



50%



100%

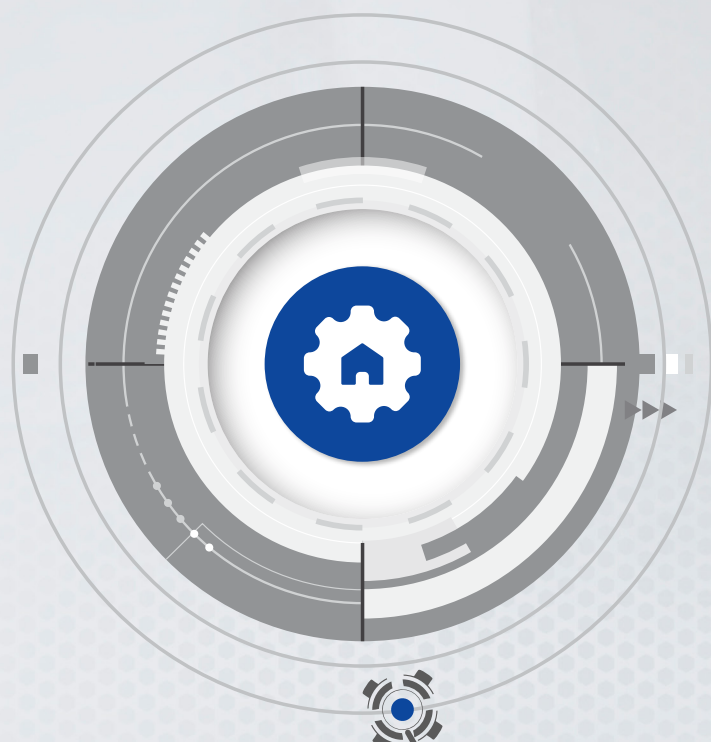


Deslizamiento irregular (stick-slip)

¿Qué hace diferente a las guías
y correderas de los violines?

Elige el movimiento.

© 2022 ExxonMobil. Todas las marcas registradas en este documento son marcas comerciales o marcas registradas de Exxon Mobil Corporation o una de sus subsidiarias. Las demás marcas y nombres de productos que aparecen en este material pertenecen a sus respectivos propietarios.



Deslizamiento irregular



Introducción

Mientras que en muchas aplicaciones la reducción de la fricción es uno de los objetivos principales de los lubricantes, el requerimiento es aún mayor en las guías y correderas de máquinas herramientas. La operación suave y precisa de las guías y correderas requiere lubricantes que no sólo reduzcan la fricción, sino que la controlen.

La falta de control de la fricción en las guías y correderas puede causar imprecisiones en el maquinado de las piezas y pérdida de productividad.

Fundamentos de fricción

La **fricción es la fuerza que se opone al movimiento relativo entre dos superficies en contacto**. La fricción entre superficies lubricadas se ilustra por el modelo del cojinete plano (Figura 1).

Mientras que el sistema está en reposo, las superficies de la flecha y el cojinete están en contacto directo. Cualquier fuerza que se aplique para hacer que la flecha empiece a girar, debe superar la fuerza interna entre las dos superficies. Esta es la llamada **fuerza de fricción estática o de despegue**.

Conforme la flecha empieza a girar, la **fuerza de fricción estática se transforma en fuerza de fricción dinámica o cinética**. Como resultado de la rotación de la flecha, el lubricante es “arrastrado” hacia la zona de contacto, lo cual reduce las interacciones entre las superficies, haciendo que se reduzcan las fuerzas de fricción.

Con el incremento de la velocidad, la película lubricante en la zona de contacto también aumenta y la fricción disminuye. Cuando las superficies están totalmente separadas por el lubricante, la fricción se reduce al mínimo. Si la velocidad continúa aumentando más allá de este punto, la fricción se incrementará conforme aumente la película lubricante, generando el “arrastre viscoso”.

Figura 1

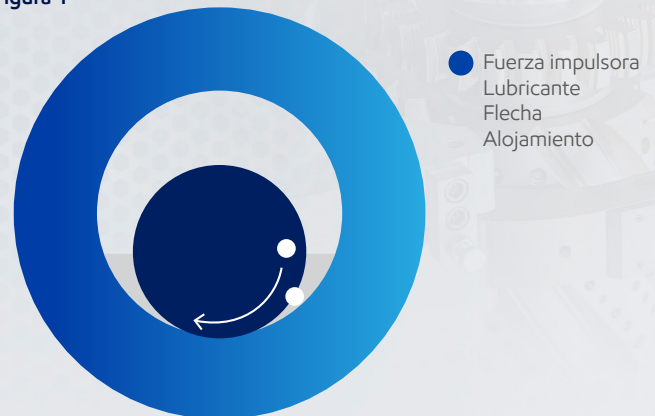


Figura 2



La **relación que existe entre la velocidad y la fricción** entre dos superficies lubricadas, se describe mediante la curva Stribeck (Figura 2).

Existen tres regímenes de lubricación:

- **Lubricación a película límite:** La fricción está influenciada por las propiedades de las superficies.
- **Lubricación mixta:** Las propiedades del lubricante, así como las propiedades de las superficies, afectan la fricción en una proporción que depende de la velocidad.
- **Lubricación hidrodinámica:** La fricción está controlada por la viscosidad de la película lubricante.

Frecuentemente las guías y correderas son referidas como cojinetes planos, para los cuales se aplican los mismos principios de lubricación arriba descritos. La diferencia es que, en el caso de las guías y correderas, las dos superficies en contacto son planas y el movimiento es lineal, en vez de rotatorio.

Mientras que el cojinete plano está diseñado para operar bajo condiciones de lubricación hidrodinámicas, y teóricamente lo pueden hacer indefinidamente, la corredera tiene que detenerse cuando llegue al final de la guía, y empezar nuevamente a moverse en dirección opuesta. Consecuentemente, y debido a que las guías y correderas operan de manera alternante, la lubricación mixta juega un papel más importante.

De mayor trascendencia es el hecho de que las guías y correderas son mucho más susceptibles al efecto conocido como deslizamiento irregular (stick-slip), debido a la gran cantidad de tiempo en que operan bajo régimen de lubricación mixta.

El efecto de deslizamiento irregular (stick-slip)

El **deslizamiento irregular** en las guías y correderas es un **fenómeno causado por la continua alternancia entre las fricciones estática y dinámica**. Puede ocurrir cuando la fricción estática es mayor que la fricción dinámica, y cuando existe alguna elasticidad en el sistema (Figura 3).

Cuando se aplica una fuerza impulsora a la corredera, la elevada fuerza de fricción estática impide su deslizamiento inmediato. En cambio, la fuerza está cargando el resorte mediante el cual la fuerza impulsora ejercida sobre la corredera se incrementa gradualmente. Cuando la fuerza del resorte excede a la fuerza de fricción estática, la corredera se empieza a mover.

Debido al cambio de fricción estática a fricción dinámica, la fuerza del resorte acelera la corredera, mientras que la tensión del resorte disminuye rápidamente. Eventualmente, el resorte se descarga completamente y se inicia el movimiento de la corredera en sentido contrario.

La corredera se desacelera, mientras que la fricción que sigue el modelo de la curva Stribeck crece rápidamente, hasta que finalmente la corredera se detiene y el ciclo empieza nuevamente. Este brusco movimiento es lo que comúnmente se conoce como **deslizamiento irregular** (stick-slip).

A pesar de que el deslizamiento irregular no es visible para el ojo humano, este fenómeno físico está alrededor de nuestras vidas produciendo una variedad de experiencias auditivas. El deslizamiento irregular hace posible la agradable experiencia de un concierto de violín, pero también produce ruidos desagradables como el rechinido del gis en el pizarrón o los frenos de un tren cuando se está deteniendo al llegar a la plataforma de embarque.

El deslizamiento irregular también es responsable por el sonido que produce el movimiento irregular de los limpiadores del parabrisas de un auto, así como también los rechinidos de una banda floja en una transmisión. Los conductores de autos que les gusta rechinir las llantas cambiando abruptamente la velocidad o dirección de sus vehículos, utilizan inconscientemente el efecto de deslizamiento irregular.

Y para aquellos que les gusta lo impresionante: el deslizamiento irregular que se presenta en las fallas sísmicamente activas es potencialmente considerada una de las causas raíz de los terremotos.

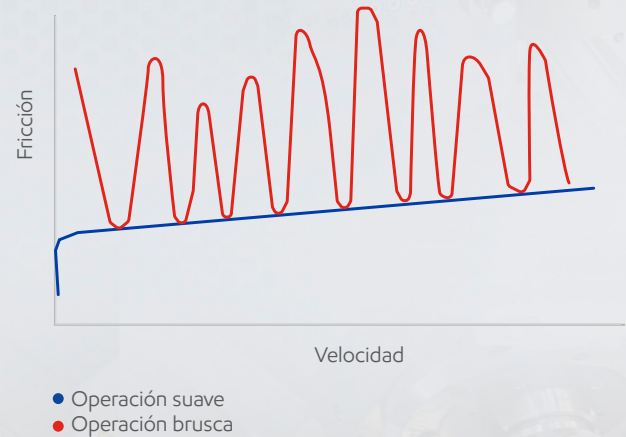
Figura 3



Esta pequeña lista de ejemplos nos da una idea de lo indeseable que es el deslizamiento irregular en la mayoría de los casos, incluyendo las guías y correderas, en donde el deslizamiento irregular puede causar movimientos bruscos de la corredera y de la pieza de trabajo o herramienta unida a ella. Este movimiento incontrolable **puede dar como resultado operaciones de maquinado imprecisas, inaceptable calidad del acabado de las piezas maquinadas y pérdida de producción** (Figura 4).

Para lograr una operación suave y uniforme de la máquina herramienta, **el lubricante debe contener** aditivos especiales llamados **"modificadores de fricción"** para lograr un control óptimo de la fricción. Los lubricantes de guías y correderas de avanzada tecnología están formulados con una mezcla de aditivos modificadores de fricción **que permiten una operación suave y uniforme** de las guías y correderas de las máquinas herramientas, operando en un amplio rango de condiciones de velocidad y carga.

Figura 4



Lubricantes avanzados de guías y correderas

Las modernas máquinas herramientas, los nuevos diseños de guías y correderas demandan un mejor desempeño de los lubricantes. Mayores velocidades y cargas elevadas, así como máquinas herramientas de alta precisión, requieren sofisticados lubricantes de guías y correderas. Además, existe un mayor número de combinaciones de materiales; por ejemplo metal-plástico, que tienen diferentes requisitos de lubricación.

Los lubricantes modernos de guías y correderas, formulados con un perfecto balance de aceites básicos y aditivos, deben ser capaces de enfrentar estos desafíos para lograr lo siguiente:

- **Baja fuerza de fricción estática** para facilitar el arranque.
- **Transición continua** desde el reposo al movimiento **sin cambios bruscos**.
- **Movimiento suave y uniforme**, aún bajo cargas pesadas.

Existen varias pruebas reconocidas por la industria para determinar las propiedades de fricción de los lubricantes de guías y correderas. Estas pruebas permiten evaluar las características de fricción estática y dinámica de un lubricante y su efecto en varios materiales con los que se fabrican las guías y correderas.

Prueba de fricción Cincinnati Lamb

Mediante la prueba de fricción Cincinnati Lamb (Figura 5), se determina la **relación entre la fricción estática y dinámica**. Para evitar un deslizamiento irregular, la relación no debe exceder el valor de 1; valores menores permiten un arranque fácil y una transición suave desde el reposo al movimiento. La Cincinnati Machine Company (CMCo) define un valor de 0.8 como límite máximo para esta relación.

Tribómetro SKC

La prueba del Tribómetro SKC (Figura 6), **determina la fricción estática entre 2 materiales**, tal como acero-acero y acero-SKC (plástico especial). Los valores bajos de fricción indican un arranque más rápido y una reducida tendencia a producir un deslizamiento irregular (stick-slip).

Prueba de banco Darmstadt

La Universidad de Darmstadt en Alemania utiliza guías y correderas de tamaño real para simular aplicaciones de la vida real. Mediante esta prueba **se evalúan aceites** (Figura 7) **que lubrican guías y correderas de diferente material**, operando bajo diferentes condiciones de carga y velocidad, y que permiten diferenciar formulaciones de lubricantes de alto y bajo desempeño.

En la Figura 7, se muestra cómo un lubricante se desempeña muy bien en guías y correderas con una combinación acero-acero, pero no tan bien en una combinación acero-plástico. Un lubricante formulado adecuadamente tendrá un buen desempeño bajo diferentes condiciones de velocidad y combinación de materiales, con lo que se reduce la fricción y se minimiza el deslizamiento irregular.

Figura 5

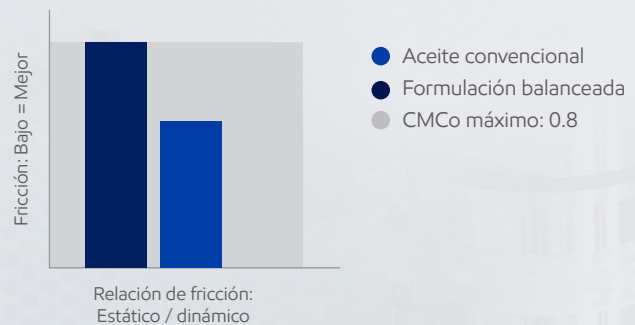


Figura 6

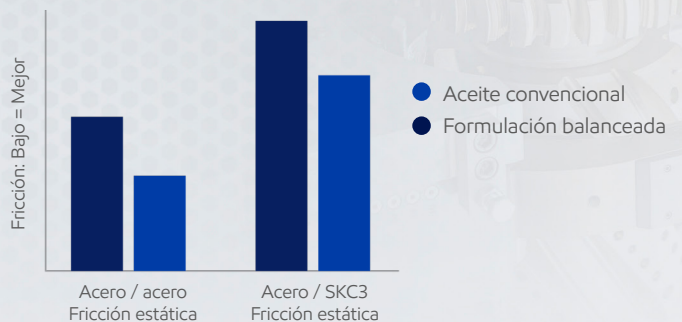
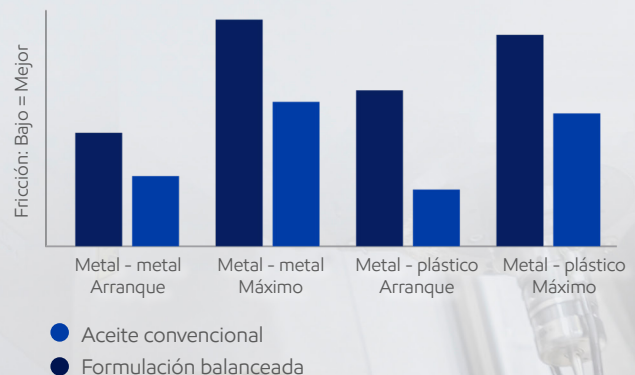


Figura 7



Entonces ¿qué hace diferente a los violines de las guías y correderas?

Los lubricantes de guías y correderas contienen modificadores de fricción para reducir la fricción estática y así minimizar el deslizamiento irregular.

Un violinista aplica resina al arco del violín para tener el efecto opuesto: incrementar la fricción estática entre el arco y las cuerdas para generar un deslizamiento irregular y producir un sonido.



Beneficios de la reducción del deslizamiento irregular

- Mayor precisión del maquinado, sin movimientos bruscos.
- Mejora la calidad de las piezas maquinadas.
- Menor desperdicio y mayor productividad.
- Incremento de la eficiencia de la máquina herramienta bajo diferentes condiciones de operación.
- Mayor facilidad del arranque debido a la menor fricción.