

# Actuadores eléctricos con vástago frente a cilindros hidráulicos: una comparación de los pros y los contras de cada tecnología

Por Aaron Dietrich

## Acerca del autor



Aaron Dietrich tiene una amplia trayectoria en la industria del control de movimiento y cuenta con varios años de

experiencia trabajando específicamente en el área de unidades de transmisión y controles como ingeniero comercial de diseño y aplicaciones. Aaron es licenciado en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Dakota del Norte y posee el título del Máster de Administración y Dirección de Empresas por la Universidad de St. Thomas, en Minnesota.

## Acerca de Tolomatic

Tolomatic es un proveedor líder en actuadores lineales, tanto eléctricos como neumáticos. La experiencia de Tolomatic incluye actuadores lineales, actuadores servoaccionados de alto empuje, servomotores y motores graduales, así como unidades de transmisión y sistemas lineales configurados. Tolomatic es conocida por su entrega rápida líder en la industria. Tolomatic también fabrica cilindros neumáticos sin vástago, accionamientos de engranajes en ángulo recto, frenos de disco clutches.

Los cilindros hidráulicos, conocidos por su gran fuerza a un precio rentable, se han utilizado ampliamente en equipos de automatización de fábrica y otros equipos de automatización especiales durante décadas. Los sistemas hidráulicos son resistentes, relativamente fáciles de implementar y proporcionan un bajo costo por unidad de fuerza. En los últimos años, el actuador eléctrico con vástago (cilindros) ha adquirido mayor flexibilidad, precisión y fiabilidad con capacidades de fuerza cada vez más grandes. Estos avances en los actuadores eléctricos con vástago han generado un debate continuo sobre qué tecnología (cilindro hidráulico o actuador eléctrico) ofrece la mejor solución general para la misma aplicación. En este documento se analizará una variedad de factores que afectan al rendimiento y al costo de cada tecnología, entre los que se incluyen los siguientes: capacidades de control de movimiento, componentes del sistema y tamaño, capacidades de fuerza, capacidades de velocidad, temperatura, vida útil y mantenimiento de los dispositivos, recopilación de datos, costos de eficiencia/electricidad, fugas y problemas medioambientales, así como otros factores adicionales.

## Capacidades de control de movimiento

La razón principal por la que los ingenieros escogen un sistema de actuador eléctrico frente a un sistema de cilindros hidráulicos es la flexibilidad de sus capacidades de control de movimiento: control de posición (varias posiciones, precisión), control de velocidad, control de la aceleración/desaceleración, control de la fuerza de salida y el control complejo de todas estas variables de movimiento al mismo tiempo. Los actuadores eléctricos, junto con una unidad de servotransmisión y un sistema de motor, ejercen un control infinito sobre la posición. Los niveles de precisión y repetibilidad están muy por encima de las capacidades de un sistema hidráulico.

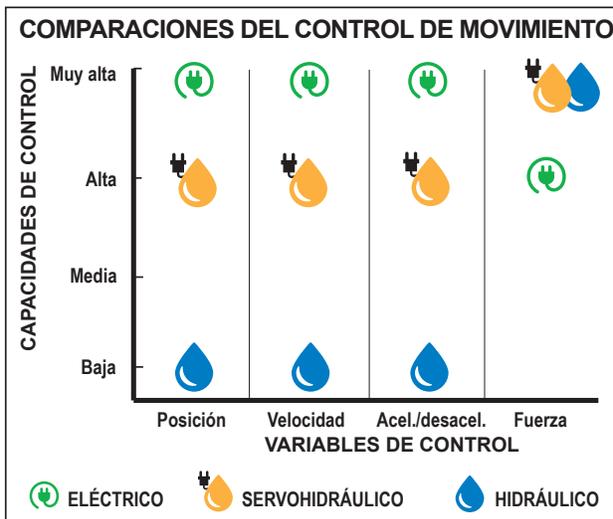
El sistema hidráulico estándar es ideal para aplicaciones de posición integrales, pero el posicionamiento de carrera media es más complicado, ya que requiere una válvula de control y asistencia del operador. El posicionamiento de carrera media es de circuito abierto y requiere que un operador decida qué posición es aceptable. Asimismo, el control de velocidad se supervisa a través de una válvula de control y de nuevo requiere que el operador marque la velocidad

*Los sistemas hidráulicos estándar requieren la intervención constante por parte del operador para alcanzar el nivel de rendimiento deseado.*

aceptable para una aplicación, pero alcanzar un ajuste de velocidad exacto a menudo es difícil de lograr. Una vez establecido el ajuste de velocidad, la salida de fuerza de presión requerida en un cilindro hidráulico se regula a través de la válvula de presión. Una vez más, suele ser necesario que un operador marque la fuerza deseada. Por último, la repetibilidad de la posición, la velocidad y la fuerza de un cilindro hidráulico están vinculadas a sellos desgastados, fugas, caídas de presión y picos de la bomba, así como a otros factores de mantenimiento. Es difícil obtener un rendimiento repetitivo día a día, mes a mes o año a año en un entorno de producción cuando la calidad y la viscosidad del aceite cambian debido a variaciones de temperatura. La obtención del nivel de rendimiento deseado requerirá una intervención constante por parte del operador.

*Los sistemas servohidráulicos pueden controlar con precisión la posición, la velocidad y la fuerza, pero requieren componentes adicionales y son bastante complejos y costosos.*

Los sistemas hidráulicos más avanzados, llamados "servohidráulicos", pueden controlar con precisión la posición, la velocidad y la fuerza, pero requieren componentes adicionales: un servocontrolador, una servoválvula electrohidráulica y un dispositivo de retroalimentación de posición como un transductor lineal, lo cual añade complejidad, espacio y costo significativos a un sistema hidráulico. Estos componentes controlan la presión y el flujo en el cilindro hidráulico, de forma similar a cómo una unidad de servotransmisión controla la corriente a un servomotor. Los sistemas hidráulicos también poseen controladores aún más avanzados, que permiten coordinar varios ejes de forma conjunta. Sin embargo, esto es inusual en la implementación del sistema hidráulico, y estos controladores añaden extrema complejidad y costo al sistema general. Además, pueden ser bastante delicados y necesitan un estricto mantenimiento para garantizar el rendimiento deseado.

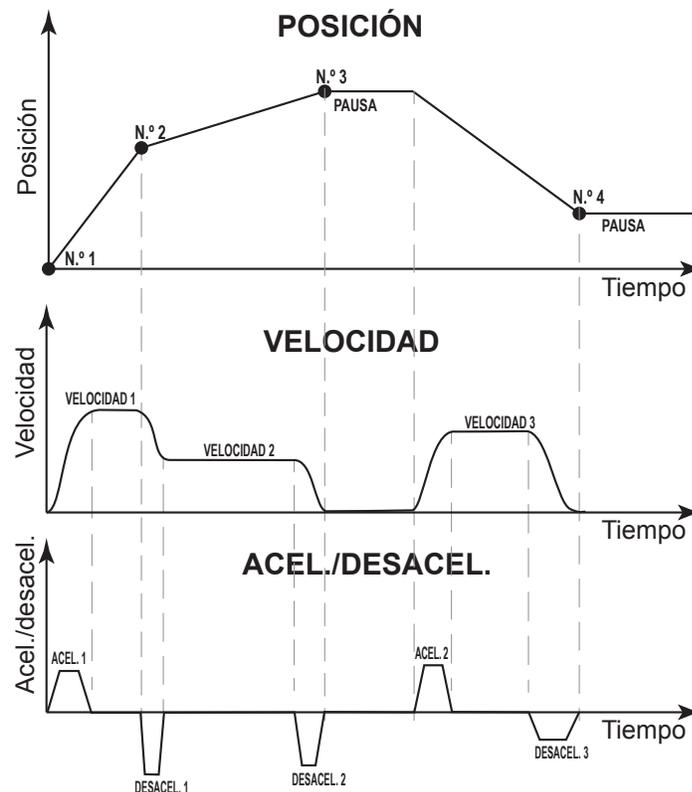


**Figura 1: El control sobre todos los aspectos del movimiento puede ser extremadamente importante en aplicaciones críticas en las que entran en juego la posición, la velocidad y la fuerza precisas. En este gráfico se muestran las capacidades de control de las tres tecnologías.**

*Los servosistemas eléctricos proporcionan un control infinito, una precisión y repetibilidad superiores y, una vez programados, necesitan poca intervención o mantenimiento.*

Cuando se combinan con un sistema de servocontrol, los actuadores eléctricos ofrecen un control infinito y una precisión y repetibilidad superiores. Los servocontroladores de varios ejes están disponibles de forma inmediata en la mayoría de los sistemas de control modernos de la actualidad. Los controladores y actuadores eléctricos se pueden coordinar juntos de forma fácil y rentable en configuraciones complejas. La velocidad de uno o varios actuadores eléctricos se controla con precisión y exactitud en todo momento y se puede cambiar fácilmente de una velocidad a otra sin detener ni sobrepasar la posición. El control de aceleración y desaceleración significa que los actuadores eléctricos no se "golpean" en las paradas bruscas ni se sacuden en los arranques. De este modo, se eliminan la tensión en los elementos del bastidor y la necesidad de sobreequ coastar las estructuras para soportar cargas de choque. Todos los movimientos serán fluidos, lo que permite que los actuadores eléctricos se utilicen en procesos críticos en los que las vibraciones de la máquina no son aceptables o la velocidad del proceso se ve afectada. La fuerza se controla a través de la corriente al servomotor. Dado que los servocontroladores poseen un control preciso sobre la corriente, casi todos los actuadores eléctricos proporcionan un control exacto y repetitivo de la salida de fuerza en el punto de trabajo.

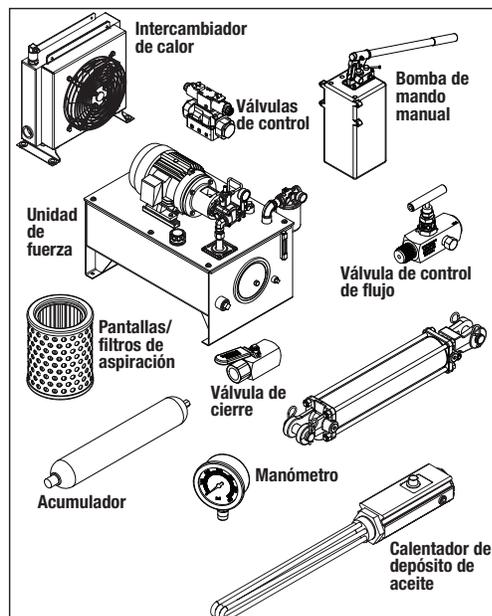
*Una característica importante de los actuadores eléctricos es su capacidad para proporcionar un control programable de todas las variables de perfil.*



**Figura 2: En este gráfico se muestran diferentes posiciones de perfil de movimiento a diferentes velocidades con distintos índices de aceleración/desaceleración, todo bajo un control completo y preciso.**

Por último, una característica importante de los actuadores eléctricos es su capacidad para proporcionar un control programable de todas las variables de perfil de movimiento. Como resultado, la única interacción del operador requerida es el tiempo de diseño inicial para crear las variables de rendimiento deseadas en un PLC u otro entorno de programación del controlador. Una vez establecidas, la operación se repite día a día, mes a mes y año a año. Además, con el uso de pantallas HMI (interfaz hombre-máquina), las variables de posición, velocidad, aceleración/desaceleración y fuerza se pueden cambiar fácilmente en cualquier momento, lo cual da lugar a una flexibilidad máxima. En un entorno de OEM, el rendimiento del sistema será más fácil de controlar debido a una mayor uniformidad de un sistema eléctrico frente a un sistema de fluidos.

*El número de componentes y el espacio total necesarios para un sistema hidráulico son mucho mayores que para un sistema eléctrico.*



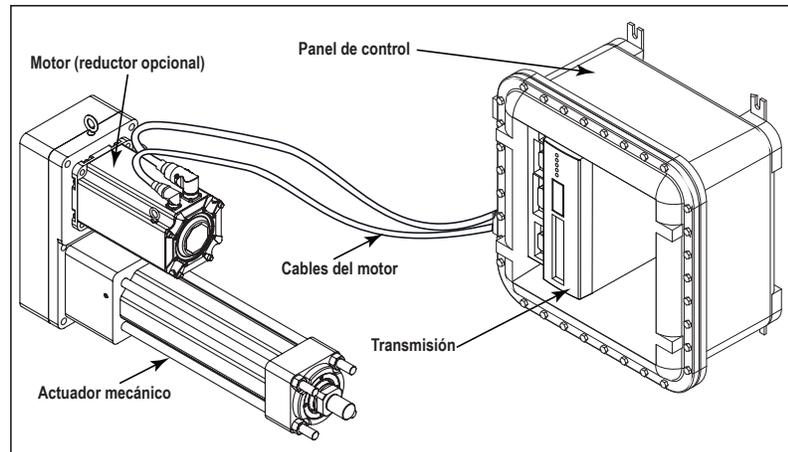
**Figura 3: Componentes del sistema hidráulico**

Los cilindros hidráulicos ofrecen un tamaño compacto en el punto de trabajo (donde se requiere la densidad de potencia), pero la unidad de energía hidráulica (HPU) que regula el flujo y la presión para estos actuadores y otros componentes puede requerir más espacio. Las HPU no son pequeñas y normalmente se colocan cerca del propio cilindro, lo que aumenta aún más el tamaño del sistema. En sistemas muy grandes con HPU montadas en remoto, las longitudes largas de la manguera pueden disminuir la rigidez general y la eficiencia del sistema hidráulico.

### Componentes del sistema y tamaño

El número de componentes y el espacio total necesarios para un sistema hidráulico son mucho mayores que para un sistema eléctrico. Los sistemas hidráulicos requieren: un cilindro, una unidad de fuerza para proporcionar presión de aceite, válvulas de control y válvulas accesorias, filtros, mangueras, accesorios y componentes adicionales. Los cilindros hidráulicos ofrecen un

*Los actuadores eléctricos con vástago son generalmente más pequeños.*



**Figura 4: Componentes del sistema eléctrico**

*Los requisitos de tamaño para una unidad de servotransmisión son normalmente una mínima parte de los requisitos de tamaño de una HPU.*

Los actuadores eléctricos con vástago son generalmente más pequeños. Estos sistemas utilizan un actuador mecánico, un motor (servo u otro), un reductor opcional, cables y una unidad de transmisión/amplificador, que normalmente se monta en un panel de control. Aunque el actuador eléctrico, debido a que integra un tornillo de potencia y un sistema de cojinetes, requiere una longitud adicional sobre un cilindro hidráulico, si se tiene en cuenta el tamaño general del sistema, esta longitud adicional se ve en gran parte compensada por el tamaño mucho más pequeño del servomotor, el equivalente funcional de la HPU. Normalmente, el equipo de automatización emplea un panel de control y se puede diseñar para una unidad de transmisión adicional. Los requisitos de tamaño para una unidad de servotransmisión son normalmente una mínima parte de los requisitos de tamaño de una HPU.

En los nuevos diseños de sistema, si se puede lograr que el espacio adicional en el punto de trabajo aloje la carrera de trabajo del actuador eléctrico y la longitud total, el tamaño general de la máquina se puede reducir en gran medida al eliminar la necesidad de grandes unidades de fuerza.

## Capacidades de fuerza

Debido a las altas presiones de funcionamiento de los sistemas de cilindros hidráulicos, estos resultan excelentes para producir fuerzas extremadamente altas. Las presiones habituales oscilan entre 124.1 a 206.8 bar (1800 y 3000 psi). En algunos sistemas hidráulicos de alta presión, las clasificaciones de presión de hasta 344.7 bar (5000 psi) se utilizan para enfatizar aún más la densidad de potencia. Dado que los cilindros hidráulicos funcionan según el principio de potencia hidráulica **Fuerza = Presión × Área**, las altas presiones permiten cilindros más pequeños para alcanzar fuerzas muy grandes. Por ejemplo, los cilindros de 3 y 5 pulgadas de diámetro a 2200 psi podrían alcanzar aproximadamente 66 723.3 kN (15 000 lbf) y 191 273.5 kN (43 000 lbf), respectivamente. Sin embargo, los cilindros hidráulicos no suelen utilizar su

capacidad de fuerza de salida completa; por lo general se sobredimensionan para mejorar el control.

*Con la tecnología eléctrica, es posible alcanzar las fuerzas extremas que puede producir el sistema hidráulico pero, por lo general, el actuador eléctrico implementado tendrá un diámetro de cuerpo mayor y el sistema de actuador eléctrico tendrá una velocidad máxima que no se podrá superar.*

Al considerar los actuadores eléctricos, es importante determinar la fuerza de trabajo requerida. Para estimar la fuerza aproximada requerida para un actuador eléctrico, el método habitual es ajustar el puerto de trabajo hidráulico o la presión del sistema hasta que la operación ya no se pueda realizar. Los sistemas de actuadores eléctricos dependen de la corriente que pasa a través del servomotor para producir torque en el sistema mecánico, que impulsa el tornillo para girar y generar fuerza. Esta es una gran ventaja, ya que la fuerza es instantánea. En los sistemas hidráulicos, donde la rigidez del sistema no está optimizada, el actuador hidráulico debe esperar a que se genere presión hasta que se obtenga la fuerza. Otra gran ventaja de los sistemas eléctricos es que el servocontrolador regula automáticamente la corriente. El sistema de actuador eléctrico utiliza básicamente la corriente "bajo demanda". Cualquier ajuste se produce automáticamente. Una unidad de energía hidráulica siempre debe mantener la presión en el sistema para que el cilindro hidráulico se pueda accionar, algo que puede resultar muy difícil.

Al seleccionar un sistema de actuador eléctrico, es importante tener en cuenta las capacidades de RPM y torque del motor, junto con el paso del tornillo en el actuador eléctrico. Puede resultar difícil que la velocidad y el torque del servomotor coincidan con la salida mecánica del tornillo de avance. Con la tecnología eléctrica, es posible alcanzar las fuerzas extremas que puede producir el sistema hidráulico pero, por lo general, el actuador eléctrico implementado tendrá un diámetro de cuerpo mayor y el sistema de actuador eléctrico tendrá una velocidad máxima que no se podrá superar. La complejidad en el tamaño de un sistema se puede superar fácilmente, ya que los fabricantes de actuadores y servocomponentes proporcionan paquetes de software de calibración de control de movimiento fáciles de usar que tienen en cuenta todas estas variables.

### **Capacidades de velocidad**

*Un sistema de actuador eléctrico ejerce un control completo sobre el perfil de movimiento y puede adaptarse más rápido para reducir el tiempo de ciclo y aumentar la eficiencia.*

Puede suponer un reto alcanzar una alta velocidad a una gran fuerza tanto para las tecnologías hidráulicas como las eléctricas. Los sistemas hidráulicos requieren presión para la fuerza y flujo para la velocidad. Para lograr velocidades más altas a fuerzas mayores, debe haber suficiente aceite presurizado en el sistema para empujar el volumen requerido de aceite en un cilindro en el período de tiempo requerido (definido como flujo). Esto normalmente requiere un sistema de acumulación para mantener el volumen presurizado. El problema se puede multiplicar con cilindros de carrera larga. Los acumuladores descargados pueden dejar al sistema sin aceite. En definitiva, la implementación de capacidad adicional en sistemas de acumulador hidráulico les permite alcanzar altas velocidades a grandes

fuerzas. La desventaja de esta práctica es que sin control servohidráulico en el sistema hidráulico, el exceso de energía (fuerza  $\times$  velocidad) se utiliza principalmente en un esquema de control de circuito abierto.

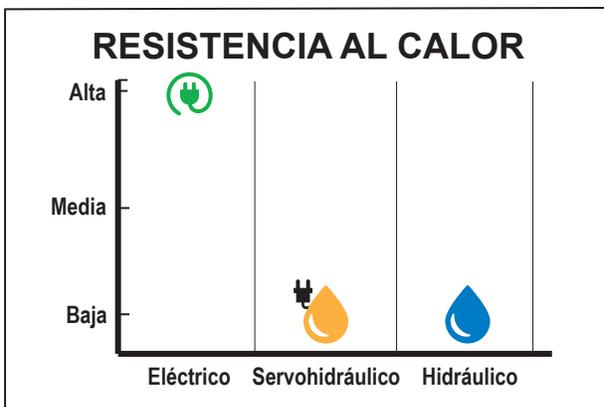
Como se indicó anteriormente, las capacidades de fuerza de un sistema de actuador eléctrico dependen de la combinación correcta de RPM del servomotor, torque del servomotor y la utilidad mecánica del paso del tornillo y, si procede, un reductor. A medida que los servomotores aumentan de tamaño, el torque suele incrementarse significativamente, pero las RPM disminuyen. En aplicaciones extremas de fuerza y velocidad, la única manera en que un sistema de actuador eléctrico puede ser capaz de lograr el rendimiento deseado es sobredimensionar el sistema, lo que puede suponer un coste prohibitivo. Por otra parte, recuerde que un sistema de actuador eléctrico tiene un control completo sobre el perfil de movimiento; no tiene que desplazarse por toda la longitud en cada ciclo. Además, con el control de aceleración y desaceleración, el sistema eléctrico puede adaptarse más rápidamente, lo que reduce el tiempo de ciclo y aumenta la eficiencia. Por último, la tecnología de actuador eléctrico puede mitigar algunas de las velocidades máximas requeridas a medida que se puedan ejecutar movimientos más inteligentes y más cortos.

*Un problema importante para los sistemas hidráulicos es la generación de calor.*

## **Temperatura (calor y frío)**

### **Calor**

Un problema importante para los sistemas hidráulicos es la generación de calor. Las ineficiencias de los sistemas hidráulicos provocan sobrecalentamiento. Las temperaturas de los fluidos hidráulicos por encima de los 82 °C (180 °F) dañan la mayoría de los compuestos de sellado y aceleran la degradación del aceite. El diseño del circuito puede desempeñar un papel importante en la generación de calor. Las mangueras, los accesorios y otros componentes pueden ser un factor si tienen un tamaño incorrecto en función de los requisitos de flujo. Los sofisticados sistemas de protección de carga pueden mitigar la mayoría de los problemas de calor, pero pueden ser costosos. Los intercambiadores de calor son una forma económica de gestionar este problema sin necesidad de aumentar significativamente el tamaño de su depósito y, en última instancia, el tamaño de la HPU.



**Figura 5: En comparación con el sistema hidráulico, los sistemas eléctricos son mejores en cuanto a la gestión de la resistencia al calor.**

*Los actuadores eléctricos se pueden sobrecalentar a veces, pero la causa suele deberse a cambios extremos en el ciclo de trabajo o a que se superan las especificaciones de diseño.*

Hay dos maneras de resolver problemas de sobrecalentamiento en los sistemas hidráulicos: disminuir la carga de calor o aumentar la disipación de calor. Los sistemas hidráulicos disipan el calor a través del depósito, cuando se dispone del nivel correcto de aceite o se utilice un intercambiador de calor. El mantenimiento de un sistema hidráulico para gestionar el calor requerirá atención y cuidados constantes.

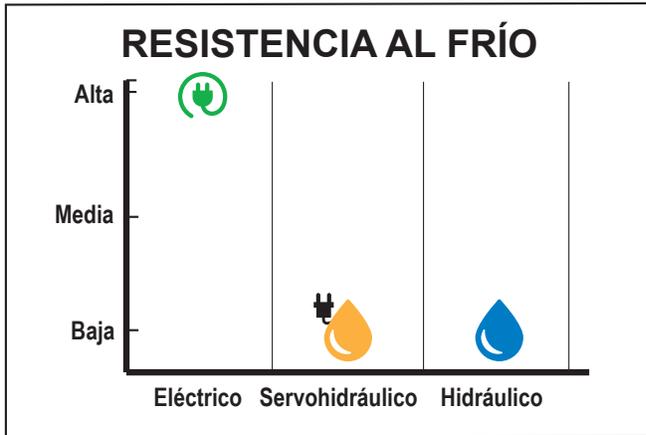
Los actuadores eléctricos se pueden sobrecalentar a veces, pero la causa suele deberse a cambios extremos en el ciclo de trabajo o a que el actuador se ejecuta de una forma más brusca que para lo que estaba diseñado. Los cambios extremos en la temperatura ambiente que no se han tenido en cuenta en el diseño también pueden causar sobrecalentamiento, pero estas condiciones son excepciones y normalmente no se producirían en la mayoría de los entornos de automatización de fábrica. Puesto que los sistemas de actuadores eléctricos cuentan con una mayor eficiencia y precisión de calibración, se pueden seleccionar para que se ejecuten a la temperatura deseada para la cantidad determinada de trabajo requerida. La predicción exacta de la temperatura permite que el sistema de actuador eléctrico funcione de manera uniforme sin afectar a la vida útil del dispositivo.

### **Frío**

*El aceite frío en los sistemas hidráulicos hace que el funcionamiento sea lento y no uniforme, lo cual puede afectar la fuerza y la velocidad.*

Las temperaturas frías presentan otros problemas para los sistemas hidráulicos. El aceite frío provoca un funcionamiento lento y no uniforme hasta que el aceite se calienta, lo que a su vez provoca grandes oscilaciones en la fuerza y la velocidad. Las oscilaciones de temperatura de calor a frío también pueden afectar a la integridad del sello del vástago, un componente esencial que ayuda a prevenir fugas y la contaminación. Los calentadores de tanque de aceite pueden gestionar las temperaturas de arranque, pero son un componente adicional y resultan costosos.

Los actuadores eléctricos, por otro lado, se pueden implementar con grasa de temperatura extrema que permite arranques rápidos y eficaces a temperaturas frías. Por lo general, hay una pequeña diferencia de rendimiento en la repetibilidad de la fuerza de una temperatura fría a una temperatura cálida. Esta diferencia es aceptable en la mayoría de las aplicaciones.



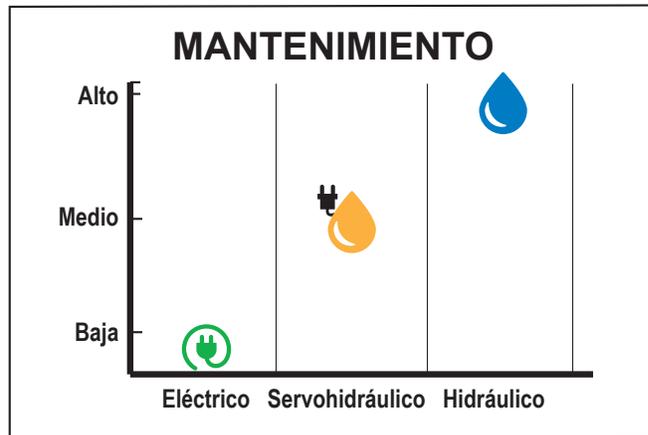
**Figura 6: En los sistemas eléctricos no hay posibilidad de que los fluidos se espesen a temperaturas frías, por lo que funcionan de manera uniforme a pesar de las fluctuaciones en las oscilaciones de temperatura.**

*Los sistemas hidráulicos requieren mantenimiento y cuidados frecuentes para lograr el rendimiento deseado durante la vida útil del sistema.*

### Vida útil y mantenimiento

Los sistemas hidráulicos son dispositivos resistentes y ampliamente utilizados que pueden tener una larga vida útil. El equilibrio se consigue debido a que requieren mantenimiento y cuidados frecuentes para lograr el rendimiento deseado durante la vida útil del sistema. Es fundamental mantener la integridad de los sellos del vástago y del pistón para la repetibilidad, ya que estos son los elementos principales que contienen la presión necesaria para el movimiento y la fuerza. Si estos componentes se desgastan o se dañan, se deben sustituir. De lo contrario, la fuerza se reducirá a la presión inicial o se pueden producir fugas que afectarán a la velocidad. El cambio periódico de los filtros de aceite y del aceite son tareas de mantenimiento adicionales. El aceite contaminado o degradado también puede afectar gravemente el funcionamiento del sistema. Si se ignora el mantenimiento, se dará lugar a fugas o contaminación, así como a fallos prematuros de los componentes.

*Los actuadores eléctricos diseñados para la vida útil de una aplicación no requieren mantenimiento.*



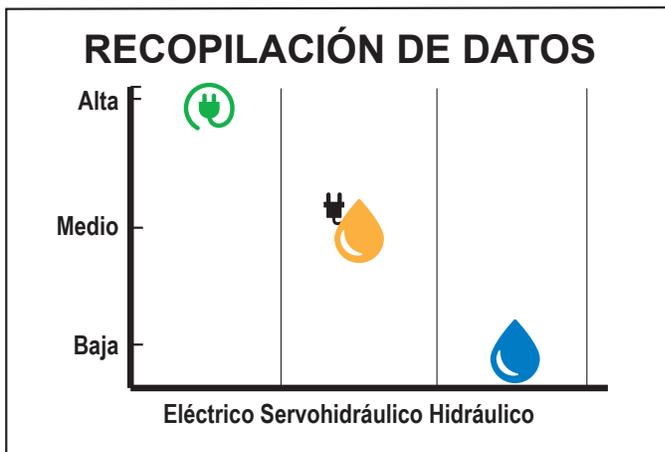
**Figura 7: Los sistemas eléctricos requieren poco o ningún mantenimiento en comparación con los sistemas hidráulicos.**

Por otro lado, los actuadores eléctricos diseñados para la vida útil de una aplicación no requieren mantenimiento. Los principales elementos de potencia de un actuador eléctrico son el tornillo de potencia y otros elementos de cojinetes de empuje. Estos elementos tienen una especificación de índice de carga dinámica (DLR) que se puede utilizar para estimar la cantidad de trabajo (fuerza sobre distancia) que un actuador eléctrico puede realizar. Mediante el uso de una estimación de vida L10 estándar de la industria ([consulte nuestra guía sobre la estimación de la vida útil del actuador](#)), se puede estimar la duración de los actuadores eléctricos en una aplicación con una fiabilidad del 90 %. Estos elementos de potencia suelen estar engrasados de por vida, pero se pueden aplicar métodos de engrase in situ si es necesario. El otro elemento de desgaste de un actuador eléctrico con vástago es el sello del vástago, diseñado para evitar que entren agua, polvo y otros contaminantes del medioambiente en los componentes internos del actuador. A diferencia de los sellos de los cilindros hidráulicos, no es necesaria la presión para sujetar el actuador a fin de obtener el funcionamiento adecuado. Incluso si el sello falla, el actuador seguirá funcionando. Si se producen daños, los sellos del vástago se reemplazan fácil y económicamente en la mayoría de los actuadores eléctricos. El uso indebido es la razón principal por la que los actuadores eléctricos fallan. Los factores de uso indebido más comunes son superar las especificaciones de rendimiento del actuador durante períodos prolongados de tiempo o las negligencias graves.

Los cilindros hidráulicos requieren sistemas servohidráulicos costosos y complejos con sensores adicionales para rastrear y supervisar la posición, la velocidad, la fuerza y otros factores que tienen lugar en el punto de trabajo.

## Recopilación de datos

En la búsqueda interminable de mejorar los procesos de fabricación, la recopilación de datos en áreas críticas es cada vez más frecuente en el entorno de fabricación actual. Nuevamente, los cilindros hidráulicos requieren sistemas servohidráulicos costosos y complejos con sensores adicionales para rastrear y supervisar la posición, la velocidad, la fuerza y otros factores que tienen lugar en el punto de trabajo. Todos estos factores van integrados en el servosistema de un actuador eléctrico. La supervisión de la corriente del motor facilita el seguimiento de la fuerza y la repetibilidad. El dispositivo de retroalimentación del motor registra la posición y la velocidad precisas.



**Figura 8: Los sistemas eléctricos ofrecen la mayor cantidad de capacidades de recopilación de datos respecto a los sistemas hidráulicos convencionales y servohidráulicos.**

Los sistemas de actuadores eléctricos normalmente funcionan en el rango de eficiencia del 75-80 % durante el trabajo que llevan a cabo; los sistemas de actuadores hidráulicos suelen funcionar en el rango de eficiencia del 40-55 %.

## Eficiencia y costos de electricidad

Los sistemas de actuadores eléctricos normalmente funcionan en el rango de eficiencia del 75-80 % durante el trabajo que llevan a cabo; los sistemas de actuadores hidráulicos suelen funcionar en el rango de eficiencia del 40-55 %. Un factor adicional en la ecuación de costo de electricidad es que los actuadores eléctricos solo exigen corriente para el motor cuando es necesario. Cuando los actuadores eléctricos están en reposo, no requieren corriente o solo cantidades muy bajas de corriente para mantener sus posiciones. Los sistemas hidráulicos requieren que la unidad de fuerza mantenga el sistema hidráulico presurizado en todo momento cuando el sistema está encendido, lo que deriva en un uso ineficiente de la energía.

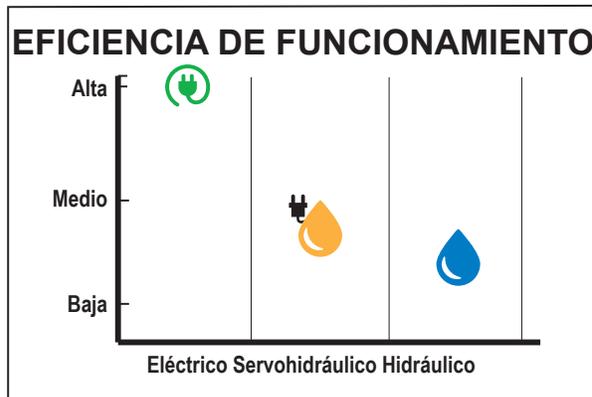
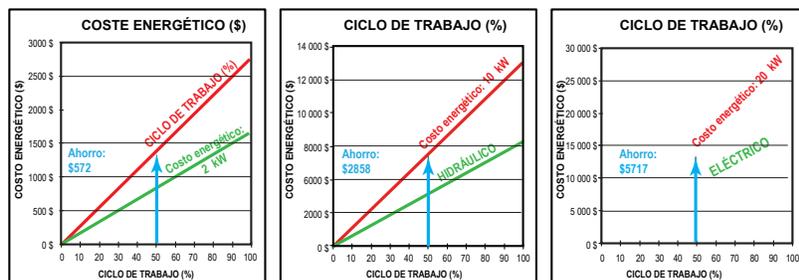


Figura 9: En comparación con los sistemas hidráulicos convencionales y servohidráulicos, los sistemas eléctricos funcionan de manera mucho más eficiente.

A continuación se presentan tres ejemplos de aplicación en los que se muestra el uso de energía de los sistemas de actuadores eléctricos e hidráulicos.

### Ahorro de costos:

- 1 SALIDA DE CORRIENTE (kW)  $\leftarrow$  = velocidad (m/s)  $\times$  fuerza (N)  $\div$  1000 (convertido a kN)
- 2 ENTRADA DE CORRIENTE (kW)  $\leftarrow$  = salida de corriente (kW)  $\div$  eficiencia (%)
- 3 COSTO DE APLICACIÓN \$ = (entrada de corriente)  $\times$  (horas/año)  $\times$  (costo de electricidad)



CILINDRO HIDRÁULICO DE 80 MM (3 IN)  
 • SALIDA DE CORRIENTE: 2 kW  
 • VELOCIDAD: 45 mm/s (1.8 in/s)  
 • FUERZA: 44.5 kN (10 000 lbf)

CILINDRO HIDRÁULICO DE 100 MM (4 IN)  
 • SALIDA DE CORRIENTE: 10 kW  
 • VELOCIDAD: 75 mm/s (2.9 in/s)  
 • FUERZA: 133.5 kN (30 000 lbf)

CILINDRO HIDRÁULICO DE 160 MM (6 IN)  
 • SALIDA DE CORRIENTE: 20 kW  
 • VELOCIDAD: 90 mm/s (3.5 in/s)  
 • FUERZA: 222.5 kN (50 000 lbf)

SUPOSICIONES: consumo anual de energía; eficiencia eléctrica del 80 %; eficiencia hidráulica del 45 %; 2000 PSI; costo kWh 0,07 \$  
 LAS FLECHAS AZULES INDICAN AHORROS DE COSTES MOSTRADOS AL 50 % DEL CICLO DE TRABAJO

Figura 10: En los gráficos de arriba se muestra la diferencia en los costos de electricidad para un cilindro hidráulico y un cilindro eléctrico. La flecha azul representa el funcionamiento del cilindro al 50 % del ciclo de trabajo y los costes de electricidad estimados resultantes.

Al dividir las eficiencias de las dos tecnologías entre sí, se puede determinar un factor aproximado sobre el costo de la electricidad en función de cuándo se están moviendo realmente los actuadores/cilindros.

Por ejemplo: 80 % (eléctrico)/40 % (hidráulico) = 2. Esto se traduce en que el eléctrico es el doble de eficiente o que el hidráulico consume el doble de energía para hacer el mismo trabajo. Se trata de una aproximación, pero no está lejos de la realidad. De hecho, a menos que un sistema hidráulico

*Al dividir las eficiencias de las dos tecnologías entre sí, se puede determinar un factor aproximado sobre el costo de la electricidad en función de cuándo se están moviendo realmente los actuadores/cilindros.*

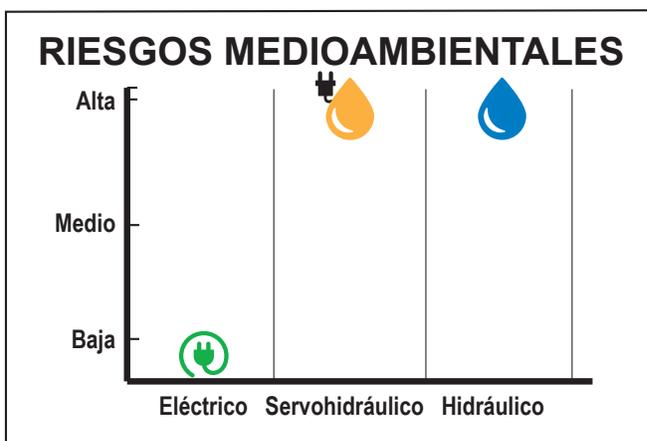
se mantenga correctamente, las eficiencias generales del sistema pueden llegar hasta niveles del 20 %, lo que supone que la tecnología eléctrica sea hasta 4 veces más eficiente (o que los costos de electricidad de la tecnología hidráulica sean hasta 4 veces más altos).

Si bien los actuadores eléctricos son el doble de eficientes que los hidráulicos, un servosistema eléctrico puede ser más costoso de implementar inicialmente. Sin embargo, el costo del sistema a largo plazo puede ser sustancialmente menor si se tiene en cuenta el aumento del rendimiento, la flexibilidad del sistema y la disminución de los costos de electricidad.

### **Fugas y problemas medioambientales**

Muchos profesionales de la industria hidráulica han afirmado lo siguiente: "No es una cuestión de si el sistema hidráulico tendrá fugas, sino de cuándo y cuánto". Las fugas crean desorden en el entorno de fabricación y también presentan un peligro para la seguridad si alguien se resbala sobre el derrame. Pero lo más alarmante de las fugas es que podrían causar una grave contaminación en los procesos y productos clave, como el procesamiento de alimentos, productos farmacéuticos, dispositivos médicos, entre otros. Un evento de contaminación puede ser costoso tanto en términos de limpieza como de desecho del producto, y el costo será aún mayor si el producto contaminado llega a los consumidores y posteriormente se tiene que retirar del mercado. Asimismo, muchos sistemas hidráulicos se implementan al aire libre y en los alrededores de espacios habitables y agua potable. La fuga de aceite en el entorno circundante puede ser una preocupación importante para las comunidades.

*Un evento de contaminación puede ser costoso tanto en términos de limpieza como de desecho del producto, y el costo será aún mayor si el producto contaminado llega a los consumidores y posteriormente se tiene que retirar del mercado.*



**Figura 11: A diferencia de los sistemas hidráulicos, los sistemas eléctricos presentan un riesgo medioambiental mínimo. La grasa del tornillo de avance de un actuador eléctrico es el único posible contaminante. Sin embargo, los sellos de gran calidad en el vástago de los actuadores prácticamente evitan la contaminación.**

La tecnología del actuador eléctrico es una de las tecnologías de movimiento lineal más limpias que se pueden implementar de forma activa y fácil. La grasa en el tornillo de avance es el único posible contaminante. Se pueden aplicar grasas especiales (aptas para la industria alimentaria, limpieza, etc.) si es necesario. Los sellos de alta calidad utilizados en el vástago del actuador eléctrico mantienen la grasa dentro del actuador, lo cual elimina prácticamente los problemas de contaminación.

### Otros factores

**Ruido:** una unidad motriz ruidosa que ejecuta un cilindro hidráulico puede ser un contaminante acústico para cualquier operador que se encuentre cerca de la máquina.

**Cargas de choque:** los sistemas hidráulicos son adecuados para manipular cargas de choque. La adaptabilidad de la manguera (a menos que sea una tubería fija) y la derivación de aceite a lo largo de la válvula de alivio principal o del puerto de trabajo absorben las cargas de choque. Además, las fugas internas dentro del cilindro y las válvulas también pueden ofrecer adaptabilidad con las condiciones de carga de choque. En la mayoría de los casos, el pistón absorbería una gran carga de choque alineada con el vástago respecto al aceite comprimido en el cuerpo del actuador hidráulico. Por otro lado, las cargas de choque en el tornillo de avance o el sistema de cojinetes de un actuador eléctrico pueden afectar al rendimiento. Es posible que los actuadores eléctricos se tengan que sobredimensionar a fin de gestionar cargas de choque o se deban utilizar mecanismos externos de absorción de impactos para evitar daños.

*Los sistemas hidráulicos son adecuados para manipular cargas de choque. Es posible que los actuadores eléctricos se tengan que sobredimensionar o se deban utilizar mecanismos externos de absorción de impactos para evitar daños.*

**Cargas laterales:** la carga lateral, debida a la alineación incorrecta o la presión de un brazo de momento, provoca tensión en los sellos del vástago y del pistón de un cilindro hidráulico. Los sellos se pueden desgastar antes de tiempo o fallar por completo, lo que deriva en un rendimiento deficiente y, finalmente, en un fallo prematuro del cilindro.

Para los actuadores eléctricos tampoco es conveniente la carga lateral, pero por diferentes motivos. La carga lateral provoca tensión en el sello del vástago delantera del actuador y en la tuerca del tornillo de avance. El sello del vástago puede fallar, lo que da lugar a que los contaminantes entren en el actuador y causen un fallo prematuro del actuador eléctrico. La carga lateral de la tuerca del tornillo de avance puede disminuir la vida útil estimada del tornillo de bola o de rodillo. Sin embargo, a diferencia de los actuadores hidráulicos, los actuadores



**Figura 12: No se recomienda la carga lateral de los actuadores con vástago porque provoca tensión en los componentes internos del actuador.**

*Ni los cilindros hidráulicos ni los actuadores eléctricos son adecuados para la carga lateral.*

eléctricos suelen implementar un mecanismo antirrotación en la tuerca del tornillo de avance del actuador, lo cual le permite absorber parte de la carga lateral debida a la alineación incorrecta del montaje. Por último, es necesario prestar atención y cuidado cuando se vayan a montar los cilindros hidráulicos y eléctricos para garantizar que el cilindro esté alineado con el sistema que se pretende mover ([consulte nuestro documento técnico sobre la alineación del actuador para obtener más información](#)).

*Los sistemas eléctricos requieren espacios más pequeños y proporcionan un control preciso de la posición y la velocidad con un funcionamiento más eficiente.*

## Resumen

Los actuadores hidráulicos tienen buena fama en la industria por ofrecer una gran fuerza. Los sistemas hidráulicos suelen ser menos costosos de implementar, desde el punto de vista de los costos de compra, que un servosistema eléctrico. Entre sus inconvenientes se incluyen un mayor tamaño, mantenimiento frecuente y ajustes manuales del sistema para obtener un rendimiento óptimo del sistema. Los sistemas hidráulicos son susceptibles a fluctuaciones de temperatura, propensos a fugas y funcionan en un entorno de circuito abierto, lo que supone un desafío para la recopilación de datos. Aunque los sistemas servohidráulicos se pueden implementar para mitigar algunos de estos problemas, tienen un mayor tamaño y su uso es muy costoso. Los sistemas hidráulicos ofrecen una vida útil larga, pero no son tan eficientes como los sistemas eléctricos.

Los sistemas eléctricos requieren menos espacio en general que los sistemas hidráulicos. También proporcionan un control preciso de la posición y la velocidad con un funcionamiento más eficiente. Funcionan en un entorno de circuito cerrado para facilitar la recopilación de datos, y prácticamente no necesitan mantenimiento. Se prefieren por su mayor nivel de rendimiento preciso, pero puede ser más costosa la implementación de los servosistemas eléctricos inicialmente que la de los hidráulicos. Sin embargo, el aumento de la eficiencia de funcionamiento con poco o ningún mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema hace que el coste total de propiedad sea menor a lo largo de la vida útil del equipo y una alternativa atractiva a los sistemas hidráulicos.

A medida que los actuadores eléctricos con vástago sean capaces de alcanzar altas fuerzas hidráulicas, seguirán siendo candidatos viables para reemplazar a los sistemas hidráulicos en muchas aplicaciones. La evaluación de las capacidades y limitaciones que se describen en este documento y la correspondiente adaptación con los objetivos y metas del sistema ayudarán a determinar la mejor opción para la aplicación.