

Análisis De Falla De Un Riel De Cinta Transportadora (Tripper) De Mineral

Carlos Fosca Pastor¹, Ainsworth Noriega Ríos

¹Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú. Email: cfosca@pucp.edu.pe

Resumen

Se ha realizado un análisis de falla de un riel fracturado correspondiente a una cinta transportadora ferroviaria (Tripper) que operó en servicio durante dos años. Se llevó a cabo una inspección visual, con análisis dimensional, en un tramo de riel fallado comparándolo con un riel sin uso. Fueron realizados análisis químicos y metalográficos, así como mediciones de dureza y microdureza en la pieza fallada. El riel fue fabricado de un acero al carbono de 0.89%C y presentó una zona descarburada en la superficie de rodadura, con fuerte deformación plástica por la operación y endurecida por acritud. La causa raíz metalúrgica está asociada a la presencia de ferrita pro-eutectoide e inclusiones no metálicas que han sido severamente deformadas por los esfuerzos de rodadura generando una región continua débil, que nucleó fisuras por fatiga por contacto de rodadura (RCF) y que aceleraron la formación de una grieta longitudinal que se propagó verticalmente (vertical split head) como consecuencia de otros posibles defectos del material.

Palabras clave: fatiga de contacto por rodadura, fractura de rieles, análisis de falla de rieles,

Abstract

A failure analysis of a fractured rail corresponding to a railway conveyor belt (Tripper) that operated in service for two years has been carried out. A visual inspection, with dimensional analysis, was performed on a section of failed rail and then compared to an unused rail. Chemical analysis, metallographic analysis, hardness and microhardness measurements were carried out on the failed piece. The rail was made of 0.89% C carbon steel and presented a decarburized area on the running surface, with strong plastic deformation due to the operation and work hardened.. The metallurgical root cause is associated with the presence of pro-eutectoid ferrite and non-metallic inclusions that have been severely deformed by rolling stresses, generating a weak continuous region that nucleated rolling contact fatigue cracks (RCF) and accelerated the formation of a longitudinal crack that propagated vertically (vertical split head) as a consequence of other possible material defects.

Keywords: rolling contact fatigue, rail fracture, rail failure analysis.

1. Introducción

Una de las fallas más comunes en los rieles es la fractura debida a fatiga por contacto rodante (rolling contact fatigue), este mecanismo de falla puede tener múltiples manifestaciones en el riel como “gauge corner checking”, “head checking”, “pitting”, “spalling” etc. [1]. Sin embargo, también es posible que se puedan presentar defectos de fábrica que provoquen roturas en servicio, como es el caso de la fisuración vertical de la cabeza del riel (vertical split head) [2].

Otro factor importante en la vida en fatiga de un riel, es el grado de endurecimiento por deformación en frío que ha experimentado la zona de rodadura. Como resultado de ello se produce una anisotropía del

material que afecta fuertemente el desarrollo de los procesos de fisuración por fatiga por contacto (RCF)[3]

El presente estudio corresponde al análisis de falla de riel fracturado correspondiente a una cinta transportadora de mineral (Tripper). La figura 1 muestra un pedazo del riel fracturado junto a un riel sin usar, que fueron suministrados para determinar la causa raíz de la falla.

El riel fallado corresponde a un equipo cuyo plano se muestra en la figura 2. Este carro transportador tiene 4 ruedas por lado, Los rieles soportan pesos de hasta 1027 KN para la rueda con mayor carga vertical, la cantidad de ciclos por día es de 250 en promedio. Después de dos años de operación continua el sistema de rieles sufre la fractura en uno de sus extremos.

De acuerdo a la información suministrada el acero del cual está hecho el riel corresponde a un acero CR104 calidad Head Hardened (HH) y se ajusta a las especificaciones ASTM A759-10.



Figura 1. Vista de las partes de un sistema de riel, suministrados para su análisis.

2. Metodología

Para llevar a cabo el presente análisis de falla se desarrollaron las siguientes pruebas y ensayos:

- Inspección Visual y por partículas magnéticas
- Análisis Químico del Material de los rieles
- Ensayos de Dureza.
- Análisis Metalográfico y de Microdureza.

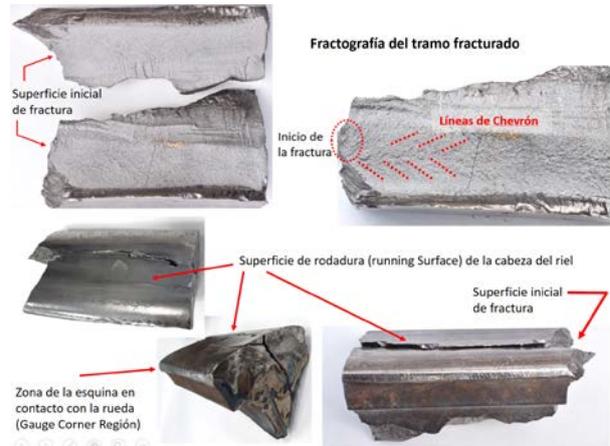


Figura 3. Fractografía realizada sobre la porción de riel fracturado que fue suministrado para su análisis.



Figura 4.- Superficie de fractura de parte desprendida de la cabeza de riel.

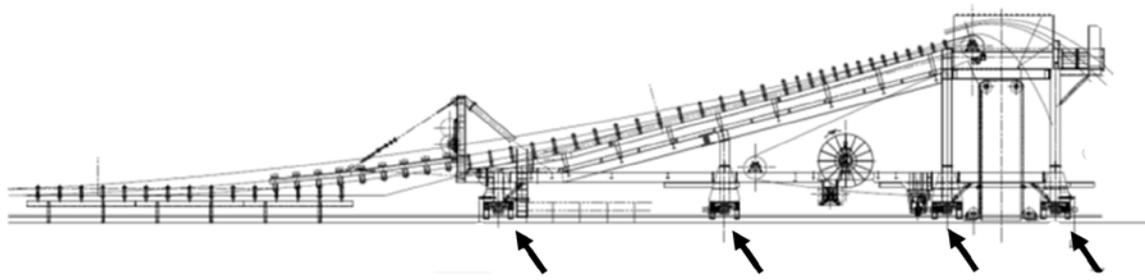


Figura 2. Esquema del Tripper que se desplaza sobre cuadro ruedas por lado (indicada por las flechas) en el sistema de rieles.

Resultados y Discusión

2.1. Inspección visual

La inspección visual de las partes fracturadas del riel permitió apreciar una superficie de fractura frágil con líneas de chevron (ver figura 3).

La inspección de este tramo fracturado como el otro pedazo de riel fisurado, permiten advertir que la fractura se movió longitudinalmente respecto del riel sobre la superficie de rodadura, como se aprecia en las figuras 3 y 5.

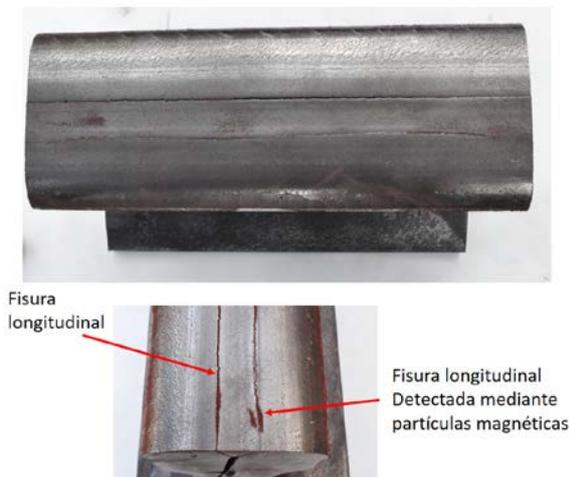


Figura 5. Fisuras longitudinales presentes en la porción de riel fracturado.

Se observaron dos fisuras longitudinales (long grooves) sobre la cabeza del riel que se propagan hacia el interior del material desprendiendo partes del mismo (figuras 3 y 4).

Una vez producida la confluencia de las dos grietas longitudinales en el interior del riel estas produjeron un desprendimiento parcial de esta porción de material (zona superior en V de la figura 6) Posteriormente se observó una grieta en sentido vertical (Vertical Split Head) como se observa en las figuras 6. Otra observación importante es la fuerte deformación plástica observada en la cabeza del riel, apreciándose una reducción de la altura de la misma de 3 mm (figura 7) y un ensanchamiento del borde del riel (gauge corner region).

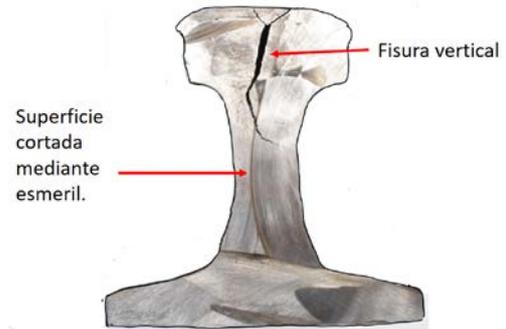


Figura 6. Sección transversal de riel fracturado.



Figura 7. Análisis comparativo de los perfiles del riel fracturado (perfil derecho) respecto del riel nuevo (perfil izquierdo) donde se aprecia una fuerte deformación plástica en la cabeza del riel (superficie de rodadura)

3. 2. Análisis Químico

Se extrajeron muestras del riel fracturado y del riel nuevo para su análisis químico correspondiente. El análisis se realizó mediante espectrometría de emisión óptica según la norma ASTM E60 -11, el resultado del análisis se muestra en la Tabla 1.

De los resultados del análisis, se puede concluir que los materiales de ambos tramos de riel cumplen con las especificaciones de material para fabricación de rieles para grúas según la norma ASTM A 759-10. Sin embargo, el riel fracturado presenta un contenido de C ligeramente más elevado (0.89%C).

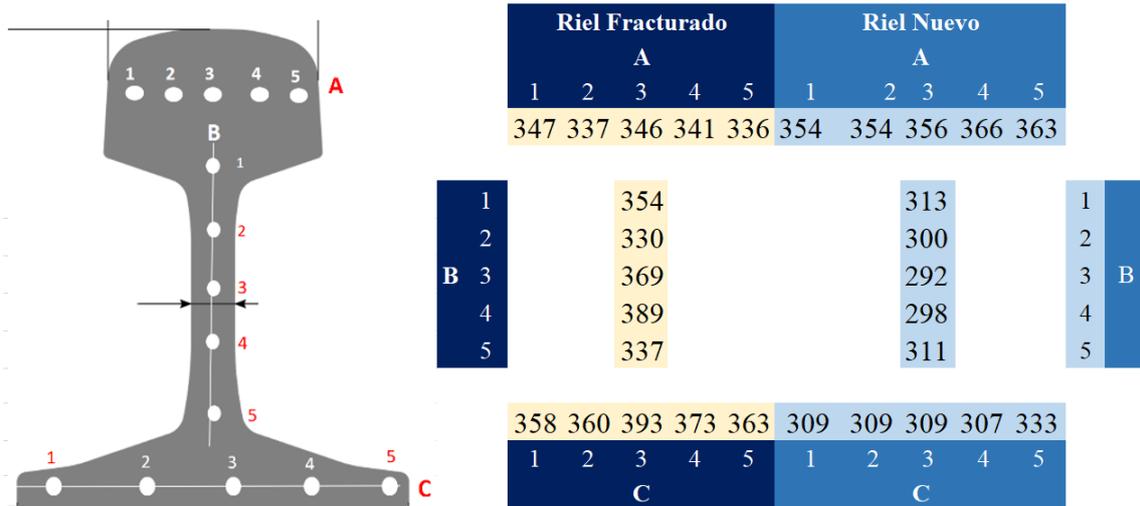
Tabla 1. Composición química de las muestras de riel objeto de estudio

Muestra	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V
Riel nuevo	0.80	0.93	0.35	0.014	0.010	0.13	0.19	0.04	0.31	0.00
Riel fracturado	0.89	0.68	0.38	0.009	0.009	0.12	0.26	0.03	0.28	0.10
ASTM A759-10	0.67 - 0.84	0.70 - 1.10	0.10 - 0.50	0.04 - Max.	0.05 - Max.	----	----	----	----	----

3.3. Ensayos de dureza

Se cortaron secciones transversales de las dos porciones de rieles suministrados (nuevo y fracturado) y se tomaron durezas empleando para ello un equipo portátil Equotip® de dureza Leeb. La tabla 2 muestra los resultados de las mediciones de durezas en la sección transversal de cada riel, convertidas a escala de dureza Brinell (HB).

Tabla 2. Resultados de la medición de dureza (HB) en los rieles suministrados.



El riel nuevo presentó una dureza en su sección transversal que osciló entre 292 y 366 HB mientras que el riel fracturado tuvo una dureza entre 336 y 393 HB. Según la norma ASTM A759-10 los rieles de alta resistencia deben tener una dureza HB entre el rango de 321 a 388, cuando la superficie descarbonada ha sido removida. De acuerdo a ello, la dureza del riel fracturado se ajusta mejor a las especificaciones de dicha norma.

3.4. Análisis metalográfico y micro-durezas

Se realizó un análisis metalográfico en muestras extraídas de la porción del riel nuevo y del riel fracturado. Las muestras se extrajeron por corte mecánico refrigerado (disco abrasivo especial para muestras metalográficas), luego se desbastaron con lijas de carburo de silicio de granulometría 240, 320, 400 y 600, luego se pulió con abrasivo de diamante de 1 y 0,3 micras de diámetro. Se tomaron imágenes de la superficie de la muestra sin y con ataque químico; el ataque químico para revelar la microestructura se realizó empleando el reactivo Nital al 2%.

Se analizaron muestras extraídas de zonas de la cabeza del riel nuevo próximas a la superficie de rodadura (ver figura 8). En el análisis de la microestructura (figura 9)

se pudo observar una primera región superficial consistente de ferrita (F) proeutectoide (granos de color blanco) y perlita (P). Luego conforme se va analizando la zona interior del material esta presentó una microestructura típica de un acero eutectoide en estado de normalizado que esta constituida por granos equiaxiales de perlita laminar (figura 9). Esta última microestructura guarda estrecha correlación con la composición química del acero del riel analizado.

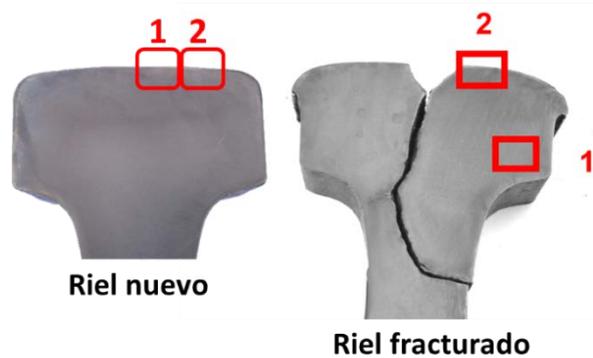


Figura 8.- Indicación de la ubicación de las muestras extraídas para el análisis metalográfico.

En consecuencia, la diferencia en microestructura entre la zona superficial de rodadura de la cabeza del riel nuevo y la zona sub-superficial, indica la existencia de una zona superficial descarbonada.

Cuando se analizó la superficie de la cabeza del riel fracturado, se pudo observar dos regiones muy bien diferenciadas: una primera zona alejada de la superficie de fractura (zona 1 de la figura 7) constituida por granos equiaxiales de Perlita fina (figura 10) similar a la microestructura observada en el riel sin usar.

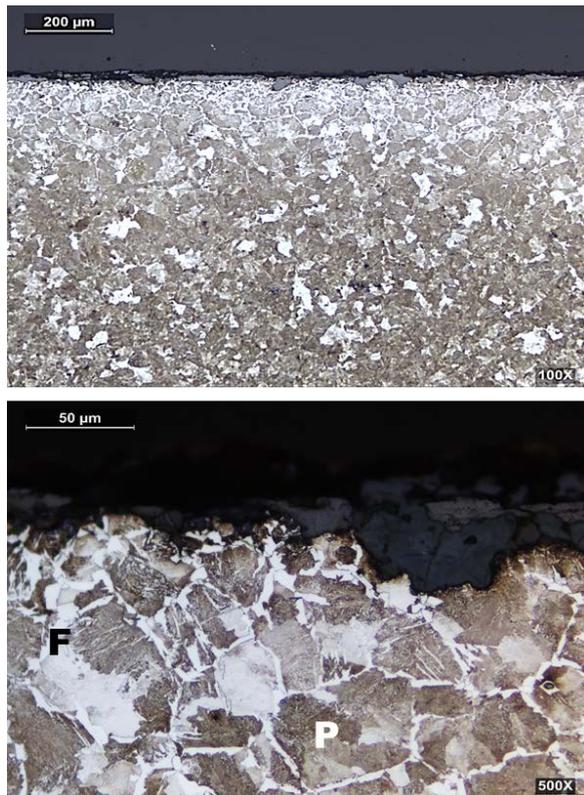


Figura 9.- Micrografías de la muestra del riel nuevo en la zona de rodadura, donde se observa una región superficial ligeramente descarburada con presencia de ferrita (F) proeutectoide (granos de color blanco) y Perlita (P). Ataque: Nital 2%.



Figura 10.- Micrografías de la muestra del riel nuevo en la zona de la cabeza, alejada de la superficie de rodadura. Se aprecia una microestructura constituida por granos equiaxiales de Perlita fina. Ataque: Nital 2%.

Una segunda zona correspondió a la superficie de rodadura del riel fracturado y que presentó una elevada deformación plástica (figura 11). En esta región altamente deformada las inclusiones no metálicas (figura 11.a) así como los granos de Perlita (figura 11.b) se han reorientado siguiendo el flujo de material

deformado, creándose discontinuidades lineales que cubren toda la región deformada.

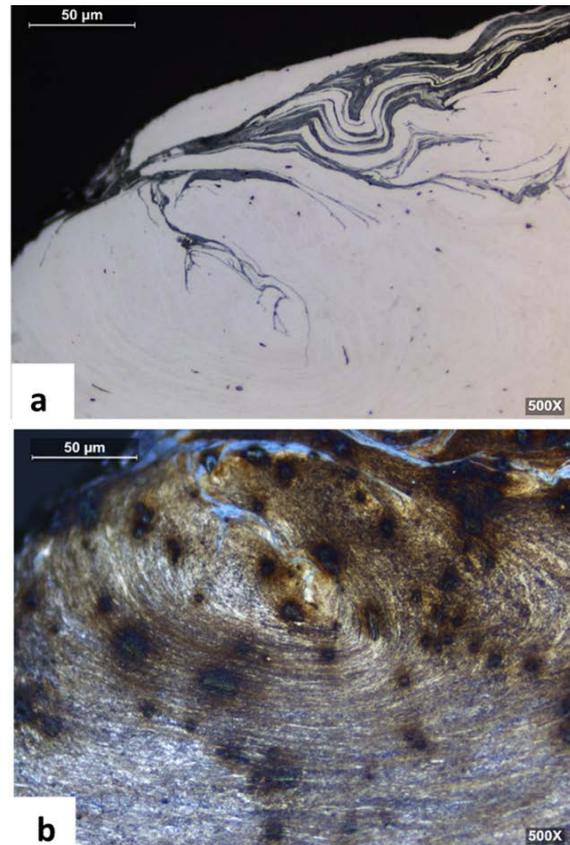


Figura 11.- Micrografías de la muestra del riel fracturado correspondiente a la superficie de rodadura. Se muestra imagen sin ataque metalográfico que revelan como las inclusiones no metálicas (a) y los granos de perlita (b) se reorientan siguiendo las líneas de deformación plástica. Ataque: Nital 2%.

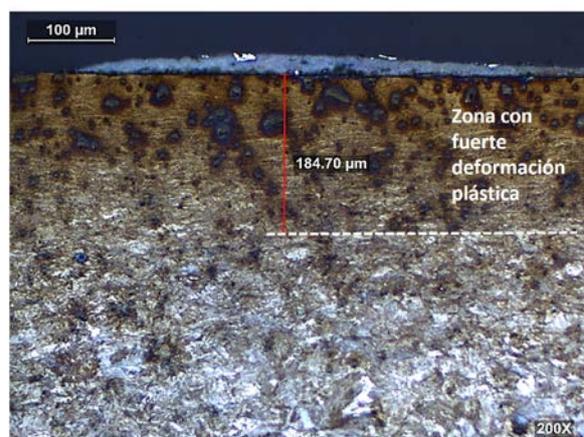


Figura 12.- Micrografía de la zona superficial de rodadura del riel fisurado donde se observa una zona superficial con una fuerte deformación plástica. Ataque: Nital 2%.

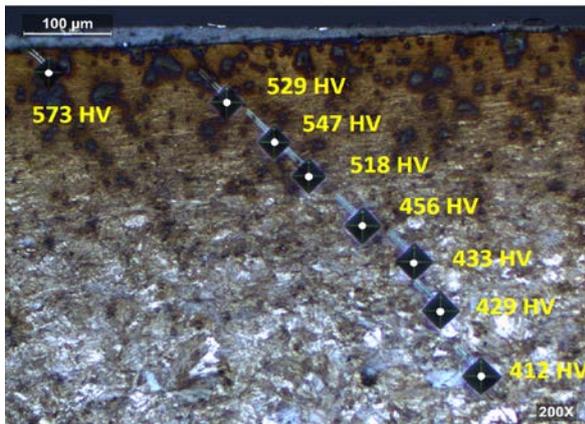


Figura 13.- Barrido de microdurezas Vickers (HV0.5) sobre la región superficial fuertemente deformada plásticamente y el sustrato no deformado de la muestra de riel fracturado.

Esta zona superficial (figura 12) fuertemente deformada ha alcanzado una profundidad entre 180 y

350 micras. Sobre la muestra de riel fracturado se realizó un barrido de microdureza Vickers (HV0.5) sobre la región superficial fuertemente deformada observándose valores de hasta 573 HV0.5 mientras que en la región del material alejada de la zona endurecida presentó durezas entre 412-430 HV0.5 (ver figura 13).

La microdureza en esta región superficial se elevó de manera significativa (figura 13) como consecuencia del endurecimiento por acritud producido por las condiciones de rodadura sobre el riel.

Debido a las diferencias de propiedades mecánicas entre la ferrita pro-eutectoide, mucho más dúctil y la perlita, la deformación no se produce de manera uniforme a nivel microestructural y la ferrita pro-eutectoide se constituye en puntos de inicio preferente de fisuras por fatiga [4], [5], [6]. Del mismo modo, las inclusiones no metálicas dúctiles como sulfuro de manganeso pueden convertirse en puntos de nucleación de las fisuras de fatiga (RCF) en las zonas

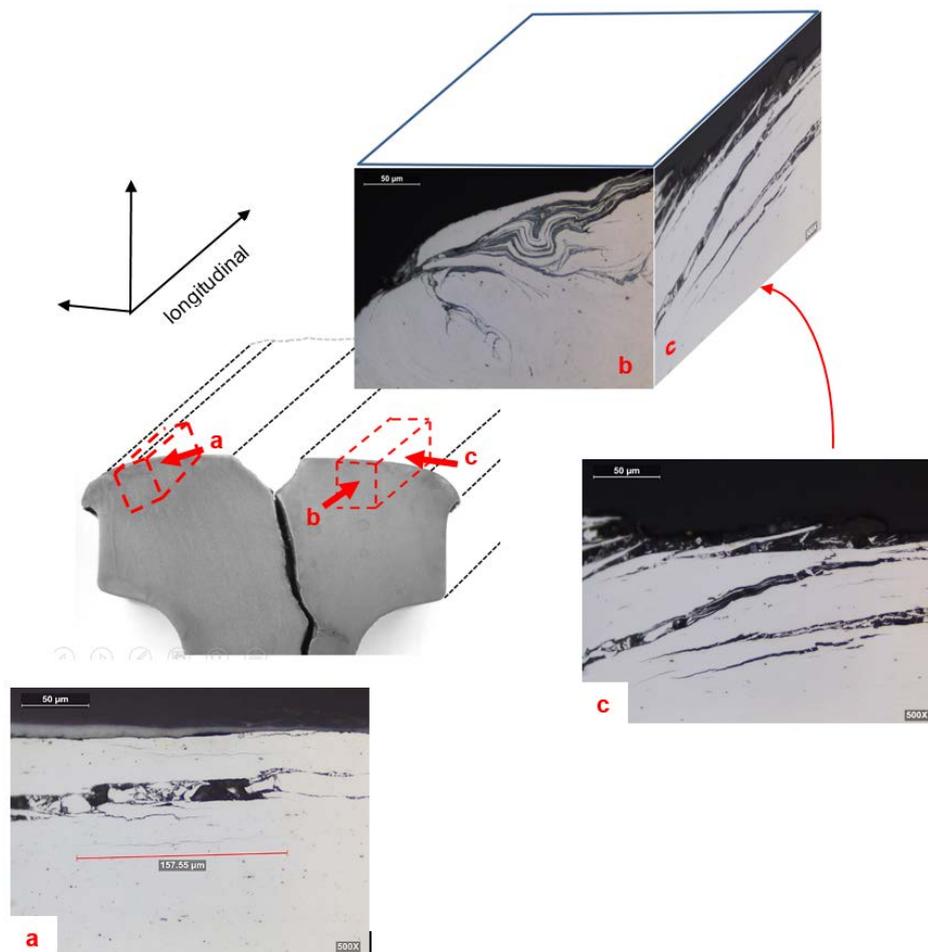


Figura 14.- Micrografías de la muestra del riel fracturado (sin ataque metalográfico) correspondiente a diferentes puntos de la zona superficial de la cabeza del riel (sección transversal y longitudinal) donde se aprecian un gran número de fisuras superficiales que se propagan en sentido longitudinal.

fuertemente deformadas de la superficie de rodadura [7].

Es así que al observar mediante microscopía óptica otras zonas superficiales de la cabeza del riel fracturado se pudo advertir una gran cantidad de microfisuras nucleadas en la superficie propagándose en sentido longitudinal al riel (figura 14), que son fisuras RCF.

Estas fisuras superficiales son originadas por los esfuerzos de contacto entre la rueda de la grúa y el riel. El mecanismo que las origina se conoce como fatiga por contacto de rodadura (Rolling Contact Fatigue - RCF) y se propagan siguiendo la orientación de los granos fuertemente deformados (figura 14). Estas fisuras crecen preferentemente en sentido longitudinal al riel, pero también se propagan en las otras direcciones debido al sistema de carga triaxial que se produce en el interior del riel por la carga de contacto con la rueda [8]. La trayectoria de la fisura está determinada por la carga, la anisotropía de la capa deformada plásticamente y las debilidades del material [3]. En el caso del riel analizado la fisuración por fatiga produjo desprendimientos de material, donde una zona de la superficie de la cabeza, de sección triangular, se ha desprendido una vez que dos grietas paralelas longitudinales han crecido hacia el interior del riel y se han encontrado en un punto debajo de la superficie (figura 15).

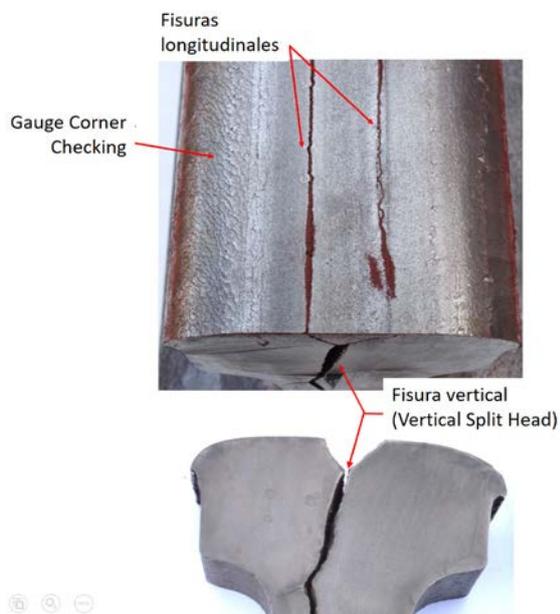


Figura 15.- Vista de riel fracturado

La nucleación de estas fisuras superficiales longitudinales puede tener su origen en numerosas causas, como un endurecimiento por elevada deformación plástica localizada, presencia de inclusiones no metálicas alineadas (óxidos, sulfuros)

que actúan como micro-concentradores de tensiones, defectos superficiales como laminaciones, etc.

3. Conclusiones

El riel fracturado exhibió una combinación de defectos que actuaron de manera sinérgica en su falla prematura (dos años aproximadamente). El riel presentó una superficie descarburada con presencia de ferrita proeutectoide, que aunado a la presencia de segregación de inclusiones no metálicas, provocaron una región mecánicamente débil, en comparación con la perlita severamente endurecida por acritud.

La acción de carga cíclica por el contacto entre la rueda y el riel, generó daño por fatiga en diferentes partes de la cabeza del riel, como “gauge corner checking” (ver figura 15) y un proceso de fisuración longitudinal que está asociado a laminaciones o defectos de fabricación, pero que fue acelerado por fisuración debida a fatiga por contacto (ver figura 14 y 15). La confluencia de estos frentes de agrietamiento dio como resultado final la fractura del componente a través de una grieta vertical (vertical split head) tal como se observó en las figuras 6, 8 y 14.

4. Referencias

- [1] Office of Railroad Safety, Track Inspector Rail Defect Reference Manual, USA: Federal Railroad Administration, 2015.
- [2] NSW, Rail Defects Handbook. Engineering Manual Track, RailCorp Network , 2012.
- [3] M. Schilke, Degradation of Railway Rails from a Materials Point of View. Göteborg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2013.
- [4] A. Chard, Deformation of inclusions in rail steel due to rolling contact., Birmingham: University of Birmingham, 2011.
- [5] J. Beynon, J. Garnham y K. Sawley, «Rolling contact fatigue of three pearlitic rail steels,» *Wear*, n° 192, pp. 94-111, 1996.
- [6] C. L. D. John E. Garnham, «The role of deformed rail microstructure on rolling contact fatigue initiation,» *Wear*, vol. 265, p. 1363-1372, 2008.
- [7] J. Garnham, Ding.R.-G. y C. Davis, «Ductile inclusions in rail, subject to compressive rolling-sliding contact,» *Wear*, vol. 269, pp. 733-746, 2010.
- [8] A. Németh., «Case Studies in Railway Construction: Rolling Contact Fatigue Rail Defects,» SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY. Győr, Hungría, 2017.