

Inspección de cuadros de mountain-bike

Matías Georgetti^{1,2}, Marta Ruch¹, Javier Fava¹

Comisión Nacional de Energía Atómica

¹UA Ensayos no Destructivos y Estructurales, ²Instituto de Tecnología Jorge Sabato
San Martín, Buenos Aires, B1650KNA, Argentina

(54) 11 6772-7739

Fax: (54) 11 6772-7233

giorgetti@cnea.gov.ar; ruch@cnea.gov.ar

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de sensores para corrientes inducidas para el ensayo de cuadros de bicicleta tipo mountain bike construidos con tubos de aleación Al-7005, con el objeto de poner a punto una técnica específica para ensayar estos cuadros en bicicletas de alta calidad, en distintas etapas de montaje y/o comercialización.

Se utilizó un equipo para corrientes inducidas basado en PC, bobinas planas montadas en soportes especialmente diseñados y, para la calibración, un tubo patrón con defectos artificiales.

Los cuadros ensayados habían sido descartados tras seis meses de uso (no se conoce la distancia recorrida) debido a la aparición de fisuras en el tubo de dirección donde se insertan stem y horquilla. Ambos tienen número de serie y uno de ellos, además, el sello de conformidad con la norma europea EN 14766.

En el examen visual previo a la aplicación del método de corrientes inducidas, se observó que uno de los cuadros presentaba una fisura en el tubo de dirección en la zona donde calza la horquilla, en una región de cambio de diámetro. El otro presenta varias fisuras en la zona donde calza el tubo de dirección (stem) y en una región entre dos cordones de soldadura donde calza el sillín. En la primera zona, se observa un cambio de diámetro, una parte cónica y dos cordones de soldadura.

Se presentan las indicaciones obtenidas con estos sensores y se las compara con las obtenidas con una bobina tipo palpador.

Palabras Claves: Bicicletas, corrientes inducidas, aluminio, sondas planas.

1. Introducción

En el año 2007 se tuvo la oportunidad de ensayar por corrientes inducidas un cuadro de bicicleta de montaña (“mountain bike”) que presentaba una fisura por fatiga en la zona del tubo de dirección donde se inserta el stem ⁽¹⁾. Esta fisura había aparecido luego de un tiempo de uso y, ante el reclamo presentado al vendedor por su dueño, el cuadro fue cambiado por el importador, quien a su vez otorgó garantía sobre el nuevo. Ambos cuadros estaban construidos con tubos de aluminio de aleación 7005. El nuevo lleva ya más de 4 años en uso.

Como no se trataba de un caso aislado, se propuso estudiar otros cuadros de Mountain Bike que presentaran el mismo tipo de fisuración por fatiga, y, hasta el momento, se ensayaron otros dos, de otras dos marcas diferentes, también de aluminio 7005, usados, que habían sido descartados debido a la aparición de fisuras en el tubo de dirección del cuadro, donde se insertan stem y horquilla.

El presente trabajo es parte del desarrollo de técnicas no destructivas para el estudio de cuadros de bicicleta de montaña, cuyo objetivo último es proponer una técnica para la inspección de cuadros de bicicletas de alta calidad, en distintas etapas de montaje, comercialización o uso.

1.1. Normativa

Los requisitos de seguridad que la Unión Europea aplica a este tipo de bicicletas están reunidos en la Norma EN 14766 ⁽²⁾, que especifica los métodos de ensayo y los requisitos de seguridad y prestaciones a observar durante el diseño, el montaje y los ensayos de estas bicicletas.

Existen cuatro normas europeas que contemplan la totalidad de los diferentes tipos de bicicletas:

EN 14764: Bicicletas de Paseo. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.

EN 14765: Bicicletas de Niños. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.

EN 14766: Bicicletas de Montaña. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.

EN 14781: Bicicletas de Carrera. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.

Por su parte, Argentina tiene dos normas:

IRAM 40020: Bicicletas de Paseo. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.

NM 301: Bicicletas de Niños. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo.

1.2. Aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio más utilizadas para la fabricación de cuadros de bicicleta, son la 6061 y la 7005. Algunos componentes (manillares, plato palanca) suelen ser de aluminio 7075. El aluminio 6061 tiene como principales aleantes el Mg (0,8 a 1,2%) y el Si (0,4 a 0,8%). El 7005 tiene como principales aleantes el Zn (4,0 a 5,0 %) y el Mg (1,0 a 1,8%). Ambas tienen como aleantes minoritarios Si, Fe, Cu, Mn, Cr y Ti; el 7005 tiene además Zr ⁽³⁾. Ambas son tratables térmicamente, en general, para aumentar la dureza y la resistencia mecánica. Los tratamientos más comunes son solubilización y envejecimiento. Después de la soldadura, mediante estos tratamientos se busca recuperar las propiedades perdidas anteriormente, ya que en la zona afectada por el calor (ZAC), la resistencia a la tracción puede verse reducida cuando hay un exceso de calor de soldadura.

Para los casos en estudio, el tratamiento más utilizado es el de solubilizado y envejecido artificialmente, T6 ⁽⁴⁾. Es necesario considerar las propiedades mecánicas de la estructura en su conjunto, que están definidas no sólo por los materiales sino también por el diseño y el perfil de los tubos que se usan para confeccionar los cuadros.

1.3. Materiales y antecedentes

Para el trabajo en laboratorio se utilizaron dos cuadros de aleación 7005, que denominamos “cuadro 2” y “cuadro 3”. El “cuadro 2” es de aleación 7005 O8, fue fabricado por la técnica de hidroformado y tiene el sello de conformidad con la norma EN 14766. Los tubos que conforman el “triángulo delantero” no son de sección circular. Presenta varias fisuras en el tubo de dirección, en las zonas donde calzan la horquilla y el stem (Figura 1), donde se observa un cambio de diámetro. El “cuadro 3” es de tubo de aluminio 7005 y no tiene el sello de conformidad con la norma EN 14766. Presenta varias fisuras en la zona donde calza el stem (Figura 2a) y en una región entre dos cordones de soldadura donde calza el sillín (Figura 2b). En la primera región con fisuras, se observa un cambio de diámetro, una parte cónica y cercanía con cordones de soldadura. En un trabajo anterior ⁽⁵⁾, se presentaron resultados de ensayos de corrientes inducidas efectuados con un equipo para CI modelo MAD8D de la firma Eddy Current Technology, Inc, de Richmond, Virginia, con una bobina tipo palpador de Zetec, posicionada manualmente sobre las zonas anteriormente citadas. En este trabajo se presenta el desarrollo de sensores y dispositivos de posicionamiento especiales para los ensayos, y las señales obtenidas con algunos de ellos en el ensayo del cuadro 3, con el equipo MAD8D.

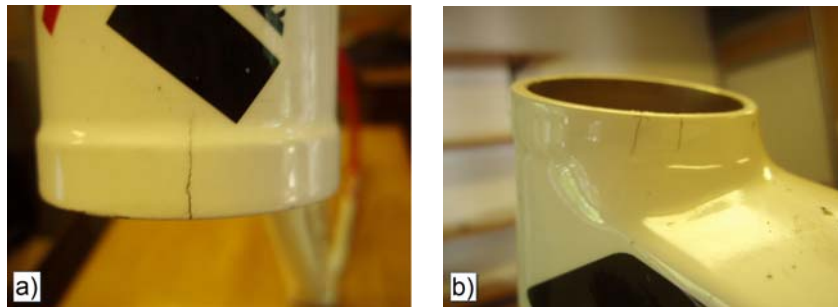


Figura 1. Fisuras en el tubo frontal del cuadro 2. a) parte inferior, b) parte superior.

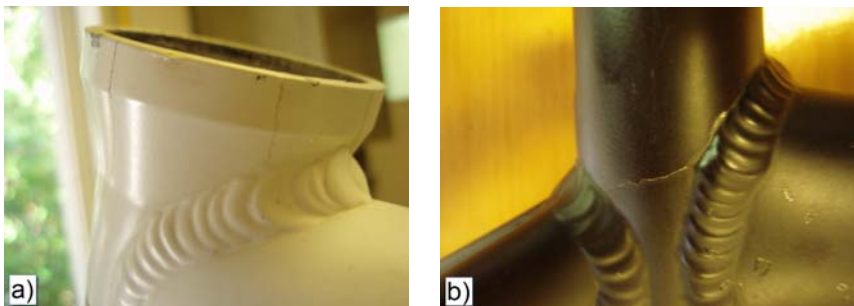


Figura 2. Cuadro 3. a) Zona del tubo frontal donde calza el stem. b) Zona del tubo soporte del sillín

2. Fabricación de cuadros de bicicleta

Los cuadros de aluminio para bicicleta utilizan tubos de perfiles no uniformes, como se puede ver en la Figura 3, que es un corte de uno de esos cuadros. Este diseño particular permite obtener propiedades mecánicas adecuadas minimizando la cantidad de material (y por lo tanto el peso del cuadro) y asegurando el confort del ciclista. Para lograr estas características geométricas y mecánicas especiales, se somete a los tubos extrudidos al proceso de hidroformado, y luego se los corta y se procede a soldarlos, para construir el cuadro. La zona a estudiar se denomina tubo de dirección, en inglés “head tube” ⁽⁶⁾.



Figura 3. Corte de un cuadro de bicicleta. Se aprecia la diferencia de sección y de espesor de pared en los diversos tubos que conforman el cuadro.

2.1 Extrusión de tubos de aluminio

Los tubos de partida se obtienen mediante extrusión, derivando en un tubo de aluminio sin costura, “seamless”. Para este proceso se emplea una matriz tubular del tipo puente o “porthole”, como la que se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Matriz tubular de tipo puente

Al comenzar el proceso el material se separa en la dirección axial, para luego soldarse por acción de la presión y la temperatura justo cuando ingresa al agujero de la matriz que le da forma definitiva al perfil. Hay una gran cantidad de variables que van a definir la calidad del perfil extrudido. La misma va a estar delimitada por el conformado de cada parte y el posterior ensamblado, tales como el macho, matriz, backer (respaldo), etc, elementos que se muestran en la Figura 5.

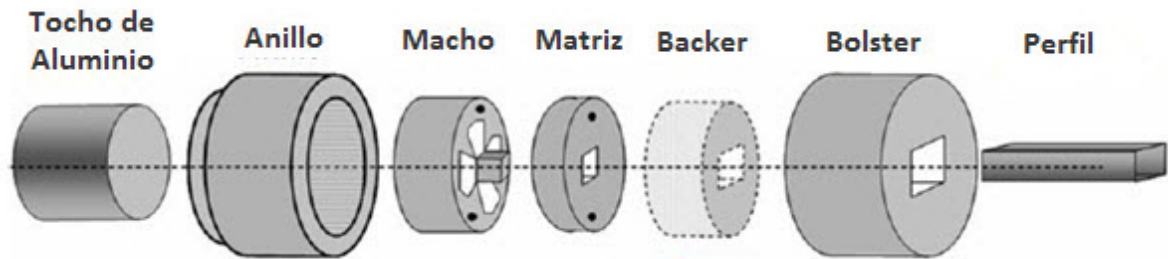


Figura 5. Elementos de un tren de extrusión

Las partes del tren de extrusión son:

- i) El macho, que es el encargado de generar las condiciones internas del perfil. Tiene dos o más puertos. El tocho de aluminio se separa en cada puerto y se unifica en la cámara de soldadura, “welding chamber”. Los puertos están separados por los brazos, que apoyan la base o sección del macho, como se muestra en la Figura 6.
- ii) La matriz, que es la que define las características externas del perfil y se encuentra ensamblada con el macho.
- iii) El respaldo, “backer”, que cumple la función de apoyo del herramental y está adyacente con el lado de salida de la matriz.

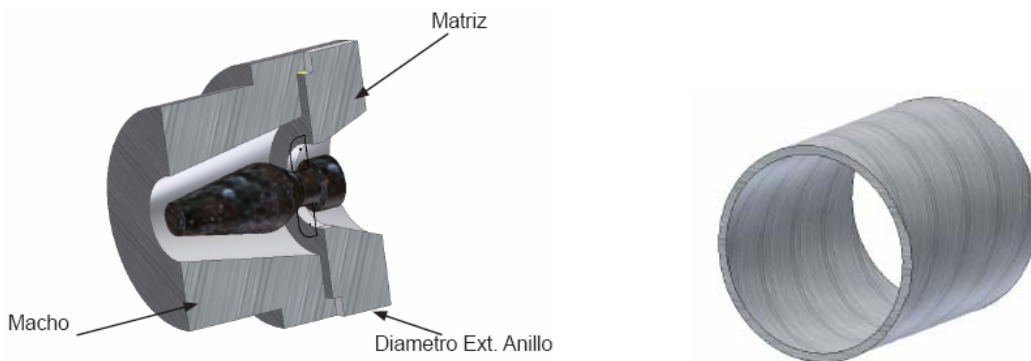


Figura 6. Matriz tubular y perfil tubular

Periódicamente deben realizarse controles para prevenir el mal funcionamiento de la extrusora, lo cual ocasiona defectos en el perfil. En general se recomienda inspeccionar la presencia de fisuras en los brazos a cámaras de soldadura del macho de la matriz y verificar la alineación de todo el sistema.

2.2. Hidroformado: Aplicación para cuadros de bicicletas

La técnica de hidroformado permite conformar una pieza, mediante la utilización de un fluido a presión. La función del fluido es darle la forma deseada, que se va a obtener de la matriz correspondiente. El proceso se ilustra en la figura 7.

Este proceso es muy utilizado para obtener formas complejas en componentes tubulares. Los rangos más usuales en cuanto a dimensiones son de 1 a 3 m de largo y de 25 a 150 mm de diámetro.

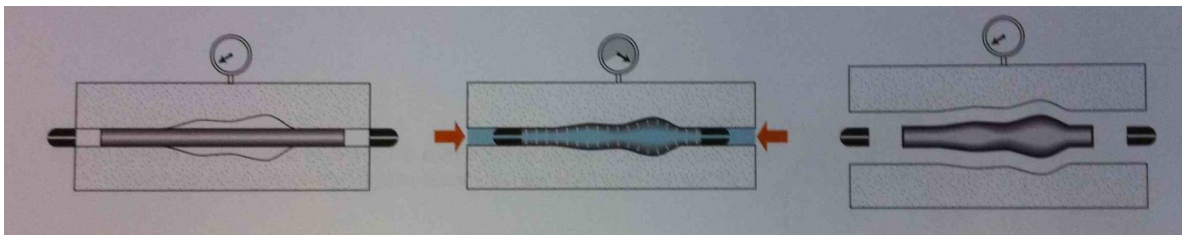


Figura 7. Técnica de hidroformado

Al construir bicicletas con cuadros de aluminio, se busca que sean más livianos que los de acero y con propiedades mecánicas similares. Estas prestaciones no se pueden lograr usando tubos de sección uniforme resistente. Para lograr secciones elípticas o triangulares y espesores de pared variable mediante estampado o prensado del material, se crean puntos críticos, que suelen no ser detectados a primera vista. Por ejemplo, en los bordes o en las caras redondeadas, se presentan puntos de concentración de tensiones, debido a que en el inicio del proceso, la distribución de presión no es uniforme. El proceso de hidroformado, durante el cual el fluido es introducido a alta presión dentro de la matriz de manera uniforme, permite la obtención de tubos con formas complejas y de espesor variable, logrando así las mejores prestaciones para el aluminio.

Luego estos procesos pueden ser combinados con tratamientos térmicos para aumentar las propiedades mecánicas, tales como resistencia y rigidez. Presentan un excelente acabado superficial, el cual permite ser pintado fácilmente o adherirle el recubrimiento deseado. El resultado es un cuadro liviano y resistente ⁽⁵⁾.

Para el armado del cuadro, los fabricantes de tubos hidroformados dan instrucciones muy precisas en cuanto a manipulación, limpieza, sujeción y proceso de soldadura, de manera de que no se deterioren las propiedades de los tubos. El proceso más importante es la alineación del cuadro, el cual es pos soldadura.

2.3. Las zonas a estudiar

En los cuadros de bicicleta estudiados, se vio fisuración en el tubo de dirección y en la inserción del sillín. Ambos están contruidos con trozos de tubo de sección cilíndrica y están soldados a la armadura del cuadro. El tubo de dirección, ver Figura 8, presenta emboquillados en ambos extremos.



Figura 8. Ejemplo de tubo de dirección

Allí se insertan el stem y la horquilla, que deben estar bien centrados y recibir la tensión adecuada para una buena sujeción “sin juego” y un óptimo funcionamiento.

3. Ensayos no destructivos

Para el estudio no destructivo de estos cuadros se usó el método de corrientes inducidas, con un equipo modelo MAD8D de la firma Eddy Current Technology, Inc. de Richmond, Virginia. Para la calibración se utilizó un bloque patrón de fisuras superficiales, modelo Zetec 950-9100, de aluminio 7075-T6, con tres ranuras de una apertura de 0,006" (0,154 mm) y profundidades 0,008" (0,203 mm), 0,020" (0,508 mm), 0,040" (1,016 mm) respectivamente (Figura 9). Se probaron diferentes sensores: una bobina Zetec para uso manual para 50 a 500 kHz (Figura 10), bobinas planas desarrolladas en nuestro laboratorio y bobinas tipo panqueque, similares a la Zetec, pero construidas en el laboratorio. Para asegurar el correcto acople entre los sensores y el material durante la inspección de toda la circunferencia, se desarrolló un dispositivo especial, para montar y desplazar los sensores.



Figura 9. Bloque de calibración



Figura 10. Palpador Zetec 50 a 500 kHz

3.1. Sensores

De las ocho bobinas planas que aparecen en el circuito impreso de la Figura 11 (sus medidas son 100 x 50 mm), se utilizaron las señaladas con los números 1 a 3. Estas bobinas se recortaron y se pegaron sobre soportes especiales, a los que se dio la curvatura adecuada a la pared del tubo a inspeccionar, tanto interna como externa (Figura 12). Estas bobinas tienen alta sensibilidad y la gran ventaja de ser flexibles. De las tres utilizadas, solo se obtuvieron indicaciones consistentes con la bobina 1.

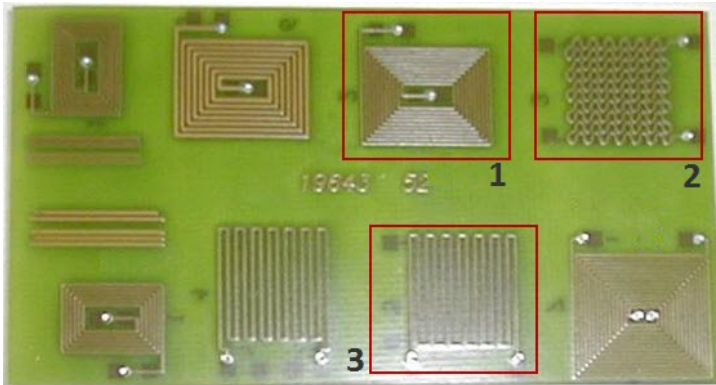


Figura 11. Plantilla de bobinas planas

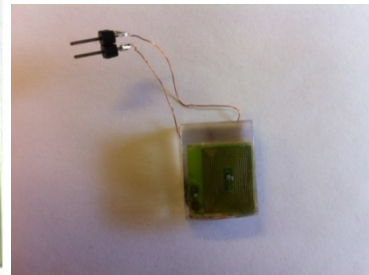


Figura 12. Sonda utilizada

Se utilizaron también unas bobinas tipo panqueque (pancake coils) como la que se muestra en la Figura 13. Fueron diseñadas y construidas en el laboratorio. A su vez se le realizó una modificación al dispositivo para poder sujetarlas.

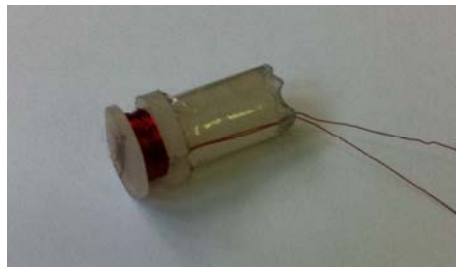


Figura 13. Sonda tipo panqueque (pancake coil)

3.2. Diseño y construcción del dispositivo de ensayo

Para sostener los sensores, se diseñó un dispositivo que pudiera ser colocado dentro del tubo de dirección y que permitiera recorrer toda la circunferencia del tubo, asegurando una separación uniforme entre el sensor y la superficie a inspeccionar, que se muestra en la figura 14. En la Figura 14a se puede observar el dispositivo colocado dentro del tubo de dirección. En la Figura 14b se muestra el soporte para la bobina externa, que se usa como referencia, sobre el extremo opuesto del tubo de dirección. La Figura 14c muestra el dispositivo con los sensores para medir sobre la cara interna del tubo. Una vez ubicado, todo el conjunto puede ser rotado en forma manual dentro del tubo de dirección, mientras se registran las señales.

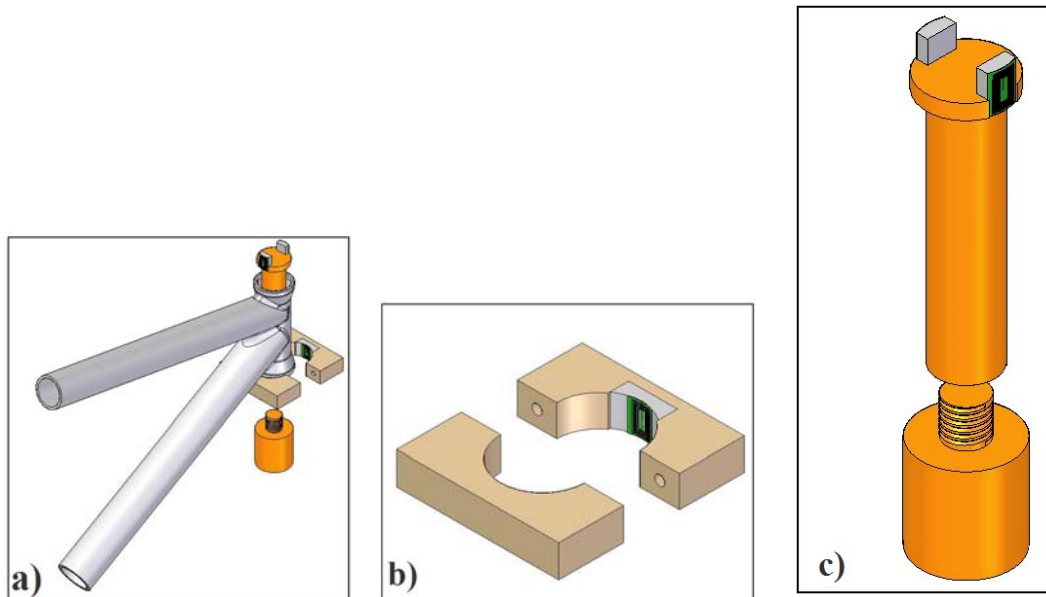


Figura 14. Dispositivo de ensayo: a) montado en el tubo de dirección; b) Soporte externo y bobina de referencia; c) soporte interno y bobina de medición

En la Figura 15 se presentan fotos del dispositivo montado en el tubo de dirección, con las dos bobinas diferentes. Se puede observar el buen acople logrado.

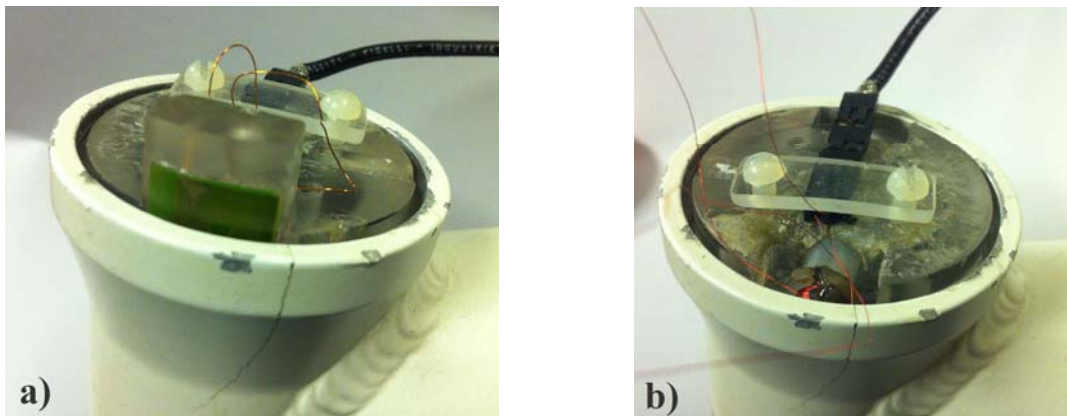


Figura 15. Dispositivos de ensayo montados. a) bobina plana montado en el tubo de dirección; b) bobina palpador montado en el tubo de dirección.

3.3. Resultados

Los ensayos con las bobinas planas y las bobinas tipo palpador se hicieron a frecuencias de 90; 100; 180 y 200 kHz. Se realizaron mediciones con las bobinas planas y con las bobinas tipo palpador, sobre los defectos indicados en la figura 16.

Las fisuras en la zona del tubo de dirección (1, 2 y 3) tienen aspecto de deberse a fatiga.

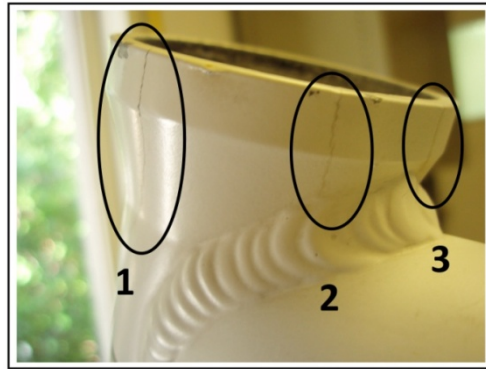


Figura 16. Cuadro 3, tubo de dirección fisurado.

En la figura 17 se muestran las indicaciones obtenidas con la bobinas planas y en la figura 18 las obtenidas con el palpador.

Se observa una diferencia de apertura entre ambas mediciones. La señal de la fisura 1, medida con la bobina plana, es muy delgada y limpia. La señal de la fisura 2, se comienza a detectar sobre el inicio del cordón de soldadura y finalmente la fisura 3, ya se encuentra afectada por el cordón de soldadura (ZAC: zona afectada por el calor).

El corrimiento entre el principio de la primera indicación y el final de la tercera, puede deberse a algún problema del acople o a que todavía el sensor, se encuentra bajo la zona afectada por el calor.

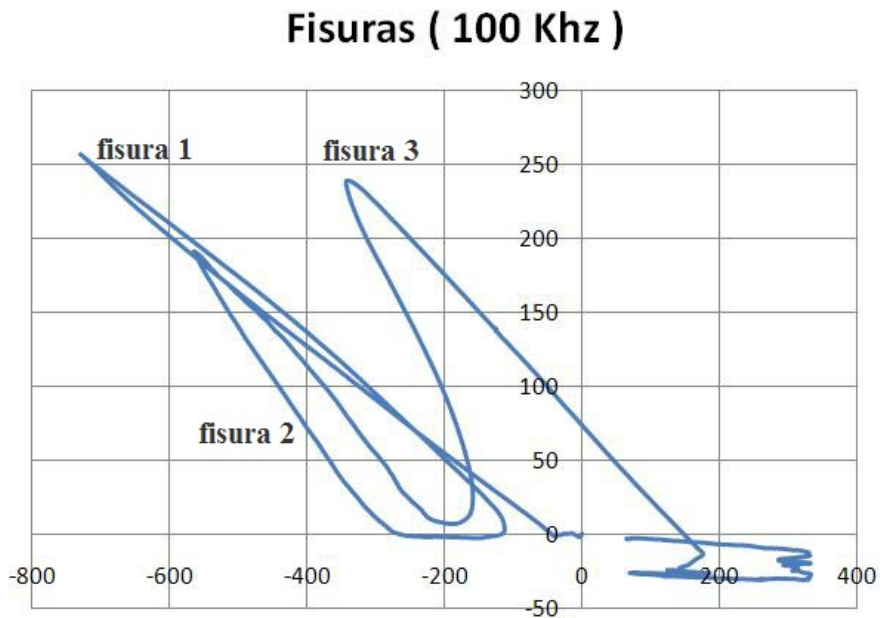


Figura 17. Indicaciones de CI de las fisuras con bobinas planas.

Fisuras (100 Khz)

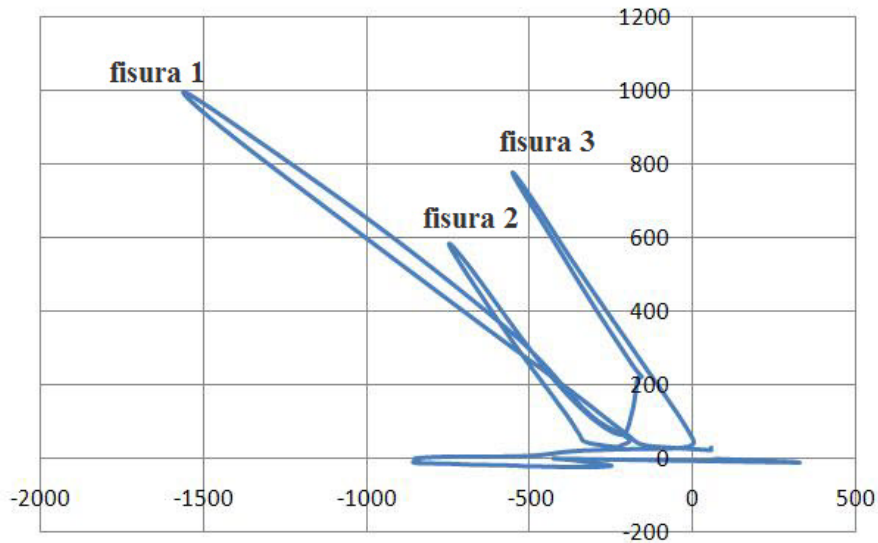


Figura 18. Indicaciones de CI de las fisuras con bobinas tipo palpador.

La diferencia de ángulos entre la primera fisura en comparación con las fisuras 2 y 3, puede deberse a la cercanía del cordón de soldadura de las dos últimas.

El corrimiento entre inicio y fin de las mediciones obtenidas con las bobinas planas, es mayor aun, debido a la mayor sensibilidad al lift off que presentan estas bobinas en comparación con las bobinas palpador.

5. Conclusiones

La calidad de las señales encontradas indica que es posible inspeccionar cuadros de bicicleta en aleaciones de aluminio por el método no destructivo de corrientes inducidas.

Las señales obtenidas con ambos tipos de sensores son similares.

Sería interesante estudiar las causas de esta fisuración temprana de los cuadros de aluminio 7005.

La Norma EN 14764 exige la realización de líquidos penetrantes para detectar defectos en el material. La idea de utilizar CI consiste en permitir detectar fisuras incipientes.

El dispositivo diseñado es adaptable para la muestra seleccionada, sería interesante poder realizar un dispositivo más versátil, que pueda adaptarse a distintas muestras.

Agradecimientos

A la Comisión Nacional de Energía Atómica y al Instituto Sábato, por darnos la oportunidad de desarrollar esta futura Tesis de Maestría; a Santiago y a Pablo por suministrarnos los cuadros dañados e impulsar este trabajo

Referencias

1. M. Ruch, “Estudios no destructivos de fisuras en cuadros de bicicleta”. Informe interno ENDE – CNEA, IN-13-E-070-IM/10, 2010.
2. UNE-EN-AENOR 14766 “Bicicletas de montaña: Requisitos de seguridad - Métodos de ensayo”- Octubre 2006.
3. Registration Record of international alloy designations and chemical composition limits for wrought aluminum and wrought aluminum alloys. (The Aluminum Association)
4. M. Glassel. Tratamientos térmicos de aleaciones de aluminio. Aluvi – Mayo 2001
5. M. Ruch, M. Giorgetti, “Fisuras en cuadros de Mountain bike. Ensayos no destructivos”, TALMA 2011, La Plata, Mayo 2011.
6. Easton Technology Reports. R/D 1, Aluminum alloys; R/D 11, Tube shapes.
7. V.S. Cecco, G. Van Drunnen y F.I. Sharp. Manual de ensayos por corrientes inducidas. Atomic Energy of Canada, Limited, (1981).