Universidad Autónoma de Occidente

GIEN
Grupo de Investigación en Energías

Oportunidades de Ahorro Energético en Motores Eléctricos

Dr. Gabriel González Palomino
Prof. Universidad Autónoma de Occidente

EXPO INDUSTRIAL
Feria Industrial del Pacífico 2013

Santiago de Cali, 15 de mayo de 2013

www.uao.edu.co

www.uao.edu.co

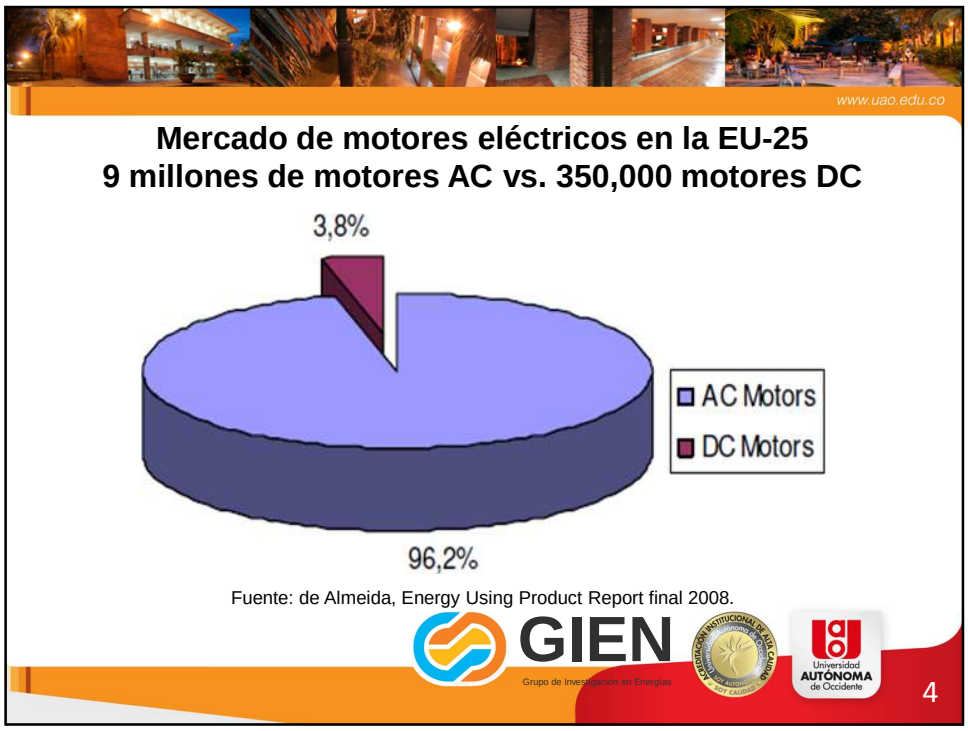
Temario

1. Motivación
2. Importancia de la Eficiencia del Motor
3. Efecto de la Calidad de la Potencia
4. Selección de la Potencia del Motor
5. Reducción de la Carga sobre el motor.
6. Aplicación de Motores de Alta Eficiencia.
7. Evaluación Económica de Motores.
8. Aplicación de Variadores de Frecuencia
9. Reparación Eficiente de Motores.
10. Operación eficiente con motores lineales.

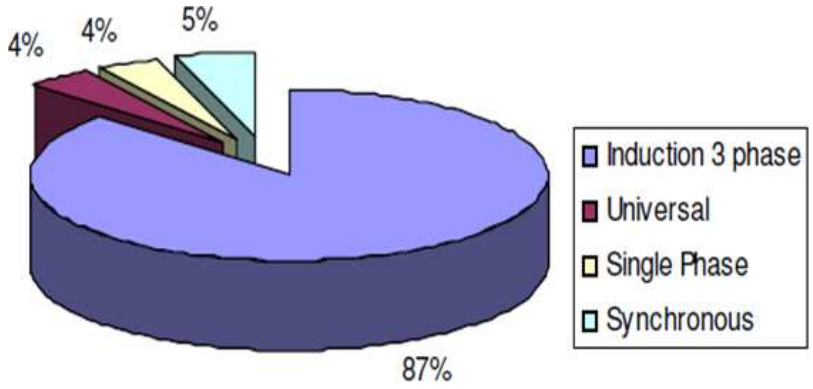
GIEN
Grupo de Investigación en Energías

2

www.uao.edu.co
1. Motivación
Consumo mundial de energía eléctrica por equipo final
Light 19%
Electronics 10%
Electrolysis 3%
Heat 19%
Standby 3%
Motors 46%
Fuente: International Energy Agency
GIEN
Grupo de Investigación en Energías
Universidad AUTÓNOMA de Occidente
3

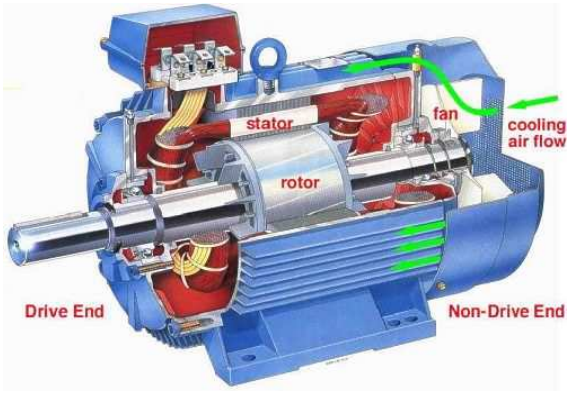

www.uao.edu.co
Mercado de motores eléctricos en la EU-25
9 millones de motores AC vs. 350,000 motores DC
3,8%
96,2%
AC Motors
DC Motors
Fuente: de Almeida, Energy Using Product Report final 2008.
GIEN
Grupo de Investigación en Energías
Universidad AUTÓNOMA de Occidente
4

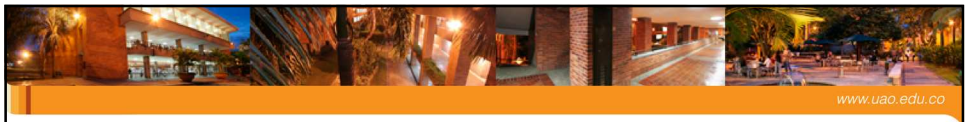
Mercado de los Motores AC en la EU-25



Fuente: de Almeida, Energy Using Product Report final 2008.

Estructura del Motor de Inducción de Jaula de Ardilla





www.uao.edu.co

Características del Motor de Inducción

Ventajas

Simple
Robusto
Poco mantenimiento.
Bajo costo de compra y de mantenimiento.

Desventaja

La velocidad de operación es prácticamente constante.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

7

www.uao.edu.co

Normas Internacionales sobre Motores Eléctricos

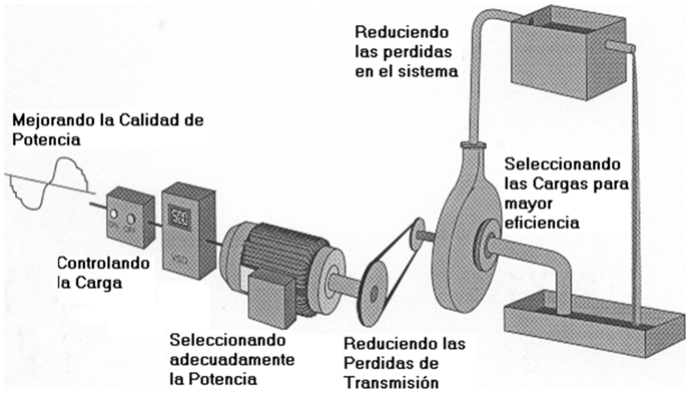
EUROPA Y MUNDO
Norma IEC 60034
International Electrothecnical Commision
Dimensiones en mm, potencia en watts
Colombia
NTC 2805….(Comité 131 espejo del IEC)
USA
Norma NEMA. MG1.2004
National Electrical Manufacturers Association
Dimensiones en pulgadas, potencia en HP

GIEN Grupo de Investigación en Energías

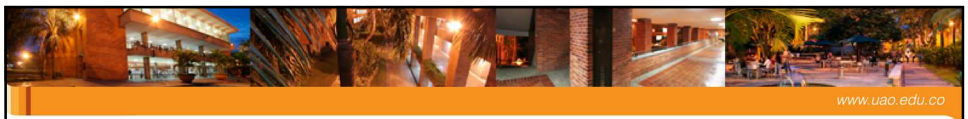
Universidad AUTÓNOMA de Occidente

8

Oportunidades de Ahorro de energía en motores



Fuente: Enrique Quispe- Eficiencia Energética en Motores de Inducción.



Consumo de la energía en motores de inducción hasta 300 KW

Tipo de carga	Porcentaje de Energía
Bombas	32%
Ventiladores	23%
Bandas transportadoras y procesos	15%
Compresores diversos (no de aire)	14%
Compresores de aire	8%
Otros tipos de carga	8%

Fuente: Energy Efficiency Enquiries Bureau ETSU. ENERGY SAVINGS WITH ELECTRIC MOTORS AND DRIVES. Oxfordshire.U.K.1998.

2. Importancia de la Eficiencia del Motor

$$EF\% = \frac{Potencia\ Mecánica\ de\ Salida}{Potencia\ Eléctrica\ de\ Entrada} x100$$

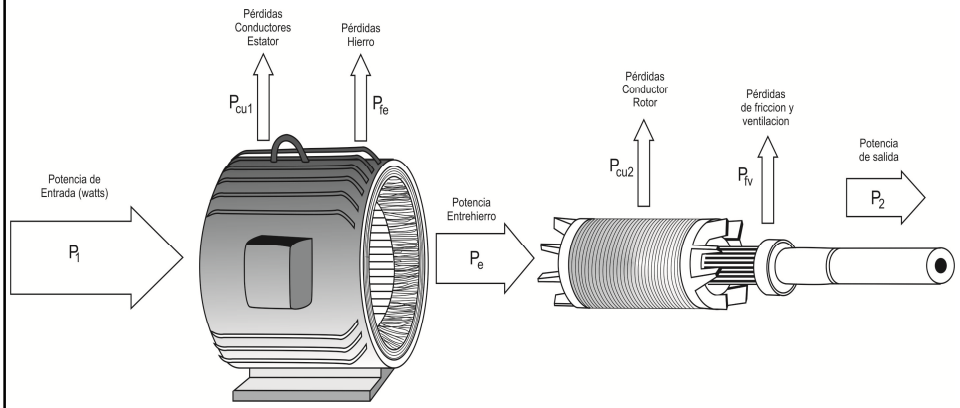
Potencia Mecánica Salida= Potencia Eléctrica Entrada - Pérdidas

$$EF\ \% = (1 - \frac{Pérdidas}{Pot.\ eléctrica\ de\ entrada})x100$$

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

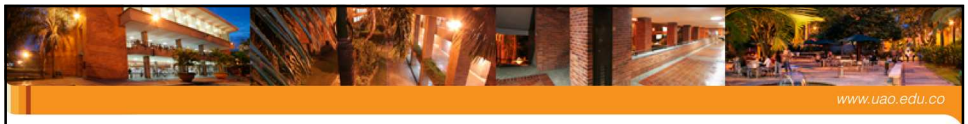
Flujo de Energía en Motores Eléctricos



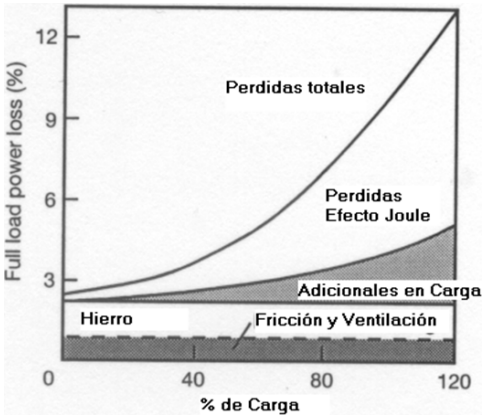
Fuente: Proceedings of the 6th International Conference eemods '09 Energy Efficiency in Motor Driven Systems

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente



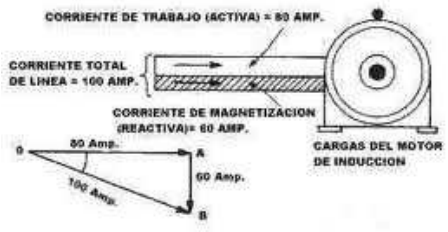
Pérdidas vs. Potencia Entregada



GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

Factor de Potencia

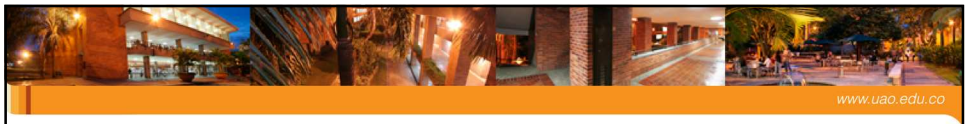


$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S}$$

La potencia reactiva es originada por el campo magnético del motor.

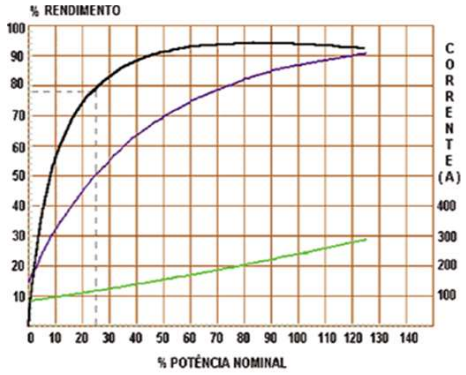
GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente



www.uao.edu.co

Eficiencia y Factor de Potencia vs. % Potencia Nominal



Fuente: Electroindustria. Chile.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

15

www.uao.edu.co

Costos de Operación de un Motor de Inducción

Para operación continua y 10 años de funcionamiento

Costo de la energía eléctrica:	95% de los costos totales
Costo de mantenimiento:	2 – 3%
Costo de compra:	1 – 2%
Costo de Ing. y Logística:	1%

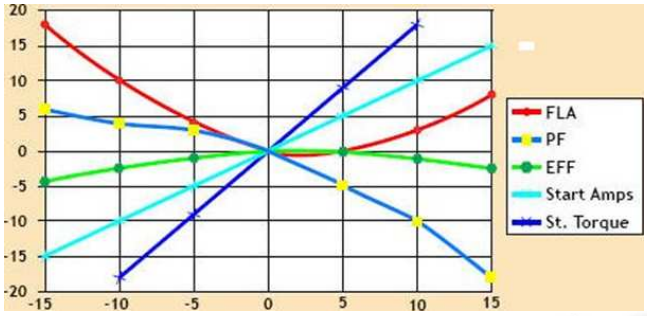
GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

16

3. Efecto Calidad de la Potencia Eléctrica

Manteniendo los Niveles de Voltaje
Minimizando el Desequilibrio de Tensiones
Disminuyendo la Distorsión Armónica de la Red



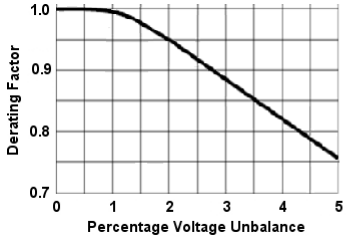
GIEN Grupo de Investigación en Energías

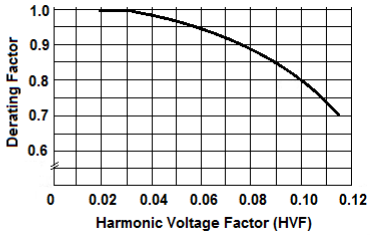
Universidad AUTÓNOMA de Occidente

Desequilibrio de Tensiones y Armónicos de Tensión vs. Potencia salida

La Norma MG1 y la IEC60034-26 recomiendan que si el desequilibrio de tensiones es mayor a 1%, la potencia debe disminuirse.

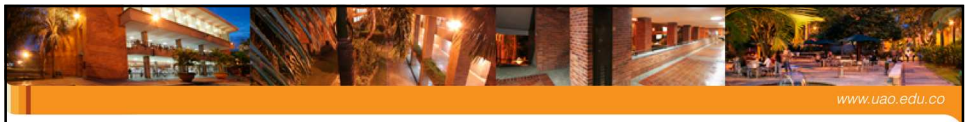
La Norma NEMA MG1 recomienda que si el HVFes mayor a 3% la potencia debe disminuirse para evitar el calentamiento.





GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente



4. Selección de la Potencia del Motor

Selección para Servicio Continuo con Carga Constante

Es recomendable que el motor este ligeramente sobredimensionado (10%).
La potencia de la carga será del 85% o 90% la potencia del motor.

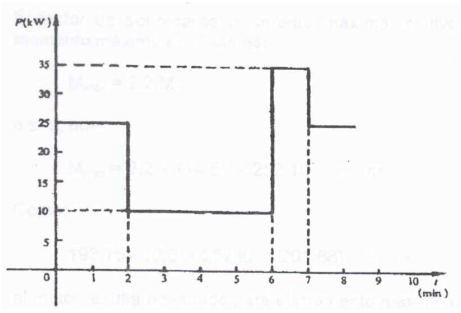
Selección para Servicio Continuo con Carga Variable

Cuando la carga es variable la potencia nominal será tal que, con la carga dada, la temperatura de equilibrio del motor sea como máxima igual a la permisible. Hay cuatro metodos:

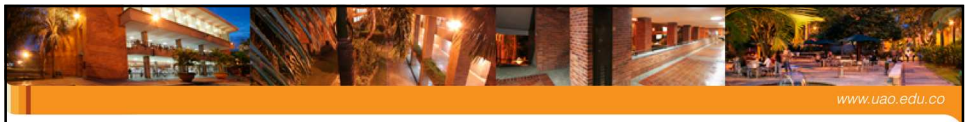
- Método de pérdidas promedio
- Método de Corriente equivalente,
- Método de Par equivalente
- Método de Potencia equivalente.

Método de la Potencia Equivalente

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i}}$$



$$P_{eq} = \sqrt{\frac{25^2 \times 2 + 10^2 \times 4 + 35^2 \times 1}{2 + 4 + 1}} = 20.27\ HP$$



5. Reducción de la Carga sobre el Motor

Bombas.

- Seleccione una bomba eficiente y que opere muy cerca de su altura y flujo de diseño nominal.

-Minimice el número de codos agudos en la tubería.

-Use tuberías de baja fricción y considere cambiar la tubería vieja.

-Realice periódicamente el mantenimiento a las bombas.
Sin mantenimiento la eficiencia de la bomba puede caer en 10% respecto al valor de eficiencia nominal.

Ventiladores.

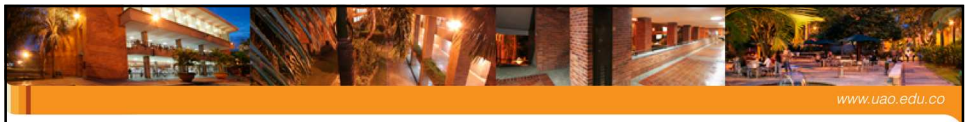
Seleccione un ventilador eficiente.

Realice un mantenimiento periódico: p.e. limpie regularmente las aspas y mantenga los filtros limpios para reducir las caídas de presión.

Instale un control para activar el ventilador solo cuando sea necesario.

Regule del flujo de acuerdo a la carga.

De ser necesario el redimensione del motor eléctrico.



Sistema de Transmisión

Acople directo.
Tiene pérdidas muy reducidas si la alineación es adecuada.
Asegure el buen alineamiento.

Bandas
Revisar la tensión en las bandas.
Las bandas dentadas mejoran el rendimiento.

Reductores
Son excelentes cuando la carga gira a una velocidad inferior a los motores (normalmente bajo 1.200 rpm) y que requieren un alto torque. Los engranajes helicoidales y cónicos son usados frecuentemente y tienen una eficiencia de 98% por etapa.

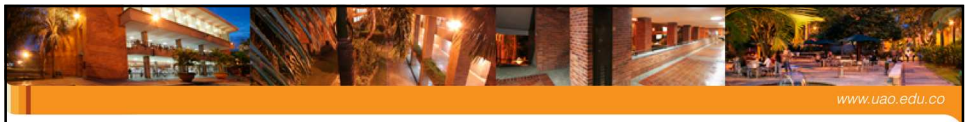
6. Aplicación de Motores de Alta Eficiencia

1990 Dpto. Energía de USA mostró que 2010, la industria podría ahorrar 240 TWh por año reemplazando los motores estándar por motores de eficiencia mayor en 2 a 6%, EPACT´92.

A partir de 1997 en USA solo se vendieron motores de alta eficiencia EPACT´92 (IE2). NEMA MG1.1992.

1998 Programa “The European Motor Challenge Program” con objetivo de ahorrar 70 TWh por año aproximadamente a partir del año 2010 .

2002 En USA se introdujo el NEMA Premium (IE3). Y en 2006 su uso fue incentivado por la Federal Energy Management Program [FEMP])



¿Qué es un Motor de Alta Eficiencia?

Motores eléctricos de diseño y construcción especial.

Presentan menos pérdidas y mayor duración que los motores estándares.

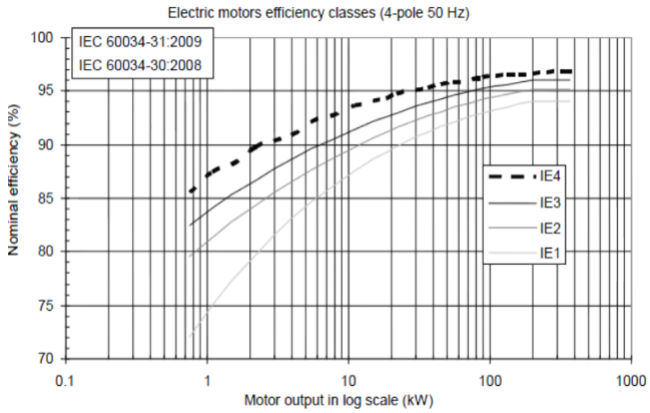
Consumen menos energía para realizar el mismo trabajo.
Tienen mas eficiencia. Disminuyen costos de operación.

Mas robustos y mejor construidos. Menos gastos de Mantenimiento y mayor tiempo de vida
Inversión adicional en tiempo razonable (< 3 años)

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

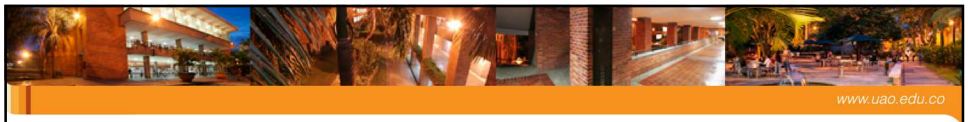
Clase de Eficiencia IE para Motores 4 polos, 50 Hz. IEC 60034-30, IEC 60034-31



Motor efficiency class	International	United States
Premium	IE3	NEMA Premium
High	IE2	EPAct
Standard	IE1	–

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente



Limitaciones de los Motores de Alta Eficiencia

El Par de Arranque puede ser menor.

El factor de potencia puede ser menor.

Altas Corriente en arranque …… Altas caída de voltaje

Corriente transitoria de arranque es grande y puede afectar el disparo instantáneo del interruptor

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

27

7. Evaluación Económica de Motores

Encontrar tiempo que el ahorro obtenido, por menor consumo energético, compensa el costo adicional del motor de alta eficiencia

$$S = 0.746 \quad HP \quad L \quad C \quad T \left(\frac{100}{EF_A} - \frac{100}{EF_B} \right)$$

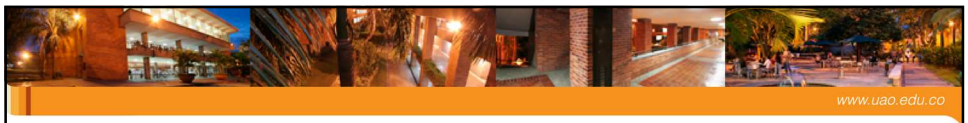
Considerar: taza de interés, aumento del costo energía, el impuesto a las utilidades y la depreciación del motor (Software EEMOTOR-UPME).

VPN = Ahorro Anual x factor descuento – costo inversión

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

28



Recomendaciones para Aplicar Motores de Alta Eficiencia

Motores entre 10 y 75 HP si operan 2500 horas/año o mas.

Motores de Potencia menor a 10 HP ó mayor a 75 HP cuando operan 4500 horas o mas.

Para reemplazar a motores sobredimensionados.

Para accionar bombas y ventiladores cuando se usan con Variadores Electrónicos de Frecuencia (Drives).

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

29

8. Aplicación de Accionamientos Eléctricos de Frecuencia Variable: VFD, ASD

Los VFD permiten controlar la velocidad, el par, la potencia y la dirección del motor de inducción.

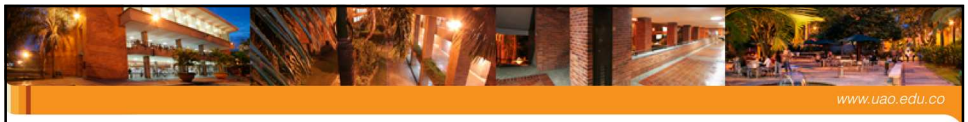
El punto óptimo de operación de los motores eléctricos varia con la carga.

Permiten lograr considerables ahorros de energía en la operación y otros beneficios como:
- prolongación de la vida útil de los equipos accionados.
- menor ruido
- menor desgaste
- mejor control y
- posibilidades de regeneración.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

30



Los estudios de los VFD con motores muestran que:

Las bombas requieren 31% de la energía usada
los compresores 18%,
los ventiladores y secadores 18% y
las bandas transportadoras cerca del 14%.

Los ventiladores y bombas centrifugas son cargas de par variable donde la potencia requerida varia con el cubo de la velocidad. Así al disminuir la velocidad de operación disminuirá la potencia requerida por el motor y el ahorro de energía viene de reducir la velocidad del motor.

En bombas y ventiladores los VFD permitan tener un ahorro del 50% o más.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

9. Reparación Eficiente de Motores

Es importante contar con un Centro de Servicios que cumpla las normas ISO 9000.

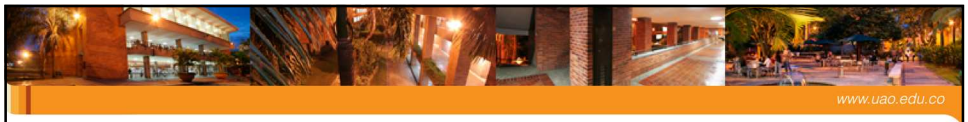
Los motores deben ser rebobinados usando técnicas que permitan mantener o mejorar la eficiencia del motor reparado.

El núcleo no debe degenerarse en la reparación para mantener la eficiencia del motor. El Horno de Pirolisis es obligatorio para la reparación de motores de alta eficiencia.

Cuando se quita el bobinado mediante técnicas inadecuadas, la eficiencia del motor puede perder entre 2 % a 4%.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente



www.uao.edu.co

Reemplazar en vez de rebobinar

Para tomar la decisión debe considerarse:

- *La condición y la edad del motor*, sobre todo si los motores son pequeños.

- *Historia de la operación del motor y los rebobinados*.

-*El tipo del motor y de la aplicación*.

- Es importante evaluar la eficiencia de operación del motor.

- *Si el motor de alta eficiencia puede mover la carga, el estudio económico determina si es factible reemplazarlo*.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

33

www.uao.edu.co

10. Operación eficiente con motores lineales

Formas de producir movimiento lineal

CINTA

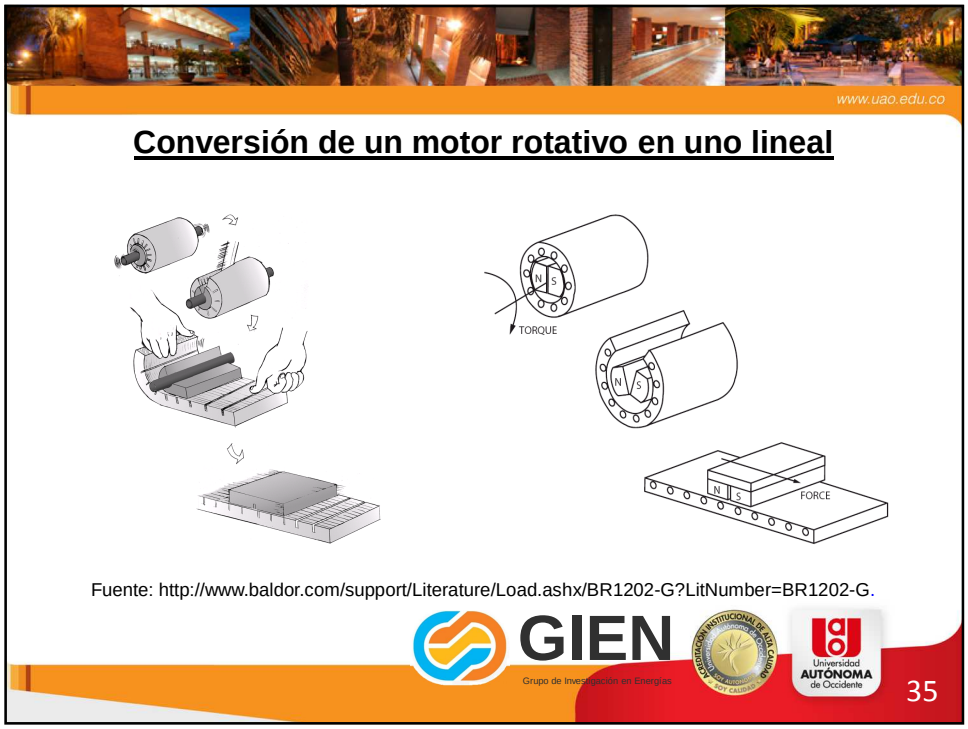
PIÑÓN-CREMALLERA

HUSILLO

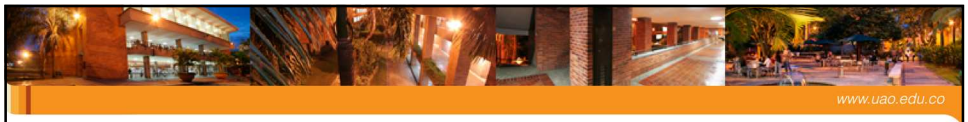
GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

34


www.uao.edu.co
Conversión de un motor rotativo en uno lineal
TORQUE
FORCE
Fuente: http://www.baldor.com/support/Literature/Load.ashx/BR1202-G?LitNumber=BR1202-G.
GIEN
Grupo de Investigación en Energías
Universidad AUTÓNOMA de Occidente
35

www.uao.edu.co
Aplicaciones de los motores lineales
GIEN
Grupo de Investigación en Energías
Universidad AUTÓNOMA de Occidente
36



www.uao.edu.co

Prototipos construidos

PMLSM con imanes superficiales.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

37

www.uao.edu.co

Conclusiones y Recomendaciones

1. Revise el sistema eléctrico, tensión, frecuencia.
2. Selección adecuada de la Potencia
3. Reduzca la carga sobre el motor.
4. Aplique Motores de alta eficiencia.
5. Evalúe financieramente los motores
6. Considere la aplicación de VFD
7. Mantenimiento Eficiente (eficiencia y confiabilidad).
8. Cambie la política de compras. Compre el motor mas rentable.

GIEN Grupo de Investigación en Energías

Universidad AUTÓNOMA de Occidente

38

www.uao.edu.co
EXPO
INDUSTRIAL
Feria Industrial del Pacífico 2013
Santiago de Cali, 15 de mayo de 2013
GIEN
Grupo de Investigación en Energías
Universidad
AUTÓNOMA
de Occidente
39