

Escuela Politécnica de Ingeniería Sección Náutica, Máquinas
y Radioelectrónica Naval

Universidad de La Laguna



TRABAJO FIN DE GRADO

“Bobinado de motor asíncrono trifásico de c.a.”

Edorta Joseba Zuñiga Kalab

1 de Julio 2019

Bobinado de motor asíncrono trifásico de c.a.



NOMBRE: EDORTA JOSEBA ZUÑIGA KALAB

GRADO EN TECNOLOGÍAS MARINAS

1 de Julio de 2019

Dr. Don Federico Padrón Martín, Profesor Contratado Doctor Tipo I, perteneciente al área de ingeniería de los procesos de fabricación, pertenecientes a la unidad departamental de ingeniería marítima de la universidad de la laguna, certifica que:

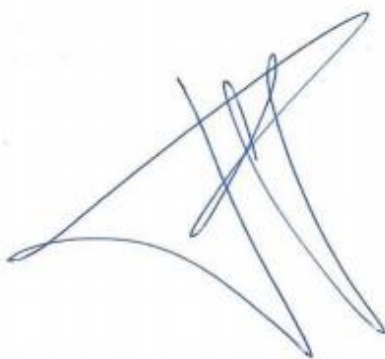
Don Edorta Joseba Zuñiga Kalab, ha realizado el Trabajo Fin Grado bajo mi dirección con el título:

“Bobinado de motor asíncrono trifásico de c.a.”

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser evaluado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a Julio 2019.



Fdo. Federico Padrón Martín

Director del Trabajo de Fin de Grado.

Don Servando Luis León, Profesor asociado del área de ingeniería de procesos de fabricación, pertenecientes a la unidad departamental de ingeniería marítima de la universidad de la laguna, certifica que:

Don Edorta Joseba Zuñiga Kalab, ha realizado el Trabajo Fin Grado bajo mi dirección con el título:

“Bobinado de motor asíncrono trifásico de c.a.”

Revisado dicho trabajo, estimo que reúne los requisitos para ser evaluado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a Julio 2019.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Servando Luis León', written in a cursive style.

Fdo. Servando Luis León

Director del Trabajo de Fin de Grado

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar, al Dr. D. Federico Padrón Martín, por su dedicación y su apoyo para la elaboración del TFG, y por transmitir sus conocimientos en su asignatura, y al D. Servando R. Luis León por sus conocimientos y ayuda aportado en el taller.

A la empresa PEYMAN S.L.U. por darme la gran oportunidad de realizar las prácticas en su taller electromecánico, llegando a mejorar mi formación tanto profesional y académica, a la cual les deseo la mejor suerte del mundo.

A mi gran familia, por su enorme apoyo incondicional durante toda la vida. En especial a mi madre, mis hermanos, mi abuela, Angie, Amy, a la familia Serpa Mulé y a ti Alexandra, gracias por todo el amor y paciencia.

¡MUCHAS GRACIAS!

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. OBJETIVOS	20
III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES	24
3.1. Generalidades de motores eléctricos	26
3.1.1. Tipos de motores eléctricos de corriente alterna	29
3.1.2. Principio de funcionamiento del motor asíncrono	30
3.1.3. Constitución del motor asíncrono trifásico	30
3.2. Tipos de rotor en motores asíncronos de corriente alterna	34
3.3. Relaciones entre los bobinados de rotor y estator	39
3.4. Devanado del motor	40
3.4.1. Número total de bobinas	40
3.4.2. Clasificación de los devanados	41
IV. METODOLOGÍA	42
4.1. Documentación bibliográfica	44
4.2. Metodología del trabajo de campo.....	44
4.3. Marco referencial	44
V. RESULTADOS.....	46
5.1. Bobinados del estator en los motores asíncronos	50
5.2. Proceso del bobinado.....	53
5.3. Operación de bobinado para la puesta en marcha.....	54
5.4. Comprobación del estado de las bobinas del motor. Megado y comparación de resistencia óhmica.....	54
5.5. Equilibrado del rotor	56
5.6. Lavado de piezas y secado	57
5.7. Sustitución de rodamientos	58
5.8. Medición de cajas y ejes	59
5.9. Esquema del bobinado.....	60
5.10. Toma de datos para la realización del nuevo devanado.....	64
5.11. Extracción de la bobina dañada	65
5.12. Realización de bobinas	66
5.12.1. Materiales conductores.	70
5.13. Colocación y aislamiento de las bobinas	71
5.14. Sujeción de las ranuras.....	73
5.15. Barnizado de devanados eléctricos.....	74
5.15.1. Método de aplicación del barniz.....	75

5.16. Pintado del motor.....	78
5.17. Secado de los bobinados impregnados.....	78
5.18. Comprobación del motor asíncrono trifásico de c.a.	80
5.19. Procesos de elaboración de un motor asíncrono trifásico de c.a. a modo de maqueta.	80
VI. CONCLUSIONES	88
VII. BIBLIOGRAFÍA	92

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Motor eléctrico con carcasa cerrada	26
Ilustración 2.	Motor eléctrico con carcasa abierta	26
Ilustración 3.	Motor eléctrico con carcasa abierta a prueba de goteo.....	27
Ilustración 4.	Motor eléctrico con carcasa cerrada a prueba de explosivos	27
Ilustración 5.	Estator ranurado sin bobinas.	27
Ilustración 6.	Estator de polos salientes	28
Ilustración 7.	Estator con las ranuras limpias de bobinas.....	28
Ilustración 8.	Rotor de jaula de ardilla simple	29
Ilustración 9.	Principio de funcionamiento del motor asíncrono	30
Ilustración 10.	Constitución del motor asíncrono trifásico.....	31
Ilustración 11.	Rotor Bobinado	31
Ilustración 12.	Rotor cortocircuitado de jaula de ardilla	32
Ilustración 13.	Placa de las características del motor asíncrono trifásico	33
Ilustración 14.	Conexión Estrella- Triángulo en la placa de bornes.....	33
Ilustración 15.	Pletinas para el conexionado en la placa de bornes.....	34
Ilustración 16.	Rotor de jaula de ardilla simple	35
Ilustración 17.	Rotor de jaula de ardilla doble.....	36
Ilustración 18.	Rotor de ranura profunda.....	37
Ilustración 19.	Rotor bobinado	38
Ilustración 20.	Rotor de jaula de ardilla simple	38
Ilustración 21.	Rotor bobinado o de anillos rozantes	39
Ilustración 22.	Devanado de un rotor bobinado y de un estator con rotor de jaula de ardilla	40
Ilustración 23.	Devanado de 1 capa y 2 capas por ranuras	40
Ilustración 24.	Devanado del estator.....	50
Ilustración 25.	Moldes para la construcción de las bobinas.....	51
Ilustración 26.	Máquina-herramienta bobinadora automática.....	51
Ilustración 27.	Devanado sin conexión.....	52
Ilustración 28.	Estator dañado.....	54
Ilustración 29.	Prueba de megado.....	55
Ilustración 30.	Conexión para la comparación de resistencias.....	56
Ilustración 31.	Equilibrado del rotor de jaula de ardilla	57
Ilustración 32.	Lavado de tapa de ventilación	57
Ilustración 33.	Lubricante protector y limpador.....	58

Ilustración 34. Representación de extracción de rodamiento	58
Ilustración 35. Medición de cajera y eje mediante micrómetro	59
Ilustración 36. Devanado con sus conexiones	60
Ilustración 37. Esquema de devanado de 2 capas, conexionado en serie de 1500 r.p.m.....	61
Ilustración 38. Esquema de devanado conexionado doble paralelo.....	62
Ilustración 39. Esquema de devanado conexionado en serie de 1500 r.p.m.....	63
Ilustración 40. Datos para la elaboración de las bobinas	64
Ilustración 41. Extracción de bobina por aportación de calor.....	66
Ilustración 42. Resultado de extracción de bobinas mediante aplicación de soplete	66
Ilustración 43. Moldes para la construcción de las bobinas.....	67
Ilustración 44. Bobinador automática	67
Ilustración 45. Carretes de hilos para la bobinadora automática	68
Ilustración 46. Módulo de sensores de hilos	68
Ilustración 47. Elemento para tensar los hilos	69
Ilustración 48. Representación de moldes y bobinas	69
Ilustración 49. Grupo de bobinas.....	70
Ilustración 50. Material aislante y estator aislado.....	72
Ilustración 51. Colocación e hilado de las bobinas	72
Ilustración 52. Cuñas de cierre	73
Ilustración 53. Aplicación de barniz.....	74
Ilustración 54. Aplicación de barniz con aerosol	75
Ilustración 55. Barnizado por inmersión.....	76
Ilustración 56. Operación de impregnación por presión-vacío	77
Ilustración 57. Procesos por impregnación por presión-vacío	77
Ilustración 58. Motor eléctrico recién pintado.....	78
Ilustración 59. Operación de horneado	79
Ilustración 60. Esquema del proceso final del motor asíncrono trifásico de c.a.....	80
Ilustración 61. Descomposición de elementos del motor asíncrono trifásico	81
Ilustración 62. Esquema del devanado conexionado en serie de 1500 r.p.m.....	82
Ilustración 63. Extracción de bobinas sin aporte de calor	83
Ilustración 64. Resultado de extracción de las bobinas.....	83
Ilustración 65. Elaboración del aislamiento.....	84
Ilustración 66. Introducción del aislamiento en las ranuras.....	85
Ilustración 67. Elaboración de las bobinas mediante moldes	85
Ilustración 68. Moldes para paso 8 y paso 6	86
Ilustración 69. Proceso de colocación de las bobinas en el estator	86

Ilustración 70. Proceso de conexionado e hilado del devanado 87

Ilustración 71. Resultado final de la maqueta del motor asíncrono trifásico de c.a. 87

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo de Fin de Grado nace de mi experiencia durante mis prácticas en el taller electromecánico PEYMAN S.L.U., durante las cuales he podido aprender, conocer y vivir la experiencia del mantenimiento correctivo de los motores eléctricos. Siendo un aspecto casi desconocido en nuestro campo académico, viniendo de ahí el interés de poder compartir mis conocimientos y llevar a cabo este Trabajo de fin de grado.

Este trabajo de fin de grado se compone de los siguientes capítulos:

- ❖ En el capítulo **Objetivos** se plantean los motivos que me ha impulsado a realizar este Trabajo de Fin de Grado.
- ❖ En el capítulo **Revisión** se desarrollan los conceptos de los motores eléctricos, los diferentes tipos que podemos encontrar en corriente alterna, el principio de funcionamiento y los componentes principales del motor asíncrono trifásico. Por otra parte, se detalla los elementos fundamentales del motor eléctrico, siendo el rotor y el estator. Además, se realiza una descriptiva de conceptos del devanado de corriente alterna.
- ❖ En el capítulo **Metodología** se ha integrado tres apartados: Documentación bibliográfica, metodología del trabajo de campo y marco referencial
- ❖ En el capítulo **Resultados** se desarrollan los procesos que supone bobinar un motor eléctrico, los materiales empleados en el bobinado, los métodos de barnizado y secado, y el mantenimiento correctivo de un motor asíncrono trifásico de corriente alterna, con sus respectivas fotografías, pudiendo el lector tener una visualización de ello. Además de la realización de un bobinado de un motor asíncrono trifásico de c.a. a modo de maqueta.
- ❖ En el capítulo **Conclusiones** se representa las conclusiones personales obtenido de la materia y desarrollo sobre mi experiencia de este Trabajo de Fin de Grado.
- ❖ En el capítulo **Bibliografía** se proporciona las fuentes que se ha usado para la realización de este trabajo.

I. ABSTRACT

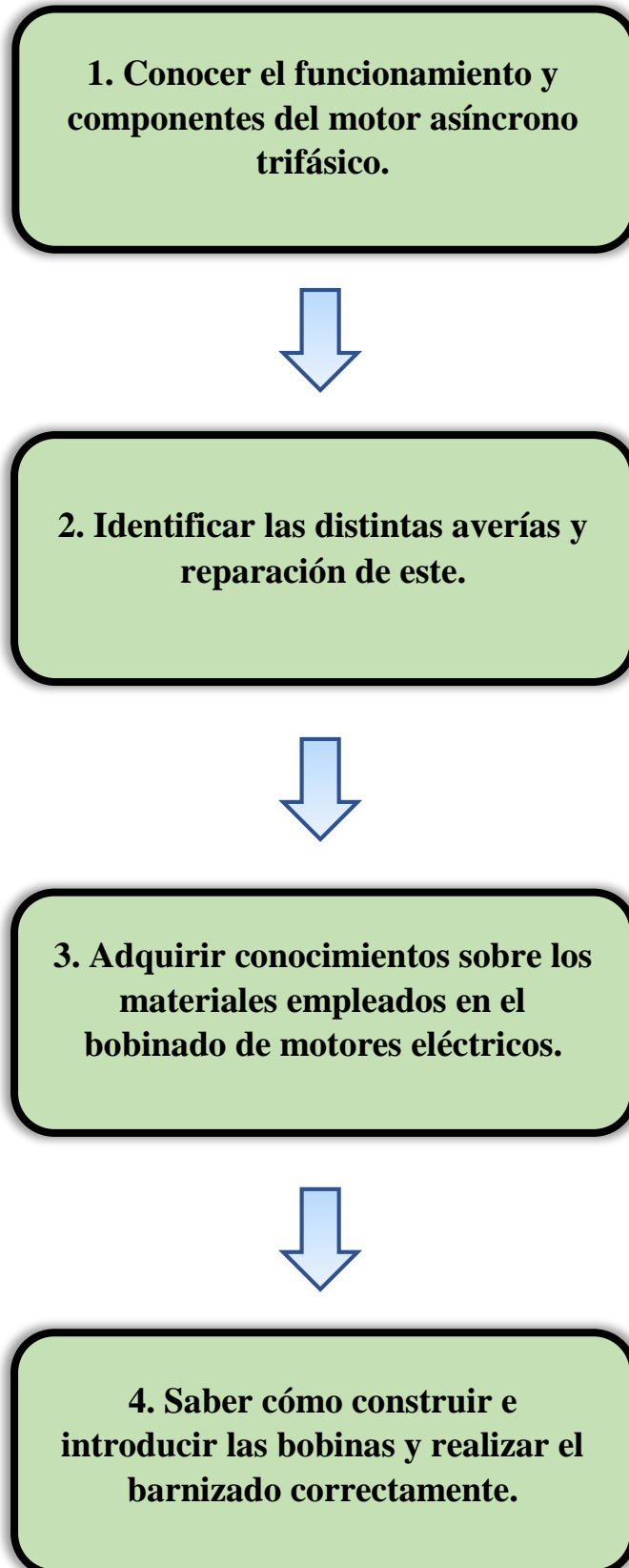
This Final Degree Project was developed from my experience during my internship at the electromechanical repair shop PEYMAN S.L.U. In this practice period, I was able to learn and know the experience of corrective maintenance of electric motors.

Mainly, this project contains information on concepts of electric motors and fundamental elements of the electric motor, as the rotor and the stator. Moreover, it is carry out a descriptive of the concepts of the alternating current winding. It shows the corrective and rewind maintenance of a three-phase alternating current asynchronous motor.

II. OBJETIVOS

II. OBJETIVOS

Los objetivos que se quiere obtener en este TFG son:



III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

III. REVISIÓN Y ANTECEDENTES

En este apartado se desarrolla los conceptos de los motores eléctricos, los diferentes tipos que podemos encontrar en corriente alterna, el principio de funcionamiento y los componentes principales del motor asíncrono trifásico.

3.1. Generalidades de motores eléctricos

Un motor eléctrico se puede definir como una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica. [1]

Generalmente, todo motor eléctrico está constituido de 3 partes fundamentales:

- **Carcasa.** Es la parte que protege al estator y el rotor, y sus demás componentes. Su material de fabricación depende del diseño y su aplicación. No obstante, la carcasa puede ser: [1]
 - Cerrada.



Ilustración 1. Motor eléctrico con carcasa cerrada. Fuente: [2]

- Abierta



Ilustración 2. Motor eléctrico con carcasa abierta. Fuente: [3]

- Sumergible
- A prueba de goteo



Ilustración 3. Motor eléctrico con carcasa abierta a prueba de goteo. Fuente: [4]

- A prueba de explosiones



Ilustración 4. Motor eléctrico con carcasa cerrada a prueba de explosiones. Fuente: [5]

- **Estator.** Elemento fijo cuya función es actuar como una base, a través de este elemento se alojan las bobinas para originar la rotación del motor. Se puede clasificar en: [1]

- Estator ranurado



Ilustración 5. Estator ranurado sin bobinas. Fuente: Elaboración propia.

- De polos salientes

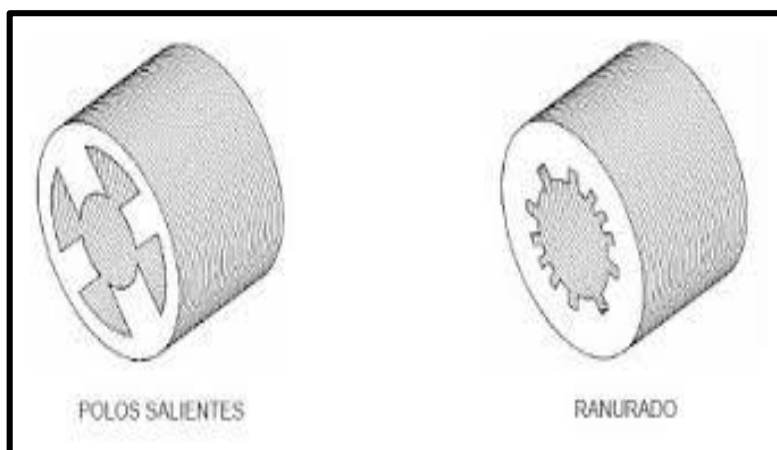


Ilustración 6: Estator de polos salientes. Fuente: [6]

Estos tipos de estator de polos salientes pertenecen a la familia de los motores eléctricos síncronos, objeto que no corresponde a este Trabajo de Fin de Grado.

El estator se constituye de un apilado de chapas magnéticas, de acero de silicio, cuya función es permitir el flujo magnético, por tanto, en ellas se aloja el bobinado. (Ver en la ilustración 7). Siendo la parte magnética del estator y los devanados los que proporcionan los polos magnéticos. [7]

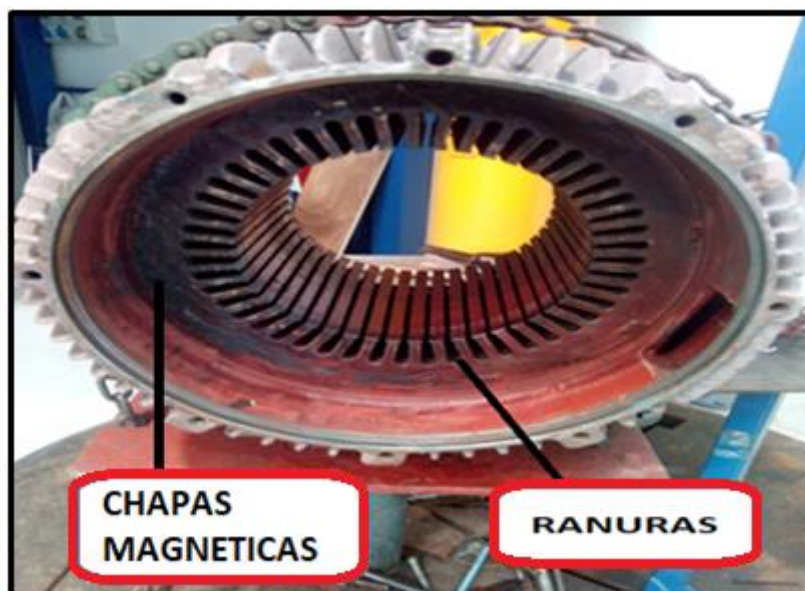


Ilustración 7: Estator con las ranuras limpias de bobinas. Fuente: Elaboración propia

- **Rotor.** Elemento que gira y que da lugar al eje de salida del motor. El rotor es un conjunto de láminas de acero de silicio, y de él depende la transferencia de energía eléctrica a energía mecánica. En la siguiente ilustración se aprecia un rotor de jaula de ardilla simple. [7]

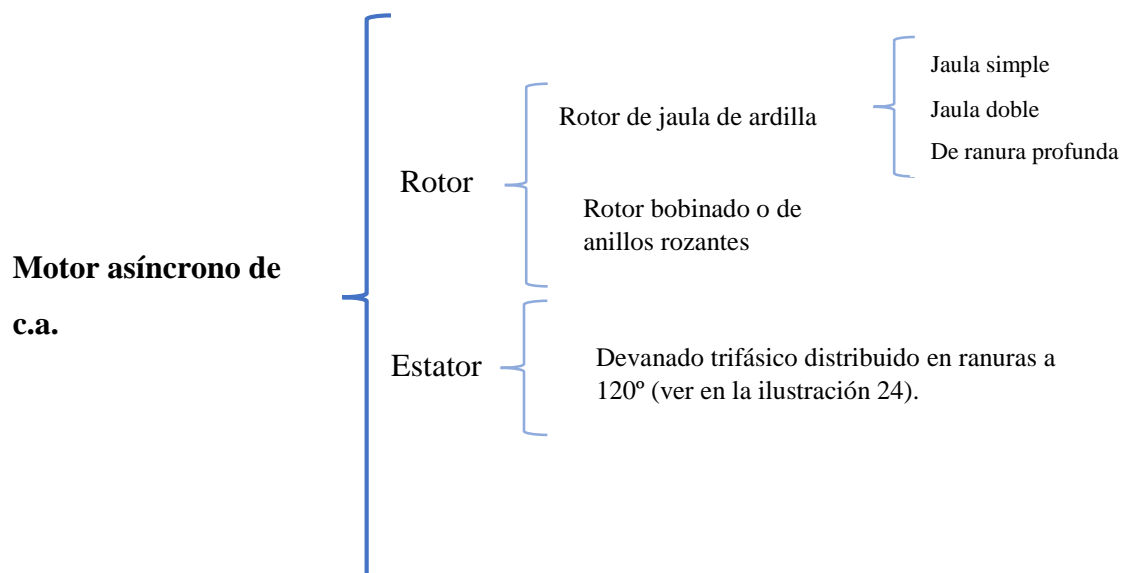


Ilustración 8. Rotor de jaula de ardilla simple. Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. Tipos de motores eléctricos de corriente alterna

Actualmente, existen múltiples tipos de motores eléctricos de corriente alterna, siendo estos los más usados. A continuación, se mostrará una clasificación en el siguiente esquema:

Esquema 1. Clasificación de los motores eléctricos de corriente alterna.



A priori, el tipo de motor eléctrico más usado en la industria es el motor asíncrono de inducción, con rotor de jaula de ardilla (*ver en la ilustración 8 y 18*).

3.1.2. Principio de funcionamiento del motor asíncrono

El principal funcionamiento del motor asíncrono se establece en la elaboración de un campo magnético giratorio. Al aplicarle una corriente c.a. trifásica a las bobinas del estator, se genera un campo magnético giratorio con una velocidad que depende de la frecuencia de la tensión y la cantidad de bobinados. El campo magnético del estator induce una corriente en el rotor, generándose un campo magnético en el rotor, provocando de esta manera que el campo magnético giratorio del estator origine el giro del campo magnético del rotor. (*Ver en la ilustración 9*). [7].

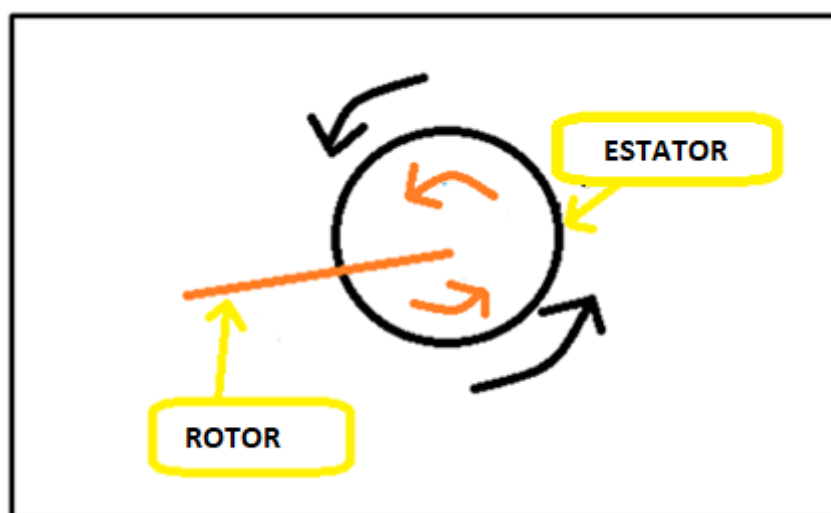


Ilustración 9. Principio de funcionamiento del motor asíncrono. Fuente [7]

Se denomina asíncrono, cuando la velocidad del rotor es menor al campo magnético giratorio del estator, dicho de otra manera, la velocidad del rotor que gira no es la misma a la velocidad del campo magnético del estator, la diferencia de estas velocidades se denomina deslizamiento. [8]

3.1.3. Constitución del motor asíncrono trifásico

A continuación, se presenta una ilustración de la constitución de un motor asíncrono trifásico:

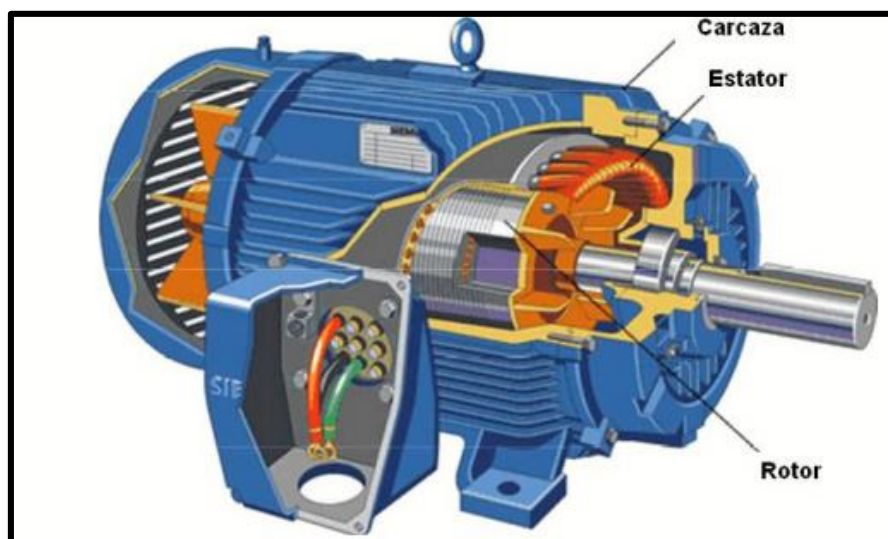


Ilustración 10. Constitución del motor asíncono trifásico. Fuente: [9]

Como se muestra en la ilustración 10, el rotor se halla dentro del campo magnético del estator, el cual, es un elemento cilíndrico dispuesto en él, chapas magnéticas dando la posibilidad de girar de forma libre sobre el eje. [10]

El rotor se puede clasificar en rotor bobinado o también denominado de anillos rozantes (ver en la ilustración 11), y rotor de jaula de ardilla o también llamado como rotor en cortocircuito. (ver en la ilustración 12).

- En el caso del rotor bobinado o de anillos rozantes, en el exterior del cilindro contiene unas ranuras donde se realiza el bobinado. Se establece un bobinado trifásico, conectado en estrella las tres fases por un extremo, y a su vez en el otro extremo del bobinado se enlazan a unos anillos independientemente aislados. Sin embargo, a los anillos se puede conectar unas resistencias para mejorar el par, gobernar la velocidad y restringir las corrientes de arranque. [7]

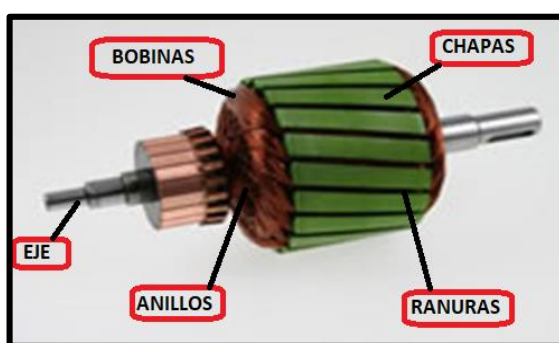


Ilustración 11. Rotor Bobinado. Fuente: [11]

- En caso del rotor en cortocircuito o rotor de jaula de ardilla, la principal diferencia con el anterior rotor bobinado es que no hay bobinas, ni anillos, ni ranuras, el cual se disponen una sucesión de conductores de cobre o aluminio, de forma que se encuentran en cortocircuito mediante dos anillos laterales. (Ver en la ilustración 12). [12]



Ilustración 12. Rotor cortocircuitado de jaula de ardilla. Fuente: Elaboración propia.

La parte fija del motor o también llamado estator, está fabricado por aglomeraciones de chapas de acero. Estas chapas contienen unas ranuras el cual se introduce las bobinas trifásicas, produciendo el campo magnético del estator. (ver en la ilustración 7). [7]

En la actualidad, los motores asíncronos trifásicos son los más usados de manera industrial, por ello nos centraremos en estos, en el capítulo de resultados objeto de este Trabajo de Fin de Grado.

Esta clase de motores son alimentados por corrientes alternas trifásicas. Además, las características dada por el fabricante se representan en una placa de características.



Ilustración 13. Placa de las características del motor asíncrono trifásico. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la tensión de alimentación, esta clase de motores suele representar dos tensiones distintas, esto ocurre debido a que los motores trifásicos pueden conectarse en estrella o triángulo, así se aplique la misma tensión a las fases, la red de alimentación es diferente. En la ilustración 14, se muestra el conexionado de los motores trifásico.

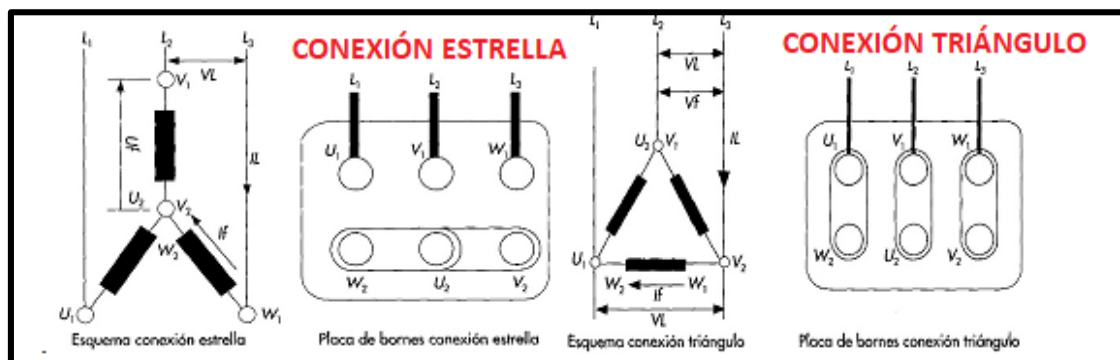


Ilustración 14. Conexión Estrella- Triángulo en la placa de bornes. Fuente: [13]

- En triángulo, se halla la tensión más baja.
- En estrella, corresponde a la tensión más alta en la placa del motor.

Los terminales del bobinado trifásico se encuentran en la caja de bornes del motor. El inicio del bobinado se representa como U1, V1 y W1, y a su vez, los extremos finales del bobinado se nombran como U2, V2 y W2. Sin embargo, para un conexionado más sencillo, se emplean unas pletinas para realizar la conexión estrella o triángulo según se requiera. (Ver en la ilustración 15). [14]

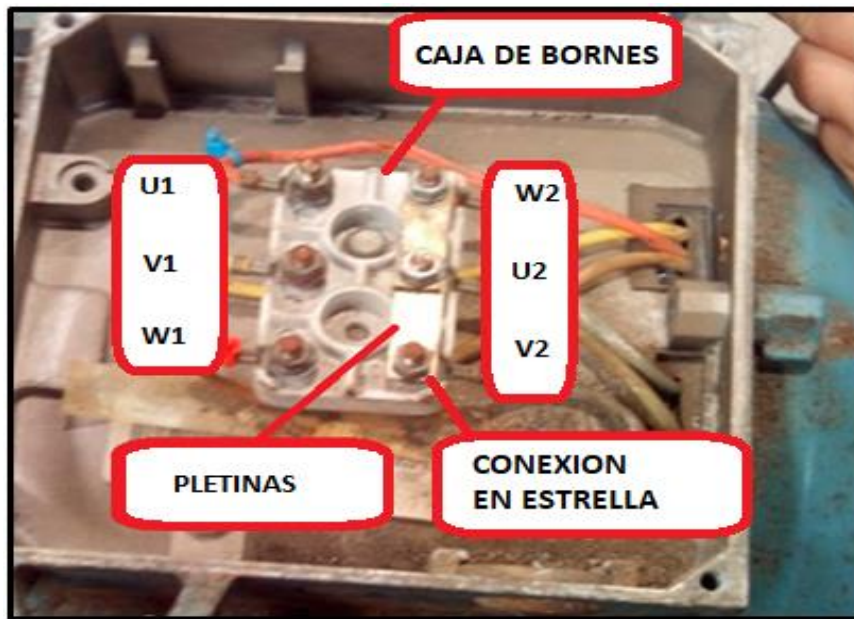


Ilustración 15. Pletinas para el conexionado en la caja de bornes. Conexión en estrella.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Tipos de rotor en motores asíncronos de corriente alterna

Según la construcción del rotor, puede incidir en el par de arranque, debido a la consecuencia de cuanto más inferior sea la impedancia del rotor, aumentan las corrientes inducidas en él, y a su vez, mayor par de arranque. Actualmente los tipos de rotor más empleados en corriente alterna son: [7]

- Rotor de jaula ardilla o en cortocircuito. Dentro de este, los más empleados son: jaula simple, jaula doble y de ranura profunda.
- Rotor bobinado o de anillos rozantes.

Posteriormente, se detalla las características de los diferentes rotores nombrados anteriormente.

- Rotor de jaula ardilla o en cortocircuito
 - *Rotor de jaula de ardilla simple*

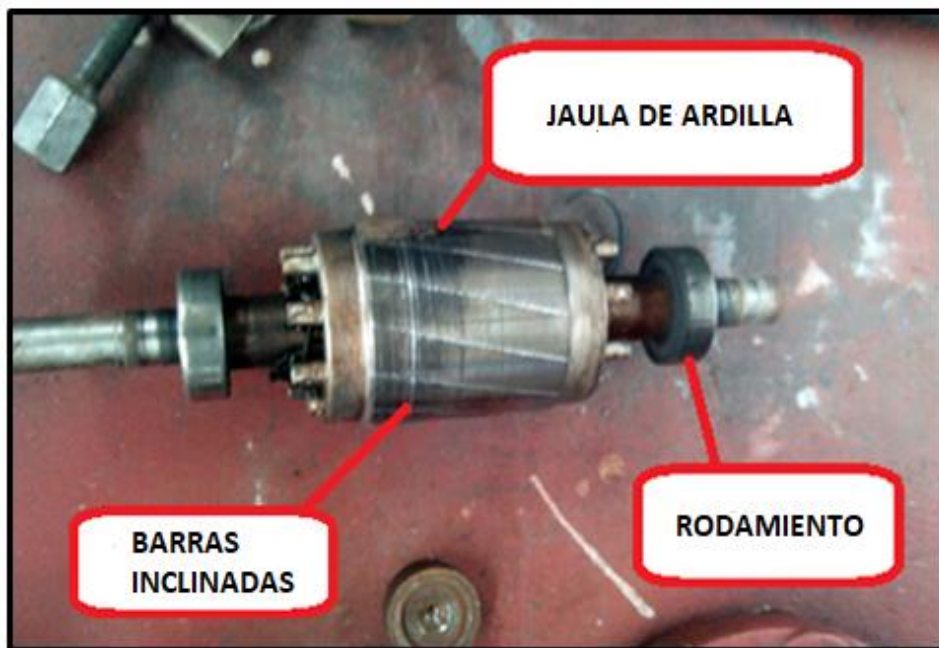


Ilustración 16. Rotor de jaula de ardilla simple. Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de rotor está constituido mediante aglomeraciones de barras inclinadas de aluminio o cobre. Siendo estas barras cilíndricas o rectangulares, colocadas en todo el perímetro del rotor. [7]

No obstante, a la hora del arranque estos motores suelen superar la intensidad nominal en un rango de 6-8 veces más que la intensidad nominal del mismo motor, y su par de arranque no sobrepasa el 140% del par normal, llegando a la siguiente conclusión: [7]

- No sirven para motores que se requieran grandes potencias, siendo empleado en motores pequeños o donde el valor del arranque no llegue a sobrepasar la potencia que se desea. [14]
- Puesto que soporta mal los picos de cargas, debido a su a elevado deslizamiento, no alcanza un rendimiento óptimo a plena carga, siendo inferior al rotor de jaula ardilla doble. [14]

En la actualidad, están siendo sustituidos por rotores de jaula de ardilla doble.

- **Rotor de jaula de ardilla doble**

Estos motores contienen dos jaulas de ardillas concéntricas, siendo una de ellas más profunda. De forma constructiva, la jaula externa, es decir la más próxima del principio de la ranura, suele ser de material de latón y de menor sección. [9]

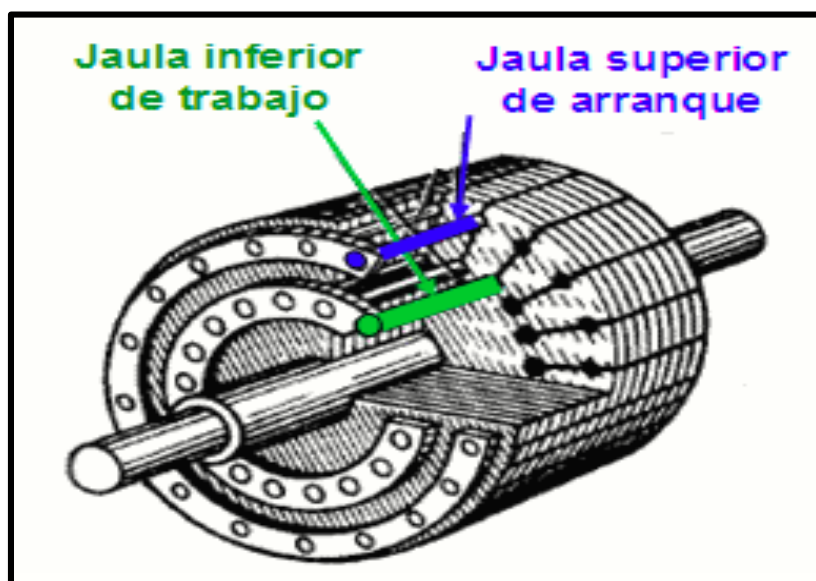


Ilustración 17. Rotor de jaula de ardilla doble. Fuente: [9]

En régimen de funcionamiento normal, la frecuencia rotórica presenta un valor pequeño y se desprecian las reactancias, de ambas jaulas, denominándose reactancia como la oposición al paso de la corriente alterna. En conclusión, el arranque se produce con resistencia elevada y a medida que el motor adquiere velocidad, va disminuyendo. [9]

Como ventaja, estos rotores a diferencia del anterior no sobrepasan la intensidad nominal en el momento del arranque, sin excederse 3 o como máximo, 5 veces a la intensidad nominal y su par de arranque puede alcanzar el 230% de su par normal. Siendo más estables, pudiendo reprimir las sobrecargas sin necesidad de reducir la velocidad. Por este motivo, estos rotores son los más utilizados cuando se pretende adquirir un arranque a plena carga, o la punta de arranque sea alto. [7]

- **Rotor de ranura profunda**

Este motor toma su origen del rotor de jaula de ardilla simple, el cual la jaula de ardilla está constituida de pletinas más profunda en el rotor, logrando un arranque más veloz, ya que el devanado rotórico presenta menor impedancia en el arranque.

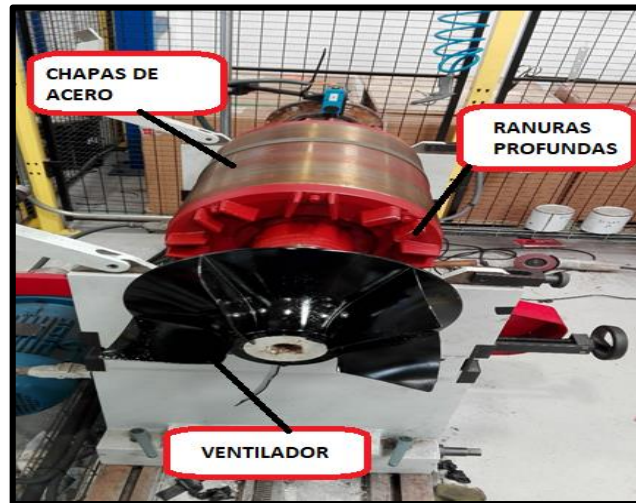


Ilustración 18. Rotor de ranura profunda. Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de rotor se identifica de igual manera a los rotores de jaula de ardilla simple en cuanto al par de arranque y corriente. Estos rotores se precisan en motores que necesitan numerosos arranques y paradas. [15]

- **Rotor bobinado o de anillos rozantes**

En las ranuras de estos rotores se aloja el bobinado de hilo de cobre, y sus extremos se encuentran en conexión y aislados a anillos rozantes, donde se alimentan las bobinas, pudiendo conectarse en triángulo (Δ) o estrella (Y) como en el bobinado estático. La conexión se realiza mediante sus extremos, que quedan libres, ya que estos rotores generalmente son trifásicos, conectándose a los anillos, el cual se pueden sacar mediante unas escobillas de grafito para ser conectadas a las resistencias, y así aumentar la resistencia del devanado rotórico. (Ver en la ilustración 19). [7]

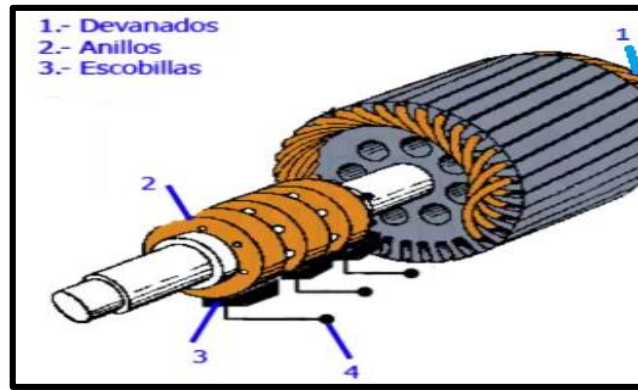


Ilustración 19. Rotor bobinado. Fuente: [16]

Se utiliza cuando se precisa de modificaciones de velocidad, en corriente alterna, y en máquinas de grandes potencias, donde se requiere un arranque progresivo. [7]

A continuación, se expondrá a modo de resumen los tipos de rotores correspondientes vistos:

- Rotor de jaula de ardilla o de cortocircuito.

Presentan barras inclinadas de aluminio o cobre por todo el perímetro del rotor. De esta manera, el estator se encuentra bobinado, generándose la corriente mediante el giro del rotor y a través del campo magnético de las bobinas alojadas en el estator. En la siguiente ilustración 20, se aprecia el rotor de jaula de ardilla:

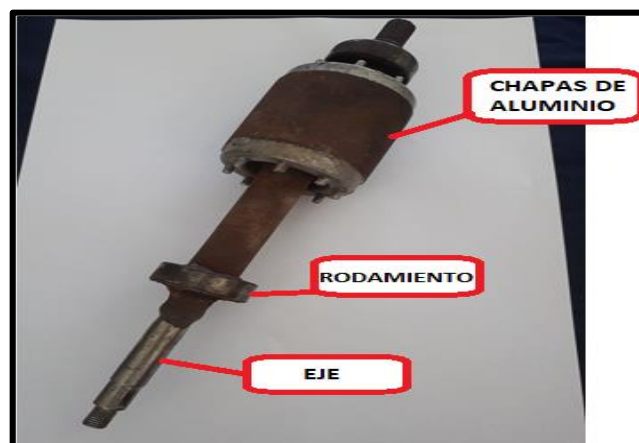


Ilustración 20: Rotor de jaula de ardilla simple. Fuente: Elaboración propia.

- Rotor bobinado o de anillos rozantes.

En este tipo de rotor en vez de poseer barras de aluminio o cobre por todo el perímetro, presentan ranuras donde ellas se alojan las bobinas y sus extremos se conectan y se aíslan a anillos rozantes. A través de estos anillos se alimentan las bobinas, y a su vez el estator posee su propio bobinado. En la siguiente ilustración, se puede apreciar el rotor bobinado o de anillos rozantes:

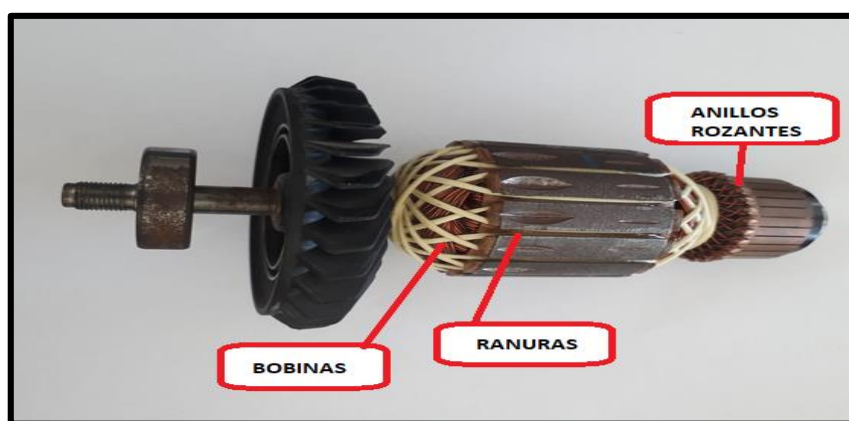


Ilustración 21: Rotor bobinado o de anillos rozantes. Fuente: Elaboración propia.

3.3. Relaciones entre los bobinados de rotor y estator

Entre el estator y el rotor existen unas relaciones que permiten el funcionamiento del motor asíncrono, en este apartado describiremos las relaciones existentes entre ambos. Estas relaciones son:

- **Número de polos.** Tanto en el estator como en el rotor debe haber el mismo número de polos, cuya finalidad es la mejora del par de arranque.
- **Número de fases.** El número de fases entre el rotor y el estator puede ser diversos. Lo más importante es que coincidan en el número de polos.
- **Número de ranuras.** Para que no coincidan en el giro las ranuras del estator y el rotor, deben ser diferentes, sino provocaría variabilidad en la marcha, como en el caso de vibraciones, ruidos y elaboración de puntos muertos, originando alteraciones en el par motor. Para solucionar este problema, como de costumbre, las ranuras del rotor se inclinan, siendo esta la mejor solución. [7]

3.4. Devanado del motor

Se entiende como devanado al arrollamiento de conductores alrededor de un núcleo de hierro cuyo objetivo es la generación de un campo magnético al pasar una corriente eléctrica trifásica alterna por el devanado.

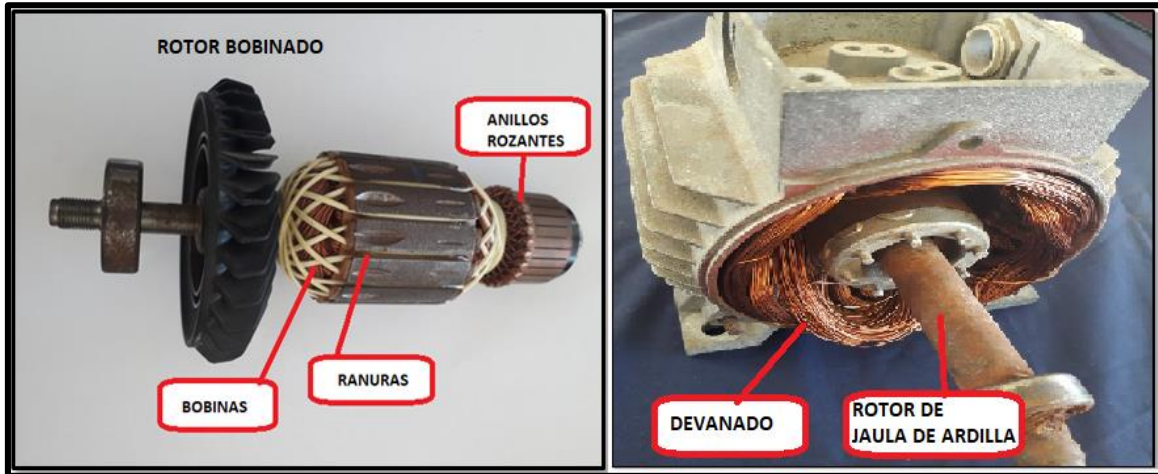


Ilustración 22: Devanado de un rotor bobinado y de un estator con rotor de jaula de ardilla. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1. Número total de bobinas

El bobinado de corriente alterna presenta la particularidad de ser efectuado en una o dos capas por ranuras, también denominadas bobinas imbricadas, es decir, que cada bobina ocupe dos ranuras o las mitades de dichas ranuras, el cual se inserta dos bobinas distintas. [15]



Ilustración 23: Devanados de 1 capa y 2 capas por ranuras. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Clasificación de los devanados

Existen numerosas formas de clasificar el bobinado de corriente alterna, lo simplificamos lo mejor posible para entenderlo: [10]

- ***Devanados cerrados y abiertos.*** Los devanados abiertos manifiestan sus extremidades libres, mientras que los devanados cerrados, las bobinas forman circuitos cerrados.
- ***Número de fases.*** Pueden ser monofásicos, bifásicos, trifásicos y polifásicos.
- ***Número de ranuras por polo y fase.*** Podemos encontrar bobinas de una, dos o varias ranuras.
- ***Número de espiras por ranura.*** Se diferencian devanados de bobinas y de barras.
- ***Número de lados de bobinas superpuestos por ranura.*** Se distinguen bobinas de una o dos capas.
- ***Ancho de la bobina.*** Pueden ser diametrales y de cuerdas.
- ***Orden de los lados activos.*** Se distinguen en espiral, en hélice y en devanados ondulados.
- ***Geometría de las conexiones frontales.*** Devanados de cadena, de corona de horquilla.

IV. METODOLOGÍA

IV. METODOLOGÍA

La metodología empleada en referencia a este Trabajo de Fin de Grado la hemos dividido en los siguientes apartados:

4.1. Documentación bibliográfica

La documentación bibliográfica en este TFG son los conocimientos adquiridos en las prácticas en la empresa PEYMAN S.L.U., además de fuentes bibliográficas y páginas webs referido a la materia, incorporando la utilización de manuales de instrucciones.

4.2. Metodología del trabajo de campo

Este TFG ha sido realizado por medio de mi experiencia en el taller electromecánico, ejecutando las operaciones de mantenimiento de los motores eléctricos, el cual abarcaba localizar las averías, y estudiar el esquema del bobinado y la puesta a punto del motor eléctrico.

El taller disponía de distintas zonas de trabajos tales como zona de pintado, zona de lavado y secado, zona de soldadura, zona de equilibrado del rotor y zona de bobinados. En la zona de bobinados se encontraba la máquina-herramienta bobinadora automática, los carretes de hilos de cobre, un horno industrial. Además, se encuentra un profesional bobinador cuya profesión a desaparecer como salida laboral.

4.3. Marco referencial

El marco referencial ha sido los motores eléctricos para reparar en el taller PEYMAN S.L.U., donde he realizado las prácticas obligatorias. El taller está ubicado en la provincia de S/C de Tenerife, en el barrio Las Moraditas de Taco. Esta empresa está fundada en 1980, y tiene una alta dedicación en el sector de la reparación industrial, incluyendo los bobinados.

V. RESULTADOS

V. RESULTADOS

En este capítulo se va a mostrar el proceso del bobinado de un motor asíncrono (la velocidad del par que gira no es la misma a la velocidad del campo magnético) trifásico de c.a. con rotor de jaula de ardilla o rotor en cortocircuito. En ellos se reflejan la realización de la operación bobinado, y para finalizar, el procedimiento de la construcción de las bobinas mediante la máquina bobinadora, y la ejecución y barnizado de los motores eléctricos.

El ejemplo de este T.F.G es el bobinado del estator de este motor asíncrono trifásico de c.a.

En el estator de la maqueta se realizan los distintos procesos del bobinado, sin utilizar la máquina-herramienta bobinadora automática, ni la aportación de calor para la extracción de las bobinas y su vez se realiza la descomposición de los elementos a modo de exposición. Únicamente no se emplean el barnizado, ni el pintado de este motor ni el secado debido al no poder contar con las zonas de trabajo adecuadas para su realización.

5.1. Bobinados del estator en los motores asíncronos

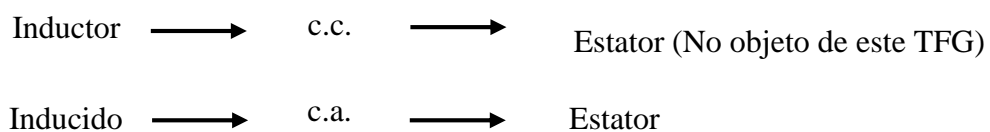
Mostramos en la ilustración 24 el resultado que queremos obtener:



Ilustración 24. Devanado del estator. Fuente: Elaboración propia.

El estator en los motores de corriente alterna, se denomina inductor, ya que origina el campo magnético que produce el movimiento del rotor en este tipo de motor con rotor de jaula de ardilla.

No obstante, en corriente continua, el estator se le conoce como inducido, debido a que induce la corriente eléctrica entregándose a la red, tal como un alternador. A modo de esquema se aprecia de mejor manera:



El estator de c.a. está constituido por ranuras, el cual se aloja el devanado estatórico (suma total de bobinas), presentado las bobinas de forma; concéntricas, bobinas de distintos tamaños, y bobinas imbricadas, es decir superpuestas entre ellas. Las bobinas del devanado estatórico suelen ser hilo de alambre o pletinas de cobre (no utilizado en el taller electromecánico PEYMAN S.L.U.), siendo generalmente empleado los hilos de cobre.

La elaboración de las bobinas se realiza mediante moldes adecuado a las dimensiones anteriormente medidas, en grupo o de forma individual.

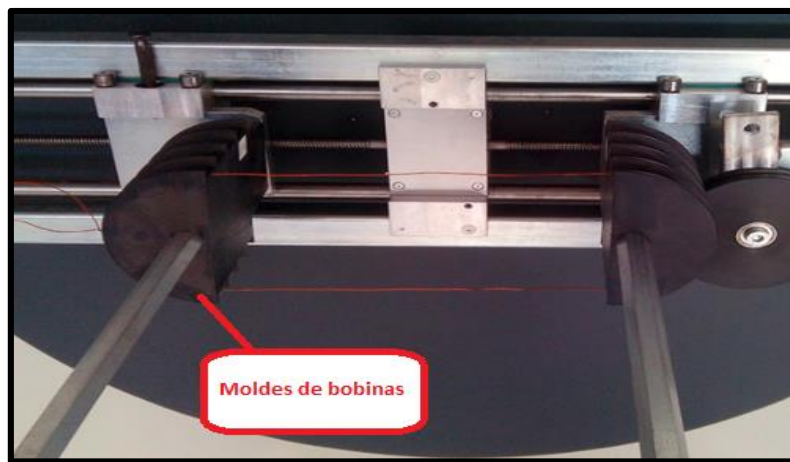


Ilustración 25. Moldes para la construcción de las bobinas. Fuente: Elaboración propia

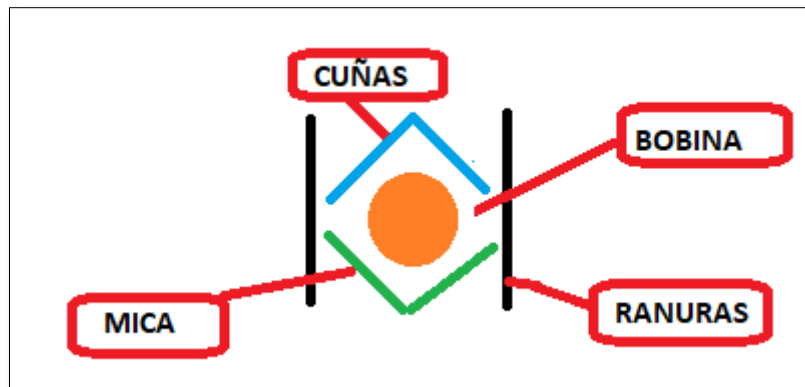
Actualmente, existen bobinadoras automáticas que giran facilitando las operaciones e introduciendo los datos necesarios y de manera automáticamente se elaboran las bobinas.



Ilustración 26: Máquina-herramienta bobinadora automática. Fuente: Elaboración propia.

Estas bobinas se introducen en las ranuras del estator de forma manual, con el aislamiento correspondiente, (mica-bobina-cuña de cierre, ver en el esquema) y una vez insertadas todas las bobinas, quedan los extremos libres de cada grupo, el cual se conectan según sea en serie o paralelo el motor.

Esquema 2: Aislamiento de las bobinas



En la ilustración 27, se muestran los extremos que dan lugar a las entradas y salidas del bobinado.

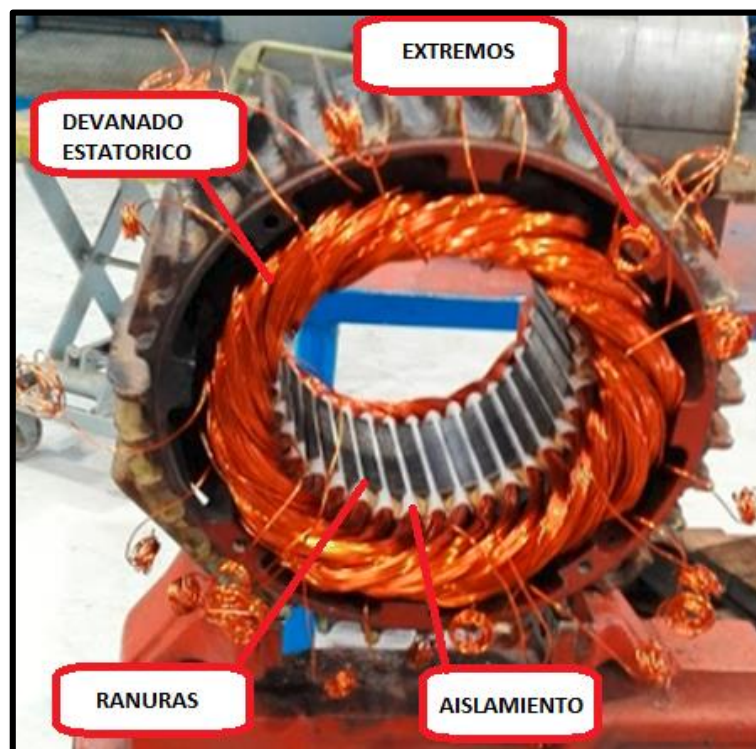
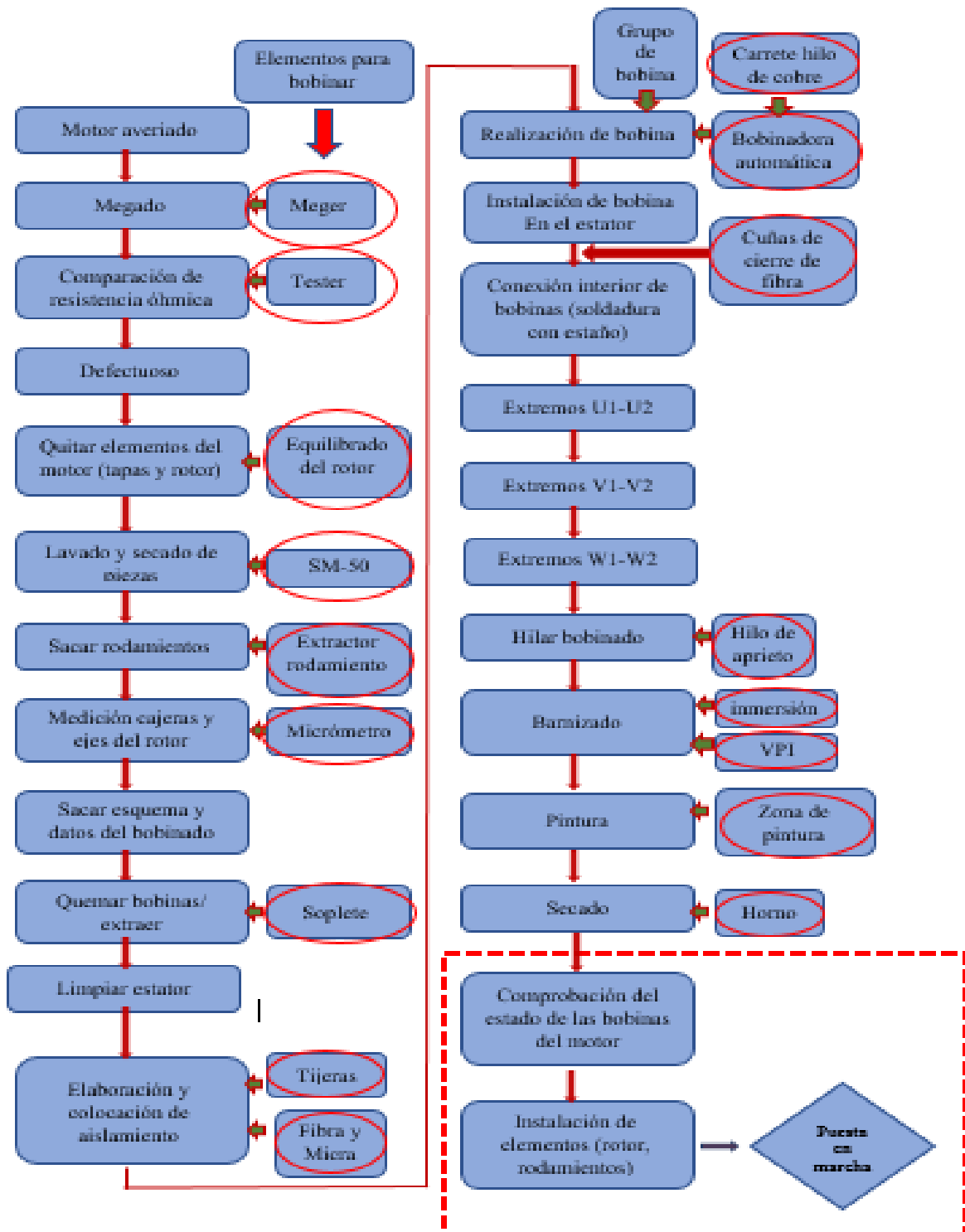


Ilustración 27. Devanado sin conexión. Fuente: Elaboración propia.

5.2. Proceso del bobinado

A continuación, se mostrará un esquema de los procesos para bobinar un motor asíncrono trifásico de c.a.:

Esquema 3. Procesos para bobinar un motor asíncrono trifásico de c.a.



5.3. Operación de bobinado para la puesta en marcha

Dependiendo del caso se hace el mantenimiento previamente dicho, pero cuando vienen quemadas las bobinas pues se consulta con el cliente para informarle, si prefiere un motor nuevo o realizar el bobinado del motor, siendo en ciertos casos más rentable la disposición de un nuevo motor.

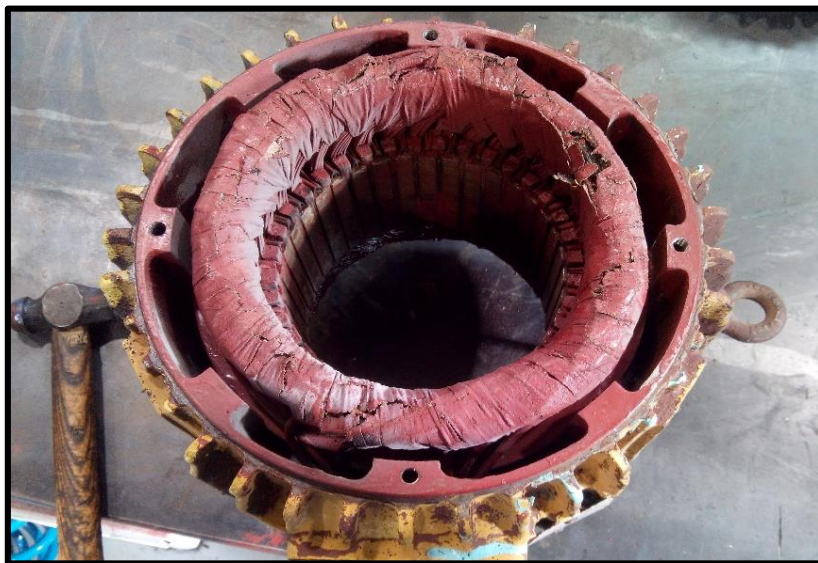


Ilustración 28: Estator dañado a bobinar. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de bobinar el motor objeto de este T.F.G., se debe seguir el proceso dicho a continuación.

5.4. Comprobación del estado de las bobinas del motor. Megado y comparación de resistencia óhmica

Si el motor se encuentra con el devanado quemado, siendo esta una de las peores situaciones que se podría dar, también se puede derivar a la producción de un cortocircuito.

Como medida de prevención, se debe realizar la medición del aislamiento a masa de sus bobinas. Actualmente, esta prueba se conoce como **megado**.

- **Megado**

A través del megado, deducimos la resistencia de aislamiento interno entre las bobinas y tierra, y el estado eléctrico del motor.

Para ello procedemos a retirar los puentes de la placa de bornes para de este modo medir el aislamiento entre las fases, y a continuación, aplicar 500V a las bobinas producido por el meger, de igual forma si están conectadas en estrella o triángulo.

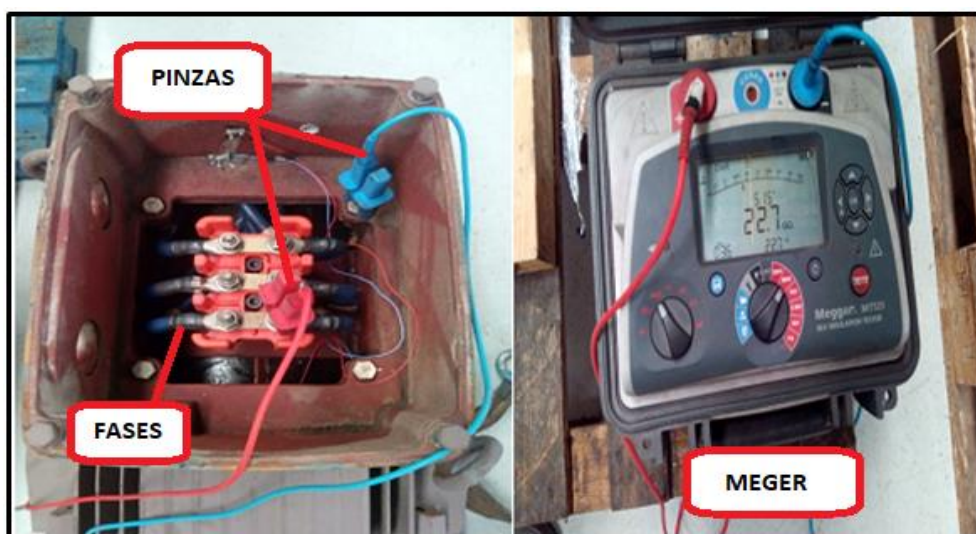


Ilustración 29. Prueba de megado. Fuente: Elaboración propia.

Mediante unos parámetros según la normativa podemos guiarnos del estado de las bobinas:

- $< 16 \text{ M}\Omega$; supone un mal aislamiento. Se realiza todo el mantenimiento del motor.
- $16 \text{ y } 51 \text{ M}\Omega$; supone un aislamiento regular, se realizará desmonte del motor, lavado de las piezas, barnizado y en tal caso, pasarlo por el horno industrial.
- $> 51 \text{ M}\Omega$; supone un buen aislamiento.

Actualmente, existe otro método para la comprobación del motor eléctrico mediante la comparación de resistencia óhmica.

- **Comparación de resistencia óhmica.**

Para comprobar el correcto estado del bobinado se realiza la lectura de las resistencias de las tres fases que constituyen el mismo, sin corriente. Si la diferencia entre cada una de las fases medidas es superior al 5% entre ellas, aparte de no cumplir con la normativa vigente (IEEE 115, ítem 3.1 e IEEE 43), se recomienda el bobinado del equipo. Debido a la diferencia de resistencia entre fases se traduce a una descompensación de los consumos de las distintas líneas y el deterioro del bobinado. En la siguiente ilustración 30 se aprecia la conexión para la comparación de resistencias entre las fases: U1-U2; V1-V2; W1-W2.

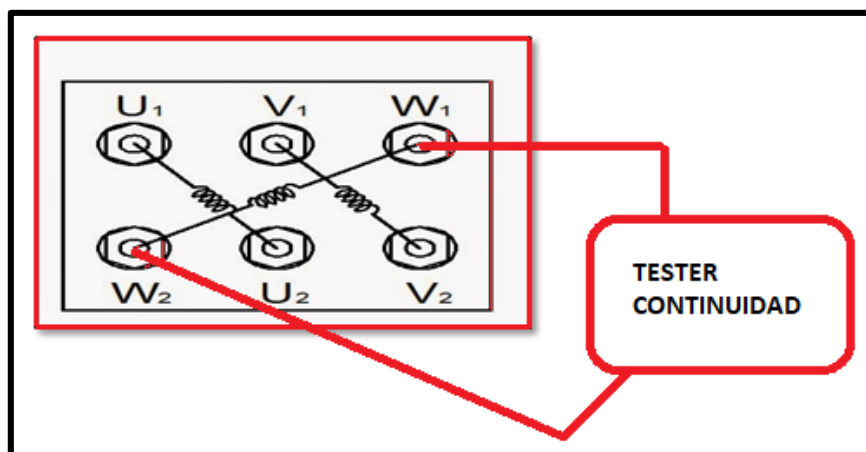


Ilustración 30. Conexión para la comparación de resistencias. Fuente: [17]

5.5. Equilibrado del rotor

Una vez realizado la comprobación de estados de las bobinas del motor, se dispone a realizar una de las actividades fundamentales de mantenimiento, el equilibrado estático y dinámico, en el que se pretende mejorar el rendimiento de los equipos, mitigando los efectos no deseados de vibraciones debido a masas puntuales que desequilibran el cuerpo rodante, es decir el rotor. En la ilustración 31, se puede apreciar el equilibrado de un rotor de jaula de ardilla.

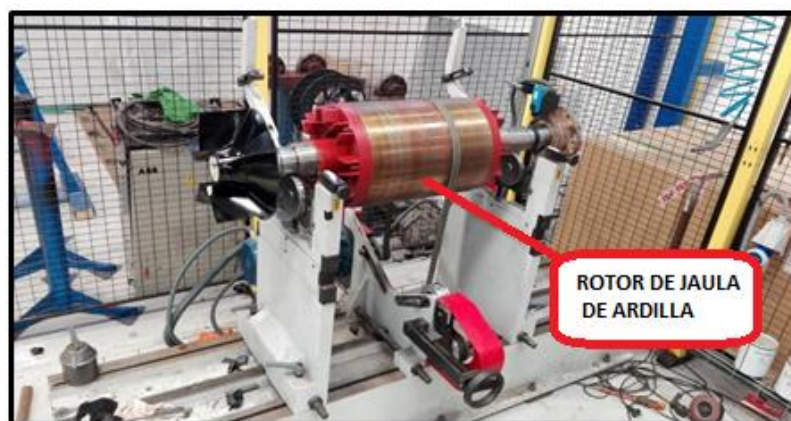


Ilustración 31. Equilibrado del rotor de jaula de ardilla. Fuente: Elaboración propia.

Tras las operaciones de retirar o aportar masas en el punto de los planos seleccionados para el equilibrio se obtendrá mejores rendimientos térmicos y menores vibraciones como se había comentado anteriormente, traduciéndose en aprovechar la vida útil de rodamientos y equipos acoplados.

5.6. Lavado de piezas y secado

Una vez desmontado el motor, se lleva a cabo la limpieza de los componentes, ya sea carcasa, tapas, casquillo, etc. Existen diversos métodos de limpieza en un motor eléctrico, limpieza de vacío, de aire comprimido, con agua y detergente, y con solvente. No obstante, en la práctica lo más empleado es el método de limpieza con un solvente dieléctrico de alta seguridad, para ello se lava con agua a presión los componentes, y se dispone a la aplicación del solvente.



Ilustración 32. Lavado de tapa de ventilación. Fuente: Elaboración propia.

Mucho cuidado en la elección y aplicación de estos solventes, ya que muchos son inflamables y tóxicos por lo que se recomienda consultar con el fabricante de dicho motor. El área debe estar bien ventilado y usar los equipos adecuados (gafas y guantes). Muy importante no aplicar solvente a los cableados. Para acabar, se aplica SM-50 para la lubricación, limpieza y protección de oxidación, antihumedad, y un efecto de aflojar.



Ilustración 33. Lubricante protector y limpiador SM-50. Fuente: [17]

Al finalizar la operación de limpieza de los componentes del motor eléctrico, se dispone a la sustitución de rodamientos.

5.7. Sustitución de rodamientos

El cambio de rodamientos de un motor eléctrico suele ser la parte más común en su mantenimiento, aunque no estén defectuosos se suelen retirar y poner nuevos debido a que suelen ser de bajo coste y un fallo en estos podría dar lugar a graves averías. Desde un sonido desagradable, hasta producir altas temperaturas por fricción y llegar hasta quemar el bobinado interno del motor por gripado del rodamiento, lo que supondría un coste elevado de reparación. Mediante un extractor, útil específico para retirar rodamientos, se logra extraer los rodamientos como se puede apreciar en la ilustración 34.

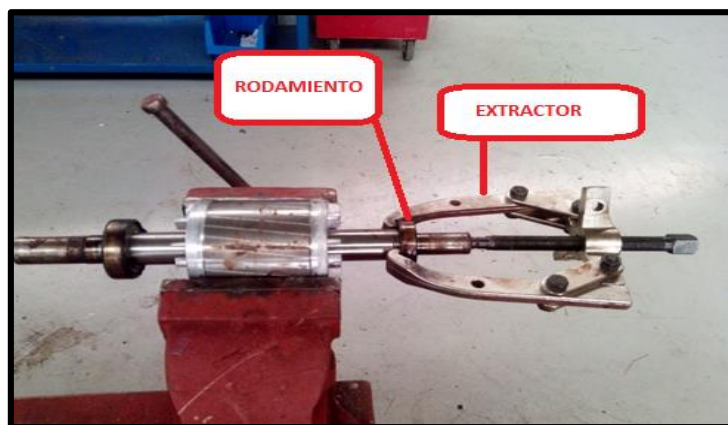


Ilustración 34. Representación de extracción de rodamiento. Fuente: Elaboración propia.

Finalizado la extracción de rodamientos, se dispone a la medición de cajas y ejes.

5.8. Medición de cajas y ejes

La medición de los ejes y las cajas nos proporcionan una información correlacionada del desgaste sufrido por estos elementos, el desgaste de material no puede ser superior a un 0.05 mm, ni tampoco haber una adición de material en la misma proporción, ya que si fuera en forma superior el rodamiento se encasquillan. Si ocurre cualquiera de los casos hay que enviar el eje o la caja en cuestión a mecanizar, para que tengan el volumen de material establecido por norma, y el rodamiento encastre perfectamente en su caja y el eje apoye en él del mismo modo. Mediante los utensilios de medición, siendo ellos, el micrómetro interior y exterior, realizamos dichas mediciones. En la ilustración 35, se observa dichos métodos de medición:

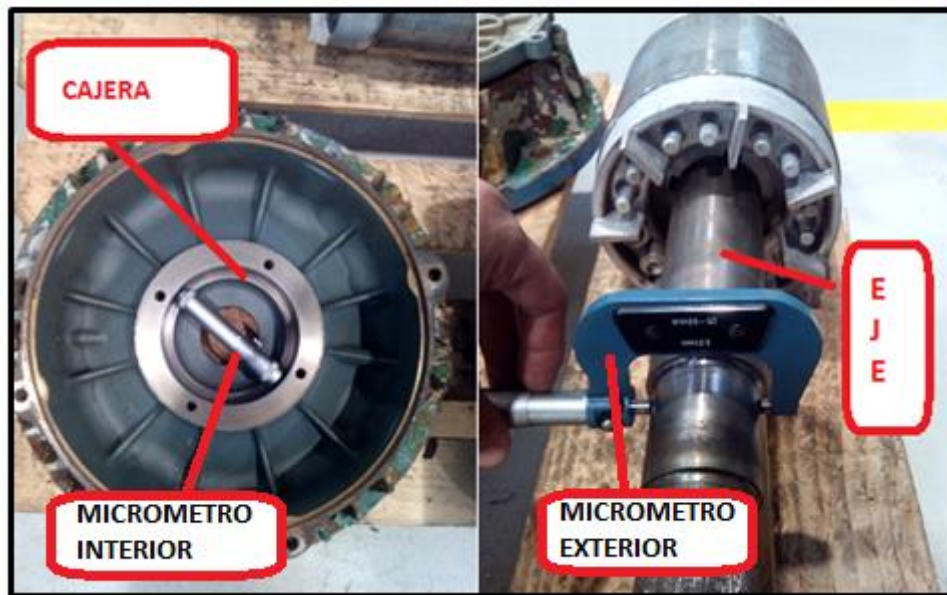


Ilustración 35. Medición de caja y eje mediante micrómetro. Fuente: Elaboración propia.

Para saber el tamaño que debe de tener el eje y la caja se recurre al rodamiento, según el tamaño de este podemos averiguar los datos originales de la caja y el eje que se nos presentan.

5.9. Esquema del bobinado

El esquema del bobinado, herramienta gráfica de cómo van ubicadas en el interior del estator, y como quedan conectadas entre sí las entradas y las salidas que salen a la caja de conexiones para el funcionamiento propio del motor asíncrono trifásico de c.a.

Hay una gran variedad de tipos de conexiones, pero en el ámbito de la reparación de motores lo que se hace habitualmente es copiar exactamente la que venga con el motor averiado ya que el cliente lo querrá para un uso similar cuando esté de nuevo en funcionamiento, a no ser que el cliente lo especifique de funcionamiento de otra manera y ya se realizaría un estudio de si es posible esta condición especial, ya que el motor está diseñado para trabajar tal y como viene de fábrica.

El replicar el esquema del bobinado que viene con el motor no es nada sencillo y solo es posible realizarlo con conocimientos bastante amplio en el bobinado amplio.

En la siguiente ilustración, se observa un devanado con las bobinas quemadas, el cual se requiere bobinarlo. En primer lugar, extraeremos el esquema del devanado del estator y obtenemos los datos necesarios para poder realizar el devanado nuevamente.



Ilustración 36. Devanado con sus conexiones. Fuente: Elaboración propia.

Citaremos los tipos de esquema de bobinado vistos en el taller electromecánico PEYMAN S.L.U., y como se conectan las bobinas de manera interna y externa del devanado.

El método de representación que se visualiza a continuación de los esquemas del devanado se adquirió por el bobinador profesional del taller PEYMAN S.L.U. Siendo este método propio.

- Esquema de un bobinado de 2 capas, en conexión en serie para 1500 rpm, paso:1-8, 36 ranuras y 12 grupos de 3 bobinas por grupo.

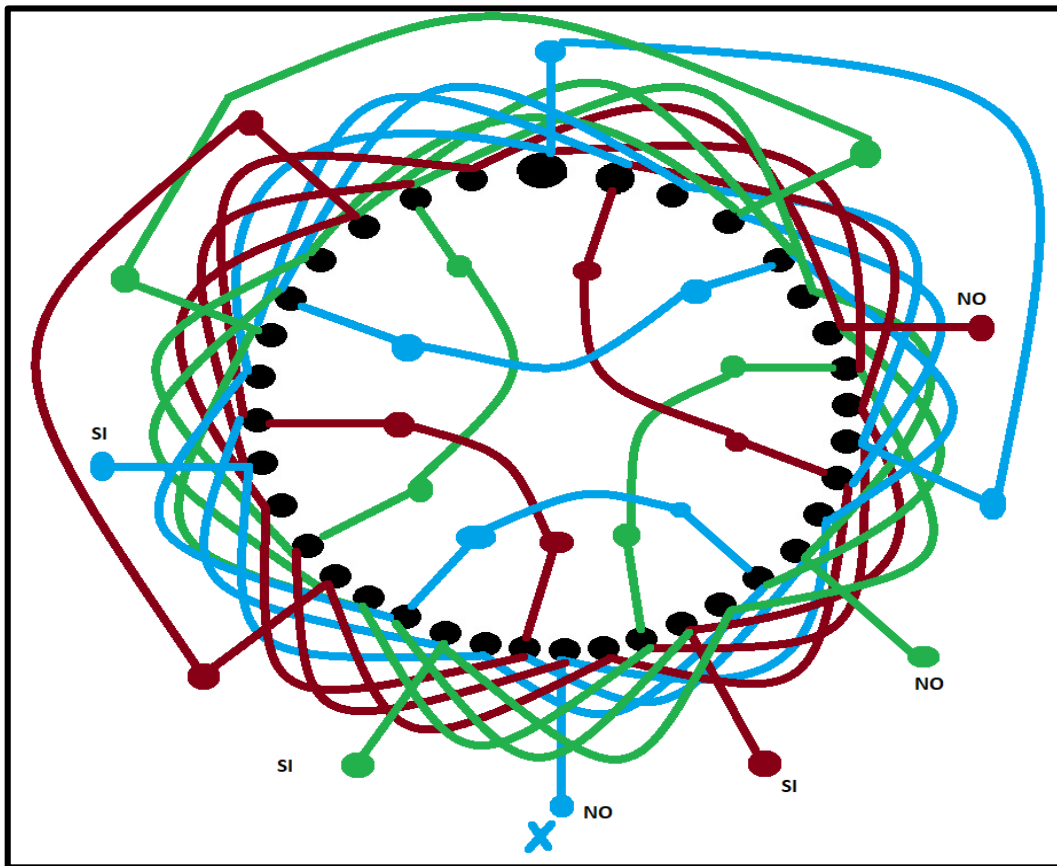


Ilustración 37. Esquema de devanado de 2 capas, conexionado en serie de 1500 r.p.m. Fuente: Elaboración propia.

Características del esquema:

- Paso: 1-8
- Ranuras: 36
- Grupos: 12



Datos introducidos en la bobinadora automática

- Bobinas: 3
- Capas: 2
- Conexión: Serie
- Velocidad: 1500 r.p.m.

Datos introducidos en la bobinadora automática

Este esquema se constituye de un estator de 36 ranuras, compuesto el devanado por 12 grupos de 3 bobinas, el cual cada grupo tiene un paso de 8, siendo el paso cuantas ranuras hay desde el principio hasta el final de la bobina. El conexionado de este devanado es en serie de tal forma que se unen las puntas exteriores, contando 3 principio de los grupos y las puntas interiores se unen con el final de la bobina de un grupo con el final del otro grupo de enfrente del mismo color, quedando 6 puntas exteriores representando los terminales de la placa de bornes.

- **Esquema de bobinado de un motor en doble paralelo, paso:1-8-10-12, 36 ranuras y 6 grupos con 3 bobinas por cada grupo.**

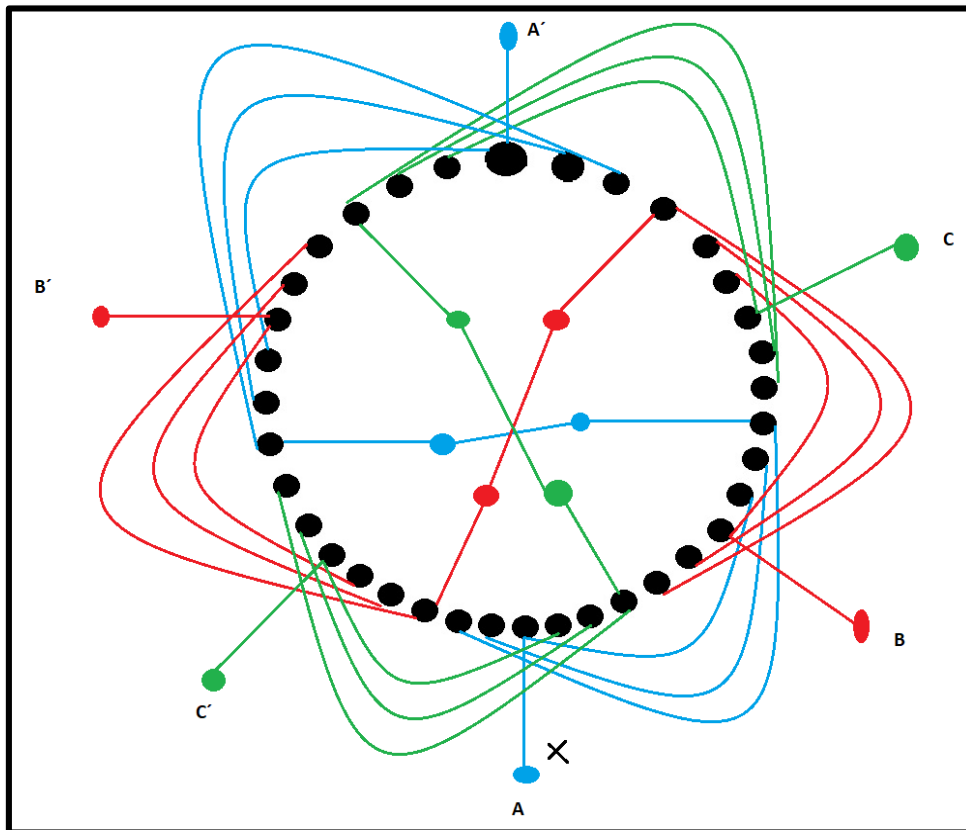


Ilustración 38. Esquema de devanado conexionado doble paralelo. Fuente: Elaboración propia.

Características del esquema:

- Paso: 1-8-10-12
- Ranuras: 36
- Grupos: 6
- Bobinas: 3
- Conexión: Doble paralelo
- Velocidad: 1500 r.p.m.

Datos introducidos en la bobinadora automática

Este esquema se constituye de un estator de 36 ranuras, compuesto el devanado por 6 grupos de 3 bobinas, el cual cada grupo tiene un paso de 8-10-12. El conexionado de este devanado es en doble paralelo de tal forma que se unen las puntas exteriores: A-A', B-B', C-C', uniéndose final de la bobina de un grupo con el final del otro grupo. Las puntas interiores se cortocircuitan contando 3 finales de los grupos. Un ejemplo: El final del grupo A se cortocircuita con el final del grupo A' al contar tres grupos, es decir, contamos el grupo B, C y en el grupo A', siendo el tercer grupo que se cuenta se conecta con el grupo A.

- **Esquema de bobinado en serie para 1500 rpm, paso:1-8-10-12, 36 ranuras y 6 grupos con 3 bobinas por cada grupo.**

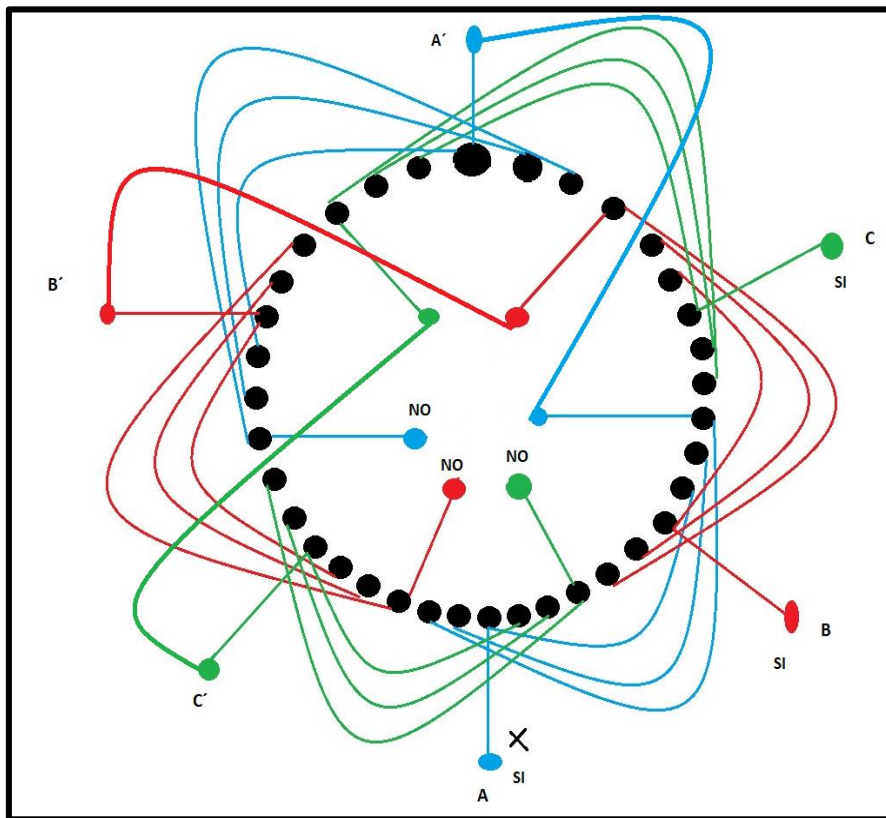
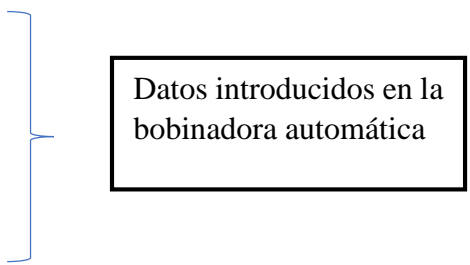


Ilustración 39. Esquema de devanado conexionado en serie de 1500 r.p.m. Fuente: Elaboración propia.

Características del esquema:

- Paso: 1-8-10-12
- Ranuras: 36
- Grupos: 6
- Bobinas: 3
- Conexión: Serie
- Velocidad: 1500 r.p.m.



Este esquema se constituye de un estator de 36 ranuras, compuesto el devanado por 6 grupos de 3 bobinas, el cual cada grupo tiene un paso de 8-10- 12. El conexionado de este devanado es en serie de tal forma que se cortocircuitan el final de la bobina de un grupo con el principio del otro grupo. El principio de los grupos A, B y C representan tres terminales de la placa de bornes, y el final de los grupos A', B' y C' representan los otros tres terminales de la placa.

5.10. Toma de datos para la realización del nuevo devanado

Los datos que obtenemos del devanado que se quiere replicar son fundamentales para la realización de las bobinas. Dichos datos a tener en cuenta se observan en la ilustración 40.

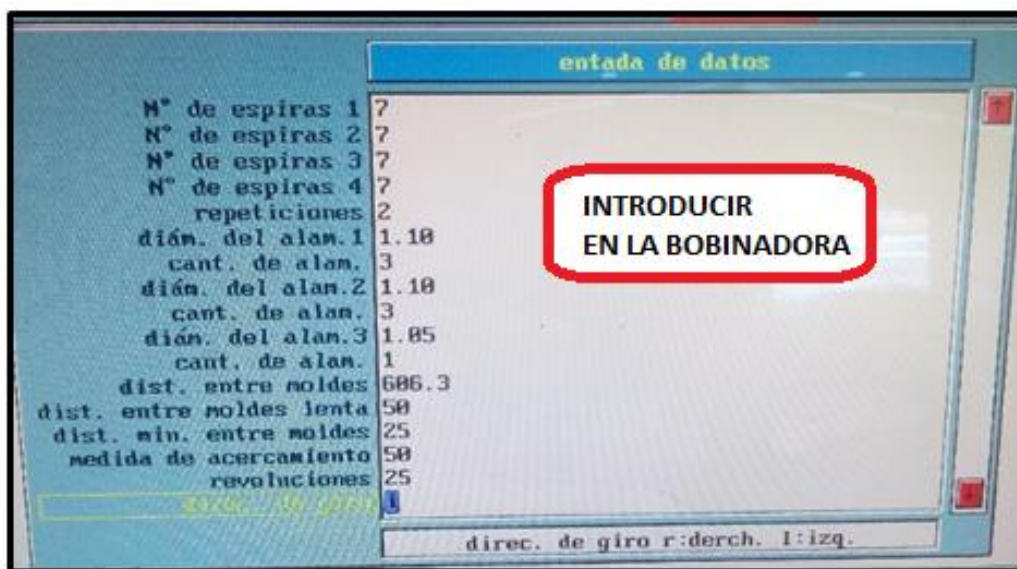


Ilustración 40. Panel de datos para bobinar en la bobinadora automática. Fuente: Elaboración propia.

- El **número de ranuras**; que es donde se introducen los hilos que conforman las bobinas, son pequeñas aberturas en el interior del estator, que se distribuyen longitudinalmente en el sentido del eje de giro, y se colocan por todo el borde interno del estator cubriendo los 360°.
- El **número de bobinas por grupo**; cada grupo de bobinas puede estar formada por una o más bobinas hay que concretar cuantas bobinas tiene cada grupo y esto lo hacemos siguiendo el esquema del bobinado.
- El **paso**; representa en cada cuanta ranura se coloca una bobina, es decir cuántas ranuras hay desde el principio hasta el final de la bobina, los pasos pueden ser diversos e incluso en un mismo motor puede haber pasos distintos, hasta en un mismo grupo de bobinas el paso de cada una de ellas puede cambiar.
- **Espiras**; es la cantidad de vueltas que tiene una bobina.
- **Diámetro exterior** o calibre del hilo de cobre; es lo que mide exteriormente el cobre utilizado para bobinar, sin el recubrimiento protector, por esto esta medida se hace pelando o quemado un poco el cable, nos da la medida del hilo que tenemos que utilizar para la nueva bobina. Se realiza la medición mediante un micrómetro.

Con estos datos ya podemos realizar la extracción de las bobinas todo para realizar las bobinas.

5.11. Extracción de la bobina dañada

Se dispone el estator con las bobinas dañadas en la zona de soldadura, el cual, se aplica calor a las bobinas con un soplete conectada a una bombona de butano, para que se quemen, facilitando así la extracción de las bobinas.



Ilustración 41. Extracción de bobina por aportación de calor. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que las bobinas están quemadas lo suficientemente, con la ayuda de un pico loro y una palanca, va sacando grupos de bobinas, de manera que al menos un grupo de bobinas quede en buen estado para saber el número de vueltas que contiene el grupo.

En la ilustración 42, se muestra el resultado del estator con todas las bobinas extraídas. A continuación, se dispone a la realización de las bobinas.



Ilustración 42. Resultado de extracción de bobinas mediante aplicación de soplete. Fuente: Elaboración propia.

5.12. Realización de bobinas

La construcción de las bobinas depende del tipo de bobinadora utilizada y de la potencia, obteniendo como resultado diversos tipos de tamaños y formas. Generalmente,

las bobinas son presentadas en forma de hilos de cobre, el cual para realizar la operación de bobinado se emplean moldes convenientes a la longitud y anchura. (Ver en la ilustración 43).

Los moldes se insertan en los brazos de la máquina-herramienta bobinadora automática, a través de estos brazos se realizan movimientos giratorios, y posteriormente se procede a la preparación de los carretes de cobre.

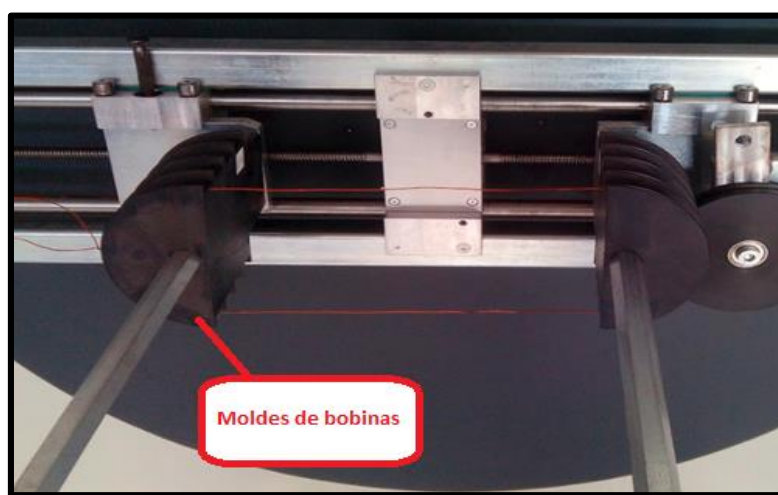


Ilustración 43. Moldes para la construcción de las bobinas. Fuente: Elaboración propia.

Con el molde obtenido midiendo el paso del grupo de bobinas, se dispone en la bobinadora automática, programando la máquina con la toma de datos obtenidos anteriormente.



Ilustración 44. Bobinadora automática. Fuente: Elaboración propia.

Las pautas para preparar la bobinadora automática son las siguientes:

1. En primer lugar, se coloca los carretes de hilos correspondientes de diferentes diámetros.



Ilustración 45. Carretes de hilos para la bobinadora automática. Fuente: Elaboración propia.

2. Los hilos de cobre se disponen en unos sensores que nos indicará si los carretes de cobre se acaban.

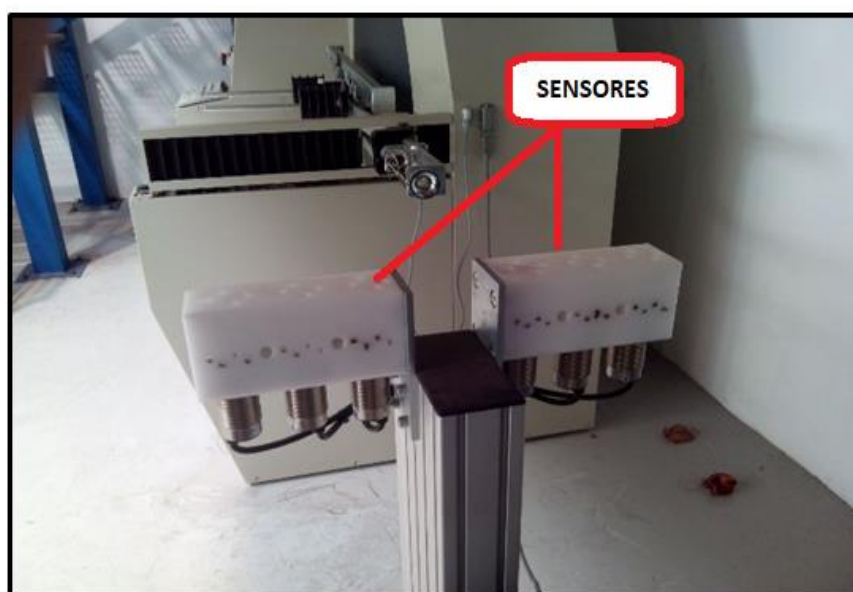


Ilustración 46. Módulo de sensores de hilos. Fuente: Elaboración propia.

3. Los diversos hilos de cobre se colocan en este elemento (ver ilustración 47) para que se tensen los hilos y así lograr bobinas con un buen acabado.



Ilustración 47. Elemento para tensar los hilos. Fuente: Elaboración propia.

4. Una vez tenso los hilos de cobre, disponemos los hilos en el molde. Pasamos la bobinadora automática en función <<bobinar>>, y se obtiene cada grupo de bobinas.

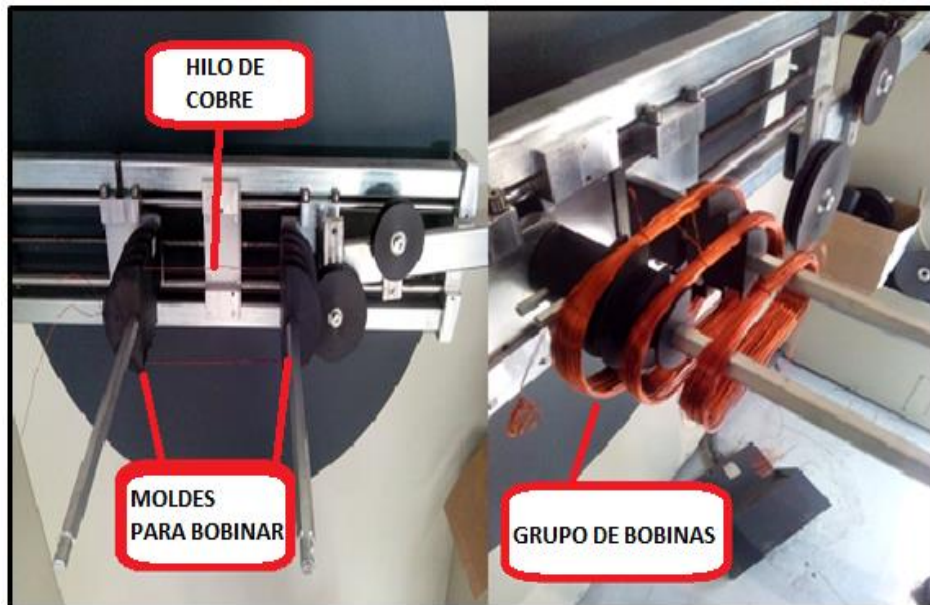


Ilustración 48. Representación de moldes y bobinas. Fuente: Elaboración propia.

5. Repetir el punto 4, dependiendo del número de grupos que contenga el bobinado, y ya estaría listo para introducir las bobinas en el estator.



Ilustración 49. Grupo de bobinas. Fuente: Elaboración propia.

5.12.1. Materiales conductores.

Los conductores pueden tener numerosas formas, el cual se distinguen por el tipo de aislamiento, y diámetro.

En cuanto al diámetro del hilo es sumamente importante, dado que a medida aumenta el diámetro, más difícil será doblarlo. Por tanto, se emplean muchos hilos de diámetro más pequeños sustituyendo de esta manera el hilo de diámetro grueso, logrando así un diámetro equivalente. A continuación, se muestra una tabla de los diferentes diámetros que han de tener los hilos, para obtener la misma sección de cobre. [7]

Sección en mm^2	Diámetro, en mm				Sección en mm^2	Diámetro, en mm			
	1 hilos	2 hilos	3 hilos	4 hilos		1 hilos	2 hilos	3 hilos	4 hilos
4,539	2,40	1,70	1,40	1,20	17,34	4,70	3,35	2,75	2,35
4,909	2,50	1,80	1,45	1,25	19,63	5,00	3,60	2,85	2,50
5,309	2,60	1,85	1,55	1,30	23,76	5,50	3,85	3,20	2,75
5,725	2,70	1,95	1,60	1,35	28,27	6,00	4,25	3,45	3,00
6,157	2,80	2,00	1,65	1,40	33,18	6,50	4,55	3,75	3,25
6,605	2,90	2,05	1,70	1,45	38,48	7,00	4,80	4,20	3,50

Tabla 1: Diámetro que han de tener los hilos, para obtener la misma sección de cobre. Fuente: [7]

Actualmente se están experimentando otros materiales en la fabricación de los hilos, buscando el ahorro económico y a la vez buenas características como buena conductividad, resistencia. Se ha utilizado el hierro y el zinc como alternativas, pero de momento no se conseguido una solución. En la tabla 2, se muestra los diferentes materiales con sus respectivas características a la conductividad.

Material	Resistividad ρ a 20°C $\left(\frac{\pi \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}\right)$	Conductividad κ a 20°C $\left(\frac{\text{S} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2}\right)$
Plata	0,0163	61,4
Cobre patrón internacional	0,01724	58
Cobre electrolítico recocido	0,01755	57
Cobre electrolítico comercial	0,01785	56
Cobre electrolítico duro	0,01785	56
Aluminio recocido	0,02778	36
Aluminio duro	0,02825	35,4
Aluminio inyectado (en frío)	0,0303	33
Aluminio inyectado (en cal.)	0,0358	28
Zinc	0,05915	17
Latón 1/3	0,0666	15
Hierro	0,09998	10
Bronce fosforoso	0,111	9

Tabla 2: Material según su resistividad y conductividad. Fuente: [7]

5.13. Colocación y aislamiento de las bobinas

La introducción de las bobinas en el cuerpo del estator es un trabajo manual y de precisión, primero hay que hacer unos moldes de papel aislante de fibra, depende del grosor del papel aguanta unas temperaturas u otras, esto generalmente viene en relación al tamaño del motor, estos moldes van a ir asentados en las ranuras para servir de apoyo y aislamiento a todos los hilos que conforman la bobina.



Ilustración 50. Material aislante y estator aislado. Fuente: Elaboración propia.

Una vez introducidas todas en sus ranuras, se prepara la entrada y salida de cada bobina para conectarla según el esquema requerido y se le suelda un cable con estaño, que serán las puntas que saldrán por nuestra caja de conexiones.



Ilustración 51. Colocación e hilado de las bobinas. Fuente: Elaboración propia.

Todas las bobinas que quedan por fuera del entrehierro del estator se hila, para prensarla, y darle mayor consistencia y a la vez, fijarla en su lugar para que luego no roce con ninguna parte del rotor o toque las tapas del motor. (*Ver en la ilustración 51*). Al finalizar, se realiza la sujeción de las bobinas frente a las ranuras.

5.14. Sujeción de las ranuras

Todo devanado debe contener elementos de sujeción para que no se liberen de las ranuras. Se debe contener elementos de sujeción para impedir el rozamiento del devanado con el rotor.



Ilustración 52. Cuñas de cierre. Fuente: Elaboración propia.

Las cuñas de cierre que actúan como material aislante, se elaboran de diversos materiales, siendo entre ellas:

- Guayacán
- Fibra
- Celisol
- Celotex
- Celulita
- Vidrotex
- Etoxisol
- Amiantex
- Siliconit

Siendo el guayacán y la fibra malos conductores de calor, y los demás materiales citados corresponden a la firma AISMALIBAR, siendo en la actualidad los materiales más modernos. Una vez dispuestas las sujeciones de las bobinas, se dispone al barnizado del devanado.

5.15. Barnizado de devanados eléctricos

Considerando por acabado el bobinado estatórico, se debe aplicar una capa de barniz para mejorar el aislamiento del devanado.



Ilustración 53. Aplicación de barniz. Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar barniz se mejora las siguientes características:

- Aumento de conducción térmica.
- Mejora de las propiedades dieléctricas.
- Protección del bobinado contra la humedad y el entorno corrosivo químico.
- Aumento de rigidez mecánica de los alambres del bobinado. [19]

Para la elección de un buen barniz aislante debe de contener las siguientes propiedades:

- Poder de penetración
- Elasticidad
- Resistencia al aceite
- Rigidez dieléctrica
- Resistencia al envejecimiento
- Resistencia al calor
- Propiedad de aglutinación
- Higroscopicidad
- Propiedad de secado
- Resistencia a la fuerza centrífuga [19]

5.15.1. Método de aplicación del barniz

- **Aplicación con pincel**

Este tipo de aplicación se aplica en barnizado de acabados y se emplean mediante un pincel.

También existe un método más rápido y efectivo que el barnizado con pincel, y es el barnizado por aerosol. Este tipo de barnizado se emplea más en las zonas del interior de la máquina.



Ilustración 54. Aplicación de barniz con aerosol. Fuente: Elaboración propia.

Se emplea barniz en aerosol dando una protección eléctrica y dar brillo, sin tener que usar pinceles ni otros utensilios. Es más rápido que estar barnizando con pincel y queda mucho mejor.

Para la aplicación de dicha protección, se tapa con cinta carroceros para evitar que se barnice las partes de uniones, los agujeros de los tornillos, ejes, etc.

Finalmente, se deja secar y una vez seco, se quita las cintas y ya estaría listo para ser montado.

- **Barnizado por inmersión**

Cuando se trata de poca potencia meterlo en la cuba de impregnación no sale rentable, por tanto, en la práctica se realiza el barnizado por inmersión, bañando el bobinado de forma manual.



Ilustración 55. Barnizado por inmersión. Fuente: Elaboración propia.

- **VPI- Impregnación por presión-vacío**

La cuba de impregnación sirve para efectuar el barnizado mediante inmersión del bobinado del motor, puestos en especiales cestos. Mediante este procedimiento, se consigue la total absorción de humedad y buen barnizado en el motor.

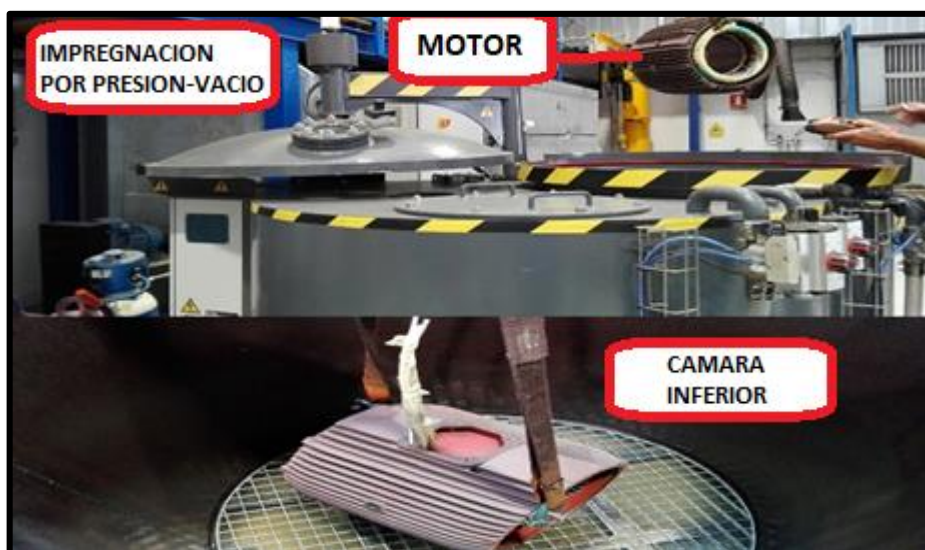


Ilustración 56. Operación de impregnación por presión-vacío. Fuente: Elaboración propia.

Son aptas para contener, una determinada cantidad de litros de barniz en una cámara inferior. Estos barnices son elevados a una cámara superior mediante inmersión en la cuba de aire comprimido, realizando los siguientes pasos: (Ver en la ilustración 57).

- Secado por vacío
- Llenado de resinas
- Impregnación mediante vacío
- Presurización
- Retorno de resina
- Aireo

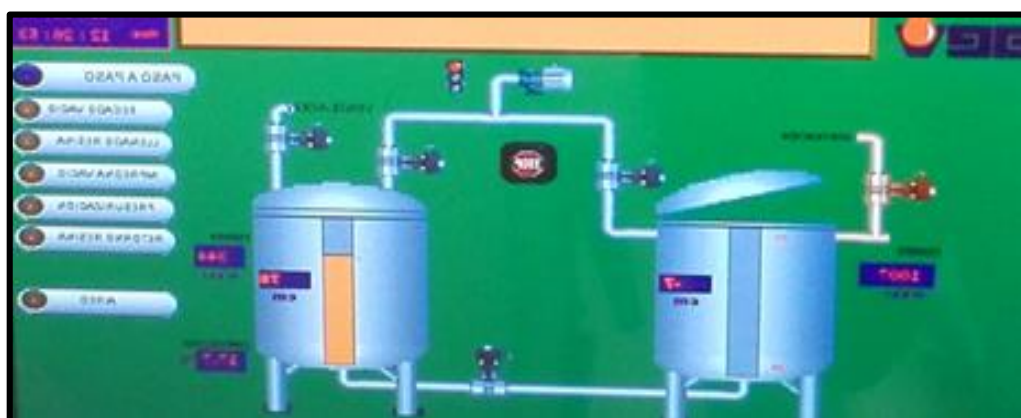


Ilustración 57. Procesos de impregnación por presión-vacío. Fuente: Elaboración propia.

Cuando se finaliza el proceso de barnizado se procede al pintado del motor, para finalizar el mantenimiento del motor.

5.16. Pintado del motor

Finalizando el proceso del mantenimiento de un motor eléctrico, una vez montado el motor, se dispone en la zona de pintura para ahí aplicarle la capa de pintura que le corresponde dándole un diseño más vistoso y a la vez se protege frente a la humedad y la oxidación del motor. No olvidar a la hora de pintar, tapar con cinta carroceros la placa técnica del motor.



Ilustración 58. Motor eléctrico recién pintado. Fuente: Elaboración propia.

5.17. Secado de los bobinados impregnados

La operación de secado consiste en someter al conjunto núcleo-bobina a un proceso de horneado a la temperatura de 105°C, durante un lapso que puede ir de 8 a 14 horas, dependiendo de la bobina o tamaño de la máquina.

Actualmente, se emplean dos métodos de secado; horneado y secado por vacío mediante baja frecuencia (LFH).

- **Horneado**

El horneado se realiza justo después de sacar los estatores recién bobinados de la cuba de impregnación, para hacer que este barniz se compacte y quede sin ningún tipo de residuo de agua. Esto lo hace aislante con respecto al exterior y reforzando aún más el aislamiento entre sus fases.



Ilustración 59. Operación de horneado. Fuente: Elaboración propia.

En algunos casos, hay motores que se sospechan de que pueden contener humedad, así pues, se introducen en el horno para hacer que desaparezca este exceso de agua y aumentar su aislamiento.

- **Secado por vacío mediante baja frecuencia (LFH)**

Este método de secado es una combinación del secado por vacío y el calentamiento de las bobinas por baja frecuencia.

Todo el proceso de secado se realiza en un equipo especial en vacío y por medio de un disolvente. Teniendo en cuenta, las relaciones entre el vacío, la presión de vapor y temperatura. [20]

5.18. Comprobación del motor asíncrono trifásico de c.a.

Una vez realizado los procesos anteriores para la realización del bobinado del motor asíncrono trifásico de c.a., se realiza la comprobación del resultado de las bobinas tanto del aislamiento y la comparación de las resistencias. Si todo sale correctamente, se procede a la instalación de los elementos del motor eléctrico, tales como la instalación del rotor, rodamientos y las tapas. De esta manera el motor ya está listo para la puesta en marcha. En la ilustración 60, se muestra el esquema del proceso final del motor asíncrono trifásico de c.a.

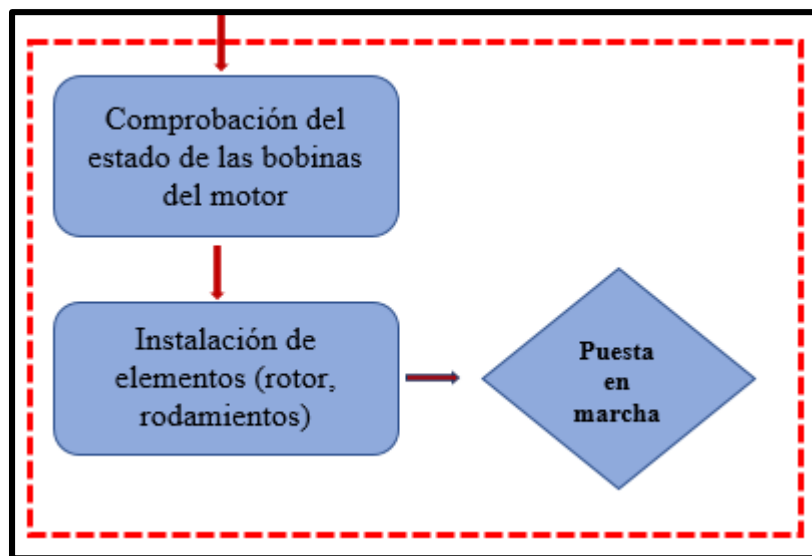


Ilustración 60. Esquema del proceso final del motor asíncrono trifásico de c.a. Fuente: Elaboración propia.

5.19. Procesos de elaboración de un motor asíncrono trifásico de c.a. a modo de maqueta.

- **Recepción y descomposición del motor**

Recibimos el motor asíncrono y a su vez, realizamos una descomposición del mismo para su reparación como se puede observar en la siguiente ilustración.



Ilustración 61. Descomposición de elementos del motor asíncrono trifásico. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto, descomponemos el motor, se aprecia el deterioro de las bobinas del estator, el cual nos disponemos al bobinado de él, empezando con el esquema del bobinado, para conocer cómo van colocadas estas en el interior del motor, y como se conectan entre sí.

Se plagia exactamente el esquema que tiene correspondido el motor defectuoso, a no ser que lo especifique otra manera y ya se realizaría un estudio de si es posible esta condición especial, ya que el motor está diseñado para trabajar tal y como viene de fábrica.

- **Esquema del bobinado**

El esquema del devanado correspondiente de este motor defectuoso está representado de la siguiente manera:

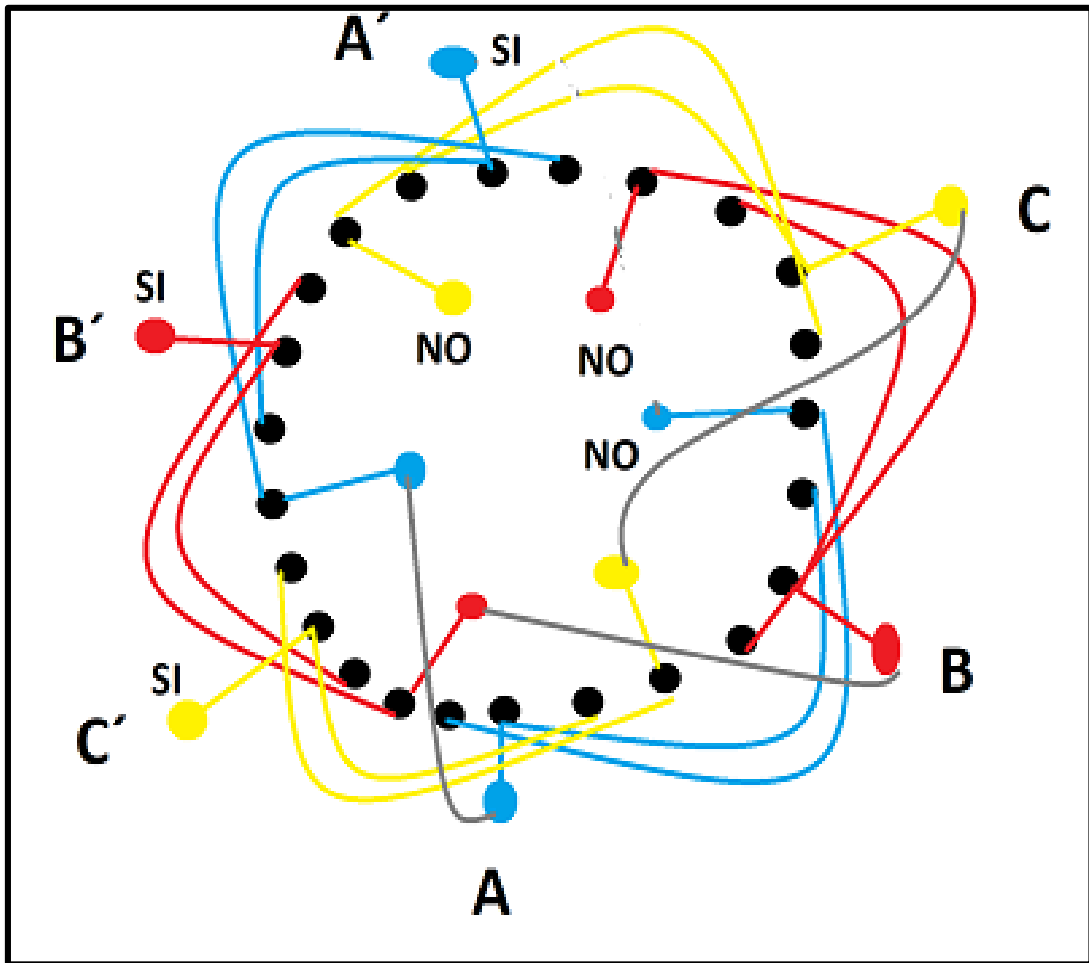


Ilustración 62. Esquema del devanado conexionado en serie de 1500 r.p.m. Fuente: Elaboración propia.

Este esquema se constituye de un estator de 24 ranuras, compuesto el devanado por 6 grupos de 3 bobinas, el cual cada grupo tiene un paso de 6-8.

El conexionado de este devanado es en serie de tal forma que:

- Se cortocircuitan el final de la bobina de un grupo con el principio del otro grupo.
- El principio de los grupos A', B' y C' representan tres terminales de la placa de bornes.
- El final de los grupos A, B y C representan los otros tres terminales de la placa.

- **Extracción de las bobinas**

Al no disponer de un taller electromecánico con sus respectivas máquinas-herramientas ni utensilios para la extracción de las bobinas, adquirimos un formón, un martillo de hierro y un alicate de corte plano.



Ilustración 63. Extracción de bobinas sin aporte de calor. Fuente: Elaboración propia.

La forma de extracción no varía demasiado, únicamente no se le aplica una fuente de calor para facilitar la extracción, de esta forma se trabaja en frío siendo un método más laborioso.



Ilustración 64. Resultado de extracción de las bobinas. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de este método es igual de eficaz que mediante un aporte de fuente de calor como se puede apreciar en la ilustración 64, donde se aprecia el estator libre de bobinas.

- **Obtención de datos para el rebobinado**

Los datos que obtenemos para la realización de las nuevas bobinas son:

- **Número de ranuras:** 24
- **Número de bobinas por grupo:** 6 grupos de 2 bobinas.
- **Paso:** 6 -8
- **Espiras:** 140 espiras.
- **Diámetro exterior:** 0.2 mm.

Con estos datos ya podemos realizar el bobinado del motor. Sin embargo, nos disponemos a la elaboración del aislamiento de las bobinas.

- **Aislamiento de las bobinas**

Realizamos unos moldes de papel aislante de fibra, para la introducción de las bobinas. Los moldes se diseñan en función de las ranuras y el tamaño del estator.



Ilustración 65. Elaboración del aislamiento. Fuente: Elaboración propia.

Estos moldes van a ir asentados en las ranuras para servir de apoyo y aislamiento a todos los hilos que conforman la bobina.



Ilustración 66. Introducción de aislamiento en las ranuras. Fuente: Elaboración propia.

- **Ejecución y colocación de bobinas**

Para la realización de las bobinas ideamos un sistema alternativo a la máquina-herramienta bobinadora automática del taller electromecánico. Respetando los datos necesarios para el bobinado, siendo el más imprescindible el paso de las bobinas, por ello disponemos un molde para cada paso.



Ilustración 67. Elaboración de las bobinas mediante moldes. Fuente: Elaboración propia.

La forma de este método es sencilla, pero a la vez laborioso al ser un trabajo manual y con precisión. El molde ideado sujeto a la pared representa el molde para las bobinas de paso 8, y el cuadrante rojo representa el molde para las bobinas de paso 6. De

esta manera, vamos ejecutando las bobinas con sus correspondientes pasos hasta formar 6 grupos de 2 bobinas.



Ilustración 68. Moldes para paso 8 y paso 6. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado todos los grupos de bobinas nos disponemos a insertar las bobinas en el estator cumpliendo con los datos obtenidos y el esquema del devanado.



Ilustración 68. Proceso de colocación de las bobinas en el estator. Fuente: Elaboración propia.

Se prepara la entrada y salida de cada bobina para conectarla según el esquema requerido y se le suelda un cable con estaño, que serán las puntas que saldrán por nuestra caja de conexiones, y la parte de las bobinas que queda por fuera del entrehierro del estator se hila, para prensarla, y darle mayor consistencia.



Ilustración 70. Proceso de conexonado e hilado del devanado. Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el proceso de hilado del devanado, el motor se dispondría a barnizarse y por consiguiente al proceso de secado, pero al no poseer del material para ejecutar dicha tarea, este sería el resultado final de la maqueta del motor asíncrono trifásico de c.a.

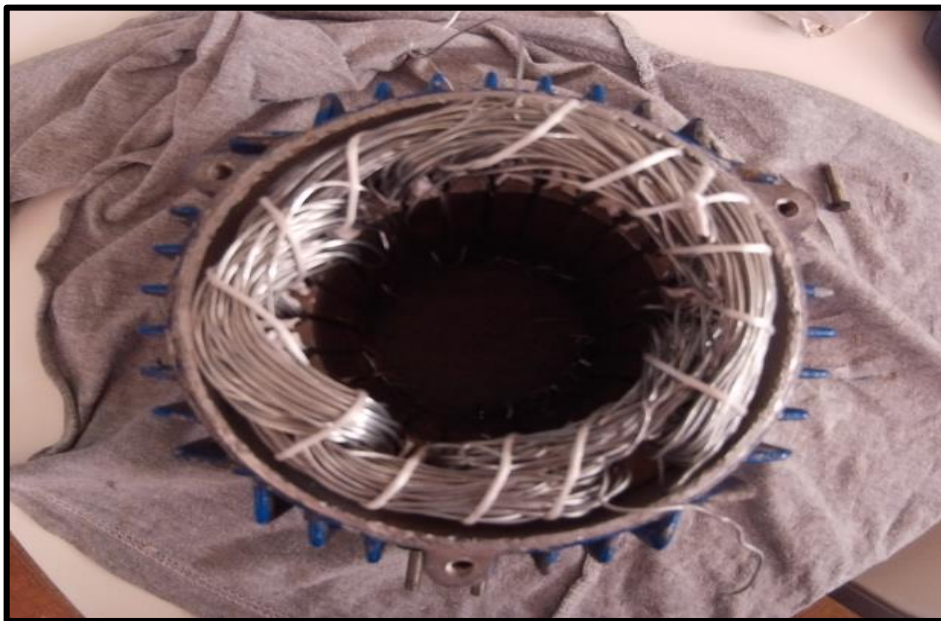


Ilustración 71. Resultado final de la maqueta del motor asíncrono trifásico de c.a. Fuente: Elaboración propia.

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

En esta sección damos por finalizado este Trabajo de Fin de Grado recogiendo las siguientes conclusiones:

- ✚ Hemos conocido el funcionamiento de los motores asíncronos trifásicos, los elementos que lo componen y a su vez los diferentes tipos de rotor y estator, las relaciones entre los bobinados del rotor y estator.

- ✚ Hemos aprendido los conocimientos necesarios para la realización de un bobinado trifásico, además de la obtención de datos, y los diferentes esquemas del bobinado del estator.

- ✚ Hemos adquirido conocimientos de como realizar el mantenimiento correctivo del motor eléctrico, pudiendo así alargar la vida útil de la máquina.

- ✚ Además, tras la elaboración de este trabajo considero fundamental que los profesionales marinos debemos tener una formación académica sobre esta materia, ya que en la actualidad se emplean numerosos motores eléctricos, para así solventar los problemas y encontrar las soluciones de manera más ágil, ya que dicha profesión del bobinador está muriendo actualmente.

VII. BIBLIOGRAFÍA

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.monografias.com/trabajos93/motores-electricos/motores-electricos.shtml>
- [2] <https://www.tercesa.com/Producto-Seleccionado/9/motores-electricos-asincronos>
- [3] https://www.catalogodebombasdeagua.com/productos-motores_electricos_trifasicos_usmotors_fd.html
- [4] https://www.catalogodebombasdeagua.com/productos-motores_electricos_trifasicos_usmotors_fr.html
- [5] https://www.catalogodebombasdeagua.com/productos-motores_electricos_trifasicos_weg_tccv_apruebadeeexplosion.html
- [6] <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico/2-1-estator>
- [7] Reparación y Bobinado de Motores Eléctricos. Fernando Martínez Domínguez.
- [8] <https://www.autonocion.com/motor-asincrono-funcionamiento/>
- [9] http://www1.frm.utn.edu.ar/mielectricas/docs/APUNTES_MAQUINAS_ELECTRICAS-_U_3_v1.1.pdf
- [10] <https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/constitucion%20maq%20elec.pdf>
- [11] <http://motores.nichese.com/asincrono.htm>
- [12] http://www.die.eis.uva.es/~grupo/documentos/genericos_am//apuntes_asincrona.pdf
- [13] <https://automatismosnets.wordpress.com/conexion-estrella-triangulo/>
- [14] https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2806/course/section/2597/04_Maquinas%20Asincronas%20o%20de%20Induccion.pdf
- [15] TALLERES ELECTRO-MECANICOS BOBINADOS. José Ramírez Vázquez.
- [16] <http://apuntescientificos.org/motores.html>
- [17] <http://ingenieriaelectricafravedsa.blogspot.com/2014/12/caja-de-bornes--maquina-induccion.html>
- [18] Manual%20de%20motores%20eléctricos.pdf
- [19] <https://motoresygeneradores.com/reparadores/aislamiento/barnices/60-barnices-de-aislamiento>
- [20] <https://prezi.com/jtswnnndomei/procedimiento-de-secado-de-los-bobinados/>
- [21] TALLERES ELECTRO-MECANICOS BOBINADOS. José Ramírez Vázquez.