

## ESTUDIO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE LUBRICACIÓN DE PESTAÑAS DE RUEDAS FERROVIARIAS

Esp. Ing. Tomás, Martiarena<sup>1</sup>, Ing. Miguel Ángel Ramón, Galache<sup>2</sup>, Ing. Marcos Elias, Amado<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UIDET IAME - Departamento de Mecánica – Facultad de Ingeniería U.N.L.P., calle 1 N° 732, La Plata, Argentina – tomas.martiarena@ing.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> UIDET IAME - Departamento de Mecánica – Facultad de Ingeniería U.N.L.P., calle 1 N° 732, La Plata, Argentina – ramon.galache@ing.unlp.edu.ar

<sup>3</sup> UIDET IAME - Departamento de Mecánica – Facultad de Ingeniería U.N.L.P., calle 1 N° 732, La Plata, Argentina – marcos.amado@ing.unlp.edu.ar

### RESUMEN

Este trabajo presenta un estudio comparativo de diversas formas de lubricación de la pestaña en con el objetivo de determinar la más conveniente para su uso. Los engrasadores de bogie que utilizan pastillas son una alternativa a los engrasadores convencionales que aplican lubricante líquido en las pestañas de las ruedas de los trenes. Estos engrasadores utilizan pastillas de lubricante sólido que se colocan en una caja de engranajes montada en el bogie del tren.

Cuando la pastilla de lubricante sólido se calienta debido al rozamiento generado por la rueda, libera una fina capa de lubricante que se adhiere a la superficie de la pestaña de la rueda, reduciendo así el rozamiento y el desgaste en las pestañas y en el carril de la vía. Los engrasadores de bogie con pastillas tienen varias ventajas en comparación con los engrasadores convencionales, como la reducción de la cantidad de residuos y contaminación generados durante el proceso de lubricación, y una duración más larga de las pastillas, lo que reduce la necesidad de mantenimiento y recarga.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los engrasadores de bogie con pastillas pueden tener limitaciones en cuanto a la velocidad y la carga que pueden soportar y pueden requerir una instalación y mantenimiento más cuidadoso y preciso. En general, los engrasadores de bogie que utilizan pastillas son una alternativa efectiva y ecológica a los engrasadores convencionales que aplican lubricante líquido en las pestañas de las ruedas de los trenes.

**Palabras Clave:** Rueda-Riel, Lubricadores De Pestaña, Gestión De La Fricción, Gestión De Vida Util De Pares Montados

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gestión del perfil de rueda se ha vuelto cada vez más importante en el ámbito ferroviario. Se están tomando medidas para prolongar la vida útil de los pares montados y evitar el desgaste prematuro. Con este fin, se han diseñado sistemas de lubricación de la interfaz rueda-riel. Estos sistemas buscan reducir la fricción entre la rueda y el riel sin comprometer los esfuerzos de tracción y frenado. El objetivo es minimizar el desgaste y garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema ferroviario. En este trabajo, se analizarán los distintos modos de gestión del perfil de rueda y se examinarán diversas experiencias para clarificar el escenario y ofrecer perspectivas en esta área crucial. La implementación de estos sistemas de lubricación se presenta como una estrategia efectiva para optimizar la vida útil de los pares montados.

## 2 COMPORTAMIENTO DE BOGIE EN CURVA

Cuando un bogie entra en una curva, la fricción sobre la pestaña de la rueda aumenta debido a varios factores, incluyendo el diseño de las vías, el ángulo de ataque de las ruedas y los movimientos laterales del bogie.

El aumento de la fricción en la pestaña de la rueda al entrar en una curva se debe a varios factores. En primer lugar, el diseño de las vías, especialmente el peralte, hace que la pestaña de la rueda del lado exterior se presione con mayor fuerza contra el carril. Además, el ángulo de ataque de las ruedas provoca un contacto más estrecho entre la pestaña y el carril exterior, aumentando la fricción. Por último, los movimientos laterales del bogie debido a las fuerzas centrífugas incrementan la presión de la pestaña contra el carril. Estos factores combinados generan un mayor desgaste en la pestaña de la rueda y requieren medidas para gestionar y controlar la fricción, como el uso de lubricantes adecuados.

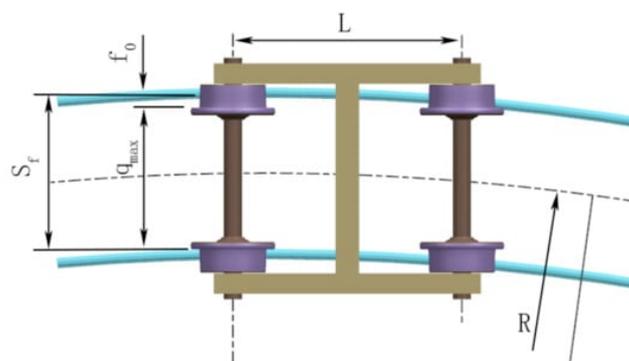


Figura 1: Bogie acomodándose en una curva

### 3 VERIFICACIÓN DEL DESGASTE DE LA RUEDA

Para verificar el estado de desgaste de una rueda en un tren, incluyendo el espesor o ancho de la pestaña:

- **Profundidad de la banda de rodadura:** Se mide la altura de la banda de rodadura de la rueda para determinar cuánto material ha sido desgastado.
- **Diámetro de la rueda:** Se verifica el diámetro de la rueda para asegurarse de que no se haya desgastado de manera irregular o excesiva.
- **Ancho de la banda de rodadura:** Se mide el ancho de la banda de rodadura de la rueda para evaluar si ha sufrido un desgaste desigual o si se ha mantenido dentro de los límites aceptables.
- **Desgaste de la pestaña:** Se verifica el desgaste de la pestaña de la rueda, que es la parte que entra en contacto con la pista. Se mide la altura y el espesor de la pestaña, y se comparan con los valores de referencia.
- **Superficie de la rueda:** Se inspecciona visualmente la superficie de la rueda en busca de grietas, fracturas u otros daños que puedan afectar su rendimiento.

Estos parámetros se miden utilizando equipos y técnicas específicas, pasando desde la inspección visual y calibres específicos hasta perfiladores laser para realizar el seguimiento de la evolución del perfil de rodadura. El objetivo es determinar si la rueda está dentro de los límites aceptables de desgaste y si necesita ser reparada o reemplazada para mantener la seguridad y el rendimiento adecuados del tren. Los calibres utilizados se pueden visualizar en la figura 2.

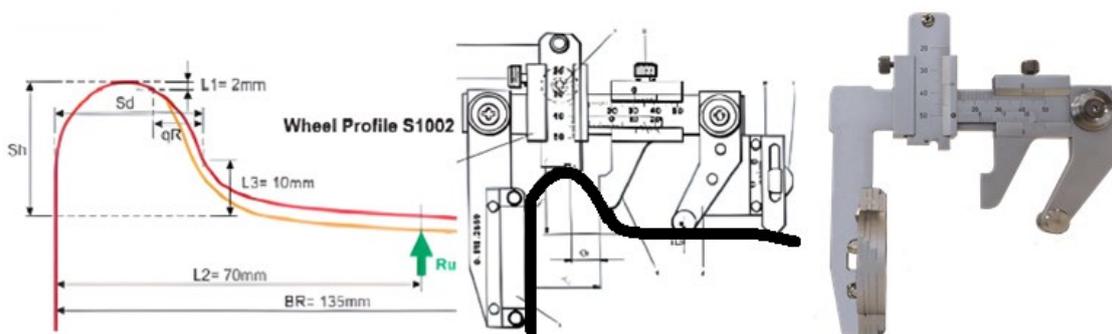


Figura 2: Calibre de rueda

#### 4 MODOS DE LUBRICACIÓN DE LA INTERFAZ RUEDA-RIEL

Existen diversas formas de lubricar la interfaz rueda-riel en sistemas ferroviarios. Estas incluyen equipos montados en los bogies de los trenes, equipos fijos instalados al costado de la vía y vehículos especializados dedicados a la lubricación de la vía. A continuación, se describen brevemente cada uno de ellos:

- 4.1 Equipos montados en los bogies de los trenes: Estos equipos están instalados directamente en los bogies de los trenes y se encargan de aplicar el lubricante en la interfaz rueda-riel mientras el tren está en movimiento. Estos sistemas pueden utilizar diferentes métodos, como la pulverización o la aplicación de lubricante líquida, en forma de grasa directamente en la pestaña del riel o a través de una pastilla de lubricante consumible apoyada sobre la pestaña de la rueda.

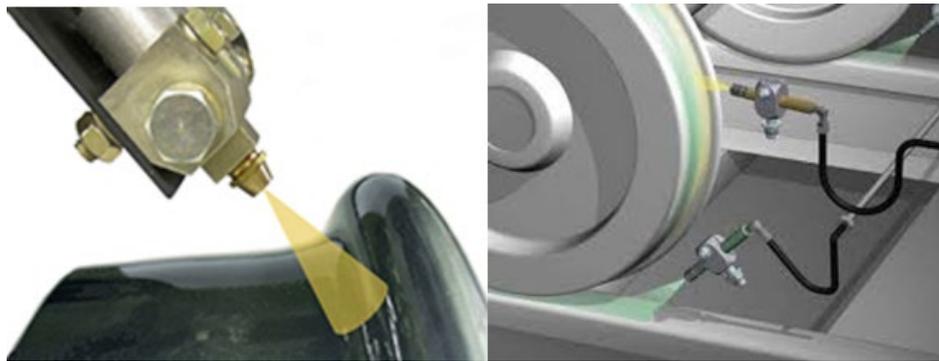


Figura 3: Pulverización de lubricante

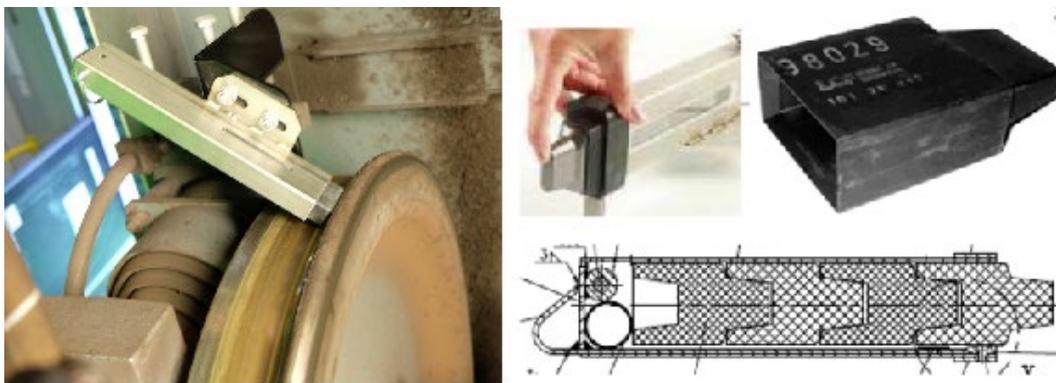


Figura 4: Lubricación por pastilla consumible, "en seco"

- 4.2 Equipos fijos instalados al costado de la vía: Estos equipos se encuentran fijados en posiciones estratégicas a lo largo de la vía ferroviaria. Pueden consistir en lubricadores automáticos que dispensan lubricante de manera continua en la pestaña del riel o en sistemas de aplicación de película seca que recubren la pestaña con un lubricante sólido.



Figura 5: Engrase por equipos fijos al costado de la vía

- 4.3 Vehículos especializados para la lubricación de la vía: Estos vehículos están diseñados específicamente para la lubricación de la vía ferroviaria. Son equipados con sistemas de pulverización o aplicación de lubricante que permiten cubrir grandes tramos de vía de manera eficiente. Estos vehículos suelen tener depósitos de lubricante a bordo y se desplazan a lo largo de la vía aplicando el lubricante en la pestaña y en otros puntos críticos de la interfaz rueda-riel. Dentro de esta categoría se podrían colocar los sistemas de engrase que contemplan un operario recorriendo a pie la vía.



Figura 6: Vehículos específicos de lubricación de la vía

## 5 SISTEMAS DE LUBRICACIÓN

Existen dos enfoques principales en los sistemas de lubricación para la interfaz rueda-riel, estos son:

### 5.1 Lubricación periódica o constante

Estos sistemas aplican lubricante de manera regular y constante, independientemente de si hay circulación de trenes en ese momento. La lubricación periódica se lleva a cabo siguiendo un programa de mantenimiento planificado, en el que se aplican cantidades predefinidas de lubricante en intervalos regulares. Este enfoque asegura que siempre haya una capa de lubricante presente en la interfaz rueda-riel, lo que reduce la fricción y el desgaste.

Los sistemas de lubricación periódica suelen utilizar métodos como el uso de lubricantes sólidos en forma de grasa o polvo, o mediante la aplicación de aceites o líquidos lubricantes mediante boquillas o sistemas de distribución específicos. Estos sistemas son más comunes en líneas de ferrocarril de alta velocidad o de alto tráfico, donde se requiere una lubricación constante para mantener un funcionamiento eficiente.

### 5.2 Lubricación basada en la necesidad o “inteligentes”

Estos sistemas aplican lubricante solo cuando se detecta que es necesario. Utilizan sensores o sistemas de monitoreo para medir parámetros como la temperatura, la presión o la fricción en la interfaz rueda-riel. Cuando estos sensores detectan condiciones de fricción excesiva o anormal, se activa el sistema de lubricación y se aplica el lubricante específicamente en el área afectada.

Los sistemas de lubricación basada en la necesidad son más avanzados tecnológicamente y se utilizan en situaciones donde se requiere una lubricación más precisa y controlada. Pueden ofrecer beneficios como una reducción en el consumo de lubricante, un mejor monitoreo del desgaste y una mayor eficiencia en general.

Un sistema inteligente de lubricación consta de varios componentes clave que trabajan juntos para administrar y controlar de manera eficiente la lubricación en diferentes equipos y maquinarias. Estos componentes pueden variar según la aplicación y el diseño específico del sistema, pero aquí hay algunos componentes comunes en un sistema de lubricación inteligente:

- **Unidad de control:** Es el cerebro del sistema de lubricación inteligente. La unidad de control es responsable de monitorear y recopilar datos de los sensores, procesar la información y tomar decisiones sobre la cantidad y el momento de aplicar la lubricación. También puede estar equipada con interfaces de usuario para configurar y ajustar parámetros del sistema.
- **Sensores:** Los sensores son dispositivos que recopilan datos y proporcionan información sobre diversas variables relevantes para la lubricación, como la temperatura, la presión, la velocidad, la vibración, la posición, entre otros. Estos sensores pueden ser térmicos, de presión, de proximidad, de flujo, entre otros, y suelen estar conectados a la unidad de control.
- **Actuadores:** Los actuadores son los dispositivos responsables de aplicar la lubricación en los puntos deseados. Pueden ser bombas, válvulas, rociadores o cualquier otro mecanismo que permita la entrega controlada del lubricante al equipo o maquinaria. Los actuadores son activados por la unidad de control basándose en los datos y las decisiones tomadas por el sistema.
- **Lubricante:** El lubricante es el medio utilizado para reducir la fricción y el desgaste entre las superficies en movimiento. Puede ser aceite, grasa u otro tipo de lubricante específico según las necesidades de la aplicación. El sistema de lubricación inteligente puede incluir sistemas de almacenamiento, filtración y suministro de lubricante para garantizar un suministro constante y adecuado.
- **Red de comunicación:** Para lograr la inteligencia y la capacidad de control, el sistema de lubricación inteligente puede contar con una red de comunicación que conecta los diferentes componentes y permite la transmisión de datos entre ellos. Esto puede ser a través de cables, redes Ethernet, o incluso tecnologías inalámbricas.

## 6 EXPERIENCIAS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL

### 6.1 Experiencia en la línea Tehran-Ahvaz, Irán

Se equipó un coche, en adelante el coche 705, de un tren que recorre la línea Tehran-Ahvaz con un dispositivo de lubricación tipo pastilla como la que se muestra en la figura 4. Luego se estableció un intervalo, luego del cual se iban a ir midiendo las las ruedas hasta que estas no estuvieran aptas para seguir rodando. Durante el período de medición se realizaron las readecuaciones de perfil correspondientes en tornos bajo piso. Cabe aclarar que la línea en cuestión es una de las que concentra la mayor cantidad de curvas radios inferiores a los 2500 m, esto se muestra en la figura 7.



Figura 7: Línea Tehran-Ahvaz

Una vez que se alcanzó el límite de vida de las ruedas del coche que tenía equipado el sistema de pastillo, también conocido como “seco”, se analizó la cantidad de km que cada par montado de esa formación había realizado y luego se las comparo contra los pares montados del coche 705. Los resultados revelan que la vida útil promedio de la rueda del coche número 705 fue un 24% mayor que la de los coches sin dispositivo lubricador.

La prueba de campo muestra que la implementación del proyecto de lubricación en seco ayuda en gran medida a atenuar el desgaste de la pestaña de la rueda, que es un problema importante en las curvas prevalentes en rutas de tren como la línea principal sur.

### 6.2 Experiencia en el Metrolink de Manchester

Se ha llevado a cabo una prueba a largo plazo en uno de los T68 del Manchester Metrolink, demostrando que los sistemas de lubricación a bordo más "inteligentes".



Figura 8: T68 en las calles de Manchester

El uso de la lubricación inteligente de pestaña de rueda ha mejorado en un 50% la vida útil de las ruedas de un T68 LRV que opera en una red de vías de calle y ferrocarril convencional. Esta mejora del 50% es en comparación con los vehículos que utilizan lubricantes en barra de aplicación constante. Sin embargo, hay que tener en cuenta que se ha demostrado que este tipo de lubricante, en comparación con los vehículos sin lubricación, ha prolongado la vida útil de las ruedas hasta cinco veces.

La aplicación de técnicas de GPS y sensores inerciales a la lubricación de pestañas ha demostrado ser rentable, basándose únicamente en los ahorros de las ruedas

El estudio ha identificado que en los T68 LRV sería beneficioso invertir la dirección del vehículo. Además, se debería considerar un esquema de torneado de ruedas basado en una cantidad reducida de torneados cada 50,000 km. Esto también reduciría la cantidad de contacto y ruido en la parte posterior de la pestaña de la rueda.

La **prueba no redujo el nivel de desgaste de la pestaña de rueda al punto en el que dejara de ser la causa principal** para el torneado de ruedas. Es posible que un tipo diferente de lubricante pueda reducir aún más el desgaste de la pestaña de rueda.

## 7 CONCLUSIONES

Podemos afirmar que existen diversas formas de lubricar la interfaz rueda-riel, así como diferentes enfoques para gestionar esta lubricación. Ya sea por necesidad, de forma periódica o constante, se han implementado métodos efectivos en sistemas de ferrocarriles internacionales. Las experiencias a nivel global han demostrado la eficacia de estos métodos, lo cual abre una perspectiva promisoriosa para su implementación en los sistemas de ferrocarriles nacionales. El seguimiento de los resultados obtenidos en estas implementaciones se presenta

como una temática relevante y de gran importancia para garantizar un funcionamiento óptimo y prolongar la vida útil de los pares montados en el contexto ferroviario.

## 8 REFERENCIAS

- [1] Roya Sadat Ashofteh. *“Effect of Dry Lubrication to Reduce Wheel Flange Wear of Railcars in Railway of Iran.”* - 2014
- [2] Patric Waara. *“Wear Reduction Performance of Rail Flange Lubrication”*, 2001
- [3] Rail Technology Magazine. *“Intelligent ways to extend wheel and track life”*, 2012  
<https://www.railtechnologymagazine.com/Rail-Industry-Focus-/intelligent-ways-to-extend-wheel-and-track-life>
- [4] Simon Iwnicki, Maksym Spiryagin, Colin Cole, Tim McSweeney. *“Handbook of Railway Vehicle Dynamics”*, 2020, Segunda Edición.