

# Motores Eléctricos de Eficiencia Superior

Por: Oscar Núñez Mata  
Consultor y Profesor Universitario

[www.motortico.com](http://www.motortico.com)

[o.nunez@ieee.org](mailto:o.nunez@ieee.org)

*El ahorro energético tiene dos motivaciones fundamentales, estas son: Promover el ahorro económico y minimizar el impacto ambiental. El reto que impone este tema es significativo, no basta con medidas aisladas, se necesita una articulación de acciones en un plan. Hablaremos de un **Plan de Manejo de Motores**, que busca además del ahorro energético, otros objetivos.*

Algunas organizaciones mundiales, como la Agencia Internacional de Energía en el 2011, indican que los sistemas con motores eléctricos consumen entre **43%-46%** de la electricidad en el mundo. Este valor puede aumentar en el caso particular por país. Igualmente, muchos estudios y programas de ahorro energético con sistemas de motores eléctricos plantean oportunidades de reducción del consumo entre 20%-40%. Sin embargo, las medidas aisladas no tendrán el mismo impacto que abordar el tema de manera integral, por medio de un Plan de Manejo de Motores. No basta con instalar motores de eficiencia superior para producir los ahorros esperados, se requiere una visión más amplia, en este artículo se proponen algunas ideas.

## **Plan de Manejo de Motores (PMM)**

Un Plan de Manejo de Motores promueve el ahorro energético, además de aumentar la confiabilidad, que redundará en ahorros adicionales y mejoras en la productividad de las empresas. Puede convertirse en una herramienta que facilite la introducción de la nueva norma **ISO 50001-2011: Sistemas de Gestión Energética**, la cual entrega a las organizaciones requisitos para los sistemas de gestión de la energía. Además, establecerá un marco para plantas industriales, instalaciones comerciales, institucionales, gubernamentales y organizaciones para gestionar la energía. La estrategia de un PMM lo muestra la figura 1, donde se resalta el concepto de la *Mejora Continua*. Cabe destacar que el proceso parte con la creación de *Compromiso*, desde la gerencia, pasando por toda la estructura de la organización.

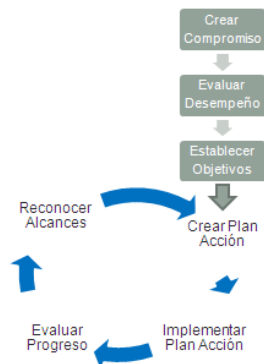


Figura 1

*Establecimiento de un Plan de Manejo de Motores Eléctricos*

Del Compromiso se pasa a evaluar el desempeño actual de la organización a nivel energético, esto significa establecer el estado real de **indicadores energéticos**, que servirán de punto de partida, para evaluar el avance posterior. Con los indicadores de desempeño establecidos, se pasa a definir los objetivos del plan, que guiarán la creación del **Plan de Acción**. Luego se implementa el plan, y se evalúa el progreso por medio de los indicadores establecidos previamente, se reconocen los alcances y corrigen las acciones, para volver a empezar el ciclo. Se trata de un proceso cíclico que invita a la continua evaluación y mejora.

Algunos componentes que deben estar presentes en un PMM son los siguientes:

1. Políticas de compra de motores nuevos y partes de repuesto.
2. Procedimientos para apoyar la decisión *Reparar o Reemplazar* un motor cuando falla.
3. Herramientas para el análisis de fallas.
4. Programas de reemplazo de motores existentes.
5. Guía de selección y evaluación de centros de servicio para reparación de motores y equipos auxiliares.
6. Programas de mantenimiento preventivo y predictivo.
7. Procedimientos para almacenamiento de motores y partes de repuesto.
8. Programa de capacitación del personal.
9. Proyectos de ahorro energético con motores.
10. Recopilación de las Políticas Nacionales al respecto.
11. Programa de reciclaje/disposición de desechos o equipos obsoletos.

### **Motores de Eficiencia Superior (O mejorada).**

#### **1. Breve Reseña Histórica.**

Durante la década de 1980, varios fabricantes en USA introdujeron el término motor de eficiencia "**premium**", para describir equipos con mejores niveles de eficiencia, comparados con otros. Pero no había directrices en cuanto al nivel de eficiencia de un motor para ser considerado como premium u otro tipo. La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA), de USA, hizo primero la distinción entre los motores según su nivel de eficiencia energética con la revisión de 1990 de su Norma MG 1-1987, que se convertiría en el estándar para la Energy Policy Act de 1992 (EPAAct). En octubre de 1997, la EPAAct entró en vigencia, obligando a mínimos de eficiencia energética para motores de 1 a 200 HP, para 2, 4 y 6 polos de propósito general, cerrados y abiertos. Esto exige que cualquier motor fabricado para la venta en los USA cumplan con un mínimo nominal de la eficiencia, las pruebas y las normas de etiquetado. El EPAAct no cubre motores "de propósito especial". La Ley de Independencia Energética y Seguridad de 2007 (EISA) fue aprobada por el Congreso de USA. EISA se basa en la EPAAct anterior, y es la actualización de las normas de eficiencia obligatorias, para motores propósito general, trifásicos, de 1 a 500 HP.

Por su parte, IEC (Comité Electrotécnico Internacional), tenía sus propios niveles de eficiencia para motores y los métodos de prueba, se distinguían EFF1, EFF2 y EFF3. Desde Octubre de 2008 se hicieron modificaciones a la norma IEC-60043, que rige la fabricación de motores eléctricos de bajo voltaje, y se unificaron los dos estándares NEMA e IEC. La principal

diferencia estriba en la manera de probar los motores, ya que las pérdidas adicionales son ahora medidas, y no se les da un valor porcentual fijo, como antes. Esto hace más estricta la verificación y certificación en fábrica de la eficiencia de los motores. La figura 2 muestra la comparación y equiparación entre ambas normas. El motor IE1 (Eficiencia Estándar) ya no se fabrica.

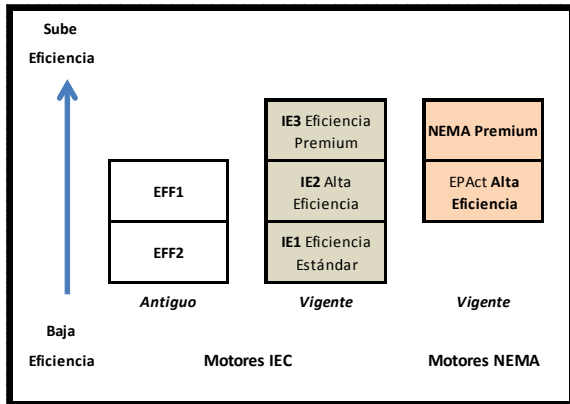


Figura 2 Equiparación de niveles de Eficiencia NEMA e IEC.

IEC establece que cada país deberá adoptar sus regulaciones propias, la norma es una guía con recomendaciones a tomar en cuenta. En Costa Rica, como parte de IEC, se estableció en 2008 la Norma Técnica INTE CTN 28, por medio de INTECO (Instituto Nacional de Normas Técnicas), que define los niveles de eficiencia energética en motores de corriente alterna que se vendan en el país, los métodos de medición y etiquetados. Dicha normativa es de acatamiento voluntario por parte de los representantes de marcas comerciales.

## 2. Características.

La Norma Técnica INTE CTN 28 define eficiencia como la razón entre Potencia de Salida y la Potencia de Entrada del motor. Esto se interpreta como la capacidad de la máquina de transformar la potencia eléctrica de entrada, en potencia mecánica de salida útil en el eje. La fórmula siguiente explican el concepto:

$$* 100$$

Donde:

- Eff: Nivel de eficiencia del motor en %.
- $P_{SALIDA}$ : Potencia Mecánica de Salida en kW.
- $P_{ENTRADA}$ : Potencia Eléctrica de Entrada en kW.
- Pérdidas: Pérdidas de Potencia en kW.

Las pérdidas se definen como potencia que no logra alcanzar el eje del motor, y es parte de la operación del mismo. La figura siguiente muestra la lista de pérdidas, para motores de 2 y 4 polos, su distribución.

Tipo de Pérdida	Promedio 2 Polos (%)	Promedio 4 polos (%)	Factores de Diseño que la afectan
Núcleo Laminado	19	21	Tipo Acero, entre hierro, saturación, frecuencia, condición aislante interlaminar
Fricción y Ventilación	25	10	Diseño abanico, lubricación, rodamiento, sellos.
Estator	26	34	Sección alambre, longitud media de la vuelta, disipación del calor.
Rotor	19	21	Área y material de barras y anillos.
Indeterminadas	11	14	Proceso fabricación, diseño ranura, entre hierro, condición de diseño núcleo.

Figura 3 Pérdidas en motores eléctricos

Los fabricantes se esfuerzan por mejorar sus diseños para minimizar y controlar dichas pérdidas.

### 3. Construcción.

Para lograr la construcción de un motor de eficiencia aumentada o superior, sea esta de Alta Eficiencia o Premium, los fabricantes realizan los siguientes procedimientos.

#### 3.1 Núcleos Laminados.

El núcleo es el responsable de la conducción de los campos magnéticos que participan en el motor, tanto en estator como rotor. Se hacen laminados para minimizar las corrientes parásitas (Conocidas como corrientes de eddy o Foucault), las cuales son remolinos de corriente al interior del núcleo, en presencia de un campo variable, lo que produce calor. Además, los aceros son contaminados con Silicio, para aumentar su resistividad y bajar aún más las corrientes parásitas. Finalmente, se someten a tratamientos térmicos para baja el contenido de Carbono, y controlar nuevamente las corrientes parásitas. Su calidad se mide en pérdidas de **Watts/Peso de Material**. Valores típicos: Para motores de Alta Eficiencia 3 W/lb y Premium 1W/lb. La figura siguiente muestra las corrientes parásitas en un núcleo.

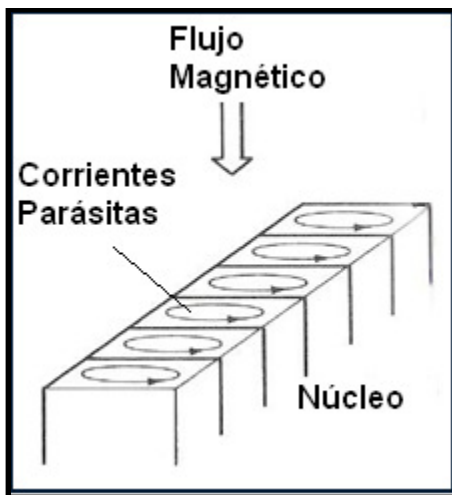


Figura 4 Corrientes Parásitas

### 3.2 Rotor Jaula de Ardilla.

Los rotores Jaula de Ardilla se construyen en Aluminio fundido para motores pequeños y medianos, y maquinados con Cobre para motores grandes. Para bajar las pérdidas por calentamiento, los fabricantes amplían la sección y calidad de material utilizado.

### 3.3 Rodamientos.

Las pérdidas por fricción en rodamientos son controladas por medio de roles antifricción, con el uso de grasas especiales, para mejorar el deslizamiento de los elementos rodantes en las pistas, además las grasas tienen mayor vida útil, y aumentan la protección de partes metálicas contra la corrosión.

### 3.4 Bobinado de Estator.

Las pérdidas por calor en los alambres del estator son controladas por el uso de mayor sección de cobre y mejoras en el proceso de fabricación de las bobinas. El objetivo es optimizar el tamaño de la bobina, de manera que el material conductor utilizado permita minimizar el calor generado.

### 3.5 Enfriamiento.

El sistema de enfriamiento, compuesto por: Abanico, cobertor y disipadores de calor en carcasa, son diseñados para el máximo enfriamiento y operación silenciosa.

### 3.6 Balance Dinámico.

Los estándares de vibración son reducidos a niveles más exigentes según lo que piden las normas, es decir, el rotor se balancea para un nivel de vibración muy bajo.

### 3.7 Indeterminadas y otras mejoras.

El diseño del motor es mejorado en todos los aspectos, de forma que las otras pérdidas sean reducidas. Algunos aspectos adicionales, que no se relacionan directamente con la eficiencia, pero si pueden atacarlas indirectamente, como el ingreso de humedad al motor que produzca la corrosión en rodamientos, son controlados por medio de elementos adicionales como deflectores de gotas en el eje. Así como el uso de materiales aislantes con clases superiores, como la clase F (155 °C) que ayuden a un mejor soporte al calor.

## 4. Normativa.

La norma vigente **INTE CTN 28**, sobre eficiencia en motores eléctricos para Costa Rica, establece los niveles mínimos para motores eléctricos de corriente alterna, tipo Jaula de Ardilla, potencia de 0.746 a 373kW. La tabla siguiente muestra una parte, hasta 22.38kW.

Potencia Nominal, kW	Potencia Nominal HP	MOTORES CERRADOS (%)				MOTORES ABIERTOS (%)			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
0,746	1	80,0	80,5	80,0	70	75,5	82,5	80,0	74,0
1,119	1,5	82,5	81,5	77	77,0	82,5	84,0	84,0	75,5
1,492	2	84,0	84,0	83	82,5	84,0	84,0	85,5	85,5
2,238	3	85,0	85,0	83	84,0	84,0	86,5	86,5	86,5
3,0	4	85,0	86,0	85	84,5	-	-	-	-
3,730	5	87,5	87,5	87,5	85,5	85,5	87,5	87,5	87,5
4,0	-	87,5	87,5	-	-	-	-	-	-
4,5	6,0	88,0	88,5	87,5	85,5	-	-	-	-
5,595	7,5	88,5	89,5	88	85,5	87,5	88,5	88,5	88,5
7,460	10	89,5	89,5	88,5	88,5	88,5	89,5	90,2	89,5
9,2	12,5	89,5	90,0	88,5	88,5	-	-	-	-
11,19	15	90,2	91,0	90,2	88,5	89,5	91,0	90,2	89,5
14,92	20	90,2	91,0	90,2	89,5	90,2	91,0	91,0	90,2
18,65	25	91,0	92,4	91,7	89,5	91,0	91,7	91,7	90,2
22,38	30	91,0	92,4	91,7	91,0	91,0	92,4	92,4	91,0

Figura 5 Tabla con niveles de eficiencia mínima para Costa Rica.

### 5. La placa de características

Tanto NEMA como IEC solicita al fabricante colocar una placa con las características básicas para la operación del motor eléctrico, uno de estos datos es el nivel de Eficiencia a **Plena Carga**. En la placa se indica un **promedio** para un lote de motores, el motor debe estar dentro de un rango definido, para que pueda ser comercializado.

### Recomendaciones para lograr los ahorros esperados.

Para que un motor de eficiencia superior alcance los niveles de ahorro esperados, se deben cuidar al menos los siguientes aspectos, los cuales serán clave para el desempeño futuro:

1. Sobre el tema de Alimentación Eléctrica.
  - a. *Alto o Bajo voltaje.*

Alimentar con Alto o Bajo voltaje impacta en la eficiencia. La situación más crítica es una caída de voltaje. La figura siguiente muestra datos reales, nótese que la eficiencia baja de 84.4% a 80.6% por cambio en el nivel de voltaje, con un adicional incremento de temperatura, lo que afectará la vida útil del aislamiento. Para motores NEMA el rango de voltaje es  $\pm 10\%$ , y el caso de motores IEC es  $\pm 5\%$ , pero se recomienda no superar el  $\pm 3-4\%$ .

<b>Voltios</b>	208V	230V
<b>Eficiencia (%)</b>	80.6	84.4
<b>Factor de Potencia</b>	0.85	0.83
<b>Corriente Nominal</b>	30.5 A	26.9 A
<b>Corriente arranque</b>	129 A	148 A
<b>Temp. del motor (°C)</b>	91	72
<b>Motor Diseño B, 4 polos, 208-230/460VCA</b>		

Figura 6 Comportamiento de un motor ante cambio en voltaje.

b. *Desbalance de voltaje.*

Un desbalance de voltaje de 3%, provoca un desbalance de corriente de 18%. Esto produce Calor y Pérdidas de Torque. En motores de eficiencia superior se recomienda un desbalance de voltaje máximo de **1%**, para alcanzar los niveles de ahorros esperados. Es importante mencionar que el desbalance de voltaje se debe medir con el motor apagado y es una situación externa al motor.

2. Los Aspectos Mecánicos.

a. *Rodamientos.*

La selección correcta de rodamientos asegura mantener las pérdidas por fricción acotadas. En rodamientos Abiertos (Sin sellos) se deben establecer programas de *Re Engrase*. La clave del éxito de esta labor depende de:

- Correcta selección de la grasa.
- Establecimiento de periodos y cantidad de grasa por: Horas uso, tamaño del rodamiento, el ambiente, velocidad y temperatura de operación.
- Uso de procedimientos correctos.

b. *Abanico/Ventilador.*

El ventilador es diseñado cuidadosamente por el fabricante. En caso de daño del ventilador se sugiera reemplazarlo por el original, para mantener las pérdidas por ventilación.

c. *Vibración.*

Toda fuerza de vibración implica una pérdida de potencia, además de impactar la integridad mecánica de la máquina. Se sugiere realizar mediciones de vibración periódicas y mantenerlas por debajo de los niveles recomendados.

d. *Alineamiento.*

Un correcto alineamiento del motor y la carga elimina vibración, maximiza la vida de los rodamientos y extiende la vida de todo el sistema. Esto mejora la eficiencia de la máquina. Cualquier des alineamiento paralelo o angular producen fuerzas radiales y axiales dañinas.

e. *Acoples.*

El uso de acoples flexibles especiales puede absorber cierto nivel de des alineamiento, con lo se mejora la operación del sistema y la eficiencia.

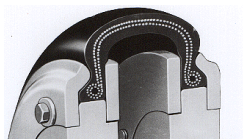


Figura 7 Vista parcial de un acople flexible de diseño especial.

f. *Poleas/Correas.*

El alineamiento de las poleas debe ser el mejor posible. Igualmente, la tensión en correas debe ser la ideal. Además, controlar adecuadamente la vida útil de las correas influirá en la eficiencia del sistema.

g. *Reductores o Multiplicadores de velocidad.*

Los sistemas mecánicos de cambio de velocidad también se caracterizan por un nivel de eficiencia, ya que transforman velocidad/torque, y una fracción de la potencia se pierde. Hay de tipo Helicoidal, Cónicos, Espirales, Tornillo Sin Fin. Cada uno presenta niveles de eficiencia distintos, se recomienda solicitar este dato a los suplidores en el momento de la compra.

3. Los Temas de Desempeño.

a. *Eficiencia:*

Los fabricantes siguen una estrategia clara para aumentar la eficiencia, cual es: Minimizar las Pérdidas. La siguiente figura muestra los porcentajes de costos que se aplican durante la vida útil del motor, desde la compra hasta su retiro.

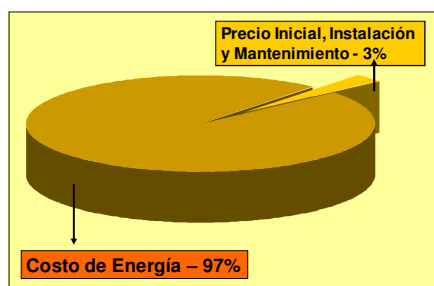


Figura 8 Relación de costos en un motor eléctrico

Nótese que el 97% corresponde a energía, de ahí la importancia de evaluar la eficiencia de un motor. El punto de mejor eficiencia se alcanza por encima de 60-75% de carga, motores Sobre Dimensionados presentan bajos niveles de eficiencia. Los motores que son buenos candidatos a ser sustituidos por equipos de *Eficiencia Superior* (Alta Eficiencia o Premium) son aquellos que: Operan sobre dimensionados para su carga; tienen tiempos de funcionamiento prolongados.

b. *Factor de potencia:*

Esta variable también depende de la carga. Entre más cargado el motor, mejor factor de potencia tiene, lo que es beneficioso. Además, es conveniente establecer métodos de corrección del bajo factor de potencia, para ahorros y mejoras en la operación del sistema eléctrico.

La figura siguiente muestra ambas variables en función de la carga.

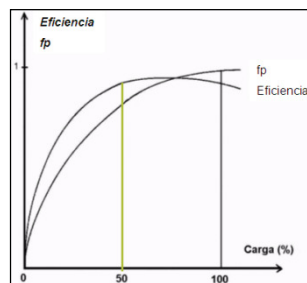


Figura 9 Comportamiento de las variables con la carga mecánica.



#### 4. Aplicación y Uso.

##### a. Variadores de velocidad electrónicos:

Se pueden lograr ahorros cuando se aplican en cargas de tipo *Torque Variable*, como: Abanicos ventiladores y bombas centrífugas, donde se establece un lazo cerrado para controlar el fluido que se mueve. Ejemplo: Control de presión en un sistema de agua potable. El variador controla la velocidad del motor según la demanda de fluido. La figura siguiente muestra la característica de estas cargas, donde la potencia demandada es proporcional la velocidad a la 3.

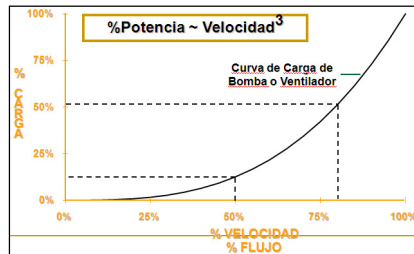


Figura 10 Curva de Potencia vs. Velocidad en cargas Torque Variable.

##### b. Arrancadores a voltaje reducido:

El uso de estos equipos tiene ventajas, que son las siguientes:

- Eléctricamente:
  - Reduce la corriente de arranque.
  - Baja el pico de demanda a la red.
- Mecánicamente:

Reduce el estrés en los componentes de la transmisión (Previene: Ejes y engranes rotos, cadenas dañadas, y el golpe de ariete en las bombas centrífugas).

Para los arrancadores electromecánicos (Estrella-Triángulo, Auto-transformador) el ajuste de tiempo se debe hacer en el momento que el motor alcanza el 80% de la velocidad nominal, para lograr el objetivo buscado.