

# BUSQUEDA DE LA EFICIENCIA EN MOTORES ELÉCTRICOS

[Hermann Fuquen](#) Consultor en Innovación Tecnológica

**Resumen** — Uno de los mecanismos para alcanzar mejores niveles de eficiencia energética en varias industrias consiste en apostarle a una mejora en la eficiencia en los motores eléctricos que sustentan los procesos productivos, es el caso de los procesos de automatización que dependen de varios motores de distintos tamaños o de grandes motores de uso industrial. Estos motores deben tener varias certificaciones para considerarse de alta eficiencia, basados en estándares internacionales. Su uso como sustituto de motores usados es vital para encontrar mayores ahorros de energía, alineado con las preocupaciones de impacto ambiental existentes alrededor del mundo. Este artículo muestra las distintas condiciones y variables a tener en cuenta para el uso de motores de alta eficiencia, sus características y posibilidades para ser usadas en aplicaciones industriales.

**Index Terms**— Motor Eléctrico, Alta Eficiencia, Imanes, Carga Eléctrica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la CEE (Consortio para la Eficiencia de la Energía) los motores eléctricos consumen más de la mitad de toda la electricidad demandada en los Estados Unidos y casi el 70 por ciento del consumo de electricidad del sector manufacturero. El consumo de la energía eléctrica de los motores se puede aproximar al 90 por ciento de algunas industrias (por ejemplo, pulpa y papel, textiles). El Consortio para la Eficiencia Energética formó un comité para estudiar la forma de ayudar a mejorar la eficiencia de los sistemas accionados por motor. El comité identificó cuatro áreas en las que podrían desarrollarse iniciativas de la CEE: reparación del motor, la optimización del rendimiento de los motores, utilización de motores provenientes de fabricantes de equipos originales (OEM) y utilización de mejores niveles de eficiencia del motor. Esta iniciativa, que se refiere a la eficiencia del propio motor, es el primero de varios que el Comité anticipa para mejorar la eficiencia global de los sistemas de uso intensivo de motores.

En los últimos años, el mundo académico y la industria han promovido continuamente la importancia de desarrollar motores de alta eficiencia. Expertos técnicos y académicos participan en estudios teóricos, mientras que las industrias se comprometen a producir nuevos productos y componentes clave, con el objetivo de mejorar la eficiencia de los motores domésticos en respuesta a la tendencia mundial de los estándares de motores de alta eficiencia (IMS Research, 2011).

La eficiencia del motor eléctrico depende de características de diseño, materiales y calidad. Recientemente, se han producido cambios en los estándares internacionales de eficiencia del motor. En la actualidad, el Comité Europeo de Fabricantes de Máquinas Eléctricas y Electrónica de Potencia (CEMEP) y la Comisión Europea, tienen un régimen europeo para designar las clases de eficiencia. El programa define tres niveles de eficiencia: EFF1, EFF2 y EFF3, con EFF1 con la mayor eficiencia y EFF3 el más bajo. Este sistema cumple con EPAct (Energy Policy Act de EE.UU) para exigir que los fabricantes de equipos agreguen la

clase de eficiencia en la placa de características del motor y proporcionen los datos de eficiencia para el usuario final. Además, la Comisión Electrotécnica del Comité Internacional (IEC) ha establecido un nuevo estándar para la eficiencia energética mediante las siguientes clases: IE1 (comparable a EFF2), IE2 (comparable a EFF1) y IE3 para motores de eficiencia superior.

## 2. LOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

La principal ventaja de utilizar los motores de alta eficiencia es el menor costo operativo anual. Los motores de alta eficiencia también tienen un factor de potencia más alto y tiempo de vida útil más largo como resultado de mejores condiciones de enfriamiento. Los motores de alta eficiencia deben ser considerados para todas las nuevas compras de motor, y como alternativa a la reparación de motores menos eficientes, sobre todo cuando el motor funciona de forma continua (> 2000 horas de trabajo anuales).

En la técnica se identifican varios métodos para mejorar la eficiencia de motores como es el utilizar laminaciones de acero más delgadas en el estator y el núcleo del rotor, usar acero con mejores propiedades electromagnéticas, agregar más acero, aumentar el volumen de alambre en el estator, mejorar el diseño de la ranura del rotor y el aislamiento, y usar ventiladores más eficientes y pequeños entre otras (Lu, 2016).

### 2.1 UNIDADES DE VELOCIDAD VARIABLE

Si un motor está continuamente funcionando a su velocidad nominal, el costo operativo está en su máximo. A menudo, una aplicación que requiere un cambio durante su funcionamiento y por ende demanda menos capacidad, desperdicia este ahorro de energía ya que el motor sigue funcionando a su velocidad nominal. Así que, a veces, un motor está sobredimensionado para la aplicación en que se utiliza si los requisitos de capacidad de apli-

cación son variables. Los motores de gran tamaño son ineficientes y suelen operar con un factor de potencia reducido. Esta ineficiencia y bajo factor de potencia se traduce en un desperdicio de energía. Esta pérdida de energía también se suma a las cargas de temperatura en ambientes acondicionados que se suma a los costos operativos de refrigeración y ventilación. La solución de ahorro de energía para aplicaciones con cargas variables es una Unidad de Velocidad Variable (UVV) (CEE, 2007).

El variador de velocidad puede actuar para regular el torque de salida del motor de manera que se consume sólo la potencia requerida para la aplicación. Una UVV debe ser considerada para el uso con motores de bombas, sopladores, ventiladores y compresores (Ibid).

## 2.2 TAMAÑO DEL MOTOR ELÉCTRICO

Relacionando la necesidad de utilizar las unidades de velocidad variable anteriormente mencionadas, según la CEE (2007) el tamaño del motor utilizado para cada aplicación en la industria, generalmente se encuentra sobredimensionado para el uso en su aplicación específica. Al utilizar un motor sobredimensionado la eficiencia puede caer hasta un 40% del valor de la eficiencia estimada por el fabricante. Por tanto, es importante verificar que los motores trabajen en un factor de carga entre 60 y 85%. Para motores que no alcancen en su aplicación este nivel de carga, es recomendable sustituir el motor por uno más pequeño o instalar sistemas de control que permitan la reducción del consumo de energía, aunque esta alternativa solo pueda ser efectiva en casos puntuales (CEE, 2007).

## 2.3 HORAS DE OPERACIÓN DEL MOTOR

En cuanto a un mayor número de horas de operación del motor, se contará con una mayor oportunidad de alcanzar ahorros de energía a través de la eficiencia. Los motores más grandes son los que tienden a usarse por más horas consecutivas debido a su uso en turnos de trabajo permanentes. Por tanto, la aplicación de programas de eficiencia ofreciendo incentivos para el buen uso de estos equipos y la aplicación de su mantenimiento es vital para una buena aplicación de modelos de eficiencia energética.

## 2.4 CONEXIONES DEL MOTOR

El modo en el que el motor está conectado a la carga de trabajo es importante para garantizar la eficiencia en su operación, así como el conexionado que alimenta eléctricamente al motor y su operación de arranque y parada. Por tanto, se debe examinar el uso de reguladores e inversores según sea el caso, para asegurar que los anteriores cumplen eficientemente con su propósito y contribuyen al ahorro energético esperado, utilizando las tecnologías adecuadas.

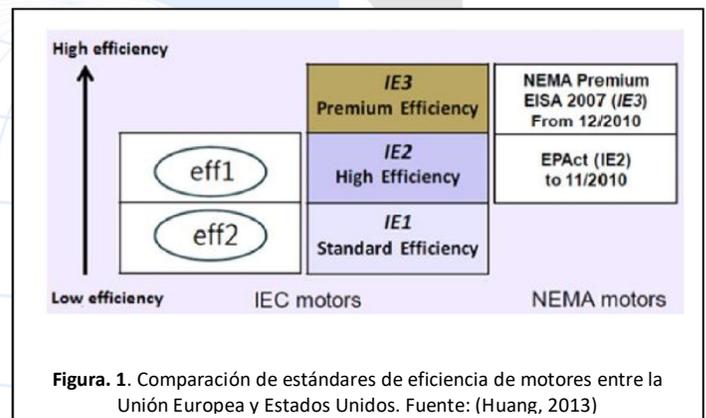
## 2.5 DES-BALANCEOS DE VOLTAJE

Este fenómeno se puede presentar cuando existen voltajes desiguales en las líneas de un motor de varias fases (trifásico o bifásico generalmente) resultando en un incremento dramático en las pérdidas del motor y generación de calor. Esta situación ge-

nera un decrecimiento sustancial de la eficiencia de los motores y reduce su vida útil. El desbalanceo de voltaje puede reducir también el torque del motor, afectando su correcto funcionamiento.

## 3. ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES DE EFICIENCIA DE MOTORES

En el pasado, varios estándares y métodos se aplicaban para motores de inducción alrededor del mundo de manera diversa y poco unificada. Para mejorar y consolidar los diferentes estándares la Unión Europea completó la consolidación de nuevos estándares conocidos como IEC60034-30: 2008 (Huang, 2013). Por tanto, los estándares de eficiencia pasaron de denominarse como *eff1* y *eff2* a ser reemplazados por el IE2 e IE1 como se indica en la siguiente figura.



En los últimos años, la comunidad internacional ha estado tomando medidas activamente para prevenir la ocurrencia del calentamiento global, trasladando esta preocupación en el desarrollo de motores de inducción ya que estos consumen del 40% al 50% de la energía total global (Lu, 2016). Por tanto, se ha centrado en estos motores para reducir el impacto ambiental al enfocar sus esfuerzos en minimizar las pérdidas de eficiencia según varias categorías de ocurrencia identificadas (Ibid):

- Pérdidas primarias por cobre
- Pérdidas secundarias por cobre
- Pérdida por hierro
- Pérdidas mecánicas
- Pérdidas por deslizamiento, entre otras.

Usando la optimización de la forma del core del motor, mejora en materiales entre otras, se ha logrado alcanzar los denominados motores de alta eficiencia, para los cuales las pérdidas de energía se han logrado reducir en un 20% comparado a motores estándar (Lu, 2016). Por tanto los fabricantes de motores, han introducido motores de inducción de alta eficiencia los cuales se clasifican bajo las normas europeas en los niveles IE2 de alta eficiencia y el nuevo IE3 considerados de eficiencia Premium.

En el motor de inducción se suelen presentar pérdidas de eficiencia (calor), que se genera por la corriente que pasa a través

del conductor del rotor, mientras que, en el motor de imán permanente, la parte del conductor no genera esta ineficiencia por ser constituida por un imán. Por tanto, el motor con imán interior permanente, no genera pérdidas por calor, causadas por la corriente secundaria (Lu, 2016).

Adicionalmente en esta clase de motores, el tamaño del rotor es menor al compararlo con el motor de inducción, por lo que este permite una mayor miniaturización de los componentes del motor y por tanto un menor peso de este. Por esta razón estos motores alcanzan niveles de eficiencia altos, en los estándares IE3 premium y hasta una nueva categoría de IE4 super premium. El uso de estos motores de muy alta eficiencia repercutirá en ahorros de energía y dinero, entre más uso permanente tengan en aplicaciones industriales (Lu, 2016).

En Estados Unidos se han desarrollado motores ultra eficientes los cuales se han clasificado bajo normas NEMA, llamada así por la asociación de fabricantes de dispositivos eléctricos, la cual definió los primeros estándares para motores eficientes. Adicionalmente se definió en 1992 la política energética y el acta de conservación de la energía llamada EPAct. De estas dos normas se desarrollaron los motores ultra eficientes, los cuales son clasificados como NEMA Premium equivalente al IE3 de la unión europea (ver Ilustración 1) el cual es consistente igualmente con la regulación definida en EPAct. Los motores NEMA premium son recomendados en ocasiones donde el motor es operado por más de 2000 horas anuales y su carga de trabajo supera el 75%, esto se debe a que la mejoras en eficiencia son estrechas frente a motores convencionales y solo se logra alcanzar ahorros significativos cuando el motor tiene un uso casi permanente (Lu, 2016).

Para continuar con los procesos de optimización y eficiencia de motores se deberá profundizar en investigación y desarrollo que permita la optimización del diseño del motor, mejoramiento electromagnético de la hoja de acero de silicio, la caracterización mejorada de campos magnéticos del imán permanente del motor, tecnología para el devanado y tecnología sofisticada para el control electrónico (Ibid).

#### 4. ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS

Se realizó una búsqueda de patentes relacionadas a las temáticas en el desarrollo de motores eléctricos de alta eficiencia y sistema de control aplicados a los mismos, la búsqueda se realizó en las oficinas de patentes bajo el convenio internacional PCT y particularmente en Estados Unidos, la oficina de patentes de la Unión Europea, la oficina de patentes China, Surcoreana, Japonesa y Australiana, la búsqueda se basó en las siguientes clasificaciones internacionales de patentes:

**H02K** DYNAMO-ELECTRIC MACHINES (dynamo-electric relays H01H 53/00; conversion of DC or AC input power into surge output power H02M 9/00)

**H02N** ELECTRIC MACHINES NOT OTHERWISE PROVIDED FOR. Electrostatic generators, motors, clutches, or holding devices; other non-dynamo-electric generators or motors; holding or levitation devices using magnetic attraction or repulsion; arrangements for starting, regulating, braking, or otherwise controlling such machines unless in conjoint operation with a second machine.

**H02P** CONTROL OR REGULATION OF ELECTRIC MOTORS, ELECTRIC GENERATORS OR DYNAMO-ELECTRIC CONVERTERS; CONTROLLING TRANSFORMERS, REACTORS OR CHOKE COILS.

#### Desarrollo de la Búsqueda de Patentes

Las anteriores clasificaciones se identificaron como las más relevantes las cuales contienen las patentes referentes a motores eléctricos de alta eficiencia y sistemas de control. Se adicionaron palabras clave como motores eléctricos de alta eficiencia y la exclusión de la palabra “Vehículo” ya que no se quiere enfocar la búsqueda a motores para vehículos eléctricos, también se delimitó a patentes que aplicaron en su oficina de patentes desde el año 2008. La sintaxis final de la búsqueda aplicada dentro del sistema de información de patentes de Derwent Innovation se muestra a continuación:

ALL=(high-efficiency ADJ2 motors AND Electric) NOT AB=(Vehicle) AND IC=((H02K) OR (H02N) OR (H02P)) AND AD>=(20080101);

De esta búsqueda resultó un total de 382 registros contenidos en 153 familias de patentes, las cuales muestran las siguientes características:

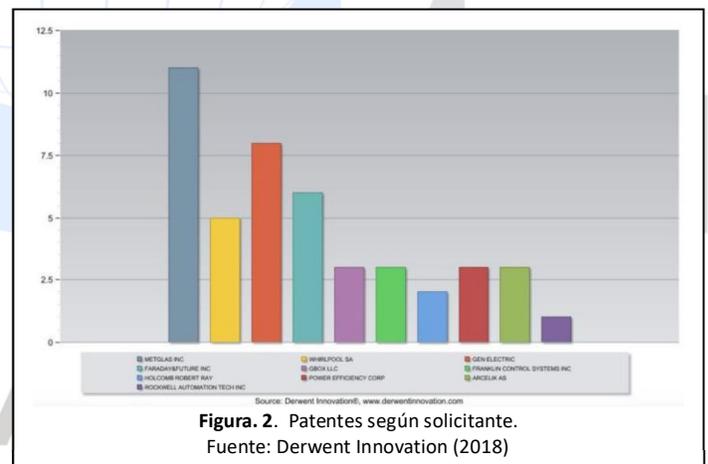


Figura. 2. Patentes según solicitante.  
Fuente: Derwent Innovation (2018)

La Ilustración 2 muestra una interesante generación de patentes centrada en el liderazgo de las empresas Metglas INC, Whirlpool SA y General Electric, con cerca de 20 patentes entre ellas. En la siguiente ilustración se muestra la generación de patentes por país, donde se puede ver que el país que cuenta con un mayor número de patentes dentro de la búsqueda anteriormente indicada es Estados Unidos, seguido de la Unión Europea.

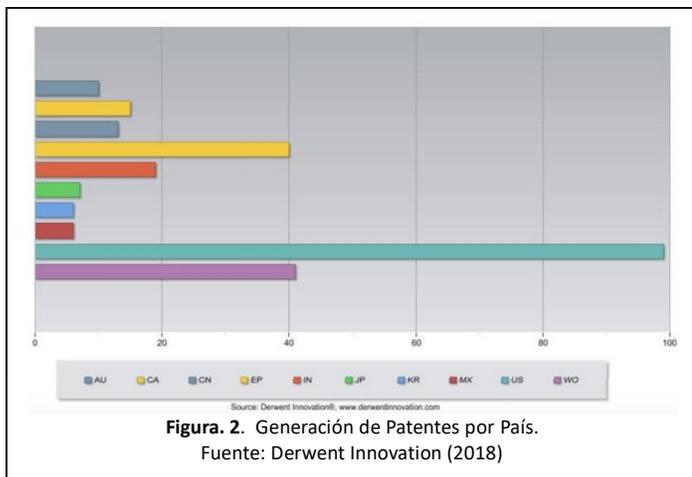


Figura. 2. Generación de Patentes por País.  
Fuente: Derwent Innovation (2018)

A continuación, se resumen dos de las patentes encontradas dentro de la búsqueda anteriormente generada. Se identificará el título de la patente, el inventor, la empresa propietaria de la patente y una breve descripción de la tecnología desarrollada:

Título de la Patente: Motor Eléctrico AC y DC de alta eficiencia, sistema de generación de potencia eléctrica con velocidad variable, potencia variable, aislamiento geométrico y alta eficiencia en elementos conductores.

Título Descriptivo Derwent: Se propone un método de reducción del arrastre electromagnético en la unidad del motor de velocidad variable, implica la activación secuencial del polo norte o sur de los insertos del polo electromagnético en sincronización con la activación de los polos de acero lateral.

Inventores: Holcomb Robert Ray

Asignado a: Redemptive Technologies Ltd

Fecha de Publicación: 2018-06-26

Número de Aplicación y fecha: US14402007A / 2014-11-18

Resumen descriptivo de la Patente: El método de reducción de resistencia electromagnética involucra las secciones de polo giratorio de insertos de imán permanente que giran en alineación con los segundos extremos de los polos de acero lateral para aumentar el enlace de flujo con los polos de polo lateral y los sectores correspondientes. Los primeros extremos de los hierros del polo lateral inducen un flujo de corriente en los devanados de inducción del estator de los sectores correspondientes. El polo norte o sur de las inserciones de los polos electromagnéticos están sincronizados energéticamente y secuencialmente con la activación de los hierros del polo lateral.

Título de la Patente: Motor eléctrico de alta densidad de salida y alta eficiencia.

Título Descriptivo Derwent: El motor eléctrico del tipo de corriente alterna (CA) utilizado en el sistema de motor eléctrico tiene varios imanes que están dispuestos en la superficie de los

discos adyacentes para formar campos magnéticos, mientras se aplica voltaje a la bobina.

Inventores: Rapoport Uri

Asignado a: ASPECT MANAGEMENT TECHNOLOGIES

Fecha de Publicación: 2015-04-07 (B2)

Número de Aplicación y fecha en Estados Unidos: US13495788A / 2012-06-13

Resumen descriptivo de la Patente:

El motor tiene una estructura de soporte del estator que está provista de varias bobinas electromagnéticas. Las bobinas electromagnéticas están ubicadas en el centro de los pares magnéticos de ajuste e inclinadas en un ángulo de 0-180 ° con respecto al eje vertical adherido a la superficie del disco. Los imanes están dispuestos en la superficie de los discos adyacentes para formar varios campos magnéticos entre pares magnéticos adyacentes, mientras se aplica voltaje a las bobinas electromagnéticas. El imán está formado de samario o material raro como el neodimio.

## 5. CONCLUSIÓN

El presente artículo muestra el desarrollo en motores eléctricos de alta eficiencia que se ha presentado en el mundo, gracias a la constante preocupación de encontrar formas de disminuir los costos de consumo de energía sin afectar la necesidad de expandir la producción industrial. Esto se debe entre otros factores, a las políticas de sostenibilidad y eficiencia que se vienen promoviendo alrededor del mundo para tener industrias más competitivas. El desarrollo y la investigación de motores eléctricos ha sido constante para uso industrial y ultimamente se ha incrementado la investigación gracias a su aplicación en los vehículos eléctricos que ha hecho que varias empresas inicien procesos para mejorar la eficiencia en este tipo de motores, los cuales también repercuten en la generación de nuevas tecnologías para los motores de uso industrial. Por esta razón se espera en el futuro cercano encontrar nuevas innovaciones que serán de gran beneficio para el uso en industrias y en distintas aplicaciones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- CEE. (2007). *CEE Premium Efficiency Motors Initiative: Guidance Specification for Large, Low-Voltage, General Purpose Motors*. Energy Efficiency Program Library.
- Lu, S. M. (2016). A review of high-efficiency motors: Specification, policy, and technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1-12.
- Huang, D. L.-e. (2013). High-efficiency motors key components autonomy chance explore. *Metal Industries Research and Development Center*.
- IMS Research. (2011). *Motors & drives global market update*.