

ESTUDIO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES ASINCRÓNICOS TRIFÁSICOS

Massa, Pablo Trepat, Juan M.

Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

Calle 48 y 116 - La Plata - Bs. As. Argentina.

juanmtrepat@gmail.com

Palabras claves: Eficiencia energética / Ensayos IEC 60034-2-1 / Motor asincrónicos trifásico.

RESUMEN

Los motores asincrónicos trifásicos (MATs) requieren del orden del sesenta por ciento o más del consumo anual de electricidad en la industria. Esto se observa en nuestro país y en numerosos países del mundo. Para conceptualizar la importancia de dicho consumo, basta considerar que durante el año 2015 en Argentina [1], el consumo total de energía eléctrica fue del orden de los 125000 GWh de los cuales el sector industrial requirió 50000 GWh.

Ante la necesidad de reducir el consumo de energía y la emisión de gases del efecto invernadero, los gobiernos de diversos países han establecido un conjunto de requisitos mínimos de eficiencia energética, también conocidos como MEPS (Minimum Energy Performance Standards) [2] para diversos tipos de equipos de empleo en ámbitos residenciales e industriales. Esto incluye a los motores eléctricos en general y de inducción trifásicos en particular.

Surge así la importancia de realizar estudios y ensayos para conocer en detalle el rendimiento de los MATs. Los cambios que, a partir de nuevos diseños y materiales en su construcción, introducen las mejoras tecnológicas aplicadas a estos motores eléctricos, son validados en lo comercial mediante el denominado “etiquetado de eficiencia energética” que las legislaciones de cada país consideran de cumplimiento obligatorio. Dicho proceso de etiquetado es, en definitiva, un proceso de Certificación de Productos por alguno de los sistemas que lo caracterizan (marca, tipo, etc.) y que siempre requieren la realización de ensayos siguiendo procedimientos normalizados en el ámbito nacional e internacional.

Dada la importancia de disponer de medios para el ensayo de los MATs, se realiza a continuación el estudio de un banco de pruebas caracterizado por su versatilidad, fácil operatividad y bajo consumo de energía durante las pruebas (regenerativo), que compensaría un posible mayor costo inicial del banco con beneficios económicos a largo plazo.

El banco propuesto utiliza un MAT, gemelo al motor a evaluar, funcionando como generador, siendo así la carga del Motor Bajo Ensayo (MBE).

Se realiza una breve descripción de los métodos normalizados de ensayos de motores eléctricos asincrónicos, se analiza el funcionamiento de la máquina asincrónica como generador, se presentan los componentes del banco de prueba propuesto y se describe un caso típico de operación del banco para la determinación de la eficiencia energética de un MAT.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con un cronograma específico, será obligatorio en la Unión Europea (UE), Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU), Brasil, China y otros países industrializados, la utilización de motores de alta y muy alta eficiencia. Para ello, como una forma de control y certificación, fabricantes y agencias gubernamentales deberán medir y etiquetar la eficiencia de los MATs, aplicando las normas que se indican en las siguientes referencias [3] [4] [5] [6].

En nuestro país está vigente la Disposición 230/2015 [7], de la secretaria de Energía de la Nación. La misma incorporara al régimen de certificación obligatoria la medición de eficiencia energética, con el fin de establecer, en tal sentido, niveles de eficiencia energética mínima o consumos de energía máximos para motores de inducción trifásicos de potencia nominal desde 0,75 kW (1 Hp) hasta 30 kW (40 Hp) inclusive. Para cumplimentar con dicha disposición, se adoptó la norma IRAM indicada en la referencia [8].

En la actualidad no existe una unificación mundial en la normativa que rige el proceso de medición de la eficiencia en MATs [9][10].

En particular, las normas internacionales IEC 60034-2-1[9] e IEC 60034-30-1 [10] establecen la forma de realizar el ensayo y la clasificación según su eficiencia de los motores de inducción trifásicos (MATs). Estas clasificaciones se denominan: IE1, E2, IE3, IE4. Nuestra norma nacional está en concordancia con esta normativa internacional

En la Fig. 1 se indican los valores de eficiencia para distintas potencias de salida de acuerdo a las diferentes clases de MATs de cuatro polos alimentados de una fuente de tensión eléctrica de 50Hz de frecuencia.

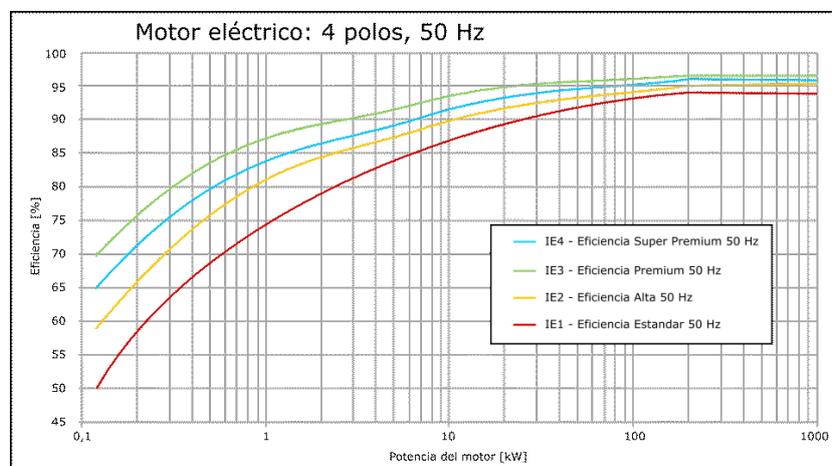


Figura 1. Eficiencia en función de la potencia para cada clase de MATs.

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE EFICIENCIA EN LOS MATs.

La eficiencia de un motor eléctrico está definida como la relación entre la potencia de salida (mecánica) y la potencia de entrada (eléctrica). La determinación de la eficiencia puede ser realizada mediante dos métodos: directo e indirecto.

El método directo consiste en la cuantificación de la potencia de salida mediante la medición de la cupla y de la velocidad en el eje de la máquina y la medición de la potencia eléctrica de entrada.

El método indirecto está basado en la determinación de cada tipo de pérdidas mediante la generación de sub-ensayos (separación de pérdidas). Las pérdidas totales son sustraídas de potencia de entrada, obteniéndose así la potencia de salida.

Cuando el alcance de las potencias de los motores a ensayar varía entre 0,75 a 30 kW, la norma IEC 60034-2-1 sugiere aplicar el método indirecto. Por el método de separación de pérdidas se determinarán las siguientes componentes: pérdidas en carga debido al efecto joule en el bobinado del estator y en las barras de la jaula de ardilla del rotor, pérdidas en el hierro, pérdidas por fricción y ventilación y pérdidas adicionales. Particularmente tres de los sub-ensayos requieren “cargar” al MAT y en consecuencia disponer de “bancos de ensayos” con “frenos” apropiados:

- Ensayo de temperatura a la carga asignada, consiste en hacer funcionar el motor con su carga nominal, alimentado con su tensión y frecuencia nominal hasta alcanzar su equilibrio térmico.
- Ensayo de curva de carga, se le aplican 6 niveles de carga, 25%, 50%, 75%, 100%, 125% y 150% de la carga nominal.
- Pérdidas adicionales, ensayo de curva de carga.

Tipos de “cargas” empleadas en los ensayos de motores eléctricos.

Para “cargar” los motores eléctricos se utilizan dispositivos que, en forma controlada, proporcionan la cupla resistente o de frenado. Se denominan en general “frenos” y según la acción por la cual ejercen la cupla resistente se los clasifica en mecánicos de fricción (Prony), hidráulicos (Froude), y eléctricos (generador dinamopéndulo, o de corrientes parásitas). A excepción del generador dinamopéndulo, que tiene la opción de reinyectar la energía a la red, los demás frenos disipan la energía mecánica aplicada en su eje.

BANCO PROPUESTO

Particularmente los sub-ensayos de “temperatura a la carga asignada” y de “curva de carga” requieren alcanzar, con el motor, cargado el equilibrio térmico, el cual, dependiendo de la potencia del MAT, y la cantidad de ensayos realizados en una jornada, se traduce en un desperdicio energético si se utilizan, como carga, frenos disipativos.

La capacidad de las máquinas asíncronas trifásicas de funcionar como motor o generador, de acuerdo a la velocidad relativa entre el eje y el campo magnético inducido, posibilita el uso de una MAT como freno. Una MAT opera como generador si la velocidad del rotor es mayor a la velocidad del campo rotante. Siendo la potencia de entrada, la potencia ejercida en su eje (por una máquina de impulso) y la potencia de salida la corriente eléctrica generada en el estator [11].

Una alternativa a los “bancos” convencionales, es la de usar un motor gemelo al que se va a ensayar como generador-freno (G-F). Utilizando un convertidor electrónico de potencia (CEP) que generen el G-F un campo rotante de velocidad menor a la del MBE, se desarrollará el par resistente necesario. El MBE y el G-F se acoplan mecánicamente con los medidores de cupla y velocidad electrónicos. En la Fig. 2 se muestra el esquema del banco propuesto.

Es posible optimizar, enérgicamente, los ensayos de eficiencia de MATs por cuanto se establece un flujo de potencia “circular” que utiliza energía de la red consumiendo únicamente las pérdidas del MBE, del G-F, de los CEP involucrados y las pérdidas en el acople mecánico, reinyectando lo restante a la red.

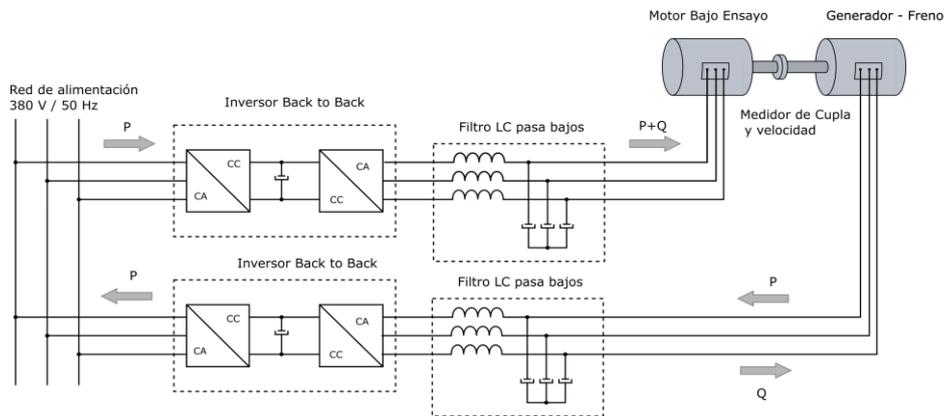


Figura 2. Esquema del banco de ensayo con flujo de potencia eficiente

De acuerdo a los requerimientos de los sub-ensayos, es necesario cargar al motor con varios estados de carga. Para esto es necesario, como primera característica, que el CEP tenga una resolución en frecuencia que permita generar campos rotantes, en el G-F, de velocidades cercanas. Siendo esto alcanzado por los CEP con control vectorial y encoders de alta resolución [12]. En la Fig.3 se muestra los distintos estados de carga del MBE impuesto por el G-F.

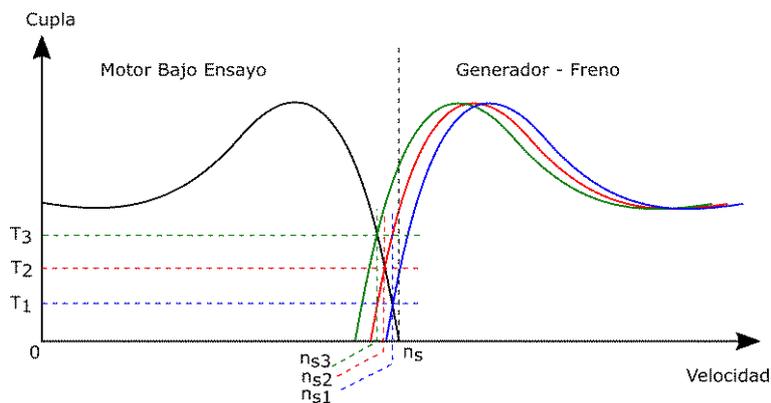


Figura 3. Motor y par resistente para distintos estados de carga.

La segunda característica que debe tener el CEP es la capacidad de operar en modo regenerativo. Esto es inyectar la potencia que entrega la salida del G-F a la red eléctrica. Esta característica lo logran los convertidores con topología Back to Back [13] [14], que son convertidores compuesto por dos inversores vinculados en su bus de continua. Esta topología permite controlar el flujo de potencia activa y reactiva de cada inversor en forma bidireccional, desacoplando los niveles de tensión y frecuencia que maneja cada inversor. Esto permite que el CEP absorba la potencia activa del G-F y la inyecta a la red y a la vez, entregue potencia reactiva al G-F.

CÁLCULOS DE FRECUENCIAS DE CAMPOS ROTANTES APLICABLES AL G-F

Se calculan para MATs de 0,75 kW y 30 kW de 4 polos de 50 Hz las frecuencias del campo a aplicar al G-F para opera satisfactoriamente, considerando que las características de las máquinas en la zona de funcionamiento de trabajo normal son idénticas y de variación lineal entre la cupla y la velocidad. En la tabla 2 se muestran los resultados.

Nº de polos	MOTOR	Estados de carga del MAT					
	Potencia [kW]	150%	125%	100%	75%	50%	25%
4	0,75	40,0 Hz	41,7 Hz	43,3 Hz	45,0 Hz	46,7 Hz	48,3 Hz
	30,00	47,0 Hz	47,5 Hz	48,0 Hz	48,5 Hz	49,0 Hz	49,5 Hz

Tabla 2. Frecuencias del campo rotante del G-F para distintos motores y estados de carga

RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Utilizando el software PSIM, se simuló el banco de ensayo para verificar la resolución en frecuencia/velocidad necesaria para poder llevar al G-F de un par resistente, al MBE, del 100% al 75% y a la vez visualizar el flujo de potencia activa entre las máquinas. Para ello se utilizó el modelo de motor de inducción que provee el software, con los parámetros de una máquina de 10 kW, 4 polos, 380 V_{LL}/ 50 Hz. Para cargar al MBE al 100%, el CEP tiene que alimentar al G-F con una tensión de 363,3 V y una frecuencia de 47,8 Hz. Para que el G-F ejerza una cupla resistente del 75% del nominal, el CEP debe alimentar al G-F con una tensión de 367,8 V / 48,4 Hz.

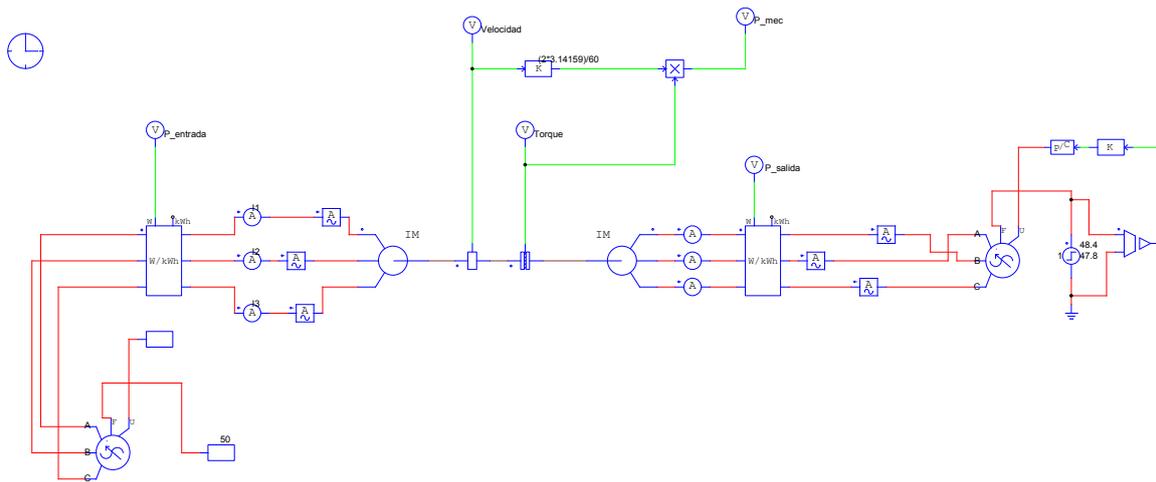


Figura 4. Circuito de la implementación de la simulación

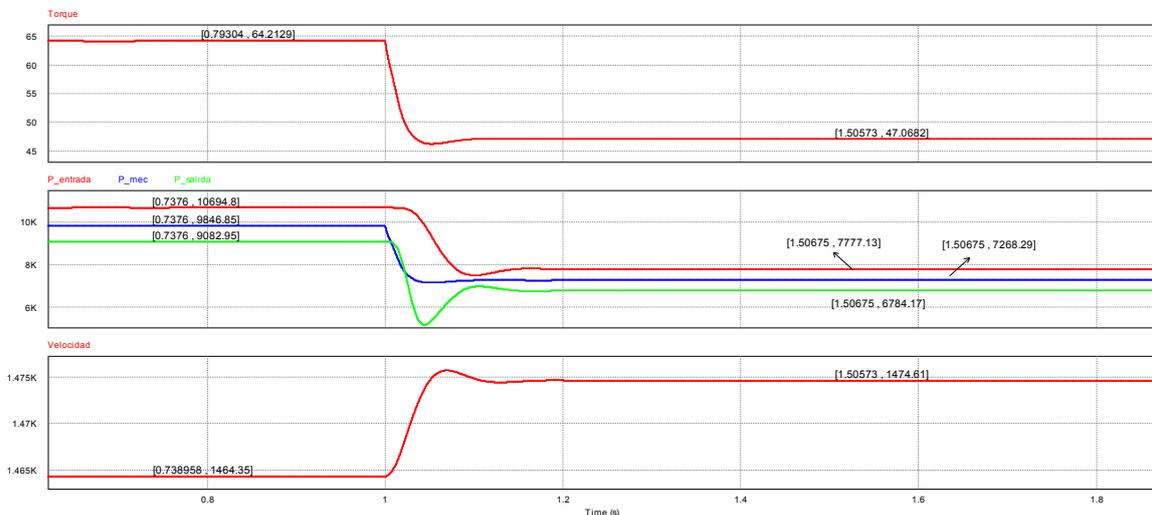


Figura 5. Resultados de la simulación. Cupla, Potencias activas, velocidad

CONCLUSIONES

El uso de un motor idéntico a la máquina a evaluar, como carga del banco y la aptitud que provee la electrónica de potencia para el intercambio de potencias entre fuentes y cargas, permiten de manera sencilla restituir la energía a la red de modo que en el proceso solo resultan no aprovechables las pérdidas de los elementos componentes del banco.

Al pretender ensayar distintos “tamaños” de motores caracterizados por rangos amplios de potencias y al menos dos frecuencias distintas (50 y 60 Hz) se simplifican los bancos por cuanto el “freno” al ser un motor gemelo se adapta fácilmente al conjunto.

El costo inicial del banco propuesto es superior al de un banco de ensayo con frenos convencionales, pero el ahorro energético y la flexibilidad de ensayar varios tipos de máquinas con mismo banco, permiten poder amortizar el costo inicial y obtener beneficios adicionales.

REFERENCIAS

- [1] “Balance Energético Nacional 2015.Documento metodológico”, Centro de Información Energética Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina, 2016.
- [2] “Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems”, Energy Efficient End user Equipment International Energy Agency, 2015.
- [3] IEC 60034-2-1: 2014”Rotatingelectrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)”.
- [4] IEC 60034-30-1: 2014”Rotatingelectrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)”.
- [5] 112-2004 “IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators”.
- [6] C390-10 (R2015), “Test methods, marking requirements and energy efficiency levels for three-phase induction motors”.
- [7] Disp. DNCI 230/15Ref. Lealtad Comercial - Seguridad Eléctrica - Aparatos Eléctricos de Uso doméstico - Aparatos de fuerza motriz (motores de inducción).01/09/2015
- [8] IRAM 62045: 2012 “Etiquetado de eficiencia energética para motores de inducción trifásicos”.
- [9] Koo,D. H; Kim M. J., et all, "Comparison of the efficiency depending on test standards of three-phase cage induction machine" 18th International Conference on Electrical Machines, , 2008.
- [10] Angers Pierre, “Comparison of existing standard methods of determining energy efficiency for three-phase cage induction motors”, Proceedings of the 6th International Conference eemods '09: EnergyEfficiency in Motor Driven Systems
- [11]Mora, Jesús F. “Máquinas eléctricas”, (5ta ed.) McGraw Hill, Madrid, 2003.
- [12] “Comparison of Higher Performance AC Drives and AC Servo Controllers”, Yaskawa Electric America, 2004.
- [13] Yazdani, Amirnaser; Iravani, Reza “Voltage-Sourced Converters in PowerSystems : Modeling, Control, and Applications”, IEEE Press, Wiley, 2010.
- [14]Alcalá, Janeth; Charre,Saida et all “Análisis del Convertidor CA/CD/CA (Back to Back) para la Gestión del Flujo de Potencia”, Información Tecnológica – Vol. 25 N° 6 2014.