

Fecha de presentación: septiembre, 2015 Fecha de aceptación: octubre, 2015 Fecha de publicación: diciembre, 2015

ARTÍCULO 9

BARRERAS PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE SISTEMAS ACCIONADOS POR MOTORES ELÉCTRICOS

BARRIERS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF ELECTRIC ENGINE DRIVEN SYSTEMS

Dr. C. Percy Rafael Viego Felipe¹

E-mail: pviego@ucf.edu.cu

Dr. C. Aníbal Enrique Borroto Nordelo¹

Dr. C. Julio Rafael Gómez Sarduy¹

¹Universidad de Cienfuegos. Cuba.

¿Cómo referenciar este artículo?

Viego Felipe, P. R., Borroto Nordelo, A. E., & Gómez Sarduy, J. R. (2015). Barreras para incrementar la eficiencia de sistemas accionados por motores eléctricos. *Revista Universidad y Sociedad* [seriada en línea], 7 (3). pp. 63-73. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/>

RESUMEN

Incrementar la eficiencia energética de los motores eléctricos y de los sistemas accionados por estos, con el empleo de equipos de alta eficiencia, es una oportunidad que en el mundo no se ha explotado debidamente debido a que existen barreras que lo impiden o frenan. En el presente trabajo se analizan las principales barreras y se sugieren medidas para eliminarlas, en gran parte relacionadas con acciones educativas. Se evidencia que eliminar barreras requiere, casi siempre, de un paquete de medidas, ya que si no se actúa simultáneamente se arriesgan los objetivos. Un estudio de caso ilustra la situación de la toma de decisiones basadas en períodos cortos de recuperación de la inversión, que conducen a desaprovechar oportunidades económicas. En el propósito de eliminar barreras se explica el papel activo que debe tener la universidad a través de las distintas formas de educación postgraduada y de la actividad científica.

Palabras clave:

Eficiencia energética, sistemas accionados, motores eléctricos, políticas energéticas.

ABSTRACT

Increasing energy efficiency in electric engines and in electric engines driven systems, using high efficiency equipment, is an opportunity that has not been correctly exploited worldwide, due to several barriers that prevent or restrain it. In this work, the main barriers are analyzed, and measures for eliminate them are suggested, many of them related to educative actions. Eliminating barriers, requires usually a package of measures, because otherwise if most barriers are not eliminated or reduced simultaneously, the expected objectives will not be reached. A study of case illustrates decisions based on short recovery periods that can lead to fail in achieving opportunities of economic feasibility. To eliminate barriers, the active role that should have the university through the different forms of postgraduate education and research, is explained.

Keywords:

Energy efficiency, driven systems, electric engines, energy policies.

INTRODUCCIÓN

La potencialidad de incrementar la eficiencia energética de los motores eléctricos (ME) y de los sistemas accionados por motores eléctricos (SAME) no ha sido plenamente aprovechada, a pesar de que en ocasiones resulta económicamente atractivo. Son muchas las barreras que impiden la adopción y rápida difusión de ME y SAME eficientes en una gran cantidad de aplicaciones, las que deben ser abordadas en el marco de las políticas energéticas.

Las barreras abarcan problemas de comercio internacional, aspectos económicos, decisiones tradicionales en cuanto a inversiones y altos costos de transacción para los inversionistas, entre otros. Otras barreras se relacionan con que los precios de la electricidad no reflejan a plenitud los costos sociales y ambientales, asociados a las externalidades en los procesos de generación, transmisión y distribución de la electricidad.

Muchas barreras limitan la respuesta del mercado en relación con las soluciones con ME y SAME, aunque estos sean efectivos económicamente: falta de conocimiento; pensamiento a corto plazo en cuanto a la inversiones y la operación; prácticas productivas excesivamente reacias a los riesgos; altos costos iniciales; confusión en cuanto a estándares y etiquetado; falta de visibilidad de los fundamentales benchmark de producción; dificultad en resarcirse del costo de componentes más eficientes; barreras de comercio internacional.

Algunas de estas barreras son comunes a otros productos consumidores de energía, y de aquí que están sujetas a similares análisis de políticas energéticas y de soluciones (Sorell, Mallet & Nye, 2011; Borroto, et al, 2014; Barua, et al, 2014). Sin embargo, otras barreras son específicas para los ME y los SAME (Wade & Bruner, 2011).

Usualmente los inversionistas favorecen las soluciones de mínimo costo, sin considerar los beneficios que los ME y los SAME reportarán a los usuarios de los sistemas a lo largo de su ciclo de vida. Resulta muy importante un inversionista bien instruido, que esté plenamente informado de los mercados relacionados con la inversión, el comportamiento del vendedor y la calidad de los productos.

Diferentes autores han escrito sobre las deficiencias del mercado, describen las limitaciones de los actores que intervienen en este: nivel de conocimiento e información; acceso limitado al capital; incertidumbres en cuanto a riesgos implicados (o al menos percibidos) en la nueva tecnología y otras.

En este trabajo se estudian las barreras específicas y las líneas de acción para incrementar la eficiencia energética de los ME y de los SAME, destacando el papel activo que debe tener la universidad, a través de las distintas formas de educación post-graduada y de la actividad científica. Estas barreras y líneas de

acción han sido agrupadas de la siguiente manera (Wade & Bruner, 2011):

- Barreras en el comercio internacional.
 - Aquellas relacionadas con elementos técnicos del suministro eléctrico.
 - Las debidas a la existencia de estándares no armonizados.
- Barreras en los niveles sectoriales y empresariales.
 - Las existentes a nivel de los fabricantes originales de motores y de equipamiento.
 - Las presentes en las ventas al por mayor, en la planificación y la ingeniería.
 - Las que se presentan a nivel de los inversionistas y de los responsables energéticos.

DESARROLLO

Los ME y los SAME, salvo excepciones, se producen en forma masiva. Para los fabricantes, un mercado internacional que funcione correctamente, es importante para establecer sus economías de escala y reducir sus costos de producción. Las barreras al comercio internacional incluyen diferencias regionales en tensiones y frecuencias, diferentes sistemas de medición y diferencias en la estandarización y las pruebas normadas correspondientes. Debido a que los productores tienen que respetar los requerimientos de un mercado variable y condiciones técnicas específicas, así como las tradiciones de esos mercados, no pueden producir estos bienes en grandes series.

Barreras técnicas en el suministro eléctrico

- Tensión y frecuencia de la red

La mayoría de los países operan su red eléctrica a 50 Hz (62% de la demanda global de electricidad), mientras que la minoría lo hace a 60 Hz (38 % de la demanda global, fundamentalmente en Brasil, Canadá, México, Estados Unidos y parte de Japón)

Las tensiones nominales de suministro eléctrico para motores trifásicos de baja tensión, varían entre 380 y 480 V, dependiendo de los estándares de tensión nacionales. También, la tensión de suministro puede variar en una locación dada más que lo normado de $\pm 10\%$ de la tensión nominal.

Los motores están usualmente diseñados y optimizados para una determinada frecuencia y tensión nominal y normalmente no pueden ser intercambiados sin una afectación en su desempeño y una reducción en su eficiencia. Existen diseños para dos frecuencias y de tensiones

múltiples, disponibles para mercados especiales (Brasil, Japón), pero normalmente tienen una menor eficiencia que los motores para una frecuencia y una tensión.

- **Diferentes sistemas de medición**

Una segunda barrera técnica es que se utilizan dos tipos de unidades diferentes para los SAME:

- En los Estados Unidos y Canadá (y otros países de América), las potencias de salida son dimensionadas en hp y los *framed* e los motores se miden en unidades imperiales.
- En Europa, Asia y otras partes del mundo, usan el sistema internacional de unidades (SI). La potencia de salida se especifica en kW y los *frame* en unidades métricas (milímetros)

Esta situación hace generalmente difícil que ME o SAME puedan ser intercambiados o enviados de uno a otro sector del mercado. Los fabricantes deben producir motores y SAME en pequeñas series para que sirvan en los diferentes mercados regionales.

Barreras por estándares no armonizados

Los estándares para ME y SAME constituyen un instrumento muy eficiente políticamente para vencer los obstáculos en los mercados de equipos de producción masiva. Sin embargo, por el origen de mercados nacionales o regionales en las primeras etapas de la electrificación y de la difusión de estos equipos, las normas de eficiencia y los estándares de pruebas relacionados con ellos, en muchos casos se desarrollaron de forma independiente. Como resultado, el mercado mundial de los ME y SAME está fragmentado en diferentes estándares de eficiencia energética y son también distintos los procedimientos de prueba y regulaciones relacionados con ellos.

- **Estándares mínimos de desempeño energético**

El desarrollo y la legislación no coordinados y no armonizados de los estándares mínimos de desempeño energético (MEPS, por sus siglas en inglés) en diferentes países, evitan que los productores de ME y SAME exploten a plenitud el potencial de reducción de precios a través de grandes producciones masivas y del comercio global de los productos energéticamente eficientes. Algunos países, tanto grandes como pequeños, ya han implementado estándares de desempeño, mientras otros planean hacerlo en breve.

En 2008, la IEC 60034-30 (clases de eficiencia) armonizó las clases anteriormente divergentes en Europa (Eff1/Eff2/Eff3); en los Estados Unidos (Epack/NEMA Premium); en China (Clases 1/2/3) y en Australia (MEPS 2002 y 2006).

Según sea completamente implementada la armonización, este obstáculo comercial será aliviado. Resulta también interesante notar que Canadá, México, Nueva Zelanda, Corea del Sur y los Estados Unidos estuvieron a la cabeza en implementar las normas de alta eficiencia (IE2), mientras que la Unión Europea solo planea tener adoptadas completamente las normas para el 2017.

- **Normas de pruebas para la eficiencia de los motores**

Dos estándares de pruebas dividen prácticamente el mercado global: la norma del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés) y la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés). La IEEE 112 B cubre fundamentalmente Brasil, Canadá, México y los Estados Unidos. La IEC 60034-2 (edición 2, 1996) abarca fundamentalmente Asia, Australia, Europa y el resto de América.

Las dos normas establecen diferentes valores para la eficiencia de los motores. La primera de las normas IEC no incluía plenamente las pérdidas adicionales y de esta forma sobreestimaba la eficiencia en aproximadamente un 1 % para los grandes motores y hasta un 3 % para los más pequeños. La IEC 60034-2-1 (IEC, 2007) da pruebas armonizadas internacionalmente y una clasificación por el nivel de incertidumbre (Sousa et al, 2015).

Dos importantes asociaciones: *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)* en los Estados Unidos, y *European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP)* en Europa, representan la IEEE y la IEC alrededor del mundo. Una vez que la armonización de estos estándares esté plenamente implementada se aplicarán a nivel mundial las mismas reglas para las pruebas y este obstáculo comercial será también salvado.

- **Normas de pruebas de eficiencia de los SAME**

No hay estándares internacionales para los SAME completos, aunque sí hay algunas normas regionales, así como algunas normas de pruebas parciales para, por ejemplo, sistemas con bombas y ventiladores (Wade & Bruner, 2014). En este caso los componentes mecánicos (reductores, transmisiones, bomba y ventilador) y eléctricos (motor, variador de frecuencia) deben estar disponibles para efectuarles pruebas. Lograr la estandarización para determinar la eficiencia motor-sistema en forma integral, resulta imprescindible. De otra forma, el comercio nacional e internacional estará obstaculizado por datos de comportamiento no existentes o no comparables.

Barreras en los niveles sectoriales y empresariales

En adición a los obstáculos a nivel internacional hay grandes barreras tanto a nivel sectorial como empresarial. La mayor parte de ellos no son específicas de los ME o SAME, pero son típicos para grupos del ciclo productivo.

Un número de obstáculos debe ser reducidos para desarrollar en todo su potencial los motores y SAME de alta eficiencia. Por lo tanto, solo mediante un portafolio de medidas en cuanto a políticas puede lograrse ese objetivo, los obstáculos deben ser simultáneamente removidos en un sector productivo o en un país. Esas políticas deben tomar en cuenta las diferentes alternativas en los ciclos productivos o en el uso de los ME, por ejemplo, el uso por los fabricantes originales de equipos, el uso por los mayoristas o por la compra directa de los inversionistas finales.

Barreras a nivel de fabricantes originales de motores y de equipamiento

- Demanda de bajos costos de inversión por parte de los usuarios

Muchos fabricantes de plantas y maquinarias o de equipos originales raramente utilizan motores o sistemas de alta eficiencia debido a que los compradores piden un bajo costo de inversión, no de un bajo costo del ciclo de vida (CCV). Los fabricantes conocen que para mantenerse competitivos deben evitar el costo adicional de soluciones de alta eficiencia para motores y SAME.

Mientras los consumidores no pidan explícitamente alta eficiencia o soluciones de bajo CCV, los fabricantes de motores y equipos tratarán de instalar y vender las versiones menos caras, es decir, las soluciones menos eficientes. Para eliminar esta barrera, el concepto de CCV debe ser introducido a todos los niveles del entrenamiento ingenieril básico. De igual forma, este debe ser un tema a reforzar mediante las distintas formas de educación postgraduada y de la actividad científica. Las gerencias de las empresas deben establecer reglas claras para el cálculo de la efectividad económica de equipos nuevos y de reemplazo en la producción.

- Tendencia de los fabricantes a desalentar los ME y SAME energéticamente eficientes.

En años recientes se ha observado que aun cuando los usuarios soliciten motores de alta eficiencia para maquinaria de producción o plantas, los fabricantes se muestran indecisos (Jochem & Gruber, 2008). Piden costos adicionales de inversión no realísticos, tratan de posponer significativamente las fechas de entrega, o rechazan dar las garantías de operación, que están disponibles para maquinarias o plantas equipadas normalmente. Estas razones no son fáciles de comprender, pero es de suponer que los fabricantes quieren sostener economías de escala en la producción o mantener reducciones de precios de los productores de motores o de componentes de sistemas, por ejemplo, ventiladores, bombas o compresores.

Para eliminar esta barrera las asociaciones comerciales de fabricantes pudieran lanzar una campaña de información y hacer recomendaciones a sus empresas miembros sobre qué se debe incluir en cada oferta, más allá del costo de inversión o del CCV. Desde luego, el CCV debe ser calculado de una manera adecuada, tomando en cuenta el período de operación, el cambio del valor del dinero con el tiempo, la tasa de interés aplicada a los costos capitales y otros factores. Estos datos pueden depender de los sectores o países.

Los usuarios pueden también especificar en sus solicitudes los datos necesarios para calcular el CCV de la inversión y las diferentes soluciones en cuanto a eficiencia. Una rápida información del CCV para una inversión particular puede ser fácilmente calculada utilizando una herramienta electrónica desarrollada específicamente para este propósito y disponible públicamente para los fabricantes, ingenieros consultantes, gerentes de energía, inversionista y compradores.

Una segunda opción es introducir una etiqueta de eficiencia para ciertos tipos de maquinaria o plantas de producción masiva, algo semejante a "Intel inside" en equipos electrónicos, por ejemplo: "solo motores de alta eficiencia adentro". El uso de esta etiqueta puede ser iniciado por las asociaciones comerciales a nivel nacional, regional o multinacional, comenzando con clases de productos que comprendan producción masiva y comercio internacional.

Si las asociaciones implicadas no pueden implementar reglas para esas etiquetas, los gobiernos nacionales o regionales (como la Comisión Europea) pueden iniciar esta acción a través de una directiva u ordenanza. Con el objetivo de resaltar esta cuestión a los inversionistas, por un período limitado, los gobiernos nacionales pueden proveer subsidios para los inversionistas finales con el objetivo de cubrir la diferencia en costos entre los equipos estándar y los de alta eficiencia.

- Falta de habilidad para explicar en forma efectiva los aspectos económicos del uso de SAME energéticamente eficientes.

Muchos fabricantes de motores y sus ingenieros de venta no son capaces de explicar de manera convincente los beneficios económicos de los ME y SAME de alta eficiencia. La documentación de los productos, los catálogos, las herramientas informáticas, las plataformas web o las presentaciones a los clientes no se enfocan en la eficiencia energética y la economía, o no dan una información explicativa para los decisores. En una encuesta llevada a cabo con siete fabricantes de motores en Suiza (Brunner, 2007), aún las ofertas actuales eran confusas para el cliente: no se incluían las clases de eficiencia, los valores de eficiencia no estaban claramente establecidos, los costos relacionados con los impuestos, los tipos de cobre especiales y los descuentos no estaban claros.

Para muchos fabricantes de motores y distribuidores al por mayor resulta inusual que los clientes busquen ofertas de diferentes empresas. Los fabricantes continuamente se relacionan con los clientes y no les gusta competir con productos estándar en las condiciones del mercado. También los clientes prefieren por lo general relaciones estables y confiables con determinados fabricantes para nuevas inversiones y servicios. Esto excluye la competencia.

Para eliminar esta barrera los fabricantes necesitan mejorar el entrenamiento del personal responsable del contacto con el usuario. La documentación de la empresa y de los productos debe estar al día, debe responder a las normas de prueba actuales, las clasificaciones de la eficiencia, los esquemas de reembolsos disponibles, los estándares nacionales de eficiencia energética mínima. Los fabricantes deben ofrecer asesoramiento in situ con equipos de prueba para chequear motores sobredimensionados, aconsejar sobre el uso de variadores de frecuencia. Los mecanismos de precio en ofertas deben estar en un formato estándar, transparente para cada empresa, deben mostrar el precio neto y la eficiencia del producto. Los resultados de las pruebas para la eficiencia del motor deben estar en un formato de reporte estándar y relacionarlos con las normas actuales.

- Inadecuada evaluación del uso real que le darán los usuarios a los SAME.

Como elementos claves del mercado, los fabricantes tienen a proveer máquinas para una operación segura y continua, aun si no se conocen las condiciones bajo las cuales el equipamiento será operado eventualmente por sus clientes. Esto puede conducir a motores y otros equipos de accionamiento ampliamente sobredimensionados, con más baja eficiencia y mayores costos de inversión al momento de la compra. Debido que la operación ininterrumpida y los bajos costos de mantenimiento constituyen criterios claves para los compradores, es poco probable que haya un cambio de actitud.

Para eliminar esta barrera los dueños de las fábricas y los usuarios de los motores deben describir las aplicaciones que se pretendan en la forma más completa posible. En los casos de reemplazos y expansiones es usualmente posible monitorear el proceso existente y hacer medidas a los equipos para definir los parámetros dimensionales críticos.

- Temor de que un fallo de los nuevos ME eficientes puedan interrumpir la producción.

Un viejo temor es que los motores se sobrecalienten, se quemen o se tranquen y que el proceso industrial se interrumpa, causando grandes pérdidas de producción y daños. Este temor persiste, aunque hoy en la industria

los motores eléctricos de propósitos generales son más eficientes y no se calientan como antes (nunca alcanzan su temperatura máxima permisible). Más aún, ellos están protegidos con elaborados esquemas de enfriamiento, con márgenes de incremento de temperatura y comportamiento del aislamiento definido. En los Estados Unidos, factores de servicio de 1,1 a 1,2, son estándar (el motor puede operar satisfactoriamente con 110 a 120 % de su carga nominal).

Para eliminar esta barrera la documentación del comportamiento de motor tiene que establecer en forma clara qué temperatura ambiente y qué incremento de temperatura son permitidos y en qué medida los motores y sus sistemas pueden ser operados con seguridad en condiciones de sobrecarga.

- Falta de incentivos para la innovación.

Los fabricantes de varias aplicaciones estandarizadas como motores, ventiladores, bombas y compresores tienen hasta ahora poco incentivo para innovar, producir y comercializar productos de alta eficiencia. Ni los fabricantes de equipos ni el sector mayorista suelen pedir estos motores. Los mayoristas generalmente quieren reducir costos capitales para los productos almacenados en sus estantes.

Para eliminar esta barrera el etiquetado de las diferencias en eficiencias ayudará a los inversionistas a tomar decisiones rápidamente sobre la base de la información sobre eficiencia. De nuevo las asociaciones de fabricantes en los niveles nacionales, regionales o multinacionales deben desarrollar estándares de eficiencia para los componentes de producción masiva, por ejemplo, bombas, ventiladores, compresores, pistones para aire comprimido. Los gobiernos nacionales o las organizaciones internacionales pueden hacer coordinaciones para establecer límites de tiempo para un proceso voluntario de estandarización por parte de los fabricantes o para establecer estándares multinacionales para los componentes fundamentales de los SAME.

Barreras en las ventas al por mayor, en la planificación y la ingeniería

- Limitación de los tipos de motores y componentes para minimizar los costos capitales.

El sector mayorista para ME y SAME tiende a minimizar los costos capitales al reducir los tipos y número de motores eléctricos y de componentes de los sistemas más vendidos. En la mayoría de los casos no ofrecen soluciones de alta eficiencia, sino opciones de eficiencia estándar para los varios tipos y potencias. Los componentes o motores demandados con menos frecuencia deben ser pedidos al fabricante, lo que puede tomar días o aun, semanas.

Cuando un motor o sistema deja de operar, el gerente de energía o de producción se ve forzado con frecuencia a encontrar un componente de reemplazo en horas, porque la producción debe continuar para minimizar el costo total de la producción perdida. Si el sector mayorista no puede entregar inmediatamente una versión de alta eficiencia o una alternativa de mayor eficiencia, los usuarios encontrarán inaceptable esperar varios días o semanas. Como es raro que alguien solicite productos de alta eficiencia las empresas mayoristas sienten que sus actuales estrategias de almacenamiento son bastante eficaces.

Para eliminar esta barrera lo más importante es una campaña de información dirigida tanto a los usuarios como a los mayoristas. Esto debe ser eventualmente reforzado por un programa organizado por agencias nacionales de energía o una asociación de redes de estudios de eficiencia, las cuales tienen interés y visión en las soluciones de alta eficiencia (Wade & Bruner, 2011; Vaidyanathan et al, 2013).

- **Habilidades ingenieriles atrasadas.**

Las habilidades de los ingenieros consultores y los ingenieros de las fábricas de equipos que diseñan, planean nuevas plantas o remodelan fábricas existentes pueden estar atrasados desde el punto de vista técnico y no reflejar las soluciones energéticamente eficientes más actuales, por ejemplo, reglas de sobredimensionamiento aprendidas en el pasado o durante su formación previa; no uso de herramientas de software para la planificación o decisiones con la utilización del flujo de caja descontado; no tener conocimiento actualizado de nuevas soluciones técnicas. Hay también algunos compromisos contractuales o subjetivos con respecto a ciertas soluciones técnicas, por ejemplo, recuperación del calor residual de los SAME) en lugar de utilizar tecnologías más eficientes.

Para eliminar estas barreras es muy importante el entrenamiento profesional de los ingenieros consultores, necesidad que debe ser atendida por las universidades a través de su oferta de educación postgraduada. Ellos deben hacer uso de herramientas de alta calidad disponibles para el cálculo de inversiones o buscar métodos de cálculo profesionales para determinar la rentabilidad de las varias opciones de inversión, por ejemplo, por el valor presente neto o la tasa interna de retorno y no por el período de recuperación simple.

Barreras a nivel de los inversionistas y de los responsables energéticos.

- **Complejidad de los SAME.**

Los SAME son complejos: los componentes mecánicos y eléctricos deben hacerse coincidir cuidadosamente para la tarea requerida y para el momento y velocidad del motor.

Reemplazar un solo componente con uno de alta eficiencia, por lo general no conduce a ganancias satisfactorias de eficiencia energética o períodos cortos de recuperación de la inversión. Para estudiar el sistema completo y optimizar la operación se requiere de más tiempo, de un equipo calificado y de un know-how ingenieril avanzado.

Para eliminar esta barrera se debe seleccionar un equipo técnico en la fábrica con una calificación adecuada y debe ser entrenado con regularidad. Deben estar disponibles para ellos herramientas y programas actualizados.

- **Ventas que generalmente van a los mayoristas y no a los usuarios finales.**

El 80 % de las ventas de equipos por parte de los fabricantes van de forma directa a los mayoristas, distribuidores y a los fabricantes de equipos, no a los usuarios. Esto significa que la línea de compra se rompe. Los usuarios finales tienen, por ejemplo, muy poco conocimiento sobre motores y los compradores de motores no están necesariamente interesados en usar equipos de alta eficiencia. La maquinaria completa puede costar de 10 a 100 veces más que un motor, con decisiones de compra basados en el comportamiento del producto y no en el costo energético.

Para eliminar esta barrera los fabricantes de equipos deben ser entrenados para incluir el CCV en las especificaciones operacionales de los equipos. Cuando se evalúen diferentes productos, los usuarios finales deben ser educados en preguntar por los cálculos del CCV para toda la maquinaria de producción.

- **Decisiones de compra usualmente basadas en el menor costo capital.**

Los gerentes de energía y departamentos de compra de las empresas toman con frecuencia decisiones sobre la base de la menor inversión sin calcular el CCV de dicha inversión. Aquellos que realizan la compra frecuentemente obtienen una bonificación si negocian reducciones adicionales con los fabricantes de maquinaria o de plantas. Esto ejerce presión sobre los fabricantes para reducir los precios y conduce a la selección de ME y SAME ineficientes si el usuario no especifica con claridad las eficiencias requeridas. En muchos casos los fabricantes de maquinaria o de plantas ya contratadas e instaladas no pueden reportar los consumos eléctricos esperados (o fingen no saberlo). El proceso de toma de decisiones de los consumidores, junto con la búsqueda de equipamiento barato, tanto por los usuarios como por los suministradores, en la mayoría de los casos conduce a soluciones subóptimas de eficiencia energética.

Para eliminar estas barreras las decisiones sobre las inversiones duraderas en los equipos que consumen energía deben siempre estar basadas en un cálculo de rentabilidad,

no solamente en el período de recuperación de la inversión (PRI) (ya sea simple o descontado), que es solo un indicador de riesgo. Se sugiere una mayor campaña de información por parte de las asociaciones de comercio a niveles nacionales o multinacionales, preferiblemente soportadas por agencias de energía y otras agencias gubernamentales.

Es de mayor importancia que los cálculos de rentabilidad realizados por los inversionistas sean acompañados de ofertas hechas por productores o mayoristas, junto con información de las ofertas sobre el CCV (particularmente en la demanda de electricidad de maquinarias y plantas). Los gerentes de energía y usuarios de las inversiones deben tener entrenamiento profesional en estos aspectos. Estos programas pueden ser organizados por las universidades, por cámaras de industria y comercio, agencias de energía u otras instituciones que ofrezcan entrenamiento de alto nivel profesional. Los gobiernos nacionales o regionales pueden apoyar estos cursos proveyendo fondos para desarrollar materiales para el entrenamiento o donaciones para empresas medianas y pequeñas para asistir a los cursos.

- **Conocimientos de las opciones en eficiencia energética**

Los inversionistas en maquinarias y plantas de producción equipadas con SAME frecuentemente carecen del conocimiento necesario acerca de las opciones de eficiencia energética. Por lo tanto, se presentan dos escenarios: el de aquellos que se aferran a técnicas de soluciones tradicionales (sistemas con motores estándar) y el de aquellos que buscan nuevas soluciones, llevan a cabo investigaciones de mercado y estudios técnicos y convencen a la dirección y al departamento de compras de las ventajas de las nuevas soluciones energéticamente eficientes. Toma tiempo buscar nuevas soluciones técnicas y convencer a otros que trabajan en el proceso de toma de decisiones y de compras, además de que hay implicados costos de transacción. Para las inversiones más modestas, como en motores y sistemas de motores eléctricos, estos costos son relativamente altos; para el caso de las potencias más pequeñas, estos costos pueden exceder, cuando se incluyen los costos de instalación, el costo total de la inversión.

Para eliminar estas barreras el etiquetado y los estándares técnicos son opciones importantes (incluyendo la prohibición de sistemas ineficientes en el mercado). Otra opción es introducir reglas internas en la compañía y estándares para los gerentes de energía y los departamentos de compras, responsables de las inversiones en motores eléctricos y sistemas de motores. Los ingenieros consultores y los gerentes de energía deben tener herramientas informáticas de cálculo para identificar rápida y confiablemente soluciones menos costosas para la inversión. Las redes de

aprendizaje de eficiencia energética de las empresas medias a nivel local o regional (llamadas en Suiza modelos de energía), permiten a los participantes intercambiar conocimientos y experiencias en todos los aspectos de la eficiencia energética y de la sustitución energética, no solo para soluciones en motores eléctricos (Jochem & Gruber, 2007).

- **Comprensión inadecuada de cómo evitar pérdidas energéticas**

Los usuarios de la maquinaria y de las plantas de producción equipadas con motores eléctricos carecen a menudo de conocimientos sobre operaciones de eficiencia energética a través de controles o limitaciones de las pérdidas de energía, por ejemplo, controles integrales de fábrica, automatización de las máquinas o de la planta, control de las presiones o de las fugas en los sistemas de aire comprimido. Otro problema es que ellos o subestiman el efecto positivo sobre el uso eficiente de la energía de un cuidadoso mantenimiento, por ejemplo, mantenimiento de unidades de climatización, intercambiadores de calor, filtros o simplemente no están conscientes de ello.

Para eliminar estas barreras los gerentes generales o los gerentes de energía podrían cambiar las rutinas diarias y en lugar de trabajar con sistemas de mantenimiento correctivos o de reparación de averías, establecer sistemas de mantenimiento más adecuados como el preventivo, el predictivo y el proactivo (Gondres, Lage, Rodríguez & Castillo, 2014). El entrenamiento profesional para los ingenieros y operarios de máquinas y de plantas son importantes y deben ser ofertados dentro y fuera de las compañías. La automatización de la fábrica puede ser utilizada para monitorear y llevar a cabo benchmarking de la energía en el proceso productivo. Los gobiernos deben apoyar estas actividades mediante el apoyo de fondo material de entrenamiento y la asistencia de participantes de compañías pequeñas y medias. Los ingenieros consultantes pueden jugar un rol positivo como instructores en los programas.

- **Decisiones basadas en períodos cortos de recuperación de la inversión**

Como las empresas están preocupadas con el número de años requeridos para recuperar una inversión inicial, el PRI resulta muy frecuentemente utilizado para evaluar la factibilidad de los proyectos. El PRI es calculado de dos maneras: con el flujo de caja convencional (no descontado) o con el flujo de caja descontado. En el primer caso, el PRI se calcula contando el número de años que toma para acumular la cantidad de efectivo igual a la inversión inicial. En el segundo caso (el adecuado), el cálculo se realiza al reflejar el cambio del valor del dinero con el tiempo, los ingresos, los gastos, los impuestos y la depreciación. Este

método es más realista, arroja un PRI mayor que el no descontado, el cual subestima el valor.

De cualquier forma, decidir la rentabilidad de un proyecto de mejora de la eficiencia energética solamente por el PRI puede conducir a decisiones erróneas. Como los ME y SAME tienen un tiempo de vida útil que puede llegar a 10 o 20 años, el uso del PRI como criterio para considerar rentable una inversión muchas veces lleva a decisiones a favor de motores y sistemas de eficiencia normal, porque el PRI se limita a dos o tres años. Esto significa que muchas inversiones muy rentables no son realizadas, por ejemplo, con motores de mayor eficiencia, que dan valores presentes netos (VPN) elevados y tasas internas de retorno (TIR) de más de 20 %.

Estudio de caso. Análisis económico

En una empresa cubana se realizó un estudio económico para valorar cuál variante resultaba más ventajosa desde el punto de vista económico para formar parte de un SAME; para una bomba centrífuga: utilizar un conjunto variador de velocidad (AFV)-motor asincrónico con eficiencia IE2 (AFV-MA IE2) o uno con variador de velocidad-motor sincrónico de reluctancia con eficiencia IE4 (AFV-MSR IE4). Para ambas variantes, los AFV son en esencia iguales; solo hay que tener en cuenta que las rutinas de software incluyan el MSR (Viego, Gómez & Quispe, 2015).

Al ser el MSR IE4 de una eficiencia superior al MA IE2 su costo capital resulta mayor. De esta forma es necesario realizar un análisis económico para determinar si resulta rentable la inversión. Los valores fundamentales para el estudio se muestran en la tabla 1. Se utilizó el método del valor presente neto (VPN) diferencial. Este método permite eliminar costos iguales (o casi iguales) (Borroto, et al., 2006). Entre estos costos que se eliminan se encuentran el costo capital del variador, que es el mismo para ambos casos, como anteriormente se señaló; los costos de instalación y el costo de mantenimiento.

Tabla 1. Valores fundamentales para el estudio económico comparativo entre conjuntos AFV-MA IE2 y AFV-MSR IE4.

Conjunto AFV – MA IE2	Conjunto AFV – MA IE2
Potencia nominal del motor: 37 kW	Potencia nominal del motor: 37 kW
Tensión nominal del motor: 460 V	Tensión nominal del motor: 460 V
Frecuencia nominal del motor: 60 Hz	Frecuencia nominal del motor: 60 Hz
Velocidad nominal: 1775 rpm	Velocidad nominal: 1800 rpm
Factor de carga (FC) promedio: 0,8	Factor de carga (FC) promedio: 0,8

Eficiencia del conjunto a FC=0,8: 92,8 %	Eficiencia del conjunto a FC=0,8: 94,8 %
Parámetros económicos para el estudio	
Diferencia de costo entre los conjuntos (inversión inicial): 1663 USD	Tasa de impuestos: 35 %
Tasa de descuento: 15 %	Vida útil: 10 años
Margen de riesgo: 3 %	Tipo de depreciación: lineal
Tasa de inflación: 5 %	Tarifa eléctrica: M1D (Viego, Gómez & Quispe 2015)

Se consideraron los ahorros por reducción del consumo de energía y por reducción de la demanda máxima, con el uso de un sistema más eficiente con el MSR IE4.

Los resultados, utilizando una hoja de cálculo desarrollada en Excel para el VPN diferencial, son los siguientes:

Para un tiempo de trabajo anual de 8000 horas:

- Flujo de caja: 762,16 USD.
- VPN diferencial: 2553,05 USD.
- Período de recuperación de la inversión (PRI): 2,6 años.

Para un tiempo de trabajo anual de 4000 horas:

- Flujo de caja: 429,36 USD.
- VPN diferencial: 712,09 USD.
- Período de recuperación de la inversión (PRI): 5,4 años.

Como se puede observar, si se limita el período de recuperación de la inversión (descontado) a solo 3 años, solo sería rentable la sustitución para el caso de 8000 horas de trabajo, ya que con 4000 horas la inversión se recupera en 5,4 años. Sin embargo, 5,4 años es aproximadamente la mitad de la vida útil y el VPN es de 712,09 USD, o sea, un 43 % de la inversión inicial. Estos valores indican que en este caso la inversión también resulta rentable.

Para concluir, si los inversionistas basan sus decisiones en un PRI limitado a 2 o 3 años es muy probable que excluyan importantes y rentables inversiones en ME y SAME eficientes. Las decisiones de inversión en motores y SAME duraderos siempre se deben hacer sobre la base de los cálculos de rentabilidad, no solamente basados en el PRI (que significaría solo un indicador de riesgo).

Para eliminar esta barrera las asociaciones comerciales pueden implementar campañas de amplio acceso a niveles nacionales y multinacionales, con el apoyo de agencias de energía y gubernamentales. Las asociaciones de fabricantes de ME y de SAME pueden también ser requeridas (o estar de acuerdo voluntariamente) para que incluyan en las ofertas de

sus productos una información transparente del CCV, el PRI, el VPN, la TIR u otras técnicas de descuento, comparando el mejor ME o SAME con sus productos normales o con una variante estandarizada.

Costos ocultos y externalidades de la electricidad usada por los me y los same

- Costos ocultos

La mayoría de las inversiones en eficiencia energética está asociada con alguna forma de costos ocultos y estos costos podrían potencialmente explicar una parte de las diferencias, que siempre existen, entre la mejora de eficiencia calculada y la real. En la literatura de economía energética el término costos ocultos se refiere a cualquiera de los costos que convencionalmente no son incluidos dentro de los modelos económicos.

Una proporción de estos costos puede ser considerada parte del costo de producción de los equipos eficientes y de aquí que no sea racional una política de intervención. Pero otra proporción puede considerarse como costos de transacción de mercado u organizacionales y de aquí, que puedan ser reducidos a través de cambios organizacionales o de políticas públicas. Ejemplos de algunos costos ocultos se dan en la tabla 2 (Sorell, Malle y Nye, 2011).

Mientras la aseveración de que los costos ocultos pueden explicar completamente las diferencias entre la mejora calculada de la eficiencia y la real resulta inadecuada, la afirmación de que los costos ocultos no son importantes resulta igualmente incorrecta. La verdad debe estar entre los dos conceptos, pero la importancia relativa de estos costos, varía entre las tecnologías y organizaciones específicas.

Tabla 2. Diferentes tipos de costos ocultos.

Categorías	Ejemplos
Costos generales de la gestión de la energía.	Empleo de personal calificado; sistemas de información energética; auditorías energéticas.
Costos relacionados con las decisiones tecnológicas particulares.	Identificación de oportunidades; investigación detallada y diseño; evaluación de la inversión; procedimientos formales para lograr aprobación de los gastos capitales; costos adicionales del personal para el mantenimiento; interrupciones.

Pérdidas de satisfacción asociadas con las variantes para el mejoramiento de la eficiencia energética seleccionada.	Problemas con la seguridad, ruido, condiciones de trabajo, calidad del servicio (por ejemplo, niveles de iluminación); mantenimiento extra; más baja fiabilidad.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Externalidades

El problema de los costos externos para la sociedad asociados con las emisiones de las plantas de generación es bien conocido. Los inversionistas no consideran ninguna externalidad cuando no están incluidas en los costos de la energía. Aún a nivel político, los costos externos para la sociedad no se consideran frecuentemente porque los modelos macro-económicos que son utilizados como la base de la información no monetizan los costos externos.

Los costos externos evitados que resultan de las políticas energéticas o climáticas se discuten como beneficios de menor importancia, frecuentemente limitados al análisis de contaminantes convencionales, como partículas contaminantes, dióxido de sulfuro u óxidos nitrogenados y otros elementos que se relacionen con la salud y la mortalidad (IPCC, 2014). Por ejemplo, los beneficios subordinados para Noruega y el Reino Unido se reportan entre un intervalo de 70 USD/t a 110 USD/t de CO2 evitado y para los Estados Unidos, entre 125 USD/t y 205 USD/t, dependiendo del número de contaminantes incorporados a los varios modelos (Sorell, Mallet & Nye, 2011).

Dado el hecho de que los beneficios indirectos que emanan de las soluciones de eficiencia energética en su mayoría no son incluidos en los cálculos actuales de los modelos macro-económicos, los hacedores de las políticas tienen que hacer el compromiso final entre los resultados de los modelos y los beneficios indirectos que son más difíciles de monetizar.

Pero es esencial notar que los beneficios indirectos a partir de un menor uso de la electricidad son aquellos que ocurren a corto plazo, como los costos externos evitados derivados del daño convencional de la generación de electricidad. Los costos externos evitados producidos por el cambio climático son todavía despreciados, aún en análisis de costo-beneficio que toman en cuenta beneficios indirectos.

Expresar el costo externo del cambio climático en *dólares y centavos* conduce a resultados divergentes. Las razones para el amplio rango de resultados son numerosas, pero ellos también plantean cuestiones de ética y de política internacional. Así, las incertidumbres en las investigaciones de ciencias naturales llevan a variaciones muy grandes cuando se evalúan daños en categorías relevantes, como probabilidades futuras e intensidades de grandes tormentas o inundaciones, olas de calor, el cese del movimiento de la Corriente del Golfo o las futuras sequías en

las zonas semiáridas. La cuestión de cómo debe ser evaluado el futuro daño – en particular la éticamente controversial evaluación monetaria de las muertes en el futuro y en los países en desarrollo – tiene una alta influencia en los resultados.

En el caso del estudio de las barreras para incrementar la eficiencia energética de los sistemas accionados por motores eléctricos no se tienen elementos de costos externos suficientemente confiables como para incluirlos cuando se requieren análisis económicos.

ROL DE LA UNIVERSIDAD

En este trabajo se ha evidenciado que para eliminar o reducir las barreras que obstruyen el incremento de la eficiencia en los ME y los SAME resulta necesario capacitar adecuadamente a distintos actores determinantes en este propósito, que posean las aptitudes profesionales necesarias. No es suficiente la educación y formación en materias relacionadas con la energía para garantizar la necesaria renovación de los profesionales. La universidad tiene la responsabilidad de la formación de recursos humanos, capaces de asimilar los cambios tecnológicos actuales y dar respuestas y soluciones acertadas (Gómez & Viego, 2014).

Sin embargo, aunque abundan universidades, centros y grupos de investigación, desarrollo e interfase, estudios realizados señalan que a nivel de pregrado no se tratan estos temas o no se hace de la forma que se requiere y que en la mayoría de los países tampoco esto es abordado correctamente en el nivel de postgrado (maestrías, cursos, entrenamientos).

La universidad, los centros de investigación y de desarrollo, así como otras entidades que se dediquen a la formación de recursos humanos, deben responsabilizarse con la actualización de programas de educación existentes y de los nuevos que se elaboren, de las temáticas relacionadas con la problemática de las barreras para el incremento de la eficiencia utilizando los equipos eficientes aquí tratados.

La problemática de las capacidades y conocimientos necesarios para enfrentar la evolución de la eficiencia energética en ME y SAME, así como de las barreras para su incremento, tiene que abordarse desde con un enfoque multidisciplinario. Este tiene que integrar no solo los aspectos técnicos, sino también sociales y de política energética que implican los nuevos sistemas (Gómez & Viego, 2014; De Nigris & Bernandelli, 2010).

En las acciones que en este trabajo se han planteado sobre la formación del personal debe primar un enfoque dirigido al logro de aspectos como:

- Realizar campañas efectivas de información a mayoristas y usuarios.
- Lograr que se establezcan programas organizados no solamente por la universidad, sino también en coordinación con instituciones nacionales e internacionales de energía, asociaciones de profesionales, gobiernos regionales y nacionales.
- Esos programas se deben apoyar con fondos para preparar materiales, instalaciones, alojamiento, transportación, etc., así como ayudar económicamente a empresas pequeñas y medianas para que sus especialistas y directivos puedan asistir a los cursos.
- Establecer redes de estudios para las soluciones de alta eficiencia.
- Seleccionar equipos técnicos en las fábricas y que estos sean calificados y entrenados regularmente (Referencia a la TGTEE).
- Educar a los usuarios finales en la utilización del PRI, la TIR, el CCV y de otras técnicas de descuento para evaluar económicamente las opciones para incrementar la eficiencia energética en sus instalaciones.
- Entrenar a los gerentes de energía y usuarios de las inversiones en los aspectos aquí tratados.
- Entrenar a los consultores y gerentes de energía en el manejo de las herramientas informáticas para poder evaluar con rapidez y precisión las mejores soluciones.
- Establecer redes de aprendizaje de eficiencia energética a nivel local, regional, nacional o internacional, para intercambiar conocimientos y experiencias.
- Lograr que con la automatización de fábricas se pueda monitorear el uso de la energía en el proceso productivo.

La universidad debe desarrollar proyectos de investigación en temáticas relacionadas con los aspectos tratados en este trabajo. En esta actividad se pueden incluir proyectos pilotos y demostraciones desde la academia para verificar su potencial en lo que respecta al incremento de la eficiencia en las ME y SAME, así como en la problemática de las barreras.

CONCLUSIONES

Reducir todas las barreras y disminuir todos los obstáculos y las imperfecciones del mercado para implementar la aplicación de ME y SAME de alta eficiencia es una cuestión complicada que requiere enfoques múltiples.

Si el mercado para los motores y sistemas de motores no continúa estando segmentado por los estándares técnicos, sino que esté armonizado por estándares globales, el potencial

para una futura reducción de los costos a partir de soluciones de alta eficiencia puede ser llevada a cabo. Esto haría que las inversiones en soluciones de ME y SAME de alta eficiencia fueran rentables cuando actualmente no lo son (incluso con menos horas de operación anual).

Vencer las barreras identificadas a lo largo del ciclo del producto requiere de una introducción simultánea de un paquete de medidas: si varias barreras no son eliminadas o reducidas al mismo tiempo hay gran riesgo de que el impacto de una sola medida, tal como los estándares de eficiencia o el etiquetado, no traiga el potencial esperado de eficiencia.

Las asociaciones comerciales de fabricantes, los mayoristas y los inversionistas, así como las cámaras de comercio e industria locales deben jugar un rol activo en la eliminación de estas barreras, mejorando el conocimiento y cambiando las rutinas diarias.

Las decisiones políticas deben estar basadas no solamente en consideraciones de rentabilidad de los inversionistas, sino también del costo total a la sociedad de una manera que refleje los beneficios indirectos de una demanda de electricidad reducida mediante los ME y SAME más eficientes. Esto también provee una base racional para subsidiar campañas de información, entrenamiento profesional u otras políticas para promover la difusión de motores y sistemas de motores altamente eficientes.

A pesar de que no se tienen elementos de costos ocultos y de externalidades suficientemente confiables como para incluirlos cuando se requieren análisis económicos, en la generalidad de los casos los estudios son comparativos, lo cual reduce los errores asociados a su no consideración.

Gran parte de las medidas para la eliminación o reducción de las barreras están relacionadas con la esfera educativa universitaria. Resulta necesario capacitar adecuadamente a distintos actores determinantes en este propósito, que posean las aptitudes profesionales necesarias. Sin embargo, la formación de los profesionales en los aspectos aquí tratados, en la actualidad no resulta ni adecuada ni suficiente a nivel de pregrado y de postgrado. La universidad debe trabajar en proyectos de investigación en las temáticas que se han tratado, y desarrollar proyectos pilotos y actividades demostrativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barua, P. et al. (2014). Firm-level perspective on energy efficiency barrier and drivers in UK industry—indications from an online survey. Recuperado de http://behaveconference.com/wp-content/uploads/2014/02/Baruah_Eyre_BEHAVE_2014_Final1.pdf
- Borroto, A. et al. (2006). Gestión y economía energética: Cienfuegos: Universo Sur.
- Borroto, A. et al. (2014). Barreras y factores claves para promover la eficiencia energética en la industria. *Universidad y Sociedad* [seriada en línea], 6 (1). pp. 30-35. Recuperado el día, mes y año, de <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Brunner, C.U. (2007). *Test tender for electric motors in Switzerland*. Zurich: Swiss Agency for Efficient Energy Use.
- Gómez, J. R., & Viego, P. R. (2014). La universidad en la transformación hacia las redes eléctricas inteligentes en América Latina. *Universidad y Sociedad* [seriada en línea], 6 (2). pp. 59-65. Recuperado el día, mes y año, de <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Gondres, I., Lajes, S., Rodríguez, N., & del Castillo, A. (2014). El aprendizaje bajo incertidumbre aplicado al mantenimiento de interruptores de potencia. *Ingeniería Energética*, 35 (2).
- IPCC. (2014). *IPCC Fifth Assessment Report, Working Group III, Climate change 2014: mitigation of climate change*. Recuperado de: http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Jochem, E., & Gruber, E. (2007). Local networks on energy efficiency in industry—successful initiative in Germany. *Applied Energy*, 84, pp. 806-816.
- Sorell, S., Mallet, A., & Nye, S. (2011). *Barriers to industrial energy efficiency: a literature review*. Vienna: United Nations Development Organization.
- Sousa, V. et al. (2015). Procedure for determining induction motor efficiency working under distorted grid voltages. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 30 (1), pp. 331-339.
- Vaidyanathan, S. et al. (2013). *Efficiency Overcoming Market Barriers and Using Market Forces to Advance Energy*. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE)
- Viego, P.R., Gómez, J.R., & Quispe, E.C. (2015). Motores sincrónicos de reluctancia controlados con variadores de frecuencia: una aplicación para ahorrar energía, *Ingeniería Energética*, XXXVI (1), pp.72-22.
- Wade, P., & Bruner, C.U. (2011). *Energy-efficiency police opportunities for electric motor-driven systems*. Paris: International Energy Agency.