

Gestión Energética de los motores eléctricos: mejora de la eficiencia de los accionamientos con el uso de variadores de velocidad

Luis Fernando Mantilla Peñalba, Juan Antonio Cardona Pardo

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética
E.T.S.I.I. y T., Universidad de Cantabria
Avda. los Castros, s/n. 39005 Santander (España)
Tel.:+34 942 201381, fax: +34 942 201385, e-mail: mantillf@unican.es

Resumen. El objetivo principal de un variador de velocidad es la reducción de velocidad de un motor de corriente alterna. De esta forma, el variador permite a las máquinas conducidas por motores eléctricos producir la misma salida que obtendrían utilizando otros métodos de regulación de flujo, pero consumiendo menos potencia de entrada. Consecuentemente, el ahorro de energía que se obtiene es importante y cada vez son más los usuarios que apuestan por este método de control. Las mejores oportunidades de ahorro se consiguen en las máquinas que operan a carga parcial durante grandes periodos de tiempo.

El uso de esta tecnología aporta otros beneficios adicionales, como son la mejora de la calidad del producto y fiabilidad del sistema, o la prolongación de la vida de los equipos.

En este trabajo se ha realizado una valoración de ahorros de energía y costes económicos en algunos motores instalados en una empresa industrial del sector químico radicada en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Los motores seleccionados han sido cinco, todos ellos accionadores de bombas y ventiladores. Se demostró que la inversión realizada se amortizaría en un plazo de cinco años, con ahorros anuales de más de 25.000 euros al año.

Palabras llave

Eficiencia energética, motores, bombas y ventiladores.

1. Introducción

Los motores eléctricos son los mayores consumidores de electricidad en la industria y en el comercio. Casi la mitad de la energía eléctrica usada y cerca de las dos terceras partes de la utilizada en la industria es consumida por motores eléctricos.

Como se observa en la figura 1, que muestra el reparto del consumo de energía eléctrica realizado por diferentes tipos de cargas, resulta interesante buscar oportunidades de ahorro energético cuando los motores trabajan con bombas y ventiladores, debido a su importante porcentaje de consumo eléctrico.

Por otro lado, el número estimado de motores que operan bajo carga variable de entre los motores de tamaño superior a los 50 CV es aproximadamente el 25%. Igualmente se espera un crecimiento de los mismos superior al que experimentará el total. De ahí la necesidad de una utilización más eficiente de la energía en este modo de operación cada vez más común en los motores.

Como la mayoría de los sistemas trabajan por debajo de su capacidad nominal durante la mayor parte del tiempo, se han desarrollado métodos para reducir la salida de los motores a un nivel que coincida con lo que se le demanda. Los reguladores de tiro, válvulas de estrangulación y sistemas de recirculación que se usan tradicionalmente para este fin son muy ineficientes desde el punto de vista energético. Reduciendo la velocidad de la carga, por ejemplo de una bomba o un ventilador, se obtendría el mismo objetivo de una manera más adecuada.

Es en este campo donde toman importancia los variadores de velocidad, cuya función principal es ofrecer diferentes velocidades de trabajo. Esto permitirá ahorros energéticos y, por tanto, ahorro en costes en aquellas máquinas accionadas por motores eléctricos que no trabajan a plena carga la mayor parte del tiempo.

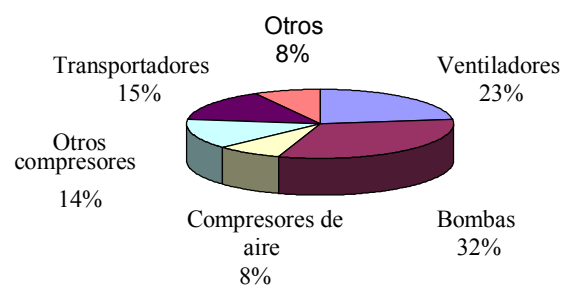


Fig 1. Consumo de motores de potencia < 300 kW

El objetivo final, por tanto, es minimizar el uso de la energía consumida por los motores eléctricos mediante la utilización de variadores de velocidad modernos que sustituyan, total o parcialmente, a los métodos convencionales de control de la carga.

2. Caso práctico en industria química

A. Descripción de la planta

Se ha realizado el estudio en una empresa situada en Gajano (Cantabria) Es una industria química que se dedica a la fabricación de negro de carbono (o negro de humo), componente de vital importancia en la fabricación de muchos productos de uso diario como neumáticos, tintas de imprenta, recubrimientos industriales, conductores eléctricos, sellantes de construcción, etc.

En la planta están funcionando actualmente tres líneas de producción. A continuación se explicará de forma general el proceso productivo.

La planta produce alrededor de 50.000 toneladas al año de diversos tipos de negro de carbono. El proceso consiste en un craqueo térmico del aceite, obteniéndose como productos de reacción gas de cracking (off-gas), y el negro de carbono que se encuentra en suspensión de dicho gas, en la salida de los reactores.

Ambos productos se separan en filtros de mangas y, posteriormente, el negro de humo es triturado para que las partículas queden dentro del tamaño de especificaciones. Después del triturado, el Negro de Humo se mezcla con agua caliente para formar el producto húmedo en forma de gránulos. El producto se seca y, finalmente, se almacena hasta el ensacado.

En la planta se fabrican 12 tipos distintos de negro de carbono en sus tres líneas. En la línea 3 (ó línea Carcass) se hacen 5 productos, denominados como N683, N539, N660, N772 y N550. Se hace la distinción de los productos de la línea ya que es lógico pensar que, en principio, para cada uno de ellos se presentará un régimen de carga distinto en los equipos, y en concreto en los motores que deberán mover las bombas, ventiladores, etc, de la instalación. Por tanto, el estudio que se realizó de los motores (sus consumos, horas de funcionamiento, rendimientos, etc) se hizo para cada uno de los productos con el objetivo final de observar el comportamiento promedio de cada motor.

B. Perfil de operación actual de la planta

1) Toma de medidas y recogida de datos

Para tomar decisiones sobre los beneficios de utilizar ó no variadores de velocidad con los motores, se deben recopilar los datos necesarios para llevar a cabo las inspecciones y análisis de los motores de la planta, así como de sus cargas.

Algunos criterios para seleccionar este tipo de motores son los que se siguen a continuación:

- Motores con tiempos de funcionamiento anuales elevados.
- Motores con potencias elevadas (mayor de 20 CV)

- Motores con cargas variables.
- Motores que trabajan grandes cantidades de su tiempo de funcionamiento a cargas reducidas.
- Motores accesibles y con placas de características legibles.

2) Selección de los motores a estudiar

Los motores escogidos son aquellos con potencias, entre los 15 CV y los 100 CV, ambas inclusive, todos trabajan continuamente durante todos los días del año (excepto en las paradas programadas para el mantenimiento) y las cargas que mueven son ventiladores o bombas (donde la relación entre potencia y velocidad es cuadrática). Además, todos los motores son del mismo fabricante, ABB, lo cual facilita la obtención de los datos. La tabla I lista los motores de trabajo con su identificador, carga arrastrada, marca de fabricante y potencia.

TABLA I. – Motores candidatos al uso de variadores de veloc.

Motor	Tipo de Carga	Marca	Potencia (CV)
300-306	Ventilador tanque combustión	ABB	60
300-307	Ventilador gas purga	ABB	100
300-308	Ventilador tanque recirculación	ABB	40
300-774	Bomba aceite de conversión	ABB	100
300-776	Bomba agua de proceso	ABB	100

3) Equipos de medida

En un sistema trifásico de potencia es necesario tomar medidas en cada motor de todas las tensiones y corrientes de línea, y velocidades de funcionamiento del motor y carga.

Para la realización de las medidas de consumos y velocidades de los motores de la planta en este proyecto se contó con material del propio departamento de mantenimiento eléctrico de la empresa. Se utilizó un multímetro de mano para la medida de tensión DC/AC e intensidad, tacómetro de luz estroboscópica para las velocidades y un equipo analizador de redes, con el que se midieron las potencias instantáneas consumidas por los motores.

4) Método de evaluación del ahorro económico obtenidos con variadores de velocidad

El método está basado en la Guía de Aplicación editada por EPRI (Electric Power Research Institute) [4] y se divide en dos tipos de análisis: el energético y el

económico. No trata otros tipos de beneficios derivados del ajuste de velocidad, como la mejora del proceso o la reducción del desgaste. Estas ventajas añadidas supondrían un ahorro adicional en costes no-eléctricos, que refuerzan la validez de esta tecnología.

Análisis energético: Para determinar el ahorro energético que se produce al utilizar un variador de velocidad, se debe determinar tanto el consumo de energía a velocidad constante como variable. De todo esto se ocupa el análisis energético que se detalla a continuación.

Primero se estudia la operación a velocidad constante. El objetivo de este análisis es determinar el uso anual de energía cuando se trabaja a velocidad constante, y los niveles de caudal en cada punto de operación o nivel de carga. Las fases del análisis son las siguientes:

- Desarrollar un ciclo de carga- servicio que permita asignar horas anuales de operación a cada nivel de carga.
- Determinar la potencia de entrada al motor en cada nivel de carga (kW)
- Calcular el consumo anual de energía (kWh), como producto de la potencia y las horas de operación.
- Sumar la energía consumida en todos los niveles de carga para hallar el consumo anual de energía a velocidad constante.

Las dos primeras fases necesitan datos derivados del sitio. El ciclo de carga es la fracción de tiempo, al año, que una máquina trabaja en varios niveles de carga, teniendo en cuenta el tiempo que está parada dicha máquina. Por otro lado, la potencia de entrada al motor se puede medir directamente, o bien indirectamente, a partir de medidas de caudal o presión, curvas características, y eficiencias del motor y la máquina que mueve en cada nivel de carga.

El cálculo a velocidad constante es directo si se miden los niveles de flujo. De todas formas, aunque los valores de flujo para cada nivel de carga no se midan, se deben determinar porque son un dato necesario para el análisis a velocidad variable. Existen varios métodos de cálculo, en función de los datos iniciales disponibles.

En segundo lugar se estudia la operación a velocidad variable. El objetivo del análisis a velocidad variable es predecir el consumo anual de energía cuando se puede controlar la velocidad del motor.

Los elementos necesarios para el análisis son el ciclo de carga-servicio, las curvas características, la curva del sistema, y los puntos de caudal a velocidad constante. Igual que ocurría en el caso de velocidad constante, la potencia eléctrica a velocidad variable se calcula en cada punto de operación. El producto de la potencia y las horas de operación correspondientes es el consumo anual de energía en cada nivel de carga. La suma de estos

valores representa el consumo anual de energía cuando se opera a velocidad variable.

Análisis económico: El ahorro energético atribuible al modo de operación a velocidad ajustable es la diferencia entre el consumo anual de energía a velocidad constante y el que se consumiría a velocidad variable. El producto entre ese ahorro y el coste de la energía, cent/kWh, es, por tanto, el ahorro en costes de energía con el empleo del variador.

Para un examen financiero inicial de un proyecto se suele utilizar una amortización simple. Esto es, la suma de los costes dividido entre la suma de los ahorros.

5) Perfil de operación actual de motores en planta

El primer paso que se debe dar es el análisis del modo de funcionamiento de los motores de la planta, para saber qué energía están consumiendo. Se estudiarán por separado las dos aplicaciones, bombas y ventiladores, porque los datos de entrada son diferentes en cada caso y, por tanto, los métodos que se van a aplicar son diferentes en una aplicación y otra.

Bombas

Existen dos métodos para determinar el consumo de energía de los motores que mueven bombas a velocidad constante. La elección de un método u otro depende de la disponibilidad de datos históricos y mediciones.

Para obtener el perfil de consumo de cada motor se deben disponer de datos de:

- Potencia de entrada o variables del fluido.
- Horas de funcionamiento anuales.
- Precio de la energía (euros / kWh)

En este caso disponemos de medidas de altura de presión en las bombas, obtenidas en la Sala de Control mediante un análisis de la evolución de materias primas a lo largo de un mes. En la tabla II se presenta la distribución mensual por horas (720 horas al mes)

Con estos datos de presión a lo largo del tiempo queda determinado el ciclo de carga. A partir de aquí se determinará la potencia de entrada al motor, utilizando las curvas características.

TABLA II. – Distribución de presiones a lo largo del mes

Altura de presión (m.c.a.)	Horas al mes
330	120
325	504
318	72
298	24

TABLA III. – Presión, caudal y potencia absorbida de la bomba

Punto de operación	1	2	3	4
H (m.c.a)	330	325	318	298
Q (m3/h)	45	49	53	58
Pbin (kW)	61,3	64,8	67,5	70,3

Las curvas características de las bombas proporcionan datos de presión, caudal, y potencia de entrada a la bomba (tabla III) Por tanto, conociendo uno de los valores anteriores, se pueden determinar el resto de las variables.

Si se denomina fracción de potencia al cociente entre la potencia de entrada a la bomba y la potencia nominal del motor, se puede obtener la eficiencia del motor (η_m) en cada punto de operación utilizando un factor corrector definido en tablas ($mefc$), en función de esa fracción de potencia. Una vez obtenido el rendimiento del motor (η_m) y la potencia de entrada a la bomba (P_b), el cálculo de la potencia de entrada al motor (P_m) es inmediato:

$$\eta_m = mefc \times \eta_{m_plena\ carga}$$

$$P_{m_in}(kW) = \frac{P_b}{\eta_m}$$

Multiplicando la potencia por las horas de operación se consigue el consumo de energía a velocidad constante en cada punto de operación.

TABLA IV. – Consumos de motores 300-776 y 300-774

Motor	Consumo Anual (KWh)	Coste Anual (Euros)
300-776	584.553,6	32.536,25
300-774	306.316,8	17.049,59

TABLA V. – Consumos de las bombas a velocidad constante

Motor	300-776	300-774
Punto 1 (kWh)	92.160	46.512
Punto 2 (kWh)	410.054,4	168.422,4
Punto 3 (kWh)	61.084,8	55.872
Punto 4 (kWh)	21.254,4	35.510,4
Consumo Anual (KWh)	584.553,6	306.316,8
Coste Anual (euros)	32.536,25	17.049,59

Para dos de los motores elegidos, 300-776 y 300-774, suministro de agua de proceso los consumos fueron los que refleja la tabla IV. En la tabla V se resumen el consumo anual de todos ellos y su coste, puede

observarse los motores consumen más energía en la línea y cuáles menos.

Ventiladores

Existen varios métodos para determinar el consumo de energía de los motores que mueven ventiladores, en función del tipo de dispositivo de control de flujo y de los datos disponibles.

Para obtener el perfil de consumo de cada motor se necesitan los datos:

- Potencia entrada o variables relativas al fluido
- Horas de funcionamiento anuales
- Precio de la energía (euros / kWh)

En este caso, se tomaron valores de potencia de entrada a los motores, velocidad, temperatura a la entrada del ventilador, etc. Se tomó el plan de producción del mes de abril como base para la determinación del perfil de consumo de los motores durante todo el año. El resultado se expone en tabla VI

TABLA VI. – Horas al mes de fabricación por producto (abril)

Producto	Horas de Producción
N-683	109.5
N-539	284
N-660	204
N-772	50.5
N-550	72
HORAS MENSUALES	720

Al tomar como mes base uno de 30 días, se están omitiendo los meses de 31 días, restando de este modo horas de producción. Se considera que estas horas despreciadas compensan las horas de paro al año necesarias para el mantenimiento.

Para cada tipo de producto se tomaron medidas de tensión, intensidad, potencia y velocidad en cada motor de la línea, para así estudiar el perfil de carga de los motores, dado que, en principio, se supone que el consumo de energía es diferente para cada tipo de negro de carbono fabricado. Los datos obtenidos durante el mes de abril se tomaron como representativos para todos los meses del año.

Con los datos de potencia y horas de operación queda determinado el ciclo de carga. La energía consumida es el área de la gráfica potencia-tiempo. El coste energético se calculará como el producto entre esta energía consumida y el precio del kWh

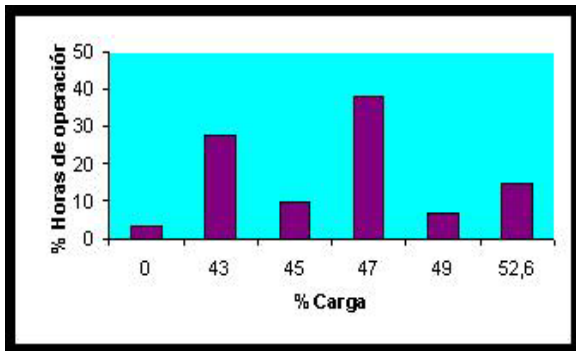


Fig. 2. Perfil mensual de operación del motor 300-308

La figura 2 muestra la representación del ciclo de carga del motor 300-308, que mueve el ventilador del tanque de recirculación y la tabla VII exhibe sus consumos.

TABLA VII. – Potencia del motor 300-308 según producto

Producto	N-683	N-539	N-660	N-772	N-550
kW	15,8	14,1	12,9	14,7	13,6

El precio de la energía promediado según las tres potencias contratadas con la comercializadora eléctrica y los consumos registrados es 0,05566 euros / kWh

En la tabla VIII se resumen el consumo anual de todos ellos y su coste. En ella se indican los motores de mayor consumo. La tabla IX indica los consumos de cada motor en relación con el producto producido.

TABLA VIII. – Consumos motores 300-306, 300-307, 300-308

Motor	Consumo Anual (KWh)	Coste Anual (euros)
300-306	249.995,4	13.914,74
300-307	372.666,24	20.472,6
300-308	121.051,8	6.737,74

TABLA IX. – Consumos-costes (€) motores según producto

Motor	300-306	300-307	300-308
N-683	47.961	70.036,2	20.761,2
N-539	98.491,2	139.046,4	48.052,8
N-660	64.137,6	106.439	31.579,2
N-772	12.362,4	21.634,2	8.908,2
N-550	27.043,2	3.5510,4	11.750,4
ConsumoKWh	249.995,4	372.666,24	121.051,8
Coste Anual	13.914,74 €	20.472,6 €	6.737,74 €

Coste total

El coste total para todos los motores estudiados y para ambas aplicaciones, bombas y ventiladores, en las condiciones actuales ascienden a 90.980 euros, suma de los costes individuales de cada motor.

Este coste representa un 7% de la factura total de la empresa, lo cual da una idea de la importancia de los motores en el consumo de energía eléctrica de la planta (y de la industria, en general), teniendo en cuenta que este estudio se centra en un pequeño número de motores.

C. Plan de mejora sobre la situación actual

1) Propuesta y cálculo de consumos

La propuesta de mejora en la eficiencia del accionamiento de los motores y, por extensión, en el funcionamiento de los mismos, que se plantea es la sustitución de los métodos tradicionales de regulación de flujo por variadores de velocidad, más eficientes en esta misión.

Ahora se calcula, por tanto, el valor de la energía que se consumiría a velocidad variable en las dos aplicaciones, bombas y ventiladores, para determinar posteriormente los ahorros que supondría este cambio en el modo de operación.

Bombas

Para las bombas ya se obtuvieron los valores de caudal cuando se analizó el perfil de operación actual de la planta, por lo que no es necesario volver a calcularlos de nuevo.

Con los datos de presión, caudal y potencia en la bomba a velocidad constante se puede obtener el valor de rendimiento de la bomba cuando no se tienen datos de rendimiento en las curvas características.

Con el rendimiento de la bomba (η_b) y, calculando la altura del sistema (H_{sist}), se obtiene la potencia absorbida por la bomba, en función de la gravedad específica:

$$Pb_{in} = \frac{g \times H_{sist} \text{ (m.c.a.)} \times Q \left(\frac{m^3}{h} \right)}{367 \times \eta_b}$$

$$H_{sist} = C \times Q^2 \rightarrow C = \frac{H_{diseño}}{Q_{diseño}^2}$$

Una vez obtenido el rendimiento del motor, que se calcula con el mismo procedimiento utilizado a velocidad constante, la potencia de entrada al motor ($PASD_{in}$) es inmediata, y también los consumos

$$P_{ASD_in} = \frac{Pb_{in}}{\eta_m \times \eta_{ASD}}$$

El rendimiento del variador está tabulado en función de la relación de velocidades, que coincide con la relación de caudales.

En las tablas X y XI se resumen el consumo anual de todos ellos y su coste. Se observa qué motores consumen más energía en la línea y cuáles menos.

TABLA X.– Resumen consumos a velocidad variable (kWh)

Motor	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
300-776	62.352	326.349,6	57.456	25.574,4
300-774	30.528	131.702,4	49.104	42.940,8

TABLA XI.– Resumen consumos a velocidad variable (kWh)

Motor	Consumo Anual (KWh)	Coste Anual (euros)
300-776	471.732	26.256,6
300-774	254.275,2	14.152,96

Ventiladores

En el caso de los ventiladores o sopladores a veces sucede que las condiciones de referencia de velocidad de rotación, densidad del gas, o presiones y temperaturas en la admisión, no coinciden con las condiciones de sitio. Estas posibles diferencias en velocidad o densidad alteran las curvas características. Por eso, en estos casos es necesario dibujar de nuevo las curvas para que se ajusten a las características de sitio. Esto en el caso de las bombas no sucede porque las curvas están definidas en términos de altura, que sólo depende de la velocidad del líquido en el rodete, no de la densidad. Para ello se introducen factores correctores de la densidad y la velocidad K1 y K2.

Tomando cinco puntos característicos de las curvas características y aplicándoles estos factores correctores, se pueden determinar otros cinco puntos característicos ajustados a las condiciones de sitio y dibujar con ellos las nuevas curvas características.

Para determinar los valores de presión (p), caudal (Q), y potencia de entrada al ventilador (Pvin) en condiciones de campo se utilizan las siguientes expresiones que los relacionan con sus respectivos valores en condiciones de las curvas (p', Q', Pvin')

$$p = K1 \times K2^2 \times p'$$

$$Q = K2 \times Q'$$

$$Pv_{in} = K1 \times K2^3 \times P' v_{in}$$

TABLA XII.– Resumen consumos a velocidad variable (kWh)

Motor	N-683	N-539	N-660	N-772	N-550
300-306	66.882,6	74.294,4	37.380,9	5.029,8	24.883,2
300-307	53.348,4	58.958,4	52.142,4	8.362,8	15.724,8
300-308	10.117,8	19.766,4	12.484,8	3.878,4	50.999,4

TABLA XIII.– Resumen consumos a velocidad variable (kWh)

Motor	Consumo Anual (KWh)	Coste Anual (euros)
300-306	208.470,96	11.603,49
300-307	188.536,8	10.493,96
300-308	50.999,4	2.838,62

Costes totales

El coste total para todos los motores estudiados y para ambas aplicaciones, bombas y ventiladores, en las nuevas condiciones es de 65.345,55 euros/año.

Como se observa, el consumo de energía en estos motores ha disminuido desde 90.980,72 euros a 65.345,55 euros. Así queda de manifiesto la importancia de llevar un buen control y una adecuada gestión de los consumos energéticos de los mismos, no sólo para ahorrar en energía eléctrica sino también en costes. A continuación se analiza detalladamente los ahorros que se han obtenido.

2) *Análisis y valoración económica de la propuesta*

Ahorros obtenidos

La alternativa de mejora del accionamiento de los motores mediante la utilización de variadores de velocidad en lugar de otros elementos tradicionales reguladores de flujo aporta unos ahorros de energía consumida que repercutirán directamente en los costes explotación de cada uno de ellos en menor ó mayor medida.

Estos ahorros son la diferencia entre los consumos a velocidad constante y a velocidad variable. En la tabla XIV se resumen todos los ahorros conseguidos con este método.

TABLA XIV.– Ahorros energéticos y económicos obtenidos

Motor	kWh / año	euros / año
300-306	41.524,4	2.311,2
300-307	184.129,44	10.248,64
300-308	70.052,4	3.899,1
300-774	52.041,6	2.896,62
300-776	112.821,6	6.279,7

Valoración económica de las mejoras

Este análisis económico se basa en el cálculo del período de amortización del capital invertido ó tiempo de retorno de la inversión. Este indicador económico evalúa el tiempo que es necesario que transcurra para que, con los ahorros aportados por la utilización de variador se compensen los costes iniciales de la inversión.

Los costes de inversión incluyen el precio del equipo (variador) y los costes de instalación de éste, supuestos un 10% del precio del variador.

Para que una inversión en un variador se considere rentable el período de retorno de la inversión debe estar comprendido entre los dos ó cuatro años. Se considera período de retorno de la inversión al cociente entre los costes de inversión y los ahorros obtenidos.

La elección del variador se ha realizado mediante el software proporcionado por la casa Schneider, proveedor con el que trabaja Columbian Carbon Spain, donde ofrecen también los precios.

Como se puede ver en la tabla XV todos los motores consiguen ahorros anuales considerables, y sus períodos de retorno son menores de 5 años, por lo que la inversión resulta totalmente viable.

TABLA XV.– Período de retorno de la inversión en motores

Motor	Coste (euros)	Ahorro (euros/año)	Retorno (años)
300-306	9.875,8	2.311,2	4,2
300-307	14.598,1	10.248,64	1,42
300-308	6.105	3.899,1	1,5
300-774	14.598,1	2.896,62	5
300-776	14.598,1	6.279,7	2,3

Presupuesto

La tabla XVI resume los costes de inversión de la propuesta de ahorro energético.

TABLA XVI.– Presupuesto económico

Unidad	Coste adquisición (euros)	Coste Instalación (euros)	Coste Total (euros)
300-306	8.978	897,8	9.875,8
300-307	13.271	1.327,1	14.598,1
300-308	5.550	555	6.105
300-774	13.271	1.327,1	14.598,1
300-776	13.271	1.327,1	14.598,1
TOTAL			59.775,1

3. Conclusiones

Con este proyecto se ha pretendido dar las claves para implantar un programa de gestión energética en la empresa Columbian Carbon Spain S.A., y, en general, en cualquier planta industrial.

Las recomendaciones hechas son una primera solución a la situación actual de la planta, pero el análisis de su evolución a lo largo del tiempo es lo que determinará, finalmente, la validez y cuantía de las mejoras aportadas.

Tras una revisión del sistema eléctrico de la planta, sus posibles focos de pérdidas, y el estudio de la factura eléctrica de la empresa, se procedió al estudio de la situación de una muestra de motores de las líneas de producción de la fábrica.

Se ha trabajado con un número de motores pequeño, es decir, a pequeña escala, pero este hecho no le resta valor a la tecnología aquí presentada. Lo único que se pretende en este proyecto es poner de manifiesto las posibilidades de ahorro energético que se consiguen mediante la mejora de los accionamientos de los motores eléctricos.

Se escogieron cinco motores representativos de la planta para este estudio. Una vez analizadas sus condiciones de funcionamiento, consumos y perfiles de operación, se desarrolló una alternativa para conseguir disminuir la energía consumida por los motores y, por consiguiente, la factura eléctrica de la empresa.

La solución sugiere la sustitución de las válvulas de control de flujo que actualmente utiliza la empresa en aquellas máquinas accionadas por motores eléctricos, que no requieren trabajar a plena carga la mayor parte del tiempo (bombas y ventiladores), por variadores de velocidad.

Los variadores ajustan la velocidad del motor en función de las condiciones de demanda para no despilfarrar energía innecesariamente.

Se ha comprobado que la inversión necesaria se verá amortizada en un plazo menor a los cinco años. El ahorro

que se consigue de esta manera asciende a unos 25.635,26 euros al año, mientras el presupuesto de compra de los variadores de velocidad es de 59.775,1 euros.

Agradecimientos

Los autores desean manifestar su agradecimiento a la empresa Columbian Carbon Spain por su contribución material en la realización de este trabajo y su buena disposición en la atención personal a los autores.

Referencias

- [1] CONTROL TECHNIQUES, "Fan & Pump Motor Energy Savings Guide".
- [2] ENERGY EFFICIENCY, "Variable Speed Drives. A guide for electrical engineers", Energy Efficiency Best Practice Programme.

- [3] EASTON CONSULTANTS., "Variable Frequency Drives" Market Research Report, Easton Consultants. Northwest Energy Efficiency Alliance.
- [4] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. "Adjustable Speed Drives, Applications Guide".
- [5] JOHN C. ANDREAS. "Energy-Efficient Electric Motor. Selection and Application". Second Edition.
- [6] JEAN BONAL. " Accionamientos eléctricos a velocidad variable. Fundamentos de Electrotecnia y de Mecánica" Schneider Electric.
- [7] ENERGY EFFICIENCY. "Energy savings with motors and drives". Good practice guide 2. Best practice programme.
- [8] ENERGY EFFICIENCY. "Energy savings in industrial water pumping systems". Good practice guide 249. Best practice programme. Guía del gobierno de Gran Bretaña obtenida en www.energy-efficiency.gov.uk
- [9] Pacific Gas and Electric Company. "Efficiency Opportunities with Adjustable Speed Drives"