

# Potencial de ahorro energético con motores de alta eficiencia en industrias procesadoras de granos

Omar D. Gallo  
Grupo de I+D CIDEME  
(Cálculo e Investigación, Desarrollo y  
Ensayo de Máquinas Eléctricas)  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional San Francisco  
San Francisco (Cba.), Argentina  
odgallo@gmail.com

Diego M. Ferreyra  
Grupo de I+D CIDEME  
(Cálculo e Investigación, Desarrollo y  
Ensayo de Máquinas Eléctricas)  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional San Francisco  
San Francisco (Cba.), Argentina  
dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

Alberto J. Díaz  
Grupo de I+D CIDEME  
(Cálculo e Investigación, Desarrollo y  
Ensayo de Máquinas Eléctricas)  
Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional San Francisco  
San Francisco (Cba.), Argentina  
albertojavierdiaz@gmail.com

**Resumen**—Las empresas acopiadoras y secadoras de granos, así como las aceiteras y elaboradoras de cereales, son muy comunes en todo el territorio argentino. Por su significativa incidencia en el panorama productivo y energético nacional, resulta de interés toda reducción en sus costos operativos. El objeto de este trabajo es demostrar el potencial de ahorro energético que se puede alcanzar con el uso de motores eléctricos de alta eficiencia en estas industrias procesadoras de granos. Se exponen generalidades sobre algunos procesos de tales industrias, se realizan comparaciones de eficiencias de motores estándares y de alta eficiencia y, por último, se estima un tiempo de retorno de inversión mínimo aproximado para un caso tipo.

**Palabras clave**—ahorro energético, motores de alta eficiencia

## I. INTRODUCCIÓN

El motor eléctrico de inducción de alta eficiencia [1] está diseñado con mayor cantidad de hierro y cobre respecto al motor estándar. Además, tiene optimizados sus sistemas de refrigeración (ventilador y superficie de carcasa) para que las condiciones de evacuación de calor sean superiores. Estas características aportan una ventaja adicional a las tantas que ya tienen los motores de inducción estándares.

Los niveles de eficiencia normalizados para estos motores son IE1, IE2 o IE3, de menor a mayor eficiencia respectivamente [2], y algunos fabricantes ofrecen motores IE4. No obstante, su mayor contenido de material activo, entre otros factores comerciales, hacen que su precio de venta sea superior, lo que lleva al usuario a evaluar cuidadosamente la relación costo-beneficio al momento de realizar la compra. En la Fig. 1, se presentan las curvas de eficiencias (para tipos IE1 a IE4) en función de la potencia, y en ellas se observa que las diferencias son mayores en las potencias menores mientras que las diferencias de eficiencia son menores para las potencias mayores.

Además de catálogos de fabricantes y estudios referidos a las características y ventajas del motor de alta eficiencia [3, 4], se encuentran en la literatura algunos estudios sobre casos reales de su implementación en plantas industriales [5, 6, 7].

La tendencia a reducir costos energéticos es mundial pero, en las industrias que cuentan con gran cantidad de motores estándares ya instalados (de eficiencia IE1 o similar), resultaría sumamente oneroso reemplazarlos por motores de mayor eficiencia y es de suponer que dicho reemplazo sería gradual, impulsado forzosamente por circunstancias de fallas, ampliaciones o modernizaciones de equipos. Por otro lado, las empresas que están en etapa de proyecto o de inicio de

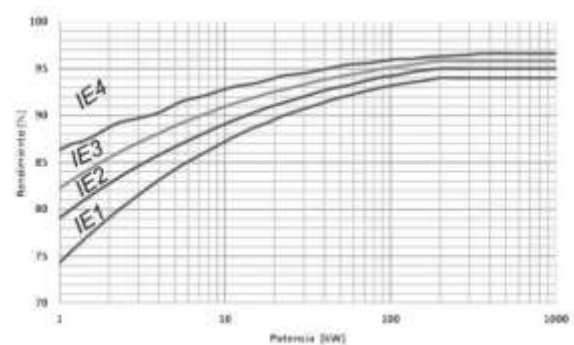


Fig. 1. Eficiencia en función de la potencia para motores de 4 polos, 50 Hz. Los IE1 son los más estándares; los IE4, conocidos comercialmente como “high premium”, tienen la máxima eficiencia del rango.

actividades tienen la posibilidad de analizar desde cero la implementación o no de motores de alta eficiencia.

Los fabricantes y vendedores de motores de alta eficiencia [8, 9] conocen esta disyuntiva de los compradores, por lo cual ofrecen plataformas digitales de consulta (por ejemplo, [9]) para generar alternativas ante la pregunta: ¿en cuánto tiempo se recupera la mayor cantidad de dinero invertida en un motor de alta eficiencia? Con estas alternativas a la vista, el inversor puede planificar su esquema de inversión y retorno en conceptos relacionados con el consumo de energía eléctrica.

Este trabajo se enfoca en el uso de motores eléctricos en las empresas acopiadoras y secadoras de granos, aceiteras y elaboradoras de cereales. Tales empresas son muy comunes en todo el territorio argentino y tienen una gran incidencia en el panorama productivo y energético nacional, por lo que toda reducción en sus costos operativos resulta de sumo interés. Muchas de estas industrias, ubicadas en zonas agrarias o portuarias [10, 11], tienen instalados gran cantidad de motores eléctricos, en su mayoría de tipo estándar, y trabajan en forma continua durante todo el año, deteniéndose solo algunos días para realizar trabajos de mantenimiento.

## II. INFORMACIÓN RELEVADA

En esta sección, se muestran datos reales de la instalación motriz de diversas plantas, obtenidos por relevamiento in situ. Se seleccionaron algunos de los equipos críticos o importantes de distintos sectores y se confeccionaron tablas comparativas de eficiencias de motores estándares (tipo IE1) y de motores de alta eficiencia (tipo IE3) de un único fabricante. Finalmente se obtuvo el potencial ahorro sobre el total de potencia.

Cabe aclarar que estas comparaciones son solo referenciales, ya que se toman las eficiencias al 100 % de carga: es sabido que la potencia entregada por los motores varían todo el tiempo, y que la eficiencia es una magnitud muy variable con el nivel de carga de la máquina eléctrica.

Las plantas productivas que se exponen son secadoras y acopiadoras de granos, procesadoras de granos de cereal para aceite y pellets, y elaboradoras de aceite [12].

#### A. Plantas secadoras y acopiadoras de granos

En la Fig. 2, se muestra una disposición característica de una planta secadora y acopiadora de granos, cuyos procesos básicos son la recepción del grano y su acondicionamiento. Los camiones (o vagones de tren) se detienen en la recepción y los granos se depositan en una cámara subterránea (llamada pozo de noria) o se llevan con cinta transportadora a ella. El material se eleva por medio de una noria hasta la parte superior de los silos húmedos, donde se lo descarga [10, 16].

Por debajo de toda la instalación suelen disponerse otros transportes (a cinta) a fin de alimentar otras norias, como la que lleva los granos a la secadora, o la que los extrae de ella. En la secadora, los granos van cayendo por distintos niveles mientras son atravesados por una corriente de aire cálido, impulsada por un ventilador. A los granos secos, se los suele llevar a los silos de secado por aire ambiente, desde los cuales se los traslada a una celda de almacenaje final. Hay presentes motores eléctricos en todas las etapas del proceso.

En la Tabla I, se enumeran los sectores típicos de una planta acopiadora de granos, para cada uno de los cuales se indica un motor característico, sus valores de eficiencia IE1 e IE3, y la diferencia de consumo en kW. Con esta comparación, que se repite para los demás casos, se puede apreciar el potencial del ahorro energético factible al 100 % de carga.

TABLA I. LISTADO COMPARATIVO DE MOTORES DE LOS SECTORES TÍPICOS DE UNA PLANTA DE ACOPIO DE GRANOS. DATOS OBTENIDOS DE RELEVAMIENTO IN SITU.

Sector	Motores instalados			
	Potencia [kW]	Eficiencia IE1 [%]	Eficiencia IE3 [%]	Diferencia [kW]
Recepción	9,20	87,5	91,0	0,40
Noria	37,0	92,0	94,6	1,11
Ventilación	22,0	90,8	93,6	0,72
Secadora	90,0	93,7	95,8	2,11
Celda	15,0	89,5	93,0	0,63
Auxiliares	22,0	90,8	93,6	0,72
Totales	195,2	-	-	5,70
Diferencia total vs. potencia total:				2,92 %

Como puede verse, la noria, la secadora y los motores de ventilación suelen ser los que demandan mayor cantidad de energía; sus horas diarias de trabajo dependen directamente de la cantidad de producto que se debe acondicionar. Los motores auxiliares pueden ser cintas transportadoras. En el caso de los motores de recepción, son los que accionan las centrales hidráulicas de las plataformas volcadoras de camiones.

#### B. Plantas procesadoras de cereal para aceite y pellets

En las Figs. 3 y 4, respectivamente, se muestran una vista de una planta procesadora de granos para la producción de



Fig. 2. Acondicionadora de granos: silos de acopio, norias y secadoras [10].

aceite y pellets, y la correspondiente terminal de embarque de grano acondicionado [11]. Estas son grandes plantas de funcionamiento continuo que suelen detenerse un mes al año para realizar tareas de mantenimiento y mejoras. A grandes rasgos, el proceso de preparación del grano se integra con las siguientes etapas:

- Quebrado: la semilla, previamente ensilada, pasa por las máquinas quebradoras, que reducen su tamaño.
- Acondicionado (cocinado): se realiza una cocción en grandes hornos con vapor de agua (50-70 °C), a fin de reducir la energía empleada en la etapa siguiente.
- Laminado: se modifica el grano para que adopte la forma de una lámina de pequeño espesor.
- Expansión: se usan expansores (*expanders*) que funcionan a base de vapor a fin de aumentar la porosidad y mejorar la capacidad de producción.



Fig. 3. Vista de una planta de molienda de granos [11].



Fig. 4. Sector de embarque de grano acondicionado [11].

Para la producción de pellets, los restos de la semilla pasan por una granuladora (o pelletizadora), y luego de ser enfriados, se depositan para su posterior despacho.

En la Tabla II, se enumeran los sectores de una planta procesadora de granos, con algunos de sus motores típicos; Cabe mencionar que todos los motores son de 4 polos, salvo los de laminado, expandido y pelletizado, que son de 6 polos y tienen una respuesta en el eje distinta a los restantes.

TABLA II. LISTADO COMPARATIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS CARACTERÍSTICOS DE LOS DISTINTOS SECTORES DE UNA PLANTA PROCESADORA DE GRANOS PARA ACEITE Y PELLETS. DATOS OBTENIDOS DE RELEVAMIENTO IN SITU.

Sector	Motores instalados			
	Potencia [kW]	Eficiencia IE1 [%]	Eficiencia IE3 [%]	Diferencia [kW]
Noria	90,0	93,7	95,8	2,11
Quebrado	90,0	93,8	95,8	2,00
Cocinado	355	94,9	96,5	6,20
Laminado	150	94,5	96,3	2,97
Expandido	280	94,8	96,3	4,60
Pelletizado	260	94,7	96,3	4,56
Ventilación	185	94,6	96,5	3,85
Transporte	30,0	91,5	94,2	0,94
Totales	1350,0	-	-	27,2
Diferencia total vs. potencia total:				2,02 %

### C. Plantas elaboradoras de aceite

El proceso para elaboración del aceite consiste en los siguientes pasos:

- Extracción: mediante un extractor se separa el aceite del grano, luego de lo cual quedan dos subproductos, el aceite (miscela) y la harina húmeda, ambos mezclados con solvente (hexano).
- Desolventizado y tostado de la harina: mediante una tostadora (*toaster*), se quita la humedad y el aceite de la harina y se pasa a la elaboración de pellets para alimentación animal.
- Destilación de la miscela (rescate del aceite): se produce la evaporación y separación del solvente que se mantiene mezclado con el aceite.
- Centrifugado del aceite: se separan los sólidos y productos químicos de alta densidad que resultan indeseables, y se obtiene un aceite limpio y transparente. De allí, se pasa a los tanques de almacenamiento.

En la Tabla III, se presenta una lista de motores correspondiente a los sectores típicos de una planta de extracción de aceite. En estas industrias, se suelen encontrar grandes cantidades de bombas de circulación de aceite y de agua, por lo que esta lista resulta restringida y muestra solo de manera representativa aquellas potencias más importantes o críticas del proceso. Salvo las bombas centrífugas de reducido diámetro de rodete, que son de 2 polos, los restantes motores enumerados son de 4 polos.

TABLA III. LISTADO COMPARATIVO DE MOTORES ELÉCTRICOS CARACTERÍSTICOS DE LOS DISTINTOS SECTORES DE UNA PLANTA PROCESADORA DE ACEITE. DATOS OBTENIDOS DE RELEVAMIENTO IN SITU.

Sector	Motores instalados			
	Potencia [kW]	Eficiencia IE1 [%]	Eficiencia IE3 [%]	Diferencia [kW]
Extractor	45,0	92,5	94,8	1,18
Bomba	110	94,0	96,1	2,56
Centrífuga	45,0	92,5	94,8	1,18
Toster	370	94,9	96,5	6,46
Ventilación	55,0	93,1	95,3	1,36
Transporte	30,0	91,5	94,2	0,94
Totales	610,0	-	-	13,7
Diferencia total vs. potencia total:				2,24 %

### III. ESTIMACIÓN DE RETORNO DE INVERSIÓN PARA UN CASO TESTIGO

Solo a título referencial, se presenta un cálculo estimativo sobre el tiempo mínimo de retorno de la inversión para el caso en que se decida reemplazar un motor estándar (IE1) por uno de alta eficiencia (IE3).

En la Tabla IV, se resume un cálculo simplificado de un tiempo de retorno de inversión, tomando como ejemplo un motor de 37 kW, 4 polos, 50 Hz, como caso característico. La diferencia de precios entre un modelo IE3 (USD 3433,00) y uno de tipo IE1 (USD 2725,00) es de USD 708,00 a mayo de 2020. Considerando un funcionamiento ideal de 24 h diarias durante 330 días al año y una reducción de consumo de 1,11 kW por la adopción del motor de mayor eficiencia, el retorno de tal inversión mayor sería de unos 10 meses, suponiendo un valor global de la energía de USD 0,10/kW·h. Admitiendo una vida útil promedio de un motor es de 20 años, el importe de la mayor inversión resultaría mínimo respecto de las utilidades que la máquina produce.

TABLA IV. CÁLCULO SIMPLIFICADO DE RETORNO DE LA MAYOR INVERSIÓN REALIZADA EN LA COMPRA DE UN MOTOR DE ALTA EFICIENCIA.

Ítem	Datos aproximados	
	Valor	Observaciones
Motor	37 kW	
Diferencia de costo	USD 708	Mayo de 2020
Operación	24 h diarias	330 días anuales
Costo	USD 0,10/kW·h	Prorrateando demanda
Ahorro de potencia	1,11 kW	
Ahorro anual	USD 871,00	$330 \text{ d} \times 24 \text{ h} \times 1,11 \text{ kW} \times \text{USD } 0,10/\text{kW}\cdot\text{h}$
Retorno de inversión	10 meses	$\text{USD } 708 \div \text{USD } 871$
Vida útil del motor	20 años	Estimación

Sin embargo, la diferencia de costo aquí presentada se da entre un motor tipo IE3 y uno tipo IE1, ambos nuevos. En caso de reemplazar un IE1 rebobinado (estimando un 50 % del valor del motor nuevo) por uno IE3, el tiempo de retorno de la inversión se incrementa al menos a unos 29 meses, porque el rebobinado es más económico que el nuevo.

En la Fig. 5, se muestra un cálculo de ahorro energético y retorno de inversión provisto en línea por un fabricante de motores eléctricos [15].

#### DISCUSIÓN

En la planta de acondicionamiento de granos analizada, la potencia de los motores va desde 9,2 kW hasta 90 kW, con eficiencias IE3 de 91,0 % a 95,8 %. El promedio de reducción teórica de consumo en toda la gama alcanza el 2,92 %.

Similarmente, en la planta de procesamiento de granos para aceite y pellets, la potencia de los motores va de 30 kW (eficiencia IE3: 91,5 %) a 355 kW (eficiencia IE3: 94,9 %). El ahorro teórico de consumo usando motores IE3 se aproximaría al 2,02 %, con el cocinado y el expandido como las etapas de mayor criticidad en el proceso.

En la planta de procesamiento de aceite, las potencias van de 30 kW (eficiencia IE3: 91,5 %) a 370 kW (eficiencia IE3: 94,9 %). La reducción teórica de consumo aplicando motores IE3 estaría en torno del 2,24 %.

En todos estos casos, la reducción teórica de consumo presentada solo se podría lograr con un flujo continuo de producción, y con los motores trabajando cerca del 100 % de carga, lo cual es poco común por razones operativas y logísticas. Incluso, en muchos casos, los motores suelen estar sobredimensionados y funcionan con menor eficiencia [13].

El tiempo de retorno de inversión obtenido en la sección III es simplificado y solo referencial por las siguientes razones: a) el ahorro del motor se toma a potencia nominal, lo cual no es la condición permanente; b) el costo de la energía puede variar para cada distribuidora y cada usuario, y el valor aquí tomado puede resultar algo conservador; c) no se tiene en cuenta la tarifación horaria de la energía eléctrica, según el consumo preponderante; d) no se contemplan en profundidad aspectos financieros como depreciaciones y amortizaciones.

En la práctica, si sale de servicio un motor IE1, el usuario puede descartarlo y reemplazarlo por uno nuevo tipo IE1 o bien por uno IE3, de mayor costo. También puede rebobinarlo (costo reducido) y reubicarlo para una potencia algo menor y una mejor eficiencia. Además, aun cuando lo reemplace, puede rebobinarlo y mantenerlo como reserva. En cada uno de estos casos, el tiempo de retorno de la inversión será distinto. Frecuentemente, más allá de la desinformación [14], los apuros de la producción y los plazos de entrega de un rebobinado o de un motor nuevo son preponderantes a la hora de tomar decisiones, con lo que a veces el recupero económico suele pasar a segundo plano si no existen planes de contingencia ordenados sobre la base del presente análisis.



Fig. 5. Cálculo de ahorro energético de distintos tipos de motores y del tiempo de retorno de inversión.

#### CONCLUSIONES

En este trabajo, se enumeraron las etapas principales de tres tipos de plantas de procesamiento de granos frecuentes en Argentina: de acopio y secado; de procesamiento de cereal para aceite y pellets; y de elaboración de aceite. Se enumeraron las potencias típicas de los motores principales y, para cada caso, se comparó el consumo de un motor IE1 con el de un IE3, para determinar la reducción de consumo. Finalmente, se calculó un tiempo mínimo aproximado de retorno de inversión para el reemplazo de un modelo IE1 por uno IE3 en un caso tipo de un motor de 37 kW, 4 polos, 50 Hz. Aunque este cálculo está simplificado y debe profundizarse, proporciona una base para que los usuarios cuenten con elementos de decisión sobre la adopción de motores de alta eficiencia en plantas de procesamiento de granos.

#### REFERENCIAS

- [1] E. Quispe; L. Mantilla. Motores eléctricos de alta eficiencia: características electromecánicas, ventajas y aplicabilidad. Revista Energía y Computación 0121-5299. XII. 11-19, 2004.
- [2] Rotating electrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code). IEC 60034-30-1, 2014.
- [3] F. Ferreira, G. Baoming, A. De Almeida, "Reliability and Operation of High-Efficiency Induction Motors," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 52, no. 6, pp. 4628-4637, Nov.-Dec. 2016.
- [4] A. De Almeida, F. Ferreira, A. Duarte, "Technical and Economical Considerations on Super High-Efficiency Three-Phase Motors," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 50, no. 2, pp. 1274-1285, March-April 2014.
- [5] A. Aranda Usón, I. Zabalza Bribián, S. Díaz De Garayo Balsategui, E. Llera Sastresa, Eficiencia eléctrica en instalaciones y equipamiento de edificios. Zaragoza, España. Universidad de Zaragoza. 2010.
- [6] C. J. Verucchi, R. Ruschetti and G. Kazlauskas, "High Efficiency Electric Motors: Economic and Energy Advantages," in *IEEE Latin America Transactions*, vol. 11, no. 6, pp. 1325-1331, Dec. 2013.
- [7] Nugroho, H.; Mahardhiko, S; Haryoseno, H. Life Cycle Cost Assessment of Replacing Standard Induction Motor with High Efficiency Induction Motor Used in Salt Industry. AIP Conference Proceedings, 2019, Vol. 2062 Issue 1, p020033-1-020033-9, 9p. Publisher: American Institute of Physics. Complementary Index.
- [8] Siemens SA, *Simotics Motores Eléctricos*. Argentina, 2018.
- [9] WEG - Productos. Motores eléctricos [En línea]. Disponible: [https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Motores-EI%3C3%A9ctricos/c/EU\\_MT](https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Motores-EI%3C3%A9ctricos/c/EU_MT) (Acceso: 21 de sept. de 2020)
- [10] Manisur SA. Planta de cereales. [En línea]. Disponible: <https://www.manisur.com.ar/es/instalaciones/planta-de-cereales> (Acceso: 21 de sept. de 2020)
- [11] T6 Industrial SA. Terminal 6. [En línea]. Disponible: <http://www.terminal6.com.ar/> (Acceso: 21 de sept. de 2020)
- [12] F. D. Vargas Parra, Uso de nuevas tecnologías para la optimización del proceso en la preparación de semillas de soja en la planta industrial de Mercantil SA Louis Dreyfus del departamento del Caaguazú. Facultad de Ciencias y Tecnologías Universidad Nacional de Caaguazú, 2014.
- [13] R. Vallejos Villagra. Análisis Técnico Económico de Motores Energéticamente Eficientes y su Aplicación en la Industria Minera. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2011.
- [14] P. R. Viego Felipe; A. E. Borroto Nordelo; J. R. Gómez Sarduy. Barreras para incrementar la eficiencia de sistemas accionados por motores eléctricos. Universidad y Sociedad (ISSN 2218-3620). 2015, vol.7, n.3, pp.63-73.
- [15] WEG. Selección de motores eléctricos [En línea]. Disponible: [http://ecatalog.weg.net/tec\\_cat/retomoinvestmotor\\_web.asp?cd\\_mercado=000L](http://ecatalog.weg.net/tec_cat/retomoinvestmotor_web.asp?cd_mercado=000L) (Acceso: 21 de sept. de 2020)
- [16] Gobierno de Santa Fe. Plantas de acopio: Resolución 0177/03 [En línea]. Disponible: <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/91898/441026/> (Acceso: 21 de sept. de 2020)