

MEDIDA DE PLANOS EN RUEDAS DE TREN EN MOVIMIENTO POR ULTRASONIDOS

PACS: 43.60.Qv

J. Brizuela*¹, C. Fritsch*², A. Ibáñez*³

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Ctra. Campo Real Km 0.200,

28500 La Poveda (Arganda del Rey) Madrid.

Tel.: +34 918 711 900. Fax: +34 918 717 050

E-mail: brizuela@caend.upm-csic.es, carlos@iai.csic.es, aibanez@caend.upm-csic.es

ABSTRACT

When a railway wheel slides over the rail, a wheelflat can be produced by abrasion and can furthermore cause other critical defects. Therefore, detecting and quantifying defects before reprofiling the wheel is important to keep a high safety standard and comfort.

This paper presents an innovative ultrasonic technique that detects and sizes wheelflats formed on the tread. For this propose, Rayleigh waves are sent over a measuring rail in order to analyze the wheel-rail contact echo while the train is in motion. If the system is placed at the entrance of a maintenance workshop, the inspection costs can almost be null.

RESUMEN

Cuando una rueda de tren patina, se produce un plano por abrasión que, además, puede originar otros defectos críticos. Su detección y cuantificación para eliminarlo por re-torneado es importante para mantener un elevado grado de seguridad y confort.

Este trabajo presenta una técnica innovadora por ultrasonidos que detecta y dimensiona planos formados en la superficie de rodadura. La técnica envía ondas de Rayleigh por un carril de medida para analizar el eco de contacto rueda-carril con el tren en movimiento. El coste de la inspección es prácticamente nulo si la instalación se ubica a la entrada de un taller de mantenimiento periódico.

INTRODUCCIÓN

Durante toda su vida útil, las ruedas de tren se hallan sometidas a grandes cargas mecánicas de rápida variación y a choques térmicos, que pueden dar origen a la formación y crecimiento de fallas estructurales en la superficie de rodadura. Entre los defectos más comunes se encuentran los planos que se originan al deslizar la rueda cuando la fuerza de tracción o frenado supera a la de rozamiento rueda-carril. Estas situaciones se producen por fallos en el sistema antibloqueo de los frenos, aunque sea durante un corto periodo de tiempo, por faltas de adherencia, etc [1,2]. La presencia de planos, durante la circulación del tren, originan fuertes impactos, varias veces superior a la carga estática, que causa daño a la superficie de rodadura, averías en el material rodante (cojinetes, llanta, velo, etc.), infraestructura (carriles, traviesas, etc.), y además, generan ruido y vibraciones que afectan al confort de los pasajeros [3]. Los planos suelen ir acompañados de otros defectos (grietas, excoriaciones, exfoliaciones) que pueden ser, en casos extremos, motivo de descarrilamiento [4]. Por estas razones, la detección prematura y reparación de los defectos formados en la superficie de rodadura es muy importante. Es deseable, también, que la inspección de todo el material rodante se realice en el menor tiempo y con el menor coste posible, dadas las exigencias actuales de los operadores ferroviarios.

Este trabajo propone un método de medida basado en técnicas ultrasónicas para detectar y cuantificar el tamaño de los planos con el tren circulando a baja velocidad. Se describen los principios de medida y se presentan algunos resultados experimentales.

EVOLUCIÓN DE UNA IRREGULARIDAD PLANA

Los bordes de un *plano nuevo* son puntos singulares donde el radio de curvatura cambia del valor nominal R a ∞ . De su representación geométrica (Fig. 1) se puede relacionar la longitud de la cuerda L que representa al plano nuevo y la pérdida de material d , mediante:

$$L = 2\sqrt{2Rd - d^2} \approx \sqrt{8Rd} \quad (1)$$

Sin embargo, los continuos impactos de la irregularidad sobre el carril hacen que sus bordes comiencen a redondearse progresivamente (*plano parcialmente gastado*) hasta desgastarse completamente hacia el centro, convirtiéndose en un *plano degenerado*. La nueva situación de la irregularidad mantiene la máxima reducción de radio d que el plano nuevo pero con un radio de curvatura finito ($r(\theta) \geq R$) y continuo en todos sus puntos (sin singularidades). Por otra parte su longitud se incrementa cubriendo un arco de circunferencia $[-\theta_H, \theta_H]$, siendo el centro del intervalo el punto de máxima pérdida de radio $r(0) = R - d$, con $\theta_H > \theta_0$ (Fig. 1). Esta situación puede considerarse *estable* en el sentido morfológico ya que no se producen modificaciones geométricas salvo las derivadas del desgaste y escalado. El plano puede seguir aumentando su longitud hasta derivar, eventualmente, en una pérdida de redondez (*ovalidad*) [5].

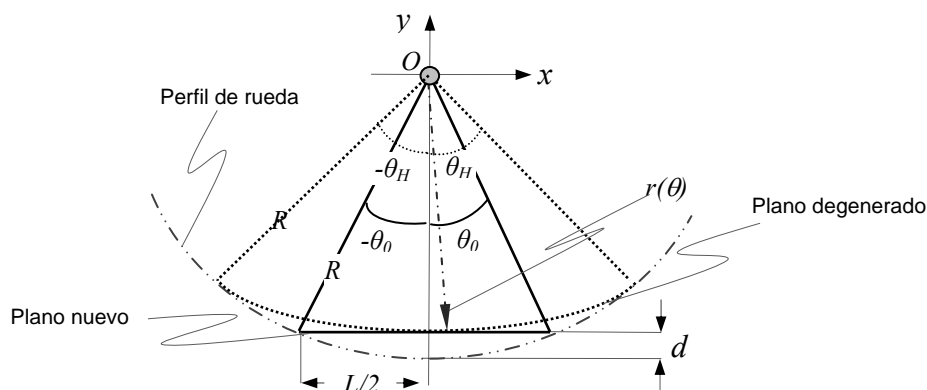


Fig.1. Representación a gran escala de geometría de un plano nuevo y su evolución a un plano degenerado (línea de puntos). La pérdida de material d inicial se mantiene durante el desgaste, sin embargo la longitud del plano degenerado es mayor al inicial.

CINEMÁTICA DEL PUNTO DE CONTACTO RUEDA-CARRIL

En la Fig. 2a se representa una rueda sobre un carril con un plano degenerado de perfil estable y descrito por la función $r(\theta)$ en el intervalo $[-\theta_H, \theta_H]$, con $r(\theta) = R$ para $|\theta| \geq \theta_H$. Se observa que mientras la rueda se apoye sobre una región circular, la proyección P del centro de la rueda sobre el carril coincide con el punto de contacto Q . En esta situación el radio vector \vec{OQ} es normal al carril y P y Q coinciden. Sin embargo, cuando la rueda se apoya sobre la irregularidad el vector \vec{OQ} deja de ser normal al carril y se separa de P una distancia s (Fig. 2b). El ángulo φ , formado por la proyección P con el eje de ordenadas, representa el giro efectuado por la rueda cuando el punto de contacto se sitúa en Q ; mientras su coordenada polar está indicada por θ .

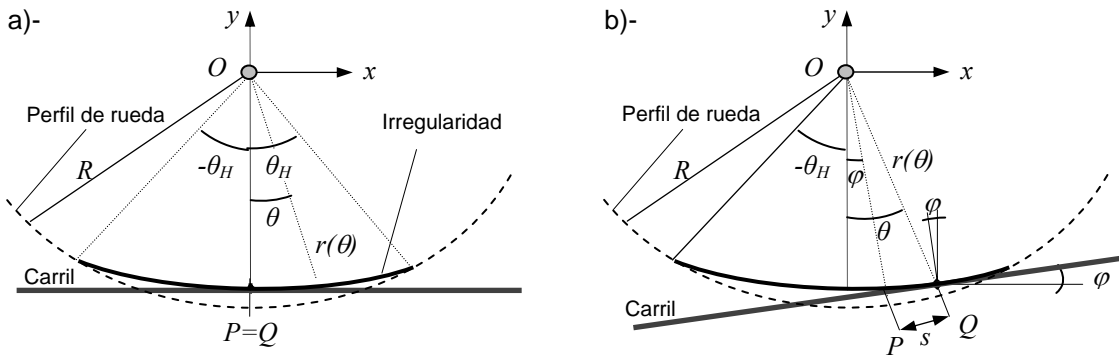


Fig.2. Análisis de la cinemática del punto de contacto rueda-carril. a)- La proyección P del centro de la rueda sobre el carril coincide con el punto de contacto Q . b)- Al hacer rodar el carril sobre la irregularidad se demuestra la situación equivalente a $\varphi > \theta$, donde P adelanta Q en una distancia s (la rueda se mueve hacia $+x$).

Cuando la rueda gira un ángulo φ dentro del intervalo de la irregularidad $[-\theta_H, \theta_H]$, el valor de s refleja un adelanto o retraso Q respecto a P , en general: a) cuando $-\theta_H < \varphi < 0$, se tiene que $\theta < \varphi$ y P adelanta a Q ; b) $0 < \varphi < \theta_H$, entonces $\theta > \varphi$ y P retrasa a Q . Por otra parte, la posición del carril en cada punto de contacto de la rueda puede determinarse mediante el vector tangente unitario, calculado como:

$$\vec{t} = \frac{\vec{r}'(\theta)}{\|\vec{r}'(\theta)\|} \quad (2)$$

mientras que la distancia $s = PQ$ está determinado por el producto escalar de los vectores $\vec{OQ} = \vec{r}(\theta)$ y \vec{t} . Esto es:

$$s(\theta) = \vec{OQ} \cdot \vec{t} = \vec{r}(\theta) \cdot \frac{\vec{r}'(\theta)}{\|\vec{r}'(\theta)\|} = \frac{r(\theta)r'(\theta)}{\sqrt{r'(\theta)^2 + r(\theta)^2}} \quad (3)$$

No obstante, como θ es un ángulo pequeño en el intervalo $[-\theta_H, \theta_H]$ y las variaciones de radio son también pequeñas ($r'(\theta) \ll r(\theta)$), en (3) puede hacerse la siguiente aproximación:

$$s(\theta) \approx r'(\theta) \quad (4)$$

Por otra parte, por simple geometría de la Fig. 2b se tiene:

$$s(\theta) = r(\theta) \sin(\theta - \varphi) \quad (5)$$

En los bordes de la irregularidad degenerada se mantiene una continuidad de radio y pendiente con la rueda, esto implica que $s(\theta_H) = 0$, y $r(\theta_H) = R$. Por tanto, para satisfacer (5), el ángulo de giro de la rueda debe ser $\varphi_H = \theta_H$.

La función $r(\theta)$ es continua y decreciente para valores de $-\theta_H$ a 0 , y crecientes para 0 a θ_H , por tanto su derivada $r'(\theta) \approx s(\theta)$ presentará un semiciclo negativo seguido de otro positivo conforme θ varíe desde $-\theta_H$ a θ_H . Así, al paso sobre una irregularidad, s presentará valores negativos que indican un retraso de Q respecto P y viceversa. De hecho, al ser la rueda un sólido rígido, cualquier atraso de Q será compensado por un adelantamiento posterior. Considerando el intervalo donde se desarrolla la irregularidad $[-\theta_H, \theta_H]$ definido en torno al punto con mayor pérdida de radio ubicado en $\theta = 0$; el área encerrada bajo $s(\theta)$ es:

$$A = \int_{-\theta_H}^{\theta_H} s(\theta)d\theta = -\int_{-\theta_H}^0 s(\theta)d\theta + \int_0^{\theta_H} s(\theta)d\theta \quad (6)$$

Sustituyendo (4) en (6), se tiene:

$$A \approx -\int_{-\theta_H}^0 r'(\theta)d\theta + \int_0^{\theta_H} r'(\theta)d\theta = r(-\theta_H) + r(\theta_H) - 2r(0) \quad (7)$$

Por definición $r(\theta_H) = R$ y $r(0) = R-d$. Entonces,

$$A \approx R + R - 2(R-d) = 2d \quad (8)$$

Recordando que en los bordes de la irregularidad se tiene $\varphi_H = \theta_H$, es posible reescribir (6) y calcular el área bajo la curva $s(\varphi)$ en el rango $[0, \varphi_H]$, que representa medio intervalo de la irregularidad, ya que los límites de integración no se alteran. Por tanto:

$$d = \int_0^{\varphi_H} s(\varphi)d\varphi \quad (9)$$

Esta última formulación permite determinar la pérdida de material en la rueda causada por la abrasión en función de las medidas de $s(\varphi)$. Por otra parte, la función $s(\varphi)$ es continua en todo el intervalo de integración, aún si existen puntos singulares, por lo que el resultado de (9) es válido para cualquier irregularidad plana independiente de su grado de desgaste.

Por otra parte, como $s(\varphi) = 0$ para $|\varphi| > \varphi_H$ el ángulo de integración puede extenderse a un valor arbitrario $\varphi_A \geq \varphi_H$, para un único plano. Entonces, valiéndose de un parámetro auxiliar α , (9) puede reescribirse para ser evaluada en toda la revolución de la rueda y obtener d , como:

$$d(\alpha) = \int_{\alpha}^{\alpha+\varphi_A} s(\varphi)d\varphi, \quad \text{siendo } 0 \leq \alpha \leq 2\pi - \varphi_A \text{ y } \varphi_A \geq \varphi_H \quad (10)$$

VELOCIDAD DEL PUNTO DE CONTACTO

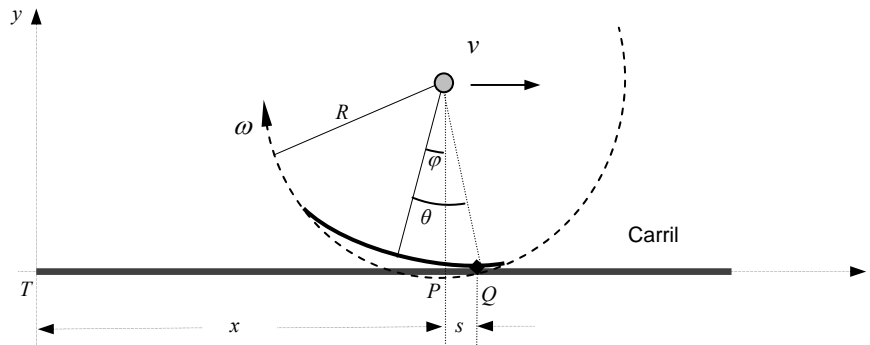


Fig. 3. Posición del punto de contacto rueda-carril visto desde un extremo del carril.

En el sistema de coordenadas mostrado en la Fig. 3, la proyección del centro de la rueda se sitúa a una distancia x del origen, ubicado en una referencia fija sobre el carril en T . Cuando la rueda se mueve sobre la irregularidad, la posición instantánea del centro de la rueda es x y la del punto de contacto rueda-carril $x + s$. Derivando respecto al tiempo se obtiene la velocidad del punto de contacto como:

$$v_Q = \frac{dx}{dt} + \frac{ds}{dt} = v + \frac{ds}{dt} = v + \frac{ds}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = v + \omega \frac{ds}{d\varphi} \quad (11)$$

donde v es la velocidad de desplazamiento del tren y ω es la velocidad angular de la rueda, aproximadamente constante ($\omega \approx v/R$). De este modo, las variaciones de s en el tiempo (o lo que es lo mismo, variaciones de s con el ángulo φ , ya que $d\varphi = \omega dt$), representan cambios de velocidad del punto de contacto a consecuencia de la irregularidad, y por tanto pueden determinarse midiendo estas variaciones.

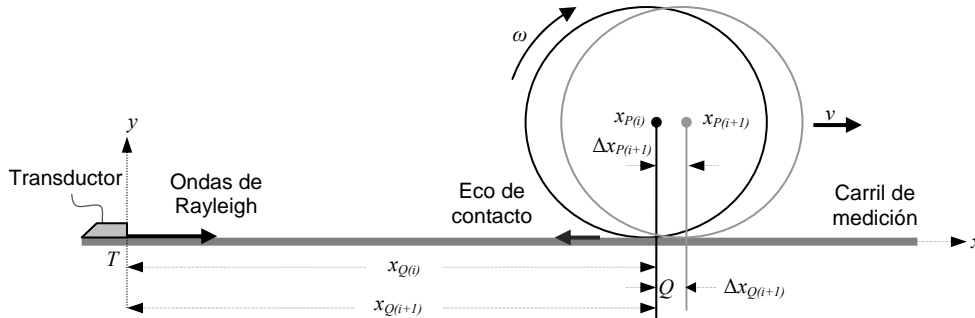


Fig. 4. Principio de medición

TÉCNICA DE MEDIDA

Se desarrollaron dos técnicas de medida para determinar los cambios de velocidad en el desplazamiento del punto de contacto. Ambas utilizan un carril de medida por el que se envían ondas ultrasónicas superficiales. La primera alternativa, descrita en un trabajo previo [6], utiliza técnicas Doppler con ondas monocromáticas. Así, cuando la rueda está en perfecto estado, la velocidad de desplazamiento del punto de contacto es igual a la del tren, que se asume constante y el desplazamiento Doppler permanece invariable ($s = 0$). Las irregularidades son detectadas analizando las desviaciones de la frecuencia Doppler respecto a la nominal ($s \neq 0$).

La segunda opción emplea un montaje como se indica en la Figura 4. El transductor ubicado en un extremo del carril de medida que opera en pulso-eco, enviando un impulso ultrasónico de frecuencia central f_E y a cadencia constante T_{PRF} por la superficie del carril de medida y recibiendo los ecos producidos por el punto Q de contacto rueda-carril. La posición de la rueda en el tiempo de ida y vuelta $T_{Q(i)}$ del pulso i es:

$$x_{Q(i)} = \frac{c \cdot T_{Q(i)}}{2} \quad (12)$$

donde c es la velocidad de propagación de las ondas de Rayleigh. Por otra parte, asumiendo que el tren se mueve a velocidad constante v , la posición de la proyección del centro de la rueda sobre el carril para el pulso i es:

$$x_{P(i)} = iT_{PRF}v \quad (13)$$

Por tanto, la distancia $s_i = x_{Q(i)} - x_{P(i)}$ es:

$$s_i = \frac{cT_{Q_i}}{2} - iT_{PRF}v \quad (14)$$

Teniendo en cuenta que $\Delta\varphi = \omega\Delta t = v T_{PRF}/R$, se puede sustituir la integral indicada en (10) por una sumatoria de medidas discretas sobre un intervalo de M muestras:

$$d_k^M = \frac{vT_{PRF}}{R} \sum_{i=k}^{k+M} s_i \quad (15)$$

donde s_i está dado por (14) y M es la versión discreta del ángulo φ_A en (10). El proceso indicado en (15) puede interpretarse como una convolución de la señal adquirida s con una ventana rectangular w de anchura M (Fig. 5). El resultado es la secuencia $d_k(M)$ que, para un plano simple, presenta dos máximos: uno negativo d_N y otro positivo d_P , correspondientes a los semiciclos positivo y negativo de s , y que sus valores absolutos escalados por el factor vT_{PRF}/R es la estimación de la pérdida de material d .

Sin embargo en aplicaciones reales, donde las señales contienen cierto nivel de ruido, es conveniente considerar la estimación de d como el promedio de ambos valores:

$$d_E(M) = \frac{vT_{PRF}}{R} \frac{|d_P(M)| + |d_N(M)|}{2} \quad (16)$$

A partir del valor calculado d_E , la longitud del plano original L_E se estima mediante (1). Además, el sistema de medición proporciona una manera simple de obtener la velocidad v requerida en (15). Considerando la posición del punto de contacto Q en el pulso siguiente $i+1$ (Fig. 4),

$$x_{Q(i+1)} = x_{Q(i)} + T_{PRF} v_{Q(i)} \quad (17)$$

con lo que el tiempo de vuelo del pulso $T_{Q(i+1)}$ y la velocidad instantánea $v_{Q(i)}$ son:

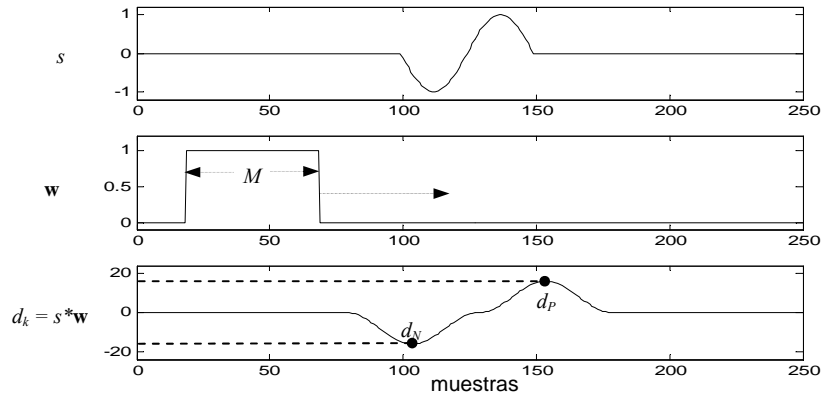


Fig. 5. Representación gráfica del proceso de obtención de la secuencia $d_k(M)$ mediante la convolución de la señal s con una ventana rectangular de amplitud unitaria y anchura M (unidades arbitrarias).

$$T_{Q(i+1)} = \frac{2x_{Q(i+1)}}{c} = T_{Q(i)} + \frac{2v_{Q(i)}}{c} T_{PRF} \quad (18)$$

$$v_{Q(i)} = \frac{T_{Q(i+1)} - T_{Q(i)}}{2T_{PRF}} c = \frac{\Delta T_{Q(i)}}{2T_{PRF}} c \quad (19)$$

siendo todos los parámetros conocido o medidos. Por tanto la velocidad del tren v puede estimarse tomando la media móvil de N medidas $v_{Q(i)}$:

$$v \approx \hat{v}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=j}^{i=j+N-1} v_{Q(i)} \quad (20)$$

Por otra parte el producto $vT_{PRF} = \Delta x$ presente en (15), representa el intervalo espacial de muestreo y determina la resolución en longitud de la irregularidad L . Por tanto el valor de M debe ser lo suficientemente grande como para capturar la mayor irregularidad de interés, siendo la longitud $L_{\max} \leq 2vT_{PRF}M$.

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

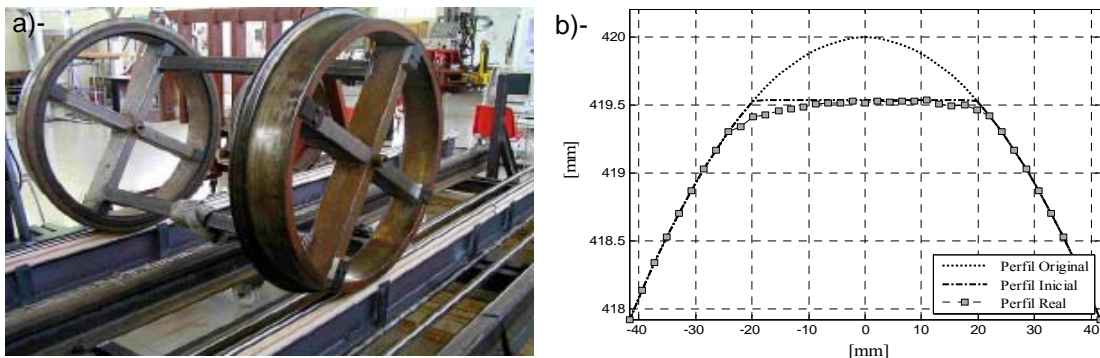


Fig. 7. a)- Imagen del banco de ensayos construido en el laboratorio. b)- Perfil del defecto mecanizado (dimensiones medidas por perfilometría).

Los resultados experimentales fueron tomados de un banco de ensayo montado en el laboratorio (Fig. 7a). El prototipo consta de un par de carriles de 2000 mm de largo y de un

juego de ruedas ferroviarias vacías, (sólo las llantas), con radio $R = 420$ mm. En una de las ruedas se mecanizó una irregularidad de perfil asimétrico, parcialmente desgastado, con una pérdida de material $d = 0.46$ mm que corresponde a un plano original de $L = 39.3$ mm (Fig. 7b).

Los pulsos de ondas de Rayleigh son generados por un transductor piezoeléctrico de 1 MHz excitado con un período de repetición T_{PRF} de 2 ms. El control se realiza con el sistema de ultrasonidos UltraScope® (Dasel, S.L., Madrid, España), que fue acondicionado para las necesidades de la técnica propuesta [7]. Se integró en el hardware un algoritmo de seguimiento para almacenar sólo el eco de contacto y su entorno. Para reducir el ruido estructural del carril, se incorporó un método de cancelación basado en la creación de un vector de datos formado por la diferencia entre dos adquisiciones consecutivas. Se incluyó además en el diseño un filtro FIR digital de 63 coeficientes, programado con una función pasabanda estrecha y centrada en la frecuencia del transductor para reducir el ruido eléctrico de la señal.

El ensayo fue realizado alejando manualmente el juego de ruedas del transductor, por tanto la velocidad no es constante. Simplemente evaluando la posición del valor máximo en la ventana de captura que contiene la señal del eco se obtiene el tiempo $T_{Q(i)}$ necesario para calcular la posición del punto de contacto $x_{Q(i)}$ en (12), siendo $c \approx 3000$ m/s. La Figura 8a muestra x_Q en función del número de disparo; existe una zona de discontinuidad que ha sido remarcada y mostrada con detalle en la Figura 8b. El cambio de posición registrado por el sistema coincide cuando el punto de contacto se sitúa sobre la irregularidad mecanizada.

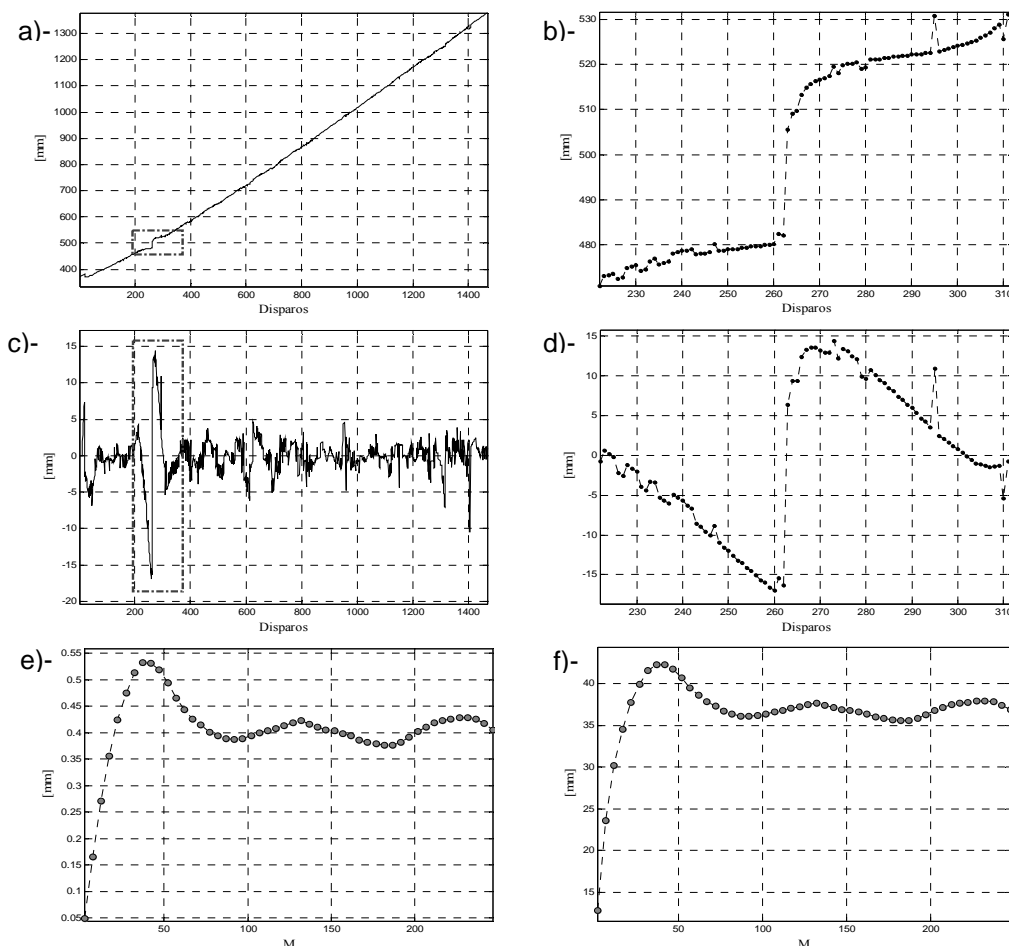


Fig. 8. a) – Posición de la rueda en función del número de disparo. b) – Detalle de la gráfica en la zona de discontinuidad originada por la irregularidad en el punto de contacto. c) – Señal de desplazamiento s en función del número de disparo. d) – Zoom en la señal s en la zona del defecto. e)- Pérdida de radio estimada en función del tamaño de la ventana ($d_E(M)$). f)- Longitud estimada del plano inicial L_E en función de M .

La velocidad media de la rueda en torno a la irregularidad obtenida mediante (20), da $v \approx 0.337$ m/s; el intervalo espacial de muestreo es $\Delta x = 0.67$ mm. La pendiente de $x_{Q(n)}$ cambia entre los disparos #220 al #300, $\Delta t = 160$ ms. Considerando la velocidad media de paso, el salto en la posición del punto de contacto es $v\Delta t \approx 54$ mm, valor que ofrece una primera estimación de la longitud del defecto. Sin embargo es una medida poco fiable ya que depende del intervalo elegido para su determinación. Por otra parte, este valor no coincide con las dimensiones del plano original sino del actual.

El desplazamiento s , obtenido mediante (14) presenta dos semiciclos cuando la rueda se apoya sobre una zona irregular (Fig. 8c). Uno negativo que indica el retraso de Q respecto a la proyección P , seguido de otro positivo que representa el adelanto de Q respecto P . Se observa que s está contaminada con ruido residual, resultante de la incertidumbre al evaluar la posición del eco sometido a interferencia con el ruido estructural (Fig. 8d). Así, las áreas encerradas en ambos semiciclos no son equivalentes, estimándose d mediante el promediado de ambas.

La pérdida de radio $d_E(M)$ estimada mediante (16) se realizó empleando diferentes anchos de ventana $2 \leq M \leq 250$ (Fig. 8e). Se observa que la estimación presenta errores por defecto para valores de $M < 17$, o bien ($M_x = M \Delta x < 11.40$ mm). La máxima estimación se obtiene para un valor $M = 37$ ($M_x = 24.8$ mm), para el que $d_E(37) = 0.53$ mm; valor un poco superior al real medido (0.46mm). Para $M > 37$ el valor estimado de se estabiliza en torno al valor medio $d_{Emean} = 0.40$ mm con una desviación estándar de $\sigma_{dE} = 0.08$ mm. La estimación del plano inicial se obtiene a partir de los valores $d_E(M)$ encontrados y en función (1) (Fig. 8f). El comportamiento de la curva $L_E(M)$ es similar a la de estimación $d_E(M)$; la máxima longitud estimada se encuentra en $L_E(37) = 42.30$ mm. Para ventanas de integración $M > 37$ los valores se estabilizan en el valor medio de $L_{Emean} = 36.57$ mm con una desviación $\sigma_{LE} = 4.42$ mm, valor muy próximo al real.

Se observa que un valor grande de M , tiene poco impacto en el dimensionamiento de un plano aislado. Pero el valor de M debe limitarse para no incluir la indicación de planos múltiples en una ventana de integración. El error que presentan las estimaciones es muy pequeño y es debido, principalmente, al ruido residual en la señal.

CONCLUSIONES

La técnica presentada no tiene antecedentes en el ámbito ferroviario y permite detectar y dimensionar planos formados en la banda de rodadura de las ruedas ferroviarias. La metodología utiliza pulsos ultrasónicos de ondas de Rayleigh enviados a intervalos regulares sobre un carril de medición. El análisis del tiempo de vuelo del pulso en ida y vuelta hasta el punto de contacto, permite determinar los desplazamientos s y la velocidad de circulación de la rueda. Las irregularidades son cuantificadas mediante la sumatoria de los desplazamientos, que determina la pérdida de material sufrida por la abrasión en la formación del plano original.

El sistema de medida presentado es estático, con características constantes para todas las ruedas y estables en el tiempo. Sin embargo, la técnica de medida es dinámica, utiliza el propio movimiento del tren para efectuar las mediciones. Estas características son importantes para la industria ferroviaria, ya que la inspección tiene un coste en tiempo prácticamente nulo, y las medidas son independientes del grado de desgaste de la rueda y de la irregularidad. Además, el método es robusto frente al ruido, características demostradas experimentalmente.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo desarrollado en el marco del Proyecto TRA-2007-67711/AVT, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España y del proyecto D0100SR contratado por DANO-RAIL, S.L. del Grupo DANOBAT, Productos y Servicios Ferroviarios (Elgoibar – Guipuzcoa).

REFERENCIAS

- [1] N. Kumagai, H. Ishikawa, et al., "Factors of wheels flats occurrence and preventive measures", *Wear* 144 (1-2), 277-287, 1991.
- [2] S. M. Zakharov, I. G. Goryacheva, "Rolling contact fatigue defects in freight car wheels", *Wear* 258, pp. 1142-1147, 2005.
- [3] T. X. Wu, D. J. Thompson, "On the parametric excitation of the wheel/track system", *Journal of Sound and Vibration*, 278, pp. 725-747, 2004.
- [4] J. Jérgeus, C. Odenmark, R. Lundén, P. Sotkovzski, B. Karlsson, P. Gullers, "Full-scale railway wheel flat experiments", *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 213, part F, pp. 1-13, 1999.
- [5] T. Snyder, D. H. Stone, "Wheel flat and out-of-round formation and growth", *Proc. 2003 IEEE/ASME Joint Rail Conf.*, pp. 143-148, Chicago, Illinois, 22-24 Apr. 2003.
- [6] J. Brizuela, A. Ibáñez, P. Nevado, C. Fritsch, "Flaw Detector for Railways Wheels by Doppler Effect", *Physics Procedia*, 3, 1, pp. 811 – 817, 2010.
- [7] J. Brizuela, A. Ibáñez, C. Fritsch, "NDE System for Railway Wheel Inspection in a Standard FPGA", *Reconfigurable Computing and Applications Conf. (JCRA'09)*, Alcalá de Henares (Spain), 9-11 Sept. 2009.