

## IDENTIFICACIÓN DE MECANISMOS DE DESGASTE EN RIELES DE VÍA COMERCIAL DEL METRO DE MEDELLÍN

Guillermo Idárraga<sup>\*1</sup>, Juan Camilo Sánchez<sup>1</sup>, Juan Felipe Santa<sup>1,2</sup>, Alejandro Toro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Tribología y Superficies, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación Materiales Avanzados y Energía – MATyER, Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia.

\* Contacto: gaidarra@unal.edu.co

### RESUMEN

El mantenimiento de rieles es uno de los temas más críticos en los sistemas ferroviarios debido a las dificultades y los altos costos generados por estas operaciones. En este artículo se hizo una inspección en los puntos críticos a lo largo de la línea B del Metro de Medellín, identificando los principales mecanismos de desgaste y zonas preferenciales de aparición de daños. Se realizó un registro fotográfico y mediciones de desgaste ondulatorio por medio del *Corrugation Analysis Trolley (CAT)*.

**Palabras Clave:** *Mecanismos de Desgaste, Sistema Ferroviarios, Rieles, Corrugación, Fatiga de Contacto Rodante.*

### ABSTRACT

Rail maintenance is a critical issue in railway systems due to the difficulties and costs associated. This article shows the results of detailed visual inspections in critical places along the B line of Metro de Medellín. The main wear mechanisms are identified as well as the regions where the damages appear. A photographic record of the line was obtained and corrugation wear measurements with *Corrugation Analysis Trolley (CAT)* were performed.

**Keywords:** *Wear Mechanisms, Railway Systems, Rail, Corrugation, Rolling Contact Fatigue*

### 1 INTRODUCCIÓN

La identificación y caracterización de los defectos presentes en la vía férrea es una tarea crucial para la mejora de los procedimientos y la disminución de los costos de operación [1]. Al caracterizar los mecanismos de falla, es posible establecer estrategias de mantenimiento que permitan mitigar estos defectos, evitando su aparición temprana y de esta manera alargando la vida útil de las vías [2]. Para remover los defectos de la superficie es necesario llevar a cabo operaciones de reperfilado que permitan retirar material de la superficie del riel, eliminando daños superficiales, teniendo como referencia un valor de 12 mm de altura del perfil para el cambio del cupón [3].

## 2 METODOLOGÍA

Para obtener la información necesaria se hicieron inspecciones visuales y mediciones de desgaste ondulatorio en las horas de la noche sobre los rieles.

Para ello, se llevó a cabo registro fotográfico con el fin de comparar los daños encontrados con los reportados en la literatura, identificando así las zonas que son más propicias a la aparición de marcas de desgaste. Para las mediciones de desgaste ondulatorio se usó un equipo conocido como CAT (*Corrugation Analysis Trolley*), que consiste en una carretilla puesta sobre uno de los rieles con un transductor medidor y una rueda con un resorte que recorre el canto del riel, la cual registra las diferencias en alturas de las ondulaciones sobre las superficie.

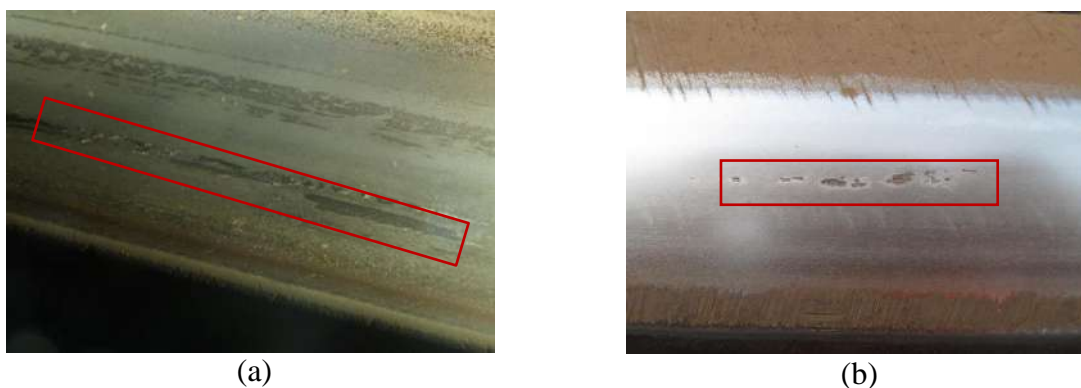
## 3 RESULTADOS

### 3.1 Inspección visual

Con base en lo encontrado en la literatura y en los daños identificados en rieles de la vía comercial, se clasificaron los mecanismos de desgaste en cuatro tipos: Adhesión, *Squats*, Fatiga superficial y Flujo Plástico (*tongue lipping*).

#### 3.1.1 Adhesión

Debido a las altas cargas típicas de estos sistemas, los materiales experimentan una fuerza de tracción efectiva lo suficientemente grande para generar el desprendimiento de material, tal como se muestra en la Figura 1. Estas marcas se observan comúnmente en curvas y cerca de las estaciones, lugares en que se presentan altas tasas de deslizamiento, lo que conlleva a que el área efectiva de adherencia disminuya y por consiguiente la carga sea aplicada en una zona menor aumentando los esfuerzos de contacto [4].

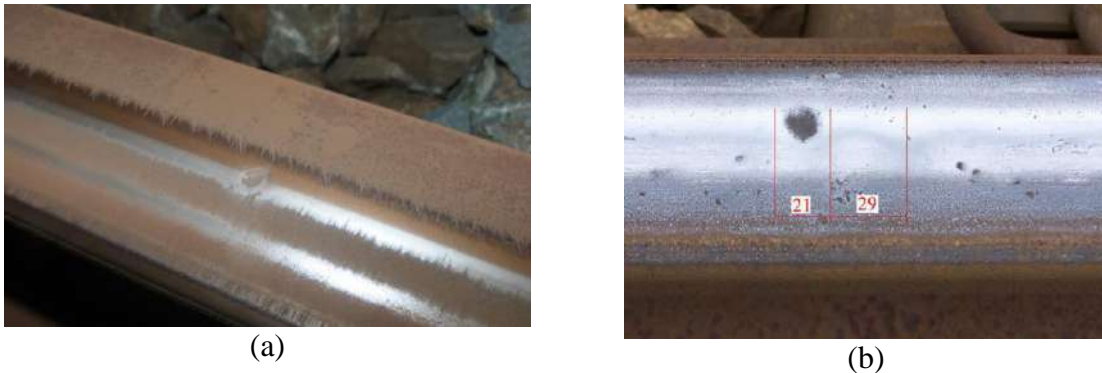


**Figura 1.** (a) Marcas de adhesión en la superficie del riel, presentes en la curva 5. (b) pérdida de material, producto de elevadas fuerzas adhesivas, imagen tomada de la curva 15.

#### 3.1.2 Squats

Durante las inspecciones también se logró observar *Squats*, los cuales se caracterizan por formar una superficie oscura sobre el riel, combinada con un ensanchamiento de la banda de rodadura.

Estas marcas son formadas debido a la existencia de grietas sub-superficiales que crecen paralelas a la superficie del riel, las cuales producen que el material cercano fluya hacia los lados generando una depresión que recoge suciedad y se corroe dándole el aspecto oscuro. En la Figura se puede observar una imagen del sistema del Metro de Medellín y en la Figura 2b una imagen tomada de la bibliografía [5]. Es importante aclarar que este tipo de marcas son observadas comúnmente en curvas de la vía férrea y que para el metro de Medellín no pasan del régimen leve.



**Figura 2.** (a) Imagen de un *Squat* presente en la curva 5 del sistema del Metro de Medellín (b) Imagen tomada del sistema ferroviario de cercanías de Holanda [5].

### 3.1.3 Fatiga superficial

Durante las inspecciones realizadas fue posible evidenciar fatiga superficial en todas las curvas sobre el hilo alto, siendo más crítico en curvas de menor radio. El defecto observado en la cabeza del riel, comúnmente conocido como *head checks*, se evidencia por la aparición de pequeñas fisuras como se muestra en la Figura 3a. Los *head checks* mantienen una inclinación con respecto al eje longitudinal del riel debido a la dirección resultante entre las fuerzas longitudinal y transversal presentes en la intercara [6]. A medida que las grietas crecen, se ramifican y avanzan hacia el interior del riel, lo cual ocasiona desprendimiento de material, fenómeno conocido como *spalling*, ver Figura 3b.



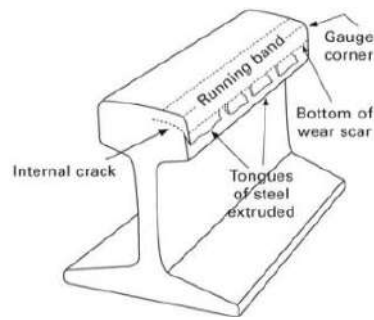
**Figura 3.** (a) Agrietamiento en la cabeza del riel (*head checks*). (b) desprendimiento de material debido a fatiga. Imágenes tomadas del Metro de Medellín, curva 4 y 8 respectivamente.

### 3.1.4 Flujo plástico (*Tongue lipping*)

Este fenómeno de desgaste es generado por las altas cargas presentes en los rieles del hilo alto, las cuales producen una deformación plástica en el flanco del riel, especialmente en curvas (ver Figura 4a). Se caracteriza por que el material del riel sobresale más allá de la banda de rodadura formándose en algunos casos grietas por debajo de estas capas, las cuales crecen en un plano aproximadamente paralelo a la superficie de la cabeza del riel, tal como se muestra en la Figura 4b [6,7]. Este fenómeno de desgaste no es común en el sistema Metro de Medellín y sólo fue posible evidenciarlo en una de las curvas que presentaba un radio de curvatura de 300 m con ausencia de peralte.



(a)



(b)

**Figura 4.** (a) *Tongue Lipping*, imagen tomada del riel del hilo alto del Metro de Medellín en la curva 1. (b) Esquema ilustrativo de la formación del defecto. Tomado del *Wheel-rail interface handbook* [6].

### 3.2 Desgaste ondulatorio

Este tipo de desgaste se presenta sobre la superficie del riel en forma de corrugación y normalmente se aprecia a simple vista dependiendo de las frecuencias de las ondulaciones, como se puede observar en la figura 5. La aparición de estos picos y valles se debe principalmente a la interacción dinámica del vehículo con la vía, aunque fenómenos como flujo plástico, flexión plástica del carril y fatiga de contacto por rodadura contribuyen a la aparición de este tipo de daño.



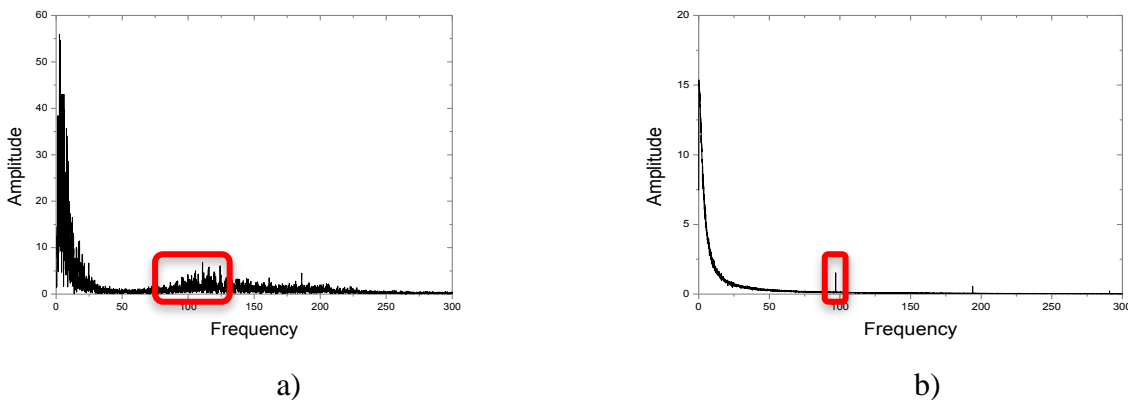
a)



b)

**Figura 5.** a) Desgaste ondulatorio curva 1, b) Desgaste ondulatorio curva 3.

Las frecuencias predominantes en este tipo de daños dependen del hilo analizado, ya sea hilo alto o hilo bajo. Con ayuda del software *Rail Measurement CAT* y *Origin* se observaron características similares a las reportadas en la literatura. Las figuras 7 a y b muestran algunos de los resultados obtenidos. Para el hilo alto de la curva 1 en el mes de Junio del 2012 (Figura 6a), se encuentran frecuencias predominantes para este tipo de daños entre 50Hz – 100Hz; en la figura 6b para el mismo punto de la vía en el mes Diciembre del mismo año se observa el mismo pico de frecuencia, sin embargo, su amplitud es menor debido a acciones de reperfilado del riel realizadas para mitigar este daño. De acuerdo a los criterios de mantenimiento, los cuales son basados en estándar Europeo de reperfilado Clase 1 y teniendo en cuenta estas mediciones, las frecuencias típicas de reperfilado del Metro de Medellín son de 3 meses para la curva con mayor tasa de desgaste y entre 5 y 7 meses para el resto de curvas [8,9,10].



**Figura 6.** a) Frecuencias predominantes para la curva 1 en el mes de Junio, b) Frecuencias predominantes para la curva 1 en el mes de Diciembre.

#### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Luego de los registros visuales a lo largo de las visitas se pudieron identificar los mecanismos de desgaste y daños superficiales que predominan sobre la cabeza del riel. El mecanismo de desgaste predominante es fatiga superficial seguida de desgaste ondulatorio.
- Las marcas debidas a fatiga superficial son predominantes en el hilo alto, donde la rueda entra en contacto con el flanco del riel, mientras que el desgaste ondulatorio es común en el hilo bajo.
- Es de gran importancia mitigar la fatiga superficial en un estado inicial, ya que si las grietas crecen hasta una profundidad mayor al material removido en una operación de reperfilado dada, el espesor de la superficie del riel que se debe reperfilar posteriormente es mucho mayor, aumentando tiempos y costos de mantenimiento.
- Con el fin de evitar la aparición temprana de daños críticos en la vía férrea, es necesario establecer estrategias que permitan mitigar en gran porcentaje las marcas de *head checks* y corrugación. El uso de modificadores de fricción, por ejemplo, es una buena alternativa para el control de este tipo de daños.

## **5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. V. Reddy, G. Chattopadhyay, P.-O. Larsson-Kråik, and D. J. Hargreaves, “Modelling and analysis of rail maintenance cost,” *International Journal of Production Economics*, vol. 105, no. 2, pp. 475–482, Feb. 2007.
2. F. P. García Márquez, R. W. Lewis, A. M. Tobias, and C. Roberts, “Life cycle costs for railway condition monitoring,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 44, no. 6, pp. 1175–1187, Nov. 2008.
3. Metro de Medellín, Reporte interno: Actividades de mantenimiento de vía permanente y vehículos de pasajeros relevantes para implementar la norma uic-518 en el metro de Medellín Ltda, 2005.
4. U. Olofsson and R. Lewis, “Basic tribology of the wheel-rail contact”, *Wheel-rail interface handbook*, First Edition. ISBN 978-1-84569-412-8, Cap 2, 2006.
5. Zili Li a, Xin Zhao a, Coenraad Esveld , Rolf Dollevoet, Marija Molodova. “An investigation into the causes of squats—Correlation analysis and numerical modeling”, *Wear* 265 (2008) 1349–1355, 2008.
6. D.I. Fletcher, F.J. Franklin, A. Kapoor, “Rail surface fatigue and wear”, *Wheel-rail interface handbook*, First Edition. ISBN 978-1-84569-412-8, Cap 9, 2006.
7. P.O. Larsson-Krwik, “Managing the wheel-rail interface: Railway infrastructure maintenance in a severe environment: The Swedish experience”, *Wheel-rail interface handbook*, First Edition. ISBN 978-1-84569-412-8, Cap 22, 2006.
8. A. Saulot, S. Descartes, D. Desmyter, D. Levy, and Y. Berthier, “A tribological characterization of the ‘damage mechanism’ of low rail corrugation on sharp curved track,” *Wear*, vol. 260, no. 9–10, pp. 984–995, May 2006.
9. S. L. Grassie, “Rail Corrugation,” *Wheel-rail interface handbook*, ISBN 978-1-84569-412-8, pp 349-341, 2009.
10. J.F Santa, J.C Sánchez, M.Palacio, R. Toro, A. Toro. “Wear assessment in a commercial railroad: correlations between rail wear rates and operating”, 9th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems Chengdu, China, August 27-30, 2012.