

QUISPE OQUEÑA, ENRIQUE CIRO

Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción

El hombre y la máquina, Núm. 20-21, julio-diciembre, 2003, pp. 52-59

Universidad Autónoma de Occidente

Colombia

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47812406007>

**EL HOMBRE
Y LA MÁQUINA**

El hombre y la máquina

ISSN (Versión impresa): 0121-0777

maquina@uao.edu.co

Universidad Autónoma de Occidente

Colombia

¿Cómo citar?

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista

Una visión integral para el uso racional de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción*

ENRIQUE CIRO QUISPE OQUEÑA**

Resumen

En este artículo se presentan diversas opciones tecnológicas para implementar el uso racional de la energía, URE, en la aplicación de motores eléctricos de inducción, con el objetivo de reducir los costos asociados al consumo de energía. En la perspectiva de presentar una visión integral del problema se analiza cada una de las variables que interaccionan en la performance del motor como son: calidad de energía, estimación de la potencia, reducción de la carga, motores de alta eficiencia, evaluación económica, aplicación de controladores electrónicos, la reparación y el mantenimiento. El objetivo final es reducir los costos asociados al consumo de energía y al mantenimiento reduciendo así los costos de producción y aumentando la productividad de la empresa.

Abstract

In this paper we present several technological options to implement the rational use of energy in the application of electric induction motors. The objective is, to reduce the costs associated with the consumption of energy. In the perspective to present and integral vision of the problem, each of the variables that interact in the motor performance is analyzed, such are: power quality, estimate of the power, charge decrease, high efficiency motors, economic evaluation, application of electronic controllers, repair and maintenance. The final objective is to decrease the costs associated with the consumption of energy and to the maintenance of the same, thus far, reducing the cost of production, and increasing the productivity of the business.

* Ponencia presentada en el Segundo Simposio Internacional de Energía. TECSUP, agosto 2003. Lima, Perú.

** Ingeniero Electricista, Magíster en Ingeniería Eléctrica, Profesor Asistente Departamento Energética y Electrónica C.U.A.O. Director Grupo Investigación en Energías - GIEN.

Introducción

Los motores eléctricos consumen aproximadamente el 80% de la energía eléctrica utilizada en el sector industrial.⁴ Por otro lado siendo el motor eléctrico más usado en la industria el motor de inducción tipo jaula de ardilla, surgió entre las medidas más prometedoras establecer metodologías que posibiliten el URE en la aplicación de este tipo de motores eléctricos. La Tabla 1 muestra cómo se reparte el consumo de energía de los motores de inducción para diferentes tipos de carga.

Tabla 1. Consumo de energía por motores de inducción hasta 300 KW.

Tipo de carga	Porcentaje de energía
Bombas	32%
Ventiladores	23%
Bandas transportadoras	15%
Compresores diversos (no 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.

Uno de los conceptos que actualmente deben ser comprendidos es que la eficiencia es un parámetro ligado a la productividad de la empresa pues está directamente relacionada con el consumo de la energía. Por ejemplo, para el caso de un motor de 11 KW que vale aproximadamente US \$ 600 si se analiza a diez años se obtiene que el costo de la energía para su operación en este periodo es de US\$ 60.000, es decir el costo de compra del motor es poco significativo respecto al costo de la energía en este periodo.⁴ Otro concepto importante es que la eficiencia de la operación está liga-

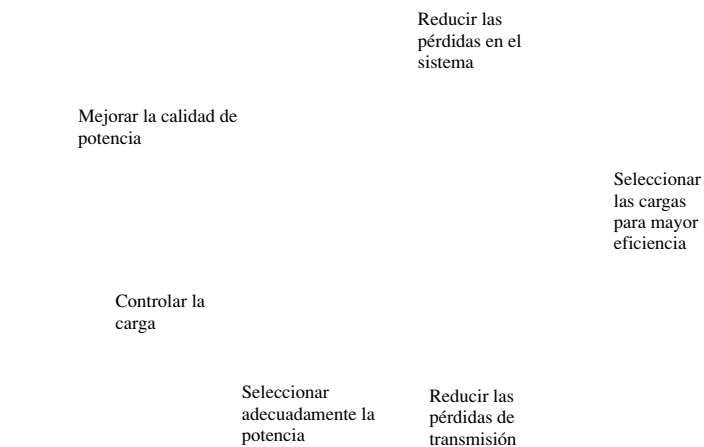


Figura 1. Oportunidades de ahorro de energía en los sistemas de accionamiento.

da a varios factores, es decir, la solución no consiste en usar solamente motores de alta eficiencia, lo más conveniente es darle a este problema un enfoque integral, que es el motivo de este trabajo.

En este marco existen varias opciones que permiten lograr el URE en la aplicación de motores eléctricos y por lo tanto una reducción de los costos asociados al consumo de energía. Entre las fundamentales opciones tenemos: mejorar la calidad de la energía eléctrica, seleccionar adecuadamente la potencia, reducir la carga sobre el motor, aplicar motores de alta eficiencia, evaluar económicamente la selección de motores eléctricos, aplicar controladores electrónicos de velocidad y aplicar métodos de mantenimiento y reparación adecuados (Ver Figura 1).

Controlar la calidad de la energía eléctrica

Si la calidad de la potencia eléctrica entregada por la red es deficiente debido a la presencia de distorsión armónica, desbalances de voltaje, sobrevoltajes o caída de tensión muy altas, todo esto irá en detrimento del motor aumentando las

pérdidas y disminuyendo su tiempo de vida. Es importante considerar los siguientes aspectos en cuanto a la calidad de la energía eléctrica de la red.

a. Mantener los niveles de voltaje. Las Normas IEC recomiendan un rango de $\pm 5\%$ mientras las Normas NEMA dan un rango de $\pm 10\%$.¹⁰ Una caída de tensión aumenta las pérdidas en el cobre del motor, mientras que una sobretensión aumenta las pérdidas en el hierro y disminuye el factor de potencia.

b. Minimizar el desbalance de tensiones de fases. Las Normas NEMA e IEC recomiendan un desbalance de tensión a 1%, considerando que éste puede traer un desbalance de corriente del 10%. El desbalance disminuye la eficiencia del motor.

c. Mantener un alto factor de potencia. Esto se logra haciendo que la potencia entregada por el motor esté entre 75% y 100% la potencia nominal.

d. Disminuir la distorsión armónica de la red. Los armónicos de tensión crean en el motor armónicos de corriente, lo cual causa calentamiento y vibración en la

operación del motor. El THD de corriente y voltaje debe ser menor del 5%.

Por lo tanto, una buena operación del motor implica el mejoramiento de la calidad de la potencia eléctrica de la red, lo cual se logra regulando el punto de operación de los transformadores, redistribuyendo cargas y aplicando filtros pasivos o activos para la eliminación de armónicos.

Estimar adecuadamente la potencia del motor

Uno de los primeros pasos para el URE en motores es que la potencia del motor eléctrico sea debidamente calculada de tal forma que el motor opere con una eficiencia y un factor de potencia adecuado. Si la potencia no es adecuadamente seleccionada el consumo energético del motor será excesivo, así sea de alta eficiencia.

Los procedimientos para el cálculo de la potencia dependen del tipo de carga: de servicio continuo, de servicio intermitente, etc. El más común es el de servicio continuo, y en este caso los métodos que permiten seleccionar la potencia son:

A. Servicio continuo con carga constante

Cuando se conoce el valor de potencia que demanda la carga se usa el método directo y solamente se debe buscar en el catálogo un motor de potencia igual o ligeramente superior a la de la carga.

B. Servicio continuo con carga variable

Cuando la carga es variable se pueden aplicar, para el cálculo de la potencia equivalente, los siguientes métodos:

b.1 Método de pérdidas promedio.

b.2 Método de la corriente equivalente.

b.3 Método del momento equivalente.

b.4 Método de la potencia equivalente.

Los métodos mencionados permiten hallar la potencia equivalente que requiere el motor. Cuando no se aplican estos métodos la potencia seleccionada por el motor resulta excesiva y el factor de potencia del motor es bajo.^{11, 16}

Reducir la carga sobre el motor

Cuando se desea mejorar la eficiencia de un sistema accionado por un motor, la primera pregunta debería ser si la carga puede ser reducida o incluso si el equipo es realmente necesario. Debe tenerse en cuenta que es muy poco lo que se puede hacer optimizando el motor y sus controles, si el equipo accionado y su proceso son ineficientes. Muchas de las técnicas para reducir las cargas sobre el motor son económicas y dan un excelente punto de partida para mejorar la eficiencia del sistema y reducir el consumo de energía.

A. Bombas y ventiladores

Las bombas y los ventiladores constituyen más del 55% de las cargas usadas con motores de inducción, por lo tanto lograr que éstas operen con la mayor eficiencia posible representa una buena opción.

A.1 Bombas.

- Seleccione una bomba eficiente y que opere muy cerca de su presión y flujo de diseño nominal.
- Si la bomba opera muy por debajo de su carga nominal, instale un impulsor más pequeño o redimensione el que existe.
- 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.

A.2 Ventiladores.

- Seleccione un ventilador eficiente.
- Realice un mantenimiento regular de las aspas y conserve los

- filtros limpios para reducir las caídas de presión.
- Instale un control para activar el ventilador sólo cuando sea necesario.
- Si es posible, reduzca la velocidad variando los diámetros de las poleas.
- De ser necesario redimensione el motor eléctrico.

B. Sistemas de transmisión

Una vez que nos hayamos asegurado de que la carga es usada eficientemente es importante empezar a analizar los sistemas de transmisión; son subsistemas motrices que permiten transmitir torque a otros equipos (bombas, compresores, etc.) ya sea cambiando o no la velocidad que entrega el motor, lo que se logra mediante acoplamiento al eje de engranajes y poleas. Es importante en la selección del sistema de transmisión conocer las características de cada sistema para realizar una adecuada selección.

Los sistemas de transmisión son:

- *Acople directo.* La mejor forma de asegurar un correcto acoplamiento es usando la tecnología láser.
- *Correas o bandas.* Los tipos de bandas son: bandas en V, bandas en V dentadas, bandas síncronas y bandas planas. La eficiencia depende del tipo de banda, del ajuste y del alineamiento. Se recomienda hacer el alineamiento usando tecnología láser.
- *Reductores.* Los reductores pueden ser helicoidales, cónicos, cilíndricos y tornillo sin fin. De acuerdo con el tipo su eficiencia puede variar del 85% al 99%. La eficiencia cae bruscamente cuando estas transmisiones trabajan 50% por debajo de la carga nominal.

- *Cadenas.* Como las bandas síncronas, no tienen deslizamiento. Las cadenas permiten transmitir elevadas cargas que llegan hasta los miles de HP, su eficiencia puede alcanzar a 98%, pero el desgaste les hace perder un par de puntos porcentuales.

Aplicar motores de alta eficiencia

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 accionamientos de eficiencia estándar, por otros que fueran sólo de 2 a 6% más eficientes de lo que establecían las normas vigentes (Por ejemplo, Norma NEMA MG1.⁸). Sin embargo existen casos en que la aplicación de estos motores es improcedente pues no son aplicables a todos los tipos de carga. Por lo tanto es importante conocer las ventajas y limitaciones que tienen estos motores pues esto nos dará elementos de juicios para su correcta aplicación.^{1, 2, 5, 13}

A. Ventajas de los motores de alta eficiencia

- a) Los motores de alta eficiencia son normalmente más robustos y mejor construidos que los motores estándar, lo que se traduce en menores gastos de mantenimiento y mayor tiempo de vida.
- b) El hecho de que se tenga una eficiencia mayor significa que disminuyen los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera con una carga cercana a la potencia nominal.
- c) Los motores de alta eficiencia tienden a operar a una menor temperatura en los bobinados, esto aumenta su tiempo de vida.

- d) Los motores de alta eficiencia poseen generalmente un menor deslizamiento (mayor velocidad de operación) que los motores de eficiencia estándar. La mayor velocidad puede ser ventajosa en muchos casos, pues mejora la ventilación.

B. Limitaciones

- a) El hecho de que los motores de alta eficiencia operen a una velocidad mayor, puede ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas, este hecho debe valorarse en cada situación.
- b) El momento de arranque y el momento máximo son en algunos diseños ligeramente mayores y en otros ligeramente menores, cuestión que resulta necesario analizar detalladamente en cada aplicación.
- c) La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red. También puede influir en la capacidad de los equipos de maniobra, aunque muchas veces se puede operar con los mismos que se usan con los motores estándar y en ocasiones sólo resulta necesario cambiar los elementos térmicos.
- d) La corriente transitoria en el arranque, que tiene su máximo en el primer medio ciclo, se incrementa debido a la tendencia a un mayor valor de la relación X/R. Aunque esta corriente puede no afectar el tamaño del arrancador, sí se afecta el disparo instantáneo del interruptor del motor, por lo que hay que buscar un compromiso entre la coordinación del interruptor y los disparos del arranque.

e) El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar. Un estudio reciente realizado por Bonnett en 1997,² encontró que los motores de alta eficiencia construidos en USA, en el intervalo de 3 a 10 HP tienen un factor de potencia mayor que los estándares, inferior en el intervalo de 15 a 40 HP, aproximadamente igual de 50 a 100 HP y de nuevo menor de 125 HP en adelante.

C. Aplicabilidad

Los motores de alta eficiencia pueden aplicarse favorablemente en los siguientes casos:

- Cuando el motor opera a una carga constante y muy cerca del punto de operación nominal.
- Cuando se usan para reemplazar motores sobredimensionados.
- Cuando se aplican conjuntamente con variadores electrónicos de frecuencia (Variable Frequency Drives) para accionar bombas y ventiladores.
- Como parte de un programa de Uso eficiente de la energía eléctrica.
- En instalaciones nuevas.

Evaluación económica

En cualquier circunstancia técnica en la que se tenga que aplicar motores eléctricos el ingeniero se ve enfrentado a un problema de decisión técnica y económica. Por ejemplo, cuando se desea comprar un motor nuevo surge la pregunta: ¿es conveniente adquirir un motor estándar o un motor de alta eficiencia?, o en el caso en que un motor ha fallado también es necesario decidir sobre si es conveniente reparar el motor o comprar uno nuevo. Siempre el ingeniero tiene que decidir y el camino correcto para tomar una decisión es hacer una evaluación técnica y económica.

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. Por ejemplo, los compradores se concentran con frecuencia en el bajo costo inicial. No se comprende suficientemente que los motores y accionamientos con mayor eficiencia, aunque son más caros inicialmente, gracias a los costos de operación más bajos compensan la diferencia en un plazo normalmente apropiado.

Por lo anterior cuando se tiene que decidir sobre el motor a seleccionar es importante considerar que la energía consumida por el motor es un insumo a entender así como el precio inicial. Por eso cuando se comparan económicamente dos motores de la misma capacidad pero de diferente eficiencia nominal, entonces resulta necesario determinar los ahorros anuales generados por el uso del motor de mayor eficiencia. Las eficiencias usadas para el cálculo deben corresponder con las del motor a las cargas específicas, debido a que la eficiencia varía con la carga, sobre todo para cargas por debajo del 50% de la nominal. Es importante en cualquier caso conocer la diferencia de costos de la aplicación que es lo que se tiene que compensar al usar un motor de mayor eficiencia.

El ahorro de dinero al aplicar un motor de alta eficiencia se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$S = 0.746 \text{HP LCT} \left(\frac{100}{\text{EF}_A} - \frac{100}{\text{EF}_B} \right) \quad (6.1)$$

S: Ahorro en pesos por año.

HP: Potencia de placa en HP.

L: Porcentaje de carga del motor respecto a la potencia nominal.

C: Costo de la energía en pesos por KWh.

T: Tiempo de funcionamiento del motor en horas por año.

E_A : Eficiencia del motor estándar.

E_B : Eficiencia del motor de alto rendimiento.

A. Método del descuento

Para un cálculo exacto y a largo plazo de la inversión, es indispensable considerar el cambio en el valor del dinero. Es decir se debe tener en cuenta que si el interés bancario es de un 20%, al cabo de un año el valor del dinero se habrá incrementado 1.20 veces; 1.44 veces después de dos años y así sucesivamente. Por lo tanto, con el propósito de comparar los resultados a través de distintos períodos los gastos e ingresos se convierten usando un estándar para el cálculo llamado descuento y que se determina con la ayuda de tablas de interés calculado.

De acuerdo con el método de descuento, una inversión se puede evaluar de dos formas: según lo que vale hoy o según lo que valdrá, digamos en 10 años. En el primer método el dinero es obtenido a su valor actual y se llama método del valor presente; en este caso, la comparación económica se lleva a cabo al comienzo del período de inversión. En el segundo método se pospone la adquisición del dinero y después se obtiene el valor calculado para un tiempo futuro, es el llamado método del valor futuro; en este caso la evaluación se realiza al final del período de inversión.¹⁶

B. Método de análisis de flujo efectivo

A partir de los principios del método de descuento, se deriva un procedimiento considerado muy eficaz para este tipo de estudio: el método del análisis de flujo de efectivo. Las técnicas de flujo de efectivo se basan en el flujo de dinero de año en año, asociado con el costo inicial del equipo y otros gastos, y los ahorros que se obtienen durante la vida útil, tomando en consideración los impuestos, la tasa de

descuento, la inflación del costo de la energía y otros factores. El valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), son dos medidas de flujo de efectivo. Por convención, la ganancia es un flujo de efectivo positivo.

Cuando se comparan dos alternativas de motores con distinta eficiencia se tienen, para un año dado, los siguientes elementos:

- I. Ahorros por uso de motor de mayor eficiencia - gastos de instalación y mantenimiento
 - depreciación del motor por la inversión incremental.
- = Beneficios antes de los impuestos.
- II. Beneficios antes de los impuestos - impuestos (totales)
 - = Ganancia después de impuestos (total)
- III. Ganancia después de impuestos (total) + depreciación motor por inversión incremental.
 - = Flujo de efectivo no descontado (total)
- IV. Flujo de efectivo no descontado (total) x Factor de descuento
 - = Flujo de efectivo no descontado (total)
- V. Flujo de efectivo descontado (total)
 - + valor presente neto que existía al finalizar el año anterior
 - (para el primer año se resta la inversión incremental)
 - = Valor Presente Neto (VPN)

Aplicar controladores electrónicos de velocidad

Es importante que el motor y el equipo operen en el punto óptimo, es decir que el motor consuma la energía necesaria para mover la carga y la velocidad de operación sea la que corresponda a su eficiencia

máxima. Existen dos equipos electrónicos que pueden usarse para este fin: los troceadores de tensión y los variadores electrónicos de velocidad.

A. Usando troceadores de tensión

Estos equipos electrónicos al trocear la onda de tensión disminuyen el voltaje eficaz aplicado al motor cuando éste disminuye su carga; es decir, la tensión aplicada al motor, depende de la carga del motor de tal forma que el motor opere con un factor de potencia constante, esto a su vez aumenta la eficiencia del motor. Generalmente el rango de voltaje de estos equipos puede variar entre el 60% al 100% el voltaje nominal.

El uso de estos equipos es recomendable cuando la carga del motor varía desde vacío o desde una carga leve hasta plena carga. Por ejemplo, bandas transportadoras, centrífugas, aserraderos, molinos de piedra. El ahorro de energía que se logra es considerable si el motor opera en vacío o con carga leve por un tiempo de operación del 75%.¹ Otro punto importante del trocea-

dor de tensión es que mejora el factor de potencia del motor.

B. Usando variadores electrónicos de velocidad

Debe considerarse que el punto óptimo de operación de los motores eléctricos generalmente nunca ocurre a la velocidad de operación ni a la tensión nominal del motor, más bien este punto se encuentra a una velocidad menor a la de placa y a una tensión menor a la nominal. Anteriormente era imposible pensar que el motor operara con tensiones y frecuencias diferentes a las de placa, pero actualmente los VFD permiten que el motor trabaje muy cerca del punto óptimo de operación.

Los variadores electrónicos de velocidad permiten regular el torque que entrega un equipo sin necesidad de recurrir a opciones antieconómicas, que demandan más energía de la requerida o que son impracticables en muchos casos como en la recirculación del fluido, la estrangulación del caudal mediante válvulas (throttle) y la detención del equipo (On-off). Estos dispositivos permiten lograr conside-

rables ahorros de energía en la operación de los motores eléctricos y otros beneficios adicionales, tales como prolongación de la vida útil de los equipos accionados por los motores, menor ruido, menos desgaste, mejor control y posibilidades de regeneración, en relación a los motores que no disponen de este dispositivo.

Recientes estudios,^{1, 6, 15} 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%. Las cargas que tienen momento variable son las mejores candidatas a adicionar un VFD para ahorrar energía. Los ventiladores y bombas centrífugas son cargas de torque variable donde la potencia requerida varía con el cubo de la velocidad, de esta manera 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. Este hecho hace que en bombas y ventiladores los ASD permitan tener un ahorro del 50% o más.⁶

Para ilustrar consideremos una bomba centrífuga que requiere 100 HP al flujo de diseño. Asumiremos que el costo de energía es de 0.07\$/Kwh, que el costo del ASD más su instalación vale \$ 8800, que el flujo requerido varía de 40% a 90% la capacidad de diseño. Con estos datos Malinowsky,⁶ muestra los siguientes resultados:

- Si el motor opera a velocidad fija tiene un consumo anual de 544,923 Kwh lo que da un costo anual de operación de \$ 38,145.
- Si utilizamos el motor con el ASD el consumo anual del equipo será de 228,450 Kwh, lo que da un costo de \$ 15,991, como el ASD más su instalación costaron \$ 8800, se tendrá un ahorro anual de \$ 22,153 y la

taza de retorno ocurre en 4,8 meses.

Usar métodos de mantenimiento y reparación adecuados

Actualmente las técnicas de mantenimiento y reparación han evolucionado a conceptos de eficiencia y confiabilidad. El mantenimiento tiene el objetivo de que la operación del motor sea confiable y elimine paradas imprevistas (mantenimiento predictivo). Asimismo el proceso de reparación debe asegurar que la eficiencia del motor se mantenga o mejore y que el equipo no falle en la puesta en servicio. Por eso es importante que los centros de servicio de motores tenga la infraestructura para implementar estas técnicas y un registro de aseguramiento de calidad.

A. Reparación eficiente

En las reparaciones es importante contar con un centro de servicios muy calificado, que cumpla las normas ISO 9000 sobre programas de aseguramiento de calidad; que tenga una moderna infraestructura, gran organización, limpieza y una calibración frecuente de sus equipos.

Los motores deben ser rebobinados usando técnicas que permitan mantener o mejorar la eficiencia del motor reparado. Un elemento indispensable para no dañar el núcleo magnético del motor es usar un horno de pirólisis, el que permite someter al bobinado a una temperatura controlada de 360 °C y así poder retirar el bobinado del núcleo sin dañar las láminas del núcleo magnético. El que el núcleo no se degenera en la reparación permite mantener la eficiencia del motor, por lo que esta técnica es obligatoria para la reparación de motores de alta eficiencia¹⁶. Cuando se quita el bobinado mediante técnicas inadecuadas, el motor puede perder en-

tre 2 % a 4% de eficiencia, de acuerdo con los estudios realizados por la Canadian Electrical Association y la Electrical Apparatus Service Association de USA.

B. Reemplazar o Reparar

Cuando un motor falla y debe ser reparado es importante determinar si es conveniente repararlo o reemplazarlo por uno de alta eficiencia. Es válido considerar que la eficiencia del motor cae en cada reparación, si ésta es inadecuada, entonces al reemplazarlo por uno de alta eficiencia la diferencia es considerable. En estos casos Campbell³ recomienda tener en cuenta los siguientes factores:

- a) La condición y la edad del motor.
- b) Historia de la operación del motor y los rebobinados.
- c) El tipo del motor y de la aplicación.
- d) El potencial ahorro de energía que puede lograrse.

Conclusiones

Cuando se aplican los programas URE a nivel industrial es muy importante centrar la atención en los motores eléctricos debido a que estos consumen aproximadamente el 80% de la energía usada en la industria.

Uno de los primeros pasos en la implementación del URE aplicado a motores eléctricos es calcular adecuadamente la potencia del motor, pues cuando un motor opera cerca de sus condiciones nominales tanto la eficiencia como el factor de potencia ayudan al buen uso de la energía eléctrica.

Evaluar la calidad de potencia eléctrica de la planta industrial es otro elemento importante para una operación eficiente de los motores eléctricos. Algunos parámetros a tomar en cuenta son: la tensión no

debe tener variaciones de más de $\pm 5\%$, el desbalance de voltajes no debe ser mayor de 2% y una distorsión armónica total en voltaje y corriente (Total Harmonic Distortion THD) máxima de 5% .

Debe tenerse en cuenta que es muy poco lo que se puede hacer para optimizar el motor y sus controles si el equipo accionado y su proceso son ineficientes. Muchas de las técnicas para reducir las cargas sobre el motor son económicas y dan un excelente punto de partida para mejorar la eficiencia del sistema y reducir el consumo de energía. Estos se aplican a las cargas y a los sistemas de transmisión.

Tanto el costo del motor como el costo de la energía eléctrica son partes importantes del proceso productivo, esto implica considerar en la evaluación económica la relación entre la eficiencia y los costos totales durante la vida útil del motor. Reconocer este hecho significa desear las prácticas tradicionales de comprar motores considerando sólo el costo inicial.

Es erróneo pensar que aplicar el URE a motores consiste en aplicar indiscriminadamente los motores eléctricos de alta eficiencia para cualquier caso. Si bien es cierto que estos son una alternativa importante, ellos representan sólo una parte del URE e incluso existen casos en que su aplicación puede resultar contraproducente para la confiabilidad del proceso productivo, que es en el fondo lo que se desea optimizar.

Las cargas que tienen torque variable (bombas, ventiladores) son las mejores candidatas a adicionar un VFD para ahorrar energía. Los ventiladores y bombas centrífugas son cargas donde la potencia requerida varía con el cubo de la velocidad, de esta manera 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. Este hecho hace que en bombas y ventiladores los ASD permitan tener un ahorro del 50% o más.

Actualmente priman los conceptos de eficiencia y confiabilidad en las técnicas de mantenimiento. Por lo tanto el mantenimiento debe asegurar una operación del motor que sea confiable y elimine paradas imprevistas (mantenimiento predictivo). Asimismo el proceso de reparación debe asegurar que la eficiencia del motor se mantenga o mejore y que el equipo no falle en la puesta en servicio. Por eso es importante que los centros de servicio de motores tengan la infraestructura para implementar estas técnicas y un registro ISO 9000 de aseguramiento de calidad.

Bibliografía

- 1 Andreas John C. *Energy-efficient electric motors*. Second edition. Copyright Marcel Dekker, inc. New York, USA 1992.
- 2 Bonnett Austin *Quality and reliability of energy-efficient motors*. Ieee industry applications magazine. January/February. Usa. 1997
- 3 Campbell B. "Failed motors: Rewind or replace?". Ieee industry applications magazine. January/February 1997. Pp 45-5
- 4 Energy Efficiency Enquiries Bureau Etsu, Harwell, Didcot. *Energy savings with electric motors and drives*. Oxfordshire.u.k.1998
- 5 Electrical Apparatus Service Association, Inc. *Understanding energy efficient motors*. Copyright electrical apparatus service association, Inc. St. Louis. Mo. USA.1999.
- 6 Malinowsky J. *Using ASDs with variable torque applications*. Energy Matters U.S. Department of energy. March/ abril 2000.

- 7 Muñoz Alfredo. *Metodología para la realización de proyectos de uso eficiente de la energía en la industria. Tutorial en el seminario internacional uso eficiente y calidad de la energía eléctrica*. CUAO – Cali- Colombia, junio 2002.
- 8 Nema Standards Publication mg1.1997 *Motors and generators*. National electrical manufacturers association, Washington DC, USA. 1997.
- 9 Norma Ntc - Iec 34-17 *Máquinas eléctricas rotatorias parte 17: Guía para la aplicación de los motores de inducción jaula de ardilla alimentados por convertidores*. Santafé de Bogotá 2000.
- 10 Quispe Enrique. *Comparación de las normas Nema-Iec respecto a las características de los motores de inducción. Recomendaciones para la selección y el mantenimiento*. Memorias del simposio regional de mejoramiento empresarial del CIDET. Cali.1998.
- 11 Quispe Enrique. *Uso eficiente de la energía en la aplicación de motores eléctricos de inducción. Curso tutorial IX Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y de Sistemas*. Intercon 2002. Ieee, agosto, Callao – Perú.. 2002.
- 12 Quispe Enrique. Métodos para el ahorro de energía en el uso de motores eléctricos. Memorias de las Jornadas Internacionales de Energía, IEEE, Aciem, octubre, 2001, Bogotá - Colombia.
- 13 Quispe Enrique. *Motores Eléctricos de alta eficiencia: características, ventajas y limitaciones*. Conferencia magistral IX Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica, Eléctrica y de Sistemas. Intercon 2002. IEEE, agosto, Callao. Per. 2002.
- 14 US Department of Energy. *Reducing power factor cost*. Motor Challenge Fact Shet. DOE/GO-10096-286. USA.
- 15 US Department of Energy. *Optimizing your motor-driven system*. Motor Challenge Fact Shet. DOE/GO-10096-313- USA.
- 16 Viego Percy y Quispe Enrique. *Aplicación eficiente de motores asincrónicos*. Libro. Editor: Contactos Mundiales. Cali - Colombia. 2000.