

Fundamentos de diseño para sistemas motrices en correas transportadoras

Por Luke Meakin* y Peter Saxby, Hatch

1. Palabras clave

Correa, accionamiento de correas, accionamiento múltiple, sistema de control motriz, control de frecuencia variable y tensión variable, variadores de velocidad, variadores de frecuencia, control resistivo secundario (SRC), motor de inducción de jaula de ardilla (SCIM), motor de inducción de rotor bobinado (WRIM), acoplamiento hidráulico, arranque suave electrónico, arranque directo, par máximo, par de aceleración, fuerzas de resistencia de las correas, eficiencia de las correas, reducción de la capacidad normal del accionamiento de correas.

2. Sinopsis

La combinación de varios factores puede hacer que los sistemas motrices resulten de menor tamaño al requerido o que operen de manera poco satisfactoria. Entre dichos factores, cabe mencionar:

- La tendencia a reducir el tamaño de los motores reduciendo los coeficientes de fricción.
- La tendencia a utilizar motores de inducción de jaula de ardilla bajo controles de frecuencia variable y tensión variable sin considerar las características de los sistemas motrices.
- No analizar la operación e interacción de los acoplamientos hidráulicos con la curva de par del motor.
- No tener en cuenta resistencias de arranque o bien no tener en cuenta algunos componentes de las resistencias de arranque.
- No tener en cuenta la distribución de la carga en sistemas de accionamiento múltiple.
- No tener en cuenta las sobrecargas (variaciones transitorias pero sostenidas durante la alimentación o entrega de material).
- Que los componentes motrices y transportadores adquiridos sean diferentes a los de diseño, resultando en resistencias diferentes y características motrices diferentes.

Puede lograrse un diseño de accionamiento de correas correcto considerando casos realistas de carga y asegurándose que el sistema motriz seleccionado pueda proporcionar un par adecuado para superar estas resistencias.

Este artículo discute conceptos para establecer resistencias en las correas y las características de diversas tecnologías motrices y factores de reducción de capacidad que deben aplicarse.

3. Introducción

En este artículo se discuten factores que han contribuido al diseño de sistemas motrices de correas de tamaño insuficiente, o el diseño de sistemas motrices que no han sido operados correctamente. También se discuten diversas tendencias que han llevado a estos resultados y las metodologías que debieron haberse empleado durante el diseño para asegurar resultados aptos para el propósito.

Los temas amplios abordados en este artículo incluyen:

- Determinación de resistencias de correas.
- Evaluación de factores de reducción de capacidad.
- Características de diversas tecnologías de sistemas motrices para correas.
- Sugerencias de diseño para minimizar pérdidas de energía en sistemas de correas.

Además del tamaño incorrecto de los sistemas motrices, éstos pueden fallar debido a problemas en el sistema de control, y éstos también se discuten brevemente como antecedente.

4. Filosofía de los sistemas de control motriz

Una correa que está operando y continúa operando en forma segura con un sistema de alarma que permite corregir una sobrecarga causará menos problemas que una correa que se detiene en el momento de dispararse la alarma. Un sistema de desconexión de respaldo debiera ocurrir si la situación de alarma no se resuelve rápidamente. Los sistemas de alarma/desconexión de dos etapas permiten un control excelente, como ilustran los siguientes ejemplos:

- Si la temperatura del aceite de la caja de engranajes alcanza un límite seguro prefijado, no fallará inmediatamente y por lo tanto no habrá que detener la correa inmediatamente. Un alza adicional de 10°C debiera desconectar el impulsor.
- Un motor eléctrico que alcanza una corriente máxima durante algunos segundos no se quemará; sin embargo, si esto persiste y se llega al límite térmico del motor, es necesario un sistema de desconexión. Los relés de protección de motores (MPR) de alta calidad pueden acomodar una curva detallada del límite térmico del motor, abarcando muchos escenarios de sobrecorriente.
- El uso de un sistema de detección/indicación de desviación de las correas de dos etapas es también altamente recomendable.

La configuración de arranque puede causar desconexiones espurias que enmascaran el motivo real de falla en el arranque de la correa:

- Al utilizar motores con acoplamiento hidráulico con llenado retardado, la operación en condiciones de plena carga puede demorar muchos segundos. Es necesario asegurarse que los temporizadores de desconexión a cero velocidad tomen esto en cuenta.
- Asegurarse que el motor no se desconecte por causa de un límite eléctrico arbitrario que no daña el motor (en muchos motores usados en minería frecuentemente se fija la desconexión al

85% de la corriente máxima). La configuración correcta del MPR puede eliminar este tipo de desconexión molesta.

- Asegurarse que los otros instrumentos (presión de aceite, flujo, temperatura, velocidad cero, vibración, etc.) queden fuera de circuito durante el arranque a menos que se consideren críticos.
- Confirmar que la configuración del variador de velocidad (VSD) sea la requerida.
- Verificar la caída real de la tensión durante el arranque, ya que esto depende del motor; el arranque directo en línea es el que produce la mayor caída.

5. Resistencias de las correas

Las fuerzas básicas de resistencia de las correas se calculan utilizando la norma internacional ISO 5048(1) en la mayor parte del mundo, aunque el CEMA (2) (Conveyor Equipment Manufacturers Association) sigue siendo preferido en Norteamérica. Aunque ambos métodos entregan una evaluación realista de las fuerzas de resistencia para la mayoría de las aplicaciones de correas, es necesario considerar otras fuerzas de resistencia, en especial durante el arranque. Estas resistencias incluyen:

- Margen para la fricción estática (o fricción de arranque), a veces conocida como ‘*stiction*’ (abreviación de ‘static friction’).
- Margen para chutes llenos o bloqueados.
- Margen para resistencia inercial de la correa y sus componentes durante la aceleración.

5.1 Fricción de arranque

A menudo ignorada, esta fuerza de resistencia puede ser significativa, especialmente cuando se están analizando correas relativamente largas y planas (horizontales), donde la resistencia debido a la carga de materiales es insignificante y las resistencias friccionales se suman para constituir la resistencia principal. Es una práctica común en la industria el multiplicar el coeficiente de fricción artificial (ISO 5048) por un factor de 1,1 a 1,5 para calcular las condiciones de arranque.

5.2 Chutes llenos

Dos tipos de filosofías son aplicables al diseño de chutes:

- Diseños tradicionales de chutes cerrados.
- Chutes de velocidad de perfil abierto (a veces conocidas como chutes de ‘capucha y cuchara’ o chutes de ‘carga blanda’).

Muchos chutes están encerradas para controlar el polvo y también para actuar como contenedores de almacenamiento si es que hay una parada no controlada debido a una falla eléctrica, o una parada de emergencia. En los casos que este tipo de chutes se llena o queda bloqueado, actúa en forma similar a una tolva de alimentación de correas y ejerce resistencias significativas sobre la correa. Una proporción considerable de la resistencia de arranque de una correa que tiene

múltiples tolvas de alimentación descargando sobre ella puede corresponder a las fuerzas de resistencia debido a chutes llenos.

Los chutes de velocidad que se han vuelto populares para el manejo de materiales de flujo relativamente fácil tales como el carbón, generalmente son de diseño abierto. Como regla general, para evitar derramamientos durante una parada de emergencia, los tiempos de detención de las correas están controlados por el uso de frenos o volantes para asegurar que una correa no alimente a otra en estas circunstancias. Para este tipo de chutes puede resultar conveniente no permitir que se llenen las tolvas como resultado de una parada de emergencia.

La experiencia indica que la mayoría de los chutes se bloquearán en algún momento por motivos fuera de las condiciones controladas normales. Cuando esto ocurre es preferible que la correa alimentada por chute sea de arranque autónomo.

En general, es posible calcular las fuerzas de resistencia de los chutes llenos en forma conservadora y sencilla usando la presión vertical debido a la carga hidrostática del material en la tolva encima de la placa perfil y multiplicándola por el coeficiente de corte interno del material. Este esfuerzo de corte luego se multiplica por el área del plano de corte detrás de la placa perfil para obtener una estimación de la ‘fuerza de arranque’ (separación) inicial requerida. El tiempo que toma vaciar el chute durante la aceleración debe calcularse y tomarse en cuenta al preparar el gráfico de par versus tiempo para las condiciones de arranque de las correas. Una vez que el material está fluyendo en los chutes, ocurre cierta amortiguación de la carga sobre la correa en forma similar a la que se observa con los alimentadores de correa (3). Una aproximación de las resistencias debidas a chutes llenos durante la aceleración (en contraste con el arranque) puede determinarse sencillamente dividiendo por la mitad las resistencias calculadas para la condición de arranque.

5.3 Resistencia inercial durante la aceleración

Para acelerar la correa y otros componentes activos del transporte (polines, poleas, etc.) a su velocidad de funcionamiento pleno, existe una resistencia inercial que debe ser superada.

Aunque esta fuerza de resistencia puede ser baja en diseños modernos que utilizan arrancadores suaves electrónicos y controles de resistencia secundaria y de frecuencia y tensión variables (VVVF), siempre debe calcularse e incluirse en las especificaciones utilizadas para dimensionar el arrancador y el controlador de las correas.

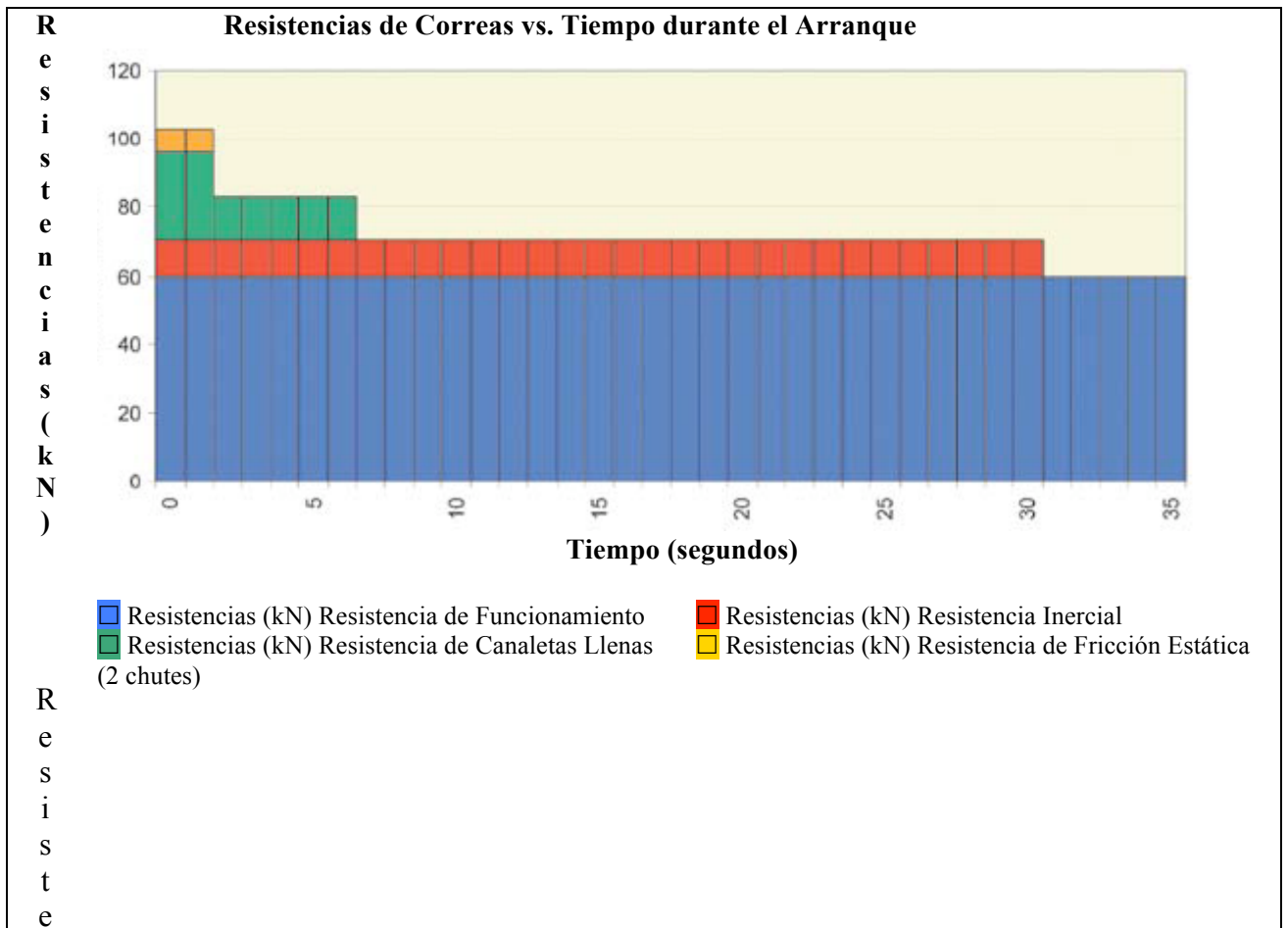
La mayoría de los programas computacionales determinan las tensiones de las correas tanto para escenarios de funcionamiento y de aceleración. Por lo tanto, esta resistencia puede determinarse sencillamente restando la tensión efectiva ($T_e = T_1 - T_2$) para el caso de la aceleración de la tensión efectiva para el caso del funcionamiento. Alternativamente, puede calcularse manualmente con relativa facilidad.

5.4 Gráfico de par versus tiempo

Al analizar los pares motores previstos durante el arranque deben considerarse varias fases y resistencias de componentes.

Durante las condiciones de arranque, es necesario sumar a las resistencias de funcionamiento básicas las resistencias debidas a condiciones de chutes bloqueados, las de fricción estática y las inerciales. Este análisis es conservador, ya que no toma en cuenta la elasticidad de la correa. Con bajos ritmos de aceleración la sección de la correa adyacente a los motores puede estarse moviendo, en tanto que otras partes de la correa pueden permanecer inmóviles. Este comportamiento reduce el efecto de las resistencias de arranque si el ritmo de aceleración es suficientemente bajo y la longitud de la correa es suficientemente larga.

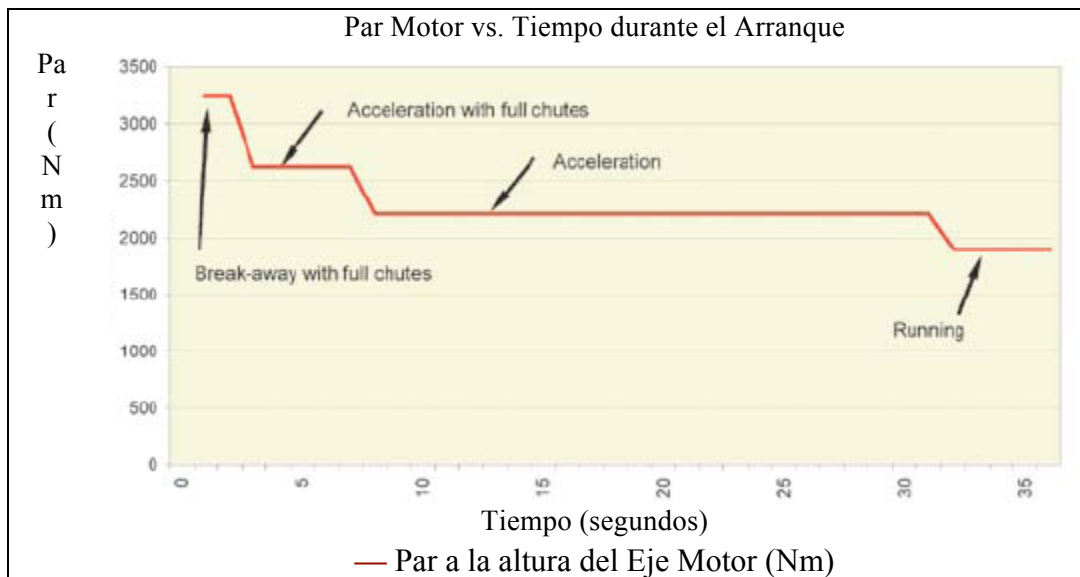
Después del arranque inicial durante la aceleración, las resistencias a la fricción estática de la correa son nulas. A medida que los chutes llenos se vacian, estas fuerzas de resistencia disminuyen hasta transformarse también en nulas. Para la mayor parte de la fase de aceleración durante el arranque, es común que sólo haya que considerar las resistencias inerciales, además de las resistencias básicas para las condiciones de funcionamiento (Figura 1).



n
c
i
a
s
(
k
N
)

Figura 1. Ejemplo que muestra los componentes típicos de las resistencias de las correas durante el arranque.

El resultado final del análisis de las fuerzas de resistencia de las correas durante el arranque debe ser un gráfico del par en el eje motor versus el tiempo. Un ejemplo típico se muestra en la Figura 2.



[gráfico: Aceleración con chutes llenos; Aceleración; Arranque con chutes llenos; Funcionamiento]

Figura 2. Ejemplo que muestra el típico par motor requerido para las correas durante las diversas fases del arranque

5.5 Margen para sobrecargas

Es práctica normal en la industria dimensionar la potencia de arranque y capacidad volumétrica de una correa para considerar las sobrecargas. Esto surge a raíz de imprecisiones y efectos de histéresis en el sistema de control que pueden resultar en una alimentación de materiales a la correa en exceso de los valores de diseño durante ciertos períodos de tiempo.

Para determinar si la sobrecarga debe ser considerada además de las condiciones de chutes llenos durante el arranque, es necesario efectuar un estudio para determinar la probabilidad de que ambas ocurrencias sucedan al mismo tiempo. Esta probabilidad luego puede utilizarse para estimar las pérdidas financieras probables que podrían incurrirse según distintos escenarios. Esto permite tomar una decisión racional respecto de si debiera establecerse un margen considerando la suma de las sobrecargas y los chutes llenos como condición para el arranque.

Con frecuencia, es una condición de sobrecarga por un período de tiempo la que causa la desconexión de la correa debido a sobrecarga eléctrica (tiempo-corriente o temperatura) o sobrecarga mecánica (temperatura del aceite), dejando una situación donde será necesario volver a arrancar la correa con una carga excesiva y chutes de alimentación bloqueados.

6. Factores de reducción de la capacidad normal

Es necesario considerar diversos factores cuando se está determinando si un sistema motriz será capaz de sobreponerse a las resistencias durante el arranque:

- Eficiencia de la caja de engranajes.
- Eficiencia del acoplamiento hidráulico (deslizamiento).
- Pérdidas de línea entre el controlador y el motor.
- Pérdidas inherentes en algunos tipos de combinaciones entre motores y sistemas de control, por ejemplo VVVF y arrancadores suaves electrónicos.
- Consideración de desigualdades de par en correas con accionamientos múltiples.
- Factor de seguridad general del motor.

6.1 Eficiencia de la caja de engranajes

Las pérdidas incurridas por el traspaso de potencia a través de una caja de engranajes son bien conocidas y no se explicarán en ningún detalle en este artículo, aparte de decir que las eficiencias de las típicas cajas de engranaje helicoidales biseladas son del orden de 95% a 97%.

Otros tipos de cajas de engranaje tal vez no sean tan eficientes y debe asegurarse que se utilicen las cifras correctas. Confirmar que la caja de engranajes adquirida tenga la misma eficiencia que la de diseño.

6.2 Eficiencia del acoplamiento hidráulico

Asimismo, los acoplamientos hidráulicos incurren pérdidas y como éstas en general son bien conocidas, no serán discutidas en detalle en este artículo. Las típicas eficiencias citadas para los acoplamientos hidráulicos es del orden de 95% y 97%. Nuevamente, confirmar que el acoplamiento adquirido tenga la misma eficiencia que el de diseño.

6.3 Pérdidas de línea entre el controlador y el motor

Las pérdidas eléctricas que ocurren entre el controlador del motor y el motor típicamente son posibles de calcular. Los valores típicos serían del orden de 2 a 5%. Al establecer los posibles factores de reducción a raíz de problemas eléctricos también deben considerarse otros aspectos tales como las caídas de tensión.

6.4 Pérdidas inherentes en combinaciones de motores y controladores

Es esencial determinar el par disponible a la altura del eje del motor considerando el sistema motriz en forma holística. Un motor que es controlado por un VVVF o arranque suave electrónico puede tener el par al arranque reducido considerablemente para compensar las características de la combinación motor-controlador.

El par disponible desde el eje del motor debe calcularse caso por caso para cada combinación de motor-controlador particular. Por ejemplo las capacidades de eficiencia motriz se reducen en motores de inducción de jaula de ardilla que necesitan acomodar un accionamiento VVVF.

Las características de par citadas para los motores variarán significativamente entre proveedores y tipo de motor. Es esencial asegurarse que las características del motor suministrado se ajusten a las de diseño. De preferencia, el motor y el controlador deben adquirirse como paquete. Si esto no es posible, debe proporcionarse al proveedor del accionamiento(drive) los detalles del motor (y viceversa) para asegurarse que puedan lograrse los requerimientos de par-tiempo durante el arranque.

6.5 Efectos de la distribución de carga

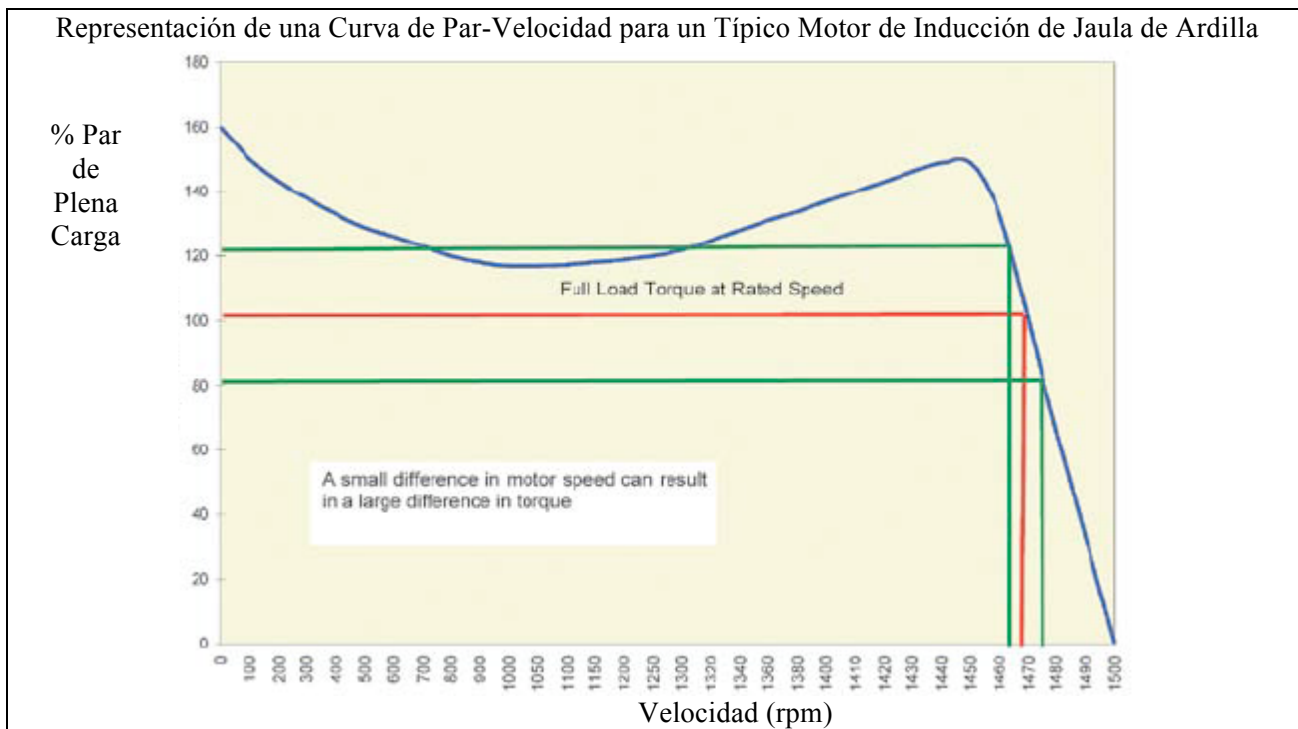
Los sistemas con accionamiento múltiple tienen diversos factores que afectarán la capacidad del sistema para distribuir efectivamente la carga:

- Diferencias en las características de los motores debido a tolerancias de fabricación.
- Diferencias en el diámetro de las poleas motrices debido a tolerancias de fabricación, desgaste o acumulación de material en las poleas.
- Diferencias en llenado de aceite en acoplamientos hidráulicos.

La consideración de la distribución de carga se ha vuelto especialmente importante en los últimos tiempos con la tendencia moderna a acoplar los motores directamente al conjunto de transmisión. La Figura 3 ilustra una curva típica de par-velocidad para un motor de inducción de jaula de ardilla. Esta figura ilustra que un pequeño cambio en la velocidad del motor en condiciones de pleno funcionamiento resultará en una diferencia relativamente grande en el par que puede suministrar el motor. Si se impone a los motores un pequeño cambio resultante en la velocidad rotacional por causa de diámetros de poleas desiguales o motores desiguales, el efecto sobre la distribución de la carga puede ser pronunciado.

En casos extremos, la falta de consideración de la distribución de la carga puede resultar en desconexiones a menos de la capacidad nominal. En un caso conocido por los autores, se diseñó una correa utilizando motores de inducción de rotor bobinado con arrancadores de resistencia líquida. A la velocidad de régimen los motores estaban funcionando directamente en línea (DOL) sin posibilidad de tomar en cuenta las diferencias en el diámetro de las poleas. Aunque la correa fuera nueva, no podría operar a más del 70% de su rendimiento de diseño porque uno de los motores estaba trabajando a un par de plena carga del motor significativamente mayor que el de régimen, en tanto que el otro motor estaba operando a menos del 50% de su capacidad. Los arrancadores suaves electrónicos con motores de inducción de jaula de ardilla y accionamiento múltiple también exhibirán estos problemas en condiciones de funcionamiento.

Los acoplamientos hidráulicos que están llenados incorrectamente o mal mantenidos también pueden conducir a problemas de distribución de carga.



[gráfico: Par de Plena Carga a la Velocidad de Régimen
Una pequeña diferencia en la velocidad motora puede resultar en una gran diferencia en el par]

Figura 3. Representación de una curva de par-velocidad para un motor de inducción de jaula de ardilla

Los motores con acoplamiento directo al conjunto de transmisión pueden lograr una compensación en términos de la distribución de la carga a través de diversos métodos:

- Proporcionando un sistema de control que mida diferencias de par entre los motores y ajuste las velocidades de los motores debidamente para lograr una distribución de carga equiparada entre los motores. Los sistemas de control de esta categoría incluyen
 - Motores de inducción de jaula de ardilla que utilicen control VVVF. Los proveedores de VVVF habitualmente permiten una tolerancia de entre 5 y 10% entre los motores para la distribución de carga.
 - Motores de inducción de rotor bobinado (WRIM) que utilizan controles resistivos secundarios (SRC) monitoreados por controladores lógicos programables (PLC). Este tipo de sistema ha encontrado aplicación económica en sistemas motrices más grandes (> 750 kW) y en ubicaciones donde componentes simples y resistentes son factores determinantes. Con una entrada de potencia real o de retroalimentación de corriente de estator con un relé de protección de motores (MPR), el PLC asegura que se logre la distribución de la carga y elimina, para todos los fines prácticos, los efectos de todos los transitorios.
- Otro método sencillamente implica instalar motores de mayor tamaño para permitir que un accionamiento opere sobre el punto normal de distribución de la carga. Las consecuencias de este enfoque son factores de potencia adversos, eficiencias motrices disminuidas, impactos

sobre el trazado debido a las dimensiones más grandes de los motores, y cargas estructurales más altas en condiciones de trabamiento del motor (stall).

Los sistemas motrices múltiples que utilizan control VVVF deben equipararse en términos de par y no de velocidad. El tratar de equiparar los motores en base a la velocidad puede llevar a problemas de inestabilidad y de distribución de la carga. Al especificar los controladores para sistemas motrices múltiples, la diferencia máxima esperada de velocidad entre las poleas primaria y secundaria deben incluirse en la documentación enviada al proveedor.

6.6 Factor de seguridad de motores

Los factores de seguridad de los motores a menudo son citados en las especificaciones como un ‘cubre todo’ para algunos o todos los factores de reducción antes señalados. Al tener en cuenta los diversos factores de reducción, puede sostenerse con cierto grado de certidumbre que sería posible utilizar un factor de seguridad de motores más bajo del que habitualmente se especifica. Es común especificar factores de seguridad de motores entre 10% y 15%; sin embargo, teniendo en cuenta los factores de reducción componentes, podría utilizarse una cifra de entre 3% y 5%.

6.7 Efectos combinados de los factores de reducción

Al no tomarse plenamente en cuenta los factores de reducción, los sistemas motrices pueden ser más pequeños que lo normal. El Cuadro 1 ilustra los efectos combinados de los factores de reducción, que por sí solos pueden ser relativamente insignificantes, pero cuyo efecto combinado es significativo.

Cuadro 1. Efecto combinado de factores de reducción en sistemas motrices (el ejemplo que aparece corresponde a un impulsor doble con acoplamiento directo y VVVF funcionando a plena velocidad)

Eficiencia de la caja de engranajes	Eficiencia del acoplamiento hidráulico	Pérdidas de línea	Tolerancia de distribución de carga	Reducción del controlador del motor (arranque suave o VVVF)	Factor de seguridad general del motor	Factor de reducción total
0,97	n/d (1,0)	0,98	0,95	0,98	0,97	0,86

7. Efecto total de las resistencias de las correas y los factores de reducción motriz

Los modernos controladores VVVF generalmente son capaces de producir un 150% de corriente de plena carga (FLC) durante aproximadamente 60 segundos, en que durante 10 de estos 60 segundos puede llegar a una FLC de hasta 200%. Ya que el par máximo de la mayoría de los motores es de más de 200%, a simple vista no se esperaría que el arranque fuera un problema.

Un análisis de los efectos combinados de las resistencias de las correas y los factores de reducción pronto revela que si el motor está dimensionado para cumplir sólo con los requerimientos de funcionamiento, pueden surgir problemas con el arranque.

Tomando las cifras anteriores (sección 5), la razón entre la resistencia de arranque y la resistencia de funcionamiento es 1,75. Aplicando los factores de reducción, esta razón pasa a ser 2,0. Lo que parecía ser un diseño seguro ahora se vuelve marginal. Si se agrega a esto la reducción adicional que debe aplicarse a un impulsor VVVF al estar operando a frecuencias bajas (condiciones de arranque), el diseño pasa de ser marginal a deficiente.

Para sistemas motrices más grandes en aplicaciones apropiadas, los motores de rotor bobinado con controladores resistivos secundarios han sido, y pueden ser, utilizados como medio para mitigar los efectos antes mencionados. Para dichas aplicaciones, los resultados típicos son: requerimientos de potencia más bajos; disponibilidad de par más alta; y mayor disponibilidad de arranque.

También es importante señalar que pueden surgir impactos de diseño, costo y cronograma a raíz de la necesidad de mejorar un diseño “marginal o deficiente” de correas. Esto afectará el traspaso del sistema y puede incluir los siguientes problemas:

- Diseño mecánico – diseño y selección de poleas, ejes, cajas de engranajes, acoplamientos, correas y cojinetes.
- Diseño eléctrico – motor, VVVF, conmutadores, cableado.
- Estructural – soportes, cimientos.

8. Consideraciones energéticas

Existe un requerimiento cada vez mayor de minimizar las demandas de energía a nivel de toda la planta, por razones financieras y ambientales. Por ende, el diseñador de correas enfrenta el desafío de implementar medidas apropiadas para lograr sistemas de manejo de materiales que demanden menos energía.

Esto puede lograrse a través de consideraciones de diseño cuidadosas y completas, junto con buenos procedimientos de mantenimiento, orientados a minimizar las fuerzas de resistencia dentro del sistema de manejo de materiales. Además, las pérdidas de energía en los componentes motrices (los factores de reducción antes discutidos) también pueden transformarse en un objetivo para lograr un potencial ahorro de energía. Estos temas serán discutidos brevemente, y se plantearán algunas sugerencias en torno a las posibles medidas que pueden tomarse durante el proceso de diseño.

8.1 Resistencias de las correas

La potencia requerida para operar una correa es producto de las resistencias de funcionamiento (tensión efectiva) y la velocidad de línea de las correas. La velocidad de las correas esencialmente está predeterminada para lograr un rendimiento buscado con un área de sección

transversal de la carga dada para ese material particular. Por consiguiente, cualquier reducción en la potencia de demanda de la correa debe lograrse tratando de reducir las resistencias de funcionamiento.

Las resistencias básicas típicamente se calculan usando normas ISO 5048, CEMA o DIN 22 101. Estos métodos dividen la resistencia total en resistencias de componentes o grupos que, sumados, dan la fuerza de resistencia total de la correa. A continuación se mencionan algunas sugerencias para reducir las fuerzas de resistencia en diversas áreas:

8.1.1 Minimizar la elevación de materiales (resistencias tangenciales):

La resistencia debida a la elevación del material (y de la correa) con frecuencia constituye un componente importante de la resistencia total de la correa. Esto puede minimizarse asegurando que la elevación de la correa no sea más alta de lo que necesita ser. Se recuerda al diseñador que debe precaverse contra los requerimientos de altura de traslado para asegurar que existan condiciones adecuadas de traslado de materiales en todos los puntos de carga y descarga.

8.1.2 Evitar el sobrediseño en la selección de correas:

La masa total de la correa del sistema de transporte puede ser bastante grande, en especial tratándose de correas largas. A medida que la resistencia nominal de la correa aumenta, así también aumenta su masa. Por ejemplo, una correa ST500 tendrá una masa de carcasa de alrededor de 5 kg/m² en comparación con una cifra de alrededor de 14,5 kg/m² para una correa ST2000. Es común ser excesivamente conservador al seleccionar los factores de seguridad de las correas, pero esto puede resultar en correas de mayor resistencia pero más pesadas que las que necesita el sistema transportador. En resumen, el sistema transportador no debe ser diseñado con una correa más pesada que la requerida.

8.1.3 Emplear puntos de transferencia de materiales eficientes

Las transferencias de materiales eficientes, tales como chutes tipo cuchara, sirven para limitar el trabajo requerido para acelerar el material en dirección de la correa. Cualquier reducción en el diferencial de velocidad entre la velocidad de carga del material y la velocidad de la correa reducirá las resistencias de aceleración del material.

8.1.4 Evitar largos excesivos de faldones en regiones de carga y descarga:

Los largos de los faldones en las regiones de carga deben ser dimensionados lo suficientemente largos para asegurar que se establezca el perfil de carga en el sistema transportador. El material cargado también debe estar libre de las áreas de alimentación antes de cesar las secciones con faldones y permitir al material acomodarse en su perfil normal. Debe evitarse largos excesivos de faldones ya que aumentarán las interacciones de fricción entre el material y la correa con los faldones, aumentando innecesariamente las resistencias totales de la correa. Este efecto se ve incrementado en sistemas transportadores con múltiples puntos de alimentación o descarga. Las chutes tipo cuchara adecuadamente diseñadas también pueden eliminar la necesidad de contar con faldones.

8.1.5 Seleccionar tipos de polines y espaciamentos apropiados, y entender los efectos del pandeo de las correas:

La selección adecuada de polines (incluyendo cojinetes y tipos de sello) y de espaciamiento servirá para reducir las fuerzas de resistencia de los polines. Los factores que deben considerarse en la selección incluyen: tipo de servicio, condiciones de operación, carga transportada, velocidad de la correa, carga de los cojinetes, alturas y ángulos de concavidad (por ejemplo, las resistencias aumentarán con un aumento en el ángulo de concavidad). El espaciamiento de polines también tiene impacto en el pandeo de las correas, que es una función del espaciamiento entre tensores, la tensión de la correa y el peso soportado. Un pandeo excesivo de la correa (>1%) puede tener un efecto adverso sobre los requerimientos de potencia y la confiabilidad de los componentes. Altos valores de pandeo deben utilizarse con cuidado y sólo en casos justificados (por ejemplo un sistema transportador con un disparador para limitar curvas de despegue vacías).

Además de lo anterior, la reducción de la devolución de materiales empleando y manteniendo sistemas adecuados de limpieza de las correas y fiscalizando y corrigiendo problemas de seguimiento de las correas ayudará a reducir las resistencias de funcionamiento globales.

Los factores antes mencionados no constituyen una lista exhaustiva de áreas donde pueden reducirse las resistencias en los sistemas de manejo de materiales. La intención es más bien de promover una reflexión temprana durante las etapas de diseño y resaltar los impactos que las decisiones de diseño tendrán sobre las fuerzas de resistencia y, en definitiva, sobre los requerimientos de potencia del sistema transportador.

8.2 Minimización de efectos de reducción de la capacidad motriz

La reducción de la capacidad motriz de las correas puede provenir de diversas fuentes, dependiendo de la configuración de accionamiento. Son fuentes de pérdidas de energía gratuitas y, aunque no pueden eliminarse totalmente, deben realizarse esfuerzos para minimizar sus impactos donde sea posible. La sección 6 describe varios factores de reducción. Cada uno de ellos será considerado por turno, y se plantearán algunas sugerencias sobre cómo minimizar su impacto en el sistema motriz:

8.2.1 Eficiencia del acoplamiento hidráulico y la caja de engranajes:

Los valores de eficiencia para estos componentes son típicamente 95-97%. Esencialmente, no hay nada que pueda hacerse para mejorar estos valores, aunque programas de mantenimiento adecuados y la mantención de niveles de llenado correctos ayudarán a asegurar que las eficiencias no caigan por debajo de los valores citados. La correcta selección de lubricantes también afectará este valor y la lubricación utilizada debe basarse en las recomendaciones del fabricante: aceites de mayor viscosidad consumirán más energía.

8.2.2 Pérdidas de línea entre motor y controlador:

Estas pérdidas ocurren entre el controlador del motor y el motor y dependen en gran parte de la longitud de la línea. En consecuencia, las unidades motrices de los sistemas transportadores deben ubicarse lo más cerca posible a los Centros de Control de Motores (MCC) para limitar las longitudes de línea y sus pérdidas asociadas. La selección correcta y adecuada de cables también puede ayudar a reducir estas pérdidas.

8.2.3 Pérdidas en combinaciones de motor-controlador:

Estas pérdidas son inherentes en la combinación motriz y es poco lo que se puede hacer para reducirlas. Una comprensión cabal de los efectos/pérdidas de una combinación motriz puede ayudar a decidir su idoneidad para una aplicación particular.

8.2.4 Efectos de distribución de carga:

Estos efectos se producen en sistemas de poleas motrices múltiples donde existen o se imponen variaciones en la velocidad rotacional de los motores. Algunos métodos para limitar estos efectos son:

- Monitorear los diámetros de las poleas motrices, que pueden variar debido a tolerancias de fabricación, acumulación o desgaste.
- Utilizar fabricantes/modelos de motores idénticos y de preferencia con la misma serie de fabricación (números de serie consecutivos) cuando sea posible para limitar variaciones operativas entre motores.
- Asegurar que los acoplamientos hidráulicos estén correctamente llenados y mantenidos.
- Emplear un sistema de control adecuado para motores de acoplamiento directo que mida la distribución de par entre los motores y ajuste las velocidades de los motores en conformidad para lograr una distribución de carga equiparada.

La discusión anterior ha entregado cierta información acerca de áreas con potencial para el ahorro de energía que el diseñador de correas puede tratar de lograr o considerar para obtener un sistema de manejo de materiales más eficiente y menos demandante de energía. Sin embargo, sólo se conseguirá el máximo beneficio de estos mejoramientos de diseño si se implementa y mantiene un buen régimen de mantenimiento a lo largo de la vida del sistema transportador.

9. Conclusiones

Un dimensionamiento insuficiente de los motores para sistemas de manejo de materiales puede evitarse analizando y teniendo en cuenta todas las resistencias que los afectan y los factores de reducción del sistema motriz. Un análisis o aplicación incorrecto puede resultar en una falla de arranque o una falla de operación al rendimiento especificado, especialmente si el tamaño de motor seleccionado es muy cercano a la potencia de demanda de la correa calculada teóricamente.

Al tomar en cuenta las siguientes resistencias y factores de reducción, el diseñador puede predecir con confianza el dimensionamiento correcto de los sistemas motrices:

- Resistencias de las correas
 - Resistencias de funcionamiento calculadas conforme a una norma reconocida y utilizando los coeficientes de fricción recomendados.
 - Resistencias inerciales durante la aceleración.
 - Resistencias de arranque debidas a la fricción estática.
 - Resistencias debidas a chutes llenos.
 - Margen apropiado para las sobrecargas.
- Factores de reducción
 - Eficiencia de la caja de engranajes.
 - Eficiencia del acoplamiento hidráulico.
 - Pérdidas de línea eléctricas (controlador a motor).
 - Tolerancia en términos de distribución de carga en el sistema de control.
 - Factores de reducción asociados con las características del control motriz (estos pueden mitigarse en algunos casos utilizando WRIM con SRC en sistemas motrices más grandes).
 - Factor de seguridad general de motores.

Aunque estas resistencias y factores de reducción adicionales son relativamente pequeños al considerarlos individualmente, en su conjunto el resultado combinado es sustancial y no puede ignorarse.

Consideraciones cuidadosas durante la fase de diseño del sistema de manejo de materiales, combinado con un buen régimen de mantenimiento a lo largo de la vida del sistema, ayudará a asegurar que la potencia de demanda del sistema transportador se mantenga en un mínimo, eliminando fuentes de pérdidas de energía innecesarias.

10. Referencias

1. ISO 5048 – 1988 – Equipo de manejo de materiales mecánica continua – Correas transportadoras con tensores transportadores – Cálculo de potencia operativa y fuerzas de tracción.
2. CEMA – Correas transportadoras para materiales a granel. The Conveyor Manufacturer's Association. 6a. edición.
3. Manjunath, K.S., Roberts, A.W. – Interacciones entre presión de pared y carga de alimentación en combinaciones de tolvas/alimentadores de flujo de materiales a granel. Bulk Solids Handling 6 (1986) 4, pp. 769-775 y 6 (1986) 5, pp. 903-911.

11. Agradecimientos



Se agradece a Nicole Hampton (P.Eng) de Synergy Engineering Limited (Canadá) por su ayuda proporcionando información sobre controladores resistivos secundarios controlados por PLC para motores de inducción de rotor bobinado.



** Luke Meakin es un ingeniero mecánico contratado en Hatch y que ha trabajado en numerosos proyectos de manejo de materiales a granel, principalmente dentro de Queensland. Tiene experiencia en el diseño completo de sistemas de manejo de materiales, análisis dinámico, diseño de sistemas motrices, diseño de tolvas y alimentadores y solución de problemas en manejo de materiales. Luke está actualmente trabajando, a través de Connel Hatch, en el diseño del nuevo Terminal de Carbón de Wiggins Island, en Gladstone en Queensland.*

Contacto: Luke Meakin,

Correo electrónico: LMeakin@hatch.com.au