

# Equipos de detección de fisuras en velo de rueda por ultrasonidos

**J.L. de Castro Parga**

*Director de Ingeniería e Innovación  
NERTUS Mantenimiento Ferroviario*

---

*En este artículo se presenta el desarrollo para Nertus de un sistema automatizado para la inspección de ruedas de vehículos ferroviarios. La inspección consiste en la detección de fisuras en el entorno de los taladros de anclaje de los discos de freno sobre las ruedas. Este equipo, todavía en fase de desarrollo, permitirá la identificación de los taladros que presenten fisuras de forma totalmente automática*


Las crecientes exigencias de seguridad del mantenimiento de vehículos ferroviarios, así como la utilización cada vez más intensiva del material rodante requieren una revisión periódica de las ruedas, para detectar con la antelación suficiente la presencia de fisuras que podrían, en un caso extremo, llevar a una fractura de la rueda en servicio, con graves consecuencias para la seguridad de los pasajeros.

De forma específica, las ruedas que incorporan discos de freno están sometidas a esfuerzos y tensiones térmicas transmitidas por éstos, que pueden causar fisuras que tienden a formarse

alrededor de los taladros en los que se montan dichos discos (posición 2 de la figura 1).

Por la configuración de montaje de los discos de freno, el velo de la rueda queda totalmente tapado por éstos, por lo que las posibles fisuras no se pueden detectar mediante una inspección visual. Esto hace indispensable la inspección de la zona de los taladros mediante ultrasonidos, inspección que se realiza normalmente desde la banda de rodadura, enfocando el haz perpendicularmente a ésta.

Normalmente, la inspección se realiza mediante un equipo portátil de ensayo por



**José Luis de Castro Parga**  
Director de Ingeniería e Innovación  
NERTUS Mantenimiento Ferroviario  
Avda. Ronda de Europa, 3  
28760 Tres Cantos (Madrid)  
Tel.: 915 147 329

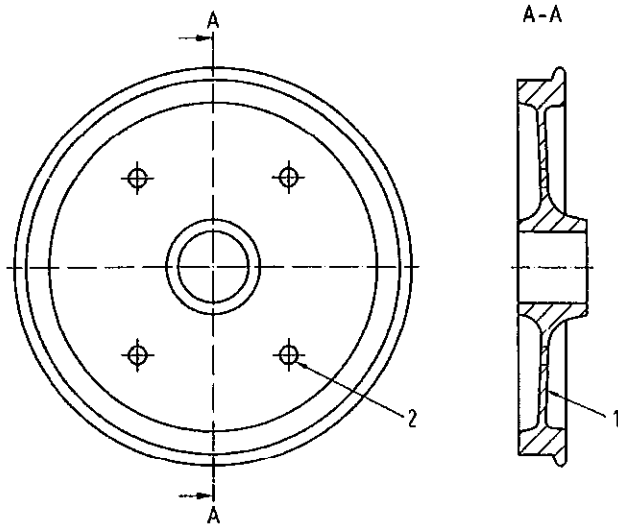


Fig. 1. Zonas de ensayo por US de velo de rueda.

ultrasonidos, con un único palpador que se traslada a lo largo de la banda de rodadura. Ésta se mueve manualmente tras levantar el eje mediante gatos.

Existen también equipos automáticos para la inspección<sup>2</sup>, que incorpora tres palpadores con distintos ángulos de incidencia, para mejorar la detección de las fisuras en cualquier posición y con cualquier orientación.

A continuación se describe el desarrollo para Nertus de un equipo automatizado para la inspección de este tipo de defectos, que incorpora las tecnologías más avanzadas en el ámbito de los ensayos o destructivos aplicados al ferrocarril.

## ANTECEDENTES

En la actualidad, Nertus realiza el mantenimiento de vehículos ferroviarios de las series 440, 447 y Civia para Renfe Cercanías- Media Distancia y de la serie 103 para Renfe Alta Velocidad.

En el ámbito del mantenimiento de las Unidades S/447 en el Taller de Cornellá, Nertus adquirió el compromiso de instalar un equipo automático para la detección de fisuras en los taladros de las ruedas de los coches motores.

En estos vehículos, la inspección se realiza cada 40.000 km mediante un procedimiento tradicional, utilizando un equipo portátil.

Para el desarrollo del equipo se contaba, dentro del Grupo Siemens, con la amplia experiencia de una empresa (*intelligeNDT Systems & Services*) que ha desarrollado un equipo de verificación integral de ruedas para el mantenimiento de los trenes ICE de la Deutsche Bahn en el taller de Munich, denominado UFPE.

## EQUIPOS DE INSPECCIÓN AUTOMATIZADOS

La tendencia actual en las diferentes administraciones ferroviarias es la instalación progresiva de este tipo de equipos en los talleres de mantenimiento, debido, por una parte, a la prioridad que dan a los aspectos relativos a la seguridad y, por otra, a las ventajas que presentan este tipo de dispositivos. Entre ellas se pueden citar las siguientes:

- Aumento de la disponibilidad de los vehículos, al reducirse el tiempo de inspección.
- Se independiza la inspección de las diferentes habilidades o criterios de los operarios que realizan los ensayos.
- Con cada inspección se guarda un registro de los datos de la misma. Ante la aparición de una fisura pueden analizarse los datos históricos y tomar decisiones sobre el intervalo óptimo entre los ensayos.
- Pueden incorporar varios palpadores y realizar inspecciones simultáneas de diferentes zonas de la rueda, e incluir la detección de fisuras con orientaciones desfavorables para su detección manual.
- No es necesaria una alta cualificación de los operarios que realizan los ensayos.

Por otra parte, en algunos países existen ya en la actualidad normas que consideran que para este tipo de ensayos sólo es admisible el uso de equipos automatizados.

## DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UFPE

Se trata de un equipo para la verificación integral de ruedas montadas en el vehículo, con el que se pueden detectar fisuras en las zonas tal como muestra la figura 2.

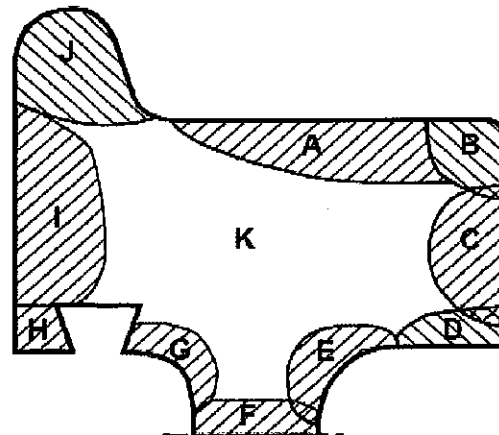


Fig. 2. Zonas de inspección de los equipos UFPE.

# Equipos de detección de fisuras en velo de rueda por ultrasonidos

## J.L. de Castro Parga

La inspección de la rueda en este tipo de vehículos se realiza cada 240.000 km. Existen dos equipos UFPE. El equipo más moderno, denominado UFPE 2, es una evolución del equipo UFPE 1, cuya mejora principal es la incorporación de unidades de palpadores compactas, que incorporan la tecnología *phased-array*.

La unidad de mando y control, situada fuera del foso sobre un banco móvil, consta de un armario eléctrico donde están situados los equipos que realizan las funciones siguientes:

- Control de los equipos mecánicos
- Procesado, análisis y almacenamiento de datos
- Adquisición de señales ultrasónicas (sistema SAPHIRplus).

La unidad de inspección está situada en el interior del foso montada sobre una plataforma móvil que le permite desplazarse a lo largo del mismo, dispone de tomas de agua (medio de acoplamiento) y alimentación eléctrica. Las funciones que realiza son las siguientes:

- Transporte de la unidad
- Levante de ejes y rotación del eje
- Posicionamiento de los palpadores en la banda de rodadura y en la cara interna de la rueda
- Circulación del medio de acoplamiento.

Los conjuntos de palpadores son mixtos, es decir, incorporan transductores convencionales y transductores *phased-array*. Existen en total cuatro conjuntos para la inspección simultánea de las dos ruedas del eje, de los cuales dos se colocan sobre la banda de rodadura y los otros sobre las caras internas.

### TECNOLOGÍA UTILIZADA

La limitación de acceso a la rueda en el tren en el foso plantea una de las principales dificultades en el diseño de este tipo de dispositivos, ya que existen varios elementos estructurales en las cercanías de las ruedas, que, lógicamente no pueden ser desmontados para este tipo de inspección. Estos elementos son, en el caso de los trenes ICE, los areneros, los patines de freno electromagnético y los soportes de las antenas de los sistemas de señalización.

Estas condiciones de acceso hacían necesario disponer de una unidad de palpadores considerablemente más compacta que las que habían sido utilizados hasta entonces. Para

este propósito, se utilizó una técnica innovadora de ultrasonidos llamada *phased-array*.

Esta técnica permite barrer electrónicamente el haz de ultrasonidos en un amplio rango de ángulos de incidencia. Esto se consigue subdividiendo el transductor en pequeños elementos que se pueden activar con un retardo relativo entre ellos: cuanto mayor sea este retardo, mayor la desviación del haz respecto al ángulo natural de la sonda (el que posee sin retardo entre sus elementos).

La excitación controlada por ordenador de los elementos piezoeléctricos permite variar también la distancia focal y el tamaño del foco a través del *software*, con lo que es posible adaptar el equipo a distintos tipos de rueda sin tener que variar el sistema de palpadores. Esta característica es fundamental, por ejemplo, para talleres que mantienen vehículos de distintas series.

Con la integración en una misma sonda de varios ángulos de incidencia, se puede conseguir un sistema compacto de palpadores. Esto se puede comprobar en las figuras 3 y 4, que muestran que se ha producido una drástica reducción en la longitud de las unidades de palpadores de la banda de rodadura del equipo UFPE, que ha pasado de tener una longitud aproximada de 650 mm a medir 330 mm (figs. 5 y 6).

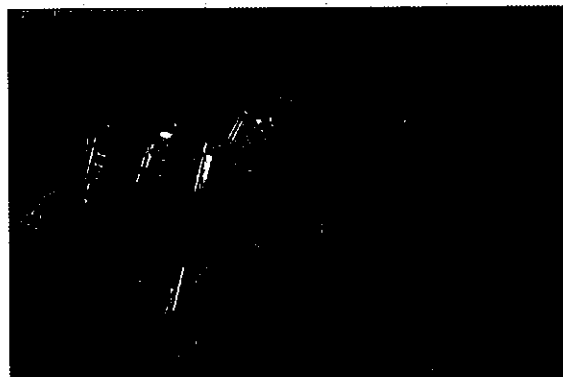


Fig. 3. Unidad de inspección del equipo UFPE 1.



Fig. 4. Detalle de los conjuntos de palpadores (equipo UFPE 1).



Fig. 5. Unidad de palpadores convencional (equipo UFPE 1),

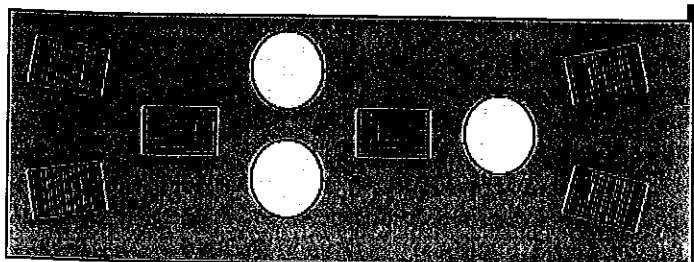


Fig. 6. Unidad Compacta (equipo UFPE 2).

Además, la tecnología *phased-array* permite la detección de fisuras en diversas orientaciones, o que no se encuentren en el eje del transductor<sup>3</sup>, tal como se muestra en la figura 7.

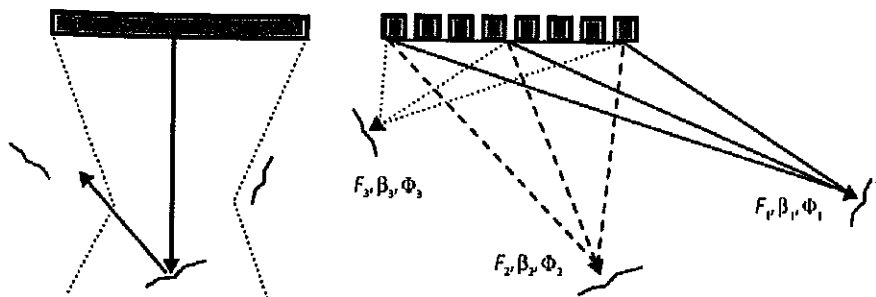


Fig. 7. Detección de fisuras con un monocristal (izquierda) y con un array de elementos (derecha).

Aunque los principios físicos en los que se basa se conocían ya a principios del siglo XX, esta tecnología no se extendió a la industria, procedente del ámbito de la medicina, hasta principios de la década de los ochenta, estando prácticamente restringida al sector de la energía nuclear hasta principios de los noventa.

Los avances en la tecnología de los materiales piezocomposite, en microelectrónica y en la capacidad de simulación por ordenador posibilitaron un gran desarrollo de esta tecnología a finales de los noventa, con aplicaciones actualmente en muchos ámbitos de la industria, incluido el sector ferroviario.

Entre los aspectos a mejorar de este tipo de dispositivos de cara al futuro destaca su coste, tanto de los transductores como de la electrónica de control, que es bastante más elevado que el de los dispositivos de ultrasonidos convencionales.

## EQUIPO DE INSPECCIÓN DESARROLLADO PARA NERTUS

Dentro de la estrategia de innovación de Nertus, consideramos fundamental la colaboración con otras empresas y centros de investigación en el desarrollo de proyectos innovadores en el ámbito del mantenimiento ferroviario.

Por ello, teniendo como base la información del equipo UFPE descrito anteriormente, Nertus decidió encargar a una empresa local el desarrollo de un equipo específico para la detección de fisuras en el velo de rueda incorporando transductores de tecnología *phased-array*. Esta forma de colaboración permitió a Nertus una mayor implicación en todas las fases del proyecto.

Para nuestra aplicación, la principal ventaja que aporta esta nueva tecnología es la posibilidad de inspección de ruedas con distinta geometría, sin necesidad de efectuar cambios en el sistema mecánico ni en los palpadores.

La idea es disponer de varias configuraciones en el *software* del equipo, seleccionando la que corresponda al tipo de rueda que se vaya a inspeccionar en cada caso.

Dentro de las especificaciones del equipo, los aspectos más destacables que se han considerado son los siguientes:

- Los resultados de las inspecciones deben ser considerados válidos por el cliente, para lo cual es necesario acreditar que se obtienen los mismos resultados con el equipo y con el método tradicional.
- Se ha decidido ubicar el equipo en el interior del taller, próximo al torno de foso, de forma que es posible la utilización del carro de arrastre de éste (fig. 8). Con ello se consigue posicionar

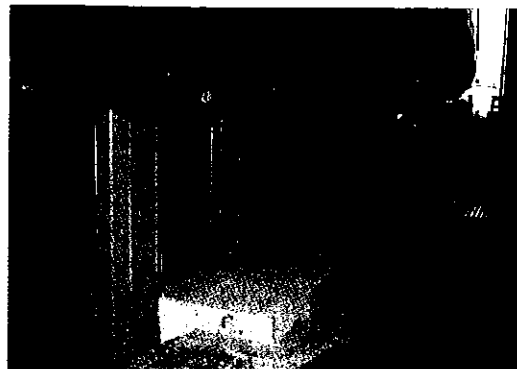


Fig. 8. Plataforma para el montaje del equipo en el taller de Cornellà,

las ruedas sobre los rodillos de forma más precisa que si el posicionamiento se hace moviendo el vehículo por sus propios medios.

- El equipo generará automáticamente informes con los resultados de la inspección. Éstos se podrán almacenar con el resto de la documentación de la intervención de mantenimiento realizada. Además, el sistema guardará en una base de datos el histórico de los ejes de los distintos vehículos

Por otra parte, aunque el equipo está diseñado específicamente para localizar fisuras en el entorno de los taladros de la rueda, puede ser utilizado también para detectar fisuras en otras zonas de la misma, haciendo uso de la capacidad de variar el foco de los haces ultrasónicos. Esta característica es importante, por ejemplo, para poder aplicar la experiencia adquirida al desarrollo futuro de un equipo similar para la inspección de vehículos de alta velocidad.

En la actualidad, el equipo ha superado ya las fases de pruebas, tanto mecánicas como del sistema de adquisición y evaluación de datos, y está pendiente de su instalación en la vía del taller para realizar la puesta en marcha y el proceso de homologación.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del nuevo equipo de inspección por ultrasonidos representa para Nertus un

avance tecnológico importante, al incorporar en el mismo una tecnología innovadora en el campo de los ensayos no destructivos.

Las características del equipo desarrollado hacen posible su fácil adaptación a otras series de vehículos y posibilitan su ampliación futura a otro tipo de ensayos, como, por ejemplo, los realizados por el equipo UFPE.

Por otra parte, el modelo de colaboración con otras empresas en el desarrollo de este equipo ha sido muy positivo, y consideramos muy interesante complementarlo de cara al futuro con la participación en programas públicos de apoyo a la I+D+i.

## BIBLIOGRAFÍA

1. García Ares E, García Alonso JL, Buitrago Carrillo A, Fernández Plaza JA, Crespo Giménez N. Sistema Automático de Inspección por Ultrasonidos para la Inspección de Ruedas de Tren que incorporan Discos de Freno. Boletín de la Asociación Española de Ensayos no Destructivos, nº 32, primer trimestre de 2005.
2. Dynamic Inspection of High Speed Train Wheels. S. Schuhmacher, H. Maly, R. Ettlich, (Deutsche Bahn AG); G. Engl, R. Meier, (intelligeNDT Systems & Services); J. Montnacher, (Fraunhofer TEG), A. Erhard, (BAM). Railway Engineering 2004. London.
3. Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications. R/D Tech. 2004.