

Optimización de la Política de Reperfilado de Ruedas para el Citadis 302, en la explotación de Metro LigerOeste

Optimization of the wheel truing approach for the Alstom Citadis 302, in the West Light Rail network

M^a Victoria Alba Díaz*

Master Universitario en Sistemas Ferroviarios
Universidad Pontificia de Comillas

Resumen

El objetivo de este artículo es el desarrollo de una Política de reperfilado de ruedas optimizada para la flota de vehículos Alstom que opera en la red de Metro LigerOeste.

Esta nueva política de mantenimiento de rodadura se ha diseñado para aumentar la vida útil de las ruedas y para asegurar el cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos por el fabricante. Incluye una medida intermedia de los parámetros de rodadura con un dispositivo láser para evaluar el estado y así realizar un mantenimiento predictivo en lugar de preventivo. Además redefine los parámetros críticos de rodadura y las periodicidades de las tareas de mantenimiento asociadas.

Palabras clave: Ruedas ferroviarias, mantenimiento de rodadura, reperfilado, Citadis.

Abstract

The aim of this paper is to provide the development of an optimized wheel truing approach for the fleet of Alstom tramways in the West Light Rail network.

This new policy of tread maintenance has been designed to increase the wheels lifecycle and to assure the fulfillment of the safety requirements established by the manufacturer. It includes an intermediate measure of the wheel parameters with a laser device to evaluate the state and therefore, carry out a predictive maintenance instead of preventively. In addition this approach redefines the wheel critical parameters and the periodicities of the associate tasks of maintenance.

Keywords: Railway wheels, tread maintenance, truing, Citadis.

Abreviaturas

Sh	Altura de Pestaña
Sd	Espesor de Pestaña
qR	Ángulo de la cara activa de la pestaña
B.M.	Bogie Motor
B.P.	Bogie Portante

* mv.alba.diaz@gmail.com

1. Introducción y objetivos

El modo de desplazamiento que se utiliza en la mayoría de los casos en el ferrocarril, es el de rueda de acero sobre carril igualmente de acero; a excepción de reducidos ejemplos en los que se usan neumáticos (Fig.1) o fenómenos de electromagnetismo (Fig.2).



Figura 1. Metro de París



Figura 2. Tren Maglev de Shangai

La misión de las ruedas del tren es la de sustentar, guiar, transmitir esfuerzos al carril y lograr circular en curvas y frenar. Cada una de estas funciones induce esfuerzos mecánicos y térmicos en las ruedas. Así, con el paso del tiempo, éstas se van desgastando, modificándose su geometría inicial.

Este **desgaste** tiene dos tipos de **consecuencias: económicas y de seguridad**. Para regenerar el perfil original de la rueda es necesario tornearla, lo que se traduce en pérdida de material.

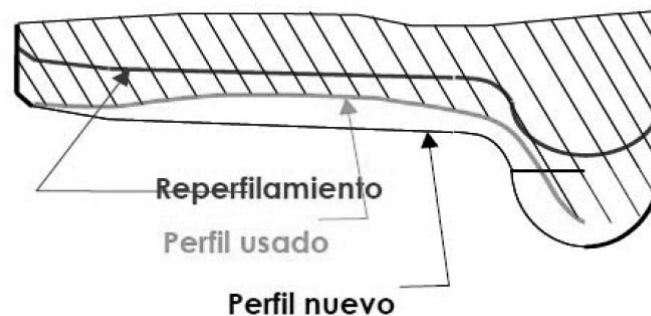


Figura 3. Superposición de perfiles: nuevo, usado y reperfilado (tras el torneado)

Fuente: Manuel descriptif : Mécanique et dimensionnement de TRANSAMO. [4]

Además, el desgaste de la banda de rodadura produce un aumento de la conicidad de la rueda y por tanto una disminución en la velocidad crítica; lo que puede atentar contra la seguridad y el confort dinámicos.

El control del perfil de rueda (control de los parámetros de rodadura: apartado 2.1 del presente artículo) es **una necesidad imprescindible para cualquier actividad de mantenimiento ferroviario**, ya que se trata de uno de los elementos principales de seguridad del tren y uno de los mayores gastos a abordar durante su vida.

El ferrocarril exige, pues, un gran esfuerzo en mantenimiento. La vida útil aproximada del material rodante ferroviario ronda los treinta años. El mantenimiento es un sector de futuro que ha estado olvidado durante muchos años, pero que, cada vez más, se convierte en una estrategia de competitividad de las Empresas.

Es fundamental **optimizar la Política de Reperfilado de Ruedas**: adaptándola al régimen de explotación y al comportamiento de las unidades en el trazado existente. De esta manera se consigue **alargar la vida de las ruedas**, lo que redundará en una **disminución de costes de mantenimiento** del Material Móvil. Además el conocimiento y mayor control del comportamiento de la rodadura incluidos en el nuevo enfoque de mantenimiento, garantiza una **mejora importante de la seguridad** del medio de transporte.

2. Captación y análisis de los parámetros de rodadura

Metro LigerOeste emplea tranvías del fabricante Alstom, modelo Citadis 302. Con el objetivo de encontrar la Política de Reperfilado más adecuada, se han determinado y analizado las condiciones de funcionamiento del sistema de rodadura del Citadis en la explotación actual del operador Metro LigerOeste.

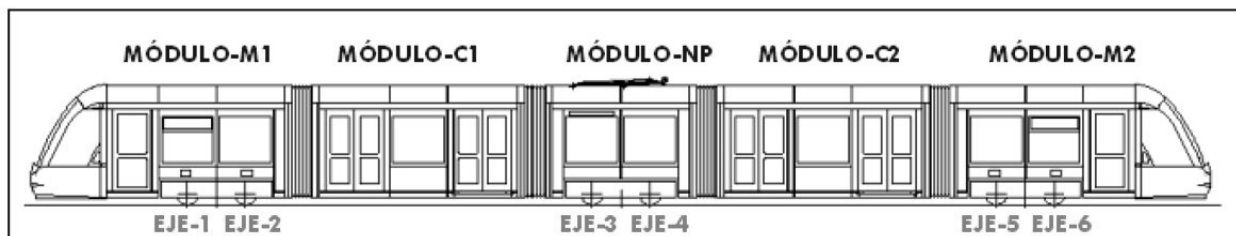


Figura 4. Esquema de un CITADIS 302. Fuente: <http://www.alstom.com/transport/> [10]

El Citadis 302 consta de cinco coches y tres bogies: dos motores (en módulos M1 y M2) y uno portante (en módulo NP). Son 100% piso bajo para garantizar la accesibilidad total al vehículo. Esto condiciona la ubicación en techo de la práctica totalidad de sus equipos.

Las ruedas no están caladas en los ejes como ocurre tradicionalmente; se unen mediante un eje no concéntrico que evita la ocupación del pasillo entre asientos. Por otro lado, la articulación del bogie y la suspensión secundaria se efectúa encima de cada rueda y no en un pivote central como en los bogies convencionales. Lleva incorporada una suspensión helicoidal que minimiza las vibraciones entre la rodadura y la caja del vehículo. A esta suspensión secundaria se le suma la primaria, consistente en un recubrimiento elástico de la llanta de rodadura.

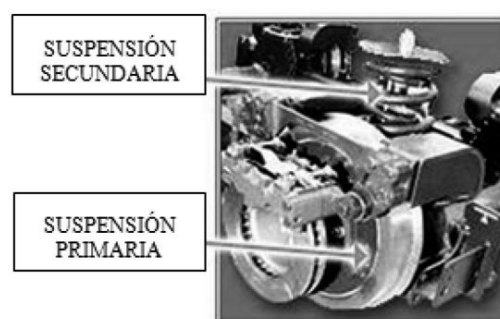


Figura 5. Suspensión secundaria y primaria en el Citadis 302. <http://www.alstom.com/transport/> [10]

Este cambio es el que posibilita el 100% piso bajo pero a la vez reduce la suavidad del tranvía a su paso por curvas cerradas y **una mayor concentración de esfuerzos en la interfaz rueda-carril**.

2.1. Parámetros de Rodadura

- **Círculo de rodadura:** sobre la superficie de rodadura a $L2=60\text{mm}$ de la cara interna.
- **Espesor de pestaña (Sd):** la medida entre la cara interna de la rueda y el punto de la cara activa ubicado a $L3=10\text{mm}$ del círculo de rodadura.
- **Altura de pestaña (Sh):** distancia entre el vértice de la pestaña y su proyección sobre la horizontal que pasa por el círculo de rodadura.
- **Ángulo de la cara activa de la pestaña (qR):** distancia horizontal existente entre un punto ubicado sobre la cara activa de la pestaña a $L1=2\text{mm}$ de su vértice y la proyección del punto donde se mide el espesor de pestaña.

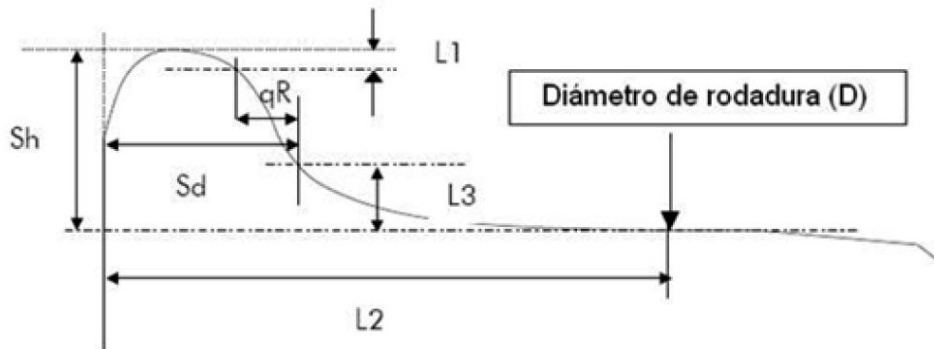


Figura 6. Parámetros de Rodadura

Fuente: SE-01-ES-IT.302.T2.01 Instrucción Técnica Reperfilado de ALSTOM [1]

Los **parámetros nominales de la rueda con perfil B05** utilizada en Metro Ligero Oeste son los siguientes:

- o Diámetro de rueda nueva (**D**): **590mm**
- o Círculo teórico de rodadura: a 60mm de la cara interna de la rueda ($L2$)
- o Anchura total del bandaje: 110mm
- o Altura de la pestaña (**Sh**): **25,5mm**
- o Espesor de pestaña (**Sd**): **22,94mm**
- o **qR**: **5,72mm**

2.2. Ciclo de Vida de una rueda B05

Toda rueda ferroviaria ve alterada su geometría y, por tanto, sus parámetros de rodadura, debido al **desgaste que sufre en vía** (por el contacto rueda-carril en circulación), y debido a la **pérdida de material** que tiene lugar **en el torno** (ya que es necesario mecanizarla para regenerar su perfil y restaurar los parámetros de rodadura para cumplir con los límites de seguridad establecidos por el fabricante):

- o Diámetro de rueda (**D**) > **530mm** (D=530mm: fin de la vida de la rueda)
- o Espesor de pestaña (**Sd**) > **18mm**
- o Altura de pestaña (**Sh**) < **27,5mm**
- o **qR** > **3,5mm**

El ciclo de vida de la rueda B05 se puede representar en la siguiente imagen (Figura 7).

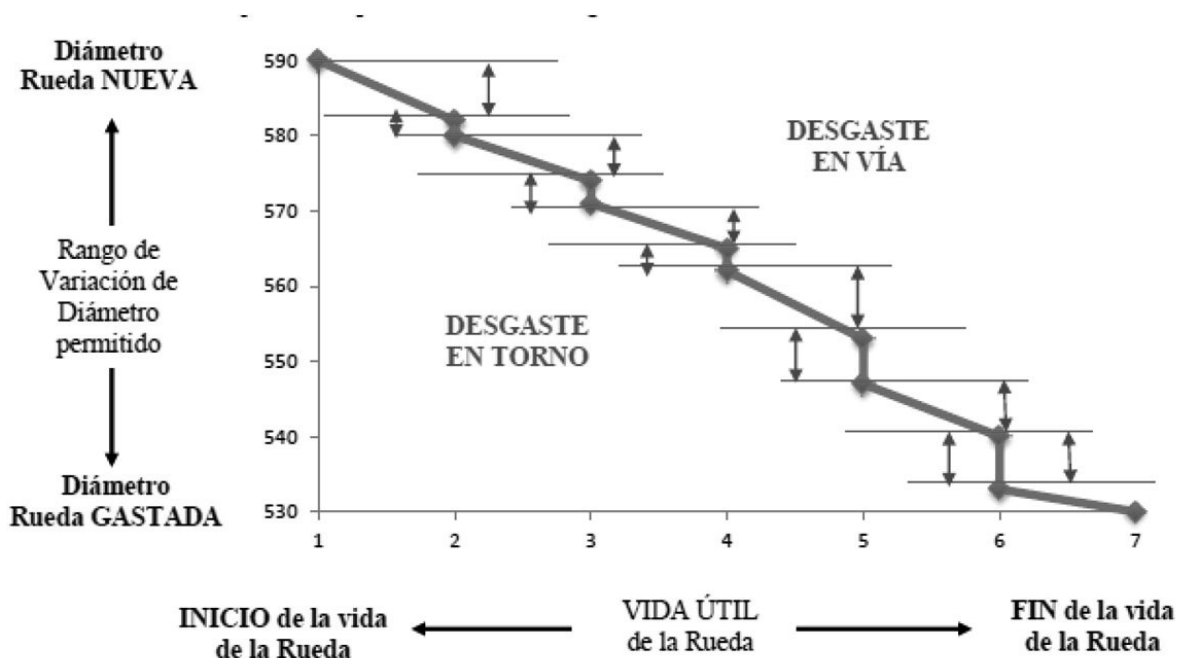


Figura 7. Ciclo de vida de la rueda B05. Fuente: Elaboración propia

2.3. Requisitos previos de la nueva Política de Reperfilado

Si el primer objetivo de adaptar la política de reperfilado es **alargar la vida de las ruedas (reducción de costes)** habrá que 1) minimizar el desgaste en vía o 2) reducir el desgaste en torno. Minimizar el desgaste en vía supone actuar sobre la interfase rueda-carril -tarea fuera del alcance de este proyecto- por tanto, la única posibilidad es intentar **reducir el desgaste de la rueda en el torno**. (Primer requisito de la Nueva Política).

Dado que el segundo objetivo de la nueva Política es una **mejora de la seguridad**: habrá que **controlar** con mayor frecuencia **los valores de los parámetros de rodadura** para corregir aquellos que incumplan los límites establecidos por el fabricante. (Segundo requisito de la Nueva Política).

El propio torno, antes y después del mecanizado realiza medidas sobre las ruedas. Este hecho limita el control de los parámetros de rodadura a las visitas programadas de manera preventiva cada 24.000km, encontrándose el operario unidades que han circulado superando ligeramente los límites de seguridad. Para solventar este problema y poder acometer el **mayor control** de los parámetros requerido, se adquiere un **perfilómetro láser portátil** capaz de medir dichos parámetros en un tiempo muy razonable.

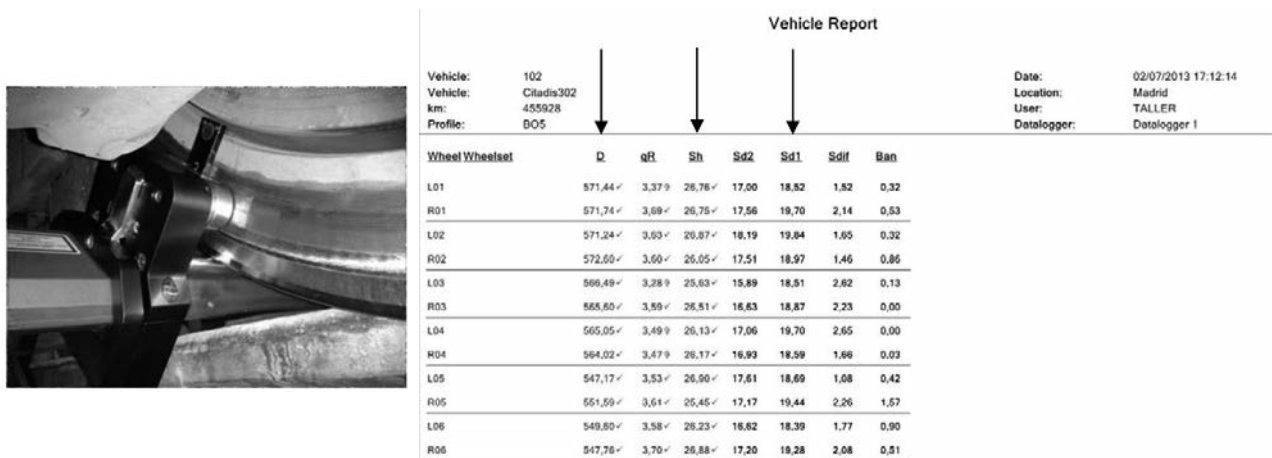


Figura 8. Perfilómetro midiendo parámetros de rodadura e informe de medidas Fuente: Elaboración propia

3. Establecimiento de una nueva Política de Reperfilado

Definidos los requisitos previos de la nueva Política, se procede a analizar en profundidad el **comportamiento del perfil de rodadura**. Para ello se intercalan, entre torneado y torneado de cada tranvía -24.000km-, dos medidas con perfilómetro (P1 a los 16.000km y P2 a los 22.000km). Estas medidas adicionales permiten conocer cómo evolucionan los diferentes parámetros de rueda y establecer el momento aproximado en que se empiezan a superar los límites fijados por el fabricante.

La tabla 1 muestra el resumen de los resultados de la campaña de medidas con perfilómetro aplicada a la flota de 27 unidades Citadis durante el 2011-2012.

	P1	P2	T
% medidas Sh > 27.5mm	0%	20%	65%
% medidas Sd < 18 mm	1%	3%	14%

Tabla 1. Resumen de resultados campaña de medidas con perfilómetro. Fuente: elaboración propia

Se puede observar que a los 16.000km del anterior torneado (medida P1) no hay alturas de pestaña medidas que superen los 27.5mm límite fijados por Alstom, y únicamente un 1% de todas las ruedas medidas tenía un espesor de pestaña inferior a los 18mm límite. Se observa cómo a medida que aumenta el kilometraje (medida P2 realizada a los 22.000km y medida en el torno a los 24.000km) el porcentaje de medidas que incumple los límites también aumenta.

CONCLUSIÓN: el kilometraje entre torneados ha de reducirse.

- por motivos de seguridad.
- por motivos económicos. La experiencia y las campañas realizadas en Metro Ligero Oeste han demostrado que cuanto menos superen los parámetros de rodadura (medidos a la entrada del torno) los límites establecidos, menor cantidad de material habrá que mecanizar para restaurar el perfil, por tanto: mayor potencial de vida de las ruedas y ahorro.

Las tendencias en el Mantenimiento Ferroviario marcan un claro reemplazo del mantenimiento preventivo fijo por el mantenimiento predictivo y la monitorización. Ya se ha deducido que conviene reducir el kilometraje entre torneados, pero ¿cómo dar un paso más y saber cuál es el momento óptimo para intervenir? Con la ayuda nuevamente del Perfilómetro láser.



Figura 9. Flujograma Nueva Política de Reperfilado. Fuente: Elaboración propia

- El nuevo valor de kilometraje entre torneados se fija a 20.000km (en lugar de los 24.000km previos).
- Se intercala una medida de control con perfilómetro a los 16.000km.
- Si de esta medida se deduce que todos los parámetros de rodadura están en tolerancias y pueden continuar sin superar los límites fijados por el fabricante 4.000km más en circulación se mantiene su torneado preventivo a los 20.000km.
- Si al monitorizar el estado se encuentran parámetros fuera de cotas o próximos a los límites, se adelanta el torneado.

4. Comparación de las diferentes Políticas de Reperfilado

A continuación se compararan los resultados obtenidos con la aplicación de las diferentes Políticas de Reperfilado de Ruedas. La nueva Política (optimizada) empezó a aplicarse a principios de 2013 y de ahí se han extraído los datos que se muestran.

Esta comparación se hace, en primer lugar (*apartado 4.1*), según criterios de seguridad y en segundo lugar, según criterios económicos (*apartado 4.2*).

4.1. Según criterios económicos (vida de las ruedas, horas/hombre, etc.)

Se representan en los gráficos anexos los valores de altura y espesor de pestaña a la entrada del torno (en mm). Según los límites se considera que cumplen con la seguridad aquellas alturas que estén por debajo de 27,5mm y aquellos espesores que sean superiores a 18mm. En el eje de abscisas se representan los torneados. Cada torneado es una línea vertical compuesta por 12 puntos (12 medidas de sus ruedas). También se representa la recta de tendencia de las medidas en color naranja

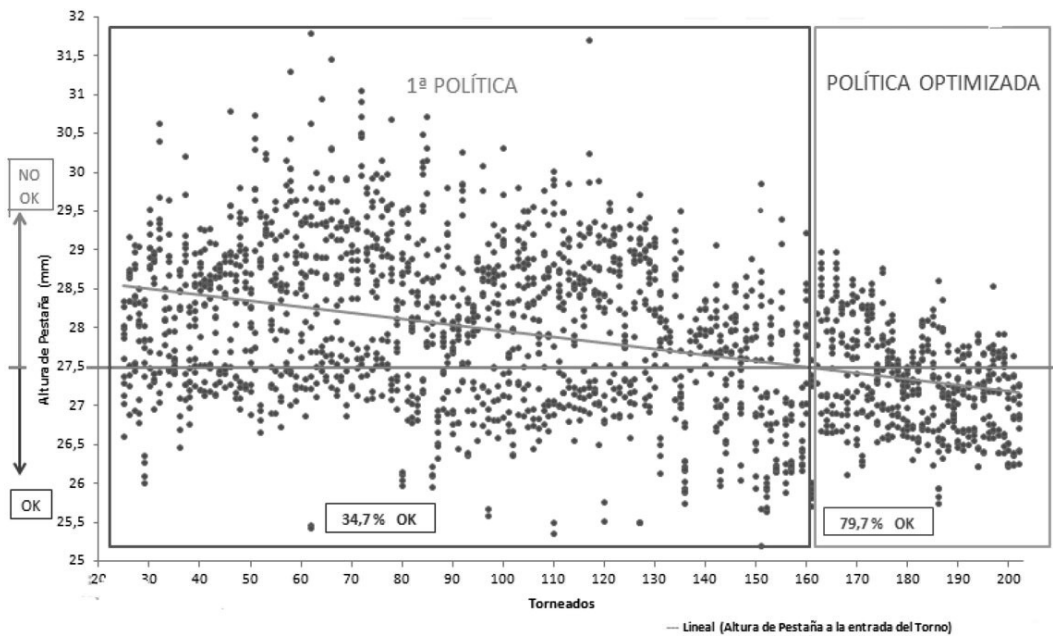


Figura 10. Alturas de Pestaña a la entrada del torno. Fuente: Elaboración propia

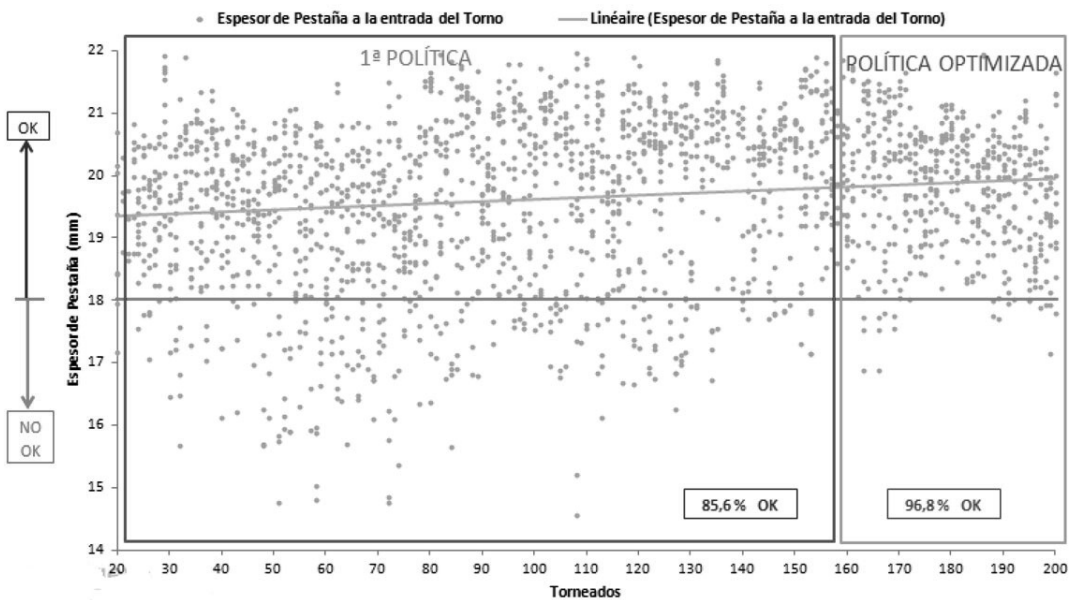


Figura 11. Espesores de Pestaña a la entrada del torno. Fuente: Elaboración propia

- El porcentaje de parámetros que cumple con los límites establecidos por el fabricante aumenta en la Política optimizada.
- A medida que la política optimizada está implantada en la flota, se garantizará el objetivo de seguridad de que todo tren en circulación cumple con los límites de seguridad (100% medidas de altura y espesor de pestaña).

4.2. Según criterios económicos (vida de las ruedas, horas/hombre, etc.)

	1ª Política	Política Optimizada
Kilometraje entre Torneados	24.000 km	20.000 km (además de una medida con perfilómetro a los 16.000km)
Nº torneados/año (suponiendo 60.000km/vehículo*año)	68	81
Horas hombre/torneado	32-40 2 turnos-2'5 turnos 2 personas	16-24 1 turno-1'5 turnos 2 personas
Horas hombre/año	2176 - 2720	1296 – 1944
Tasa de desgaste B.M. en vía (mm φ /10.000km)	2,44	2,08
Tasa de desgaste B.P. en vía (mm φ /10.000km)	1,26	1,37
Tasa de desgaste B.M. en torno (mm/ φ 10.000km)	4,3	1,48
Tasa de desgaste B.P. en torno (mm/ φ 10.000km)	1,41	1,29
VIDA ÚTIL B.M. (km)	130.000 (4,6 mm φ/ 10.000km)	210.000 (2,82 mm φ/ 10.000km)
VIDA ÚTIL B.P. (km)	300.000 (2 mm φ/ 10.000km)	300.000 (2 mm φ/ 10.000km)

Figura 12. Comparación de las Políticas de Reperfilado. Fuente: Elaboración propia

- **Las ruedas de Bogies Motores** (8 ruedas de las 12 de un tranvía en Metro LigerOeste) pasan de durar apenas 130.000km a 210.000km **(161% más de vida útil)**.
- **Las ruedas del bogie portante**, que sufren menos desgaste, **mantienen su vida útil** de unos 300.000km aproximadamente.
- A pesar de haber más torneados al año, dado que éstos son menos tediosos, la política optimizada supone un **ahorro aproximado de 830 horas de mano de obra al año**.

5. Conclusiones

- El control del perfil de rueda y el control de la medida de sus parámetros es una necesidad imprescindible para cualquier actividad de mantenimiento ferroviario.
- No existe una Política de Reperfilado Universal, sino que hay que adaptarla a la situación concreta de cada explotación, habiendo previamente estudiado la interacción Material- Infraestructura. En nuestro caso:
 - o Las ruedas están circulando en contacto con la cara interna de la pestaña más que con la externa en una parte importante de la vía con curvas. Esto produce un desgaste excesivo de la pestaña y chirridos al paso por ciertas tramos.

- o No parece que exista una correspondencia adecuada entre el perfil de la rueda y el del carril, efecto que se maximiza debido a nuestro trazado con pocas rectas.
- Controlar con mayor frecuencia los parámetros de rodadura va a permitir asegurar que en todo momento cumplimos con las tolerancias fijadas por el fabricante para servicio comercial, garantizando la seguridad al usuario. Por ello, en esta 2ª Política de Reperfilado se introducen medidas intermedias con el Perfilómetro
- Al medir a los 16.000km con el perfilómetro, si algún parámetro de rodadura no cumple con el límite y/o estimamos que en los 4.000 km siguientes lo va a sobrepasar, se adelanta la entrada al torno de esa unidad para poder asegurar siempre el cumplimiento de los requisitos de seguridad y minimizar la cantidad de rueda a mecanizar al evitar que las unidades entren con la pestaña excesivamente desgastada lo que se traduce en una reducción de costes (al alargar la vida de las ruedas) y una mejora de la seguridad. Se trata de transformar el Mantenimiento PREVENTIVO de la Rodadura, en un MANTENIMIENTO PREDICTIVO o según estado.

6. Agradecimientos

Dedico este artículo a toda mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, porque si he tenido la oportunidad de adentrarme en el mundo ferroviario ha sido gracias a sus ánimos, apoyo incondicional y confianza plena. Y a Metro LigerOeste por la maravillosa oportunidad que me ha brindado de desarrollar mi carrera profesional en un ambiente tan acogedor y completo.

7. Referencias

- [1] Alstom TLS (2012). SE-01-ES-IT.302.T2.01 Reperfilado Preventivo Ruedas Metro LigerOeste de Madrid.
- [2] Evans, Jerry (2011) Investigación del Desgaste de Ruedas en Metro LigerOeste, n° informe: ITLR T25248-001, Interfleet Technology Ltd.
- [3] Sánchez Molina, José Miguel (2011). Informe sobre el funcionamiento del sistema de rodadura del Citadis 302, en la explotación de Metro LigerOeste, MLO.
- [4] Transamo (2004). Manuel descriptif: Mécanique et dimensionnement.
- [5] García García, Emilio (2011-2012) Dinámica y diseño de Material Rodante, Máster en Sistemas Ferroviarios, Universidad Pontificia de Comillas.
- [6] García, M^a Antonia (2011-2012). Ferrocarriles Metropolitanos, urbanos y de cercanías, Máster en Sistemas Ferroviarios, Univ.Pontificia de Comillas.
- [7] Herreros Garrido, Arturo (Abril 2010). Estudio de la Defectología en Ruedas Ferroviarias, Proyecto fin de Carrera Abril 2010, Universidad Carlos III de Madrid.
- [8] González Fernández, Francisco Javier. Fuentes Losa, Julio. Ingeniería Ferroviaria, Ed.UNED, 2ª Edición.
- [9] www.metroligero-oeste.es
- [10] www.alstom.com/transport/