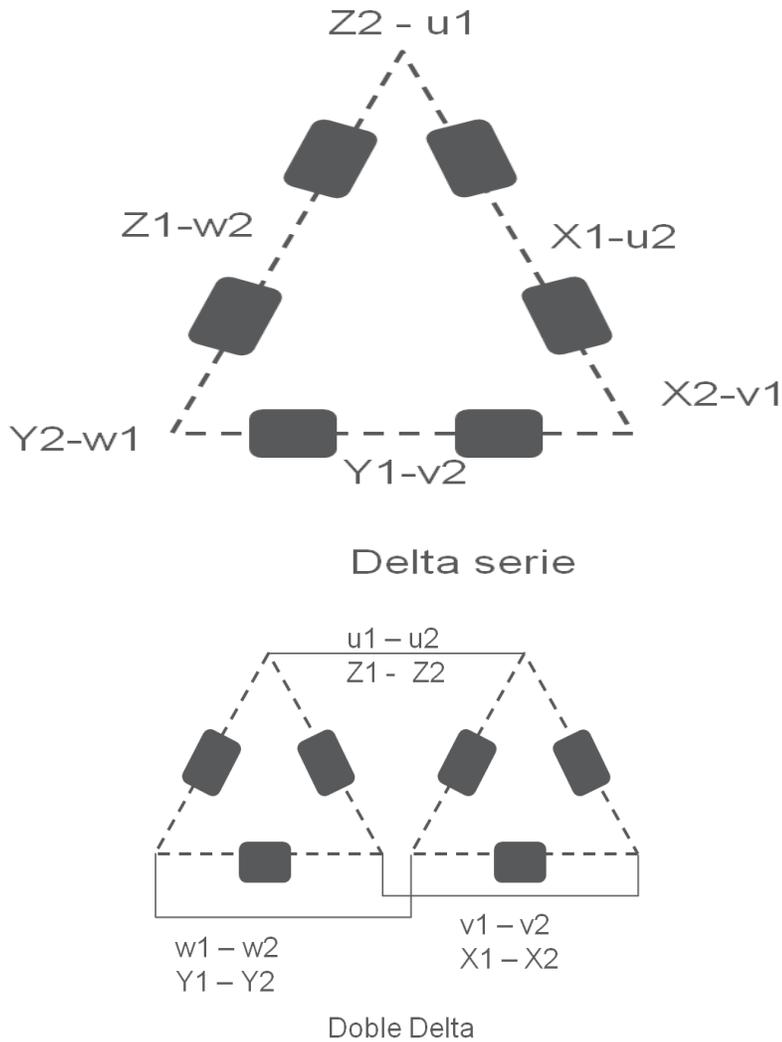


Figura 52. Combinaciones Delta serie y doble Delta

Embobinado trifásico imbricado, 4 polos, polos consecuentes, paso acortado,

(Conexiones: diagrama para hacer conexiones Δ , Y)

Calculo para motor educacional

Constantes características del motor					
Numero de bobinas (n)=	48	bobinas	Paso de bobina (YK)=	7	ranuras , grados: 52.5
Numero de ranuras(Nreal)=	48	ranuras	Pasos posteriores (Yx)=	7	ranuras
Variables de diseño					
Fases(q)=	3		Ejecutado	por polos consecuentes	
Polos(2p)=	4		Embobinado	Imbricado	
			Numero de capas del diseño =	2	
variables calculadas					
Pares de polos(p)=	$2p/2$	2	pares de polos		
bobinas por seccion(r)=	N/pq	8	bobinas		
paso polar(PP)=	$N/2p$	12	ranura/polos		
$\%(Yk/PP)=$	$(Yk/PP)*100$	58	%		
Desplazamiento entre fases(α)=	$N/3p$	8	ranuras		
Amplitud(m)=	$2(yk-1)$	12	medias ranuras		
Paso anterior(Yy)=	$-(Yx-1)$	17	ranuras		
Numero de pasos de union(yn)=	$Yn=2r-1$	15	pasos		
bobinas por fase =	$2pr/2$	16	bobinas		

entrada	numero de ranura					
	u	1	25.0	1.0	25.0	1.0
v	9.0	33.0	9.0	33.0	9.0	33.0
W	17.0	41.0	17.0	41.0	17.0	41.0

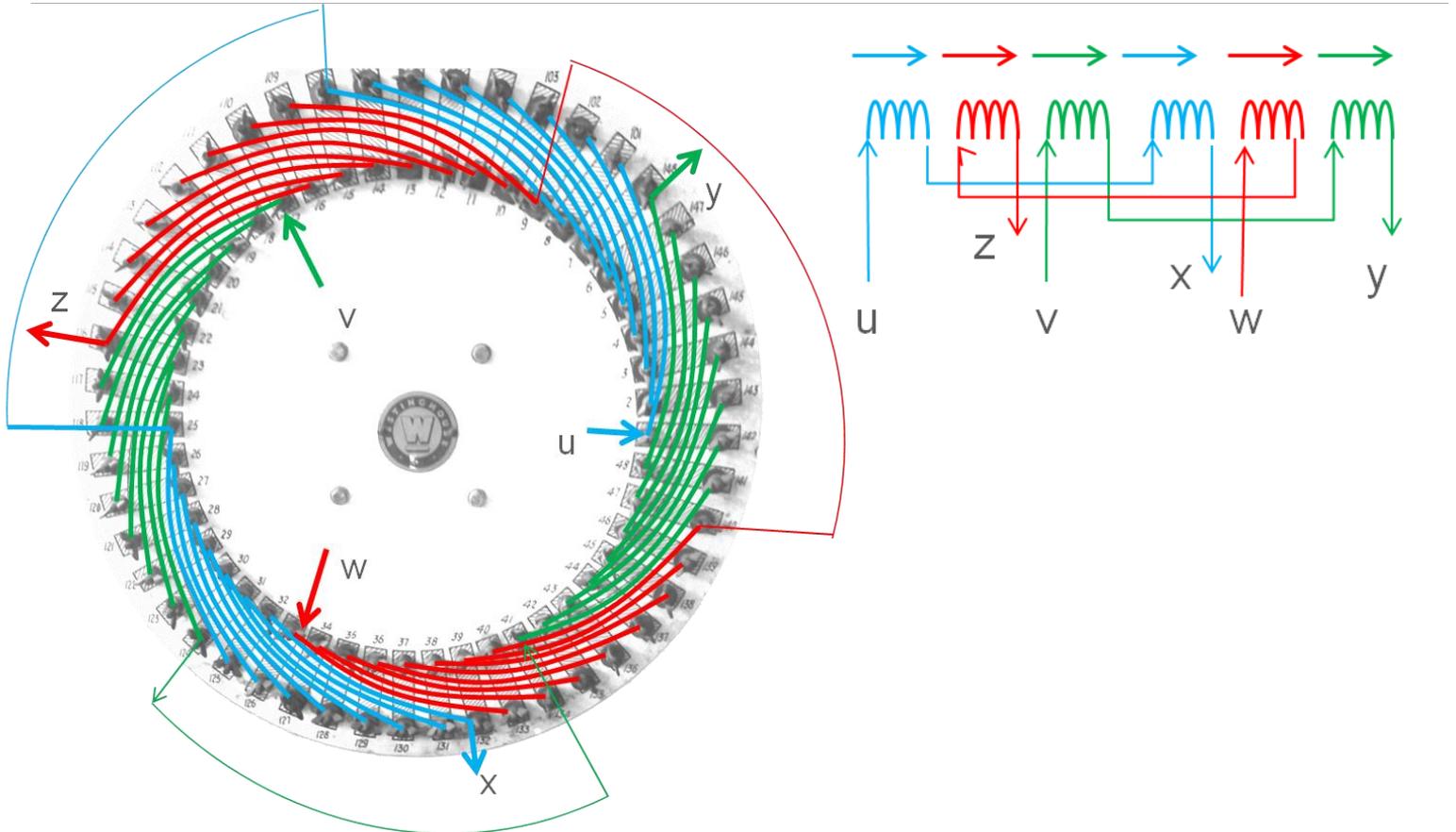


Figura 53: Diagramas para el Embobinado trifásico, imbricado, 2 polos, polos consecuentes.

Embobinado bifásico imbricado, 6 polos, polos alternados, paso acortado.

Calculo para motor educacional

Constantes características del motor			
Numero de bobinas (n)=	48	bobinas	Paso de bobina (YK)= 7 ranuras , grados: 52.5
Numero de ranuras(Nreal)=	48	ranuras	Pasos posteriores (Yx)= 7 ranuras
Variables de diseño			
Fases(q)=	2	Ejecutado	por polos
Polos(2p)=	6	Embobinado	Imbricado
		Numero de capas =	2
variables calculadas			
Pares de polos(p)=	$2p/2$	3	pares de polos
bobinas por seccion(r)=	$N/2pq$	4	bobinas
paso polar(PP)=	$N/2p$	8	ranura/polos
%(Yk/PP)=	$(Yk/PP)*100$	88	%
Desplazamiento entre fases(α)=	$N/4p$	4	ranuras
Amplitud(m)=	$2(yk-1)$	12	medias ranuras
Paso anterior(Yy)=	$-(Yx-1)$	9	ranuras
Numero de pasos de union(y_n)=	$Y_n=2r-1$	7	pasos
bobinas por fase =	$2pr$	24	bobinas

entrada	numero de ranura					
u	1	13.0	25.0	37.0	1.0	13.0
v	5.0	17.0	29.0	41.0	5.0	17.0
W	9.0	21.0	33.0	45.0	9.0	21.0

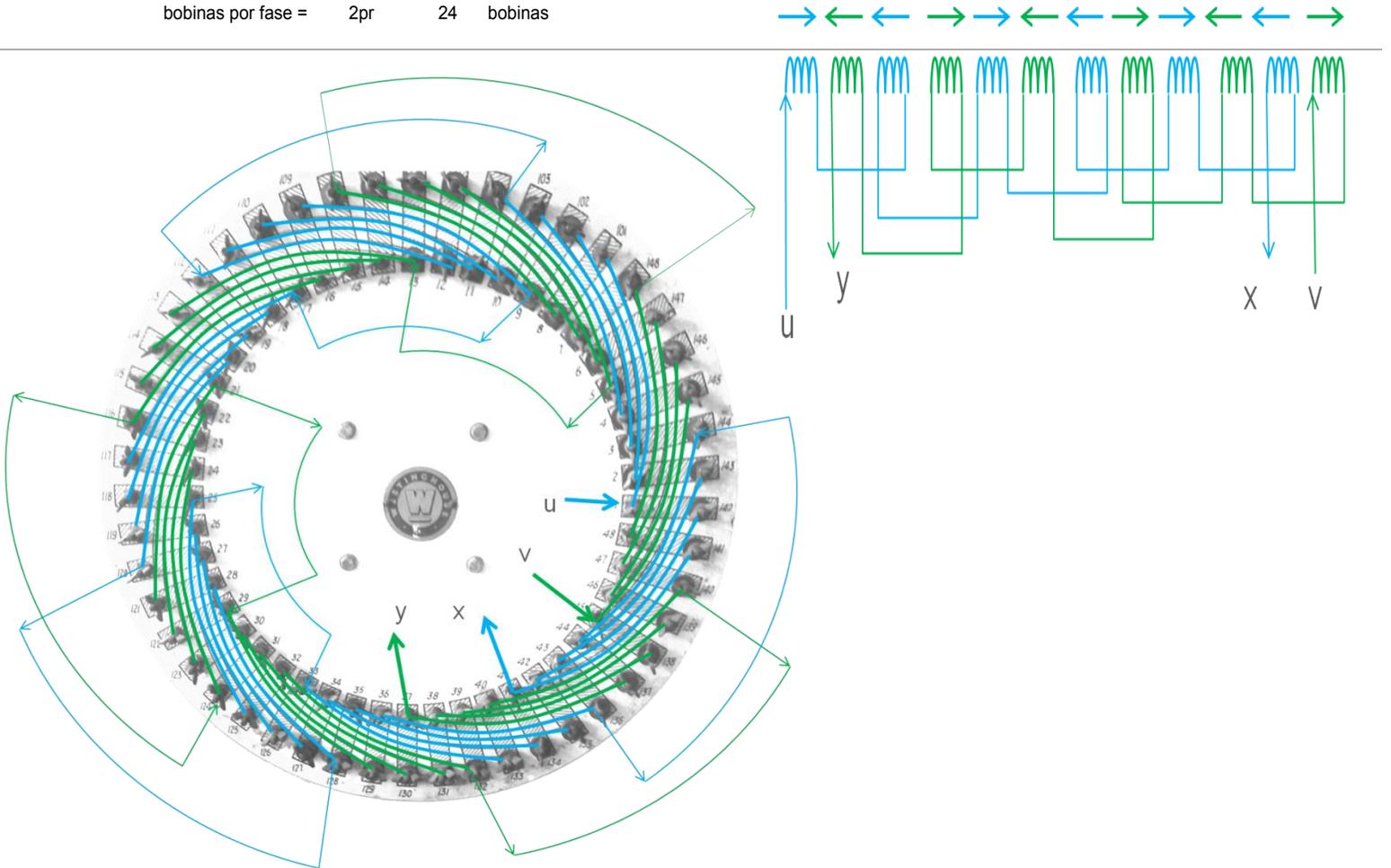


Figura 54: Diagramas para el Embobinado bifásico , imbricado, 6 polos, polos Alternados.

Embobinado monofásico imbricado, 6 polos, polos alternados, paso acortado,

Para desarrollar este experimento realizamos el embobinado anterior (bifásico imbricado de 6 polos), posteriormente proseguimos a realizar las siguientes conexiones, dependiendo que aplicación se quiera realizar:

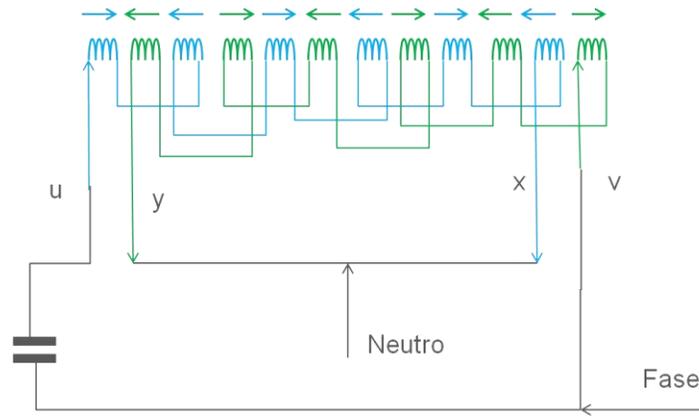


Figura 55: Diagramas para el Embobinado monofásico, imbricado, 6 polos, polos Alternados. Capacitor Permanente.

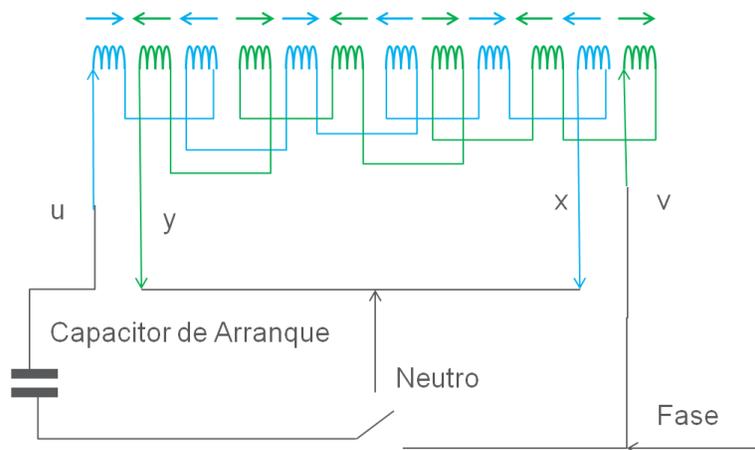


Figura 56: Diagramas para el Embobinado monofásico, imbricado, 6 polos, polos Alternados. Capacitor de arranque

Para el caso del Capacitor de Arranque se utiliza algún mecanismo de interrupción que puede ser un contactor o relevador para hacerlo de manera automática o algunas cuchillas que puedan ser activadas de manera manual. Donde el circuito debe estar cerrado en el arranque y debe abrirse una vez que el motor está en marcha.

Embobinado bifásico a una capa imbricado, 6 polos, polos alternados, paso acortado.

Calculo para motor educacional

Constantes características del motor					
Numero de bobinas (n)=	24	bobinas	Paso de bobina (YK)=	7	ranuras , grados: 52.5
Numero de ranuras(Nreal)=	48	ranuras	Pasos posteriores (Yx)=	7	ranuras
Variables de diseño					
Fases(q)=	2	Ejecutado	por polos		
Polos(2p)=	6	Embobinado	Imbricado		
		Numero de capas	1		
variables calculadas					
Pares de polos(p)=	$2p/2$	3	pares de polos		
bobinas por seccion(r)=	$N/4pq$	2	bobinas		
paso polar(PP)=	$N/2p$	8	ranura/polos		
$\%(Yk/PP)=$	$(Yk/PP)*100$	88	%		
Desplazamiento entre fases(α)=	$N/4p$	4	ranuras		
Amplitud(m)=	$2(yk-1)$	12	medias ranuras		
Paso anterior(Yy)=	$-(Yx-2)$	9	ranuras		
Numero de pasos de union(y_n)=	$Y_n=2r-1$	3	pasos		
bobinas por fase =	$2pr$	12	bobinas		

entrada	numero de ranura					
	u	1	13.0	25.0	37.0	1.0
v	5.0	17.0	29.0	41.0	5.0	17.0
W	9.0	21.0	33.0	45.0	9.0	21.0

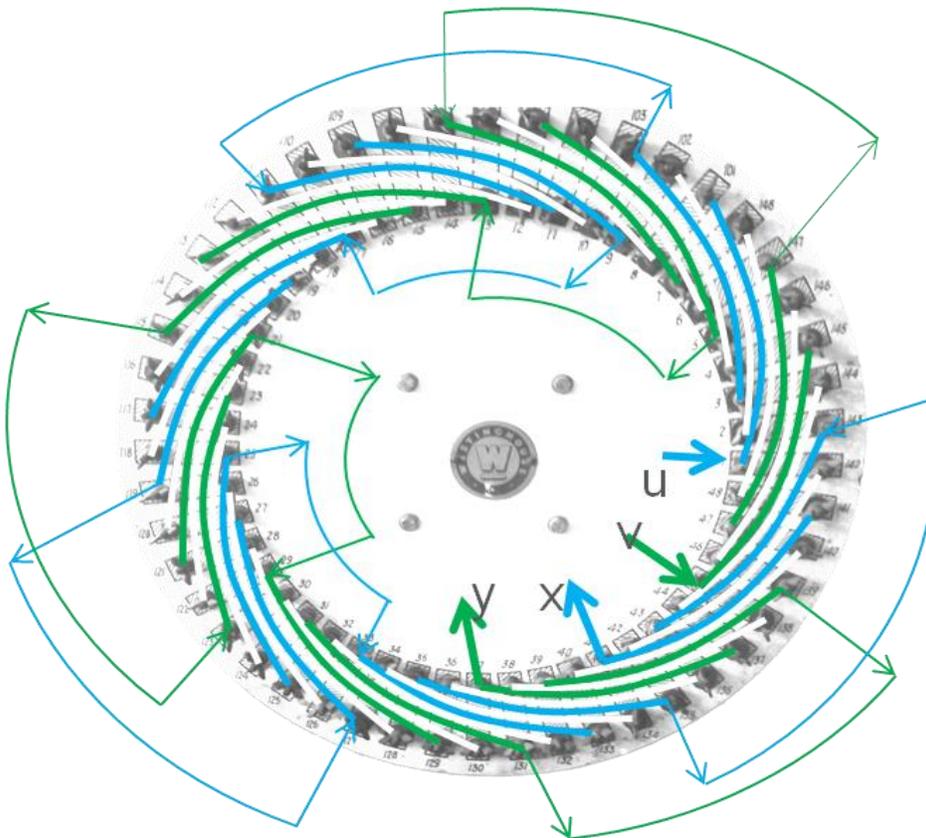


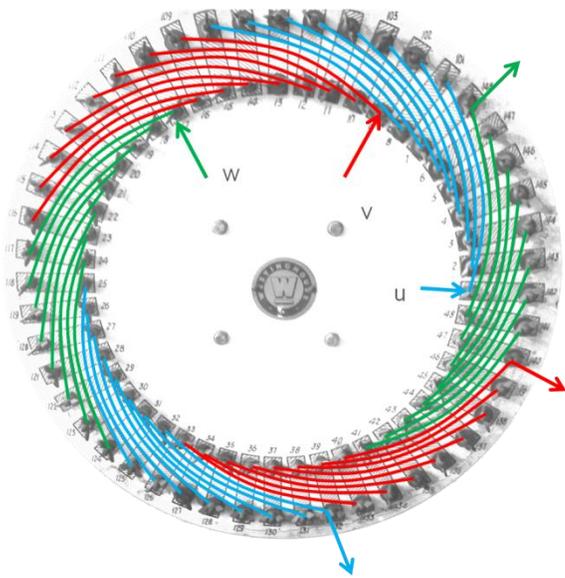
Figura 57: Diagrama para el Embobinado bifásico a una capa, imbricado, 6 polos, polos Alternados.

Embobinado trifásico ondulado, 4 polos, polos alternados, Progresión cada vuelta .

Calculo para motor educacional

Constantes características del motor			
Numero de bobinas (n)=	48	bobinas	Paso de bobina (YK)= 7 ranuras , grados: 52.5
Numero de ranuras(Nreal)=	48	ranuras	Pasos posteriores (Yx)= 7 ranuras
Variables de diseño			
Fases(q)=	3	Ejecutado	por polos consecuentes
Polos(2p)=	4	Embobinado	Ondulado
		Numero de capas	2
variables calculadas			
Pares de polos(p)=	2p/2	2	pares de polos
bobinas por seccion(r)=	N/pq	8	bobinas
paso polar(PP)=	N/2p	##	ranura/polos
%(Yk/PP)=	(Yk/PP)*100	58	%
Desplazamiento entre fases(α)=	N/3p	8	ranuras
Amplitud(m)=	2(yk-1)	12	medias ranuras
Paso anterior(Yy)=	2PP-Yx	17	ranuras
Numero de pasos de union(yn)=		1	pasos
bobinas por fase =	2pr/2	16	bobinas

entrada	numero de ranura					
	u	1	25.0	1.0	25.0	1.0
v	9.0	33.0	9.0	33.0	9.0	33.0
W	17.0	41.0	17.0	41.0	17.0	41.0



Conexiones			
fase	fase1	fase 2	fase 3
Comienzo de fase	1	9.0	17.0
Terminales a unir	101 con 25	109 con 33	117 con 41
	125 con 2	133 con 10	141 con 18
	102 con 26	110 con 34	118 con 42
	126 con 3	134 con 11	142 con 19
	103 con 27	111 con 35	119 con 43
	127 con 4	135 con 12	143 con 20
	104 con 28	112 con 36	120 con 44
	128 con 5	136 con 13	144 con 21
	105 con 29	113 con 37	121 con 45
	129 con 6	137 con 14	145 con 22
	106 con 30	114 con 38	122 con 46
	130 con 7	138 con 15	146 con 23
107 con 31	115 con 39	123 con 47	
131 con 8	139 con 16	147 con 24	
108 con 32	116 con 40	124 con 48	
Final de fase	132	140	148

Figura 58: Diagrama y tabla de conexiones para el Embobinado Trifásico, Ondulado, 4 polos, polos consecuentes.

Los ejemplos anteriores son las configuraciones más factibles para realizar con el Motor Educativo por su sencillez y por abarcar los tipos de Embobinado que se pueden ejecutar. Estas configuraciones se realizaron en la parte de pruebas y experimentación de esta tesis. Cabe mencionar que también se realizaron más experimentos con otras configuraciones diferentes para llegar a mejores conclusiones.

Equipo requerido:

Para realizar las pruebas se utilizó el equipo con el que se cuenta en el laboratorio de Maquinas eléctricas de la Facultad de Ingeniería. El cual se describe a continuación:

- Motor educativo Marca WestingHouse
- Fuente de AC trifásica variable de 0-300 VAC, con protección contra cortocircuito y sobre carga.
- Voltímetro con diferentes escalas
- Amperímetro con diferentes escalas
- Tacómetro digital
- Cable para alambrear calibre 16 de diferentes colores
- Capacitor en Aceite para configuraciones monofásicas
- Cuchillas para realizar maniobras de forma manual
- Watt metro con diferentes escalas
- Multimetro digital

Metodología general:

La metodología para realizar los experimentos y poner en marcha las configuraciones en general se repite para cada caso, variando la parte de alambreado solo en algunos casos. A continuación se muestra el ejemplo de desarrollo de un experimento con el cual se describe el procedimiento para realizar:

EJEMPLO: Embobinado trifásico imbricado de 4 polos, ejecutado por polos alternados, para conexión estrella

1.- Primero se realiza el cálculo de variables de diseño y se recomienda realizar el diagrama de conexiones para facilitar el procedimiento al momento de alambrear.

En este ejemplo los cálculos y el diagrama aparecen en la figura 49.

2.- Procedemos con el alambreado de una de las fases. Se recomienda utilizar cables de colores, uno para cada fase. Comenzamos con la realización de los “pasos anteriores”, que son las uniones de las bobinas de cada grupo. Por lo que estaremos uniendo las terminales que están dentro del rango 0-48 con las del rango 100-148 .

Para este caso ejemplo realizamos el primer grupo de bobinas de 4 bobinas al unir las terminales 101 con 2, 102 con 3, 103 con 4 del motor. El segundo grupo al unir 113 con 14, 114 con 15 y 115 con 16. El tercer grupo uniendo 125 con 26, 126 con 27, 127 con 28. El cuarto grupo uniendo 137 con 38, 138 con 39, 139 con 40. A continuación se muestra en la figura se ilustra este proceso.

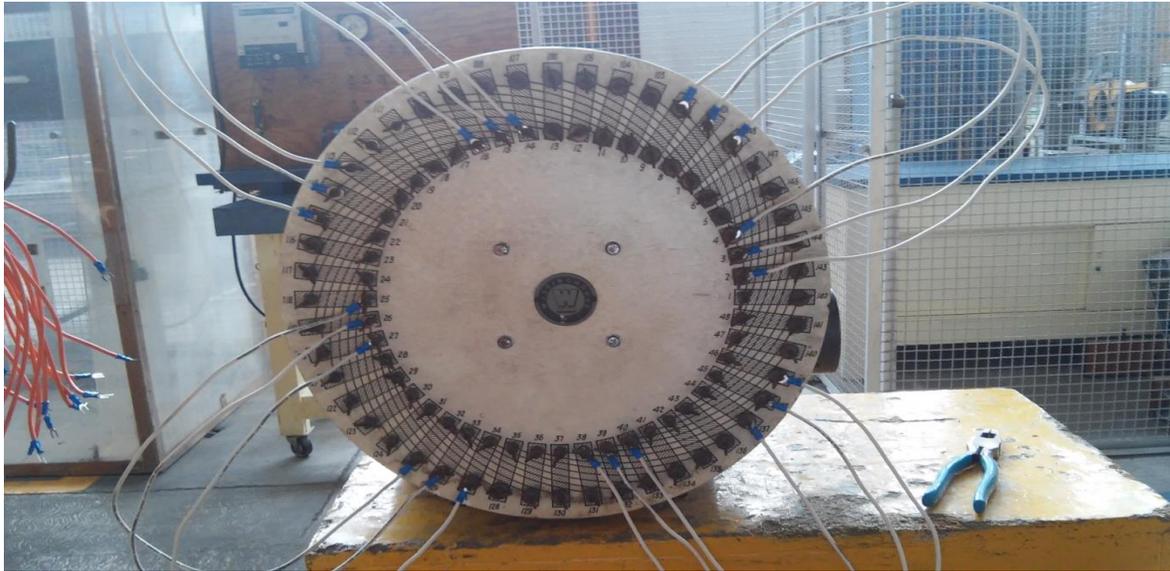


Figura 59: Conexiones para realizar los “pasos anteriores” de la fase 1, Como resultado se obtienen los cuatro grupo de bobinas de esa Fase del motor de 4 polos del ejemplo.

3.- Realizamos el proceso anterior con el resto de las fases.

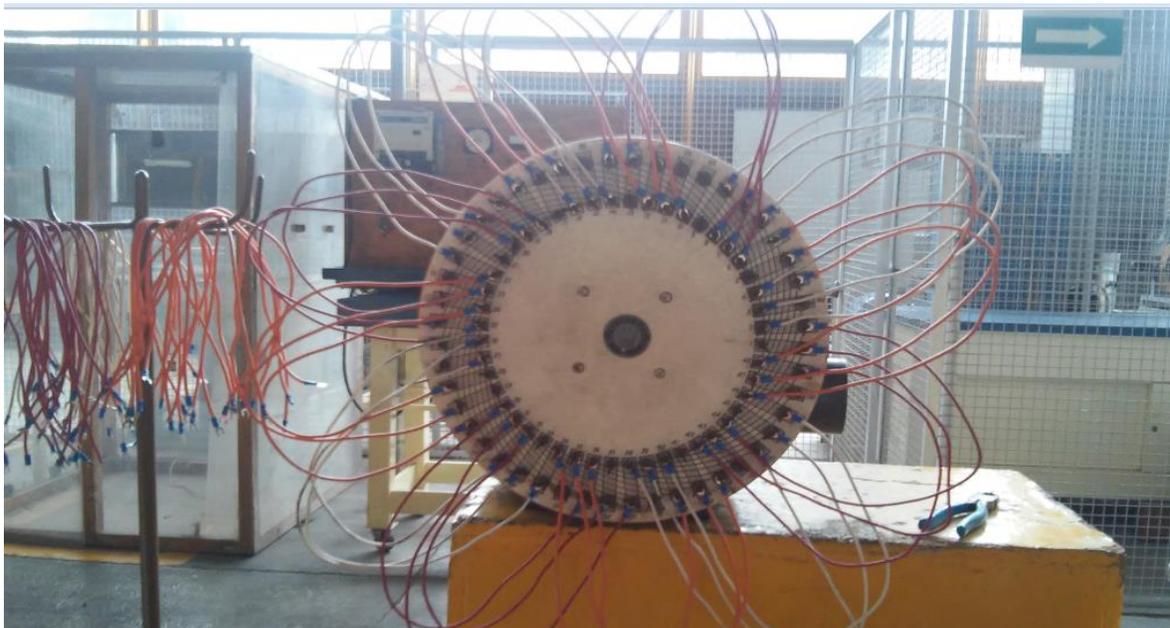


Figura 60: Conexiones de las bobinas formando los grupos de bobinas del ejemplo.

4. Realizamos las conexiones entre grupos de bobinas. Unimos los principios y finales de cada grupo de bobinas dependiendo si el embobinado se ejecuta por polos consecuentes o por polos alternados.

- a. Para polos alternados: unir principio con principio y final con final.
- b. Para polos consecuentes: unir principio con final.

Para el ejemplo hacemos las siguientes uniones:

- Unir el primer grupo con el segundo : 104 con 116 (final con final)
- Unir el segundo grupo con el tercer : 13 con 25 (principio con principio)
- Unir el tercer grupo con el cuarto : 128 con 140 (final con final)

5.- Posteriormente ubicamos las terminales u,v,w donde entran las fases así como las terminales con las que hacemos uniones para obtener conexiones delta , estrella , doble estrella , doble delta (Según sea el caso) . Una vez ubicadas hacemos las conexiones necesarias para obtener la configuración deseada.

Para nuestro caso ejemplo tenemos los inicios de fase u,v,w en las terminales 1,9,17 respectivamente . Las terminales x,y,z en las terminales 37,45, 5 respectivamente. Por lo que conectamos x,y,z entre sí para hacer la configuración estrella . Quedando las terminales u,v,w para conectar el motor a una red trifásica.

6. Revisar que las conexiones son correctas. Se recomienda revisar que se hayan realizado bien las conexiones antes de seguir con las pruebas para evitar un corto o un mal funcionamiento. Para ello se pueden seguir las siguientes indicaciones:

- Revisar que no existan terminales sin conexión , en caso de que existan verificar el alambrado
- Verificar que todas las conexiones estén bien hechas, que los conductores estén bien sujetos en las terminales del motor. Con esto se evita que cuando el equipo esté en marcha se desconecte algún cable y exista peligro.
- Verificar con el uso del Multímetro que la resistencia entre fases sean idénticas o con un margen de diferencia pequeño, en caso de existir un desbalance verificar el alambrado y modificarlo hasta que se cumpla esta condición. También podemos revisar la resistencia por partes, por ejemplo solo una fase, la mitad, por grupo de bobinas, etcétera . Con lo cual podemos encontrar más fácil donde está el problema.

7.-Conexión del motor a la red : , conectamos el motor a la fuente de alimentación AC y los instrumentos de medición dependiendo los parámetros que queramos medir, normalmente corriente, voltaje.

En este caso de ejemplo conectamos las terminales u,v,w en las terminales de salida de trifásica de la fuente , conectamos un amperímetro para medir la corriente de línea. Como se muestra a continuación:



Figura 61: Conexiones del motor al equipo de medición y fuente variable trifásica.

8.- Puesta en marcha y mediciones: una vez conectado el equipo ponemos en marcha el motor, es importante que antes de hacerlo verificar que no se encuentre bloqueado y mantener distancia con las conexiones y partes móviles para evitar accidentes.

También es importante proteger al equipo en caso de anomalías en el funcionamiento del motor por lo que se recomienda comenzar a mover la perilla de la fuente poco a poco como si se tratara de un arranque a voltaje reducido. Mientras hacemos esto revisamos que los valores de corriente no sean muy elevados, en caso de que sean muy elevados se debe apagar para evitar daños en el equipo de medición o en el motor. Recordar que en el arranque la corriente es elevada por lo que podremos tener valores inclusive arriba de 30A pero por un tiempo muy corto. Cuando el motor este en funcionamiento en vacío corriente muy altas pueden ser peligrosas por lo que si se tienen corrientes altas, arriba de 15A, debe considerarse apagar el motor o tomar lecturas muy rápido.

Por último tomamos lectura del equipo de medición.

Experimentos con embobinado Ondulado

Para este embobinado ondulado se realizan los “pasos posteriores” para el alambrado por lo que es recomendable hacer una tabla de conexiones y hacer las conexiones de manera ordenada. A continuación se muestra un ejemplo que se realizó.



Conexiones			
fase	fase1	fase 2	fase 3
Comienzo de fase	1	9.0	17.0
Terminales a unir	101 con 25	109 con 33	117 con 41
	125 con 2	133 con 10	141 con 18
	102 con 26	110 con 34	118 con 42
	126 con 3	134 con 11	142 con 19
	103 con 27	111 con 35	119 con 43
	127 con 4	135 con 12	143 con 20
	104 con 28	112 con 36	120 con 44
	128 con 5	136 con 13	144 con 21
	105 con 29	113 con 37	121 con 45
	129 con 6	137 con 14	145 con 22
	106 con 30	114 con 38	122 con 46
	130 con 7	138 con 15	146 con 23
	107 con 31	115 con 39	123 con 47
	131 con 8	139 con 16	147 con 24
108 con 32	116 con 40	124 con 48	
Final de fase	132	140	148

Figura 62: Conexiones del Embobinado Ondulado Trifásico de 4 polos.

Embobinado a una capa

Para el embobinado a una capa, se sigue el diagrama recordando que no utilizaremos las bobinas pares. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de embobinado a una capa.

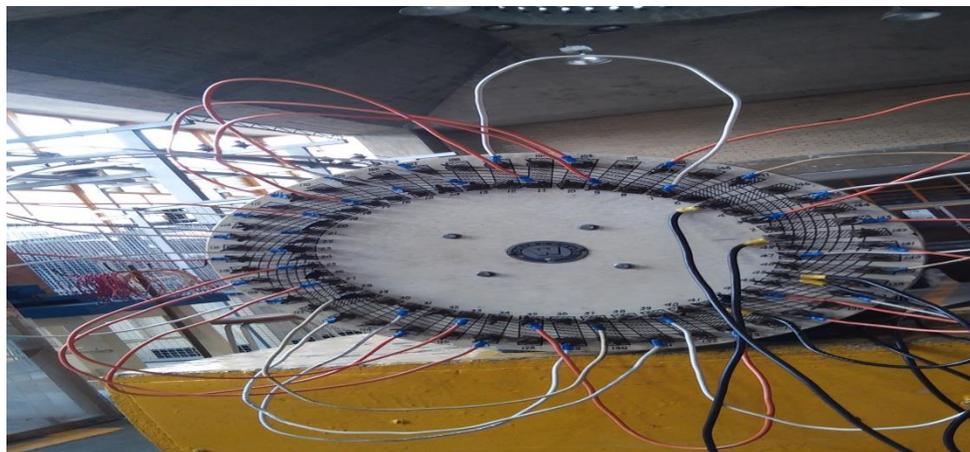


Figura 63: Conexiones del Embobinado imbricado a una capa Trifásico de 4 polos.

Desarrollo de prácticas para el embobinado de un motor de inducción

Resultados de las pruebas:

A continuación se muestra en la siguiente tabla los resultados de las mediciones de las pruebas que se realizaron en esta tesis, con distintas configuraciones para el motor educacional.

Prueba	Polos	Fases	Conexion	Descripción	Voltaje de línea	Voltaje de fase	Corriente línea en vacío	Corriente fase en vacío	Corriente línea en arranque	Corriente fase en arranque
					(V)	(V)	(A)	(A)	(A)	(A)
1	2	3	Estrella	Imbricado , polos alternados , paso muy acortado	220	127	3.2		30	
2	4	3	Estrella	Imbricado , polos consecuentes	220	127	1.0		21	
3	4	3	Estrella	Imbricado, polos alternados	220	127	1.8		17.5	
4	6	3	Estrella	Imbricado, polos alternados	220	127	2.9		10.0	
5	6	3	Estrella	Imbricado, polos alternados	110	64	1.4		7.0	
6	6	3	Delta	Imbricado, polos alternados	220		9.0	5.2	21.0	12.1
7	6	3	Doble Delta	Imbricado, polos alternados	75		11.5	6.6	40.0	23.1
8	6	3	Doble estrella	Imbricado, polos alternados	110	64	5.3		22.0	
9	8	3	Estrella	Imbricado, polos alternados , paso alargado	220	127	4.85		9.2	
10	8	3	Doble estrella	Imbricado, polos alternados , paso alargado	150	87	21.5		29.5	
11	12	2	Estrella	Imbricado, polos alternados , paso muy alargado	no arranca , se necesita mas voltaje					
12	6	2	NA	Imbricado, polos alternados	220	127	3.7		13.8	
13	6	2	NA	Imbricado, polos alternados	110	64	5.4		21	
14	4	3	Estrella	Ondulado	220	127	2.54		23.5	
15	6	2	NA	Ondulado	no arranca , se necesita mas voltaje					
16	4	3	Estrella	Ondulado progresion doble	no arranca , corrientes muy elevadas					

Prueba	Polos	Fases	Conexion	Descripción	Potencia en vacío		Potencia en arranque		Velocidad sincrona	Velocidad	Frecuencia
					(W)	(HP)	(W)	(HP)	(rpm)	(rpm)	(hz)
1	2	3	Estrella	Imbricado , polos alternados , paso muy acortado	1,219	1.6	11,432	15.3	3600	3586	60
2	4	3	Estrella	Imbricado , polos consecuentes	381	0.5	8,002	10.7	1800	1794	60
3	4	3	Estrella	Imbricado, polos alternados	686	0.9	6,668	8.9	1800	1795	60
4	6	3	Estrella	Imbricado, polos alternados	1,105	1.5	3,811	5.1	1200	1197	60
5	6	3	Estrella	Imbricado, polos alternados	267	0.4	1,334	1.8	1200	1197	60
6	6	3	Delta	Imbricado, polos alternados	3,429	4.6	8,002	10.7	1200	1198	60
7	6	3	Doble Delta	Imbricado, polos alternados	1,494	2.0	5,196	7.0	1200	1197	60
8	6	3	Doble estrella	Imbricado, polos alternados	1,000	1.3	4,192	5.6	1200	1197	60
9	8	3	Estrella	Imbricado, polos alternados , paso alargado	1,848	2.5	3,506	4.7	900	888.7	60
10	8	3	Doble estrella	Imbricado, polos alternados , paso alargado	5,586	7.5	7,664	10.3	900	898	60
11	12	2	Estrella	Imbricado, polos alternados , paso muy alargado	no arranca , se necesita mas voltaje						
12	6	2	NA	Imbricado, polos alternados	940	1.3	3,506	4.7	1200	1190	60
13	6	2	NA	Imbricado, polos alternados	686	0.9	2,667	3.6	1200	1191	60
14	4	3	Estrella	Ondulado	968	1.3	8,955	12.0	1800	1795	60
15	6	2	NA	Ondulado	no arranca , se necesita mas voltaje						
16	4	3	Estrella	Ondulado progresion doble	no arranca , corrientes muy elevadas						

Figura 63: Resultados de diferentes configuraciones con el motor educacional.

Análisis de Resultados:

Como podemos ver la mayor parte de los experimentos resultaron exitosos. A continuación se hacen las siguientes observaciones relevantes:

- Para cada caso funcional notamos como es que varía la velocidad dependiendo el número de polos y dado que el motor tiene una carga mínima no hay una variación grande con respecto a la velocidad síncrona del diseño.
- Si comparamos el experimento 4 con una configuración en estrella con el 6 en configuración Delta, notamos que la potencia en vacío prácticamente se triplica. Esto se debe a que aplicando el mismo voltaje de línea, la potencia en delta es el triple que en estrella.
- Notamos que la potencia en vacío del experimento 4 contra el 5 es prácticamente cuatro veces mayor, esto es porque al duplicar el voltaje se cuadruplica la potencia.
- A partir del experimento 5 y 8 podemos demostrar cómo es que prácticamente se cuadruplica la potencia al cambiar de una configuración estrella a doble estrella utilizando el mismo voltaje.
- El experimento 7 con configuración imbricada de 6 polos en doble delta, se realizó con un voltaje menor ya que demandaba una potencia alta en el arranque. Notamos que por sus altos valores de potencia con respecto al voltaje esta configuración es la que más potencia puede entregar para ese número de polos.
- En los experimentos del 4-8 notamos que para la potencia necesaria en el arranque no se cumple la porción que debe aumentar, pero es mayor en configuraciones que demandan mayor potencia. Se intuye que aunque puede ser mayor potencia durante el arranque, no es necesaria para vencer la inercia y alcanzar la velocidad deseada.
- El experimento 11 y 15 no arrancaron. Se observó que no arrancaron por falta de más voltaje, ya que no se presentaron corrientes elevadas. Además al ser configuraciones bifásicas, la impedancia total por cada fase es mayor que en un trifásico, porque se tienen más número de bobinas en serie por cada fase.
- El experimento 16 resulto Disfuncional, por lo que no es viable hacer una progresión de dos ranuras al ejecutar un embobinado Ondulado.

Pruebas de configuraciones como Motor monofásico

En esta prueba se realizó primero el Cálculo del capacitor. Para ello se efectuó el experimento de la figura 44 con la configuración del experimento 12 (6 polos, imbricado bifásico) y de la cual se obtuvo los siguientes resultados:

Prueba	Voltaje de línea (v)	Voltaje de Fase (v)	Corriente de Línea 1 (A)	Corriente de Línea 2 (A)	Corriente de Línea Promedio (A)	Potencia de fase 1 (w)	Potencia de fase 2 (w)	Potencia de fase promedio (w)
Análisis en vacío	220	127	3.54	3.25	3.4	200	x	200
Análisis en Arranque (rotor Bloqueado)	220	127	14.1	14.1	14.1	500	590	545.0

Figura 64: Resultados de pruebas en configuración bifásica para el análisis del capacitor necesario en configuración monofásica

Posteriormente utilizamos las siguientes fórmulas para obtener el capacitor con el cual lograremos la cuadratura en cada punto de operación.

$$Req = \frac{P}{I^2} \quad Xeq = \sqrt{\left(\frac{V}{I}\right)^2 - Req^2} \quad Xc = Xeq - Req * \text{tang}(\text{angcos}(fp) - 90)$$

Obtenemos entonces los siguientes resultados:

Prueba	Resistencia equivalente de fase (Ohm)	Reactancia equivalente de fase (Ohm)	Factor de Potencia	Reactancia del capacitor (Ohm)	Capacitancia (MF)
Análisis en vacío	17.4	33.1	0.46	42.2	75.4
Análisis en Arranque (rotor Bloqueado)	2.7	8.6	0.30	9.5	336.8

Figura 65: Resultados de los Cálculos para el capacitor necesario en configuración monofásica

Por lo tanto para realizar el experimento monofásico necesitamos un capacitor permanente de 75MF o un Capacitor de arranque de 337MF.

En la práctica nosotros utilizamos un capacitor de 70MF, con el cual logramos obtener un motor monofásico con una mejor operación en vacío. Cabe mencionar que se hace un experimento en el cual nosotros simulamos como sería el funcionamiento con capacitor de arranque. A continuación se muestran unas imágenes de las pruebas de laboratorio.

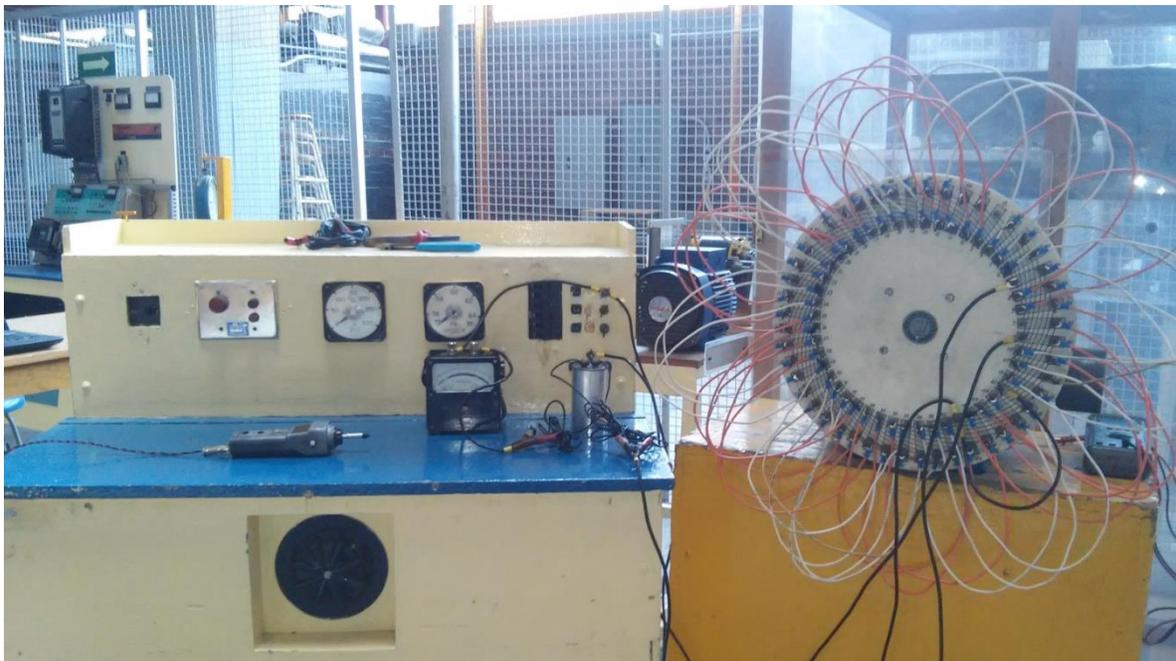


Figura 66: Pruebas del Embobinado Imbricado Monofásico de 6 polos con capacitor permanente.



Figura 66: Pruebas del Embobinado Imbricado Monofásico de 6 polos con capacitor de arranque.

VI. Prácticas de laboratorio

Todas las pruebas que se llevaron a cabo y que se trató fueran lo más representativas en cuanto a cada tipo de embobinado, se desglosan en una herramienta en Excel que se desarrolló en específico para esta tesis. Cada prueba en orden descendente contemplaría cada una de los experimentos. En cuanto a la elección de los experimentos, la distribución de las prácticas, su desarrollo y posible justificación, así como los resultados finales, quedan a criterio del profesor. La herramienta creada en Excel, se adjunta en un disco a esta tesis, para determinar que experimentos quiere realizar el profesor en su clase.

Como parte de esta tesis se hace la recomendación de los nombres de algunas prácticas y el contenido que podrían tener cada una. Estas prácticas y el orden que se propone están basadas en la manera en que puede aprender por nivel de dificultad y se busca cubrir la cantidad de temas que se pueden abarcar con el Motor educacional.

Los nombres de las prácticas propuestas y su orden sería el siguiente:

1. Principios de funcionamiento del Motor trifásico de corriente alterna Jaula de Ardilla y embobinado de motores.
2. Embobinados con sección Fraccionaria.
3. Conexiones Delta, Estrella, Doble Estrella , Doble Delta
4. Motor bifásico y Monofásico
5. Embobinado ondulado.
6. Embobinado a una capa

A continuación se desglosa de cada práctica recomendada los temas que abarcarían, de que tratarían y los experimentos que podrían contener.

1. Principios de funcionamiento del Motor trifásico de corriente alterna Jaula de Ardilla y embobinado de motores.

Objetivo: A través de esta práctica se busca que el alumno entienda el principio de funcionamiento del motor trifásico jaula de ardilla y además aprenda los conceptos básicos del embobinado de motores con los cuales podrá realizar el alambrado de una prueba sencilla.

Se recomienda que el alumno entienda cómo funciona el motor teóricamente, Donde se puede usar principalmente información del segundo capítulo de esta tesis y las figuras 4, 5, 6,7 y 8.

Por otro lado se propone que antes de empezar con el alambrado el alumno entienda los conceptos esenciales del embobinado, principalmente los referentes a

polos, ranuras, sección o grupos de bobinas. Para tal efecto podemos utilizar toda la información contenida en el capítulo 3 de esta tesis.

De manera opcional se propone desarrollar un Previo de la práctica y resolverlo en el laboratorio antes de empezar alambrear.

Para esta práctica se propone realizar el experimento 1, Motor trifásico imbricado de 2 polos en estrella, ya que no es tan complicado de alambrear y encontrar fallas en el alambreado en caso de que existan. Además de que usando cables de color es sencillo visualizar cómo va la secuencia de los polos.

De manera opcional se propone que a partir del experimento 1 se alambre el experimento 2 (Motor trifásico de 4 polos consecuentes), en el que solo se tiene que cambiar las uniones entre grupos para lograrlo.

2. Embobinados con sección Fraccionaria.

Objetivo: Se propone que mediante esta práctica se busca que el alumno entienda los conceptos para poder realizar embobinados con sección fraccionaria, que le servirán para realizar las siguientes prácticas propuestas, ya que los conceptos y la configuración que podrá ejecutar en esta práctica podrán usarlas para el resto.

Se propone para esta práctica realizar el experimento 4.

De manera opcional se propone que a partir del experimento 4 se alambre el experimento 6 (configuración Delta) en el que solo se tiene que cambiar las uniones entre U,V,W y X,Y,Z.

3. Conexiones Delta, Estrella, Doble Estrella , Doble Delta

Objetivo: Por medio de esta práctica se pretende que el alumno entienda cuales son las distintas conexiones que puede realizar con un motor trifásico con la finalidad de obtener un diseño con mayor o menor potencia entre las posibles conexiones que puede realizar.

Se propone entienda toda la teoría relacionada y logre saber de cualquier diseño cuales son las posibles conexiones Delta, estrella y conexiones en paralelo que puede realizar. Se puede utilizar la teoría encontrada en el capítulo 3 de esta tesis.

Se propone realizar un embobinado y a partir de hacer cambios para obtener las configuraciones Delta, Estrella , doble Delta y Doble estrella que son las configuraciones más comunes de motores en la práctica.

Se propone realizar el experimento 4 , posteriormente cambiar el voltaje y realizar el experimento 5 . Después cambiar a conexión Delta (experimento 6).

Posteriormente se propone cambiar a conexión doble Delta seguido por doble Estrella. En cada caso se puede considerar las figuras 51 y 52 . Con el cual podrá facilitar su ejecución.

Por último se recomienda hacer un análisis comparativo entre las configuraciones de esta práctica, donde se tendrán que llegar a Observaciones similares a las de esta Tesis.

4. Motor bifásico y Monofásico

Objetivos: En esta práctica se pretende que el alumno pueda realizar las configuraciones de un motor bifásico y un motor monofásico. Para ello se propone que primero se entiendan los principios de funcionamiento

Se recomienda utilizar los capítulos 2 y 3 de esta tesis en los cuales se explica el funcionamiento de un motor bifásico y monofásico y además como podemos calcular el capacitor para hacer la configuración monofásica.

De manera opcional se propone desarrollar un Previo de la práctica y resolverlo en el laboratorio antes de empezar alambrear.

Para esta práctica se propone realizar el experimento 12 en configuración bifásica y a partir de ella realizar la prueba en configuración monofásica que se realizó en esta tesis.

5. Embobinado ondulado.

Objetivos: A través de esta práctica se busca que el alumno entienda cuales son las características de un embobinado ondulado y sea capaz de ejecutar un ejemplo.

Se recomienda que el alumno entienda las características, Donde se puede usar principalmente información del segundo capítulo de esta tesis.

Para esta práctica se propone realizar el experimento 14 .Considerar que este experimento tiene dificultad en el alambrado.

6. Embobinado a una capa.

Objetivos: A través de esta práctica se busca que el alumno entienda cuales son las características de un embobinado a una capa y sea capaz de ejecutar un ejemplo.

Se recomienda que el alumno entienda las características principales de este embobinado, Donde se puede usar principalmente información del segundo capítulo de esta tesis.

Para esta práctica se propone realizar cualquier configuración Imbricada anteriormente propuesta pero con un voltaje de funcionamiento menor, se recomienda realizar un embobinado trifásico imbricado de 4 polos a una capa .Considerar para este experimento un voltaje menor ya que quitando la mitad de las bobinas (impedancia) obtendremos una corriente mayor y además que para cada bobina individual se demanda una potencia mayor.

VII. Conclusiones

A lo largo de la tesis se ha hecho una recopilación de pruebas de manera exhaustiva, cubriéndose todas las posibilidades, en cuanto a las diversas configuraciones.

El carácter de esta tesis fue, y es, que los profesores cuenten con el equipo y con las herramientas para enseñar este tipo de tecnología a los alumnos a nivel licenciatura.

Usualmente, este tipo de “oficio” es muy socorrido y se imparte en las escuelas técnicas, como fue mi caso, que lleve un curso sobre embobinados en el CECATI. Sin embargo, este tipo de cursos carece de base teórica, más bien es un proceso mecanizado, sin mucho contexto analítico, mismo que si se le ha tratado de dar aquí.

Sírvase pues, esta tesis, para enseñar a nivel licenciatura, este tipo de tecnología, cubriendo, en parte, las carencias que los egresados tienen en, labores tan rudimentarias, si se quiere decir, pero tan necesarias de ser conocidas por los futuros ingenieros.

Bibliografía

Jorge Alvarado . (23 de octubre de 2014). *Mapa Conceptual Motores Electricos*. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <https://prezi.com/gnap9za2jrek/mapa-conceptual-motores-electricos/>

Bohn Emiliano. (12 de 11 de 2009). *El motor eléctrico*. Recuperado el 24 de abril de 2016, de <http://www.taringa.net/post/ebooks-tutoriales/3903023/Todo-para-Bobinado-de-motores-electrico.html>

David Suárez. (09 de 11 de 2011). *Todo Técnico*. Recuperado el 24 de abril de 2016, de [<http://todotecnicoymas.blogspot.mx/2011/12/calculo-de-motores-electricos-v14.html>]

fons, J. G. *Capacitación de bobinados de motores eléctricos*. Héctor Pacheco V.

Home, G. (21 de julio de 2014). *Motor electrico*. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <https://glennhomej.wordpress.com/tag/motor-electrico/>

Jorge Enrique Murillo Hurtado. (2010). *Manual para el Rebobinado de motores eléctricos de inducción* . Recuperado el 24 de abril de 2016, de <http://es.slideshare.net/carlosante28/bobinado-de-motores>

Juan José Hollos García. (20 de 04 de 2008). *Bobinado de motores eléctricos de corriente alterna*. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://es.slideshare.net/RobertoChamie/adjuntos-fichero-408733>

Juan M. Fernández . (2010). *Bobinado de Motores eléctricos*. Recuperado el 20 de ABRIL de 2016

Norberto A. Lemozy . (2010). *ARROLLAMIENTOS* . Recuperado el 24 de abril de 2016, de https://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/maquinas_electricas_1/apuntes/11_arrollamientos.pdf

Pablo, M. S. (1974). *121 Devanados de Motores Trifásicos*. S/Ed.

UNAM, F. (1999). *Misión y visión* . Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.ingenieria.unam.mx/paginas/misionVision.htm>

Lesur Luis, *Manual de Embobinado de Motores*, Editorial Trillas, 1998

Mileaf Harry , *Electricidad Siete* , Limusa noriega Editores , 1975 .

Vargas Prudente Pablo, *Ahorro de Energía en Motores Eléctricos*, Limusa Noriega Editores, 1997.