

TecnoLógicas

Tecno Lógicas

ISSN: 0123-7799

tecnologicas@itm.edu.co

Instituto Tecnológico Metropolitano

Colombia

Londoño-Parra, Carlos M.; Ramírez-Echavarría, José L.  
Normas de Eficiencia Energética de Motores de Inducción, ¿Está Preparada Latinoamérica?  
Tecno Lógicas, núm. 30, enero-junio, 2013, pp. 117-147  
Instituto Tecnológico Metropolitano  
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234332007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Artículo de Revisión/ Review Paper

## **Normas de Eficiencia Energética de Motores de Inducción, ¿Está Preparada Latinoamérica?**

## **Energy Efficiency Standards of Induction Motors, ¿Are you Prepared Latin America?**

Carlos M. Londoño-Parra<sup>1</sup>  
José L. Ramírez-Echavarría<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 19 de diciembre de 2012  
Fecha de aceptación: 25 de junio de 2013

---

1 MSc. en Automatización y Control Industrial,  
Facultad de Ingenierías,  
Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín-Colombia  
carloslondono@itm.edu.co

2 MSc. en Ingeniería, énfasis en Automática,  
Escuela de ingenierías,  
Institución Universitaria Salazar y Herrera,  
Medellín-Colombia  
l.ramirez@iush.edu.co

**Resumen**

En Colombia el proceso regulatorio respecto a la eficiencia productos de uso final de energía, está surgiendo con el proyecto de reglamento técnico de etiquetado de productos RETIQ, el cual incluye en el anexo E, los métodos de ensayo para determinar la eficiencia de los motores de inducción de corriente alterna. El objetivo este artículo es comparar la eficiencia energética de motores de inducción entre los países de Latinoamérica y los países de las grandes economías del globo, considerando cuatro aspectos: el estado actual de las normas de clasificación y procedimientos de prueba de la eficiencia de motores de inducción, los acuerdos multilaterales de reconocimiento mutuo, la infraestructura para realizar los ensayos de la norma y los programas de apoyo al mejoramiento de la eficiencia de los sistemas accionados por motores eléctricos. El estudio revela que América Latina presenta un atraso considerable en la implementación de las normas de clasificación y métodos de ensayo de la eficiencia de motores eléctricos, más ampliamente usadas en el mundo: IEC 60034-30:2008, IEC 60034-2-1:2007, IEEE 112:2004 y EPAct'92, con respecto a los países de la Unión Europea, Estados Unidos, China, Australia, y otros países desarrollados, en los cuales estas normas han sido adoptadas. Así mismo, se evidencia en la región la ausencia de programas enfocados al mejoramiento de la eficiencia energética de los motores eléctricos y un limitado número de laboratorios acreditados, que permitan evaluar su eficiencia, lo cual conduce a la mayoría de los países Latinoamericanos a establecer acuerdos de reconocimiento mutuo para tal fin.

**Palabras clave**

Sistema motor eléctrico, normas de eficiencia energética, acuerdos multilaterales, laboratorios de ensayo.

**Abstract**

In Colombia the regulatory process regarding the energy efficiency of end-use products is emerging with the draft technical regulation product labeling RETIQ, which includes in Annex E, the test methods for determining the efficiency of motors alternating current induction. The goal of this paper is to compare the energy efficiency of induction motors between the countries of Latin America and the countries of the major economies of the globe, considering four aspects: the current state of classification standards and test procedures of induction motors efficiency, multilateral agreements of mutual recognition, the infrastructure to conduct tests of the standard and support programs to improve the efficiency of electric motor-driven systems. The study reveals that Latin America is a considerable delay in the implementation of classification standards and methods for testing the efficiency of electric motors, most widely used in the world: IEC 60034-30:2008, IEC 60034-2-1: 2007 IEEE 112:2004 and EPAct'92, with respect to the countries of the European Union, United States, China, Australia, and other developed countries, in which these standards have been adopted. Furthermore, the region is evident in the absence of programs focused on improving the energy efficiency of electric motors and a limited number of accredited laboratories to evaluate their efficiency, which leads to most Latin American countries to establish agreements mutual recognition for this purpose.

**Keywords**

Electric motor driven system (EMDS), energy efficiency standards, mutual recognition agreements, testing laboratories.

## 1. INTRODUCCIÓN

A raíz de la crisis energética de los años 70' del siglo XX, del progresivo cambio climático y del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la eficiencia energética se convirtió en una preocupación mundial, motivando a los gobiernos a trazar políticas y regulaciones que propendan por el mejoramiento de la calidad y la eficiencia del suministro energético. En la matriz energética, la energía eléctrica prevalece sobre otras formas de abastecimiento de energía, siendo esencial para el desarrollo industrial de los países y el bienestar de la sociedad. La energía eléctrica involucra un campo de aplicación muy amplio: producción, transmisión, distribución y uso final de la energía; en éste último, el motor de inducción desempeña un rol preponderante, siendo calificado en el contexto mundial, como un elemento fundamental en la cadena productiva y un objetivo clave para el ahorro energético.

La literatura reciente propone que en el estudio de la eficiencia energética del motor eléctrico se involucre la eficiencia de los dispositivos asociados a su desempeño, y se analice el conjunto como un sistema, y no como elementos independientes. Este concepto definido comúnmente con el acrónimo EMDS (Electric Motor Driven System), describe la eficiencia del “Sistema Motor Eléctrico – EMS” de manera integral, la cual se compone de la eficiencia del motor eléctrico, la eficiencia del variador de frecuencia, la eficiencia del transformador, la corrección del factor de potencia y la eficiencia de los componentes mecánicos (engranaje, freno, embrague, transmisión, etc.) (Walde & Brunner, 2011; De Keulenaer, *et al.*, 2004; Fleiter, *et al.*, 2011). Otros autores (Falkner & Holt, 2011), proponen un plan de trabajo para desarrollar una política de oportunidades de mejoramiento de la eficiencia energética del Sistema Motor Eléctrico. En este contexto, es evidente que un componente del Sistema Motor Eléctrico que opere ineficientemente, producirá un efecto negativo en el desempeño global del EMS (Brunner, 2009). En este artículo se usarán los términos EMDS, EMS o “Sistema Motor Eléctrico” con el mismo significado.

Se estima que en aplicaciones industriales, solamente los motores de inducción consumen cerca del 70% de la energía eléctrica,

en el accionamiento de compresores, bombas, ventiladores y aplicaciones de tracción mecánica principalmente (CE, 2009; Boglietti, *et al.*, 2003; Brunner, 2009; Walde & Brunner, 2011). Estudios publicados entre los años 2006 y 2011 (Ellis, 2007; Guardiola de Cabo; ECI, 2007; Brunner, 2007; Maruszczczyk, *et al.*, 2009; Bertoldi & Atanasiu, 2009; Almeida, *et al.*, 2009; Brunner, 2009; Mahla, 2009; Walde & Brunner, 2011), coinciden en que el EMS demanda entre el 43% y el 46% del consumo total de la electricidad mundial (Fig. 1). Este consumo se calculó en unos 6000 TWh en el 2005, y su aporte a la emisión de CO<sub>2</sub>, en aproximadamente 4400 Mt (alrededor del 16% de todas las emisiones relacionadas con la energía) (Walde & Harrington, 2011).

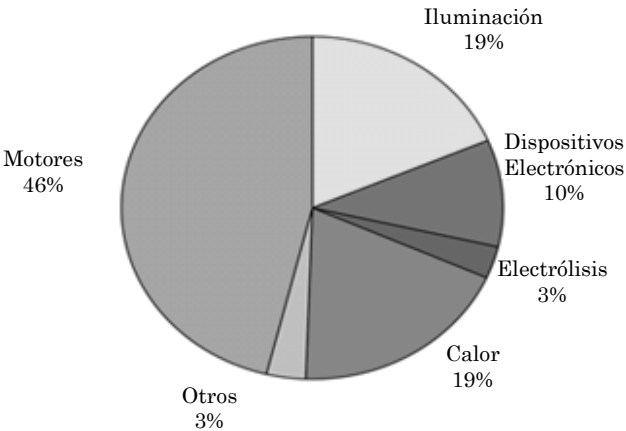


Fig. 1. Consumo de energía eléctrica, estimado por sector de utilización.  
Fuente: Brunner, 2012

Para el año 2010 el sector eléctrico representaba el 41% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Almeida, *et al.*, 2009). Aunque la emisión de gramos de CO<sub>2</sub> por kWh de electricidad producida, varía mucho entre los países y depende de la combinación de fuentes de energía utilizada para producirla, se pronostica que entre los años 2010 y 2030 la energía eléctrica demandada por el Sistema Motor Eléctrico se incrementará de 8360 TWh/año a 13360 TWh/año (aproximadamente un 63%), consecuentemente con el aumento de emi-

siones de CO<sub>2</sub> de 6040 Mt a 8570 Mt (aproximadamente un 75%) (Walde & Brunner, 2011; Maruszczuk, *et al.*, 2009; Kulterer & Werle, 2011).

Más aun, la demanda mundial de energía eléctrica consumida por el EMDS en el año 2009 fue calculada en 6919 TWh/año, clasificada por tamaño de motor, como se presenta en la Tabla 1, los motores pequeños (potencia entre 10 W y 750 W) representan aproximadamente el 90% de unidades existentes en el mundo, con dos billones de unidades instaladas y un consumo de 9% (632 TWh/año); los motores medianos (potencia entre 0.75 kW y 375 kW) con cerca de 230 millones de unidades instaladas en el mundo, consumen cerca del 68% (4676 TWh/año); y motores grandes (potencia mayor a 375 kW), con 0,6 millones de unidades, consumen cerca del 23% (1611 TWh/año) (Brunner, *et al.*, 2011). Estas cifras revelan que los motores medianos representan el mayor consumo de energía eléctrica y se constituyen en un objetivo clave para que las normas internacionales de eficiencia de motores eléctricos más aceptadas en el mundo (EU MEPS y EPAct) se enfoquen en esta clasificación de la eficiencia de los motores eléctricos (MEPS (*Minimum Efficiency Performance Standards* – Normas mínimas de desempeño de eficiencia de motores).

Tabla 1. Energía eléctrica demandada por motores de inducción.  
Fuente: Brunner, *et al.*, 2011

| All kinds of electric motors | Output size Pm (kW) |        |          | Number running stock | Electricity demand |          |
|------------------------------|---------------------|--------|----------|----------------------|--------------------|----------|
|                              | Min                 | Max    | Total GW | Million              | TWh/a              | fraction |
| Small                        | 0,001               | 0,75   | 316      | 2000                 | 632                | 9,1%     |
| Medium                       | 0,75                | 375    | 2182     | 230                  | 4676               | 67,6%    |
| Large                        | 375                 | 100000 | 450      | 0,60                 | 1611               | 23,3%    |
| Total                        |                     |        | 2948     | 2230                 | 6919               | 100%     |

Los párrafos anteriores ostentan la enorme importancia de los EMS en el uso final de la energía eléctrica. Por consiguiente, con el propósito de mejorar la productividad y sostenibilidad de las empresas, y de los sectores económicos y para aportar a la reducción

de GEI, es imperativo e inaplazable que los diferentes actores relacionados con los sistemas motorizados, sumen esfuerzos en su empeño de alcanzar los ahorros potenciales de energía eléctrica aprovechables en este sector, que se estiman son del orden del 20% al 30%, lo que reduciría la demanda total mundial de electricidad en un 10% (Kulterer & Werle, 2011; Almeida, *et al.*, 2008; Brunner & Borg, 2009; Walde & Brunner, 2011; McKane & Hasanbeigi, 2010; Goldstein & Tosato, 2008).

## **2. PANORAMA ACTUAL DE LAS NORMAS DE EFICIENCIA Y ACUERDOS DE RECONOCIMIENTO**

En el mundo globalizado, las normas internacionales proporcionan a las naciones un lenguaje común para facilitar el comercio, mediante la clasificación, la especificación y el etiquetado de los productos; establecen niveles de calidad de procesos y servicios; regulan los procedimientos de evaluación y certificación de productos y procesos; proporcionan a los países los medios para unir esfuerzos en la lucha contra el cambio climático; aseguran la intercambiabilidad y la interoperabilidad; y sirven de soporte a los gobiernos para legislar sobre la salud, la seguridad, el ambiente y la eficiencia energética. De esta manera, las Normas Internacionales crean confianza global (Wucherer, *et al.*, 2011).

### **2.1 Normas de Eficiencia Energética en América Latina y El Caribe**

Vastos estudios realizados entre los años 2004 y 2011 en materia de eficiencia energética en América Latina y El Caribe (AL&C), analizan la situación y las perspectivas de las acciones e instrumentos implementados para mejorar la eficiencia energética. Dichos estudios se han enfocado principalmente en cinco aspectos: los avances en el marco político, normativo e institucional; los actores-clave de la eficiencia energética y su rol efectivo; los recursos y mecanismos de financiación de los programas de eficiencia energética; los resultados de los programas; y en las lecciones aprendidas, (Carpio, *et al.*, 2010; SENER, 2010; Horta, 2010; Lutz,

2011, Guzmán, 2009; ENTE, S.C., 2010; McNeil, *et al.*, 2007; Ruchanski & Acquatella, 2010).

Examinando los informes de estos estudios, se observa que la mayoría de los países de la región tienen o han emprendido programas individuales, proyectos e iniciativas nacionales y han implementado leyes para mejorar la eficiencia energética (se destacan entre otros programas: PUREE y PAAEE en Argentina, PROCEL en Brasil, PROURE y CONOCE en Colombia, PRONACE en Costa Rica, CUREN en Chile, PAE en Ecuador, CONAE y FIDE en México, PREE en Perú, PAEC en Cuba, PESIC en Honduras y PEE en Uruguay). No obstante, estos programas presentan diversos enfoques en aspectos como: tamaño y conformación económica de los países, distribución poblacional, acceso a tecnología y a la información, acceso a financiamiento, desarrollo de instrumentos regulatorios, aspectos climáticos, culturales y sociales, (SENER, 2010). En este sentido, no se vislumbra que la región haya avanzado lo suficiente hacia una integración regional y mundial en el tema de eficiencia energética.

En estos informes, aparece como denominador común en la mayoría de los países: insuficiencia de normatividad; falta de control, coordinación y continuidad institucional con respecto al cumplimiento de la normatividad existente; escasas fuentes de financiamiento enfocadas a programas de eficiencia energética; bajo nivel de estímulos e incentivos para tecnologías y proyectos que favorezcan el uso racional y eficiente de la energía; y, ausencia de indicadores de logro de los programas nacionales de eficiencia energética. A pesar de que la región cuenta con la base de datos SIEE (Sistema de Información Económica Energética) y el SIEN (Sistema de Información Energética Nacional), ambos proyectos auspiciados por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la mayoría de los países no dispone de información confiable, sistemática y de buena calidad para monitorear los resultados de los programas de eficiencia energética. En este último aspecto, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), ha propuesto la creación por países de una Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE) para evaluar las actividades de eficiencia energética en la región, (Ruchanski & Acquatella, 2010; Horta, 2010; Horta, 2011).



Al respecto de las fuentes de información, valdría la pena que la región retomara la experiencia del proyecto de la Comisión Europea sobre indicadores de eficiencia energética ODYSSEE, que contiene, por un lado, los datos detallados sobre los factores de consumo de energía por uso final y sus sub-sectores y, por otra parte, la eficiencia energética y los indicadores relacionados con CO<sub>2</sub>. ODYSSEE ha desarrollado el software EuroDEEM con una completa base de datos europea de motores eléctricos eficientes (WEC, 2004).

En cuanto al etiquetado de los motores, Latinoamérica ha seguido las recomendaciones propuestas en el Programa de Colaboración en Etiquetado y Normas de Electrodomésticos (CLASP), (Wiel & McMahon, 2005); en la región se identifican siete sectores en los que se centran las políticas y programas de eficiencia, aplicadas al uso final de la energía eléctrica: iluminación, edificios, cogeneración, transporte, electrodomésticos, sistemas de bombeo y motores eléctricos. En las primeras seis categorías, la mayoría de los países de la región presentan avances muy valiosos; gran parte de los programas e iniciativas nacionales referenciadas en la anterior sección se han enfocado en promover la eficiencia energética en edificios públicos, iluminación eficiente, transporte y electrodomésticos; unos cuantos de ellos se han orientado al sector industrial, y más específicamente, a excepción de Brasil, México y Chile, los demás países de la región no han dedicado suficiente interés al mejoramiento de la eficiencia de los motores eléctricos (Ruchansky, *et al.*, 2011; Mahla, 2009); más aún, el concepto extendido en otras partes del mundo tendiente a considerar la eficiencia del motor eléctrico como un sistema integral, parece ser ignorado por muchos empresarios, ingenieros, académicos e investigadores en AL&C.

## **2.2 Normas de Eficiencia de Motores de Inducción en América Latina y El Caribe**

La eficiencia  $\eta$  de un motor de inducción se define como la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada (IEC, 2007; IEEE, 2004), como se especifica en (1):

$$\eta_{\%} = 100 \left( \frac{P_{SALIDA}}{P_{ENTRADA}} \right) = 100 \left( \frac{P_{ENTRADA} - \sum P_{PERDIDAS}}{P_{ENTRADA}} \right) \quad (1)$$

Los motores eléctricos de jaula de ardilla presentan cinco tipos de pérdidas: en el hierro, en el cobre del estator, en el cobre del rotor, por fricción y ventilación, y pérdidas adicionales dependientes de la carga ( $P_{LL}$ ). (Quispe & Castrillon, 2008; IEC, 2009). Por lo tanto, la eficiencia quedará determinada si se conoce alguna de las potencias, la de entrada o la de salida, y las pérdidas. El enfoque simplista para determinar la eficiencia directamente por medición de la potencia eléctrica de entrada con un vatímetro y potencia mecánica con un sensor de par, más la velocidad con tacómetro, puede conducir a grandes errores, especialmente para los motores de alta eficiencia, donde ambas potencias son grandes en comparación con las pérdidas del motor (Almeida, *et al.*, 2009).

La eficiencia del motor eléctrico implica dos conceptos: i) un procedimiento de prueba mediante el cual se puede calcular el rendimiento energético del motor, validado en un laboratorio de ensayos acreditado y ii) un límite establecido sobre el consumo de la energía, aceptado mundialmente como normas de desempeño energético mínimo (MEPS) (Wiel & McMahon, 2005). La Fig. 2 muestra un procedimiento resumido para certificar la eficiencia del motor eléctrico, bajo un esquema que asegure el cumplimiento de las *normas técnicas de procedimiento y de los métodos de ensayo* o la aceptación por medio de Acuerdos de Reconocimiento Mutuo (MRAs) o acuerdos Multilateral (MLAs), firmados por organismos de acreditación, previa evaluación de la conformidad de la competencia técnica del laboratorio que realiza las pruebas y emite el certificado; en cualquier caso, las pruebas para determinar la eficiencia del motor se deben realizar en un laboratorio de ensayos acreditado.

El mundo está cubierto de normas técnicas internacionales, regionales y nacionales de *clasificación, de procedimientos de prueba y de etiquetado de la eficiencia energética de motores de inducción*. Algunas de ellas son, internacionales: IEEE 112, IEC 60034-30, NEMA MG-1, Directiva Europea 640/2009; regionales: APEC, CEMEP, CROSQ, COPANT, CEN; y nacionales: AS/NZS 1359.5, NTC 5105, IRAM 62405, JSC4210-4212, CSA 390-10, NBR

17094-1, GB 18613, GB/T 1032, ABNT, NCh 3086, NOM 016 (Almeida, 2009; WEG, 2011; Maruszczuk, et al., 2009). En la Fig. 3 se muestran algunas de éstas normas y en la Tabla 2 se presenta un resumen de las clases de rendimiento más difundidas actualmente en el mundo.

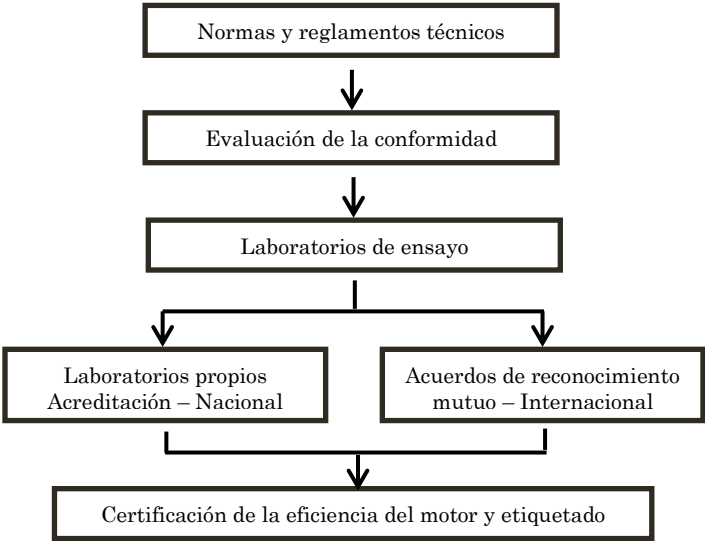


Fig. 2. Certificación de la eficiencia de motores eléctricos. Fuente: Autores

Así mismo, existen muchos acuerdos de reconocimiento mutuo internacionales MRAs/MLAs (PAC, APLAC, ILAC, IAF, IAAC, EA, SADCA, AFRAC, ARAC), para la evaluación de la conformidad y la certificación de laboratorios del cumplimiento de los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2005 (IEC, 2005), de su competencia técnica y de los requisitos del sistema de gestión, para que de forma consistente, los procedimientos y resultados de las pruebas sean técnicamente válidos y aceptados por los países adscritos a dichos acuerdos (WEC, 2004; Wiel & McMahon, 2005; Almeida, *et al.*, 2009).



Fig. 3. Principales acuerdos y normas de EE de motores eléctricos alrededor del mundo. Fuente: Domenech, 2009

Esta cantidad de normas diferentes de eficiencia de motores eléctricos, no favorece la comparación directa de indicadores de rendimiento, a la vez que obstaculiza el comercio de los motores eficientes en el mundo. La principal diferencia en las normas internacionales para la medición de la eficiencia del motor de inducción, radica en la forma de calcular las pérdidas adicionales dependientes de la carga, pues son mucho más complejas de determinar y la forma de cuantificarlas ha suscitado un intenso debate durante décadas (Glew, 1998; Boglietti, *et al.*, 2004; Yamazaki & Haruishi, 2004; Bradley, *et al.*, 2006; Aoukadi & Binder, 2008; Gómez, *et al.*, 2008; Agamloh, 2010).

En ese sentido, la Comisión Electrotécnica Internacional IEC, ha trabajado en conjunto con NEMA, CEMEP, JEMA, IEEE y otras organizaciones internacionales, para armonizar las normas de procedimientos y métodos de ensayo, las clases de eficiencia y el posterior etiquetado del motor, en aras de reconocer los motores de alta eficiencia en el mercado. Como resultado de ello, en muchos países del mundo se ha adoptado un esquema de clasificación de la eficiencia (IEC 60034-30:2008) y de métodos de ensayo (IEC 60034-2-1:2007) para motores eléctricos y sus correspondientes

normas americanas EPAct, MG-1 (Eficiencia Premium y Alta Eficiencia, clasificación) y las normas NEMA, IEEE 112B, (métodos de ensayo) (Almeida, *et al.*, 2009).

Tabla 2. MEPS y Normas de clasificación y método de ensayo de la eficiencia de motores eléctricos. Fuente: Brunner, *et al.*, 2011

| Efficiency Levels 3-phase induction motors | Efficiency Classes     | Testing Standard  | Performance Standard  |
|--|------------------------|---|-----------------------|
|  | IEC 60034-30           | IEC 60034-2-1   | Mandatory MEPS****    |
|  | Global classes IE-Code | incl. stray load losses   | National Policy Goal  |
|  | 2008; rev. 2012 *      | 2007; rev. 2012 **  |                       |
| Super Premium Efficiency                   | IE4                    |   |                       |
|  |                        |   | Canada                |
|  |                        |   | Mexico                |
|  |                        |   | USA                   |
|  |                        | Preferred Method  | Europe*** 2015 / 2017 |
|  |                        |   | Australia             |
|  |                        |   | Brazil                |
|  |                        |   | China                 |
| High Efficiency                            | IE2                    | Summation of losses with load test: P <sub>LL</sub> determined from residual loss | Europe                |
|  |                        |   | South Korea           |
|  |                        |   | New Zealand           |
|  |                        |   | Switzerland           |
|  |                        |   | Costa Rica            |
| Standard Efficiency                        | IE1                    |   | Israel                |
|  |                        |   | Taiwan                |

\*Sizes 0.12 kW- 800kW, 50 and 60 Hz  
\*\*For 3-phase machines, rated output power < 1 MW  
\*\*\*Europe 2015 (below 7.5 kW), 2017, IE3 or IE2 + Variable Speed Drive,  
\*\*\*\*Minimum Energy Performance Standard

El estándar IEC 60034-30:2008 define las clases IE1 (Eficiencia Estándar), IE2 (Alta Eficiencia), IE3 (Eficiencia Premium), para motores de inducción trifásicos de 0,75 kW a 375 kW, 50/60 Hz, hasta 1000 V, de 2, 4 y 6 polos. Se tiene previsto un cronogra-

ma para la entrada en vigor de estas clases de eficiencia como se indica en la Tabla 2: IE3 (Eficiencia Premium), obligatoria en USA (2010), Canadá (2010), México (2010), EU (2015-2017); voluntaria en Japón (2015); IE2 (Alta Eficiencia), obligatoria en Australia ANZ (2006), Corea (2008), Brasil (2009), China (2011), EU (2011), Taiwán (2013) y voluntaria en la India (2011); e IE1 (Eficiencia Estándar), actualmente vigente en muchos países de Latinoamérica, Asia y África.

El estándar IEC no tiene en cuenta el concepto de Sistema Motor Eléctrico, sin embargo la publicación de la norma revisada, se tiene prevista para el 2012 (IEC/TS 60034-31), y lo más probable es que se incluyan todas las clases de motores (0,12kW a 800kW, de 2, 4, 6 y 8 polos, y los motores de imán permanente), también es probable que la clasificación de la eficiencia se extienda a IE4 (Eficiencia Super Premium), y deja la posibilidad de incluir en un futuro la clase IE5 (Eficiencia Ultra Premium), que en la actualidad todavía no está disponible (IEC, 2009; Brunner, 2007; Hugh & Holt, 2011; Almeida, 2010). En la Tabla 3 se presentan otras actualizaciones y normas suplementarias, que por primera vez tienen en cuenta la eficiencia energética total del Sistema Motor Eléctrico, al reconocer el motor, el variador de frecuencia, el equipo accionado (bombas, ventiladores, compresores, transportadores, etc.), como un sistema unificado.

Adversamente, mientras el mundo se mueve gradualmente a la utilización de motores de Alta Eficiencia, y Eficiencia Premium, como se aprecia en la Tabla 2, en la mayoría de los países de AL&C los adelantos en materia de eficiencia energética de motores eléctricos no son muy satisfactorios y presentan retrasos considerables respecto a los países desarrollados. En la literatura consultada, solo se encontró una iniciativa regional del comité técnico CT 52-005 de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), el cual ha propuesto una norma bajo el título “Eficiencia energética. Motores eléctricos de inducción trifásicos. Determinación del rendimiento y del factor de potencia”; esta norma actualmente se encuentra en la fase de votación y no ha sido aceptada aún por los ONN de la región (COPANT, 2011; Yaksic, 2011).

Tabla 3. Panorama actual de la norma IEC. Fuente: Brunner, *et al.*, 2011

| Descripción            | Norma         | Título   | Año de publicación            | Motores cubiertos   |
|------------------------|---------------|--|-------------------------------|---|
| Evaluación y desempeño | IEC 60034-1   | Rating and performance   | 2010                          |   |
|                        | IEC 60034-2-1 | Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles) | 2007 (en proceso de revisión) | Motores estándar (AC, DC y sincrónicos)                             |
| Pruebas de eficiencia  | IEC 60034-2-2 | Specific methods for determining separate losses of large machines from tests- Supplement to IEC 60034-2-1   | 2010                          | Motores especiales y motores de gran potencia                       |
|                        | IEC 60034-2-3 | Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC motors                       | 2011 (borrador)               | Motores con convertidor   |
| Clases de eficiencia   | IEC 60034-30  | Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE-code)                             | 2008 (en proceso de revisión) | Motores de inducción de 0.75 kW a 375 kW; 2, 4, 6 polos; de 50/60Hz |
| Guía de aplicación     | IEC 60034-31  | Selection of energy-efficient motors including variable speed applications - Application guide               | 2010                          | Motores y variadores de frecuencia                                  |

Adversamente, mientras el mundo se mueve gradualmente a la utilización de motores de Alta Eficiencia, y Eficiencia Premium, como se aprecia en la Tabla 2, en la mayoría de los países de AL&C los adelantos en materia de eficiencia energética de motores eléctricos no son muy satisfactorios y presentan retrasos considerables respecto a los países desarrollados. En la literatura consultada, solo se encontró una iniciativa regional del comité técnico CT 52-005 de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT), el cual ha propuesto una norma bajo el título “Eficiencia energética. Motores eléctricos de inducción trifásicos. Determinación del rendimiento y del factor de potencia”; esta norma actualmente se encuentra en la fase de votación y no ha sido aceptada aún por los ONN de la región (COPANT, 2011; Yaksic, 2011).

En la Tabla 4 se muestran las normas de eficiencia energética de motores de inducción trifásicos en AL&C. La mayoría de ellas poseen un título similar (“Eficiencia Energética. Motores de corriente alterna, trifásicos de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, métodos de prueba y etiquetado”), y hacen referencia o citan textualmente el contenido de una norma internacional o parte de los datos técnicos de ella, cumpliendo con los principios establecidos en el anexo 3 del acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio de la Organización Mundial del Comercio (código de buenas prácticas para la elaboración, adopción y aplicación de normas técnicas (ISO, 2010), por lo tanto, su aplicación en cada nación es reconocida internacionalmente.

Antes de la actualización del estándar IEC en 2007 (métodos de ensayo) y 2008 (clasificación de la eficiencia), Colombia se destacaba en la región por tener normas para la eficiencia de motores por el método IEEE 112 (NTC 5111:2002), y por el método IEC 61972 (NTC 5293: 2004). Además Colombia actualmente tiene un proyecto de Reglamento Técnico de Etiquetado (RETIQ), que contempla en el anexo E, los métodos para determinar la eficiencia energética de motores de inducción trifásicos. El RETIQ fue notificado a la OMC el 10 de febrero de 2010, mediante el comunicado G/TBT/N/COL/143, y se espera que entre en vigencia en el 2012.

### **2.3 Laboratorios de Ensayo Acreditados en América Latina y El Caribe**

En la intensa búsqueda de información en las bases de datos disponibles en los Organismos de Acreditación Nacionales de los países de AL&C, y en entidades internacionales de acreditación, como IAAC (Interamerican Accreditation Cooperation) y en ILAC (Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios), se encontró un número reducido de laboratorios de ensayo de la eficiencia de motores de inducción acreditados: dos en Argentina, tres en Brasil, cinco en México y uno en Perú, en los demás países entre de ellos Colombia, no se encontraron laboratorios acreditados bajo un estándar internacional para determinar la eficiencia de motores (véase la Tabla 5).



Tabla 4. Normas de eficiencia energética de motores de inducción trifásicos en AL&C. Fuente: Organismos de Normalización Nacional (ONN) de cada país, 2011

| País       | Norma                       | Estado  | Norma de Referencia                                   |
|------------|-----------------------------|---|---|
| Argentina  | IRAM 62405                  | Emitida, vigencia: 15/7/2010  | IEC 60034-2-1;<br>IEC 60034-30                        |
| Brasil     | ABNT NBR 17094-1:2008       | Published: 12/12/2002 Em vigor  | IEC 60034-1   |
|            | NBR 5383-1:1999 (ABNT 1999) | Em vigor  | IEC 60034-1   |
| Chile      | NCh3086.Of2008              | Published:2009 Effective:2011   | IEC 60034-1;<br>IEC 60034-2-1;<br>IEC 60034-5         |
| Colombia   | NTC 3477                    | Ratificada: 2008-12-10  | IEC 60034-2-1:2007                                    |
|            | RETIQ, Anexo D              | Proyecto de Reglamento Técnico julio 08 de 2010.  | NTC 3477;<br>IEC 60034-2-1                            |
| Costa Rica | INTE 28-01-10-08            | Aprobada y publicada octubre, 2008.   | COPANT 152-005: Clases de eficiencia                  |
|            | INTE 28-01-11-08            | Aprobada y publicada octubre, 2008.   | COPANT 152-005: Etiquetado                            |
|            | INTE 28-01-12-08            | Aprobada y publicada octubre, 2008.   | COPANT 152-005: Métodos de prueba                     |
| Cuba       | NC 719                      | Vigente desde 2009  | ISO 15550: 2006                                       |
| Ecuador    | NTE 2498:2009               | Publicación: 2009-06-16<br>Aprobación: 2009-02-27   | NTC 5105;<br>NTP 399.450;<br>IRAM 62405               |
| Honduras   | NHN 5:2008                  | Publicada el 17 diciembre, 2009   | No disponible   |
| México     | NOM-016-ENER-2010           | 2010-10-20  | CAN/CSA C390<br>IEEE 112                              |
| Nicaragua  | NTON 10 007-08              | Publicación el 10 Marzo, 2010   | NOM-016: 2002;<br>CSA C390;<br>IEEE 112;<br>NEMA MG 1 |
| Perú       | NTP 399.450:2008            | Publicada: 2008-12-17   | IEC 60034-2-1:2007                                    |
|            | NTP IEC 60034-2-1:2010      | Publicada: 2010-03-2  | IEC 60034-2-1:2007                                    |
| Salvador   | NSO 29.47.02:08             | Publicada en el DO, 22 enero, 2009. En vigencia a partir de Agosto, 2009.<br>Bajo consideración | NOM-016: 2002;<br>CSA C390;<br>IEEE 112;<br>NEMA MG 1 |
| Uruguay    | UNIT 1192:2010              | Aprobada noviembre de 2010 y por el Comité General de Normas el 15 de diciembre de 2010         | IEC 60034-1: 2010<br>IEC 60034-2-1: 2007              |
| Venezuela  | COVENIN 862:1976            | En estudio  | ---   |

Tabla 5. Laboratorios de ensayo de la eficiencia de motores, acreditados en AL&C. Fuente: Organismos de Acreditación de los países; ILAC, IAAF, actualización 2011

| País       | Laboratorio/<br>Institución  | Especificaciones/<br>Pruebas  | Norma   |
|------------|--|---|---|
| Argentina* | Instituto Argentino de Ensayos de Verificación S.A. IADEV  | Ensayos de etiquetado de eficiencia. IEC 60034-2-1: 2007 Sólo cláusulas 5.7, 6.4.2, 6.4.4.1, 6.4.4.2, 6.4.5.3, 8.2.2.1, 8.2.2.2, 8.2.2.3, 8.2.2.4 y 8.2.2.5.1   | IEC 60034-2-1: 2007   |
|            | Lenor SRL  |   | IEC 60034-2-1: 2007   |
| Brasil     | Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE/USP                      | ABNT NBR 17094-1:2008 Máquinas eléctricas girantes - Motores de indução Parte 1: Trifásicos establece los requisitos mínimos para motores de indução trifásicos.  | ABNT NBR 17094-1;   |
|            | CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica  | ABNT NBR 5383-1:2002 ensaios aplicáveis para a determinação das características de desempenho de motores de indução trifásico e verificação   | ABNT NBR 5383-1;  |
|            | Labelo Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul                                     |   | ABNT NBR 5110   |
| México     | Laboratorio de Pruebas ANCE, A.C. México   | NOM-016-ENER Eficiencia Energética en Motores trifásico hasta 5 C.P. (H.P.)   | NOM-014-ENER-2004   |
|            | GEIMM Ultra Test Lab., Monterrey García, NL 66000, México  | IEEE 112, Method B Electric Motor Efficiency - Input-Output with Loss Segregation (for accreditation purposes, equivalent to CSA C390, Method 1)  | IEEE 112-B;<br>CSA C390, Method 1                           |
|            | Siemens, S.A. de C.V. Laboratorio de Pruebas PEM-LAB   | 1) Pruebas para determinación de eficiencia energética para certificación de producto ante ANCE bajo NOM-014 y NOM-016. 2) Determinación de eficiencia energética para motores eléctricos de inducción jaula de ardilla, norma Canadiense (C390 de CSA), norma oficial Mexicana NOM-014 (monofásicos) y NOM-016 (trifásicos), IEEE-112 método B), vigentes. | NOM-014-ENER-2004;  |
|            |  |   | NOM-016-ENER-2010;  |
|            | USEM de México, S.A. de C.V., Apodaca NL 66600, MEXICO   | Prueba de eficiencia de motores eléctricos según el alcance y los procedimientos dados en el método B del instituto del estándar 112, (IEEE); Método de prueba para los motores de inducción y los generadores polifásicos, y método 1 de la asociación canadiense de los estándares (CSA) C390 estándar  | NOM-016-ENER-2010;<br>IEEE 112-B;<br>CSA C390, Method 1     |
|            | WEG de México, S.A. de C.V. Laboratorio de Pruebas de Media Tensión                              | Determinación de la eficiencia por métodos A, B, E1, F1   | NOM-016-ENER-2010;<br>NMX-J-075/3-1994-ANCE;<br>IEE112-2004 |
| Perú       | FIEE: Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Nacional de Ingeniería de Lima | Motores Generadores, Motores AC/DC. Prueba de Vacío; Prueba con Carga; Prueba de Torque Velocidad; Prueba de Eficiencia; Medición de la Resistencia de Aislamiento y bobinados; Prueba de Tensión Aplicada; Pruebas de Tensión Inducida (2 VN, 2 FN).   | NOM-016-ENER-2010;  |

\*Lenor SRL cuenta con filiales con alcance de certificación en China: Lenor Asia Ltd., Chile: Lenor Chile Ltda., y Colombia: Lenor Colombia SAS.

Es sorprendente que después de cuatro años de haberse promulgado el estándar IEC-60030-2-1 y que a pesar de que los organismos de normalización y acreditación nacionales, los investigadores, y el sector industria, reconozcan la importancia de la acreditación de laboratorios de prueba; hayan realizado campañas y programas de capacitación; los gobiernos hayan avanzado en legislación; entre otras actividades referentes a la eficiencia energética de motores eléctricos, aun la región no esté suficientemente preparada para enfrentar el reto de certificar localmente la eficiencia energética de motores de inducción, mediante un número adecuado de laboratorios de ensayo acreditados. Por consiguiente, la gran mayoría de los países de la región están obligados a confiar en los datos de la placa de características del motor y en la documentación técnica de los mismos, y a establecer acuerdos MRAs/MLAs, con laboratorios extranjeros de ensayo de motores que estén acreditados.

### **3. PROGRAMAS DE APOYO A LA EFICIENCIA DEL SISTEMA MOTOR ELÉCTRICO**

La Unión Europea, Estados Unidos, Canadá, China y Australia, llevan la delantera en la implementación de programas y proyectos nacionales y regionales para el mejoramiento de la eficiencia del Sistema Motor Eléctrico. Ejemplo de ello son las conferencias especializadas en el tema, EEMODS (International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems) y MDS (The Motor Driven Systems Conference) inaugurada en noviembre del año pasado. EEMODS, con una amplia trayectoria, (Lisboa 1996, Londres 1999, Treviso 2002, Heidelberg 2005, Beijing 2007, Nantes 2009 y Washington 2011) ha tenido mucho éxito en congregar expertos internacionales y público interesado en el tema, incluyendo políticos, fabricantes de motores, académicos y usuarios finales de EMDS, (Bertoldi & Atanasiu, 2009). Desde hace cerca de quince años, se entablaron acuerdos regionales negociados en muchas partes del mundo en relación a las clases de eficiencia de motores de inducción trifásicos de jaula de ardilla, algunos de los más destacados se describen a continuación.

### 3.1 El Acuerdo EU CEMEP

Este acuerdo voluntario entró en vigor en el año 2000 y cobijaba a motores normalizados IEC 60034, con potencias comprendidas entre 1,1 kW y 90 kW, de 2 y 4 polos y tensión de 400V–50Hz, de acuerdo al estándar IEC 60034-2:1996 y tuvo vigencia hasta noviembre de 2010. Este acuerdo clasificaba los motores en tres categorías de rendimiento EFF1 (alto rendimiento), EFF2 (rendimiento mejorado) y EFF3 (bajo rendimiento) y dentro de estas categorías los valores nominales de rendimiento en función del número de polos y del tamaño IEC que el motor debía cumplir. El 22 de julio de 2009 la Comisión Europea publica el reglamento 640/2009 para aplicar la directiva 2009/125/CE, la cual incluye los motores eléctricos en el programa de diseño ecológico (Eco-Design), y establece un calendario para la puesta en marcha del nuevo acuerdo EU MEPS.

### 3.2 El Acuerdo EU MEPS

European Minimum Efficiency Performance Standards (Normas Mínimas de Desempeño de Eficiencia), sobresale como uno de los acuerdos más importante en materia de eficiencia energética de motores de baja tensión. Este acuerdo especifica el límite mínimo de eficiencia que debe cumplir un motor de inducción trifásicos (de 2 a 6 polos y de 0,75 kW a 375 kW) para ser incluido en el mercado europeo. Los fabricantes deben marcar en forma permanente la clase de rendimiento IE (International Efficiency) y la eficiencia en la placa de características del motor y en la documentación técnica de los mismos. MEPS se fundamenta en las nuevas normas IEC 60034-2-1: 2007 e IEC 60034-30: 2008, entrará en vigor en tres fases a partir del 2011. Esta norma clasifica de menor a mayor los motores en cuatro categorías: IE1, IE2, IE3 e IE4, (véase la Tabla 2).

### **3.3 El Programa TOPMOTORS**

Es un programa de la Oficina Federal de Energía de Suiza (S.A.F.E), enfocado al mejoramiento de la eficiencia de EMS, cuyo objetivo principal es la difusión de información, servicios de asesoramiento, entrenamiento en buenas prácticas y auditorías. TOPMOTORS coordina cada dos años la conferencia internacional “Motor Summit”, que enfatiza en el tema de laboratorios de ensayo de motores eléctricos (Kulterer & Werle, 2011).

### **3.4 El Programa 4E-EMSA (Electric Motor Systems Annex-EMSA)**

Fue establecido en el año 2008 como parte del Acuerdo Efficient Electrical End-Use Equipment–4E, de la Agencia Internacional de Energía. EMSA se centra en la mejora de la eficiencia del motor considerado como un sistema: el motor eléctrico acoplado a los equipos que acciona, como bombas, ventiladores, compresores, equipos auxiliares, como variador, freno, correas de transmisión y engranajes. Su objetivo es aumentar la eficiencia energética del EMDS de 20% a 30% en los próximos 20 años. La tarea C de EMSA, denominada: Centros de Prueba de Motores (*The Task Testing Centres*), inició a principios de 2009, y al día de hoy tiene más de 70 miembros en cerca de 25 países en los cinco continentes. La meta de este trabajo es incrementar la calidad de los laboratorios de ensayo de motores eléctricos en todo el mundo, implementando redes entre laboratorios de diferentes países (Leonardo Energy, 2009). Se espera que los logros de este trabajo faciliten un diálogo entre una selección de laboratorios experimentales para desarrollar mejores prácticas y procedimientos del nuevo estándar IEC 60034-2-1. Australia es el líder en esta tarea y otros participantes incluyen a Dinamarca, Suiza y Sudáfrica (Werle, *et al.*, 2011).

### **3.5 Round Robin Test**

Es un proyecto impulsado por la IEC para determinar la variación de la eficiencia de motores eléctricos reportada por diferentes

laboratorios de prueba en todo el mundo. Más específicamente, se espera que los resultados del “Round Robin Test” ayuden a estimar con mayor precisión el nivel de incertidumbre de los métodos de prueba de motores eléctricos, los datos suministrados por los laboratorios para evaluar las desviaciones de las mediciones de los ensayos y a definir la precisión de la instrumentación. Participaron 13 laboratorios de 12 países (dos de Brasil), y se realizaron 68 pruebas; los resultados de este trabajo se tendrán en cuenta para mejorar y optimizar los procedimientos de prueba, para estandarizarlos en la norma IEC 60034-2-1 y para revisar los límites de tolerancia de la norma IEC 60034-1 (Hatch, *et al.*, 2009; IEC, 2011).

### **3.6 El Acuerdo de la Unión Europea “Motor Challenge” (MCP)**

Es un programa voluntario promovido por la Comisión Europea en febrero de 2003 para ayudar a las empresas a mejorar la eficiencia energética de los sistemas accionados por motores eléctricos. Esencialmente se centra en las cargas donde se ha observado mayor potencial de ahorro de energía, como compresores de aire, ventiladores y sistemas de bombeo (Kulterer & Werle, 2011).

### **3.7 Nema *premium***

La Ley de Política Energética de 1992 (EPA92) impuso los MEPS para motores de 1-200 hp, 60 Hz, 2, 4 y 6 polos (clase IE2). EPA92 entró en vigor en 1997 y desde entonces se ha constituido en un líder mundial de MEPS para motores eléctricos, identificando siete pasos comunes a todas las implementaciones de MEPS, i) definiciones y productos cubiertos (MG1); ii) los niveles nominales de eficiencia (tabla 12-11 de MG1); iii) las normas de procedimiento y métodos de ensayo (Estándar IEEE 112); iv) las normas de etiquetado; v) el proceso de acreditación de los laboratorios de ensayo; vi) cumplimiento, observancia y ejecución de informes (DOE y NEMA); y vii) el calendario de ejecución y revisión de la norma (DOE y NEMA), (Boteler, 2009), (NEMA, 2004). En 1993 NEMA incorporó los motores de 201-500 hp. En el 2001 EPA92 adoptó los niveles de eficiencia NEMA Premium (clase IE3) para

motores de 1-500 hp, 60 Hz, 2, 4 y 6 polos (Tabla 12-12 de NEMA MG1). El método B del estándar IEEE 112 es ampliamente reconocido por la precisión en la determinación de la eficiencia del motor, principalmente debido a que determina las pérdidas dependientes de la carga en forma indirecta (Agamloh, 2009). Otros programas internacionales que promueven el desarrollo de los EMDS, se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Programas de apoyo a la eficiencia de EMDS. Fuente: Almeida, et al., 2009

| País      | Nombre del programa   | Descripción  |
|-----------|---|--|
| Australia | Equipment Energy Efficiency (E3) Program  | MEPS; cumplimiento de pruebas de ensayo en laboratorios acreditados  |
| Austria   | KLIMA:AKTIV Energy Efficient Companies Program  | Formación de auditores de energía directrices de auditoría de los sistemas motor (sistemas de aire comprimido, ventiladores, bombas), la plantilla para los informes de auditoría; premios, talleres, conferencias |
| China     | China Energy Label; China Energy Savings Program; China Motor System Market Transformation Program; Motor Systems Challenge | MEPS; etiquetado, programa de laboratorios acreditados   |
| Sweden    | Programme for Improving Energy Efficiency in Energy Intensive Industries  | Auditoría energética, recomendación de compra (costo de ciclo de vida del motor); informes sobre la gestión de la energía  |
| USA       | Motor Systems Initiative; Motor Decisions Matter (MDM); Compressed Air Challenge; Green Motor Initiative                    | Foro para los miembros, campañas de concientización buenas prácticas, capacitación   |
|           | Motor Challenge Program; Save Energy Now, LEADER  | Información, capacitación, conferencias, buenas prácticas, herramientas de software libre; apoyo al sector público; documentos y guías técnicas, evaluaciones  |

Por su parte, en AL&C existen programas generales de carácter regional enfocados al mejoramiento de la eficiencia energética, como el Programa de Energía Sostenible para el Caribe (CSEP), el Programa de Desarrollo de Energía Renovable del Caribe (CREDP), el Programa para América Latina y el Caribe de Eficiencia Energética (PALCEE), la Red Latino Americana y del caribe para la Eficiencia Energética (RED-LAC-EE), los diálogos políticos sobre eficiencia energética en AL&C, y los Seminarios Latinoamericanos y del Caribe de Eficiencia Energética, entre otros; algunos países como México, Brasil y Chile han impulsado programas en busca de la transformación del mercado hacia equipos más eficientes, mediante el estímulo con bonificaciones y subsidios a los usuarios de los sectores industrial, comercial y de servicios que consumiesen equipos más eficientes (electrodomésticos, edificaciones, iluminación y *motores eléctricos de alta eficiencia*), sin embargo en la literatura consultada no se encontró un solo programa dedicado específicamente a los motores de inducción y mucho menos a los EMDS.

#### 4. CONCLUSIONES

A partir del recorrido presentado en este artículo y en respuesta a la pregunta planteada en el título, se evidencia la gran importancia que tiene en el uso final de la energía eléctrica, el sistema motor eléctrico, EMDS, y también se pone de manifiesto un notable atraso que presenta la mayoría de los países de AL&C en la armonización de los estándares mínimos de desempeño energético MEPS, comparado con los estándares internacionales de clasificación de la eficiencia de motores eléctricos IEC 60034-30:2008 (IE1, IE2, IE3) y EPAc'92 MG-1 (Alta Eficiencia y Eficiencia Premium), los cuales, en los países de la Unión Europea, Estados Unidos, China, Australia, entre otros países desarrollados, ya se han implementado o han definido un calendario para su entrada en vigor.

El hecho de reconocer que los EMDS consumen cerca del 46% de la energía eléctrica mundial, consecuentemente con su aporte a la emisión de CO<sub>2</sub>, cifras valoradas en el año 2005 en unos 6000 TWh, y 4400 Mt respectivamente y considerando que el volumen



de motores eléctricos en todos los tamaños operando en diferentes aplicaciones, fue estimado en el año 2009 en 2200 millones de unidades aproximadamente, significa que si los países adoptan serias medidas conducentes a mejorar los índices de eficiencia de éstas máquinas, y promueven el uso de motores eléctricos de alta eficiencia y eficiencia Premium, se tendría un gran potencial de ahorro energético en este campo, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y generando un impacto económico–ambiental relevante para la región.

Aunque en AL&C existen programas que promueven el uso racional y eficiente de la energía eléctrica para los países de la región, y por su parte cada país ha emprendido programas, proyectos e iniciativas nacionales, como PUREE, PAyEE, PROCEL, PROURE, CONOCE, PRONACE, CUREN, CONAE entre otros, la mayoría de ellos se aplican de manera general a los dispositivos de uso final de la energía eléctrica, como iluminación, edificios, cogeneración, transporte, electrodomésticos, sistemas de bombeo y motores eléctricos, pero programas dedicados específicamente a fomentar el mejoramiento de la eficiencia energética de los motores eléctricos, o los EMDS, no se hallaron en esta investigación.

Posiblemente la dificultad más seria que afronta la mayoría de los países de AL&C para evaluar localmente la eficiencia de los motores eléctricos, es la carencia de laboratorios de ensayo acreditados bajo un estándar internacional como ISO/IEC 17025, y competentes para realizar las pruebas según el alcance y los procedimientos estipulados en las normas IEC 60034-2-1:2007 o NEMA, IEEE 112B. Según la búsqueda realizada en esta investigación, de un total de once laboratorios, ocho de ellos, que representan el 72,7% se encuentran en México y Brasil, los otros tres laboratorios se hallan en Argentina y Perú. En ese sentido, es claro que en la región existe un déficit de laboratorios de ensayo acreditados, que permitan determinar la eficiencia de motores eléctricos, bien sea de máquinas nuevas o que retornen a operación después de un mantenimiento o una reparación.

## 5. REFERENCIAS

- Agamloh, E. B. (2009). The repeatability of IEEE standard 112B induction motor efficiency tests. Electric Machines and Drives Conference, 2009. IEMDC '09. (págs. 1119 - 1126). Miami, USA: IEEE International.
- Agamloh, E. B. (2010). An evaluation of induction machine stray load loss from collated test results. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 46, No. 6, Nov/Dec, 2010, 2311-2318.
- AIE. (2010). Perspectivas sobre tecnología energética 2010\_IEA, escenarios y estrategias hasta el año 2050. Resumen ejecutivo. París, Francia: OCDE/AIE.
- Almeida, A. (2010). Standards for Super-Premium Efficiency Class for Electric Motors. Motor Summit 2010. Zurich, Switzerland.
- Almeida, A., Boteler, R., Brunner, C., Doppelbauer, M., & Hoyt, W. (2009). MEPS Guide 1st Edition. Zurich.
- Almeida, A., Boteler, R., Brunner, C., Doppelbauer, M., & Hoyt, W. (2009). MEPS Guide 1st Edition. Zurich.
- Almeida, A., Ferreira, F., Fong, J., & Fonseca, P. (2008). EUP Lot 11 Motors Final Report. Coimbra.
- Aoukadi, M., & Binder, A. (2008). Comparison of different evaluation methods to determine stray load losses in induction machines with Eh-Star method. Industry Applications, IEEE Transactions on, vol.44, No.6, nov-dec. 2008, 1675 - 1682.
- Bertoldi, P., & Atanasiu, B. (2009). Proceedings of the 6th International Conference EEMOODS 2009: Energy Efficiency in Motor Driven Systems. Nantes, France: European Communities, 2010.
- Boglietti, A., Cavagnino, A., Lazzari, M., & Pastorelli, M. (2003). International Standards for the Induction Motor Efficiency Evaluation: a Critical Analysis of the Stray-Load Loss Determination. Industry Applications Conference, 38th IAS Annual Meeting, 2, págs. vol.2, pp. 841- 848. Politecnico di Torino, Italy.
- Boglietti, A., Cavagnino, A., Lazzari, M., & Pastorelli, M. (2004). International standards for the induction motor efficiency evaluation: a critical analysis of the stray-load loss determination. IEEE Transactions on Industry Applications, vol.40, No.5, Sept.-Oct. 2004, 40(5), 1294-1301.

- Boteler, R. (2009). USA Motor Update 2009. Proceedings of the 6<sup>a</sup> International Conference EEMODS '09: Energy Efficiency in Motor Driven Systems (págs. 19 - 25). Nantes, FRANCE: JRC Scientific and Technical Reports.
- Bradley, K., Cao, W., & Arellano-Padilla, J. (2006). Evaluation of stray load loss in induction motors with a comparison of input-output and calorimetric methods. Energy Conversion on IEEE Transactions, vol.21, no.3, Sep, 2006 , 682-689.
- Brunner, C. U. (2007). SEEEM Update International harmonization of motor standards saves energy. En SEEEM (Ed.), APEC Workshop 3 December 2007, Beijing (revised July 2008). Beijing, China.
- Brunner, C. U. (2009). Global Motor Systems Network: The International Energy Agency 4E EMSA Project. En P. B. ATANASIU (Ed.), Proceedings of the 6<sup>o</sup> International Conference eemods '09: Energy Efficiency in Motor Driven Systems (págs. 3-13). Nantes, FRANCE: European Commission.
- Brunner, C. U. (2012). Efficient Electric Motor Systems. Stockholm, Swedish: EMSA.
- Brunner, C. U., & Borg, N. (2009). From voluntary to mandatory: policy developments in electric motors between 2005 and 2009. ECEEE 2009 SUMMER STUDY • ACT! INNOVATE! DELIVER! REDUCING ENERGY DEMAND SUSTAINABLY (págs. 1125-1138). La Colle sur Loup, France: ICE – International Consulting on Energy, Burgeap Group, L'Ile-Saint-Denis.
- Brunner, C. U., Waide, P., & Jakob, M. (2011). Harmonized Standards for Motors and Systems. Global progress report and outlook. 7th International Conference on Energy Efficiency in Motor Driven Systems 2011-EEMODS'11. Alexandria, VA: 4E Electric Motor Systems Annex EMSA, Operating Agent.
- Carpio, C., Coviello, M. F., Poveda, M., Horta, L., Peña, J., Gamarra, A., & Santana, B. (2010). Energy Efficiency in Latin America and the Caribbean: Situation and Outlook. Santiago, Chile: CEPAL/GTZ.
- CE. (22 de julio de 2009). Reglamento (CE) 640/2009. Requisito de diseño ecológico de motores eléctricos. Por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos . CE, Comunidad Europea, 23.7.2009 : Diario Oficial de la Unión Europea.

- COPANT. (2011). CT 152 Eficiencia energética, acta de reunión general. Caname, México: COPANT.
- De Keulenaer, H., Belmans, R., Blaustein, E., Chapman, D., De Almeida, A., De Wachter, B., & Radgen, P. (2004). *Energy Efficient Motor Driven Systems*. Brussels, Belgium: European Copper Institute.
- Domenech, L. D. (2009). *Eficiencia energética en accionamientos. Normativa, claves y herramientas de cálculo*. Galicia: Siemens.
- ECI. (2007). *Refined copper usage reached an all time record in 2007. Cooper annual report 2007*. Brussels, Belgium: European Copper Institute.
- Ellis, M. (2007). *Experience with energy efficiency regulations for electrical equipment*. Paris, France: International Energy Agency, OECD/IEA.
- ENTE, S.C. (2010). *Situación actual de la energía y eficiencia energética en América Latina*. México: Preparado por ENTE, S.C. (Energía, Tecnología y Educación) para la International Copper Association Latinoamérica.
- Fleiter, T., Eichhammer, W., & Schleich, J. (2011). *Energy efficiency in electric motor systems: Technical potentials and policy approaches for developing countries*. Viena, Austria: United Nations Industrial Development Organization - UNIDO.
- Glew, N. (1998). *Stray load losses in induction motors: a challenge to academia*. *Power Engineering Journal*, vol.12, no.1, Feb. 1998, 27-32.
- Goldstein, G., & Tosato, G. C. (2008). *Implementing Agreement for a Programme of Energy Technology Systems Analysis Annex X\_FinalReport*. International Energy Agency (AIE).
- Gómez, J., Quispe, E., de Armas, M., & Viego, P. (2008). *Estimation of induction motor efficiency in-situ under unbalanced voltages using genetic algorithms*. *Electrical Machines*, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference on, vol., no., pp.1-4, Sept. 2008.
- Guardiola de Cabo, L. (s.f.). *Análisis de la norma IEC 60034-2-1. Aplicación en la determinación de las pérdidas y el rendimiento de motores de inducción trifásicos*.
- Guzmán, O. (2009). *Eficiencia energética. Un panorama regional*. Buenos Aires, Argentina: Nueva Sociedad.

- Hatch, S., Slade, M., & Falkner, H. (2009). Testing Centres: Task of the IEA 4E EMSA Project. En B. A. Paolo BERTOLDI (Ed.), *Proceedings of the 6ª International Conference eemods '09: Energy Efficiency in Motor Driven Systems* (págs. 15-18). Nantes, FRANCE: JRC Scientific and Technical Reports.
- Horta, L. (2010). *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: CEPAL/GTZ.
- Horta, L. (2011). *Elementos-Clave de una política eficaz en eficiencia energética. II Dialogo Político sobre Eficiencia Energética*. Santo Domingo.
- Falkner, H. & Holt, S. (2011). *Walking the Torque: Proposed Work Plan for Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*. París, France: OECD/IEA.
- IEC. (2005). ISO/IEC 17025:2005. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. (Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración). Recuperado el 11 de octubre de 2011, de ISO—International Electrotechnical Commission: <http://www.iso.org/iso/home.html>
- IEC. (2007). INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Rotating Electrical Machines. Part - 2-1: Standard Methods for Determining Losses and Efficiency from Tests (Excluding Machines for Traction Vehicles) - IEC 60034-2-1:2007. Geneva, Switzerland.
- IEC. (2009). IEC 60034-31: Rotating electrical machines - Part 31. Geneva, Suiza: International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2011). Determination of efficiency induction motors from Test - Round Robin Test, 2/1628/INF. Geneva, Switzerland: IEC, Technical Committee No. 2: Rotating Machinery.
- IEEE. (2004). IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators - IEEE Std 112-2004. New York, USA.
- ISO. (2010). *Normas Internacionales y normas privadas*. COPANT.
- Kulterer, K. M., & Werle, R. (2011). *Motor Policy Guide, Part 1: Assessment of Existing Policies*. Zurich, Switzerland: 4E Electric Motor System-EMSA, Austrian Energy Agency, IEA, bmvit.
- Kulterer, K. M., & Werle, R. (2011). *Motor Policy Guide, Part 1: Assessment of Existing Policies*. Zurich, Switzerland: 4E Electric Motor System-EMSA, Austrian Energy Agency, IEA, bmvit.

- Leonardo Energy. (1 de sep de 2009). Testing Centres, Task of the IEA 4E Electric Motor Systems Annex (EMSA). Recuperado el 2011, de Leonardo energy - The Global Community for Sustainable Energy Professionals: <http://www.leonardo-energy.org/testing-centres-motor-efficiency>
- Lutz, W. F. (2011). Programas de Normas y Etiquetado de Eficiencia Energética de Artefactos y Equipos en Latinoamérica y el Caribe. ¿Armonización, Convergencia o Alineación? III Seminario Latinoamericano y del Caribe de Eficiencia Energética, (pág. 24). Ciudad de Panamá.
- Mahla A., I. (2009). Proyecto piloto de reemplazo de motores eléctricos en la minería de cobre - Chile. Santiago de Chile: Hernán Sierralta Wortsman - International Copper Association, Ltd.
- Maruszczyk, J., Lhenry, M., Helinko, M., & Korendo, Z. (03 de 2009). En armonía. Definición de normas mundiales de eficiencia energética. (A. A. Ltd., Ed.) Revista ABB, 50-55.
- Maruszczyk, J., Lhenry, M., Helinko, M., & Korendo, Z. (03 de 2009). En armonía. Definición de normas mundiales de eficiencia energética. (A. A. Ltd., Ed.) Revista ABB.
- McKane, A., & Hasanbeigi, A. y. (2010). Motor Systems Efficiency Supply Curves. Vienna, Austria: United Nations Industrial Development Organization (UNIDO).
- McNeil, M., Cava, M., Blanco, J., Quiros, K., & Lutz, W. (2007). Reference Document for MEPs en Central America. CLASP/BUN-CA.
- NEMA. (2004). NEMA Standards Publication ANSI/NEMA. MG 1-2003, Revision 1-2004. Motors and Generators. Rosslyn, USA: National Electrical Manufacturers Association.
- Quispe, E., & Castrillon, R. (2008). Análisis comparativo de los métodos indirectos propuesto en las normas IEC60034-2-1 y IEEE112 para determinar la eficiencia de motores de inducción. III Congreso internacional sobre URE, CIUREE 2008. Medellín, Colombia.
- Ruchanski, B., & Acquatella, J. (2010). Eficiencia energética y desarrollo sustentable: Una propuesta metodológica para la evaluación de las políticas públicas en eficiencia energética. III Seminario Latinoamericano Y del Caribe de Eficiencia Energética. Panamá.
- Ruchansky, B., de Buen, O., Januzzi, G., & Romero, A. (2011). Eficacia institucional de los programas nacionales de eficiencia energética: los

- casos del Brasil, Chile, México y el Uruguay. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- SENER. (2010). Reporte del Foro sobre Eficiencia Energetica y Acceso en America Latina y el Caribe. Organizadores: Secretaría de Energía de México (SENER), Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Ciudad de México: Secretaría de Energía de México, BID, Banco Mundial.
- Walde, P., & Brunner, C. (2011). Energy efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems. France: International energy agency-OECD/IEA.
- Walde, P., & Harrington, L. (2011). Success and CO2 Savings from Appliance Energy Efficiency Harmonisation Part2. London, UK: Collaborative Labeling and Appliance, (CLAPS).
- Walde, P., & Harrington, L. (2011). Success and CO2 Savings from Appliance Energy Efficiency Harmonisation. Part 2: An Assessment of Test Procedures and Efficiency Metrics. London, UK: Collaborative Labeling and Appliance, (CLAPS).
- WEC. (2004). Eficiencia Energética: Estudio Mundial. Indicadores, Políticas, Evaluación. Informe del Consejo Mundial de la Energía en colaboración con ADEME, Julio 2004. London, UK: World Energy Council.
- WEG. (2011). Políticas de Eficiencia Energética alrededor del mundo. Recuperado el 23 de octubre de 2011, de <http://www.weg.net/green/us/global-efficiency-regulations.html#>
- Werle, R., Brunner, C., Nielsen, S., Hatch, S., Falkner, H., Kulterer, K., & Klerck, R. (2011). Global effort for efficient motor systems: EMSA. EEMODs'11 Energy efficiency in motors driven systems. Alexandria, VA (USA): EMSA.
- Wiel, S., & McMahon, J. (2005). Energy Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment and Lighting (2 ed.). Washington, D.C., USA: Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP).
- Wucherer, K., Aleshin, B., & Touré, H. (2011). Mensaje del Día Mundial de la Normalización. 14 de octubre de 2011.
- Yaksic, F. (2011). PTB Workshop. Rio de Janeiro, Brasil: COPANT.
- Yamazaki, K., & Haruishi, Y. (2004). Stray load loss analysis of induction motor-comparison of measurement due to IEEE standard 112 and di-

rect calculation by finite-element method. IEEE Transactions on Industry Applications, vol.40, no.2, March-April, 2004, 543- 549.