

# Eficiencia total de sistemas accionados con motorreductores

\*Por: *Transmisiones Ltda*

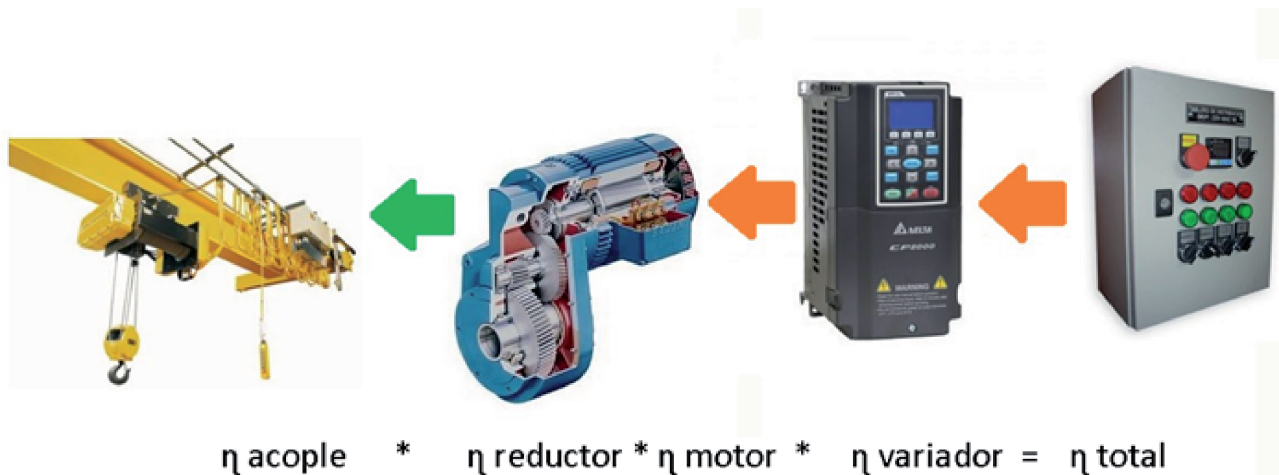


Figura 1. Sistema de accionamiento mediante motorreductor

Muchos procesos industriales que hoy conocemos requieren para óptimo desempeño en torque y velocidad del uso de motorreductores (combinación de motor eléctrico y caja reductora de velocidad), es el caso de bandas transportadoras, grúas, elevadores, extrusoras, molinos, etc.; adicionalmente es cada vez más evidente el beneficio del uso de variadores electrónicos de velocidad para el control de velocidad, que permiten un control más preciso del proceso y buscan optimizar el consumo de energía, dependiendo de la aplicación ciertos variadores de velocidad permiten “recuperar” energía, devolviéndola a la red (por ejemplo el frenado regenerativo en ascensores).

Muchos usuarios encuentran que al adquirir un motorreductor con el motor más eficiente mejora su consumo de energía y si adiciona un variador el ahorro es más significativo con lo cual optimiza sus costos operativos

de energía, lo anteriores parcialmente cierto, pero como lo ilustra la figura 1 hay más elementos en la cadena que deben ser considerados al momento de evaluar el rendimiento o eficiencia ( $\eta$ ) total del sistema, partiendo desde el punto de suministro de la energía eléctrica entra en la ecuación la eficiencia del variador (asumamos un 95%), la eficiencia del motor (un 85%), la eficiencia del reductor (supongamos un 70% dependiendo de la relación de engranajes y el tipo de reductor), la eficiencia entre el acople y la carga (se asume un 95%, varía dependiendo del tipo de acople), lo que para nuestro ejemplo refleja un eficiencia total estimada del 54%.

A nivel internacional se vienen implementando la aplicación de estándares que promueven el uso de motores más eficientes, es el caso de la norma EN 50598 que define los límites inferiores de eficiencias en motores eléctricos

de rendimientos alto (IE2), premium (IE3) y súper premium (futuro IE4), no obstante como ya lo mencionamos el motor eléctrico es solamente una de las piezas del rompecabezas. De hecho en la cadena de elementos que conforman un sistema de accionamiento rotativo es aceptado que los potenciales ahorros de energía se pueden descomponer en:

- ▶ 10% atribuido al uso de motores más eficientes
- ▶ 30% uso de variadores de velocidad electrónicos
- ▶ 60% optimización del sistema mecánico

Los motores eléctricos más eficientes se fabrican usando materiales y diseños más eficientes, por ejemplo rotores fabricados con barras de cobre en lugar de aluminio, operación a menor velocidad (4 polos en lugar de 2 polos), en la medida que el motor sea más eficiente, su costo de adquisición es mayor, pero se espera a lo largo de su vida útil un menor consumo de energía que compensa con creces el mayor costo de adquisición.

En relación con los variadores o reguladores de velocidad VFD <sup>1</sup> muchos usuarios asumen que al usar este tipo de equipos con eficiencias nominales cercanas al 95%, llevan el sistema a un nivel de mayor eficiencia, pues permiten ahorros de energía con arranques suaves del motor, mejoran el factor de potencia (relación entre potencia activa y potencia aparente), superior al 90% en el rango de operación, estas premisas se deben considerar con cuidado, pues si el proceso realmente no requiere de regular la velocidad, es un equipo más en la cadena que también desperdicia energía en forma de calor y cuyos costos muchas veces se pasan por alto siendo significativos en sistemas de potencias grandes que demandan del uso de costosos sistemas de enfriamiento y sistemas de aire acondicionado.

Es conocido que sistemas de par cuadrático como es el caso de las bombas centrífugas, ventiladores o compresores centrífugos se pueden esperar ahorros de energía en proporción al cubo de la velocidad de operación, allí la aplicación de un regulador de velocidad en lugar del control de caudal mediante válvulas de control resulta evidente al cuantificar los potenciales ahorros de energía.



Figura 2. Motorreductores Bauer

Dado que en mayor proporción el potencial ahorro de energía se concentra en el sistema mecánico, conviene preguntarse cuál tipo de caja reductora es la más apropiada para mi aplicación o proceso al momento de seleccionar un motorreductor.

La tabla 1 ilustra el rango de eficiencias y relaciones de velocidad para diferentes tipos de reductores comerciales.

N°	Tipo	Rango de relaciones	Rango de eficiencia
1	Cilíndrico recto	1:1 a 6:1	94-98%
2	Cónico recto	3:2 a 5:1	93-97%
3	Cónico helicoidal	3:2 a 4:1	95-99%
4	Sinfín - corona	5:1 a 75:1	50-90%
5	Hipoide	10:1 a 200:1	80-95%
6	Helicoidal	3:2 a 100:1	94-98%
7	Cicloide	10:1 a 100:1	75% - 85%

Tabla 1. Comparación de eficiencias por tipos de reductores

<sup>1</sup> VFD de la sigla en inglés "Variable Frequency Drive", también conocido como ASD "AdjustableSpeed Drive"



Las cajas reductoras manejan diferentes niveles de eficiencia y dependiendo de la aplicación algunos tipos se ajustan más que otros, por ejemplo en la aplicación de un elevador un reductor sinfín-corona presenta la ventaja que evita la operación en reversa y el uso de freno para que no se descuelgue la carga, pero su eficiencia puede ser baja. Dependiendo de la frecuencia y ciclo de operación pueden haber alternativas de solución un poco más costosas pero más eficientes, que en el largo plazo resulten las más económicas por tener un menor costo operativo.

Los reductores presentan pérdidas debido a la interacción de los dientes y su geometría, a la forma como circula el lubricante entre sus partes móviles, a la fricción en rodamientos y sellos; en todos estos aspectos se pueden lograr mejoras en eficiencia, por ejemplo con el cambio de lubricante basado en aceites minerales por lubricantes con base sintética.

Nos referimos a este aspecto técnico, dado que la eficiencia, por ejemplo en un mecanismo sinfín corona, cambia notablemente, dependiendo de la relación de reducción; es decir que para una relación 10/1 la eficiencia esta por el orden del 90%, mientras que para uno relación 100/1, su eficacia tan solo es del 50%. Esto se produce, porque en el diseño de estos equipos, se debe dar un rango de relaciones desde 5/1 hasta 100/1, manteniendo la misma distancia entre centros y solo variando módulos, ángulo de hélice de la corona y número de entradas del tornillo sinfín ( en un relación 100/1 se tiene un eje sinfín de una entrada, mientras que para un relación 5/1, se diseñan 5 entradas de la rosca sinfín, haciendo que las velocidades de deslizamiento, coeficientes de rozamiento e irreversibilidad varíen. Además de este factor, se debe tener en cuenta, que el eje sinfín se fabrica en acero aleado, tratado térmicamente y rectificando, mientras la corona es en bronce SAE, lo cual hace que el coeficiente de rozamiento sea elevado y las perdidas traducidas en calor se elevan.

Para los otros tipos de reductores, el mecanismo está basado en la combinación de engranajes rectos helicoidales, cónico helicoidales, hipoidales, etc., y en ellos las eficiencias oscilan entre el 92% y el 98 % en el mejor de los casos. Esta mayor eficiencia está fundamentada en el diseño de engranajes, con las últimas tecnologías de cálculo, dientes corregidos, elementos finitos y se tienen en cuenta la mayor cantidad de factores que influyen para lograr un diseño optimo (coeficiente de corrección del perfil, desviaciones de la circunferencia primitiva y de cabeza, juego de fondo efectivo, factor de seguridad contra el "pitting"<sup>2</sup>, calidad de dentado, tolerancias de espesores de diente, cálculo de la evolvente, etc.), la

utilización de aceros de alta aleación, tratamientos térmicos controlados, tipo y calidad de rodamientos, calculados para soportar las cargas axiales y radiales con mejor eficiencia y larga vida útil (> 200.000 horas).

Todas estas mejoras técnicas permiten establecer una pérdida del 1.5% por cada tren de engranajes, que permiten al combinarse llegar a relaciones, por ejemplo 100/1 con una eficiencia del 95.5% al combinar tres parejas en un mismo reductor.

Las consideraciones anteriores nos llevan a comprender, porque es importante, seleccionar un mecanismo (reductor), con las mejores características de torque, potencia, relación, aplicación, lubricante, factor de servicio, etc., y nos conduce a un diseño óptimo de la transmisión, que contribuirá a elevar la eficiencia del sistema y minimizar las pérdidas de energía y potencia (recordemos que la transmisión mecánica es responsable del 60% de la mejora en eficiencia a lograr).

Por ultimo podemos hacer una sugerencia de lo que sería una transmisión ideal y de la mayor eficiencia (94%):

Motor eléctrico eficiencia IE2 o IE3 + Variador electrónico de velocidad para torque variable + Reductor de engranajes helicoidales en cualquier de sus formas constructivas + acoplamiento rígido o flexible de acuerdo a las cargas y/o inercias + maquina accionada de optimo diseño.

Recordemos que el solo uso de motores de alta eficiencia, no nos garantiza el mayor ahorro de energía. Se deben tener en cuenta los demás elementos de transmisión.

En estos aspectos es donde los ingenieros de Bauer pueden aconsejar que tipo de reductor es el más apropiado dependiendo de la aplicación, buscando una operación confiable y más eficiente de todos los componentes que conforman el sistema de accionamiento rotativo.

**\* Transmisiones Ltda**  
**Baur Gear Motor**

**Autores:**  
**Juan Ahogado, IM Universidad Nacional de**  
**Colombia**

**Jaime Salazar Gómez,**  
**IE Universidad Nacional de Colombia,**  
**MScEEUniversity of Nottingham U.K.**

<sup>2</sup> Picadura en el recubrimiento del dentado de un engranaje