



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1601>

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de revisión

Análisis tecnológico de motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla

Technological analysis of three-phase squirrel cage induction motor

Análise tecnológica do motor trifásico de indução em gaiola de esquilo

Wilson Nahon Pacheco-Chica ^I

ingwilson_pacheco17@yahoo.es
<https://orcid.org/0000-0002-9920-3638>

Klever Daniel Santos-Moreira ^{II}

klebe69@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9480-5218>

Correspondencia: ingwilson_pacheco17@yahoo.es

***Recibido:** 9 de noviembre de 2020 ***Aceptado:** 16 de noviembre de 2020 *** Publicado:** 16 de diciembre de 2020

- I. Ingeniero eléctrico, Estudiante Investigador de posgrado de la Maestría de Investigación en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Ingeniero Eléctrico, Gerente de la Compañía HORMIPRIMSA S.A, Estudiante Investigador de posgrado de la Maestría de Investigación en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia en la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

El motor asíncrono o de inducción trifásico con jaula de ardilla es el motor industrial por excelencia. Se pueden incluir dentro de las máquinas eléctricas más fiables que existen en la actualidad, por lo que las intervenciones de mantenimiento son muy reducidas, y adaptándose a las diferentes prestaciones en función de las exigencias deseadas. A causa de su alta fiabilidad el motor asíncrono trifásico puede considerarse como la máquina eléctrica más utilizada del mercado, y se calcula que el consumo de energía de los motores eléctricos constituye aproximadamente un 50% de la demanda de electricidad global. En el presente documento se establece un esbozo metodológico documental, en donde se detalla la información técnica a nivel general del funcionamiento de una máquina de inducción trifásica, específicamente la de tipo rotor de jaula de ardilla, la cual es un dispositivo que gracias al desarrollo de los sistemas electrónicos de control y de potencia ha permitido que las aplicaciones en las que se prioriza la utilización de motores sujetos a la variación de velocidad.

Palabras clave: Motor; inducción; trifásico; asíncrono; jaula.

Abstract

The asynchronous or three-phase induction motor with a squirrel cage is the industrial motor par excellence. They can be included in the most reliable electrical machines that exist today, so maintenance interventions are very reduced, and adapting to the different benefits depending on the desired requirements. Because of its high reliability, the three-phase asynchronous motor can be considered the most widely used electrical machine on the market, and it is estimated that the energy consumption of electric motors constitutes approximately 50% of the global electricity demand. This document establishes a documentary methodological outline, which details the technical information at a general level of the operation of a three-phase induction machine, specifically the squirrel cage rotor type, which is a device that thanks to the development of Electronic control and power systems have allowed applications in which the use of motors subject to speed variation is prioritized.

Keywords: Motor; induction; three; phase; asynchronous; cage.

Resumo

O motor de indução assíncrono ou trifásico com gaiola de esquilo é o motor industrial por excelência. Podem ser incluídos nas máquinas elétricas mais fiáveis que existem hoje, pelo que as intervenções de manutenção são muito reduzidas e adaptando-se aos diferentes benefícios consoantes os requisitos pretendidos. Devido à sua alta confiabilidade, o motor assíncrono trifásico pode ser considerado a máquina elétrica mais utilizada do mercado, e estima-se que o consumo de energia dos motores elétricos represente aproximadamente 50% da demanda global de eletricidade. Este documento estabelece um esboço metodológico documental, que detalha a informação técnica a nível geral do funcionamento de uma máquina de indução trifásica, especificamente do tipo rotor de gaiola de esquilo, que é um dispositivo que graças ao desenvolvimento de O controle eletrônico e os sistemas de potência têm permitido aplicações em que se prioriza o uso de motores sujeitos a variação de velocidade.

Palavras-chave: Motor; indução; trifásico; assíncrono; gaiola.

Introducción

En la industria electromecánica existen diferentes tipos de motores generadores de energía, los cuales se derivan en el uso tanto de la corriente alterna (CA) como de la corriente directa (CD).

Por ello, se considera que son de gran importancia para el funcionamiento de diferentes aplicaciones en procesos industriales y domésticos como: plantas de producción, medios de transporte, reproductores de audio o video, bombas, compresores de aire, propulsores de discos de computadoras, robots, entre otros (Martínez, 2017).

De acuerdo con esto, Catálogo de Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4) en el año 2019 define a los motores de inducción trifásicos como convertidores electromecánicos reversibles, capaces de transformar la energía eléctrica en energía mecánica (cinética) o viceversa. Estos motores eléctricos también son denominados bajo la terminología de motores asíncronos trifásicos, ya que por sus tipologías resaltan por la velocidad de su campo estatórico, por lo cual, bajo condiciones permanentes, su velocidad mecánica nunca se igualará al giro del eje de rotor.

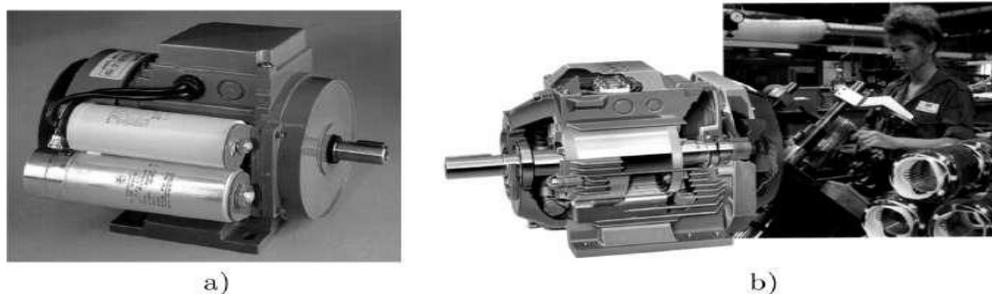
Estos dispositivos rotatorios son clasificados como máquinas de corriente directa si sus salidas son de corriente directa o si la energía de entrada de la máquina proviene de una fuente de corriente

directa. De igual manera, se llaman de corriente alterna, si sus salidas son periódicas o si la energía primaria de entrada proviene de una fuente de corriente alterna (Martínez, 2017).

Las máquinas de corriente alterna son clasificadas de diferente forma: máquinas monofásicas, bifásicas o trifásicas, dependiendo del tipo de fuente utilizada y, como síncronas y asíncronas dependiendo de su velocidad angular. Por lo general, las máquinas asíncronas son conocidas como motores de inducción.

Los motores de inducción son alimentados por energía de corriente alterna monofásica o trifásica. Los motores de inducción con alimentación monofásica, tienen dos fases en el bobinado de estator para generar una condición de autoarranque y, comúnmente son aplicados en el ramo domestico (aspiradoras, lavadoras, etc.) Por su parte, los motores de inducción trifásicos son usualmente construidos con una base de aluminio para aplicaciones de propósito general debajo de los 55 kW.

Figura 1: Motor de inducción



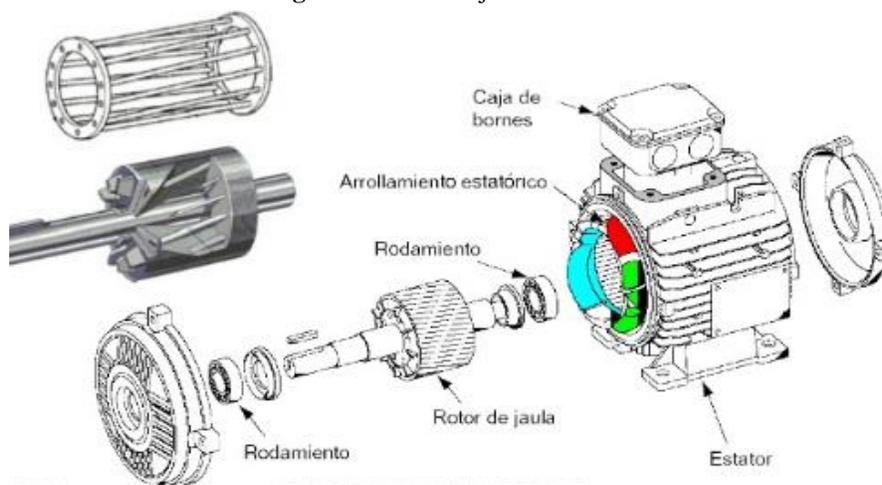
Nota: Motor de inducción con: a) monofásico con capacitador de auto-arranque; b) trifásico con estructura de aluminio.

Fuente: Martínez (2017)

Las maquinarias asíncronas están conformadas por circuitos magnéticos sin polos salientes, y son consideradas como motores de inducción debido a que su funcionamiento está relacionado en la interacción de los campos magnéticos producto de corrientes eléctricas, específicamente la corriente alterna (Catálogo de Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4), 2019).

Prácticamente todos los motores de inducción tienen un rotor cilíndrico y por lo tanto un espacio de aire radial entre el estator y el rotor. Específicamente, el rotor de jaula de ardilla del motor de inducción está construido con devanados individuales o dobles (Figura 2) donde las barras de la jaula y los anillos en los extremos están hechas de aluminio fundido a baja presión para baja y mediana potencia, y de latón o cobre para altas potencias.

Figura 2: Rotor de jaula de ardilla.



Nota: componentes de motor de inducción con rotor jaula de ardilla.

Fuente: Caro (2017)

Dada la aplicabilidad de este tipo de motor de inducción se consideran las ventajas que proporciona en función a otras maquinarias como: bajo costo de fabricación, su rotor es de construcción simple, es compacto y ocupa poco espacio, no generan chispa lo que reduce el riesgo de incendios y no requiere mucho equipo de control (el rotor no necesita control). Mientras que entre las desventajas que se pueden considerar que requieren de una corriente de arranque relativamente alta y el par de arranque es fijo.

Si se detalla en la praxis, un motor de inducción puede describirse como un disco de metal conductor que puede girar libremente alrededor de un eje vertical.

Si se dispone de un imán que también pueda girar libremente sobre el mismo eje que el disco y esté dispuesto encima de este último, y tiene sus extremos curvados hacia abajo para que su flujo magnético corte el disco. Cuando el imán gira, las líneas de flujo magnético cortan el disco e inducen corriente en él (Catálogo de Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4), 2019).

En concordancia, Mantilla en el año 2018 en su trabajo Diseño y análisis paramétrico de un motor de inducción trifásico de baja tensión con software JMAG establece que los motores de inducción de jaula de ardilla se caracterizan por su simplicidad, robustez, fiabilidad y resistencia, son económicos y los costos de mantenimiento son bajos en función a las incidencias durante su funcionamiento (fundamentalmente en los elementos de la rodadura).

De igual manera, Rubio en el año 2014 en su investigación Caracterización de motores de inducción trifásicos en aplicaciones de tracción, refiere que a causa de su alta fiabilidad los motores de inducción trifásico, pueden considerarse como la máquina eléctrica más utilizada en el mercado, y se calcula que el consumo de energía de motores eléctricos constituye aproximadamente el 50% de la demanda de electricidad global.

Este tipo de maquinaria es el motor más utilizado a nivel industrial, debido a sus eficientes características constructivas ante otros tipos de máquinas. Su sencillez en diseño y manejo en diferentes campos de aplicación, representan un aspecto favorable en base a la relación calidad – costo.

Metodología, Materiales y Métodos

En el presente artículo se establece la aplicación de la metodología documental para lo cual Polonia en el año 2016, planteó un documento basado en el Control de Motores Eléctricos, en el cual desglosa los tipos de motores eléctricos y las características de generación de corriente para cada caso. De manera específica, en el articulado presentado se direcciona el esbozo de los motores eléctricos generadores de corriente alterna, los cuales básicamente se clasifican en dos tipos: los síncronos y los asíncronos.

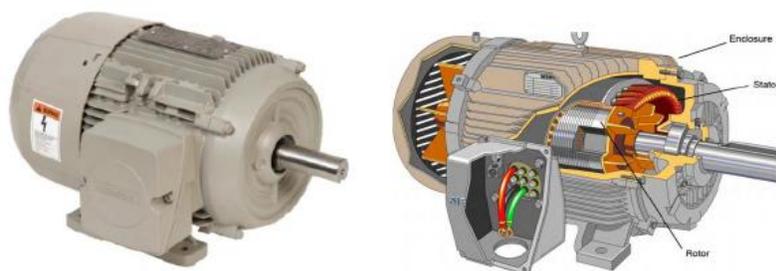
En el mismo orden de ideas, dicho autor refiere que una máquina eléctrica es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. Cuando este dispositivo se utiliza para convertir energía mecánica en energía eléctrica se denomina generador y, cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica se llama motor. En base a esa consideración, una máquina se puede utilizar como generador o como motor. Casi todos los motores y generadores útiles convierten la energía de una a otra forma a través de la acción de campos magnéticos. El transformador es un dispositivo eléctrico estrechamente relacionado con las máquinas eléctricas y operan sobre los mismos principios que los generadores y los motores. Estos tres dispositivos eléctricos se encuentran en todos los ámbitos de la cotidianidad como en, el hogar, haciendo funcionar los refrigeradores, congeladores, aspiradoras, batidoras, sistemas de aire acondicionado, ventiladores, entre otros equipos. También en los talleres, los motores ejercen la fuerza motriz para casi todas las herramientas y, los generadores, que en consecuencia son importantes para suministrar la energía que utilizan todos estos motores.

Asimismo, Godoy en el año 2015 en su documento Modeling and analysis with induction generators, hace referencia a que la aplicación de los motores de inducción en la industria en la mayoría de los casos resulta en ventajas económicas. Generalmente, son alimentados por energía de corriente alterna monofásica o trifásica. Los motores de inducción con alimentación monofásica, tienen dos fases en el bobinado de estator para generar una condición de autoarranque y son utilizados principalmente para aplicaciones domésticas, mientras que los motores de inducción trifásicos son usualmente construidos con una base de aluminio para aplicaciones de propósito general.

Entre los principales componentes de un motor de inducción se tienen:

- El núcleo magnético ranurado de estator.
- El devanado estator.
- El núcleo magnético ranurado de rotor.
- El devanado de rotor.
- El eje de rotor.
- La carcasa del estator con rodamientos.
- El sistema de refrigeración.
- La caja de bornes.

Figura 3: Vistas de un motor de inducción trifásico

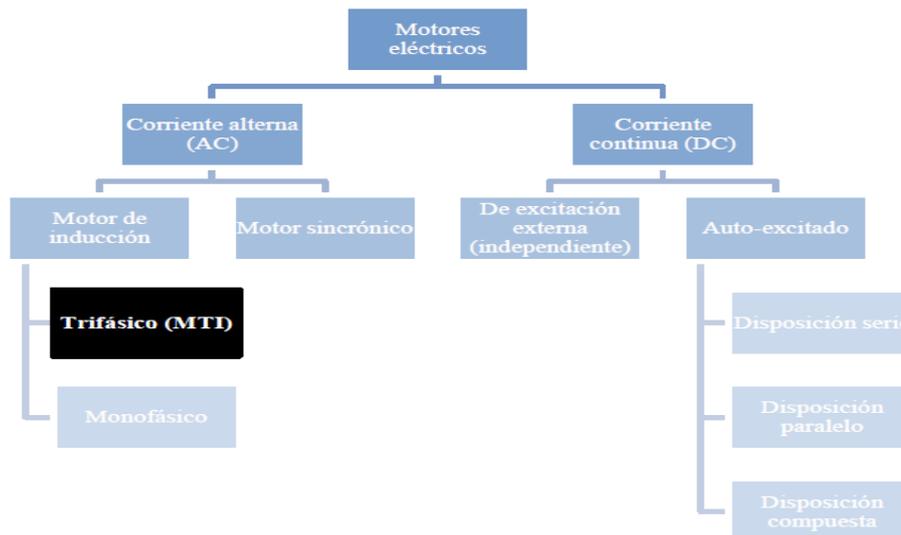


Nota: Se tienen la vista externa de un motor de inducción trifásico y su corte para el desglose de sus componentes principales.

Fuente: Catálogo de Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4) (2019).

Las máquinas de corriente alternan son clasificadas de diferentes formas: máquinas monofásicas, bifásicas o trifásicas, dependiendo del tipo de fuente utilizada; como síncronas si giran a una velocidad constante llamada velocidad angular síncrona y, asíncronas si su velocidad de rotación es menor que la velocidad angular síncrona.

Figura 4: Clasificación de motores eléctricos.



Nota: Clasificación de motores eléctricos donde se detalla al motor de inducción trifásico como una maquinaria accionada bajo corriente alterna.

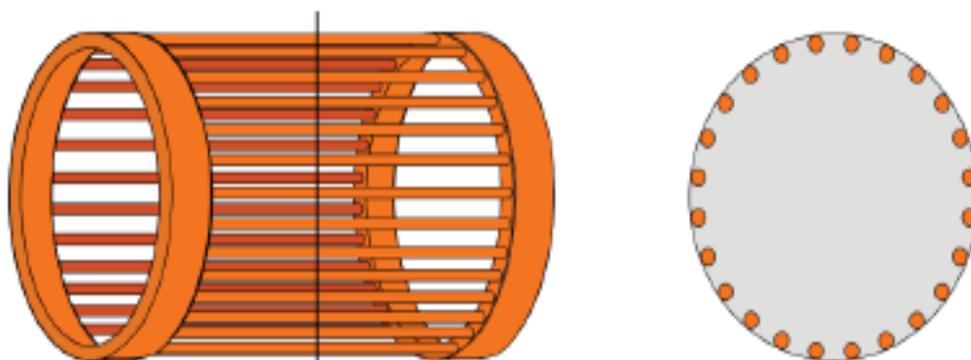
Fuente: Catálogo de Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4). (2019).

Una de las maneras en las que pueden clasificarse los motores de inducción son:

- Con movimiento giratorio o lineal.
- Con fuente de alimentación trifásica o monofásica.
- Con rotor tipo jaula de ardilla o rotor devanado.

Específicamente, el motor de inducción trifásico con rotor de jaula de ardilla, también denominado rotor de cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado. El núcleo del rotor está construido de chapas estampadas de acero al silicio en el interior de las cuales se disponen unas barras, generalmente de aluminio moldeado a presión.

Figura 5: Rotor tipo jaula de ardilla.



Nota: Vistas esquemáticas de un rotor tipo jaula de ardilla.

Fuente: Catálogo de Máquinas y Accionamientos Eléctricos (3M4) (2019).

Las barras del devanado van conectadas a unos anillos conductores denominados anillos extremos; tomando forma así el bobinado de tipo jaula de ardilla. Las ranuras del rotor suelen hacerse oblicuas respecto al eje para evitar así puntos muertos de la inducción electromagnética.

Un inconveniente que presentan los motores con rotor de jaula de ardilla es que en arranque absorbe una corriente muy intensa (de 4 a 7 veces la nominal o asignada), y lo hace además con un bajo factor de potencia, y a pesar de ello, el par de arranque suele ser bajo.

La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchas a velocidad constante. Hasta finales del siglo XX un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla era que su velocidad no era regulable, pero con los avances de la tecnología, actualmente con los variadores de velocidad electrónicos se puede conseguir un control perfecto de los parámetros que rigen el motor, entre los que destacan el par, la corriente absorbida y la velocidad de giro.

Análisis y discusión de resultados.

Las características de un motor constituyen el corazón de una planta industrial de cualquier empresa productiva y por tanto, todo técnico o ingeniero debe estar en capacidad de conocer sus características, su forma de arranque y sus protecciones (Polonia, 2016)

De las cosas importantes a tener en claridad es en el significado de los datos de la placa característica del motor de inducción trifásico de rotor de jaula de ardilla, para la cual a manera de ejemplificar se muestra a continuación:

Figura 6: Placa característica.

220 - 380v		5,38 - 9,3 AMP
PH = 3	Hz = 60	COSφ = 0,85
RPM = 1710	HP = 3	KW = 2,2
CODIGO: B		

Su interpretación es la siguiente:

Tensión aplicada en triángulo	= 220 V
Tensión aplicada en estrella	= 380 V
Corriente consumida en estrella	= 5,38 Amp.
Corriente consumida en triángulo	= 9,3 Amp.
Número de fases de motor	= 3 (trifásico)
Frecuencia en ciclos por segundo	= 60 Hz.
Factor de potencia del motor	= 0,85
RPM del motor con carga	= 1710
Potencia en caballos fuerza	= 3 HP
Potencia en Kilovatios	= 2,2 Kw
ipo de motor trifásico	= Jaula de ardilla, código B.

Nota: Descripción de datos de la placa característica de un motor de inducción trifásico de jaula de ardilla.

Fuente: Polonia (2016).

Con esta información se puede calcular su eficiencia, deslizamiento y par motor de la siguiente manera:

Potencia de salida = 3 HP = 3 x 746 = 2238 W.

Potencia de entrada = 1,73 x E.I cosφ
 = 1,73 x 220 x 9,3 x 0,85 = 3008,6 W

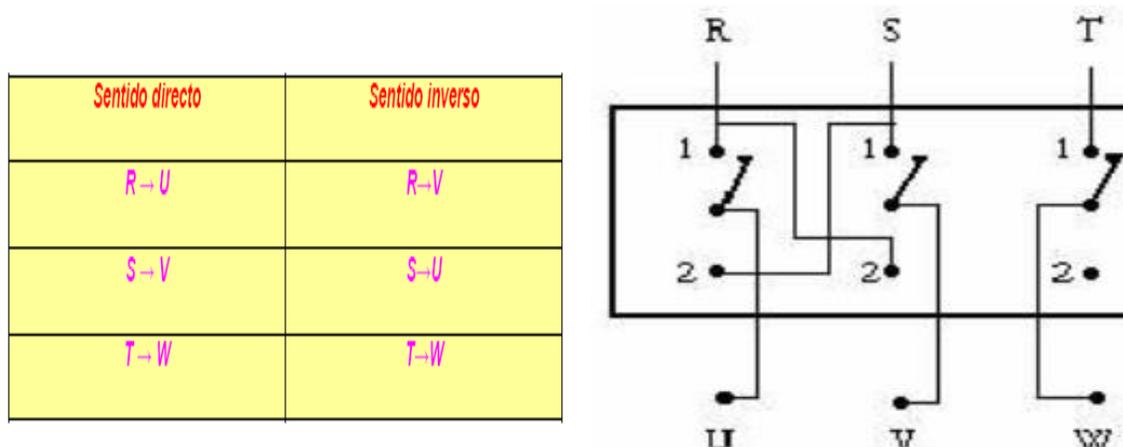
Eficiencia = 2238 / 3008,6 = 74,4%

Deslizamiento = (1800 - 1710) / 1710 x 100% = 5,3%

Par motor = 746 x HP / RPM = 746 x 3 / 1710 = 1,31 m·kg.

El sentido de rotación de un motor trifásico se invierte intercambiando dos fases cualesquiera en los terminales del motor.

Figura 7: Diagrama de control manual de inversión.



Nota: se presenta el cuadro de sentidos directo e inverso y, diagrama de control manual de inversión de motor de inducción trifásico de rotor de jaula de ardilla.

Fuente: Polonia (2016)

Conclusiones

En función a como está estructurado el motor de inducción trifásico y en base a su accionar, se han definido las condiciones generales que describen su operatividad.

Debido a la gran variedad de aplicaciones en que se utiliza el motor de inducción, hay diferentes tipos del mismo y en consideración a esto se establece que como máquina eléctrica, el motor de inducción es altamente como sistema de potenciación de la energía tanto síncrona como asíncrona. Para instalar de manera correcta un motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla se debe seleccionar de manera precisa el fusible, el contactor térmico, el calibre de los conductores, el tamaño del conduit y el interruptor de seguridad, todo ello para garantizar un funcionamiento óptimo del dispositivo.

Desde el aspecto ambiental, tiene un impacto debido a su proceso de fabricación, transporte, rendimiento en uso y reciclaje y, en lo económico, representa una positiva relación costo – beneficio, debido a su largo periodo de vida útil.

Referencias

1. Aller (2015). Modelación y control de máquinas eléctricas. Parte II. http://prof.usb.ve/jaller/CursoMaquinasRiobamba_beamer_Parte2.pdf
2. Benhaddadi y otros (2010). Premium efficiency motors. <https://acortar.link/GIGfy>

3. Boldea (2017). Electric generators and motors: an overview. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7911104>
4. Caro (2017). Interpretación placas de bornas motores trifásicos. <https://acortar.link/apy9y>
5. Catálogo de máquinas y accionamientos eléctricos (3M4) (2019).
6. Ceraolo y otros (2014). Fundamentals of electric power engineering – from electromagnetics to power systems. IEEE Press – Wiley. 2014.
7. EC&M Web (2020, 14 de agosto). Direct current motor basics. <https://www.ecmweb.com/archive/article/20893400/direct-current-motor-basics>
8. Electronics Projects Focus (2020, 13 de agosto). DC Motor – Basics, Types & Application. <https://www.elprocus.com/dc-motor-basics-types-application/>
9. Godoy (2015). Modeling and analysis with induction generators. Third edition. Taylor & Francis Group, LLC. International Standard Book Number-13:978-1-4822-4469-4(eBook – PDF).
10. Ho, T.Y. (2018). The design of motor drive for brushless DC motor. <https://acortar.link/Wd8Bj>
11. Ismagilov y otros (2018). Materials used in high-speed electrical machines. <https://acortar.link/N1eNx>
12. MachineDesign (2020, 14 de agosto). Motors & Drives. DC Motors. <https://www.machinedesign.com/motors-drives/article/21812901/dc-motors>
13. Maxon Group (2019). Design guide on DC motors. <https://wtwh-marketing.s3.amazonaws.com/designguides/DCMotors-DesignGuide.pdf>
14. Mantilla (2018). Diseño y análisis paramétrico de un motor de inducción trifásico de baja tensión con software JMAG. Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Universidad de Cantabria. Julio 2018.
15. Martínez (2017). Análisis comparativo de diferentes esquemas de control no – lineal de posición y velocidad angular aplicado al motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla. Tesis de Maestría en Electrónica opción: sistemas inteligentes aplicados. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México 2017.
16. MathWorks (2020, 12 de agosto). Motors and Generators. <https://ch.mathworks.com/help/physmod/sps/motors-and-generators.html>

17. Polonia (2016). Control de Motores Eléctricos. 2016.
18. Rubio (2014). Caracterización de motores de inducción trifásicos en aplicaciones de tracción. Grado en Ingeniería Eléctrica. EPSEVG. Julio 2014.
19. Sciencedirect (2020, 13 de agosto). Direct Current Motor.
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/direct-current-motor>
20. Windings (2020, 14 de agosto). Basic motor design tutorial.
<https://www.windings.com/technical-reference/basic-motor-design-tutorial/>

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).