



## **INFORME AGOSTO 2017 - AGOSTO 2018**

**Universidad Tecnológica Nacional**

**Facultad Regional Haedo**

**Ensayo No Destructivo Aplicados a la Industria Ferroviaria**

### **Integrantes del PID UTN4108:**

- Dr. Javier Fava (Director - Docente, F. R. Haedo, UTN)
- Mag. Ing. Rodrigo Romero (Investigador Formado - Docente, F. R. Haedo, UTN)
- Ing. Marcelo Gutiérrez (Investigador Tesista Doctoral - Docente, F. R. Haedo, UTN)
- Ing. Fidel Santos (Investigador de Apoyo - Docente, F. R. Haedo, UTN)
- Sr. Tomas Di Fiore (Becario alumno - Docente auxiliar Ad Honorem, F. R. Haedo, UTN)

## Contenido

Avances teóricos y metodológicos realizados .....	2
- Construcción de patrones .....	2
- Construcción de dispositivos para el laboratorio .....	3
Maquina bobinadora automática.....	3
Maquina deslizador de sondas (Desplazador).....	4
Fresadora CNC para fabricación de circuitos impresos.....	5
- Sondas .....	6
- Diseño electrónico para la detección de las fisuras .....	6
- Procesamiento de señales.....	7
Nómina de bibliografía consultada .....	7

## Avances teóricos y metodológicos realizados

### - Construcción de patrones

El ensayo no destructivo (END) utilizando el método de corrientes inducidas (CI), requiere de patrones; ya que es un método comparativo. Los patrones deben ser de un material con propiedades electromagnéticas similares al componente que se quiere inspeccionar y con defectos fabricados *ad hoc*, que den respuestas eléctricas que permitan calibrar el sistema de inspección cuando se encuentre en presencia de defectos reales. Por lo tanto, es necesario contar con patrones que simulen fisuras con diferentes características, y para que el patrón pueda ser utilizado en distintas configuraciones de sondas, es necesario tomar recaudos en la separación de las fisuras y el volumen del defecto a fabricar.

En esta etapa se fabricaron dos patrones sobre tramos de rieles con fisura de distintas profundidades y mismo ancho. Uno de los patrones presenta defectos perpendiculares sobre la cabeza de riel, mientras que el otro, incorpora fisuras oblicuas formando un ángulo de penetración de  $25^\circ$  con respecto a la superficie de la cabeza del riel [2]. Ambos patrones tienen fisuras de profundidades de 1, 3, 5 y 7 mm, figura 1 y 2. El motivo de tener un patrón con defectos con un ángulo de penetración de  $25^\circ$  es para simular defectos que existen en los rieles ferroviarios denominados *head-check*, que se producen debido al fenómeno de fatiga de contacto por rodadura entre las superficies rueda/riel. El método empleado para realizar los defectos fue mediante electroerosión. Los estudios determinan que el ángulo medio de penetración de los defectos tipo *head-check* es de  $25^\circ$ , además indican que la profundidad media de los mismos es de 6 mm [3].

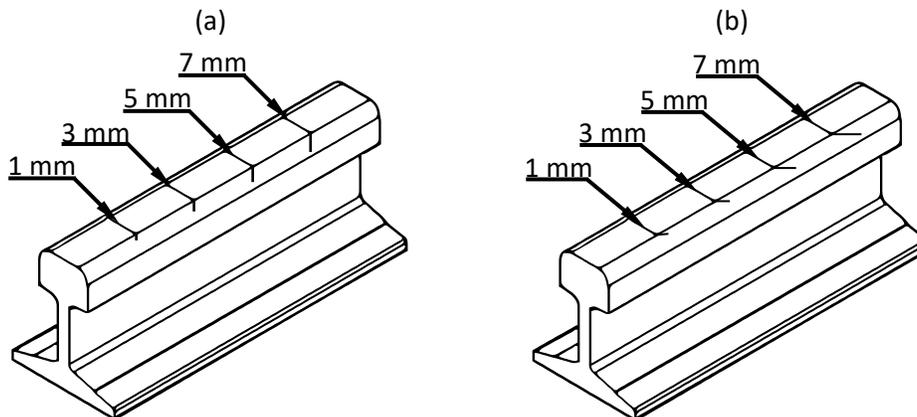


Figura 1: a) Patrón en riel de fisuras perpendiculares. b) Patrón en riel de fisuras oblicuas.

Estos patrones permiten analizar el comportamiento del sistema electrónico de forma tal que sea capaz de separar las indicaciones de las fisuras fabricadas. La inspección de aleaciones ferromagnéticas por CI presenta un conjunto de complicaciones respecto de las aleaciones que no lo son [6]; una de esas limitaciones es la mayor limitación a la penetración de las corrientes en el material, debido a los valores elevados de la permeabilidad magnética (efecto pelicular). Todo esto determina que tener un sistema de CI que pueda caracterizar fisuras de más de 5 mm en un material ferromagnético es un gran desafío.

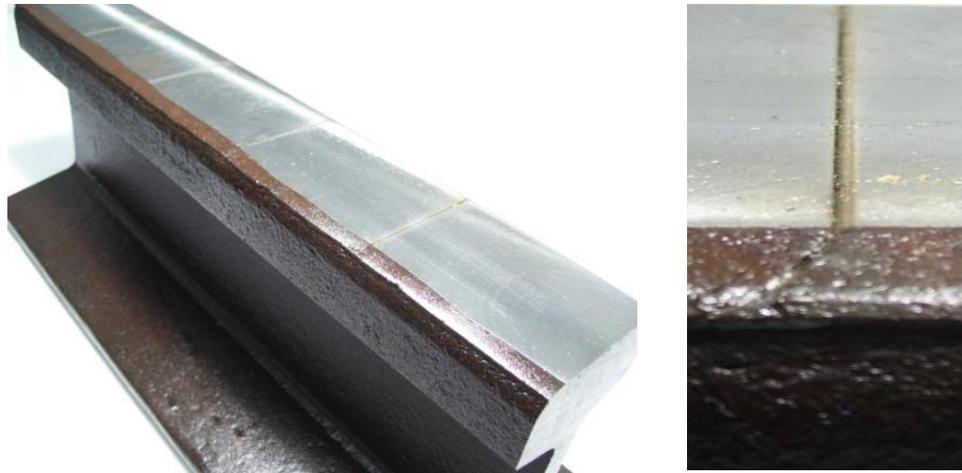


Figura 2: Patrón en riel de fisuras sobre tramo de riel.

## - Construcción de dispositivos para el laboratorio

Para la realización de los ensayos no destructivos sobre los patrones fue necesario construir equipamiento específico para analizar los defectos:

### Maquina bobinadora automática.

El ensayo no destructivo utilizando la técnica por CI necesita de sensores específicos para obtener los defectos en materiales metálicos. Entre los sensores más conocidos se encuentran las bobinas (sensores solenoides), los dispositivos superconductores de interferencia cuántica SQUID (sigla inglesa para *superconducting quantum interference devices*), sensores de efecto *Hall* y magnetorresistivos.

En esta etapa del desarrollo, se ha optado por fabricar sensores solenoides bobinados con alambre de cobre esmaltado, sobre carretes de plásticos. Estas piezas forman parte de un puente de corriente alterna (CA), y de acuerdo si las mismas se conectan en modo absoluto o modo diferencial, será necesario tener bobinas simétricas. Esto permite lograr un balance cercano al nulo en el puente de CA. La técnica que se implementó fue la de emisor-receptor de campo cercano en modo diferencial. Por lo tanto, se tuvo que confeccionar tres bobinas simétricas mediante una bobinadora automática, permitiendo obtener indicaciones correspondientes a los defectos.

La máquina construida, fue fabricada con piezas de plástico usando una impresora 3D y motores paso a paso. La electrónica que controla los movimientos laterales del cobre en el carrete y el enrollamiento son programadas mediante un programa Opensource teniendo una precisión de la décima de los milímetros. La bobina más pequeña que se fabricó fue de 2 mm de diámetro y 8 mm de altura con seis capas de cobre esmaltado de 0.09 mm de diámetro, figura 3.

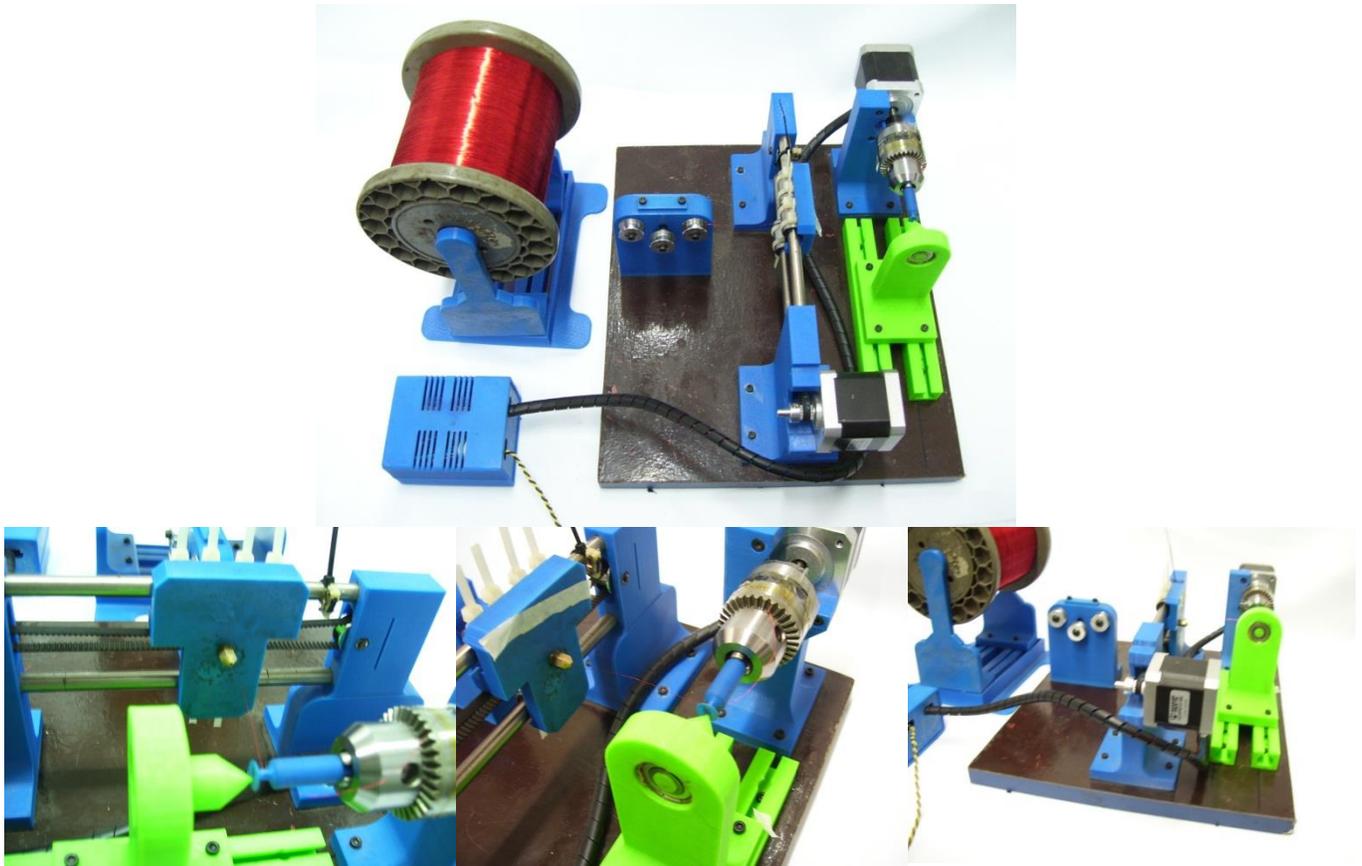


Figura 3: Bobinadora automática.

### Maquina deslizador de sondas (Desplazador).

Para obtener velocidad de desplazamientos constante del cabezal de inspección fue necesario construir un dispositivo para tal fin. El mismo fue fabricado con piezas de plásticos utilizando la tecnología de la impresión 3D, motores paso a paso y barras de aceros de 16 mm de diámetro. La electrónica recibe las órdenes de movimientos mediante un software Opensource. El programa es altamente configurable, permitiendo modificar velocidad, aceleración, desaceleración en los movimientos de los ejes X-Y del orden de la decimas de milímetros. Los resultados experimentales arrojaron que la repetición de los ensayos fueron excelentes, figura 4.

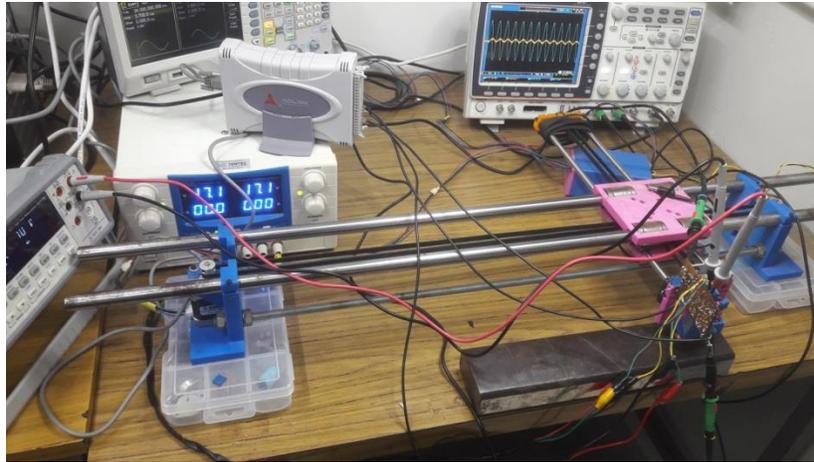


Figura 4: Desplazador esayando defetectos sobre una pieza.

### Fresadora CNC para fabricación de circuitos impresos.

Se fabricó una máquina de control numérico por computadora que puede desplazar fresas de gravado de corte lateral y vertical en las direcciones X-Y-Z mediante motores paso a paso. Las piezas de la estructura son de plástico fabricadas por una impresora 3D y varillas de acero de 8 mm. La rotación de las fresas se efectúa mediante un torno DREMEL. La máquina es robusta y tiene una gran precisión, figura 5.

El diseño del circuito impreso es transformado al lenguaje GCODE, dando los comandos necesarios a la fresadora, para eliminar el cobre de una placa virgen.

Automatizar la elaboración de los circuitos impresos, permitió que los prototipos electrónicos evolucionen de una manera más ágil. Esto se debe a que los cambios en el diseño electrónico para su posterior fabricación se hacen en forma más eficiente. Recurrir a una tercerización de la fabricación, tendrían plazos de entregas largos, además de un costo elevado para un prototipo.

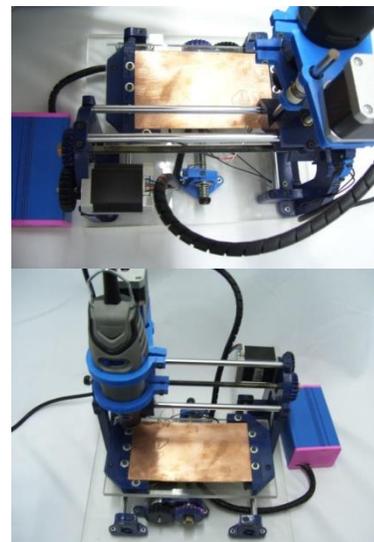
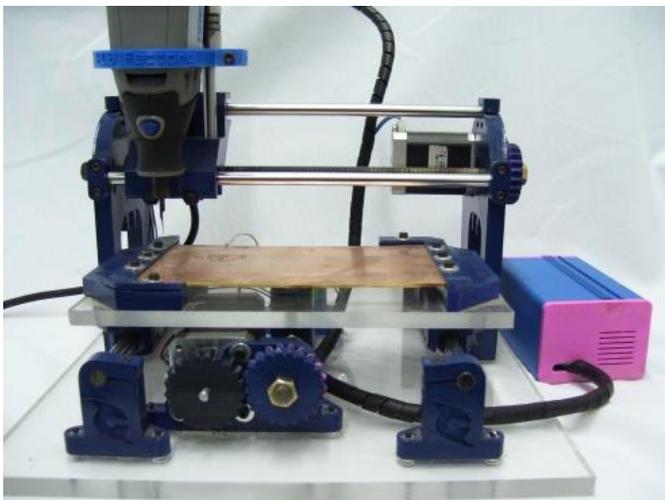


Figura 5: Fresadora CNC.

## - Sondas

Las sondas se encargan de explorar el material a ensayar, y constituyen un rol fundamental en el sistema de detección. Tener la maquina bobinadora permitió confeccionar diversas bobinas para luego analizar su comportamiento sobre los materiales ferromagnéticos. Las bobinas fueron devanadas sobre carretes de plástico ABS, impresos por una impresora 3D, figura 6. Las dimensiones y formas fueron diversas: a) una forma fue con carretes cilíndricos de diámetro 2 y 8 mm y de altura que van desde los 8 a 16 mm; b) También se fabricaron carretes rectangulares de dimensiones 20 mm x 20 mm x 8mm, con el objetivo de cambiar la interacción del campo magnético en el material.

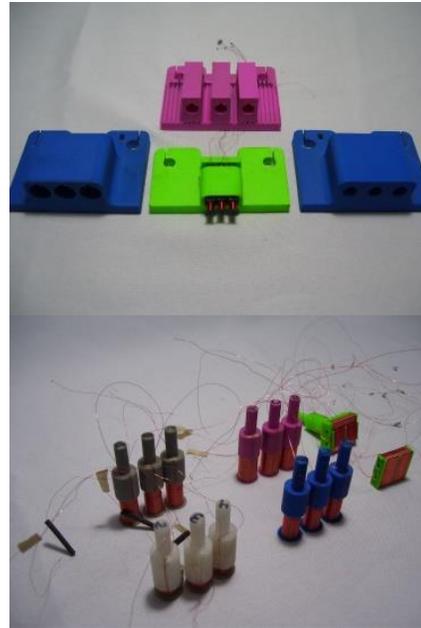


Figura 6: Sondas de CI para la técnica Emisor – Receptor en modo diferencial y soportes de bobinas

## - Diseño electrónico para la detección de las fisuras

Se diseñó un circuito electrónico capaz de detectar los defectos sobre los patrones construidos. El circuito electrónico está basado en un puente de CA, donde su salida es amplificada. Dado que se empleó la técnica emisor-receptor de campo cercano en modo diferencial, la electrónica necesita adecuar los niveles de corriente en la bobina excitadora, figura 7.

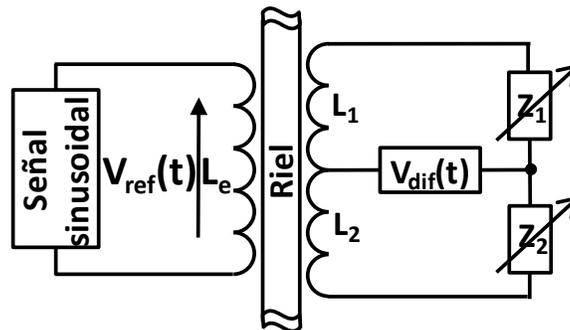


Figura 7: Puente de CA del equipo de CI. Técnica Emisor – Receptor en modo diferencial.

El circuito electrónico acondiciona las señales provenientes de las sondas para luego ser cuantificadas usando un conversor analógico-digital. Para extraer las características de las fisuras se utiliza un algoritmo denominado amplificador *lock-in*. La ejecución de la rutina de procesamiento de la señal, permite obtener una señal proporcional a las dimensiones de los defectos; aunque la componente frecuencial de interés este acompañadas de otras. El filtro que incorpora el amplificador *lock-in* es un pasa-bajo de respuesta al impulso infinita. Esta configuración que tiene lazos de realimentación haciendo que el tiempo de procesado sea menor con respecto a otros filtrados, figura 8.

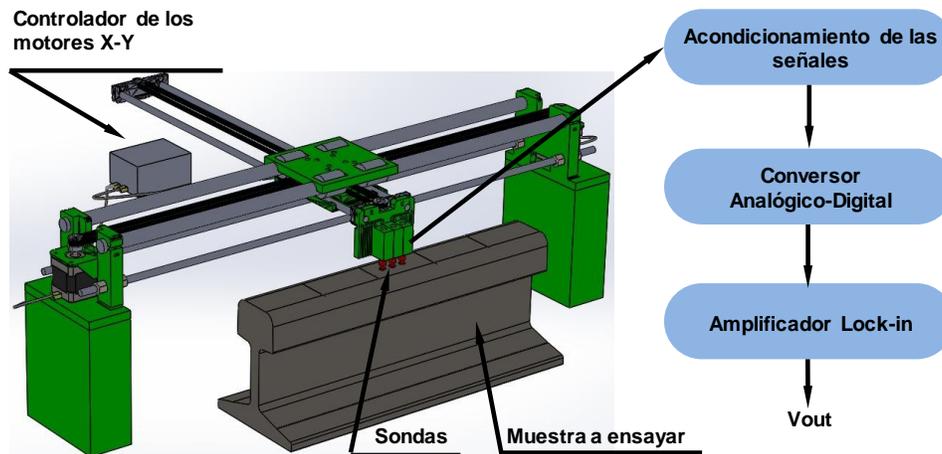


Figura 8: Configuración experimental para la inspección por CI.

## Nómina de bibliografía consultada

- [1] "A review on non-destructive evaluation of rails: state-of-the-art and future development" ; M. Ph. Papaalias, C. Roberts, and C. L. Davis, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 222, No. 4, July 2008, pages 367-384
- [2] "The important role of eddy current testing in railway track maintenance"; A. Dey, H. M. Thomas and R. Pohl; 17th World Conference on Nondestructive Testing, 25-28 October 2008, Shanghai, China.
- [3] "Mögliche Fehlerquellen und deren Einflüsse bei der Risstiefenbestimmung mit Wirbelstrom"; Pohl, R., Thomas, H. M., and Caspersen, R.; in Annual Conference DGZfP (ZfP in Forschung, Entwicklung und Anwendung). Munich. 18-20 May 2009.
- [4] "Inspección de rieles ferroviarios por ultrasonido"  
<http://www.aucofer.com.ar/index.php/servicios/ultrasonido-de-rieles>
- [5] "Advantage of a combined Ultrasonic and Eddy Current Examination for Railway Inspection Trains"; Hans-Martin THOMAS, Thomas HECKEL; 12th European Conference on Non-Destructive Testing, 25-29 September 2006, Berlin, Germany.

- [6] "High speed non-destructive rail testing with advanced ultrasound and eddy-current testing techniques"; Thomas Heckel, Hans-Martin Thomas, Marc Kreuzbruck y Sven Rühle, 2009. [http://www.ndt.net/article/Prague2009/ndtip/proceedings/Heckel\\_10.pdf](http://www.ndt.net/article/Prague2009/ndtip/proceedings/Heckel_10.pdf).
- [7] "Eddy Current Testing Technology"; Wright, M.; ISBN: 9780991709564; Eclipse Scientific; 2015.
- [8] "High-speed inspection of rails using ACFM techniques"; M. Ph. Papaelias, M. C. Lugg, C. Roberts, and C. L. Davis, , NDT & E International, Vol. 42, Issue 4, June 2009, pages 328-335. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2008.12.008>
- [9] "AC bridge methods for the measurement of three-terminal admittances"; A. M. Thompson; IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 13, Issue 4, Dec 1964, pages 187-197; <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.1964.4313403>
- [10] "Rail Inspection. The Eddy Current Solution"; commercial of Hocking NDT Ltd; [www.hocking.com](http://www.hocking.com).
- [11] <http://eddy-current.com/eddy-current-testing-of-heat-exchanger-tubes-is-not-quite-that-easy/>
- [12] "Eddy Current Rail Inspection Using AC Bridge Techniques"; Z. Liu, A. Koffman, B. Waltrip and Y. Wang; Journal of Research of the National Institute of Standard and Technology (2013) 118: 140-148; <http://dx.doi.org/10.6028/jres.118.007>.
- [13] "Eddy current test method for early detection of rolling contact fatigue (RCF) in rails"; Thomas, H.M., Dey, A. & Heyder, R.; Insight, 52, pp. 361– 365, 2010.
- [14] "Non-destructive techniques based on eddy current testing"; J Garcia-Martin, J. Gomez-Gil, and E. Vazquez-Sanchez; vol. 11; pp. 2525-2565; 2011.
- [15] "DSP based lock-in amplifier "; Robert George, Skillington, 2013.
- [16] "Introduction to the Theory of Neural Computation"; John Hertz, Anders Krogh, y Richard Palmer; Addison Wesley; 1991.