

## *Motores de alta eficiencia. Criterios de selección*

### *High efficiency motors. Selection criteria*

**Luis Patajalo Villalta<sup>1</sup>, Emilio Benalcazar Bosmediana<sup>2</sup>, Julio Lozano Zambarano<sup>3</sup>**

#### **RESUMEN:**

Considerando que, de la energía total generada en el mundo, aproximadamente el 60% la consumen los motores eléctricos, surgió entre las medidas más prometedoras para el ahorro de la energía, establecer el incremento obligatorio de la eficiencia de estos motores, lo que ha hecho que la selección de estos sea vanguardista, cumpla estándares y parámetros, de selección. En el presente artículo se presentan criterios de selección para motores de alta eficiencia y cuáles serían las ventajas y complicaciones a la hora de decidir la aplicación del uso eficiente de la energía en la industria.

**Palabras claves:** Motor, alta eficiencia, selección

#### **ABSTRACT:**

Considering that, of the total energy generated in the world, approximately 60% is consumed by electric motors, arose among the most promising measures for saving energy, establishing the mandatory increase in the efficiency of these motors, which has made that the selection of these is avant-garde, meets standards and parameters, selection. In this article we present selection criteria for high efficiency engines and what would be the advantages and complications when deciding the application of the efficient use of energy in the industry

**Keywords:** Motor, high efficiency, selection

Recibido 22 de enero de 2020; revisión aceptada 25 de abril de 2020

---

<sup>1</sup>Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, [lpatajalo.mee@uisek.edu.ec](mailto:lpatajalo.mee@uisek.edu.ec)

<sup>2</sup>Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, [ejbenalcazar.mee@uisek.edu.ec](mailto:ejbenalcazar.mee@uisek.edu.ec)

<sup>3</sup>Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, [cjlozano.mee@uisek.edu.ec](mailto:cjlozano.mee@uisek.edu.ec)

## 1. INTRODUCCIÓN

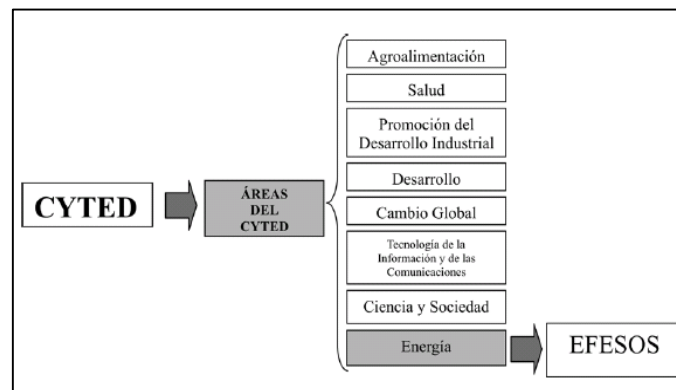
Aunque no existe una definición unificada mundialmente sobre lo que es un motor de alta eficiencia, en el presente estudio realizaremos una revisión de su desarrollo. Se empiezan a fabricar motores de alta eficiencia a mediados de la década de los 70 debido al constante incremento de los costos de la energía eléctrica y las restricciones establecidas sobre la conservación del medio ambiente que hicieron que, en los países industrializados como Estados Unidos de América y algunos países europeos se dictaran políticas y se aprobaran legislaciones respecto al uso de la energía. Esta tecnología se hizo eficiente a partir del año 2000. Sin embargo, su aplicación indiscriminada puede ocasionar inconvenientes técnicos en los procesos productivos cuando no se utiliza la generación de manera adecuada.

Considerando que, de la energía total generada en el mundo, aproximadamente el 60% la consumen los motores eléctricos y que el motor eléctrico más usado es el asíncrono de jaula de ardilla, surgió entre las medidas más prometedoras para el ahorro de la energía, establecer el incremento obligatorio de la eficiencia de estos motores. Esta idea fue reforzada cuando un estudio realizado en 1990 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América mostró que para el año 2010, la industria podría ahorrar 240 mil millones de Kwh anualmente reemplazando motores y accionamiento de eficiencia estándar, por otro que fueran solo de 2 a 6% más eficientes.

En los países subdesarrollados, este tipo de política energética ha demorado en establecerse y las cifras que se encuentran en cuanto al uso de motores más eficientes son notablemente inferiores a las de los países industrializados. Una de las razones es que en las prácticas tradicionales de compra no se evalúa el costo real de la energía, entre otras cosas, porque no se comprende la relación entre la eficiencia y los costos totales durante la vida útil del equipo. Así, los compradores se concentran con frecuencia en el bajo costo inicial. No se comprende suficientemente que los motores y acondicionamientos con mayor eficiencia, aunque son más caros inicialmente, gracias a los costos de operación más bajos, compensan la diferencia en un plazo normalmente apropiado.

Otra razón es la poca información que tienen los ingenieros y técnicos respecto a los motores de alta eficiencia. Este desconocimiento da inseguridad en el momento de la aplicación y en algunos casos puede ocasionar inconvenientes en la operación de los motores. Es importante entonces conocer cuáles son las características electromecánicas de los motores de alta eficiencia, sus ventajas y las limitaciones que pueden presentar en su aplicación.

El Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de Iberoamérica (CYTED) tiene como objetivo principal contribuir al desarrollo armónico y sostenible de la región mediante la promoción de la colaboración y cooperación entre los Organismos Nacionales de Ciencia y Tecnología, Organismos de Fomento de la Innovación, grupos de investigación de universidades, centros de I+D y las empresas en torno a siete (7) áreas, como se muestran en la Figura. Este programa promueve la formación de Redes Temáticas, Acciones de Coordinación de Proyectos de Investigación, Proyectos de Investigación Consorciados y Proyectos de Innovación IBEROEKA que involucren a instituciones de los países participantes. Las Acciones de Coordinación de Proyectos de Investigación buscan promover la transferencia de resultados de proyectos de investigación a los sistemas productivos de estos países.



**Figura. 1** Grupos de investigación.

Puede decirse que la eficiencia de un motor eléctrico es la medida de la capacidad que tiene el motor de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. La potencia eléctrica correspondiente medida en watts (w) entra por los terminales del motor y la potencia mecánica medida en watts o HP que sale por el eje. La eficiencia (EF) del motor puede expresarse como:

Se tiene por pérdidas la potencia eléctrica que se transforma y disipa en forma de calor en el proceso de conversión de la energía eléctrica en mecánica que ocurre en el motor. Las pérdidas por su naturaleza se pueden clasificar en cinco áreas: pérdidas en el cobre del estator, pérdidas en el cobre del rotor, pérdidas en el núcleo, pérdidas por fricción y ventilación y pérdidas adicionales.

### **Incremento de la eficiencia en los motores asincrónicos**

El incremento de la eficiencia en los motores asincrónicos de jaula de ardilla se logra con la reducción de sus pérdidas. Según aumenta la potencia de salida y en consecuencia la

eficiencia nominal, se incrementa también el grado de dificultad para mejorar la eficiencia y por lo tanto el costo de mejorar la eficiencia de un motor. Considerando solamente las pérdidas en los conductores del estator y del rotor para mejorar un punto en la eficiencia, se requiere un aumento creciente en la reducción de estas pérdidas, confeccionada para valores promedio de los diseños NEMA B.

Las pérdidas en el motor pueden reducirse hasta alrededor de un 50% a través del uso de mejores materiales, optimizando la geometría, ajustando mejor el motor con la carga y mejorando el proceso de fabricación. Cuando se intenta maximizar la eficiencia de un motor, debe considerarse que esta pueda incrementarse por dos métodos diferentes. Una posibilidad es seguir el camino en el cual la mejoría se logra fundamentalmente a base de adicionar materiales y empleando tecnologías más costosas. La otra posibilidad es optimizar el diseño del motor utilizando métodos de optimización. La diferencia entre los dos enfoques es que en el primer caso la mejoría se alcanza modificando un diseño existente, mientras que en el segundo caso se obtienen diseños totalmente nuevos.

## 2. METODOLOGÍA

### MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

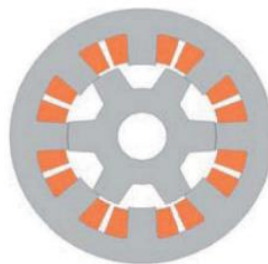
La industria consume alrededor del 40 % de energía en el mundo [1], aunque Benhaddadi menciona que el consumo de energía es del 60% [2] y se podría ahorrar entre un 20% y un 30% en energía en los sistemas motrices[1].

### TIPOS DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

La siguiente descripción de los motores es un extracto del artículo Improving efficiency in electric motors [3].

#### *Motores de reluctancia conmutada.*

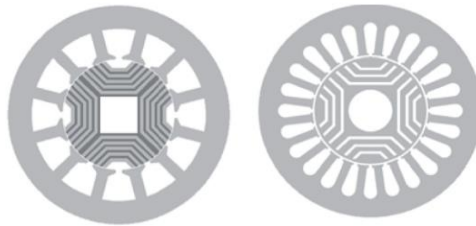
El motor de reluctancia conmutada tiene devanados concentrados en el estator y no tiene una jaula de aluminio ni imanes permanentes en el rotor, pero solo acero laminado con dientes salientes. Así que no hay pérdidas de julios en el rotor.



**Figura 2.** Motor de reluctancia conmutada (SRM).

### **Motores de reluctancia síncrona.**

Utiliza un estator de polifásico convencional, y el rotor no tiene una caja de aluminio ni imanes permanentes, pero las barreras de flujo para crear las rutas preferidas para el flujo de la armadura, lo que crea valores diferentes de inductancia del eje x e y, el rendimiento del motor depende en gran medida de la geometría de las barreras de flujo en la laminación del rotor.



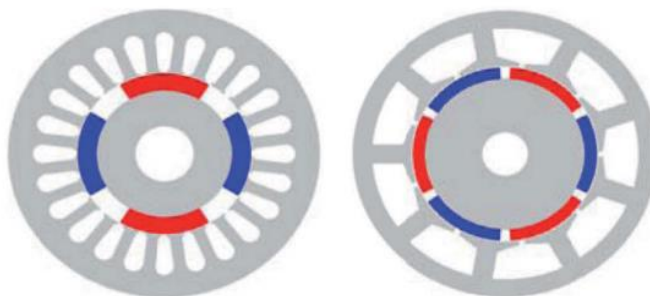
**Figura 3.** Motor de reluctancia síncrona axial y transversal.

### **Motores de Imanes permanentes (PM)**

Los motores PM ofrecen la mayor eficiencia de todos los motores, con un alto factor de potencia, debido a la ausencia de pérdidas de Joule en el rotor y al flujo de excitación de los imanes permanentes, relaciones de par a corriente y par a volumen, compacidad y respuesta dinámica rápida. Los imanes de ferrita se usan generalmente en aplicaciones de baja potencia donde el bajo costo es obligatorio y los imanes NdFeB en motores industriales para un mejor rendimiento.

#### **Motor de imán de superficie**

Los imanes permanentes se colocan en la superficie del rotor. Esto facilita la fabricación del rotor, ya que los imanes pueden colocarse en su lugar antes de la magnetización, magnetizándolos todos juntos a la vez en un dispositivo de magnetización especial

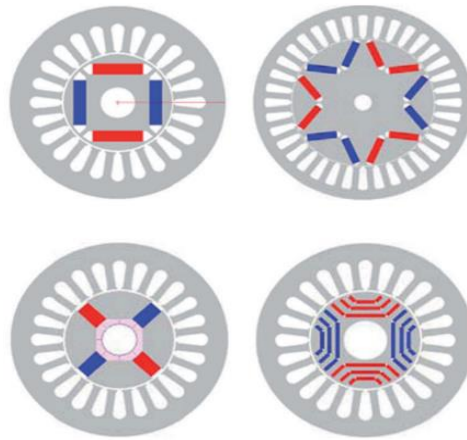


**Figura 4.** Motores de imanes de superficie con diferente cantidad de imanes.

#### **Motor de imán interior**

Los imanes permanentes se colocan dentro de la laminación del rotor. Son posibles varias topologías de rotor, algunas de ellas se muestran en la figura 5. Estos motores tienen una resistencia magnética, por lo que el par total tiene un componente de par de reluctancia que

se puede agregar al par provisto por los imanes, a través de estrategias de control correctas, como el avance del ángulo actual.



**Figura 5.** Motores de imanes en el interior con diferentes disposiciones.

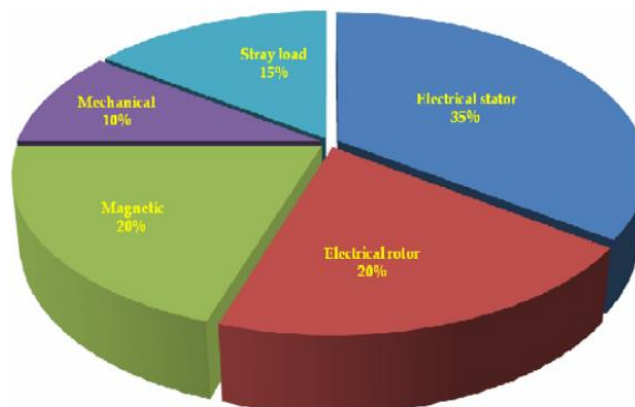
## Pérdidas de energía y eficiencia

### Pérdidas

Las pérdidas que se producen en los motores[1].

- Pérdidas mecánicas (pérdidas en descansos, sellos y ventilador de la máquina).
- Pérdidas en el núcleo magnético (por histéresis y corrientes de Eddy en el rotor y estator por el acero laminado).
- Pérdidas  $I^2R$  (bobinas del estator y barras conductoras del rotor).
- Otras pérdidas (por radiación electromagnética, que varía con la carga).

Es importante para los diseñadores entender la forma en que se distribuyen las pérdidas con el objetivo de realizar cambios para aumentar la eficiencia del motor [4].



**Figura 6.** Distribución de pérdidas en un motor de inducción.

Por su diseño, los motores de eficiencia superior reducen los costos de operación a cualquier nivel de carga, incluso al funcionar sin esta. Los motores de alta eficiencia son una gran alternativa a considerar en este estudio, por lo que es importante tener una referencia de la eficiencia que entregan dependiendo de su potencia en caballos de fuerza, HP.

La tabla 1 muestra porcentajes de las pérdidas en los motores según el diseño NEMA B tomada del artículo del Enrique Quishpe.

Tabla 1. Distribución de pérdidas promedio de motores, diseño NEMA B.

| <b>Componentes Pérdidas en el Motor</b> | <b>% Pérdidas Totales</b> |
|---|---------------------------|
| Pérdidas conductores estator            | 37                        |
| Pérdidas conductores rotor              | 18                        |
| Pérdidas núcleo magnético               | 20                        |
| Pérdidas fricción y ventilación         | 9                         |
| Pérdidas en carga                       | 16                        |

### 3. RESULTADOS

#### Análisis de Eficiencia

Puede decirse que la eficiencia de un motor eléctrico es la medida de la capacidad que tiene en el motor de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. La potencia eléctrica que el motor de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. La potencia eléctrica correspondiente medida [3].

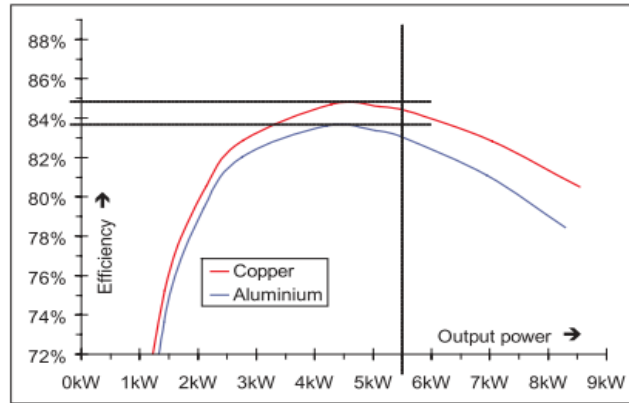
$$EF\% = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\text{Potencia eléctrica de entrada}} \times 100.$$

$$\text{Potencia mecánica de salida} = \text{Potencia eléctrica} - \text{Pérdidas}$$

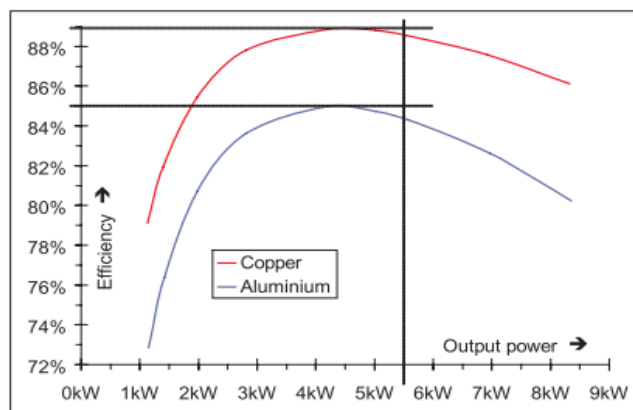
Se tiene que:

$$EF\% = \left(1 - \frac{\text{Pérdidas}}{\text{Potencia eléctrica de entrada}}\right) \times 100$$

La figura 7 y figura 8 muestran la comparación de las eficiencias entre diferentes motores [5].



**Figura 7.** Comparación de la eficiencia entre un motor idéntico rotor de aluminio y rotor de cobre.



**Figura 8.** Comparación de la eficiencia de un motor simple EFF3 con la eficiencia de un motor optimizado con rotor de cobre.

La tabla 2 muestra las eficiencias de algunos motores de algunas potencias con diferente número de polos [4].

Tabla 2. Eficiencia nominal mínima de motores trifásicos de inducción de alta eficiencia TEFC de acuerdo al EPACT.

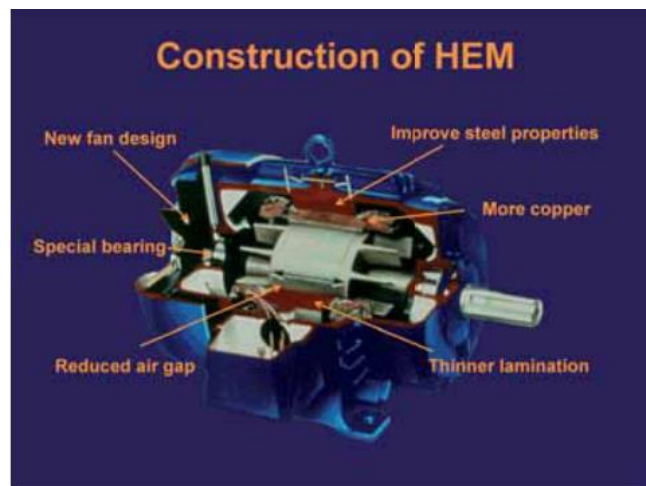
| HP  | 6 polos | 4 polos | 2 polos |
|-----|---------|---------|---------|
| 5   | 87.5    | 87.5    | 87.5    |
| 10  | 89.5    | 89.5    | 89.5    |
| 25  | 91.7    | 92.7    | 91      |
| 50  | 93      | 93      | 92.4    |
| 75  | 93.6    | 94.1    | 93      |
| 100 | 94.1    | 94.5    | 93.6    |
| 150 | 95      | 95      | 94.5    |
| 200 | 95      | 95      | 95      |



## Características

Los motores de alta eficiencia tienen un funcionamiento altamente eficiente debido a que son diseñados y construidos en forma especial, presentando menores pérdidas que los motores de eficiencia estándar, lo que significa que el motor consume menos energía para realizar el mismo trabajo que un motor normal[6], las principales características de los motores de alta eficiencia son las siguientes:

- Mayor calibre de conductores – Menores pérdidas en el estator.
- Rotor y estator más grandes – Menores pérdidas de núcleo.
- Menor resistencia del eje – Menores pérdidas el rotor.
- Ventilador más pequeño – Menores pérdidas de ventilación.
- Entrehierro optimizado – Menores pérdidas magnéticas.
- Mejor acero con laminaciones finas – Menores pérdidas de núcleo.
- Óptimo sello de cojinetes



**Figura 9.** Partes de un motor de alta eficiencia.

La primera generación de motores de alta eficiencia logró un 25 por ciento de pérdidas menos que un motor estándar de diseño NEMA B. Usando diseños, materiales y procesos de fabricación mejorados los fabricantes aspiran obtener una alta eficiencia y presentan un 2 por ciento a un 6 por ciento más eficiencia que los motores estándar [6].

## Ventajas

Entre las ventajas encontradas están:

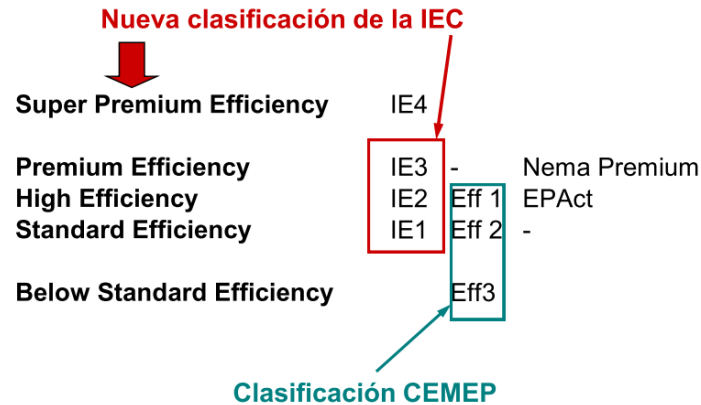
- Presentan una eficiencia mayor que los motores de eficiencia estándar [6].

- Los costos de operación del motor son menores, posibilitando la recuperación de la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera a su carga nominal [6]
- Poseen un menor deslizamiento, operando a una mayor velocidad.
- Presentan una mejora en la ventilación, por lo que son capaces de resistir mayores temperaturas ambiente.
- Están mejor contruidos y normalmente son más robustos.
- Producen menos gastos de mantenimiento.
- Tienen mayor tiempo de vida útil.
- Asimismo, por su diseño específico, tienen la capacidad de tolerar mayores variaciones de voltaje.

### **Normas**

- USA. En 1992 se dio la EPACT'92, esta ley determinó que a partir del 24 de octubre de 1997 todos los motores de uso general que se instalen en USA deben de tener una eficiencia que cumpla la tabla 12-10 de la Norma NEMA MG1.1997.
- CANADÁ. En 1992 en Canadá se dio la legislación llamada Energy Efficient Act y fue acatada a partir de diciembre de 1997. Los valores de eficiencia y características de los motores son los mismos que el EPACT'92[4].
- MÉXICO. En Mayo de 1998 expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-016-ENER-1997 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA, la cual da los límites de eficiencia, los métodos de prueba y marcado para motores de inducción tipo Jaula de ardilla de uso general entre 1 y 200 HP[4].

En ese sentido, la Comisión Electrotécnica Internacional IEC, ha trabajado en conjunto con NEMA, CEMEP, JEMA, IEEE y otras organizaciones internacionales, para armonizar las normas de procedimientos y métodos de ensayo, las clases de eficiencia y el posterior etiquetado del motor, en aras de reconocer los motores de alta eficiencia en el mercado[7].



**Figura 10.** Clasificación de motores según IEC y CEMEP.

### Selección de motores:

#### Cambiar o reemplazar

Al enfrentarse a un motor que ha fallado resulta imprescindible realizar un análisis de las opciones que se presentan, seleccionando finalmente la más conveniente, tanto del punto de vista técnico como económico[6]. Cuando un motor falla se presentan tres alternativas: reparar el motor averiado, comprar un nuevo motor de eficiencia estándar o comprar un nuevo motor de alta eficiencia.

La alternativa de reparación parece ser, a primera vista, la más oportuna por cuanto su costo es inferior a una nueva compra, sin embargo, está constatado que en la mayoría de las ocasiones el rebobinado de un motor conduce a una pérdida de rendimiento, en algunos casos importante, y adicionalmente una menor fiabilidad de funcionamiento, en cuanto que se disipa mayor calor y el motor soportará mayores exigencias[4]. Estudios de General Electric sobre motores de 3 a 150 HP han determinado que las pérdidas se incrementan un 18%, es decir, que la eficiencia empeora entre 1,5% y 2,5% [4]. Por su parte, aun cuando los motores de alta eficiencia fallan por las mismas razones que los de eficiencia estándar, tardan más en hacerlo, por lo que presentan una vida útil más larga.

#### Criterios de selección de un motor a sustituir

- Dividir la planta en áreas lógicas y realizar una lista de los motores que serán revisados. Los motores que tengan un consumo importante de energía
- deben encabezar la lista. Preferir motores que operen sobre un periodo prolongado de
- tiempo y motores grandes. Los motores pequeños que funcionan de forma intermitente

- deben situarse al final de la lista.

Algunos criterios de selección

- Potencia de 10 a 600 hp. Al menos 2.000 horas de
- operación al año.
- Carga constante (no intermitente, cíclica o fluctuante).
- Motores estándar antiguos y/o rebobinados.
- Fácil acceso.
- Placa de datos legible. Motores no especiales.

Considerando valores medios de carga del motor (75%), de mejora de eficiencia entre el motor estándar y el motor de alta eficiencia (entre el 2% al 5%), de costo de compra del motor, de periodo de amortización de tres años y del precio de la energía, puede indicarse que es interesante la compra de un motor de alta eficiencia en los siguientes casos[4]:

- En los motores entre 10HP y 75HP cuando operan 2500 horas anuales o más.
- En los motores de potencias distintas a las anteriores (pequeños y grandes motores) cuando operan 4500 horas o más.

#### **Cálculo del ahorro en KW debido a mayor eficiencia**

$$KW_{ahorrada} = P_o \times Carga \times 0.7457 \times \left( \frac{1}{e_{est}} - \frac{1}{e_{EE}} \right)$$

Donde:

$KW_{ahorrada}$  = Ahorro debido a la mejora de eficiencia en KW.

$P_o$  = Potencia nominal en HP.

$Carga$  = Potencia de salida en % de la potencia nominal.

$e_{est}$  = Eficiencia de un motor estándar en operación, en %.

$e_{EE}$  = Eficiencia de un motor eficiente en operación, en %.

#### **Cálculo de la energía anual ahorrada**

$$KWh_{ahorrada} = KW_{ahorrada} \times horas$$

Donde:

$KWh_{ahorrada}$  = Energía ahorrada

$KW_{ahorrada}$  = Ahorro en la mejora de eficiencia en kW.

$horas$  = Horas de operación anual.

#### **Cálculo del ahorro anual de dinero**

$$\$_{ahorro} = (KW_{ahorrada} \times 12 \times \$_{demanda}) + (KWh_{ahorrada} \times \$_{energia})$$

Donde:

$\$_{ahorro}$  = Dinero total del ahorro anual.

$KW_{ahorrada}$  = Ahorro en la mejora de eficiencia en KW.

$\$_{demanda}$  = Dinero cobrado por la demanda mensual.

$KWh_{ahorrada}$  = Ahorro anual de energía eléctrica.

$\$_{energía}$  = Dinero cobrado por energía

### ***Payback Simple***

$$PB = \frac{\$_{motor} + \$_{inst} - \$_{desc}}{\$_{ahorro}}$$

Donde:

$\$_{motor}$  = Costo del nuevo motor

$\$_{inst}$  = Costo de instalación

$\$_{desc}$  = Descuento por motor eficiente

$\$_{ahorro}$  = Dinero del ahorro anual

Entre las recomendaciones para mejorar la eficiencia se pueden señalar:

Evitar el rebobinado. rebobinar un motor grande reduce la eficiencia nominal del 1% y en motores pequeños hasta el 2%

Evitar el sobredimensionamiento estudios concluyen que en la industria los motores funcionan en promedio con una carga de 50-60% de su carga nominal, cambiar los motores que trabajan por debajo de la carga nominal por motores más pequeños, pero energéticamente eficientes mejoran la eficiencia de todo el sistema.

Uso de variadores de frecuencia para control de velocidad. en aplicaciones de bombas y ventiladores los usos de variadores de velocidad permiten control de la velocidad optima y control preciso del caudal acorde a las necesidades del proceso, permitiendo un ahorro significativo en el consumo de energía.

Factores que afectan la eficiencia del motor. desempeño del motor, variación del voltaje, desequilibrio del voltaje, carga del motor, distorsiones armónicas totales y factor de potencia.

## **4. CONCLUSIONES**

La eficiencia de un motor mide la conversión de la energía eléctrica en trabajo útil. Un motor eficiente funcionando a plena carga, puede experimentar un aumento normal de temperatura de 60-80°C, logrando su máxima eficiencia cerca del 75% de la carga

nominal[8]. A nivel mundial se estiman que los motores consumen el 65% de la electricidad consumida por la industria y la generación de electricidad para estos motores es de 37 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub>, un pequeño aumento en la eficiencia tiene un impacto positivo en el ambiente. En Alemania los motores eléctricos de bajo consumo son responsables de aproximadamente el 55% del consumo de energía [9]. Los motores de eficiencia energética son 5% más eficientes en comparación con los motores de eficiencia estándar lo que permite un ahorro significativo durante la vida útil de los motores y un aumento de producción equivalente con la misma cantidad de consumo de energía [10]. ¿Qué tecnología es mejor? No solo depende la eficiencia, sino del costo, tamaño, peso, fiabilidad, rango de velocidad, ruido, vibraciones, facilidad del mantenimiento y rendimiento. El alargamiento del núcleo, el uso de acero con menor pérdida eléctrica, laminación de estator más delgado y más cobre en los devanados reducen las pérdidas en los motores, estos cambios en el diseño contribuyen a aumentar la eficiencia y reducción del consumo de energía que representa de 4 a 10 veces su costo cada año [11]. Nivel de Eficiencia IE4 (IEC 60034 30): en la primera edición se definieron los límites de eficiencia de IE1, IE2 e IE3, en la segunda edición se están definiendo los límites de la clase IE4 (Eficiencia Super Premium) para motores de 0,12 a 800 kW de 2, 4, 6 y 8 polos, a diferencia de los motores IE3 los motores IE4 tienen menos pérdidas que van del 10 al 24%.

Nuevas tecnologías para motores Super Premium (IE4): motores de reluctancia conmutada, motores de reluctancia sincrónica, motores de imán permanente, motor de imán de superficie, motor de imán interior, motor PM con rotor exterior, motores conmutados electrónicamente (EC) y motores PM de arranque en línea [3]. América latina presenta un atraso en la implementación de normas de clasificación (IEC 60034-30:2008, IEC 60034-2:2007, IEEE 112:2004 y EPA'92), métodos de ensayo, programas y laboratorios de eficiencia de motores eléctricos, respecto a países desarrollados de la Union Europea, Estados Unidos, China, Australia, entre otros [7].

## 5. REFERENCIAS

- [1] I. Mahla, "Proyectos de motores eléctricos eficientes," *Laboratorio de Control Avanzado*, 2008.
- [2] M. Benhaddadi, G. Olivier, and S. Centre-ville, "Premium Efficiency Motors and," no. June 2014, pp. 1–25, 2010.

- [3] M. Lukaszczyk, “Improving efficiency in electric motors,” *World Pumps*, vol. 2014, no. 4, pp. 34–41, 2014.
- [4] E. Quispe and L. F. Mantilla peñalba, “Motores Eléctricos de Alta Eficiencia,” *Revista Energía Y Computación*, vol. 12, no. December, p. 11, 2004.
- [5] S. Fassbinder, “Briefing Paper: Saving energy with high-efficiency motors,” pp. 1–10, 2007.
- [6] S. Paola and C. Ram, “Susana Paola Cortes Ramírez Estudio Técnico – Económico para Determinar la Conveniencia entre Reemplazar y Rebobinar un Motor Escuela de Ingeniería Eléctrica Facultad de Ingeniería,” 2017.
- [7] C. M. Londoño-Parra and J. L. Ramírez-Echavarría, “Normas de Eficiencia Energética de Motores de Inducción, ¿Está Preparada Latinoamérica?,” *Tecnológicas*, vol. 0, no. 30, pp. 117–147, 2013.
- [8] U.S. Department of Energy, “DETERMINING ELECTRIC MOTOR LOAD AND EFFICIENCY,” *MOTOR CHALLENGE*, 2013.
- [9] D. Jardot, W. Eichhammer, and T. Fleiter, “Effects of economies of scale and experience on the costs of energy-efficient technologies - case study of electric motors in Germany,” *Energy Efficiency*, 2010.
- [10] M. Akbaba, “Energy conservation by using energy efficient electric motors,” in *Applied Energy*, 1999.
- [11] A. Zabardast and H. Mokhtari, “Effect of high-efficient electric motors on efficiency improvement and electric energy saving,” in *3rd International Conference on Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008*, 2008.