

ANÁLISIS DE FRACTURA DE BULONES DE TRUNNION PIN DE TURBINA DE GAS DE UNA GENERADORA TERMOELÉCTRICA

P.F. Bonvicini Menéndez, J.M. Echarri, C.L. Llorente, P.D. Bilmes, J.A. Martínez.

Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Facultad de Ingeniería UNLP, calle 1 y 47, B1900TAG, La Plata, Argentina.

*Correo Electrónico (autor de contacto): pablo.bonvicini@ing.unlp.edu.ar

El trabajo consiste en realizar el análisis de fractura y la caracterización del material de dos bulones que fallaron en servicio en el soporte de una turbina de gas pertenecientes a una central de generación termoeléctrica. Para ello se plantea la realización del análisis fractográfico y la caracterización microestructural mediante microscopía óptica y electrónica de barrido analítica, como así también la caracterización de las propiedades mecánicas y composición química del material. A partir de los análisis realizados se considera que las fracturas de los dos bulones ocurrieron por un mecanismo de corrosión-fatiga, a causa de un ataque corrosivo por oxígeno en solución acuosa salina. Los bulones analizados se corresponden con aceros de medio carbono al Mo del tipo de los especificados SAE J429, cumpliendo con el grado 8.

Palabras Clave: Fractura, Bulones, Corrosión-Fatiga

INTRODUCCIÓN

Los bulones de alta resistencia se usan ampliamente en ingeniería para todo tipo de uniones mecánicas. Las conexiones con pernos de alta resistencia son comunes en el montaje de estructuras de acero y muchas veces, en servicio, se encuentran sometidos a vibraciones o condiciones de carga cíclicas, dilatación de componentes en unión, jugando un rol fundamental en la transmisión de esfuerzos entre partes solidarias, en la integridad del componente y en el desempeño del conjunto o maquinaria.

De la inspección de bulones de soporte de una turbina de gas (TG) se detecta la rotura de 4 de estos en el soporte izquierdo identificado como *Trunnion Pin (pasador de muñon)*, que es la pieza que vincula el anillo de carcasa de turbina del lado posterior y el pilar soporte. Esta pieza le permite el movimiento por dilatación de la carcasa de TG y soporta la carga vertical.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Sobre los bulones fracturados en servicio se realizaron los siguientes estudios:

- Análisis químico, mediante espectroscopía de emisión óptica (OES)
- Caracterización microestructural mediante microscopía óptica (MO).
- Inspección visual y análisis macrográficos sobre los elementos recibidos.
- Análisis fractográfico mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis químico elemental sobre los productos de corrosión encontrados, mediante espectroscopía dispersiva en energías (EDS).
- Ensayo de dureza Rockwell

Caracterización química, microestructural y propiedades mecánicas

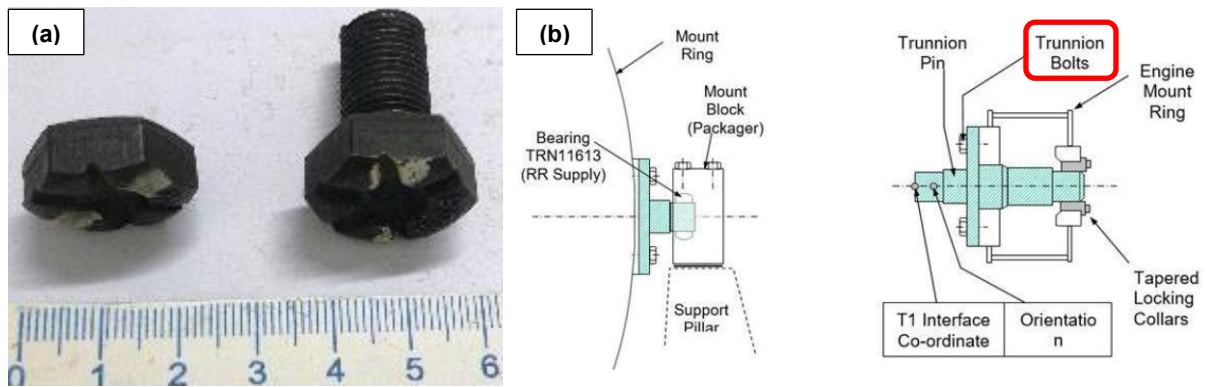


Figura 1 (a) Fotografías de recepción de los bulones (izq.) fractura en cambio de sección cabeza-vástago (CF) (der.) fractura en rosca (BF). (b) Detalle de soporte posterior de TG y montaje de todas las piezas. Los bulones analizados son los indicados como **Trunnion Bolts**

En la Tabla 1 se presenta el análisis químico elemental del material correspondiente a los dos bulones ensayados. Se corresponden con aceros de medio carbono al Mo comprendido dentro de la norma SAE J429, Gr 8.

Tabla 1 Análisis químico elemental por OES de las muestras ensayadas (%wt.)

Id.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Fe
BF	0,41	0,24	0,84	0,025	0,010	0,09	0,23	0,06	Bal.
CF	0,42	0,25	0,87	0,026	0,010	0,09	0,24	0,06	Bal.
SAE J 429 Gr. 8	0,28- 0,55			0,04 max	0,045 max				

(Espectrómetro marca Oxford Instruments, 2013– Germany)

En la figura 2 se presentan micrografías ópticas de la microestructura representativa de cada bulón. La microestructura observada se compone de martensita revenida, típica de un acero de baja aleación para esta clase de componente.

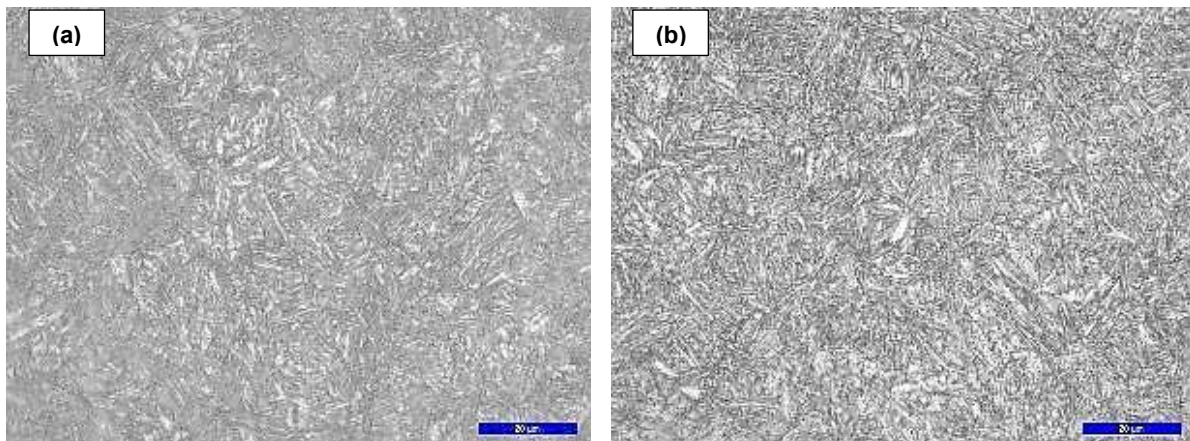


Figura 2 Metalografía longitudinal (a) BF (b) CF. Micrografía óptica de campo claro. 1000x (regla 20 μm). Reactivo de ataque Nital 2%

En la **Tabla 2** se presentan los resultados del ensayo de durezas Rockwell C (promedios de cinco determinaciones). Los mismos cumplen con lo especificado en SAE J429 Gr. 8 para los grados correspondientes a los bulones especificados.

Tabla 2 Valores de Dureza Rockwell C para los bulones ensayados

Id.	BF	CF	SAE J429 Gr.8
HRC ¹	35	35	32-38

(¹Durómetro BSG DL 171)

Los resultados hallados en términos de microestructura y composición química se encuentran en concordancia con los valores de propiedades mecánicas para el tipo de componente analizado.

Análisis fractográfico

En la Figura 3-a y c se muestra la superficie de fractura del Bulón BF. Se observan múltiples inicios de fisuración por fatiga (marcas *Ratchet Marks*-RM tipo pliegues, indicadas con flechas rojas) en la raíz del filete de la rosca a lo largo de la periferia, con presencia de restos de productos de corrosión. En la Figura 3-b y d se muestra la superficie de fractura de la cabeza de bulón CF. Se evidencia una zona relativamente lisa que se considera asociada al inicio de fractura (en amarillo sobre Figura 3-b), con presencia de sitios de iniciación de fisuración por fatiga (RM, indicado con flechas rojas en Figura 3-d) y restos de productos de corrosión. Las fractografías MEB (Figura 5) sobre la zona lisa de ambos bulones evidencia la presencia de estrías en la superficie, asociadas a la propagación de fisuras por fatiga.

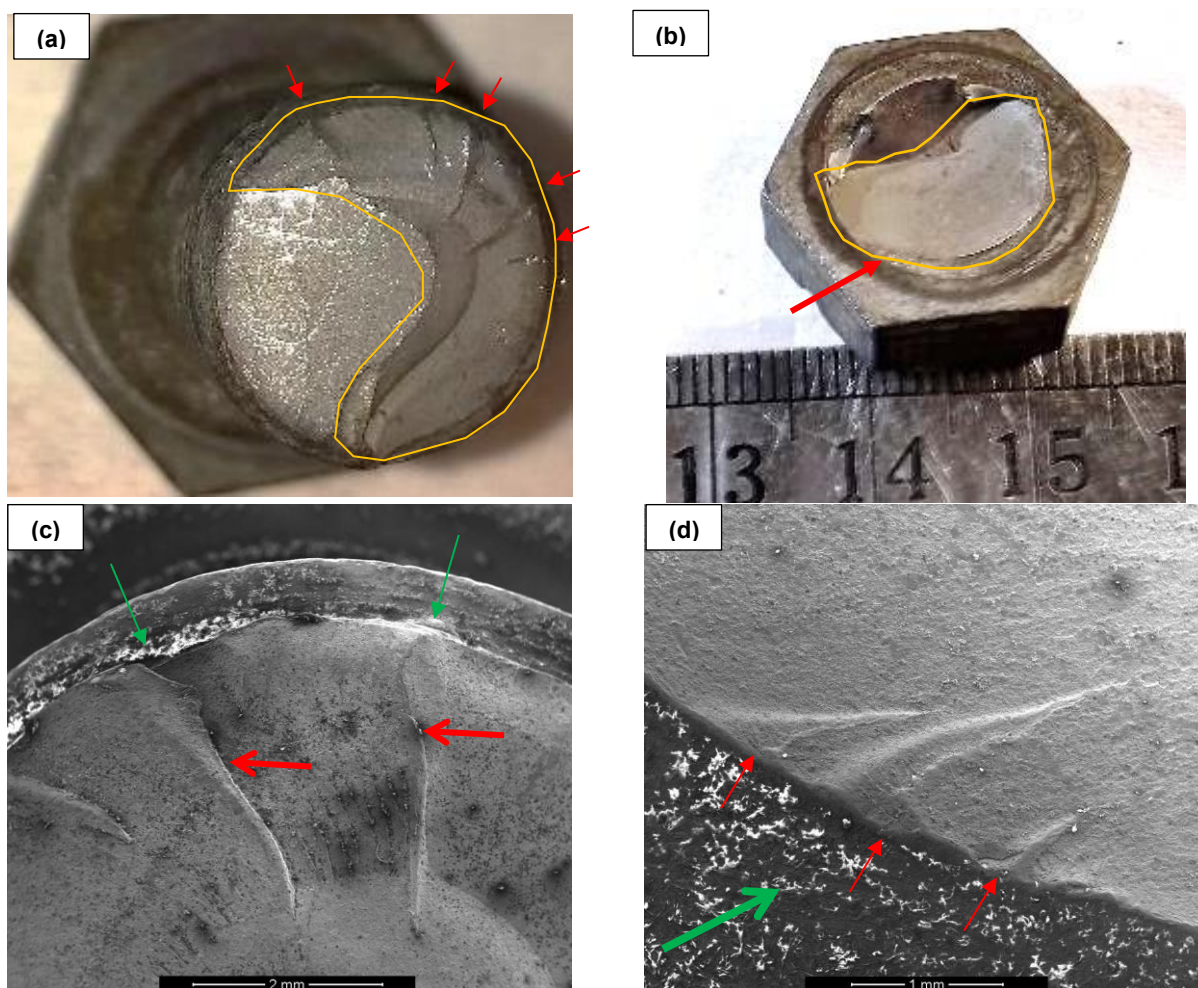


Figura 3 Fotografías de la superficie de fractura (a) BF (b) CF. Fractografías MEB: (c) mostrando los restos de productos de corrosión en las zonas de inicio de fatiga (color blanco en la figura, flechas verdes) y las RM (flechas rojas); (d) de la zona indicada por flecha roja en figura (b) donde se aprecian restos de productos de corrosión (blancos en la figura, flecha verde) y donde se señalan con flechas rojas las *Ratchet Marks* (montículos como pliegues) de iniciación de fisuración por fatiga.

Analizando a mayores aumentos mediante MEB en el bulón BF, sobre las zonas de inicio de fisuras donde están las RM, se encuentra que la raíz del filete tiene numerosos pits de corrosión (Figura 4-a) desde donde nuclearon las RM de fatiga. El análisis de la zona periférica al inicio sobre el bulón CF (Figura 3-d) revela que el radio de acuerdo y asiento de la cabeza tiene gran cantidad pits de corrosión y presencia de fisuras (*típico de daño por corrosión-fatiga*), Figura 4-b. Se observa como este mecanismo de corrosión por picado produjo por efecto de concentración de tensiones, Ratchet Marks-RMs de inicio de fractura por fatiga en la periferia del filete-cabeza del bulón (indicado con flechas rojas en la Figura 4-b).

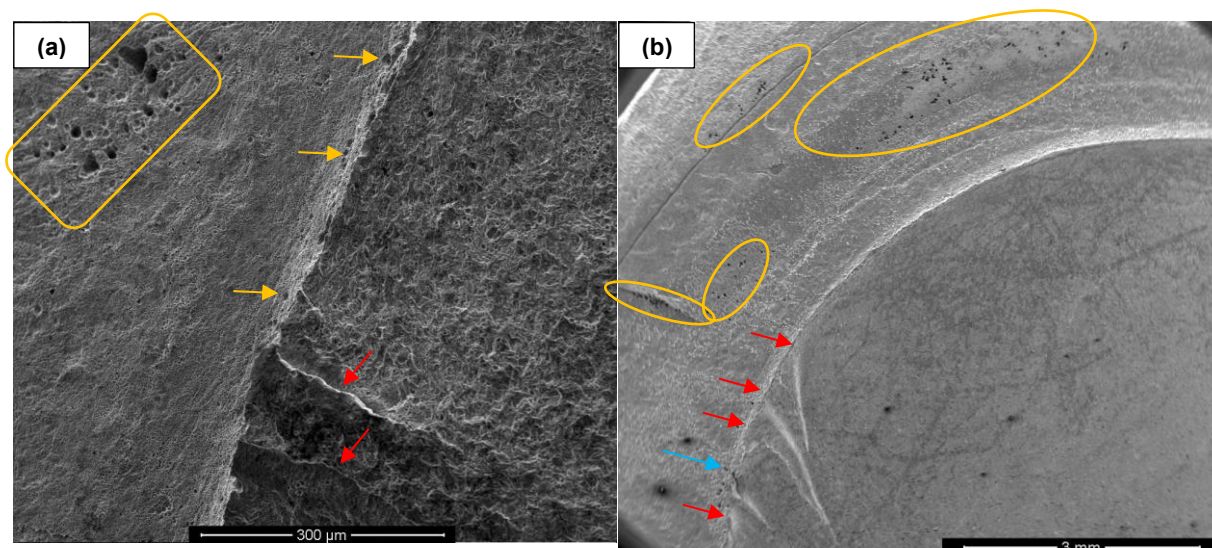


Figura 4 Fractografías MEB (a) 400x, superficie raíz de filete de bulón BF, donde se pone en evidencia la presencia de pits de corrosión (flechas y recuadros amarillos), asociados a la presencia de Ratchet Marks (flechas rojas) de iniciación de fisuración por fatiga (b) 40x de bulón CF. Se evidencia la presencia de numerosos pits de corrosión (elipses amarillas), sobre todo alrededor de las marcas de inicio de fatiga RMs (en rojo en la figura), junto con presencia de fisura de fatiga (flecha celeste).

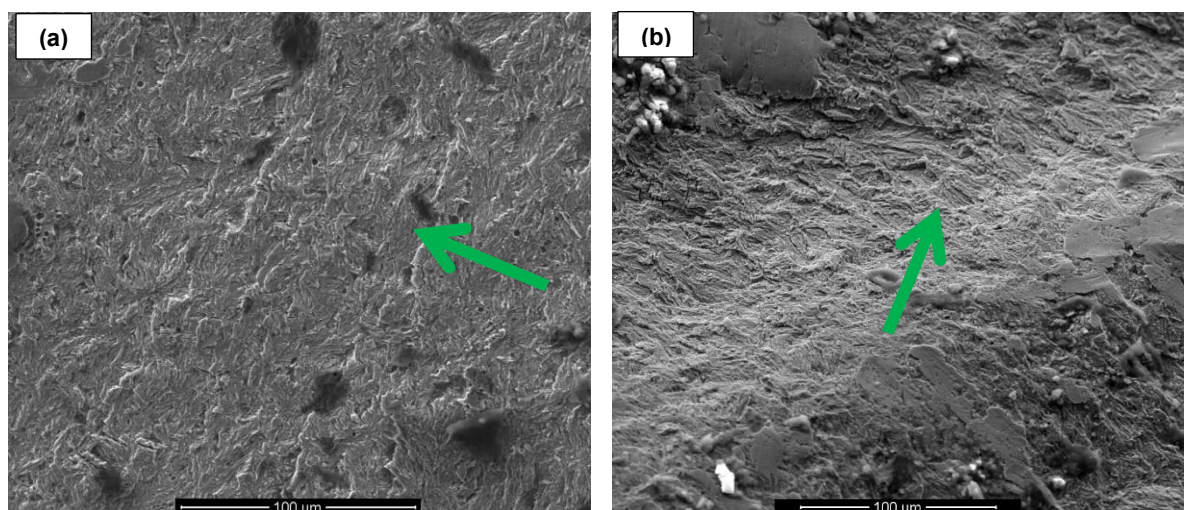


Figura 5 Fractografía MEB 1000x (a) BF y (b) CF, donde se observan numerosas estriaciones de fatiga sobre la superficie de fractura (asociadas al avance del frente de fractura).

El análisis de los productos de corrosión de ambos bulones reveló presencia mayoritaria de O-Fe y trazas de elementos asociados a sales (Cl, Na, S, K, Ca), ver espectros Figura 6; lo cual permite inferir la acción de una corrosión por oxígeno en solución acuosa salina.

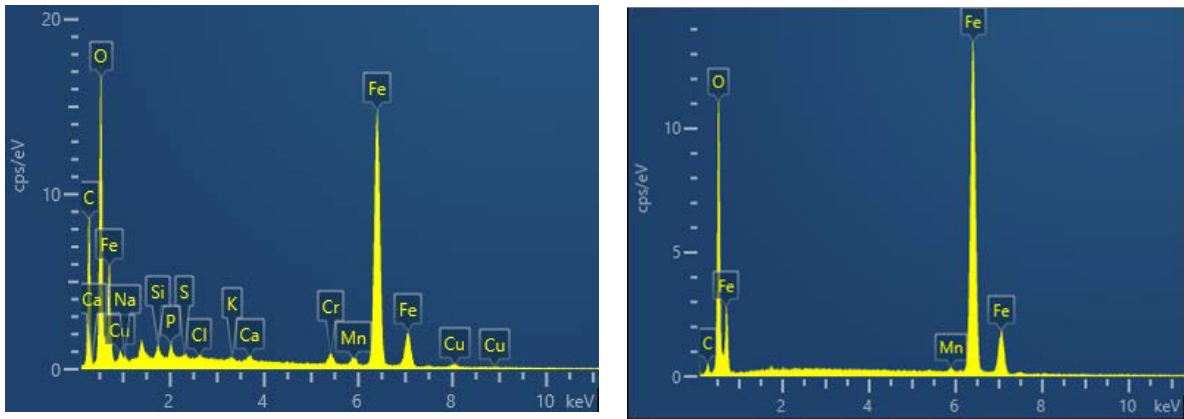


Figura 6 Espectros EDS sobre productos de corrosión.

Las metalografías próximas a la superficie de fractura y en los filetes de la rosca de ambos bulones (Figura 7 y Figura 8) dan cuenta de la presencia de pits de corrosión y fisuras. No se observa decarburación superficial. Las morfologías de las fisuras, con presencia de productos de corrosión, evidencian el mecanismo de *corrosión-fatiga* que dio lugar a su fractura: el medio ambiente agresivo-corrosivo produce corrosión localizada en forma de pits de corrosión sobre el acero, estos concentran tensiones y nuclean fisuras de fatiga que luego propagan conectándose a través de los pits en los flancos de las roscas. Luego, un frente de fractura de fatiga transversal a la sección de los bulones progresa hasta alcanzar el tamaño crítico de fisura; y finalmente ocurre la rotura final por corte por sobrecarga. Cabe destacar que las fisuras son casi rectas, continuas, sin ramificaciones y con presencia de productos de corrosión (*característica típica de la corrosión-fatiga*).

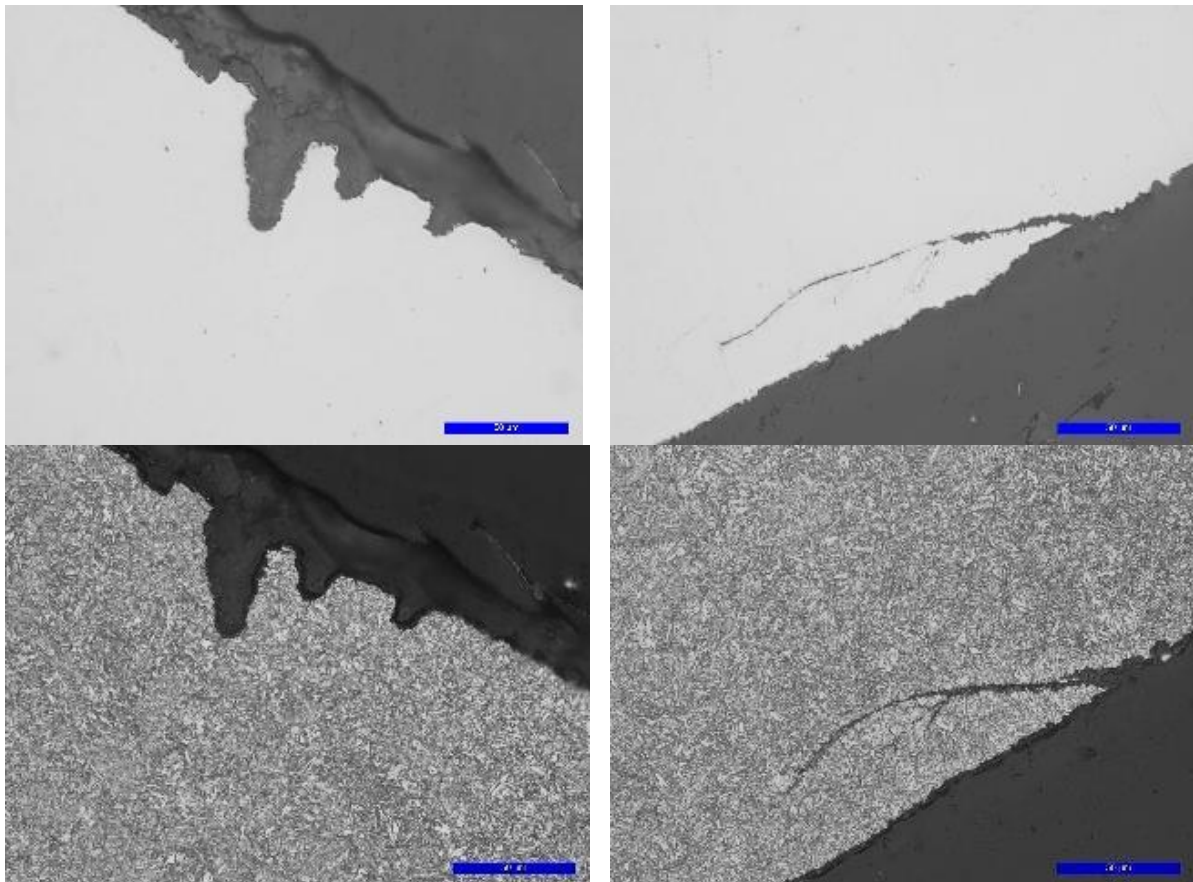


Figura 7 Metalografía longitudinal sin y con ataque sobre la cresta de los filetes de la rosa; BF (500x). Detalle de presencia de pits de corrosión y fisura (con productos de corrosión en su interior).

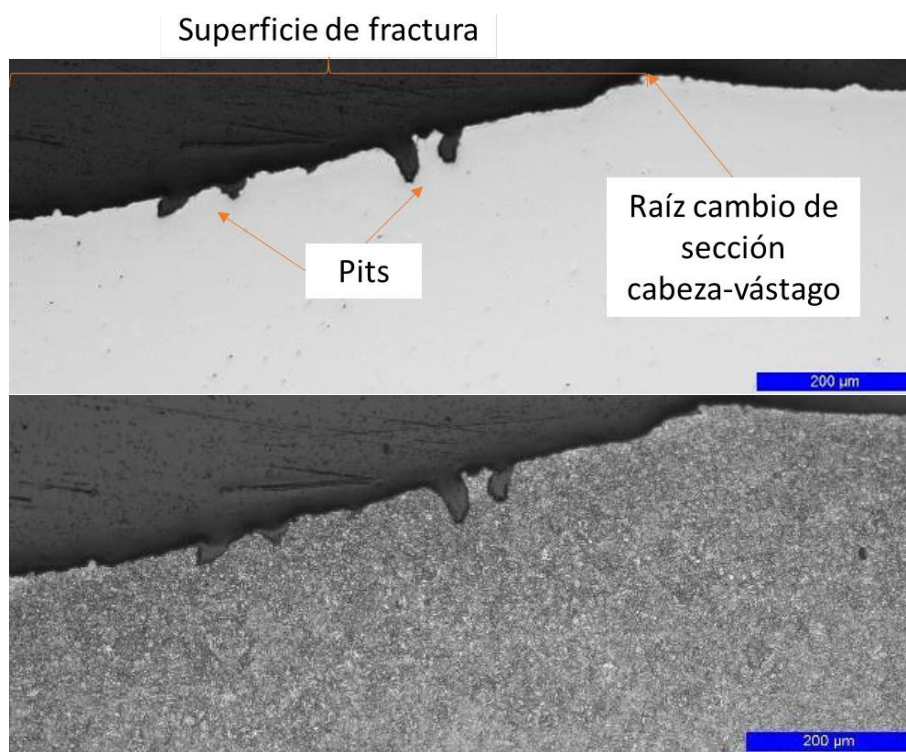


Figura 8 Metalografía longitudinal sin y con ataque CF. Pits de corrosión en las cercanías de la raíz del cambio de sección cabeza-vástago. 100x

CONCLUSIONES

A partir de los análisis realizados se considera que las fracturas de los dos bulones ocurrieron por un mecanismo de corrosión-fatiga. La sucesión de eventos a través de este mecanismo de daño se puede inferir y describir de la siguiente manera: a partir de un medio corrosivo en el que estuvieron los bulones en servicio bajo carga, los mismos sufrieron ataque corrosivo localizado en forma de pits de corrosión (*corrosión por oxígeno en solución acuosa salina*). Estos concentran tensiones y nuclean fisuras de fatiga que luego propagan conectándose a través de los pits en los flancos de las roscas. Luego, un frente de fractura de fatiga transversal a la sección de los bulones progresa hasta alcanzar el tamaño crítico de fisura; y finalmente ocurre la rotura final por corte por sobrecarga.

Los bulones fracturados se corresponden con aceros de medio carbono del tipo de los especificados en SAE J429, cumpliendo con el Gr 8. Para prevenir estas formas de daño en este tipo de bulones se recomienda en su instalación verificar limpieza, ausencia de humedad; y lubricarlos con disulfuro de molibdeno. Asimismo, inspeccionar periódicamente las uniones verificando que estén libres de humedad y depósitos de suciedad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Metals Handbook: Volume 11 Failure Analysis and Prevention, American Society of Metals, ninth ed., Metals Park, OH, 2002.
- [2] SAE J429:2014 Mechanical and Quality Requirements for Externally Threaded Fasteners
- [3] Lachowicz, M. B., & Lachowicz, M. M. (2021). Influence of corrosion on fatigue of the fastening bolts. *Materials*, 14(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma14061485>