

The background of the entire page is decorated with numerous realistic water droplets of various sizes. Some are large and prominent, while others are small and subtle. They are scattered across the white background, with a higher concentration in the top-left and bottom-right corners.

# **END: TÉCNICAS PARA LA DETECCIÓN DE DEFECTOS EN CARRILES DE FERROCARRIL**

AUTORES:

CRUZ PÉREZ, JUAN CARLOS

GONZÁLEZ SÁNCHEZ, JUAN FRANCISCO

MALDONADO MUÑOZ, GABRIEL

ASIGNATURA: EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA

MÁSTER DE ESTRUCTURAS

CURSO 2017/2018

# ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN
- 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS: EJEMPLOS DE ROTURAS DE CARRILES
- 3. DEFINICIÓN DEL CARRIL Y TIPOS DE ROTURAS
- 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS:
  - 4.1. CARRO AUSCULTADOR POR ULTRASONIDOS
  - 4.2. MONITORIZACIÓN CONTINUA Y EN TIEMPO REAL DE FERROCARRIL MEDIANTE SENSORES FBG
  - 4.3. PHASED ARRAY
  - 4.4. DETECCIÓN DE DEFECTOS RADIALES EN EL ESPESOR DEL PLANO DE RODADURA MEDIANTE PULSO ECO Y TÁNDEM
  - 4.5. TECNOLOGÍA POR ULTRASONIDOS EMAT
- 5. SISTEMA DE INNOVACIÓN LÁSER CLADDING
- 6. ESTIMACIÓN COSTES-BENEFICIOS
- 7. CONCLUSIONES
- 8. BIBLIOGRAFÍA

# 1. INTRODUCCIÓN

Esta presentación corresponde al trabajo final de la asignatura de Evaluación No Destructiva y se centra en el estudio de los medios de detección de defectos en los carriles de ferrocarril mediante técnicas de este campo como son los ultrasonidos, pulso eco y tándem, etc

Posteriormente, se comentará una nueva técnica española de innovación en este campo denominada Láser Cladding, la cual fue desarrollada por la Universidad de Valencia junto con la empresa AIDO.

Para terminar, se plantearán una serie de conclusiones sobre lo visto, así como una valoración económica sobre el coste de los diferentes métodos y su aplicación.

## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS: EJEMPLOS DE ROTURAS DE CARRILES

### EXPERTOS ALERTAN DE LA “FATIGA DEL MATERIAL FERROVIARIO” EN PAJARES

En el año 20016 se produjo el descarrilamiento de un Alvia procedente de Barcelona con 78 pasajeros, en el tramo de ferrocarril que remonta la cordillera entre la estación de Pajares y Busdongo. El descarrilamiento se produjo por la rotura de un carril debido a la fatiga que se acumula en los carriles de esta zona al transcurrir trenes muy pesados.



Fig 1: Inspección del descarrilamiento



## 2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS: EJEMPLOS DE ROTURAS DE CARRILES

### UNA ROTURA EN LA VÍA OBLIGA A PARAR UN TREN A LA ALTURA DE PROSERPINA

En septiembre de 2017 se produjo una rotura de en torno a 1,50 m del carril en el tramo que se dirigía a Mérida desde Plasencia. Esta rotura fue detectada antes del paso del tren y por tanto no se produjo el descarrilamiento.



Fig 2: Detalle de la rotura del carril

### 3. DEFINICIÓN DE CARRIL Y TIPOS DE ROTURAS

Por carril se entiende al elemento que mejor identifica al camino ferroviario. Sus funciones principales son:

- Absorber, resistir y transmitir los esfuerzos recibidos a las traviesas.
- Guiar el material móvil.
- Conducir el retorno de la corriente eléctrica de tracción.
- Conducir corrientes eléctricas relacionadas con el sistema de control de tráfico y señalización.

Las causas de reposición de los carriles son:

- Defectos debidos a la fabricación.
- Defectos debidos al tráfico circulante.
- Desgastes ondulatorios.

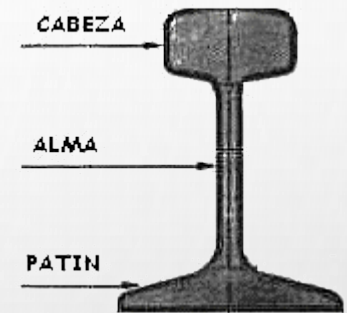
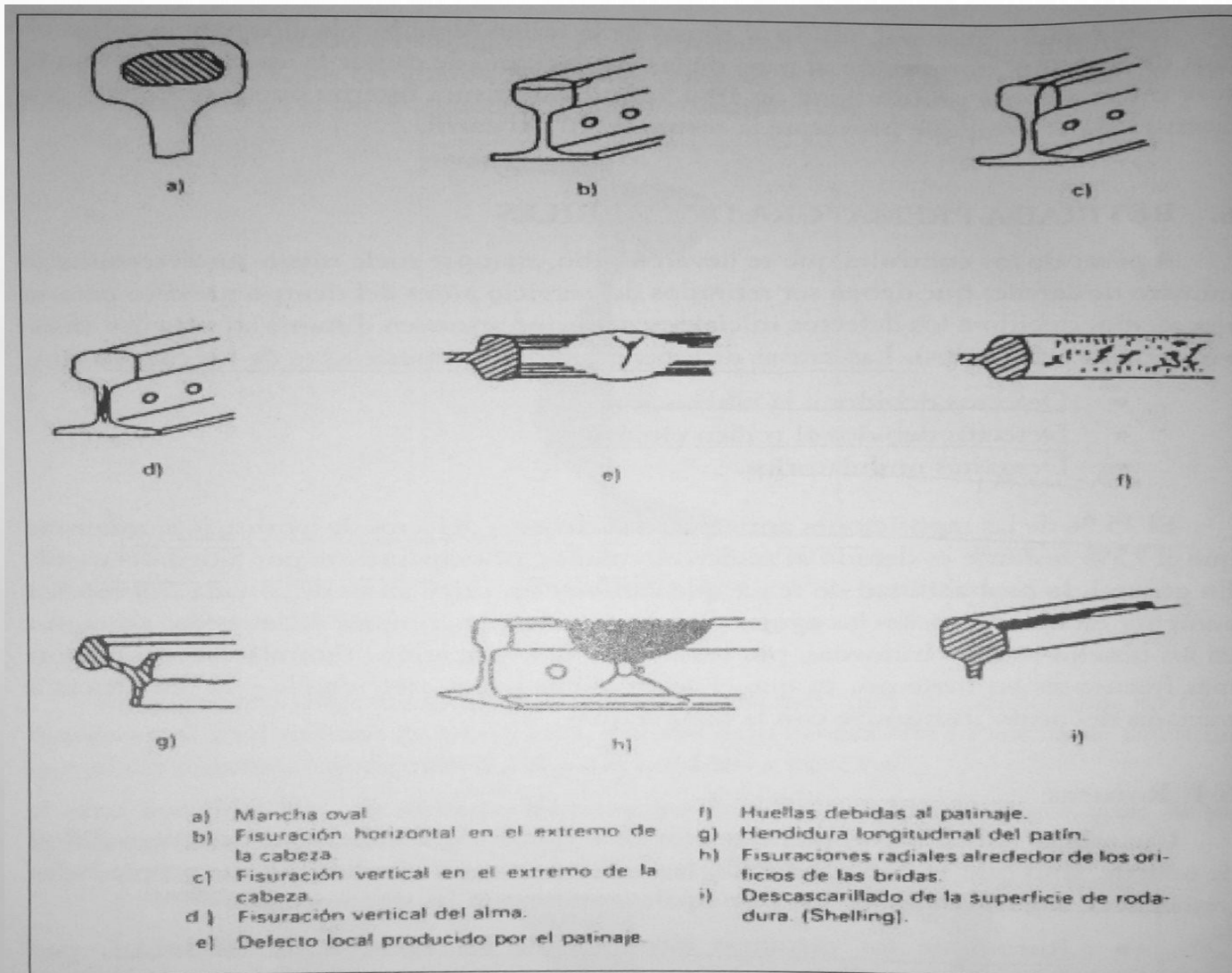


Fig 3. Carril Vignole

### 3. DEFINICIÓN DE CARRIL Y TIPOS DE ROTURAS



Fuente: Libro de Ingeniería de Ferrocarriles.  
Autores: Francisco Javier Calvo Poyo, José Lorente Gutiérrez, Rafael Jurado Piña, Juan de Oña López

Fig 4. Rotura de carriles



# 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

## 4.1. CARRO AUSCULTADOR POR ULTRASONIDOS

La detección de defectos se realiza mediante un carro auscultador formado por un armazón de acero tubular, ruedas de apoyo para las guías y un sistema de absorción de acoplante para facilitar el deslizamiento por el riel. Mediante una caja de conexiones al bloque palpador se vincula el instrumento ultrasónico calibrado para la auscultación del tipo de riel.

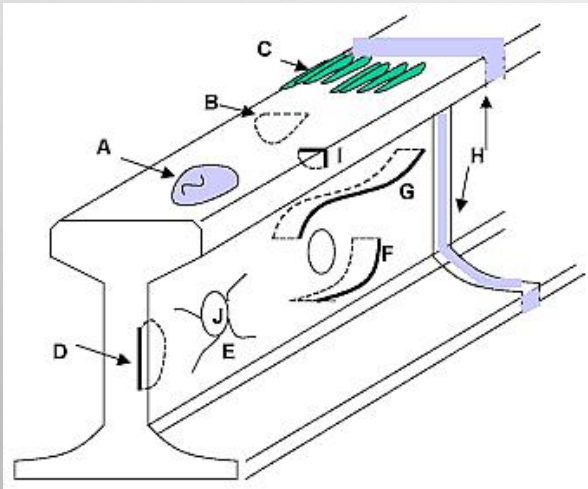


Fig 6. Defectos del riel



Fig 5. Carro auscultador

Los tipos de defectos que permite medir este tipo de instrumento son:



## 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

### 4.1. CARRO AUSCULTADOR POR ULTRASONIDOS

Los sensores por los que está compuesto son:

- Palpador normal SE SZS  $0^{\circ}$ W
- Palpador angular SE SZW  $38^{\circ}$ W
- Palpador angular SE SZW  $70^{\circ}$ W

Además de la inspección de los rieles permite la inspección de las soldaduras aluminotérmicas con el fin de detectar fallos de fusión.

Las ventajas de este método son: Seguridad, velocidad, registro, flexibilidad y archivo.

Este método está patentado por la empresa Aucofer S.A.

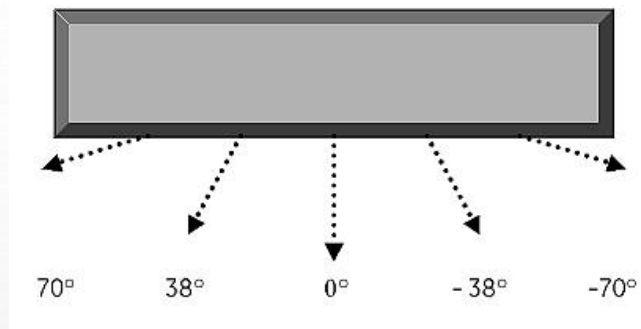


Fig 7. Ángulos palpadores

# 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

## 4.2. MONITORIZACIÓN CONTINUA Y EN TIEMPO REAL DE FERROCARRIL MEDIANTE SENSORES FBG

Con este método se consigue pasar de un sistema convencional en un sistema autónomo de medida, desarrollando una red de sensores “Smart Railway” incorporando redes de sensores ópticos en varias zonas de la red de ferrocarril.

Este método nos permite detectar, además de cargas en raíles, conteo de bogies, monitorización anti-descarrilamiento, detector de cargas en trenes y detección de vibraciones instantáneas.

La información aportada por estos sensores es:

- Esfuerzos experimentados durante el servicio, estáticos y dinámicos, bajo diferentes condiciones de operación .
- El estado de carga y de tráfico de los vagones de pasajeros .
- La temperatura y la deformación inducidas por los esfuerzos en los raíles .
- Temperatura en y alrededor de los ejes y los frenos de las ruedas .
- Vibración dinámica del eje debido a la corrosión y al desgaste de los rodamientos .

# 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

## 4.2. MONITORIZACIÓN CONTINUA Y EN TIEMPO REAL DE FERROCARRIL MEDIANTE SENSORES FBG

La respuesta proporcionada por este tipo de sensores es:

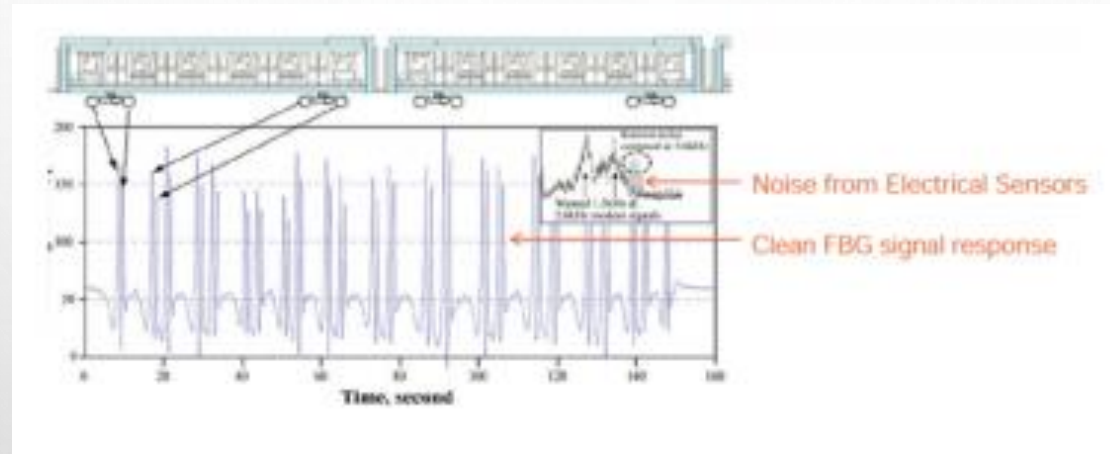


Fig 8. Respuesta Sensor FBG

Este método está siendo estudiado por la Universidad Politécnica de Hong Kong.

## 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

### 4.3. PHASED ARRAY

La continua evolución en el sector ferroviario ha obligado a mejorar el sistema tradicional de inspección de carriles. Esto se consigue mediante la mejora de la resolución axial y lateral de la superficie del carril.

Estas mejoras se basan en el aumento de la frecuencia del palpador, de forma que se tiene una mayor zona de campo y sensibilidad.

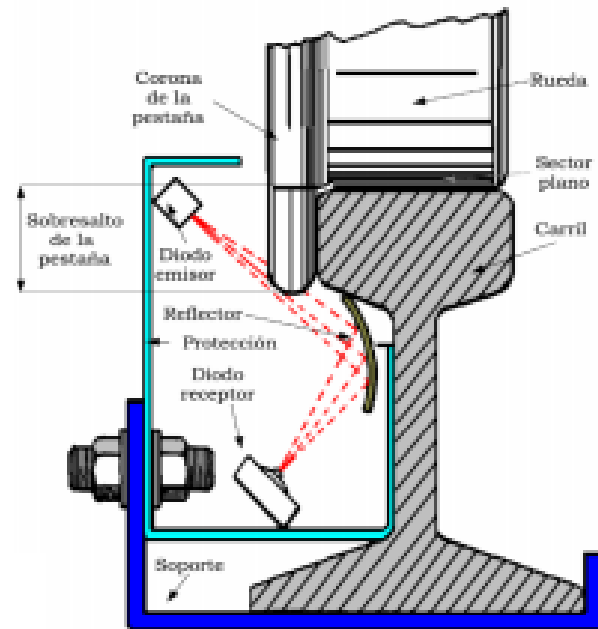
El método innovador en el que se basan las mejoras mencionadas es el método PHASED ARRAY:

Este método se basa en un equipo de ultrasonidos que genera una señal eléctrica hacia el palpador. El palpador convierte esta señal en una señal acústica que se introduce en el carril. El sonido se propaga por el carril de forma que si se encuentra una discontinuidad regresa al palpador y se convierte de nuevo en una señal eléctrica que es registrada por un equipo electrónica.



## 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

### 4.3. PHASED ARRAY



P. Gutauskas, "Railroad Flat Wheel Detectors". US Pat. No. 5 133 521 (1992)

Fig 9. Esquema sensores



TreadVIEWTM - AEA Technology. <http://www.aeat.co.uk>

Fig 10. Posición sensores

## 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

### 4.4. DETECCIÓN DE DEFECTOS RADIALES EN EL ESPESOR DEL PLANO DE RODADURA MEDIANTE PULSO ECO Y TÁNDEM

END ultrasonidos. Según la línea de inspección y medida del centro tecnológico vasco IK4-Ideko el diseño se trata de un sensor específico compuesto por dos transductores piezoeléctricos angulares. Gracias a la utilización de herramientas de simulación (software específico de ultrasonidos CIVA), se ha determinado la posición relativa entre los sensores y su angulación para conseguir una elevada flexibilidad y modularidad. Esta configuración permite una perfecta adaptación a distintas geometrías y tamaños de ruedas ferroviarias.

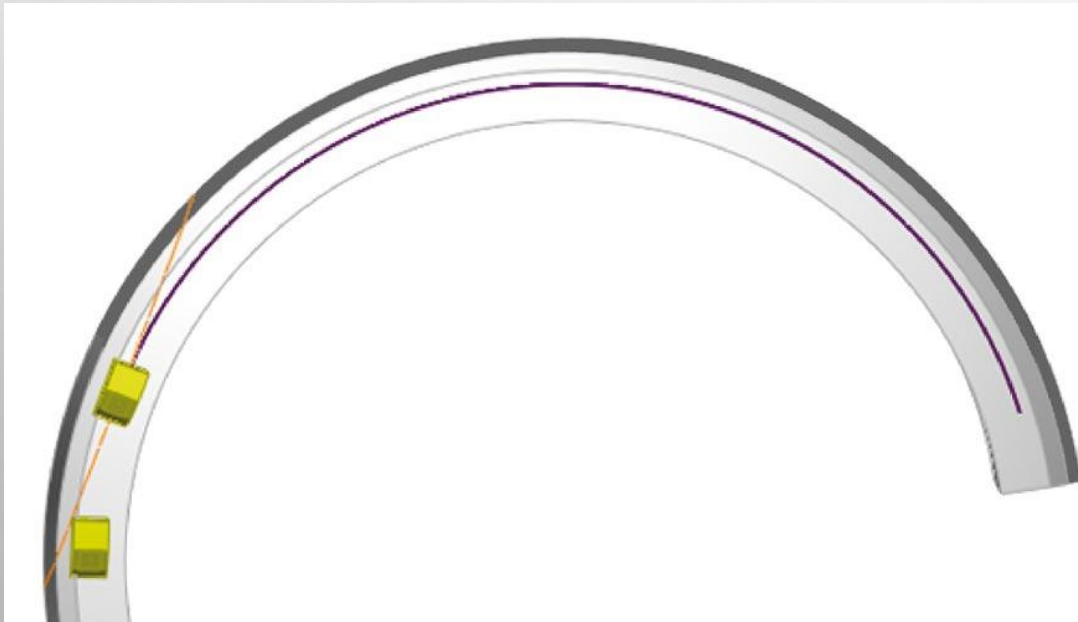


Fig 11. Modelo de simulación por CIVA de la sonda Tandem

## 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

### 4.4. DETECCIÓN DE DEFECTOS RADIALES EN EL ESPESOR DEL PLANO DE RODADURA MEDIANTE PULSO ECO Y TÁNDEM

Este dispositivo mecánico consta de un sistema de fijación mediante imanes que facilita el manejo del sensor durante la inspección. Además, se ha incorporado un sistema de flotación mediante muelles que asegura un buen contacto de los transductores a la superficie.

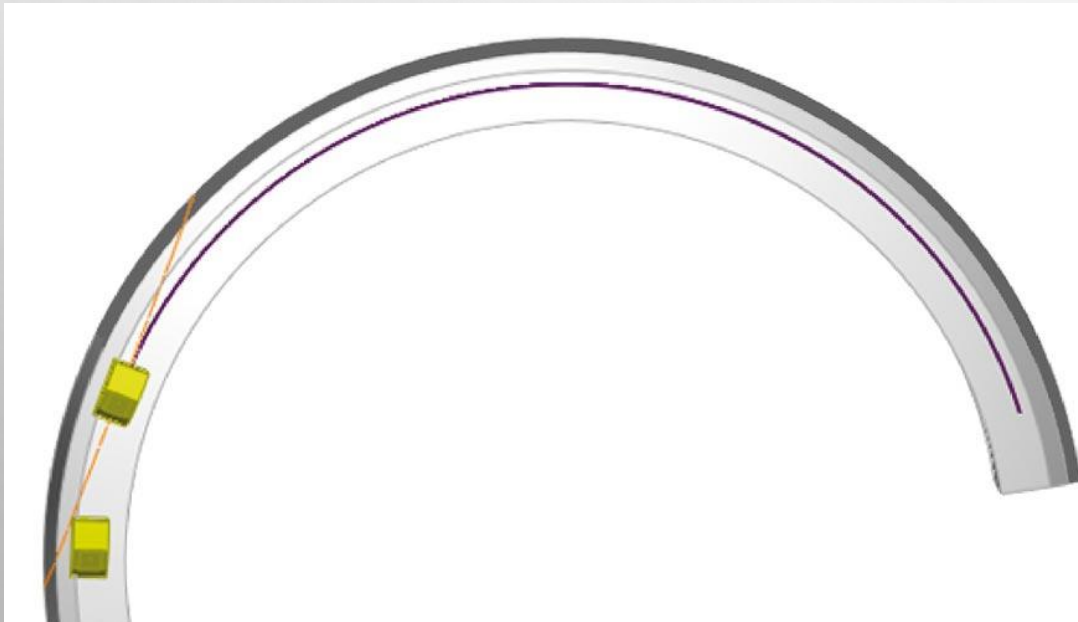


Fig 11. Modelo de simulación por CIVA de la sonda Tandem

## 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

### 4.5. TECNOLOGÍA POR ULTRASONIDOS EMAT

La tecnología por Ultrasonidos EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer) permite medir el perfil de tensiones residuales de la misma gracias al fenómeno físico de la Birrefringencia.

Durante la inspección por EMAT, se hace pasar un sensor por diferentes puntos de la llanta, obteniéndose en cada punto el estado de tensiones volumétrico de la rueda. Esta técnica no destructiva es especialmente útil debido a su precisión y a la rapidez en la que se puede efectuar la medida. Sin embargo, la posición relativa entre el sensor y la rueda es un aspecto clave para obtener medidas precisas y fiables que aseguren su correcto estado tensional.

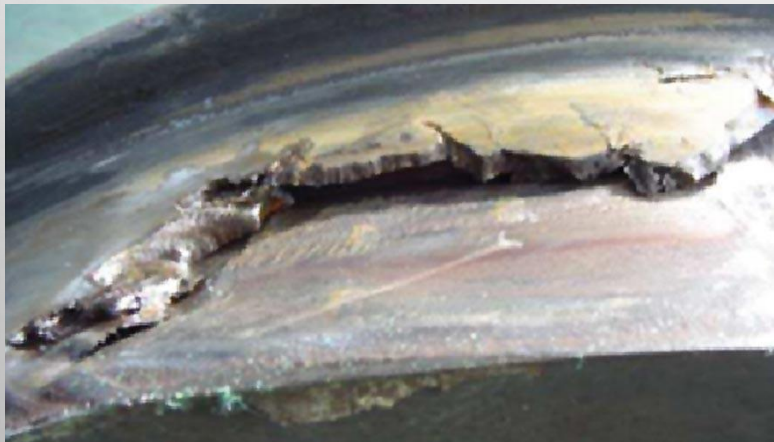


Fig 12. Defectos en ruedas



# 4. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS

## 4.5. TECNOLOGÍA POR ULTRASONIDOS EMAT

Las características del dispositivo de medida son:

- Sencillo de trasladar y de colocar en la rueda.
- El correcto contacto entre el sensor y la rueda está asegurado gracias al diseño mecánico.
- El movimiento del sensor se puede realizar de forma fácil y sencilla.
- El sistema no requiere de alimentación eléctrica ni neumática.

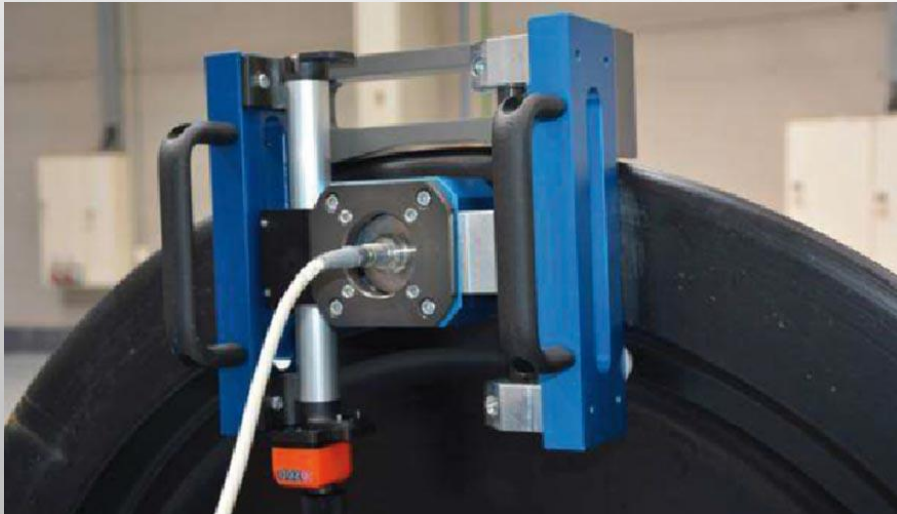


Fig 13. Instrumento de medida EMAT

## 5. SISTEMA DE INNOVACIÓN LÁSER CLADDING

Este sistema está siendo desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia, en colaboración con el Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen (AIDO) principalmente, junto con las empresas Vías y Construcciones S.A. e INGE.

Este sistema no solo permite analizar el estado de las vías, sino que permite además su reparación, debido al desgaste por el paso de cargas.

El sistema se basa en un sensor que monitoriza el estado de la vía, junto con un sistema de reparación mediante láser basado en la aplicación de la técnica láser cladding.

Una de las grandes ventajas de este método es que no calienta mucho el material, de forma que se conservan las propiedades del material base.

## 5. SISTEMA DE INNOVACIÓN LÁSER CLADDING



Fig 14. Reparación de la vía

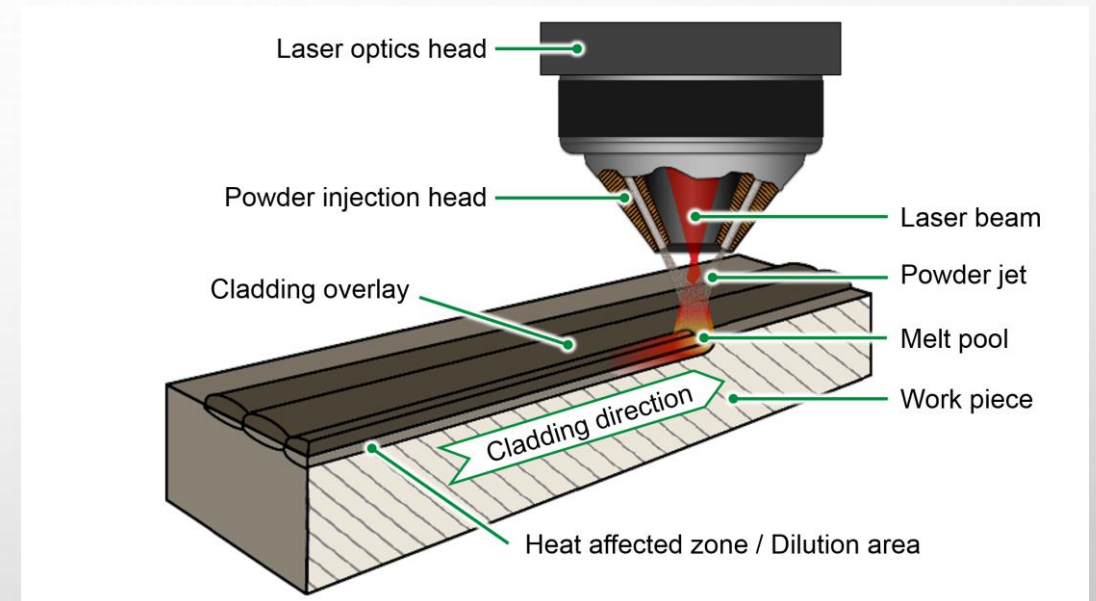


Fig 15. Esquema del sistema

## 6. ESTIMACIÓN COSTES-BENEFICIOS

Para esta estimación se consideran los precios proporcionados por el profesor de los métodos antes desarrollados, para una vida útil de 15 usos, obteniendo los siguientes precios por uso:

- Carro auscultador: 4.000 €
- Monitorización continua y en tiempo real mediante FBG: 1.333 €
- Phased Array: 2.000 €
- Detección de defectos en plano de rodadura mediante pulso eco y tándem: 1.333 €
- Tecnología por ultrasonidos EMAT: 3.333 €
- Láser Cladding: 8.000 €

Para este estudio no se han considerado la pérdida de vidas, únicamente de material móvil y mercancías. Esta estimación se realiza con respecto al primer antecedente estudiado en la presentación: Pajares.

El coste medio de reposición de la vía se estima en torno a 4.28 M€.



## 6. ESTIMACIÓN COSTES-BENEFICIOS

En caso de no poder solucionar el problema antes del paso del tren y que se produzca descarrilamiento, el coste medios estimado del vagón de tren sería de 30.000 €. Considerando un tren de mercancías estándar, se estima un coste por rotura de carga de en torno a 15 €/tn.

Estos costes están directamente relacionados con el accidente, mientras que existen otros costes indirectos al accidente, como son las esperas de otros trenes que tienen que circular por esas vías. Estos costes se estiman en 50.000 €.

En primer lugar, descartamos los métodos de monitorización mediante FBG y láser cladding, por ser métodos todavía en desarrollo que no están tan extendidos como los demás. Además, se decide descartar la tecnología por ultrasonidos EMAT por ser un método más asociado a las ruedas del ferrocarril. Otro descarte sería el método Phased Array, por tratarse de un método con sensores fijos y lo que a nosotros nos interesa es estudiar un cierto tramo de vía.

De esta forma, nos decantamos por el uso del Carro Auscultador y Detección de defectos en plano de rodadura mediante pulso eco y tándem. En este apartado, únicamente distinguiremos entre costes de alquiler.

## 6. ESTIMACIÓN COSTES-BENEFICIOS

Así pues se obtiene la siguiente estimación:

Costes accidente y reparación			
Descripción Principal	Descripción Secundaria	Ud	€
1. Coste reposición de vía		1	4280000
2. Coste rotura ferrocarril		1	3480000
	2.1. Coste Locomotora mercancías	1	3300000
	2.2. Coste vagón mercancías	6	30000
3. Coste rotura de carga			30225
	3.1. Coste transporte tonelada	1	15
	3.2. Valor económico tonelada	1	2000
	3.3. Toneladas transportadas	15	
4. Costes indirectos al accidente		1	50000
TOTAL			7840225
Costes alquiler inspección vías y reparación			
Descripción Principal	Descripción Secundaria	Ud	€
1. Coste reparación carriles		1	500000
2. Coste alquiler equipos		1	4000
	2.1. Carro Auscultador	1	4000
3. Coste interrupción vía		1	20000
TOTAL			524000

## 6. ESTIMACIÓN COSTES-BENEFICIOS

AHORRO	7316225
--------	---------

# 7. CONCLUSIONES

Como conclusiones se destacan las siguientes:

- Existen numerosos métodos de detección de defectos, muchos de ellos todavía en desarrollo, por lo que no son técnicas todavía registradas.
- La mayoría de los métodos son patentados por empresas privadas, como el carro auscultador.
- Aunque son métodos de detección in situ, son miles los km de red viaria a estudiar. Esto hace que no sean muy versátiles.
- Se ha de innovar hacia sistemas de detección instalados en el propio ferrocarril, puesto que con ello solucionamos el punto anterior.
- Algunos métodos no sólo se utilizan para la detección de defectos en rieles, sino también en ruedas.
- Se trata de métodos que no provocan ninguna variación en las características y propiedades del material base.
- La inspección de las vías es un aspecto fundamental, pues podemos evitar accidentes y ahorrar miles y millones de euros.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

<https://www.lavozdeasturias.es/noticia/asturias/2016/10/01/expertos-alertan-fatiga-material-ferroviario-pajares/00031475342982970678846.htm>

[http://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/rotura-via-obliga-parar-tren-altura-proserpina\\_1041390.html](http://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/extremadura/rotura-via-obliga-parar-tren-altura-proserpina_1041390.html)

<http://www.aucofer.com.ar/index.php/servicios/ultrasonido-de-rieles>

<http://www.alava-ing.es/repositorio/140e/pdf/9591/2/monitorizacion-continua-y-en-tiempo-real-de-ferrocarril-mediante-sensores-fbg.pdf>

[http://oa.upm.es/444/1/BELEN\\_MOLINA\\_SANCHEZ.pdf](http://oa.upm.es/444/1/BELEN_MOLINA_SANCHEZ.pdf)

[http://www.alaf.int.ar/publicaciones/ACTIVIDADES/Jose\\_Brizuela.pdf](http://www.alaf.int.ar/publicaciones/ACTIVIDADES/Jose_Brizuela.pdf)

<http://www.secpho.org/noticias/aido-colabora-en-el-desarrollo-de-un-nuevo-sistema-para-la-inspeccion-y-reparacion-de-vias-ferroviarias/>

## 8. BIBLIOGRAFÍA

[http://www.ferropedia.es/wiki/Costos de mantenimiento de infraestructura](http://www.ferropedia.es/wiki/Costos_de_mantenimiento_de_infraestructura)

[http://www.ferropedia.es/mediawiki/index.php/Costo de compra de locomotoras#Art.C3.ADculos similares](http://www.ferropedia.es/mediawiki/index.php/Costo_de_compra_de_locomotoras#Art.C3.ADculos_similares)

[http://oa.upm.es/44089/1/PFC MIGUEL SANZ LOPEZ.pdf](http://oa.upm.es/44089/1/PFC_MIGUEL_SANZ_LOPEZ.pdf)

[http://www.ferropedia.es/wiki/Costos de construcci%C3%B3n de infraestructura](http://www.ferropedia.es/wiki/Costos_de_construcci%C3%B3n_de_infraestructura)