

**EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES INDUSTRIALES**

**JOSÉ MAURICIO ZAPATA GIL**

**JOHN HAMILTON MARTÍNEZ OTÁLVARO**

**EDWIN AURELIO MOSQUERA CASTAÑO**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

**2018**

# **EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES INDUSTRIALES**

**JOSÉ MAURICIO ZAPATA GIL**

**JOHN HAMILTON MARTÍNEZ OTÁLVARO**

**EDWIN AURELIO MOSQUERA CASTAÑO**

Trabajo presentado y dirigido para obtener el título de ingeniería eléctrica

Asesor

Víctor Daniel Correa Ramírez

Ingeniero Eléctrico

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

**2018**

## Contenido

1	Planteamiento del problema.....	10
1.1	Identificación del problema .....	10
1.2	Formulación del problema.....	10
2	Objetivos .....	11
2.1	Objetivo General.....	11
2.2	Objetivo Específicos.....	11
3	Justificación .....	12
4	Marco de referencia .....	13
4.1	Marco contextual .....	13
4.2	Referentes Teórico.....	14
	▪ Motor eléctrico .....	14
	▪ Fundamentos de operación de los motores eléctricos. ....	14
	▪ Estator.....	16
	▪ Rotor.....	17
	▪ Tipos de Bobinas .....	18
	▪ Carcasa.....	18
	▪ Caja de conexiones .....	19
	▪ Base.....	19
	▪ Tapas.....	19
	▪ Cojinetes.....	20
5	Metodología .....	22
5.1	Enfoque de investigación.....	22
	▪ Investigación Cualitativa.....	22
	▪ Investigación Cuantitativa.....	22

▪ Investigación Explorativa .....	23
5.2 Instrumentos de recolección de información.....	23
▪ Fuentes primarias:.....	23
▪ Fuentes secundarias:.....	23
6 Resultados del proyecto .....	25
6.1 Características generales de motores convencionales versus motores eficientes.....	25
▪ Tipos de motores eléctricos y características .....	25
▪ Los Motores de Corriente Directa [C.D.] o Corriente Continua [C.C.]: .....	25
▪ Los Motores de Corriente Alterna [C.A.].....	29
▪ Clasificación de los motores de corriente alterna.....	31
▪ Recomendaciones sobre los motores eléctricos convencionales.....	41
▪ Potencia y Eficiencia del Motor .....	42
6.2 Modelo eléctrico, pérdidas y algunas técnicas para aumentar la eficiencia energética de motores eléctricos en aplicaciones industriales. ....	46
▪ Modelo del Motor eléctrico .....	46
6.3 Beneficios de motores eficientes. ....	69
7 Conclusiones .....	70
8 Recomendaciones .....	71
9 Referencias bibliográficas.....	72

## Lista de Figuras

<b>¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..</b> Principio de funcionamiento del Motor eléctrico .....15	15
<b>¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..</b> Partes del Motor eléctrico.....16	16
<b>¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..</b> Estructura de polos de motor eléctrico .....16	16
Figura 4; <b>¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..</b> Estructura de rotor de motor eléctrico.....17	17
Figura 5. Tipos de devanados.....18	18
Figura 6. Caja de conexiones.....19	19
Figura 7. Cojinete de deslizamiento.....20	20
Figura 8. Cojinete de rodamiento.....21	21
Figura 9. Motor CD de excitación independiente.....26	26
Figura 10. Motor CD serie.....27	27
Figura 11. Motor CD en derivación.....27	27
Figura 12. Motor CD compound.....28	28
Figura 13. Rotor de polos lisos.....32	32
Figura 14. Motor de polos salientes.....33	33
Figura 15. Sentido de giro en las bobinas.....35	35
Figura 16. Motor de arranque con capacitor.....36	36
Figura 17. Motor de arranque con permanente.....36	36

Figura 18. Motores trifásicos.....	37
Figura 19. Devanado de 6 terminales.....	39
Figura 20. Devanado de 9 terminales.....	40
Figura 21. Conexión de devanado en estrella.....	40
Figura 22. Conexión de estrella.....	41
Figura 23. Formas de onda de corriente continua y alterna.....	46
Figura 24. Generador alterno monofásico.....	47
Figura 25. Forma de la onda monofásica obtenida con generador alterno monofásico.....	48
Figura 26. Generador de corriente directa.....	49
Figura 27. Esquema de un alternador trifásico.....	50
Figura 28. Forma de la onda trifásica obtenida con generador alterno trifásico.....	50
Figura 29. Flujo magnético alrededor de un conductor.....	51
Figura 30. Inducción electromagnética.....	52
Figura 31. Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético.....	54
Figura 32. Típico Flujo de Energía.....	56
Figura 33. Bobina en cobre.....	59
Figura 34. Rotor en cobre y aluminio.....	60
Figura 35. Maquinado de alta precisión.....	61
Figura 36. Rotor con acero de alta calidad.....	62
Figura 37. Disposición Rotor y Estator.....	63

Figura 38. Tipos de VSDs.....	64
Figura 39. Motor eficiente.....	68

## **Resumen**

Actualmente la eficiencia energética está trascendiendo a muchos sectores productivos en razón del costo energético y el cuidado del medio ambiente. Es por esto que en este trabajo se recopilará una investigación referente a motores en la industria, ya que estos son los equipos de mayor consumo de energía eléctrica en las instalaciones industriales. Aproximadamente entre el 60 % y el 70 % del consumo de energía eléctrica corresponde a equipos electromotrices (equipos auxiliares) tales como ventiladores, bombas, compresores de aire, bandas transportadoras, entre otros y que a su vez están acoplados a motores eléctricos. El mercado eléctrico mundial fue valorada en más de \$ 70 mil millones de dólares en 2015 y se espera que crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta del 4,2% del 2017 hasta el 2025. Dada su importancia, es evidente el gran impacto que tienen los motores en el consumo de energía eléctrica en el sector industrial, por lo tanto, resulta conveniente identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía en estos equipos mediante una política de eficiencia energética para acompañar el crecimiento de la demanda.

El concepto de eficiencia energética tiene que ver con la cantidad de energía útil que se puede obtener de un sistema o de una máquina. Así también, este concepto se refiere a todas las acciones que tengan como objetivo una reducción económicamente factible de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de una instalación determinada, asegurando un nivel de calidad igual o superior, y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía.

El trabajo a continuación presenta una descripción general de las máquinas eléctricas que se utilizan en la industria, muestra el modelo eléctrico del motor y sus pérdidas y se relaciona algunas técnicas como buenas prácticas que contribuyen a mejorar la eficiencia energética.



## Abstract

Currently, the efficiency energy is transcending many productive sectors because of the energy cost and the care of the environment. So, the present research will compile an investigation referring to the industry's electric machines, since these are the most energy consuming equipment in facilities industrial. Approximately between 60% and 70% of the electrical energy consumption corresponds to electromotive equipment (auxiliary equipment) such as fans, pumps, air compressors, conveyor belts, among others and which in turn are coupled to electric motors. The global electricity market was valued at more than \$ 70 million dollars in 2015 and is expected to grow a compound annual growth rate of 4.2% from 2017 to 2025. Given its importance, it is evident the great impact that motors have on the consumption of electrical energy in the industrial sector, therefore, it is convenient to identify and evaluate opportunities for energy savings in these equipment through an energy efficiency policy to accompany the growth of demand.

The concept of energy efficiency has to do with the amount of useful energy that can be obtained from a system or a machine. Also, this concept refers to all the actions that have as objective an economically feasible reduction of the amount of energy necessary to satisfy the energy needs of a given installation, ensuring an equal or superior level of quality, and a reduction of the impacts negative environmental factors resulting from the generation, distribution and consumption of energy.

The research presents a general description of the electrical machines used in the industry, shows the electric model of the engine and its losses and relates some techniques as good practices that contribute to improving energy efficiency.

## **Introducción**

El consumo eléctrico en los motores eléctricos en el mundo, representa cerca del 40% del consumo total y en la industria, el porcentaje es del orden del 70%. Cada vez el consumo eléctrico para mover la economía mundial se vuelve esencial a la vez que crecen las restricciones de toda índole, especialmente las de tipo ambiental lo que obliga a que la industria y la academia, desde la ciencia, tecnología e innovación se vuelvan más eficientes. Por ello muchos países promueven un consumo energético más eficiente y a partir de energías renovables limpias.

Desde la presencia del primer motor eléctrico para aplicación industrial, probablemente se consideró un gran avance. No obstante, a medida que la tecnología ha avanzado, los fabricantes de motores han desarrollado mejores motores que utilizan menos energía y reducen costos. Si bien es natural que los fabricantes empleen la última tecnología en la creación de los motores eléctricos, también ha sido esencial el mejoramiento en la instrumentación y control para mejorar la eficiencia de estos motores.

Con el concepto de “eficiencia energética” utilizándose cada vez más, es importante que este concepto puede integrarse aplicaciones industriales y en el hogar. Los motores de conservación de energía pueden ofrecer muchos beneficios. Con una instalación adecuada, pueden funcionar a menor temperatura, ofrecen condiciones de servicio más altas, duran más tiempo, proporcionan un mejor aislamiento y emiten menos ruido y vibración. Con tantas ventajas, los fabricantes de automóviles harían bien en asegurarse de que están produciendo y empleando los motores de mayor eficiencia energética posible.

# 1 Planteamiento del problema

Debido al alto consumo de potencia eléctrica en motores y gran parte en el sector industrial, el consumo eficiente de potencia eléctrica es cada vez más relevante para los sistemas eléctricos de potencia. Por esto, la ciencia y la industria cada vez se preocupan por el desarrollo tecnológico de nuevos motores maximizando diseños de fabricación, nuevos materiales, reduciendo las pérdidas tanto en los rotores como en los estatores. También se han mejorado los factores de potencia con los cuales trabajan los motores reduciendo el consumo de potencia reactiva. Lo anterior muestra una preocupación tanto desde la academia como de la industria por mejorar la eficiencia energética de los motores, lo cual se refleja en un menor consumo de potencia activa y con ello mejorar los costos de operación. El presente trabajo pretende ilustrar a la comunidad educativa describir los diferentes mecanismos desarrollados o propuestos en la fabricación de motores eléctricos que contribuyen a mejorar la eficiencia energética de los mismos con beneficio para la industria y el sector eléctrico de los países

## 1.1 Identificación del problema

Dentro del marco de eficiencia energética el consumo de los motores eléctricos representa un gran rublo del consumo total de la energía eléctrica de un país. En el caso de Colombia la ley eléctrica recompensa el consumo eficiente de la energía mediante factura de cobro de las empresas distribuidoras a la carga industrial. Por esto, motores cada vez más eficientes alivian la factura de cobro.

## 1.2 Formulación del problema

¿Será posible describir e ilustrar la comunidad académica sobre algunas técnicas en el diseño de motores y buenas prácticas que puedan contribuir con la eficiencia energética en los sistemas eléctricos de potencia?

## 2 Objetivos

### 2.1 Objetivo General

Describir algunas técnicas que contribuyen a mejorar la eficiencia energética en motores industriales.

### 2.2 Objetivo Específicos

- Presentar características generales de motores convencionales versus motores eficientes.
- Describir el modelo eléctrico del motor, sus pérdidas y técnicas para aumentar la eficiencia energética de motores eléctricos en la industria.
- Presentar los beneficios de los motores con características más eficientes.

### 3 Justificación

La forma en que un motor eléctrico está diseñado y la forma en que se utiliza son los dos factores determinantes que pueden ayudar a ahorrar el consumo de potencia eléctrica. Los controladores de velocidad variable o variadores de velocidad forman otra arista en que los motores eléctricos determinan el consumo energético del mismo. Estos dispositivos se emplean típicamente como ahorradores de energía en bombas y ventiladores, ya que mejoran operaciones de proceso, especialmente cuando es necesario el control de flujo. Otro frente en el consumo energéticos de motores está asociado con el arranque y paro con arrancadores suaves son dependientes de la carga. Los arrancadores suaves de nueva generación emplean algoritmos avanzados, lo que lleva a arranques más precisos y menos dependientes de la carga y tiempos de parada.

Los motores energéticamente eficientes utilizan menos electricidad, no se calientan con la misma facilidad y presentan una larga vida. Estos tipos de motores se caracterizan por un mejor diseño, lo que resulta en una menor pérdida de calor y menos ruido. El uso de materiales de alta calidad, tolerancias más estrechas y técnicas de fabricación mejoradas también ayudan a reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia.

Con el concepto de “eficiencia energética” utilizándose cada vez más, es importante que este concepto puede integrarse a dispositivos industriales como los motores. Los motores más eficientes pueden ofrecer mayores beneficios tanto para la industria como el sector eléctrico.

Este trabajo ilustra algunos métodos que contribuyen a la eficiencia energética de motores eléctricos y pretende motivar futuras investigaciones que contribuyan al uso eficiente de energía de esa manera contribuir con el cuidado del medio ambiente, reducir los costos fijos de operación y favorecer el sector eléctrico del país.

## 4 Marco de referencia

### 4.1 Marco contextual

El consumo eficiente de la energía eléctrica es una problemática mundial y no solamente favorece la demanda industrial sino también el sector eléctrico en la medida que mitiga el crecimiento de las instalaciones eléctrica desde la generación, transmisión y distribución. Además que contribuye con el cuidado del medio ambiente.

El factor de potencia en los motores eléctricos juega un papel importante para varios agentes: Para la industria un consumo excesivo de potencia reactiva, es decir una carga inferior a 0.85 p. u, será cobrada a la industrial a precios de potencia activa. Por esto la industria se ve en la obligación de compensar haciendo inversiones en elementos estáticos para compensar el consumo de potencia reactiva en los motores, mediante bancos de compensación reactiva y otros elementos electrónicos que corrijan el factor de potencia. Lo ideal es operar la carga de motores cerca de un factor de potencia unitario.

Para el sector eléctrico, un menor consumo de potencia reactiva representa una menor exigencia desde la generación, el sistema de transmisión, transformación y distribución.

Como se mencionó anteriormente, el consumo de los motores eléctricos radica en el diseño de fabricación y la manera de operación.

- Aspectos de Diseño: diseño de estator, diseño del roto, tipo de arrollamientos, conexionado de arrollamientos, tipo de conductores, controladores asociados.
- Aspectos de operación: tipo, características y exigencia de la carga, velocidad de operación, ubicación eléctrica de los centros de carga industrial.

## 4.2 Referentes Teórico

- *Motor eléctrico*

El primer motor eléctrico industrial probablemente se consideró un gran avance en su día, incluso cuando había mucho por mejorar. A medida que la tecnología ha avanzado, los fabricantes de motores han desarrollado mejores motores que utilizan menos energía y reducen costos. Si bien es natural que los fabricantes empleen la última tecnología en la creación de los motores eléctricos, han sido las mejores en los métodos de producción mediante las mejoras en la instrumentación y tecnología.

- *Fundamentos de operación de los motores eléctricos.*

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Estos equipos pueden ser utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías.

En magnetismo se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. En la Figura 1, se muestra como se produce el movimiento de rotación en un motor eléctrico.

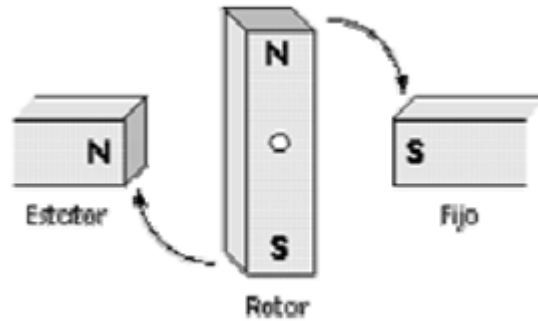


Figura 1. Principio de funcionamiento del Motor eléctrico

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Un motor eléctrico opera primordialmente en base a dos principios: El de inducción, descubierto por Michael Faraday en 1831; que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético o está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. Y el principio que André Ampère observó en 1820, en el que establece: que si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica o f.e.m. (fuerza electromotriz), sobre el conductor.

#### 4.2.3 Partes fundamentales de un motor eléctrico.

Dentro de las características fundamentales de los motores eléctricos, éstos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estator, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, las tapas y los cojinetes, ver Figura 2. No obstante, un motor puede funcionar solo con el estator y el rotor.



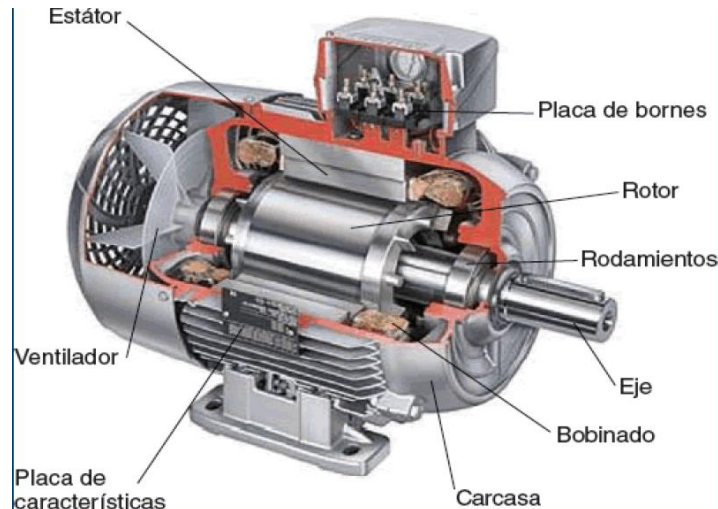


Figura 2. Partes del Motor eléctrico

Fuente: Rosales, J. 2018 [2]

- *Estator.*

El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente. Existen dos tipos de estatores, ver Figura 3.

- a) Estator de polos salientes.
- b) Estator ranurado.

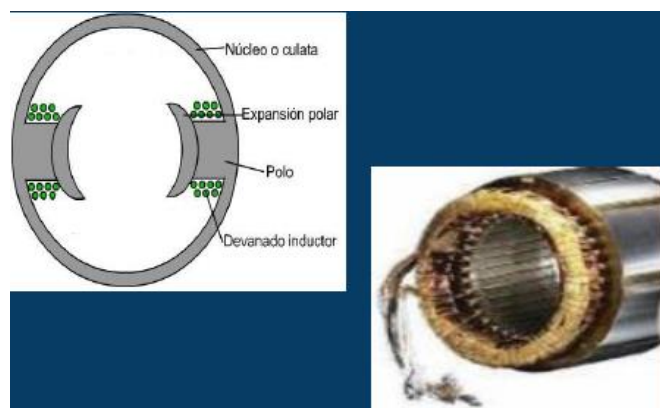


Figura 3. Estructura de polos de motor eléctrico

Fuente: Rosales, J. 2018 [2]

El estator está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (y se les llama "paquete"), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estator y los devanados proveen los polos magnéticos.

Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

- *Rotor.*

Es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos, ver Figura 4:

- a) Rotor ranurado
- b) Rotor de polos salientes
- c) Rotor jaula de ardilla

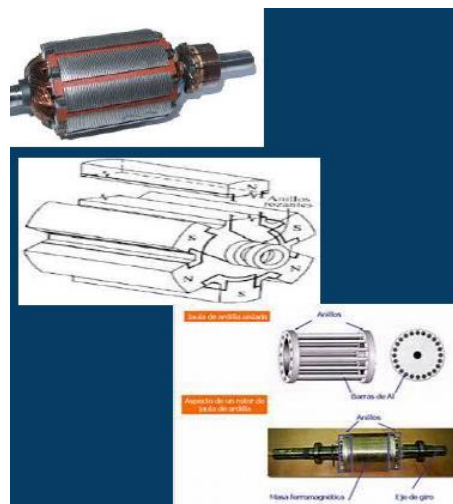


Figura 4. Estructura de rotor de motor eléctrico

Fuente: Rosales, J. 2018 [2]

### ▪ *Tipos de Bobinas*

Un motor monofásico tiene dos grupos de devanados en el estator:

- Devanado principal o devanado de trabajo.
- Devanado auxiliar o de arranque.

Estos dos devanados están conectados en paralelo, al voltaje de línea.

El devanado de trabajo está formado por conductores gruesos y tiene más espiras que el devanado de arranque, el devanado de arranque tiene menos espiras de sección delgada, tal como se ilustra en la Figura 5



Figura 5. Tipos de devanados

Fuente: Rosales, J. 2018 [2]

### ▪ *Carcasa*

Es la parte que protege y cubre al estator y rotor. Se presenta de diferentes maneras:

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta

- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible

- *Caja de conexiones*

En la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones, La caja de conexiones (placa de bornes) que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, tal como se ilustra en la Figura 6.

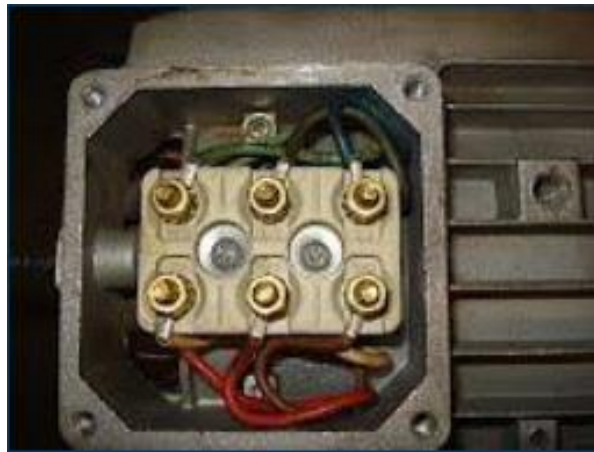


Figura 6. Caja de conexiones

Fuente: Rosales, J. 2018 [2]

- *Base.*

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos: a) Base frontal y b) Base lateral

- *Tapas.*

Son los elementos que van a sostener en la gran mayoría de los casos a los cojinetes o rodamientos que soportan la acción del rotor.

- *Cojinetes.*

También conocidos como rodamientos, contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

a) Cojinetes de deslizamiento: Operan la base al principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre la barra del eje y la superficie de apoyo, ver figura 7.



Figura 7. Cojinete de deslizamiento

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

b) Cojinetes de rodamiento: Se utilizan con preferencia en vez de los cojinetes de deslizamiento por varias razones, ver Figura 8:

- Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
- Son compactos en su diseño
- Tienen una alta precisión de operación.
- No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
- Se remplazan fácilmente debido a sus tamaños estándares



Figura 8. Cojinete de rodamiento

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

## 5 Metodología

Es un proyecto a nivel descriptivo, exploratorio y explicativo, A continuación, se valida la metodología fundamentada en los siguientes tipos de investigación.

### 5.1 Enfoque de investigación

- *Investigación Cualitativa.*

La investigación es Cualitativa, se caracteriza porque se limita a describir las cualidades principales del modelo de negocio y no se trata de probar o de medir en qué grado una cierta cualidad en particular, (Taylor y Bogdan, 1986, pág. 20 [3]) y (Rodríguez G. 1996. Pag 47 [4]). El método que se adopta es un proceso de indagación para estudiar las características de los motores convencionales, y revisar qué condiciones especiales deben tenerse en cuenta en el diseño de motores que con tribuyas a mejorar la eficiencia energética.

- *Investigación Cuantitativa.*

La investigación también es cuantitativa debido a que se valida mediante la cuantificación de los resultados obtenidos de una muestra de 20 encuestas, la cual a su vez refuerza la inteligencia de mercado. La encuesta busca determinar las necesidades de mantenimiento, la demanda de servicios especializados en mantenimientos y aceptación de una propuesta de modelo de negocio más personalizado a los clientes lecheros. (Taylor y Bogdan, 1986, pág. 29 [3]).

- *Investigación Explorativa.*

En el presente trabajo se realiza una investigación para identificar los factores que deben considerarse en los motores industriales para mejorar su eficiencia energética. (Frank Morales, 2010, Pag 1[5]).

El proceso metodológico se soporta además en documentos bibliográficos referenciados a lo largo del trabajo, conformado por manuales, artículos y documentos referentes al tema de investigación.

A partir de los diferentes tipos de investigaciones presentados arriba, será posible inferir, deducir, proyectar, sacar conclusiones y recomendaciones sobre métodos y buenas prácticas para mejorar la eficiencia energética de motores industriales.

## 5.2 Instrumentos de recolección de información.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, la obtención de datos e información se obtuvo de diferentes fuentes, las cuales son clasificadas según su origen en primarias y secundarias.

- *Fuentes primarias:*

- Asesorías directas con los docentes de la Universidad.

Estas fuentes han sido contundentes para la asesoría del desarrollo del presente trabajo.

- Contacto directo con los Ingenieros y técnicos en el área de la industria.

Estas fuentes han sido muy importantes para identificar que buenas practicas utiliza la industria para reducir el consumo energético de las maquinas

- *Fuentes secundarias:*

- Material bibliográfico está integrado por:



- Manuales de Mantenimiento: estos fueron recopilados y consultados en la WEB y reportados en la bibliografía
- Artículos de referencia; La información consultada fue útil para levantar las recomendaciones de mantenimientos, entre otras.

De acuerdo a los objetivos planteados, este trabajo está basado en el grado de referenciamiento y estado del arte, con lo cual se determina un proyecto a nivel descriptivo, exploratorio y explicativo. En base a la información recopilada se procede a realizar una evaluación económica para evaluar el costo beneficio de la iniciativa de una eficiencia energética en los motores usados en la industria.

## 6 Resultados del proyecto

### 6.1 Características generales de motores convencionales versus motores eficientes.

A continuación se presentan los tipos de motores que se emplean en la industria y sus características, y se concluye con aquellos motores que presentan mejores desempeños desde el consumo energético.

- *Tipos de motores eléctricos y características*

Los motores eléctricos se clasifican en:

- Motores DC, los cuales son monofásicos
- Motores AC, que se clasifican a su vez en:
  - Asíncronos o de inducción, pueden ser monofásicos o trifásicos
  - Síncronos, pueden ser monofásicos o trifásicos
- Especiales, estos se clasifican en:
  - Imanes permanentes
  - Sin escobillas DC, son monofásicos
  - Reluctancia variable, son trifásicos

- *Los Motores de Corriente Directa [C.D.] o Corriente Continua [C.C.]:*

Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías. Este tipo de motores debe de tener en el rotor y el estator el mismo número de polos y el mismo número de carbones.

Antes de continuar, conviene aclarar un concepto básico que debe conocerse de un motor: el concepto de funcionamiento con carga y funcionamiento en vacío.

Un motor funciona con carga cuando está arrastrando cualquier objeto o soportando cualquier resistencia externa (la carga) que lo obliga a absorber energía mecánica. Por ejemplo: una batidora encuentra resistencia cuando bate mayonesa; el motor de una grúa soporta las cargas que eleva, el propio cable, los elementos mecánicos de la grúa.

Un motor funciona en vacío, cuando el motor no está arrastrando ningún objeto, ni soportando ninguna resistencia externa, el eje está girando libremente y no está conectado a nada. En este caso, el par resistente se debe únicamente a factores internos.

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma de conexión de las bobinas inductoras e inducidas entre sí: el motor de excitación independiente, motor serie, ver Figura 9, o motor de derivación o motor shunt, motor compoud.

Motor de excitación independiente: Son aquellos que obtienen la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de tensión independientes. Con ello, el campo del estator es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es entonces prácticamente constante. Este sistema de excitación no se suele utilizar debido al inconveniente que presenta el tener que utilizar una fuente exterior de corriente.

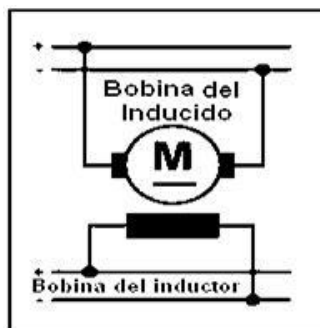


Figura 9. Motor CD de excitación independiente

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Motor serie: Los devanados de inducido y el inductor están colocados en serie y alimentados por una misma fuente de tensión. En este tipo de motores existe dependencia entre el par y la

velocidad; son motores en los que, al aumentar la corriente de excitación, se hace disminuir la velocidad, con un aumento del par, ver Figura 10.

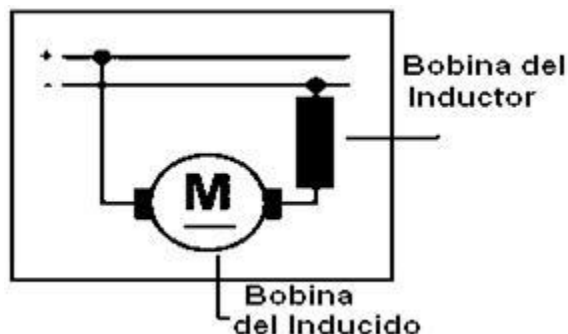


Figura 10. Motor CD serie

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Motor de derivación: El devanado inducido e inductor están conectados en paralelo y alimentados por una fuente común. También se denominan máquinas shunt, y en ellas un aumento de la tensión en el inducido hace aumentar la velocidad de la máquina, Figura 11.



Figura 11. Motor CD en derivación

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Motor compuesto: También llamados compound, en este caso el devanado de excitación tiene una parte de él en serie con el inducido y otra parte en paralelo. El arrollamiento en serie con el inducido está constituido por pocas espiras de gran sección, mientras que el otro está formado por un gran número de espiras de pequeña sección. Permite obtener por tanto un motor con las ventajas

del motor serie, pero sin sus inconvenientes. Sus curvas características serán intermedias entre las que se obtienen con excitación serie y con excitación en derivación.

Existen dos tipos de excitación compuesta. En la llamada compuesta adicional el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos serie y paralelo es el mismo, por lo que sus efectos se suman, a diferencia de la compuesta diferencial, donde el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos tiene sentido contrario y por lo tanto los efectos de ambos devanados se restan, ver Figura 12.

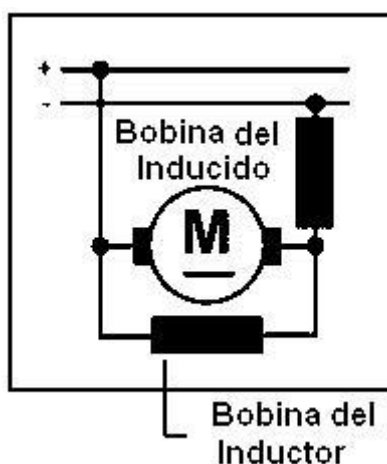


Figura 12. Motor CD compound

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Aplicaciones del motor de corriente continua:

- Trenes de laminación reversibles. Los motores deben de soportar una alta carga. Normalmente se utilizan varios motores que se acoplan en grupos de dos o tres.
- Trenes Konti. Son trenes de laminación en caliente con varios bastidores. En cada uno se va reduciendo más la sección y la velocidad es cada vez mayor.
- Cizallas en trenes de laminación en caliente. Se utilizan motores en derivación.
- Industria del papel. Además de una multitud de máquinas que trabajan a velocidad constante y por lo tanto se equipan con motores de corriente continua, existen accionamientos que exigen par constante en un amplio margen de velocidades.
- Otras aplicaciones son las máquinas herramientas, máquinas extractoras, elevadores, ferrocarriles.

- Los motores desmontables para papeleras, trefiladoras, control de tensión en máquinas bobinadoras, velocidad constante de corte en tornos grandes
- El motor de corriente continua se usa en grúas que requieran precisión de movimiento con carga variable (cosa casi imposible de conseguir con motores de corriente alterna).

▪ *Los Motores de Corriente Alterna [C.A.]*

Son los tipos de motores más usados en la industria, ya que estos equipos se alimentan con los sistemas de distribución de energías "normales". En la actualidad, el motor de corriente alterna es el que más se utiliza para la mayor parte de las aplicaciones, debido fundamentalmente a que consiguen un buen rendimiento, bajo mantenimiento y sencillez, en su construcción, sobre todo en los motores asíncronos.

Características particulares de los motores eléctricos de corriente alterna. Los parámetros de operación de un motor designan sus características, es importante determinarlas, ya que con ellas conoceremos los parámetros determinantes para la operación del motor. Las principales características de los motores de C.A. son:

**Potencia:** Es la rapidez con la que se realiza un trabajo. En física la Potencia = Trabajo/tiempo, la unidad del Sistema Internacional para la potencia es el joule por segundo, y se denomina watt (W). Sin embargo estas unidades tienen el inconveniente de ser demasiado pequeñas para propósitos industriales. Por lo tanto, se usan el kilowatt (kW) y el caballo de fuerza (HP) que se definen como:

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 747 \text{ W} = 0.746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1.34 \text{ HP}$$

**Voltaje:** También llamada tensión eléctrica o diferencia de potencial, existe entre dos puntos, y es el trabajo necesario para desplazar una carga positiva de un punto a otro:

$$E = [V_A - V_B] \quad (1)$$

Dónde:

E = Voltaje o Tensión

V<sub>A</sub> = Potencial del punto A

V<sub>B</sub> = Potencial del punto B

La diferencia de tensión es importante en la operación de un motor, ya que de esto dependerá la obtención de un mejor aprovechamiento de la operación.

Los voltajes empleados más comúnmente son: 127V, 220V, 380V, 440V, 2300V y 6000V.

Corriente: La corriente eléctrica [I], es la rapidez del flujo de carga [Q] que pasa por un punto dado [P] en un conductor eléctrico en un tiempo [t] determinado.

Dónde:

I = Corriente eléctrica

Q = Flujo de carga que pasa por el punto P

t = Tiempo

La unidad de corriente eléctrica es el ampere. Un ampere [A] representa un flujo de carga con la rapidez de un coulomb por segundo, al pasar por cualquier punto.

Los motores eléctricos esgrimen distintos tipos de corriente, que fundamentalmente son: corriente nominal, corriente de vacío, corriente de arranque y corriente a rotor bloqueado.

Corriente nominal: En un motor, el valor de la corriente nominal es la cantidad de corriente que consumirá el motor en condiciones normales de operación.

Corriente de vacío: Es la corriente que consumirá el motor cuando no se encuentre operando con carga y es aproximadamente del 20% al 30% de su corriente nominal.

Corriente de arranque: Todos los motores eléctricos para operar consumen un excedente de corriente, mayor que su corriente nominal, que es aproximadamente de dos a ocho veces superior.

Corriente a rotor bloqueado: Es la corriente máxima que soportara el motor cuando su rotor esté totalmente detenido.

- *Clasificación de los motores de corriente alterna*

Por su velocidad de giro:

1. Asíncrono: Son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

2. Motores Síncronos: Son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias. Este motor tiene la característica de que su velocidad de giro es directamente proporcional a la frecuencia de la red de corriente alterna que lo alimenta. Es utilizado en aquellos casos en donde se desea una velocidad constante.

Se utilizan para convertir potencia eléctrica en potencia mecánica de rotación. La característica principal de este tipo de motores es que trabajan a velocidad constante que depende solo de la frecuencia de la red y de otros aspectos constructivos de la máquina. A diferencia de los motores asíncronos, la puesta en marcha requiere de maniobras especiales a no ser que se cuente con un sistema automático de arranque. Otra particularidad del motor síncrono es que al operar de forma sobreexcitado consume potencia reactiva y mejora el factor de potencia.

Las máquinas síncronas funcionan tanto como generadores y como motores. En nuestro medio sus aplicaciones son mínimas y casi siempre están relacionadas en la generación de energía eléctrica. Para el caso referente a la máquina rotativa síncrona, todas las centrales Hidroeléctricas y Termoeléctricas funcionan mediante generadores síncronos trifásicos.



Para el caso del motor se usa principalmente cuando la potencia demandada es muy elevada, mayor que 1MW (mega vatio).

Los motores síncronos se subdividen a su vez, de acuerdo al tipo del rotor que utilizan, siendo estos: rotor de polos lisos (polos no salientes) y de polos salientes, La Figura 13 presenta un rotor de polos lisos, mientras que la Figura 14 presenta el rotor de polos salientes.

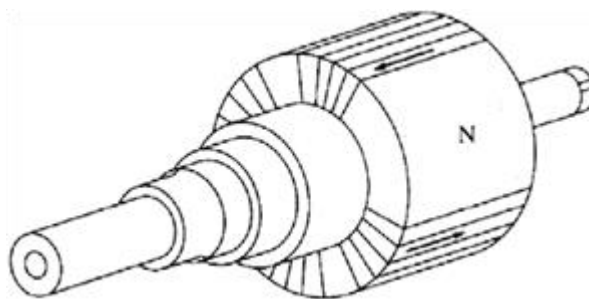
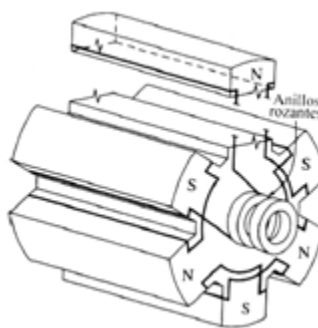


Figura 13. Rotor de polos lisos

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Motores de rotor de polos lisos o polos no salientes: se utilizan en rotores de dos y cuatro polos. Estos tipos de rotores están contruidos al mismo nivel de la superficie del rotor. Los motores de rotor liso trabajan a elevadas velocidades.

Motores de polos salientes: Los motores de polos salientes trabajan a bajas velocidades. Un polo saliente es un polo magnético que se proyecta hacia fuera de la superficie del rotor. Los rotores de polos salientes se utilizan en rotores de cuatro o más polos.



## Figura 14. Motor de polos salientes

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Clasificación Por el tipo de rotor:

1. Motores de anillos rozantes: Es similar al motor trifásico jaula de ardilla, su estator contiene los bobinados que generan el campo magnético giratorio.

El objetivo del diseño del motor de anillos rozantes es eliminar la corriente excesivamente alta del arranque y el troqué elevado asociado con el motor de jaula de ardilla. Cuando el motor se arranca un voltaje es inducido en el rotor, con la resistencia agregada de la resistencia externa la corriente del rotor y por lo tanto el troqué pueden controlarse fácilmente

2. Motores con colector: Los colectores también son llamados anillos rotatorios, son comúnmente hallados en máquinas eléctricas de corriente alterna como generadores, alternadores, turbinas de viento, en las cuales conecta las corrientes de campo o excitación con el bobinado del rotor.

- Pueden entregar alta potencia con dimensiones y peso reducidos.
- Pueden soportar considerables sobrecargas temporales sin detenerse completamente.
- Se adaptan a las sobrecargas disminuyendo la velocidad de rotación, sin excesivo consumo eléctrico.
- Producen un elevado torque de funcionamiento.

3. Motores de jaula de ardilla: un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula. El nombre se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster (ruedas probablemente similares existen para las ardillas domésticas).

Por su número de fases de alimentación: Motores monofásicos. Fueron los primeros motores utilizados en la industria. Cuando este tipo de motores está en operación, desarrolla un campo magnético rotatorio, pero antes de que inicie la rotación, el estator produce un campo estacionario pulsante.

Para producir un campo rotatorio y un par de arranque, se debe tener un devanado auxiliar desfasado  $90^\circ$  con respecto al devanado principal. Una vez que el motor ha arrancado, el devanado auxiliar se desconecta del circuito.

Debido a que un motor de corriente alterna (C.A.) monofásico tiene dificultades para arrancar, está constituido de dos grupos de devanados: El primer grupo se conoce como el devanado principal o de trabajo, y el segundo, se le conoce como devanado auxiliar o de arranque. Los devanados difieren entre sí, física y eléctricamente. El devanado de trabajo está formado de conductor grueso y tiene más espiras que el devanado de arranque.

Es importante señalar, que el sentido de giro de las bobinas involucra la polaridad magnética correspondiente, como puede verse en la Figura 15

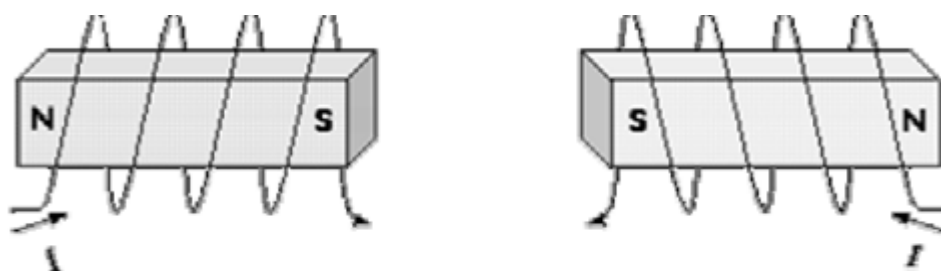


Figura 15. Sentido de giro en las bobinas

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Tipos y características. Los motores monofásicos han sido perfeccionados a través de los años, a partir del tipo original de repulsión, en varios tipos mejorados, y en la actualidad se conocen:

Motores de fase partida: En general consta de una carcasa, un estator formado por laminaciones, en cuyas ranuras aloja las bobinas de los devanados principal y auxiliar, un rotor formado por conductores a base de barras de cobre o aluminio embebidas en el rotor y conectados por medio de anillos de cobre en ambos extremos, denominado lo que se conoce como una jaula de ardilla. Se les llama así, porque se asemeja a una jaula de ardilla.

Fueron de los primeros motores monofásicos usados en la industria, y aún permanece su aplicación en forma popular. Estos motores se usan en: máquinas herramientas, ventiladores, bombas, lavadoras, secadoras y una gran variedad de aplicaciones; la mayoría de ellos se fabrican en el rango de 1/30 (24.9 W) a 1/2 HP (373 W).

Motores de arranque con capacitor: Este tipo de motor es similar en su construcción al de fase partida, excepto que se conecta un capacitor en serie con el devanado de arranque para tener un mayor par de arranque, ver Figura 16. Su rango de operación va desde fracciones de HP hasta 15 HP. Es utilizado ampliamente en muchas aplicaciones de tipo monofásico, tales como accionamiento de máquinas herramientas (taladros, pulidoras, etcétera), compresores de aire, refrigeradores, etc.

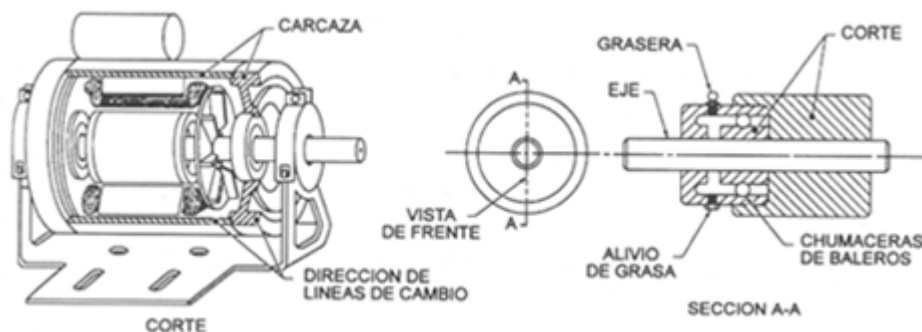


Figura 16. Motor de arranque con capacitor

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Motores con permanente: Utilizan un capacitor conectado en serie con los devanados de arranque y de trabajo. El crea un retraso en el devanado de arranque, el cual es necesario para arrancar el motor y para accionar la carga. La principal diferencia entre un motor con permanente y un motor de arranque con capacitor, es que no se requiere switch centrífugo. Éstos motores no pueden arrancar y accionar cargas que requieren un alto par de arranque, ver Figura 17.

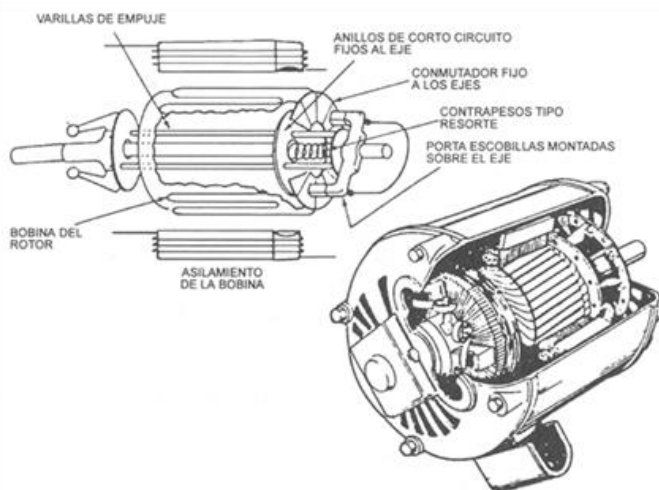


Figura 17. Motor de arranque con permanente

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Motores de inducción-repulsión: Los motores de inducción-repulsión se aplican donde se requiere arrancar cargas pesadas sin demandar demasiada corriente. Se fabrican de 1/2 HP hasta 20 HP, y se aplican con cargas típicas como: compresores de aire grandes, equipo de refrigeración, entre otros.

Motores de polos sombreados: Este tipo de motores es usado en casos específicos, que tienen requerimientos de potencia muy bajos.

Su rango de potencia está comprendido en valores desde 0.0007 HP hasta 1/4HP, y la mayoría se fabrica en el rango de 1/100 a 1/20 de HP. La principal ventaja de estos motores es su simplicidad de construcción, su confiabilidad y su robustez, además, tienen un bajo costo. A diferencia de otros motores monofásicos de C.A., los motores de fase partida no requieren de partes

auxiliares (capacitores, escobillas, conmutadores, etc.) o partes móviles (switches centrífugos). Esto hace que su mantenimiento sea mínimo y relativamente sencillo.

**Motores trifásicos.** Los motores trifásicos usualmente son más utilizados en la industria, ya que en el sistema trifásico se genera un campo magnético rotatorio en tres fases, además de que el sentido de la rotación del campo en un motor trifásico puede cambiarse invirtiendo dos puntas cualesquiera del estator, lo cual desplaza las fases, de manera que el campo magnético gira en dirección opuesta, ver Figura 18.



Figura 18. Motores trifásicos

Fuente: Rosales, J. 2018 [2]

**Tipos y características.** Los motores trifásicos se usan para accionar máquinas-herramientas, bombas, elevadores, ventiladores, sopladores y muchas otras máquinas. Básicamente están contruidos de tres partes esenciales: Estator, rotor y tapas.

El estator consiste de un marco o carcasa y un núcleo laminado de acero al silicio, así como un devanado formado por bobinas individuales colocadas en sus ranuras. Básicamente son de dos tipos: De jaula de ardilla y de rotor devanado.

El de jaula de ardilla es el más usado y recibe este nombre debido a que parece una jaula de ardilla de aluminio fundido. Ambos tipos de rotores contienen un núcleo laminado en contacto sobre el eje. El motor tiene tapas en ambos lados, sobre las cuales se encuentran montados los

rodamientos o baleros sobre los que rueda el rotor. Estas tapas se fijan a la carcasa en ambos extremos por medio de tornillos de sujeción. Los rodamientos, baleros o rodamientos pueden ser de rodillos o de deslizamiento.

Ventajas En diversas circunstancias presenta muchas ventajas:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, a más).
- No emite contaminantes.
- Máquinas que pueden trabajar con 2 tensiones 400V y 230 V.
- El control de la velocidad es de forma electrónica.

Los Motores Universales: Tienen la forma de un motor de corriente continua, la principal diferencia es que está diseñado para funcionar con corriente continua y corriente alterna. El inconveniente de este tipo de motores es su eficiencia, ya que es baja (del orden del 51%), pero como se utilizan en máquinas de pequeña potencia, ésta no se considera importante, además, su operación debe ser intermitente, de lo contrario, éste se quemaría. Estos motores son utilizados en taladros, aspiradoras, licuadoras, entre otros.

Diagramas de conexión. Todos los motores trifásicos están contruidos internamente con un cierto número de bobinas eléctricas que están devanadas siempre juntas, para que conectadas constituyan las fases que se conectan entre sí, en cualquiera de las formas de conexión trifásicas, que pueden ser: delta, estrella, estrella-delta

Delta. Los devanados conectados en delta son cerrados y forman una configuración en triángulo. Se pueden diseñar con seis (6) o nueve (9) terminales para ser conectados a la línea de alimentación trifásica.

Cada devanado de un motor de inducción trifásico tiene sus terminales marcadas con un número para su fácil conexión. En la Figura 19, se muestra un motor de 6 terminales con los devanados internos identificados para conectar el motor para operación en delta. Las terminales o puntas de los devanados se conectan de modo que A y B cierran un extremo de la delta (triángulo), también B y C, así como C y A, para de esta manera formar la delta de los devanados del motor.

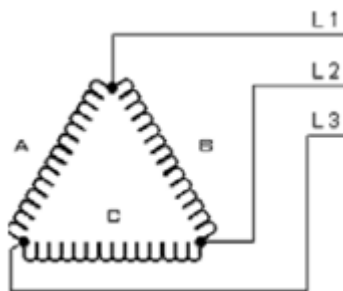


Figura 19 Devanado de 6 terminales

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Los motores de inducción de jaula de ardilla son también devanados con nueve (9) terminales para conectar los devanados internos para operación en delta. Se conectan seis (6) devanados internos para formar una delta cerrada, tres devanados están marcados como 1-4-9, 2-5-7 y 3-6-8, en éstos.

Los devanados se pueden bobinar para operar a uno o dos voltajes, ver Figura 20.

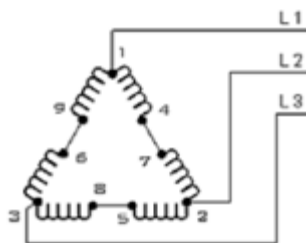


Figura 20. Devanado de 9 terminales

Fuente: Videla, A. 2015 [1]



Estrella. Los devanados de la mayoría de los motores de inducción de jaula de ardilla están conectados en estrella. La conexión estrella se forma uniendo una terminal de cada devanado, las tres terminales restantes se conectan a las líneas de alimentación L1, L2 Y L3. Los devanados conectados en estrella forman una configuración en Y, ver Figura 21.

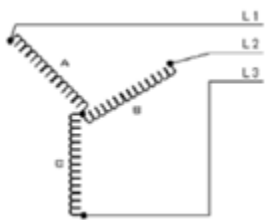


Figura 21. Conexión de devanado en estrella

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Un motor conectado en estrella con nueve (9) terminales, tiene tres puntas en sus devanados conectadas para formar una estrella (7-8-9). Los tres pares de puntas de los devanados restantes, son los números: 1-4, 2-5 y 3-6. Los devanados se pueden conectar para operar en bajo o alto voltaje. Para la operación en bajo voltaje, éstos se conectan en paralelo; para la operación en alto voltaje, se conectan en serie, ver Figura 22.

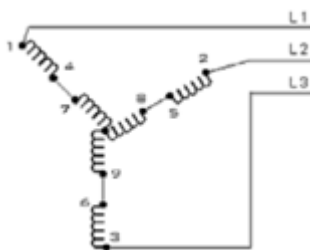


Figura 22. Conexión de estrella

Fuente: Videla, A. 2015 [1]

Algunos motores trifásicos están contruidos para operar en dos voltajes. El propósito de hacer posible que operen con dos voltajes distintos de alimentación, y tener la disponibilidad en las líneas para que puedan conectarse indistintamente. Comúnmente, las terminales externas al motor

permiten una conexión serie para el voltaje más alto y una conexión doble paralelo para la alimentación al menor voltaje.

Dentro del universo de motores eléctricos, el motor trifásico de inducción jaula de ardilla, es el que más se usa en el ámbito industrial, por las siguientes características, (Rosales, J. 2018 [2]:

- Bajo costo
- Bajo mantenimiento
- Fácil de adquirir
- Alto grado de protección
- Pocos componentes
- Robusto
- Por carecer de chispas internas, puede instalarse en ambientes de riesgo.
- Con el avance de la electrónica de potencia, hoy en día se puede variar la velocidad, llegando incluso a desplazar el motor de corriente continua.

▪ *Recomendaciones sobre los motores eléctricos convencionales*

Seleccionar el armazón del motor, de acuerdo con el ambiente en que va a estar trabajando. Los motores abiertos son más sencillos y por lo tanto menos costosos, además de operar con mayor factor de potencia. Sin embargo, en condiciones adversas del medio, los motores cerrados serán los indicados.

Seleccionar correctamente la velocidad del motor. Si la carga lo permite prefiera motores de alta velocidad, son más eficientes y si se trata de motores de corriente alterna, trabajan con un mejor factor de potencia.

Sustituir los motores antiguos o de uso intenso. Los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su uso han depreciado sus características de operación, pueden justificar su sustitución por motores normalizados y de alta eficiencia.

Realizar en forma correcta la conexión a tierra de los motores. Una conexión defectuosa o la ausencia de ésta, puede poner en peligro la vida de los operarios si se presenta una falla a tierra. Además de ocasionar corrientes de fuga que no son liberadas por el equipo de protección con un dispendio de energía.

Evitar concentrar motores en locales reducidos o en lugares que puedan dificultar su ventilación. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de su eficiencia.

Balanciar la tensión de alimentación en los motores trifásicos de corriente alterna. El desequilibrio entre fases no debe excederse en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalance, los motores operan con mayor eficiencia.

Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia.

Mantener en buen estado y correctamente ajustados los equipos de protección contra sobrecalentamientos o sobrecargas en los motores. Los protegen de daños mayores y evitan que operen con baja eficiencia.

Revisar periódicamente las conexiones del motor, junto con las de su arrancador y demás accesorios. Conexiones flojas o mal realizadas con frecuencia originan un mal funcionamiento del motor y ocasionan pérdidas por disipación de calor.

Mantener en óptimas condiciones los sistemas de ventilación y enfriamiento de los motores, para evitar sobrecalentamientos que puedan aumentar las pérdidas en los conductores del motor y dañar los aislamientos

- *Potencia y Eficiencia del Motor*

Potencia. Un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia energía mecánica en el eje. La potencia eléctrica obedece a la siguiente relación

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{Cos } \varphi \quad (2)$$

Donde,

P: Potencia en kW

V: Voltaje o tensión en voltios

I: corriente en amperios

Cos  $\varphi$ : Factor de potencia

La potencia mecánica obedece a la siguiente relación

$$P = T * n / 9550 \quad (3)$$

Donde,

P: Potencia en kW

T: torque en Nm

El torque es la capacidad del motor de hacer girar cargas. Al seleccionar un motor, lo primero que se debe considerar es cuál es la velocidad de rotación y cuál será el torque requerido del motor.

Eficiencia. Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función.

Toda máquina consume más potencia de la que entrega, por lo que es importante que consideremos el término de eficiencia. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas. La eficiencia se calcula según la siguiente relación

$$\eta = P_s / P_e \quad (4)$$

donde,

$P_s$ , es la potencia de salida, (potencia en el eje)

$P_e$ , es la potencia de entrada (potencia eléctrica)

De esta forma, a mayor eficiencia, menor desperdicio y consecuentemente menores costos de operación.

Las características de motores eficientes, se basan básicamente en el diseño y los materiales que se emplean para la construcción del motor. Otra variable importante es el tipo de uso que se le da en la industria. Un motor eficiente, reduce las pérdidas tanto en el rotor como en el estator, reduce las temperaturas y por ende las radiaciones al exterior. Y lo más importante reduce el consumo de energía eléctrica, lo cual se refleja en menores costos de operación. A continuación se describe el modelo eléctrico y algunas técnicas o buenas prácticas para reducir el consumo energético de los motores industriales.

La gran diferencia de un motor de eficiencia estándar a uno de alta eficiencia es: En el ventilador: Diseño aerodinámico, bajas pérdidas de fricción y es ligero. Utilización de Acero de Silicio: Reduce corrientes de Eddy, reduce las pérdidas del campo magnético. Entre hierro más estrecho: Reduce las pérdidas magnéticas y por fricción al aire con el rotor. Más cobre: Más y mejor cobre para reducir la resistencia a la corriente y reducir pérdidas por flujo de corriente. Mayor área de laminación: Con esto se reduce la dispersión de campo magnético. Armazón de

hierro fundido: Es resistente a la corrosión, excelente disipación, acabado preciso para mejorar la transferencia de calor. Embobinados de cobre de alta eficiencia: Resistentes a la humedad, hasta 200°C, aislamiento entre fases, correcto atado de cabezas para eliminar cualquier vibración. Baleros (roles) anti-fricción: Bajo calentamiento, bajo ruido, pocas pérdidas por fricción. La buena noticia es que los motores de alta eficiencia, por su especializado diseño, reducen los costos de operación a cualquier nivel de carga, incluso al funcionar sin carga.

## 6.2 Modelo eléctrico, pérdidas y algunas técnicas para aumentar la eficiencia energética de motores eléctricos en aplicaciones industriales.

### ▪ *Modelo del Motor eléctrico*

**Corriente Eléctrica.** La AC se caracteriza porque su sentido de circulación varía periódicamente, debido a que su polaridad varía continuamente, es por lo tanto un tipo de corriente *bidireccional*, al contrario de la DC que es *unidireccional*. La comparación de la forma de onda de estos dos tipos de corriente se muestra en la Figura 23.

**Corriente Alterna Monofásica.** Un generador monofásico es usado para generar AC monofásica, mediante el giro del mismo debido a una fuente externa que haga girar el rotor del generador (turbinas hidráulicas, turbinas de gas, etc.), este giro del devanado se presenta dentro de un campo magnético fijo en el estator del generador y debido a que durante el giro del devanado, este corta las líneas de campo magnético, se induce un voltaje en el mismo que varía con el tiempo debido a que existen puntos donde el devanado corta mas líneas de flujo, además de que se invierte la dirección del mismo, logrando ser en medio periodo positivo y en el otro medio periodo negativo.

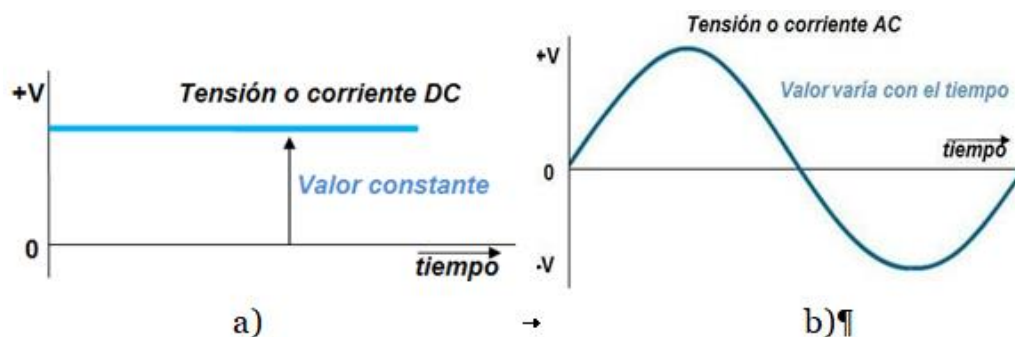


Figura 23 Formas de onda de corriente continua y alterna

**Corriente Alterna Monofásica.** Un generador monofásico es usado para generar AC monofásica, mediante el giro del mismo debido a una fuente externa que haga girar el rotor del generador (turbinas hidráulicas, turbinas de gas, etc.), este giro del devanado se presenta dentro de un campo magnético fijo en el estator del generador y debido a que durante el giro del devanado, este corta las líneas de campo magnético, se induce un voltaje en el mismo que varía con el tiempo debido a que existen puntos donde el devanado corta más líneas de flujo, además de que se invierte la dirección del mismo, logrando ser en medio periodo positivo y en el otro medio periodo negativo

La forma de funcionamiento básica de un generador monofásico se muestra en la Figura 24, la forma de la onda de voltaje o corriente que se obtiene es de tipo senoidal, con la mitad de la onda positiva y la mitad negativa, debido a la inversión de la corriente durante la mitad del giro de la espira dentro del generador, este tipo de onda se muestra en la Figura 25

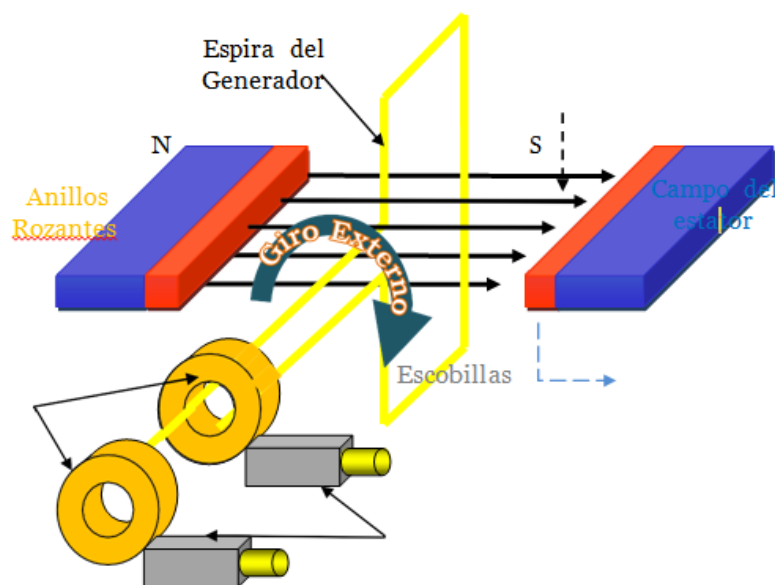


Figura 24. Generador alterno monofásico

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]



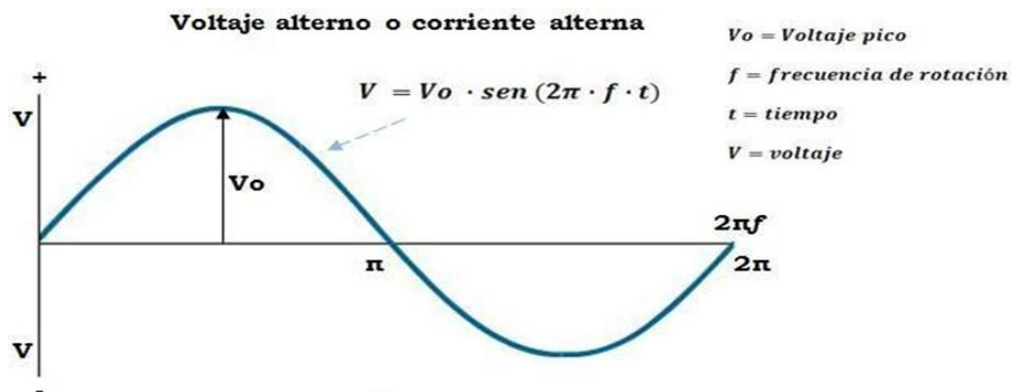


Figura 25. Forma de la onda monofásica obtenida con generador alterno monofásico

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]

**Corriente Directa.** La generación de corriente se hace de manera que se obtiene una onda senoidal, lo que no es conveniente para máquinas eléctricas que trabajen con DC.

Si una armadura gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en el otro sentido durante la otra mitad.

Para producir un flujo constante de corriente en un sentido, o corriente continua, en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución. En los generadores antiguos esta inversión se llevaba a cabo mediante un conmutador, un anillo de metal partido montado sobre el eje de una armadura. Las dos mitades del anillo se aislaban entre sí y servían como bornes de la bobina. Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantenían en contacto con el conmutador, que al girar conectaba eléctricamente la bobina a los cables externos. Cuando la armadura giraba, cada escobilla estaba en contacto de forma alternativa con las mitades del conmutador, cambiando la posición en el momento en el que la corriente invertía su sentido dentro de la bobina de la armadura. Así se producía un flujo de corriente de un sentido en el circuito exterior al que el generador estaba conectado. En algunas máquinas más modernas esta inversión se realiza usando rectificadores de diodos semiconductores o tiristores. En la Figura 26 se muestra un generador de corriente directa.

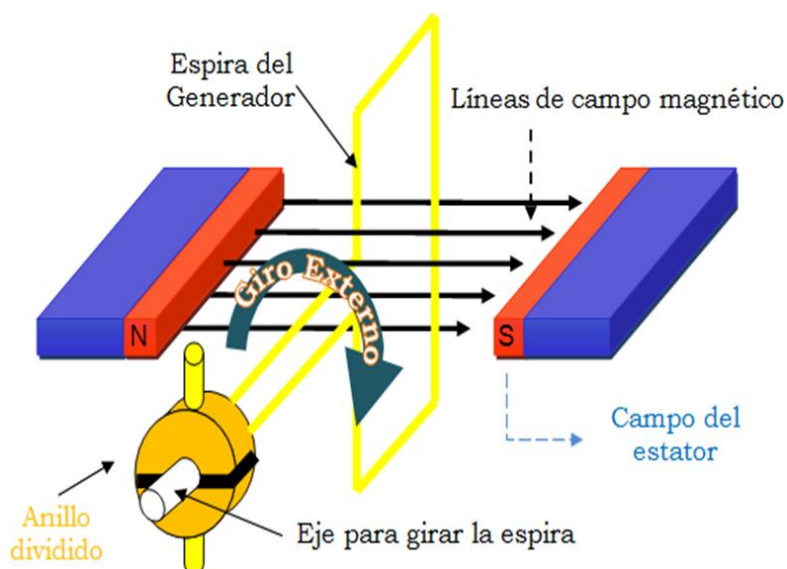


Figura 26. Generador de corriente directa

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]

En este tipo de alternadores, cada devanado proporciona una fase cuya forma de onda se muestra en la figura 11. La corriente o el voltaje que se produce por este tipo de generadores tiene forma senoidal y las ondas presentan un desfase de  $120^\circ$  entre ellas.

A partir de este tipo de alternadores se tiene la posibilidad de usar la llamada corriente alterna trifásica.

**Principios de operación de motores eléctricos.** La operación de los motores eléctricos depende de la interacción de campos magnéticos. Para definir cómo opera un motor, se deben definir las reglas del magnetismo, así como la relación que existe entre el flujo de corriente y el campo magnético. La Figura 27 ilustra el esquema de un alternador trifásico y la Figura 28 la forma de onda obtenida del generador trifásico

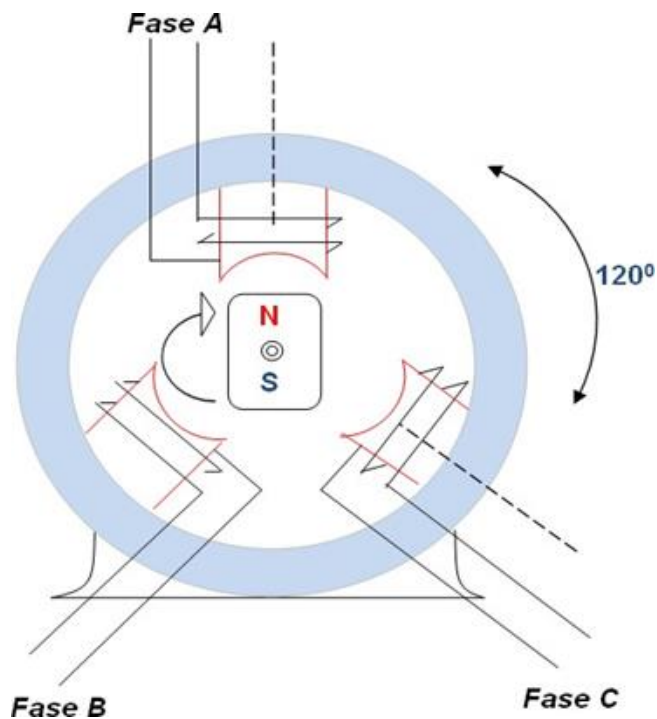


Figura 27. Esquema de un alternador trifásico

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]

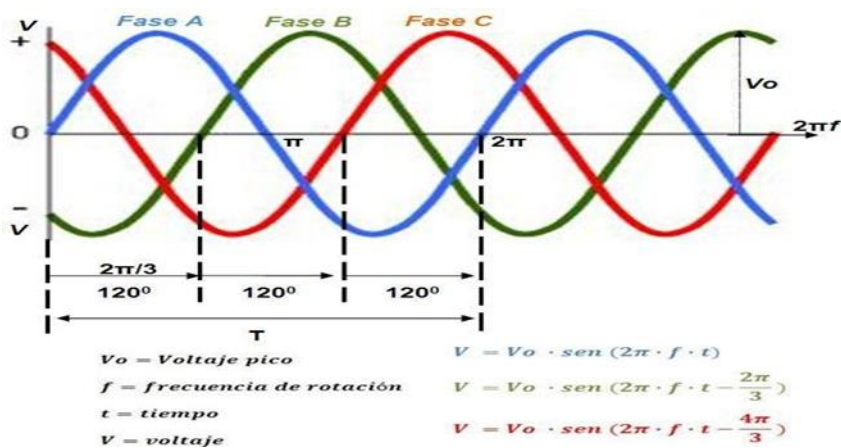


Figura 28. Forma de la onda trifásica obtenida con generador alterno trifásico

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]

**Fundamentos de Magnetismo.** Un imán puede ser permanente o temporal. Si una pieza de hierro o de metal se magnetiza y retiene el magnetismo se le conoce como imán permanente, este se usa en motores de pequeño tamaño.

Cuando una corriente circula a través de una bobina, se crea un campo magnético con un polo norte y sur, como si se tratara de un imán permanente. Sin embargo cuando la corriente se interrumpe, desaparece el campo magnético. A este tipo de magnetismo temporal se le conoce como electromagnetismo. Cuando una corriente eléctrica circula a través de un conductor, las líneas de fuerza magnética (flujo magnético) se crean alrededor del mismo, ver Figura 29.

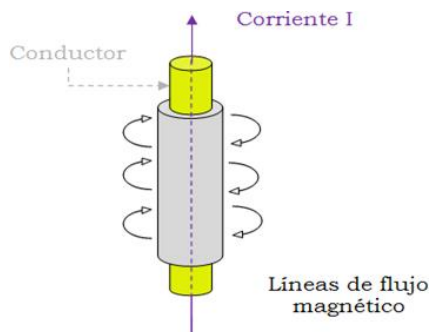


Figura 29. Flujo magnético alrededor de un conductor

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]

Cuando la sección de un conductor se hace pasar a través de un campo magnético, se dice que se induce un voltaje y se crea la electricidad en el conductor o alambre. De esta manera puede comprobarse la relación entre el magnetismo y la electricidad

**La inducción electromagnética.** Si el alambre conductor se mueve dentro de un campo magnético, de manera que el conductor corte las líneas de dicho campo, se origina una fuerza electromotriz producida en dicho conductor. Induciendo la fuerza electromotriz, mediante el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético, se presenta lo que se conoce como la inducción electromagnética, se inducirá un voltaje en este conductor y mediante el uso de un medidor puede comprobarse que circula corriente por el conductor, como se muestra en la Figura

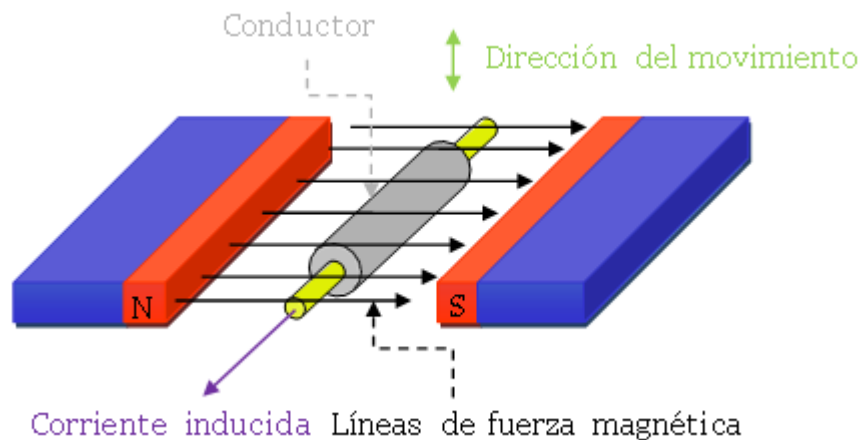


Figura 30. Inducción electromagnética

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]

**La Ley inducción electromagnética de Faraday.** En 1831 Joseph Faraday hizo uno de los descubrimientos más importantes del electromagnetismo que actualmente se conoce como: La ley inducción electromagnética de Faraday, que relaciona fundamentalmente el voltaje y el flujo en el circuito. El enunciado de la ley es:

- Si se tiene un flujo magnético que eslabona a una espira y, además, varía con el tiempo, se induce un voltaje entre los terminales.
- El valor del voltaje inducido es proporcional al índice de cambio del flujo.

Por definición y de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades, cuando el flujo varía en 1 weber por segundo, se induce un voltaje de 1 volt entre sus terminales; en consecuencia si el flujo varía entre una bobina de  $N$  espiras, el voltaje inducido se da por la expresión:

$$E = N \Delta\Phi / \Delta T \quad (5)$$

Donde:

$E$ , Voltaje inducido en Volts

$N$ , Número de espiras de la bobina

$\Delta\Phi$ , Cambio de flujo dentro de la espira o bobina

$\Delta T$ , Intervalo de tiempo durante el cual el flujo cambia

La ley de Faraday, establece las bases para las aplicaciones prácticas en el estudio de transformadores, generadores y motores de corriente alterna.

**Voltaje inducido en un conductor.** En algunos motores y generadores, los conductores o bobinas se mueven respecto a un flujo constante. El movimiento rotativo produce un cambio en el eslabonamiento de flujo de las bobinas y, en consecuencia un voltaje inducido de acuerdo con la Ley de Faraday de la siguiente manera:

$$E = B \cdot L \cdot V \quad (6)$$

Donde:

$E$ , Voltaje inducido en Volts

$B$ , Densidad de flujo en Tesla

$L$ , Longitud activa de los conductores en el campo magnético

$V$ , Velocidad relativa del conductor  $\frac{m}{s}$

Los motores eléctricos operan bajo el principio de que un conductor colocado dentro de un campo magnético experimenta una fuerza cuando una corriente circula por el mismo como se ve en la Figura 31.

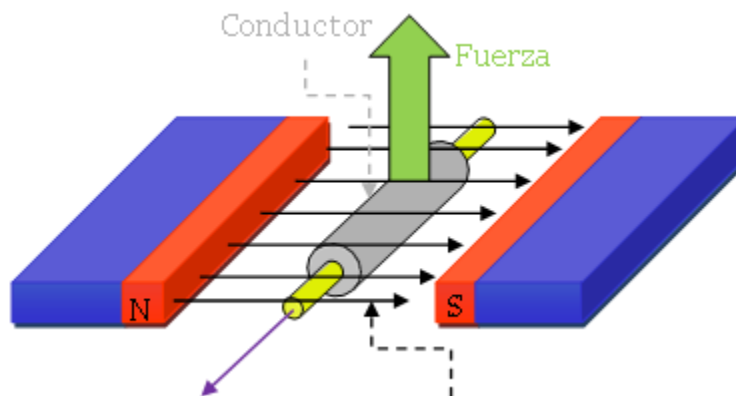


Figura 31. Fuerza magnética en un conductor debido a la circulación de corriente y campo magnético

Fuente: Contreras, E. Sánchez, R. 2010 [7]

La magnitud de la fuerza varía directamente con la intensidad del campo magnético y la magnitud de la corriente que circula por el conductor, de acuerdo con la expresión:

$$F = I \cdot B \cdot L \quad (7)$$

Donde:

$F$ , Fuerza en Newtons

$I$ , Corriente en circulación

$B$ , Flujo magnético o Tesla

$L$ , Longitud del conductor en metros

En general el rotor de un motor eléctrico queda dentro del campo magnético creado por el estator. Se induce una corriente dentro del rotor y la fuerza resultante (y por lo tanto el par) produce la rotación.

**Pérdidas del Motor eléctrico.** Pérdidas de energía En la transformación de energía eléctrica en mecánica, que tiene lugar en los motores eléctricos una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituyendo las pérdidas del motor, ver figura. Las pérdidas de un motor de inducción, pueden desglosarse en 5 principales áreas, cada una de estas depende del

diseño y construcción del motor. Estas pérdidas se clasifican en aquellas que ocurren cuando el motor está energizado y permanecen para un voltaje y velocidad dados, y las que varían e incrementan con la carga del motor.

**Pérdidas en el núcleo.** Representan la energía requerida para magnetizar el material del núcleo (histéresis) e incluyen las pérdidas por la creación de las corrientes de Eddy que fluyen en el núcleo. Las pérdidas en el núcleo pueden disminuir al mejorar la permeabilidad electromagnética del acero y extendiendo o alargando el núcleo para reducir la densidad del flujo magnético. Las pérdidas de las corrientes de Eddy son reducidas utilizando laminaciones de acero más delgadas (representa el 19% de las pérdidas)

**Pérdidas de fricción y ventilación.** Estas pérdidas ocurren debido a la fricción, se deben al rozamiento de los rodamientos del eje del motor. Las pérdidas de ventilación que se deben a la fricción de las partes en movimiento del motor con el aire que se encuentra dentro de la carcasa. Mejorando la selección de cojinetes, flujo de aire y el diseño del ventilador se pueden ver reducidos. En un motor de alta eficiencia la minimización de pérdidas resulta en menores necesidades de enfriamiento, así que se utiliza un ventilador más pequeño, tanto las pérdidas en el núcleo como las pérdidas de fricción son independientes de la carga del motor (representa el 13% de las pérdidas).

**Pérdidas en el estator.** Estas pérdidas se reflejan como calentamiento debido al flujo de corriente a través del bobinado del estator y dependen de la resistencia eléctrica del material utilizado. Estas se determinan como función de  $I^2R$ , donde  $I$  es la corriente que circula por una fase de la armadura, y  $R$  es la resistencia de una de las fases. Pueden ser reducidas modificando el diseño de la armadura del estator o disminuyendo el espesor del aislamiento para incrementar el volumen de cable en el estator (pueden alcanzar hasta el 30% de pérdidas).



Pérdidas en el rotor. Son función de  $I^2R$  y afectan el calentamiento del rotor. Pueden disminuirse incrementando el tamaño de las barras conductoras para bajar la resistencia, o reduciendo la corriente eléctrica (pueden alcanzar hasta el 20% de las pérdidas).

Pérdidas adicionales. Son pérdidas que no se pueden incluir dentro de ninguna de las anteriores, dependen a su vez del tipo de fabricación y método de diseño del motor. Las pérdidas en el estator, rotor y adicionales son función de la carga del motor. (Representan hasta un 18% de las pérdidas totales).

En el esquema de la Figura 32 se presenta un resumen de las pérdidas mencionadas anteriormente

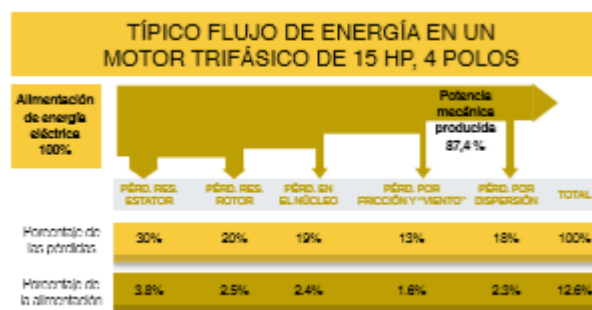


Figura 32 Típico Flujo de Energía

Fuente: ICI. 2018 [6]

Formas de ahorrar energía en motores eléctricos. Alrededor del 40 % del consumo eléctrico mundial se produce en motores eléctricos (en la industria, el porcentaje es del 70%). No es de extrañar que este sea uno de los elementos fundamentales a estudiar en una auditoría energética. Nos referimos a los motores trifásicos. Videla, A. [1],

A medida que la tecnología ha avanzado, los fabricantes de motores han desarrollado mejores motores que utilizan menos energía y reducen costos. Si bien es natural que los fabricantes empleen

la última tecnología en la creación de los motores eléctricos, han sido las mejores en los métodos de producción quienes han sido instrumentales para mejorar la eficiencia de estos motores. Considere las siguientes estadísticas:

- El mercado eléctrico mundial fue valorada en más de \$ 70 mil millones de dólares en 2015 y se espera que crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 4,2% del 2017 hasta el 2025.
- El uso de electricidad en el mundo se estima que alcanzará 35 billones de kilovatios hora en 2035, y casi el 28% será utilizado por los motores eléctricos.
- El noventa por ciento de los motores instalados funcionan continuamente a toda velocidad y utilizan sistemas mecánicos para regular la potencia de salida.

Un motor de CC sencilla convierte corriente eléctrica directa en energía mecánica. Por lo general viene equipado con un alto número de bobinas, que lo hacen eficiente. Sin embargo, puede resultar en una gran cantidad de energía desperdiciada debido a la fricción entre el conmutador y las escobillas, así como la pérdida de torque en ciertos ángulos. Por otra parte, si el motor se queda atascado al intentar levantar una carga pesada, las bobinas del rotor pueden sobrecalentarse y fundirse fácilmente. Esta es la razón por la que muchos aparatos electrodomésticos industriales y pesados utilizan motores eléctricos.

Los fabricantes pueden ahorrar electricidad con motores eléctricos conociendo: la forma de como un motor eléctrico está diseñado y la forma en que se utiliza. Estos son los dos factores determinantes que pueden ayudar a ahorrar electricidad. Veamos el aspecto del diseño en primer lugar.

El uso de cobre en las bobinas del estator. En lo que se refiere a la conductividad del motor, siempre es mejor ir por bobinas de cobre en lugar de los de aluminio. Esto es porque la conductividad del aluminio es inferior a la del cobre. Para seguir el ritmo de bobinas de cobre, cables de imán de aluminio pueden necesitar secciones transversales más grandes para que puedan proporcionar el mismo nivel de conductividad. Los devanados con hilo de aluminio pueden tener un mayor volumen en comparación con un motor de alambre de cobre del mismo tamaño.

Si usted todavía está utilizando bobinados de aluminio, asegúrese de que los extremos del alambre magneto de aluminio están conectados correctamente. El aluminio se oxida mucho más rápido que otros metales, y si el aluminio en polvo se expone al aire, se oxidará completamente en pocos días y dejará atrás polvo blanco muy fino.

Para realizar una conexión adecuada que garantiza una buena conductividad, la capa de óxido del alambre del imán de aluminio debe ser perforada para evitar que el aluminio entre en contacto adicional con el aire.

Lograr la mayor eficiencia del motor es algo más que decidir entre los bobinados de aluminio y cobre. Varios fabricantes han desarrollado conectores de engarce de alta presión para permitir una mayor eficiencia. Esto se ha hecho para ayudar a los bobinados de aluminio mantener el ritmo con sus contrapartes de cobre. Si bien es posible que los motores con bobinados de aluminio alcancen al poder de los de cobre, se requiere tiempo y dinero. El aluminio también requiere más vueltas y un alambre de diámetro más grande, que no siempre puede ser más económico.

Si se requiere el motor para trabajar de forma ocasional o de corta duración, y no cuando la eficiencia y el volumen son de la esencia, el uso de alambres esmaltados de aluminio puede tener sentido. De lo contrario, debe preferirse siempre devanados de cobre, ver Figura 33.

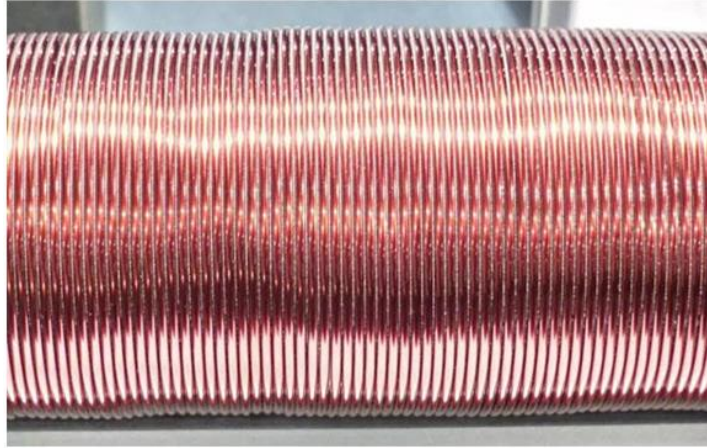


Figura 33. Bobina en cobre

Fuente: Videla, A. [1]

El uso de barras de cobre en el rotor.

Cuando se trata de rotores, el cobre ofrece la ventaja de eficiencia. Rotores de cobre son los preferidos para las industrias enfocadas en una mejor gestión de la energía, en los países desarrollados y en vías de desarrollo donde la electricidad es a menudo escasa y costosa. Los Rotores de cobre son una apuesta mejor en comparación con los de aluminio en términos de calidad del motor, confiabilidad, coste, eficiencia y vida útil, Ver Figura 34.



Figura 34. Rotor en cobre y aluminio

Fuente: Videla, A. [1]

Maquinado de precisión para piezas móviles. El maquinado implica la remoción de material de otra pieza a una tolerancia mínima. Maquinados de precisión son absolutamente necesarios para lograr la tolerancia necesaria. Ya se trate de corte de metal o minería de carbón, la maquinaria de precisión puede proporcionar la exactitud necesaria para producir materiales en las cantidades deseadas. Las partes móviles de la máquina exigirán el mantenimiento oportuno para un máximo rendimiento y eficiencia. El mantenimiento sólo debe ser realizado por expertos, y se debe exigir una inspección de todas sus partes, ver Figura 35.



Figura 35. Maquinado de alta precisión

Fuente: Videla, A. [1]

El uso de acero de alta calidad para los rotores y estatores. Acero eléctrico de alta tecnología es esencial para la fabricación de estatores y rotores económicos utilizados en una variedad de aplicaciones de motores eléctricos. Este tipo de acero asegura una alta permeabilidad magnética y bajas pérdidas de potencia un rendimiento de primer nivel. Sin embargo, todavía se pueden producir pérdidas de potencia en acero eléctrico. Las corrientes de Foucault, entran en juego cuando se alterna un campo magnético. Laminación de acero a un calibre más fino controla estas corrientes parásitas y reduce las pérdidas de corriente. Esto sucede especialmente en frecuencias de aplicación más allá del estándar de 50 o 60 hertzios, ver Figura 36



Figura 36 Rotor con acero de alta calidad

Fuente: Videla, A. [1]

Mantener el rotor y el estator lo más cerca posible. A través de la manufactura de precisión, los fabricantes pueden mantener el rotor y el estator lo más cerca posible sin tocarse. Cuando la velocidad de rotación alcanza varios miles de revoluciones por minuto, el acero eléctrico en el rotor puede experimentar un tremendo estrés. La alta tensión se hace sentir sobre todo en las zonas cercanas a las ranuras para imanes, donde el equipo mantiene los imanes en su lugar.

Con los motores de inducción, la transferencia de energía tiene lugar a través del espacio de aire entre el estator y el motor, el espacio de aire es necesario para minimizar la resistencia. Un pequeño espacio de aire conducirá a una menor pérdida de energía y una mayor eficiencia. El enlace de flujo total entre el estator y el rotor se ensancha mientras el espacio de aire disminuye. Un mejor enlace de flujo resulta en la disminución de pérdidas de energía y mayor eficiencia. Una tolerancia más pequeña también ayuda a evitar el ruido, ver Figura 37.

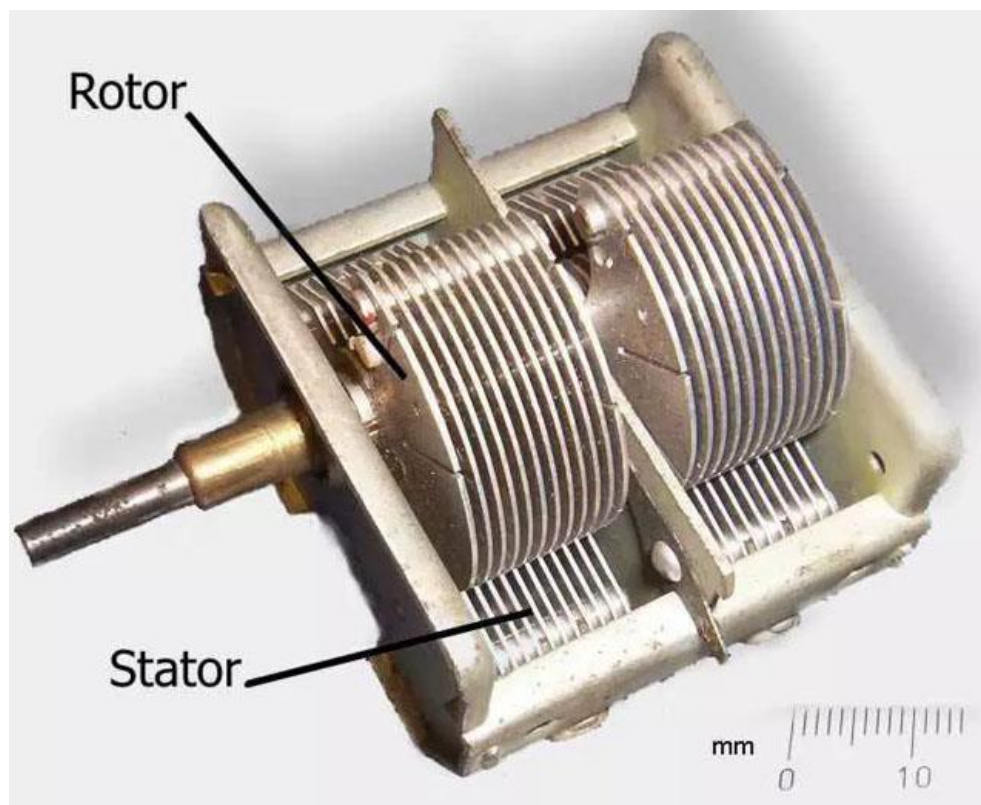


Figura 37 Disposición Rotor y Estator

Fuente: Videla, A. [1]

Más bobinas = motores más eficientes Los cables de las bobinas de fase de motores de pequeña potencia son más delgados, sin embargo, el número de vueltas debe ser mayor para aumentar la fuerza magnetomotriz o densidad de corriente. La resistencia de los devanados de fase y la densidad de la pérdida de potencia son también más altos que en los motores de alta potencia. Por lo tanto, los motores de baja potencia con altas velocidades requieren más fuerza magnetomotriz. Esto significa serán necesarios más bobinas junto con un mayor número de vueltas con un alambre fino que produce una mayor densidad de corriente.

El uso de controles de velocidad variable Controles de velocidad variable (VSDs en inglés) o variadores de velocidad son motores eléctricos industriales pesados. Su velocidad se puede ajustar con un controlador externo. Estas unidades se utilizan en el control de procesos, ya que ayudan a conservar la energía en las plantas que utilizan numerosos motores eléctricos.



Los VSDs se emplean típicamente como ahorradores de energía en bombas y ventiladores, ya que mejoran operaciones de proceso, especialmente cuando es necesario el control de flujo. También proporcionan capacidades de arranque suave que reducen los esfuerzos eléctricos y huecos de tensión de línea que generalmente encontramos al arrancar un motor, sobre todo con cargas de alta inercia. La Figura 38 muestra algunos tipos de VSDs.



Figura 38 Tipos de VSDs

Fuente: Videla, A. [1]

Para asegurar la eficiencia de sus motores eléctricos, es necesario conocer la forma en que los motores eléctricos son utilizados por los fabricantes, las industrias y los propietarios de viviendas para poder determinar su eficacia. A continuación se presentan algunos pasos específicos que los usuarios pueden tomar para asegurar la eficiencia del motor y la longevidad:

Uso de motores inteligentes con controladores de arranque apropiados Mientras que los motores inteligentes son ampliamente utilizados y disponibles, es crucial elegir el adecuado para nuestras necesidades para minimizar el tiempo de paro, mejorar la eficiencia y reducir los costos. Los ingenieros industriales saben el costo que el consumo eléctrico de los motores tiene en sus presupuestos. Para mitigar esto, a menudo se utilizan las tecnologías de control de motores que utilizan sólo la cantidad necesaria de energía para arrancar motores, revelan datos de diagnóstico y reducir el tiempo de inactividad. Conforme los arrancadores de motor ganan aceptación, la tecnología de arranque del motor también está aumentando en importancia.

A continuación se presentan algunas preguntas importantes a considerar antes de decidir sobre las posibles aplicaciones de motores eléctricos:

¿La aplicación requiere control de velocidad, incluso cuando el motor trabaja a cierta velocidad?

Los requisitos de control de velocidad se deben decidir lo más pronto posible. Algunos arrancadores suaves tienen limitado control entre el arranque y la parada. Lo importante para recordar es que la velocidad de funcionamiento del motor no se puede cambiar porque el arrancador suave sólo regula la tensión del motor y no la frecuencia.

¿La aplicación necesita tiempos específicos de arranque y parada? Por lo general, el arranque y paro con arrancadores suaves son dependientes de la carga. Los algoritmos internos ajustan la tensión en base a los tiempos pre-programadas para aumentar la corriente y el torque del motor para arrancar el motor y / o disminuirlos para detenerlo. Si la carga es ligera, el motor puede tomar menos tiempo para arrancar que el valor programado. Los arrancadores suaves de nueva generación emplean algoritmos avanzados, lo que lleva a arranques más precisos y menos dependientes de la carga y tiempos de parada.

¿La aplicación necesita torque total al arranque? VFD puede funcionar mejor con aplicaciones que requieren torque completo a velocidad cero. Pueden producir el torque nominal del motor desde cero hasta la velocidad nominal e incluso proporcionar torque completo sin velocidad. Los arrancadores suaves, por otra parte, típicamente operan entre la frecuencia de 50 a 60 hercios, y el torque completo solamente se puede lograr a plena tensión. El torque inicial (disponible a velocidad cero) normalmente oscila de cero a 75 por ciento y se puede programar.

¿La aplicación necesita un torque constante?. Los arrancadores suaves alteran la tensión para controlar la corriente y el torque. En el momento de arranque, la corriente varía en función de la tensión, mientras que el torque del motor varía con el cuadrado de la tensión aplicada. El torque puede no permanecer constante a diferentes voltajes, una condición que puede ser más compleja con cargas variables.

Ciertos arrancadores suaves trabajan en algoritmos de control de torque, pero esto no significa necesariamente un torque constante. Durante la aceleración, VFDs utilizan diferentes frecuencias en el motor mientras se cambia el voltaje. El modo de control VFD se denomina en términos de voltios constantes por hertz y produce un torque constante.

¿Cuáles es el costo, tamaño y preocupaciones térmicas?. En un amperaje de menos de 40 amperes, arrancadores suaves pueden ofrecer un beneficio menor costo en comparación con los variadores de frecuencia. A medida que la corriente y potencia aumentan, el costo de los variadores de frecuencia aumenta más rápidamente que la de los arrancadores suaves y puede alcanzar niveles prohibitivos en altos amperajes

Cuando se trata de tamaño, los arrancadores suaves tienen una ventaja sobre los variadores de frecuencia en todos los amperajes, gracias a su construcción. A medida que el incremento de corriente y potencia, la diferencia puede llegar a ser más grande. Cuando arrancadores suaves se

combinan con un bypass electromecánico interno o externo, son aún más eficaces y pueden producir menos calor. Esto se debe a que los arrancadores suaves tienen un menor número de componentes activos en el circuito durante el arranque, marcha y parada.

¿Cuáles son las consideraciones de instalación y los armónicos?. Las consideraciones de instalación se pueden clasificar en coste, tamaño, temperatura y calidad de la energía. Las instalaciones para arranque suave implican tamaños más pequeños y menores costos, por lo que no son una preocupación.

Además, los armónicos de arranque suave son menores que los de VFD. Corridas en largos tramo de cable VFD necesitan más atención que las de los arrancadores suaves. Por otra parte, pueden no ser necesarios tipos de cables especiales para los arrancadores suaves. La compatibilidad electromagnética también debe ser considerada

Suspender el uso de los motores cuando no se necesitan. Tan simple como suena, la forma más eficaz para ahorrar energía es apagar el motor cuando no está en uso. Más a menudo que no, los usuarios dudan en apagar un motor porque creen que su puesta en marcha en repetidas ocasiones dará lugar a mayor desgaste. Una forma de mitigar esto es mediante el uso de arrancadores suaves, que pueden reducir el desgaste. Un arrancador suave instalado y especificado correctamente puede disminuir la presión sobre los sistemas mecánicos y eléctricos.

Reduce el desgaste. El reducir el desgaste del motor es una de las principales preocupaciones de los usuarios. Una gran cantidad de desgaste tiene lugar cuando se arranca un motor eléctrico, ya que las altas corrientes y las fuerzas iniciales aplican presión en los sistemas mecánicos y eléctricos. Aunque esto puede ser perjudicial, los efectos perjudiciales se pueden controlar con la ayuda de arrancadores suaves. También puede emplear los VSD, pero éstos pueden ser más costosos y menos eficientes.

El uso de motores de alta eficiencia. La eficiencia del motor se puede derivar a partir de dos factores: el tamaño del motor y su calidad eficiencia. En los motores más pequeños, en particular, el tamaño es un factor importante que afecta la eficiencia. En los motores más grandes, son las clases de eficiencia que importan más.

Los motores energéticamente eficientes utilizan menos electricidad, no se calientan con la misma facilidad y duran más. Estos tipos de motores se caracterizan por un mejor diseño, lo que resulta en una menor pérdida de calor y menos ruido. El uso de materiales de alta calidad, tolerancias más estrechas y técnicas de fabricación mejoradas también ayudan a reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia. Ver Figura 39.

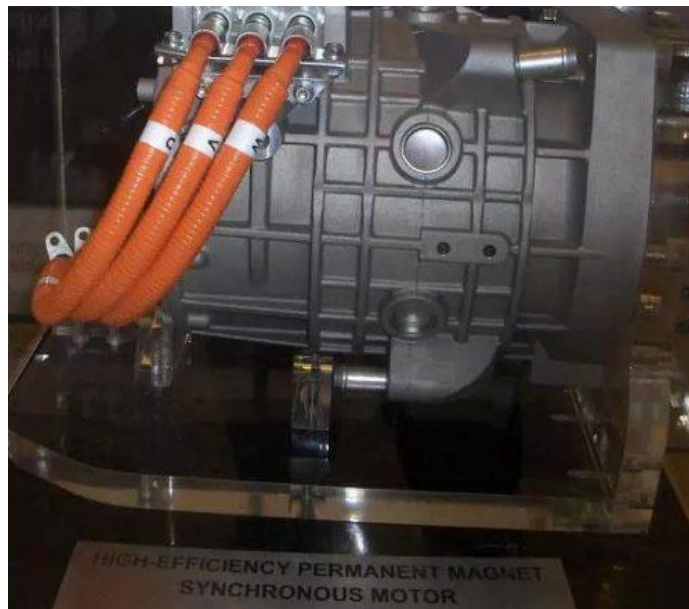


Figura 39 Motor eficiente

Fuente: Videla, A. [1]

Selecciona el motor del tamaño correcto. Los motores tienden a ser más eficiente entre 60 y 100% de su carga nominal completa y más ineficiente por debajo del 50% de carga. Esto significa

que el mero hecho de comprar el tamaño correcto del motor puede aumentar la eficiencia en gran medida.

En general, los motores sobredimensionados operan por debajo del 50% de su carga nominal, que no sólo los hace ineficientes, pero también más caros que los motores del tamaño correcto. Además, también pueden reducir la fuente de alimentación a la máquina, lo que aumenta la carga en el sistema eléctrico.

### 6.3 Beneficios de motores eficientes.

Para evaluar los beneficios de motores de alta eficiencia, se debe tener en cuenta la ecuación (3), donde se da la relación de potencia mecánica suministrada por el motor (de salida) a la potencia eléctrica suministrada al motor (entrada). Así, si un motor es 80% eficiente, se puede convertir el 80% de la energía eléctrica en energía mecánica. El 20% restante de la energía eléctrica se pierde en forma de calor.

Pensamientos finales. Con el concepto de “eficiencia energética” utilizándose cada vez más, es importante que este concepto puede integrarse aplicaciones industriales y en el hogar. Los motores de conservación de energía pueden ofrecer muchos beneficios. Con una instalación adecuada, pueden funcionar a menor temperatura, ofrecen condiciones de servicio más altos, duran más tiempo, proporcionan un mejor aislamiento y emiten menos ruido y vibración. Con tantas ventajas, los fabricantes de automóviles harían bien en asegurarse de que están produciendo y empleando los motores de mayor eficiencia energética posible.

## 7 Conclusiones

A lo largo de la evolución de la industria y con ello el requerimiento de motores, se han desarrollado diferentes tipos de motores y con característica muy particulares dependiendo de las necesidades. Las pérdidas en sus diferentes maneras no era muy relevantes, no obstante, hoy en día debido a los costos de la energía las empresas apunta a una sostenibilidad en el tiempo

La eficiencia energética en motores industriales se puede lograr con uso de buenas prácticas, que van desde la fabricación misma de los motores hasta el manejo óptimo mediante a equipos de control, cada vez más sofisticados e inteligentes.

Existen dos factores fundamentales que determinan la eficiencia energética: uno es la aplicación de los motores en la industria, y otro es, básicamente en el diseño y los materiales que se emplean para la construcción de los motores

El motor trifásico de inducción jaula de ardilla, es el que más se usa en el ámbito industrial, por las siguientes características: Bajo costo, bajo mantenimiento, fácil de adquirir, alto grado de protección, pocos componentes, robusto, seguro en ambientes de alto riesgo, etc.

Como recomendaciones para mejorar la eficiencia de los motores se presentaron varias recomendaciones como: la selección del armazón de acuerdo al ambiente de trabajo, sustitución de motores viejos por más eficientes, selección apropiada de la conexión de puesta a tierra, controlar las condiciones de ventilación, trabajar con las fases balanceadas, control de la lubricación de cojinetes.

De las ventajas de pueden funcionar a menor temperatura, ofrecen condiciones de servicio más altos, duran más tiempo, proporcionan un mejor aislamiento y emiten menos ruido y vibración

## **8 Recomendaciones**

Cada vez es más importante la eficiencia energética en los diferentes dispositivos que utiliza la industria como los generadores, motores, transformadores, iluminación, transporte, etc. Por lo anterior, es importante establecer buenas prácticas en los diferentes campos de la industria que sirvan de referencia.

Es importante seguir desarrollando automatismos y materiales de construcción para hacer cada vez motores más eficientes para la industria.

Las buenas prácticas que contribuyan a una mejor eficiencia energética deben difundirse en la academia y la industria.



## 9 Referencias bibliográficas

- [1] Videla, A. “Manual de Motores Eléctricos”. Ingeniero Civil y Eléctrico Página 1 de 70.  
Este artículo fue publicado previamente en [En Línea] (Consultado en Septiembre 30 de 2018)  
Disponible: <http://www.MOTORES%20MANTTO%202.htm>; Consultado octubre 26 de 2018.
- [2] Rosales, J. “Motores Eléctricos para la Industria”. Universidad San Martín de Porras, Perú.  
[En Línea] (Consultado en Diciembre 6 de 2018) Disponible:  
[http://www.usmp.edu.pe/vision2018/pdf/materiales/MOTORES ELECTRICOS PARA LA IN.pdf](http://www.usmp.edu.pe/vision2018/pdf/materiales/MOTORES_ELECTRICOS_PARA_LA_IN.pdf).
- [3] S. J. Taylor y R. Bogdan. Introducción a los métodos cualitativos. 1984, 1987 y 2000.
- [4] Rodríguez G, et al. Metodología de la investigación cualitativa. 1996. En: La investigación cualitativa. Pág. 7- 10. [En Línea] (Consultado en Octubre 22 de 2018), Disponible:  
<http://www.iiicab.org.bo/Docs/doctorado/dip3version/M2-3raVDrErichar/investigacion-cualitativa.pdf>.
- [5] Morales F. Pensamiento Imaginativo: Difundiendo la creatividad e innovación para la gestión de organizaciones y PYMES. Conozca tres tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa. 2010. [En Línea] (Consultado en Septiembre 30 de 2018) Disponible en: <http://manuelgross.bligoo.com/conozca-3-tipos-de-investigaciondescriptiva-exploratoria-y-explicativa>
- [6] ICE, GIS, “Buenas prácticas de Eficiencia energética para Motores Eléctricos Industriales” [En Línea] (Consultado en Diciembre 7 de 2018), Disponible:  
[https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/99e8cc9f-13ae-43e2-95eb-1be48772ad60/Motores+Eléctricos+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi](https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/99e8cc9f-13ae-43e2-95eb-1be48772ad60/Motores+Eléctricos+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi)

[7] Contreras, E., F., Sánchez R., “Diseño y Construcción de un Banco de Prácticas En Motores Eléctricos, Como Apoyo a La Asignatura Diseño de Máquinas II”. Tesis Universidad UIS. 2010. [En Línea] (Consultado en Diciembre 7 de 2018)., Disponible: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133923.pdf>