

Triangulación láser aplicada a la inspección sin contacto de componentes ferroviarios

Romero, R.^{1*} (rromero@cnea.gov.ar), Cosarinsky, G.^{1*} (cosarinsky@cnea.gov.ar),
Brizuela, J.^{2*} (josebrizuela@conicet.gov.ar)

¹IAMEND-ENDE, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

*Centro Atómico Constituyentes, Buenos Aires, Argentina.

1. Introducción.

Según un relevamiento de la empresa Sofse, durante el primer trimestre del 2014, el descarrilamiento fue la segunda causa de accidentes ferroviarios [1]. Esto se puede vincular al funcionamiento de ejes, ruedas y rieles. Por estas razones, es de crucial importancia para un adecuado funcionamiento de los trenes, el buen estado de estos componentes y el control periódico de los mismos, con el objetivo de evitar siniestros de gran impacto socioeconómico. Referido a la inspección de defectos superficiales y geométricos en las ruedas, la reglamentación de la CNRT establece que los perfiles de rodadura deben ser controladas dimensionalmente, empleando para ello un calibre especialmente diseñado para este propósito [2]. Con respecto al control de los rieles, actualmente no se ha establecido ninguna normativa a nivel nacional para el control de los mismos. No obstante, es posible la inspección sin contacto de rieles y ruedas, haciendo uso de cámaras digitales y láseres. Estos sistemas empleados ampliamente en Europa y Estados Unidos no están limitados únicamente a garantizar el buen estado de estos componentes, sino también a la reducción significativa de los costos de mantenimiento [3, 4]. En este estudio se presentan ensayos preliminares para el desarrollo y posible aplicación, en taller o directamente en campo, de estas técnicas a los trenes argentinos.

2. Descripción del método.

En la figura 1 se muestra un esquema simplificado del dispositivo experimental empleado. Éste se compone de un proyector de línea láser, que se encuentra solidario a una cámara. El sensor de la cámara es de tipo CMOS con capacidad de adquirir hasta 30 cuadros (fotos) por segundo. Con el propósito de resaltar el contraste del láser rojo respecto al fondo, se antepone un filtro al sensor de la cámara. La línea láser proyectada dibuja el perfil del objeto bajo estudio y éste es captado con el sensor. Dependiendo del lugar de aplicación (taller o en campo), el conjunto puede permanecer estático o se puede desplazar en la dirección X a una velocidad constante.

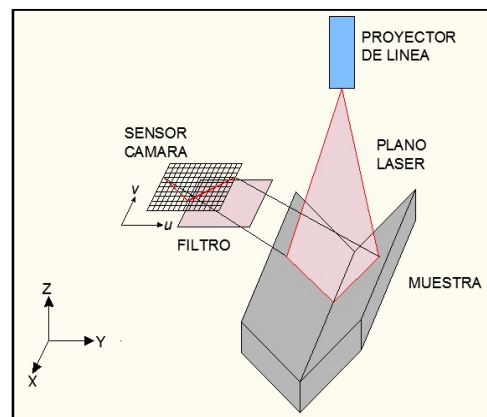


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental

Los datos se adquieren mediante el método de triangulación con luz estructurada [5]. Es decir, la utilización de la trigonometría para interpretar la intersección del plano láser con el objeto examinado desde la cámara, conociendo la distancia entre la cámara y el proyector de la línea láser. La adquisición de datos se realiza a través de un video. Posteriormente cada cuadro de este video se analiza y se obtienen los datos de interés, que en este caso en particular es una línea proyectada sobre la muestra.

El sistema requiere de una calibración, que consta de dos partes. La primera hace uso de un patrón milimetrado, con el que se establecen las coordenadas de píxeles y sus correspondientes coordenadas en milímetros. Y la segunda corrige la distorsión de perspectiva debida a la posición de la cámara con respecto al objeto de estudio, a través de una transformación de tipo geométrica que toma como datos de entrada la correspondencia entre píxeles y milímetros establecidos en el paso anterior. Posteriormente se realiza un procesamiento de las imágenes basado en el análisis de intensidades de cada cuadro. La finalidad es extraer el perfil de la línea láser sobre el objeto, para cada cuadro del video.

3. Aplicaciones en el ámbito ferroviario.

3.1. Rieles.

El monitoreo de estos componentes mediante las técnicas de escaneo láser, permite evaluar el desgaste producido en el componente debido a su constante uso, por ejemplo el desgaste lateral y el desgaste vertical en la cabeza del riel, como también defectos o cavidades en la superficie de rodadura y colapso del alma [6].

Para la adquisición del perfil completo, se hace uso de dos cámaras y dos proyectores láser. Ambos planos láser proyectados deben ser ortogonales al eje longitudinal del riel, y deben ser

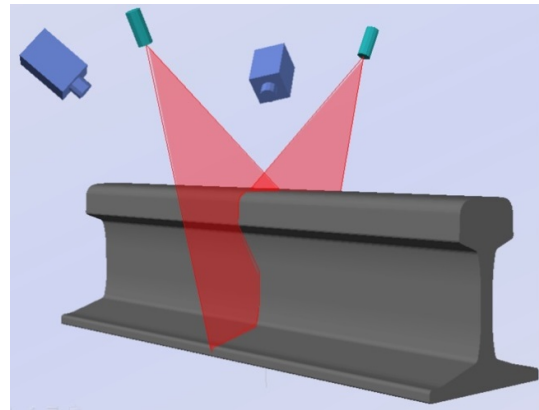


Figura 2. Sistema de escaneo de rieles para evaluación de defectos superficiales y geométricos

coincidentes, como se muestra en la figura 2. La incorporación de una cámara al sistema requiere, al momento de la calibración, la asignación de un sistema único de coordenadas para las imágenes en píxeles que proporciona cada sensor.

Una vez realizada la calibración de los sensores de las cámaras, éstas toman una imagen de cada lado del riel, como se expone en la figura 3. En ambas imágenes se puede apreciar la distorsión producida por la perspectiva geométrica. Aplicada sobre estas imágenes la corrección por perspectiva, se muestran las imágenes en la figura 4, correspondientes a las respectivas cámaras.

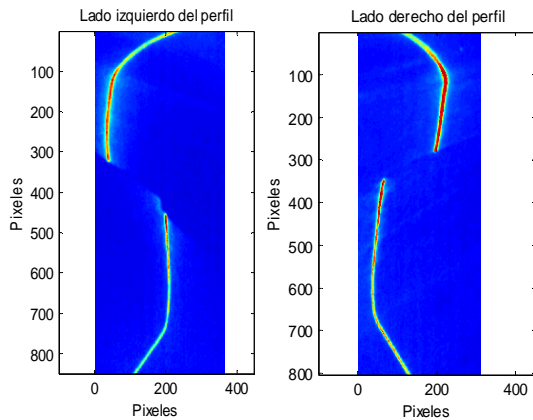


Figura 3. Imágenes adquiridas para cada lado del riel. Distorsión por perspectiva geométrica.

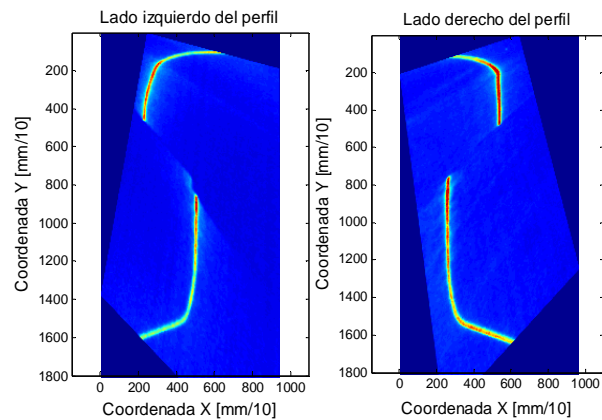


Figura 4. Imágenes corregidas por perspectiva geométrica para cada lado del riel.

A partir de estos resultados preliminares, se procesa esta información mediante un algoritmo de análisis de intensidades para cada una de las imágenes y se obtienen las curvas que representan el perfil del componente. Posteriormente se emplea un algoritmo que compone ambas curvas y permiten la representación del perfil del riel que se observa en la figura 5. En ella se representa el perfil original, según plano GVO 532 [7] (color azul) y, superpuesto, el perfil escaneado (color rojo). Apilando todos los perfiles, en la misma secuencia de filmación, es posible obtener la superficie tridimensional representada en la figura 6. En color rojo se muestra un perfil en la zona de unión por soldadura entre dos rieles, mientras que en celeste se muestra una sección normal. La resolución que se obtuvo con este prototipo está en el orden de una décima de milímetro.

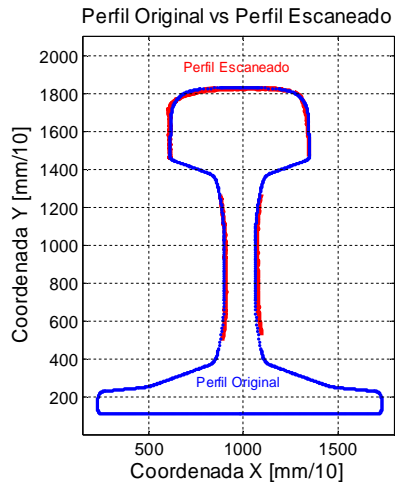


Figura 5. Representación de una sección del riel. En azul se dibuja el perfil original del riel, superpuesto en rojo el perfil escaneado.

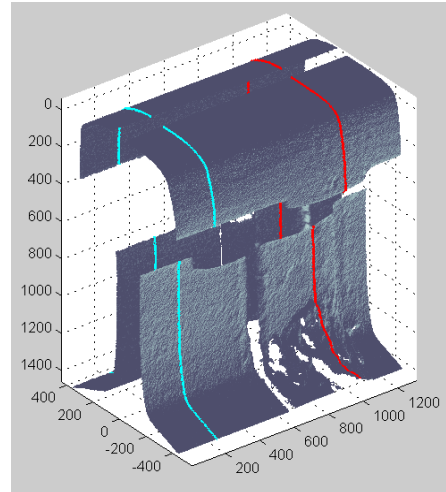


Figura 6. Representación 3D del riel. Superpuesto en celeste se observa una sección del riel; en rojo se observa una sección en la zona de soldadura.

3.2 Ruedas.

El sistema ya descrito posibilita también la adquisición del perfil de rodadura. En este caso, el sistema permanece estático y adquiere el perfil en una sección de la rueda. Para esto, los láseres que se proyectan deben estar ubicados de modo que sus planos luminosos sean coincidentes y a su vez coincidan con un plano axial-radial de la rueda, para garantizar que tanto el perfil como el diámetro que se obtienen sean los de interés; en caso contrario, se obtendrá una proyección que dará medidas erróneas.

En la figura 7 se muestra el sistema, que consiste en la rueda y los dos láseres proyectados que coinciden en una línea. En la figura 8 se observan dos imágenes de la rueda, la izquierda corresponde a su flanco interior y la derecha al flanco exterior. Finalmente, en la figura 9 se presentan las imágenes corregidas por perspectiva. La rueda utilizada, así como el tramo de riel, fueron cedidos por cortesía de la empresa Argentren – Línea General Roca.



Figura 7. Perfilometría de rueda de tren.

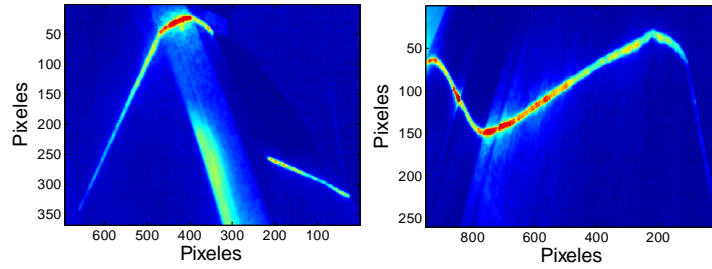


Figura 8. Imágenes de la rueda. A la izquierda se observa la imagen del componente visto desde el flanco interior y a la derecha vista desde el flanco exterior.

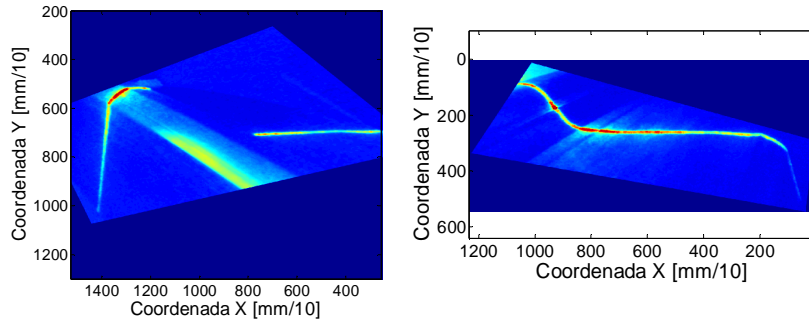


Figura 9. Corrección por perspectiva de la rueda. A la izquierda se observa la imagen del componente visto desde el flanco interior y a la derecha vista desde el flanco exterior.

Una vez realizado el procedimiento que se detalló en la sección anterior, - calibración, corrección por distorsión y análisis de imágenes por niveles de intensidad y composición de los dos perfiles- se obtienen los resultados mostrados en la figura 10. En esta imagen se representa el perfil original (según plano NEFA 706) [8], en color rojo y, superpuesto en azul, el perfil escaneado.

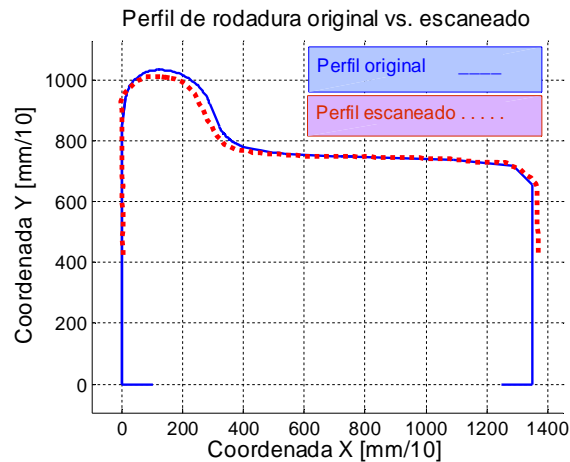


Figura 10. Perfil de rodadura. Representación del perfil original en color rojo y superpuesto en azul se observa el perfil escaneado.

El sistema aquí estudiado, al igual que los sistemas comerciales disponibles en el mercado, tiene una resolución del orden de una décima de milímetro. A partir de sus resultados es factible evaluar parámetros importantes como el factor qR , diámetro, desgaste en la pestaña, desgaste en la pisada, deformación plástica, cavidades, excoriaciones de origen térmico y

aplanaduras [9]. Esta última se puede conseguir con la proyección de la línea láser por un plano que no pase por el eje axial de la rueda [10].

4. Conclusiones.

Este estudio presenta un prototipo de un sistema de inspección de defectos geométricos para la evaluación de los principales componentes involucrados en la rodadura de trenes: rieles y ruedas. En ambos casos se muestran resultados satisfactorios con respecto a los métodos convencionales de medición y la resolución que se obtiene es similar a los sistemas comerciales disponibles.

El sistema experimental aquí detallado puede ser adecuado para operación ya sea en taller o directamente sobre las líneas de los ferrocarriles; y pretende ser una iniciativa que promueva el trabajo conjunto entre distintos sectores para llevar a cabo trabajos de investigación y desarrollo en el área ferroviaria. Dada la envergadura del proyecto ferroviario, la adquisición de nuevas formaciones, sumado al plan actual de ejecutar la renovación de casi 7000 km de vías férreas, es importante preservar esta inversión con sistemas que estén a la par de las tendencias tecnológicas.

5. Bibliografía.

- [1] Trenes Argentinos Operadora Ferroviaria, "Informe de Gestión – Primer trimestre de 2014". Disponible en <http://www.sofse.gob.ar/informes/pdf/primer-trimestre.pdf>. Accedido: Diciembre 2014.
- [2] Comisión Nacional de Regulación del Transporte – CNRT, "Perfil Rodadura – Aparato para medir altura y ancho de pestañas". Disponible en http://www.cnrt.gob.ar/sites/default/files/normativa_ferroviana/PLANOS_NEFA/NEFA_913.pdf. Accedido: Diciembre 2014.
- [3] Metari, S., Xie, Y., Talbot, M., Zhao, K., Laurent, J., "Automatic Track Inspection Using 3D Laser Profilers to Improve Rail Transit Asset Condition Assessment and State of Good Repair – A Preliminary Study". Transportation Research Board 93rd Annual Meeting and for publication in Transportation Research Record, Noviembre 15, 2013.
- [4] Chugui, Y., Plotnikov, S., Potashnikov, S., Verkhogliad, A., "Optical Measuring Technologies for Industrial and Scientific Applications". International Symposium on Instrumentation Science and Technology, Journal of Physics: Conference Series 48 (2006) 495–505.
- [5] Ruiz, M., Hogert, E. Apunte de especialización en ensayos no destructivos. Métodos Ópticos. Comisión Nacional de Energía Atómica – Universidad Nacional de San Martín.
- [6] Federal Railroad Administration-Office of railroad safety. "Track inspector rail defect reference manual". Agosto, 2011.
- [7] Comisión Nacional de Regulación del Transporte – CNRT, RIEL TIPO 60 kg/m - PERFIL U.I.C. 60. Disponible en http://www.cnrt.gob.ar/sites/default/files/normativa_ferroviana/PERFILES_DE_RIELES/GVO_532.pdf. Accedido: Diciembre 2014.
- [8] Comisión Nacional de Regulación del Transporte – CNRT. "Ruedas – Perfil de Rodadura". Disponible en http://www.cnrt.gob.ar/sites/default/files/normativa_ferroviana/PLANOS_NEFA/NEFA_706.pdf. Accedido: Diciembre 2014.
- [9] BeenaVision Systems, Inc.: ((Machine vision technology in train monitoring and railroad industry)). Disponible en <http://www.beenavision.com>
- [10] IK4-Ideko, Research Alliance.: (Desarrollo de técnicas de inspección novedosas para la inspección de ejes de tren). Disponible en <http://www.ideko.es/news/view/78>.