

Los defectos de carril en la red ferroviaria española: causas y soluciones^(*)

Por LUIS VELILLA ALMARAZ

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

La duración del carril no viene determinada únicamente por el desgaste sufrido por su cabeza, sino que en ella intervienen otros factores, como son los defectos de fabricación, de utilización y de soldadura, los cuales se analizan en el siguiente artículo.

1. INTRODUCCION

La preocupación por el carril como elemento básico de la vía ferroviaria, ha sido una constante de las Administraciones más avanzadas desde hace varias décadas. En particular, el crecimiento de la vida de este elemento de rodadura, ha sido objeto de la especial atención concedida por las Redes Ferroviarias del mundo entero.

Durante mucho tiempo la duración del carril vino determinada primordialmente por el desgaste sufrido por su cabeza, hasta el punto de que su comportamiento se consideraba como bueno cuando alcanzaba en condiciones normales de explotación una edad determinada por la reserva de desgaste prevista en la cabeza del mismo. De acuerdo con este criterio, la mayoría de los expertos juzgan la longevidad del carril como un factor dependiente del tonelaje soportado a lo largo de su vida, hasta el punto de ser este valor el determinante de su buen o mal comportamiento en vía.

Desgraciadamente, la duración prevista para el carril en función del tráfico existente no siempre se alcanza. En muchas ocasiones es preciso retirarlo a causa de defectos imputables a solicitudes del servicio, elección de aceros inadecuados, defectos de fabricación, etc. Hoy en día y como consecuencia de la tendencia actual hacia cargas por eje más elevadas, estamos asistiendo a un motivo más que añadir, al hecho de que cada vez sea mayor el número de carriles que no

tienen la duración esperada y tienen que ser retirados prematuramente, a causa del desarrollo de ciertos defectos, que a menudo conducen a la rotura del carril, y con ello a la posibilidad de accidentes.

En algunas Administraciones con transportes pesados de mercancías, se llegó a valorar una reducción de la vida de sus carriles, a la cuarta parte de la esperada como probable, por aparición de defectos de fatiga.

Ello no es óbice para que paralelamente y bajo el efecto combinado del incremento de las cargas por eje y del aumento de las velocidades, estemos asistiendo al incremento de los desgastes en el carril, lo que obliga a su retirada prematura por esta circunstancia.

La Oficina de Investigación y Ensayos de la Unión Internacional de Ferrocarriles, en su intento de abordar el estudio de los defectos de los carriles en servicio, consideró de utilidad el poder disponer de una estadística de los carriles averiados, fisurados o rotos de las Administraciones miembros. A este objeto estableció la ficha UIC 712, que recomendaba a las diferentes Redes un tipo de estadística unificada y una ficha también única, como medios más eficaces de conocer el comportamiento de los carriles en vía y poder, de esta manera, comparar los datos de que disponen las diversas Administraciones.

Consecuencia del establecimiento del mencionado documento, fue la creación de un modelo de ficha de retirada de carril y de un Catálogo de averías y roturas que recoge los diversos tipos que se presentan clasificados y numerados.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de junio de 1990.

LOS DEFECTOS DE CARRIL EN LA RED FERROVIARIA ESPAÑOLA: CAUSAS Y SOLUCIONES

La acogida dispensada por las distintas Redes Ferroviarias a las recomendaciones de la ORE, tendentes a establecer comparaciones, fue desigual hasta el punto de no poder llevar a cabo estadísticas supranacionales amplias. Este hecho, unido a las peculiaridades propias de cada Administración, en cuanto a constitución y conservación de la vía y del material rodante, entre otros factores, ha encaminado los estudios por derroteros que han permitido sólo un conocimiento más o menos profundo a nivel nacional.

No obstante, desde el punto de vista del análisis de los tipos de rotura que preferentemente aparecen, puede afirmarse que es en este campo donde se ha adoptado un criterio unánime basado en la clasificación del catálogo UIC de averías y roturas en los carriles.

La importancia y frecuencia con que se registran defectos en los carriles de diversas Redes es muy distinta, y aunque los que se presentan con relevancia en una determinada Administración podrían ser de poca trascendencia en otras, no hay duda de que existen ciertos tipos que aparecen ocupando lugares más o menos significativos en todos los ferrocarriles.

A ellos nos vamos a referir a continuación exponiendo sus características, causas y circunstancias que se derivan del estudio emprendido en la Red Ferroviaria Española.

El establecimiento de criterios de clasificación, es tema aún hoy no resuelto. El Catálogo UIC intenta mediante un código de cuatro cifras atender a los siguientes conceptos:

- Situación del defecto en la barra.
- Situación (por su origen) en el perfil del carril.
- Naturaleza del defecto.
- Orientación del defecto.
- Causa del defecto.

De hecho, es una clasificación que puede considerarse fundamentalmente descriptiva y no homogénea en sus criterios. De ahí que la propia UIC haya establecido otra, por causas, con los mismos códigos, encasi-

llándolos en grupos según se trate de defectos:

- Imputables a la fabricación.
- Imputables a la utilización.
- De imputación variable.
- De soldadura.

Atendiendo a este criterio, que aún no estando exento de dificultades, consideramos el más idóneo, podríamos afirmar que en la Red Española se presentan primordialmente los siguientes defectos:

De fabricación

- Fisuración transversal progresiva (mancha oval).

De utilización

- Estrellado de los taladros de embriado.
- Huellas de patinaje.
- Corrosión anormal.
- Daños al carril.

De soldadura

- Diversos en soldadura aluminotérmica.

2. EXPOSICION

Fisuración transversal progresiva (mancha oval)

El análisis efectuado en 1987, sobre la población de carriles asentados en vía que cumplía las siguientes condiciones:

- Colocación en estado nuevo y con posterioridad a 1950.
 - Detección de la avería, no debida a auscultación ultrasónica preventiva,
- puso de relieve que el 50 por 100 de todos aquellos casos que respondían a defectos de fabricación, consistían en el tipo conocido como mancha oval.

Este tipo de defecto se caracteriza porque su origen está en el interior de la cabeza, la fisura transversal que se origina, al principio de forma casi circular, progresó tomando forma elíptica hasta que su tamaño es tal que se llega a la rotura brusca del resto de la sección.

Sus causas han sido tradicionalmente

discutidas por los expertos de todo el mundo y aún hoy en día no se sabe a ciencia cierta su origen.

Sus primeros efectos fueron considerados en Estados Unidos a causa del elevado número de roturas registradas en los años 30.

Su origen se atribuyó al hidrógeno ocluido y se intentó dar una explicación al mecanismo de formación de burbujas de este gas, considerando diversos autores que este fenómeno se produce durante el enfriamiento (después de la deformación en caliente), momento en el que el hidrógeno atómico que se encuentra todavía en solución sólida, se fija en las juntas de los granos, pasando finalmente al estado molecular y produciendo unas presiones de gas tan elevadas que hacen estallar la textura del acero, creando microfisuras origen de roturas posteriores.

De ahí que se propusiera como remedio el enfriamiento controlado a temperaturas comprendidas entre 500 y 100º, que deja tiempo suficiente al hidrógeno para difundirse y separarse del acero, y para que su cantidad disminuya por debajo del valor límite de formación de burbujas.

El hecho de que de esta forma disminuyera la virulencia del defecto, pero no desapareciera, dio lugar a investigaciones posteriores con elaboración de teorías varias, que coinciden en admitir la influencia del núcleo origen de fabricación. El Comité D 45 de la ORE, realizando una labor de síntesis, estableció que el núcleo se situaba casi siempre a un solo lado de la fisura (el anterior al sentido de la marcha) y su origen podría ser muy variado:

a) Líneas de impurezas (segregaciones, sopladoras) alineadas por la laminación, siendo el origen en este caso sensiblemente puntual.

b) Fisuraciones verticales longitudinales oblicuas resultantes de la dislocación de la macroestructura en los intervalos interdetríticos.

c) Fisuraciones longitudinales horizontales que en sí mismas son fisuraciones progresivas y que desembocan en la fisuración transversal en forma de mancha oval.

d) Burbujas de hidrógeno ocluidas en el

acero, fenómeno que parece afectar principalmente a carriles con resistencia a la tracción elevada (mayor de 90 kg/mm²). La aparición de estas burbujas tiene lugar en el enfriamiento, a causa de la rápida disminución de la solubilidad y de la velocidad de difusión del hidrógeno en el acero hacia los 200º.

Todos estos defectos frecuentemente repartidos a lo largo de las barras de carril son susceptibles de provocar fisuras transversales múltiples. Pueden, además, agravarse y a veces provocarse por los esfuerzos que soportan las barras en el enderezamiento en fábrica practicado en condiciones tales que originen tensiones excesivas.

El hecho de que se trate de roturas de fatiga bajo solicitudes repetidas, que presentan una orientación determinada (inclinación de 55 a 60º sobre la horizontal), indica que el sistema de tensiones que hace provocar la fisura no es uniaxial y longitudinal, sino que corresponde a una flexión compuesta con un esfuerzo cortante relativamente importante, como lo pone de manifiesto la pendiente de la fractura. Esto ha permitido preparar en laboratorio un ensayo de simulación de la fisuración de carriles por mancha oval, que ha puesto de manifiesto la aparición de fisuras (a partir de anomalías longitudinales constituidas por inclusiones), inclinadas a 45º sobre el eje y con un núcleo situado de 0 a 3,5 mm de la superficie cilíndrica exterior de la probeta de torsión ensayada.

Estos ensayos han permitido a WAEC-KERLE encontrar una relación entre la resistencia de dos millones de ciclos y la extensión del núcleo origen en el plano axial que le contiene, observando que la resistencia crece cuando la superficie del núcleo disminuye, es decir, que la resistencia es mejor a igualdad de superficie cuando se trata de un rosario de pequeñas inclusiones en la ferrita.

Estudios posteriores recogidos por el Comité D 117 de la ORE, consideran que la mancha oval puede tener su origen en inclusiones no metálicas, algunas veces burbujas de hidrógeno, pero más frecuentemente en óxidos.

LOS DEFECTOS DE CARRIL EN LA RED FERROVIARIA ESPAÑOLA: CAUSAS Y SOLUCIONES

La progresión se efectúa a causa de la flexión negativa del carril, particularmente entre los bogies de locomotoras o entre ejes de vagones. Así se originan tensiones de tracción en la cabeza, que unidas a la tensión residual longitudinal y la de origen térmico, dan una tensión resultante, cuyo máximo se sitúa en la zona de iniciación de las manchas ovales.

A la vista de lo expuesto en cuanto al origen de este defecto, desde el punto de vista de la elaboración del acero, deberá tenderse a tomar las precauciones necesarias para evitar la aparición del núcleo origen del mismo; particularmente, el calmado deberá llevarse a cabo de forma que conduzca a una limpieza micrográfica tal que evite la formación de inclusiones nocivas por su forma o dimensiones. Por otra parte, la operación de enderezado en fábrica deberá realizarse de forma que evite la aparición de tensiones importantes en las barras, particularmente en los carriles naturalmente duros que son los más afectados por este defecto.

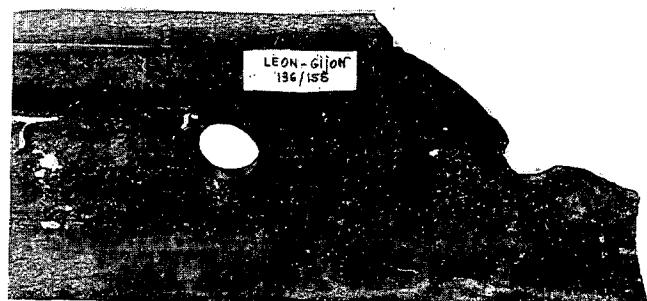
Por otra parte, el enfriamiento controlado tradicionalmente recomendado, o el anti-económico desgasificado mediante un tiempo de reposo suficientemente largo, tienen su alternativa hoy en día con los procedimientos de fabricación como el acero soplado con oxígeno, que permiten mantener limitado el contenido de hidrógeno, lo que hace innecesario el enfriamiento controlado. Este mismo efecto es logrado mediante adiciones especiales, y mediante dispositivos auxiliares para la colada. Asimismo, los tratamientos de desgasificado en vacío permiten mejorar el contenido en burbujas de hidrógeno reduciéndolo y confiriendo uniformidad a la composición química del material.

Ahora bien, el hecho de que los estudios de diversos autores ofrezcan una gama tan amplia en cuanto al elemento origen del núcleo, pone de relieve que el problema se halla lejos de estar resuelto. WAECKERLE, a la vista de los ensayos de laboratorio, considera que es conveniente de cara a evitar la mancha oval, eliminar las inclusiones gruesas, sobre todo cuando están alineadas, y de no poder suprimirlas hacerlas tan globulares como sea posible. Particularmente

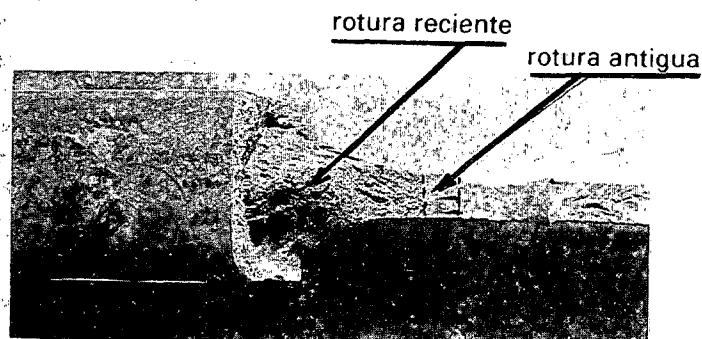
el estado actual de la técnica no permite eliminar los sulfuros y áluminas no alineados que se presentan en el acero naturalmente duro, que como se indicó anteriormente es de los más afectados por este tipo de defecto.

Las fotografías que se acompañan procedentes de roturas habidas en la Red Ferroviaria Española, constituyen casos típicos de este defecto en los que el núcleo-origen,

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA



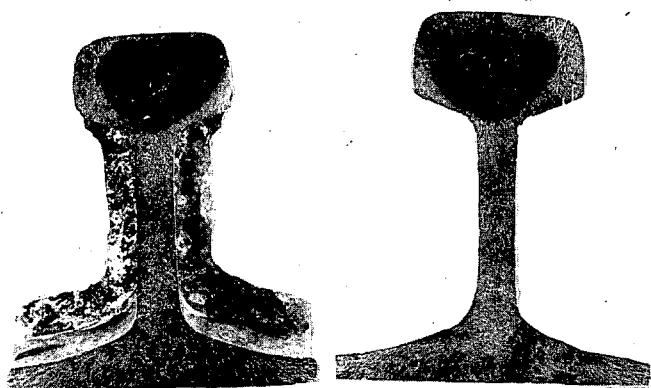
Tipo de defecto: estrellado de los taladros de embridado

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



LOS DEFECTOS DE CARRIL EN LA RED FERROVIARIA ESPAÑOLA: CAUSAS Y SOLUCIONES

FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA

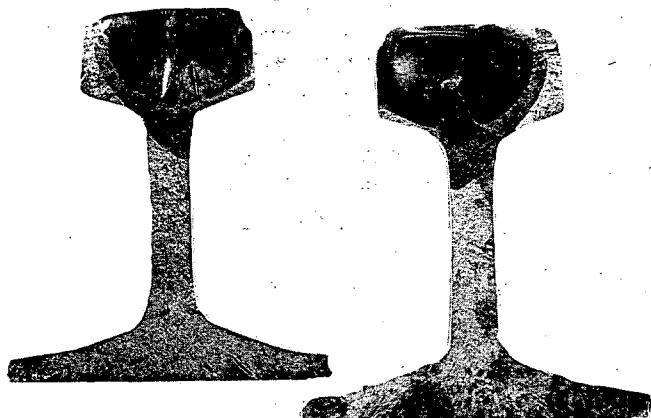


Tipo de defecto: mancha oval

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA



Tipo de defecto: mancha oval.

prácticamente puntual en la mayor parte de las roturas, puede alcanzar ocasionalmente dimensiones apreciables.

Estrellado de los talados de embriado

El estudio llevado a cabo sobre la misma población que se mencionó en el defecto anterior, ha puesto de relieve que en 1987 las roturas en estrella han constituido la tercera parte de los defectos de utilización y el 14 por 100 del total de las roturas habidas, lo que denota su importancia, sobre todo si se tiene en cuenta que la longitud de la vía con juntas es muy escasa hoy en día, al haber sido sustituida por vía en barra larga en la mayor parte de la Red.

Este defecto se presenta en los extremos de los carriles en una zona en que las solicitudes a que están sometidos son particularmente severas, además de estar delimitados por la presencia de los taladros. Aunque estos taladros situados en la fibra neutra no reducen sensiblemente el momento resistente del perfil, los ensayos realizados han demostrado que las tensiones de cizallamiento desarrolladas en el perímetro de los agujeros aumenta notablemente con el diámetro.

Factores tan diversos como un mecanizado rugoso del taladrado o las picaduras de corrosión originadas por el agua de lluvia retenida en las bridas, creando concentración de tensiones que se superponen a las ya de por sí elevadas alcanzadas en la junta, hacen difícil definir una sola causa y sí un conjunto de ellas como determinantes de estos fenómenos de fisuración en los taladros. Si a esto le unimos posibles defectos en las bridas, tal vez una defectuosa conservación de la junta, traviesas descalzadas por una vía mal conservada, e incluso una concepción no adecuada de la junta por excesiva separación entre traviesas, o taladros de agujeros de brida inapropiados como sucedió durante algún tiempo en los BR, vemos la innumerable gama de factores que influyen en la existencia de este tipo de defecto.

Las fisuras que parten de los taladros son horizontales a veces, inclinadas a 45º más frecuentemente, obedeciendo a leyes función probablemente de las características constructivas de la junta.

El Comité D 88 de la ORE, en su estudio sobre la fisuración en estrella, considera

como factores importantes los debidos a las entallas más o menos profundas provenientes de las corrosiones o el empleo de útiles poco adecuados para la perforación de los agujeros.

No obstante, y aunque los ensayos de laboratorio demuestran una relación entre la carga y la propagación del defecto, es tal el número de variables existentes en vía y la dispersión de los resultados estadísticos, que es casi imposible determinar la influencia de los diversos parámetros sobre el desarrollo de estas fisuras.

Por ello, el citado Comité considera que, analizados los ensayos en laboratorio efectuados por los BR y las observaciones hechas sobre vías en explotación por la DB con la ayuda de aparatos de control no destructivo, la evolución de los defectos depende de forma anárquica de gran número de factores, de los cuales parecen ser los más importantes, la concepción de la junta y las condiciones de conservación. Por ello sería imposible obtener una ley incluso aún admitiendo una dispersión importante. Por otra parte, la generalización de la constitución de la vía en barra larga, ha disminuido la trascendencia del problema.

Huellas de patinazo

Los defectos debidos a huellas de patinazo ocupan un puesto primordial en la mayoría de las Administraciones.

Particularmente, en la Administración Española su incremento en los últimos años ha sido constante y aunque dentro de los defectos de utilización, estudiados sobre la población antes referida, sólo constituye el 12 por 100, en el conjunto de las retiradas de carril motivadas por la detección ultrásónica preventiva alcanzan el 45 por 100 de los casos.

Dentro de este tipo de defecto se engloban tres categorías según su motivación, a saber:

—Por arranque de trenes pesados (salida estaciones, señales, etc.).

—Por bloqueo de las ruedas en el frenado (maniobras).

—En marcha, cuando por diversas circunstancias (incremento de velocidad, condiciones atmosféricas adversas, etc.), el esfuerzo de tracción exigido a los ejes sobrepasa el esfuerzo de adherencia.

La primera, a pesar de su espectacularidad (ver fotos), ha perdido importancia desde la desaparición de la tracción vapor.

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



Tipo de defecto: huella de patinazo

No así la tercera, que cada vez es más preocupante por el aumento de la potencia de las máquinas en relación a su peso, sobre todo en locomotoras eléctricas. Los dispositivos antipatinazo de que están dotadas intervienen para detener un eje que se embala respecto a los otros, pero para entonces el daño al carril es ya inevitable. La SNCF ha determinado mediante análisis estadísticos el casi paralelismo existente entre el número de retiradas por huellas de patinazo y la longitud de líneas electrificadas.

Las soluciones a este problema no son fáciles, pues no es lógico reducir la potencia de las locomotoras, ni tampoco aumentar el peso a igualdad de potencia; sería un retroceso y un incremento en el costo de la tracción. Otra línea de estudio sería aumentar el coeficiente de adherencia sobre el que actualmente se investiga.

La SNCF considera útil el método curativo de reparar el carril dañado mediante soldadura al arco, de acuerdo con el siguiente proceso:

—Eliminación de la zona averiada mediante amolado.

—Examen por líquidos penetrantes para asegurarse de la ausencia de fisuras residuales subyacentes.

—Recargue por soldadura en una o dos capas obteniendo un sobreespesor con relación al perfil del carril.

—Amolado en dos fases, la segunda tras 24 horas de circulación de trenes.

No obstante, este procedimiento no es compartido por otras Administraciones ante las dificultades que entraña su correcta puesta en práctica en vía, y por ello, aunque ésta parece ser la única solución posible al problema, no es universalmente aceptada al ser el recargue un punto débil origen de posibles fisuraciones transversales.

Corrosión anormal

Aunque en la Red Española las roturas de carril por corrosión anormal del perfil han supuesto sólo el 13 por 100 de los defectos de utilización en 1987, la incidencia de la corrosión en averías y roturas codificadas como estrellado de taladros de embridado, fisuración vertical longitudinal en el patín, fisuración de los acuerdos... hace que este fenómeno esté presente en un mayor número de casos que el reflejado estadísticamente.

Su importancia ha determinado que la ORE creará en su día el Comité D 81 con el fin de estudiarlo y averiguar qué tipo de carril se precisaría para combatirlo.

A grandes rasgos, la corrosión puede imputarse a dos tipos de causas:

—Fenómenos químicos provocados por la humedad, los ácidos oxidantes y la presencia de azufre procedente de la tracción diesel.

—Fenómenos electroquímicos provocados por la diferencia de potencial existente entre

diferentes metales o diferentes fases de aleación en presencia de un electrolito.

Estas condiciones se dan con frecuencia en túneles y se favorecen si además su ventilación es insuficiente y si los terrenos circundantes son rocas sulfurosas que afectan a la composición del agua filtrante.

Los gases de escape de las locomotoras diesel contienen SO_2 y SO_3 que progresivamente en ambiente húmedo se transforman en SO_4H_2 . Un ejemplo de ello son las observaciones realizadas en un túnel de los ferrocarriles noruegos con la siguiente evolución:

—Cuatro años después de su renovación: 3,2 por 100 de SO_4H_2 sobre la humedad del balasto.

—Diez años después de su renovación: 7,6 por 100 de SO_4H_2 sobre la humedad del balasto.

—17 años después de su renovación: 23 por 100 de SO_4H_2 sobre la humedad del balasto.

En líneas electrificadas la atmósfera es menos húmeda, pues hay que intentar lograr una mayor estanqueidad en la bóveda, a causa de la distribución de corriente por catenaria. No obstante, la electrificación, sobre todo en corriente continua con cierta humedad, es causa de fenómenos electrolíticos de corrosión muy importantes.

La corrosión disminuye la vida del carril por reducción de su sección y por las entallas que provocan las picaduras, origen de fisuraciones. Estas se manifiestan tanto en el patín del carril como en los acuerdos alma-cabeza y alma-patín, e incluso en el contacto ala de patín-fijación, sobre todo en los casos de corrosión electrolítica. Este tipo de corrosión es el principal causante de picaduras, particularmente en la parte del patín que está directa o indirectamente en contacto con el suelo (entre placa de asiento y base o entre base y balasto). Asimismo, los taladros de embridado son zonas de aparición de este tipo de fenómenos.

Los estudios del Comité ORE D 81 concluyen, basándose principalmente en la ex-

LOS DEFECTOS DE CARRIL EN LA RED FERROVIARIA ESPAÑOLA: CAUSAS Y SOLUCIONES

periencia de los ferrocarriles austriacos, en que:

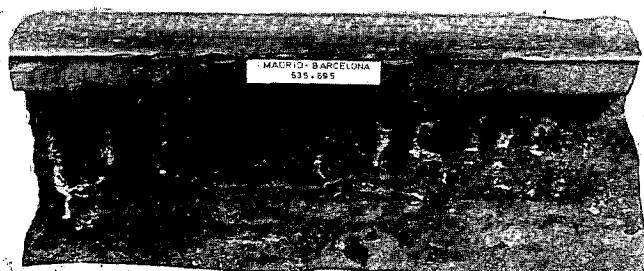
—A igualdad de las demás condiciones, el mayor peso de carril determina mayor duración en vía.

—La vida del carril en túnel es inversamente proporcional a su longitud y a la carga soportada por la vía.

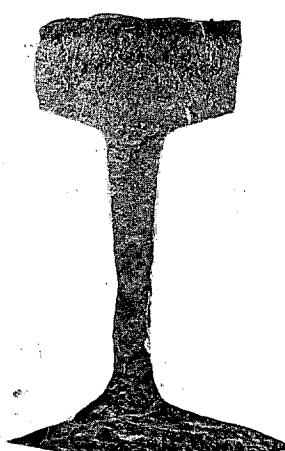
Las soluciones dadas por este Comité concluyen en que la mejor solución es un reforzamiento del perfil del carril toda vez que una protección suplementaria por aplicación de pinturas, revestimientos metallizados o aceites especiales no es recomendable más que para aquellos túneles en que una fuerte humedad y una gran agresividad justifiquen tales medidas desde el punto de vista económico.

Asimismo, existen otras zonas en las que estos u otros remedios podrían recomen-

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL

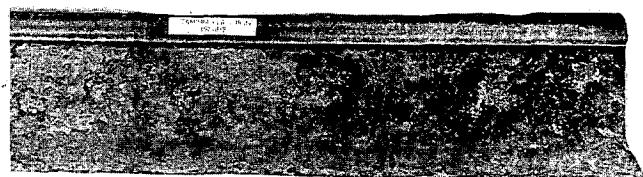


FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA



Tipo de defecto: corrosión anormal

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL

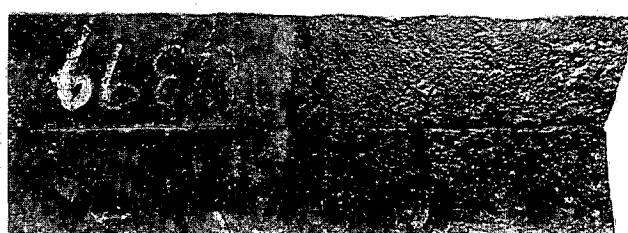
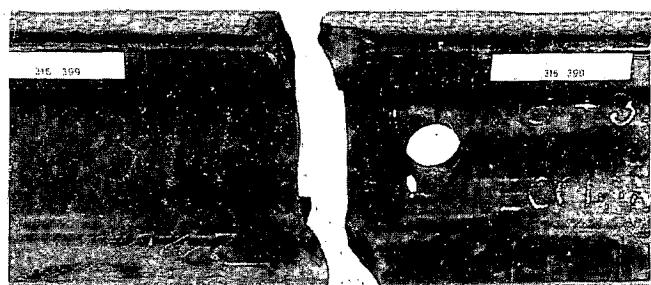


DETALLE DE LA FISURA



Tipo de defecto: fisuración horizontal en el acuerdo alma-cabeza. Su origen se localiza en la fuerte corrosión existente

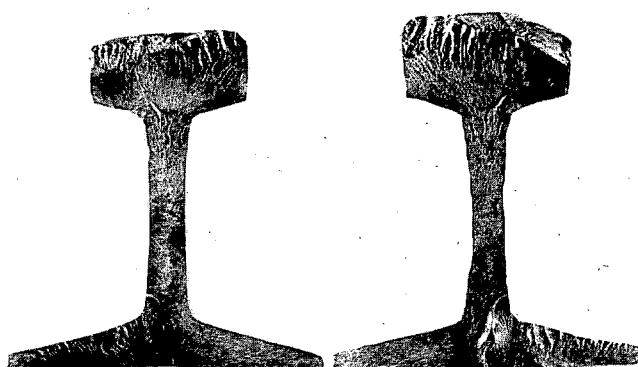
FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



darse, como son las atmósferas industriales y en particular las sulfuroosas.

En las fotografías que se acompañan puede apreciarse el estado de algún carril fuertemente corroído, en el momento de su retirada, así como la incidencia que las pi-

FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA



Tipo de defecto: fisuración vertical longitudinal en el patín. Se aprecia la incidencia de la fuerte corrosión existente en la base del patín

caduras de corrosión tienen en las fisuraciones verticales longitudinales en el patín, mayor que la tradicionalmente supuesta por la ORE, que considera este tipo de fisura como un defecto de fabricación, unido a las particulares condiciones de trabajo del patín del carril en la proximidad de las traviesas. A nuestro juicio, el hecho de que hoy en día las acanaladuras utilizadas en la laminación permiten un fibrado transversal que dificulta el desarrollo de este tipo de fisura, y la experiencia propia de observación de los casos presentados nos induce a considerar como decisiva la intervención de las picaduras de corrosión.

Siguiendo esta línea, investigadores soviéticos han analizado mediante los aparatos apropiados los tamaños y situación de los puntos corroídos en cuanto a su influencia en la aparición de fisuras. Estas cavernas son concentradores de tensión que inciden en la resistencia estática y de fatiga de los carriles. Esta incidencia, determinada experimentalmente por Konjuhov, sobre carriles levantados de la vía, puso de manifiesto una reducción muy escasa en la resistencia a la flexión de los carriles, mientras que la incidencia sobre la resistencia a la fatiga era muy importante, hasta el punto de producirse roturas a tensiones próximas a la de trabajo normal del carril.

A consecuencia de estos estudios, Konjuhov propone considerar como potencial-

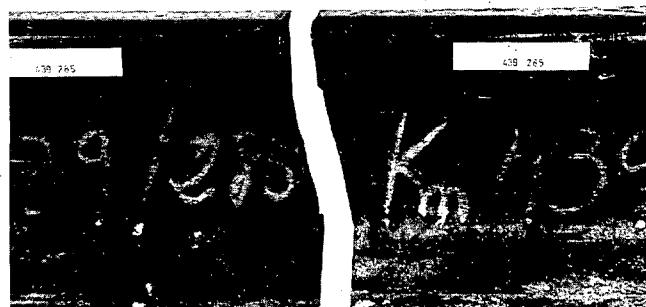
mente peligrosos en líneas de gran tráfico a aquellos carriles con cavernas superiores a 1 mm. de profundidad (independientemente de la magnitud del desgaste total por corrosión), cuando la longitud de dichas cavernas alcanza los 8 mm.

La importancia de la fisuración a partir de picaduras de corrosión en el patín radica en su difícil detección por los medios existentes para ello, y, por tanto, la eliminación de los mismos sólo se produce después de la rotura del carril con el consiguiente riesgo que entraña.

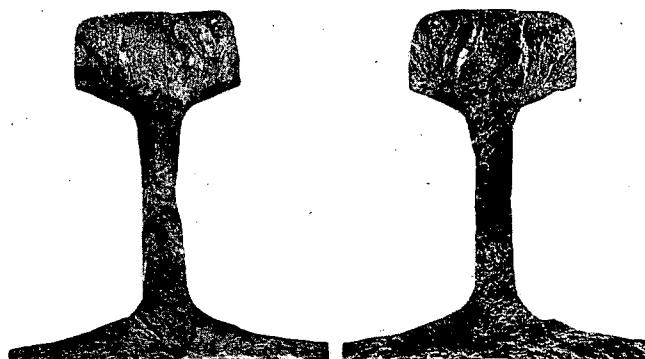
Daños al carril

La progresión de fisuras en los carriles a partir de las lesiones que se les pueden inferir durante su mecanización, corte o taladrado, son características de la inobservancia de la normativa que las Administraciones Ferroviarias imponen al respecto.

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA



Tipo de defecto: lesión en la base del patín

El empleo de herramientas inadecuadas, los golpes diversos al carril durante su manipulación, el uso del soplete de oxicorte en el corte o taladrado y en general la reiteración de prácticas viciosas, dan lugar a la aparición de un tipo de defecto que podría reducirse notablemente de seguir las prescripciones establecidas.

En las fotografías que se acompañan se intenta resaltar el hecho de que pequeñas lesiones son puntos a partir de los cuales y por defecto de entalla se produce una progresión que finaliza en la rotura total del carril.

En la Red Ferroviaria Española se ha llegado al 15 por 100 del total de las roturas que cumpliendo las condiciones antes expuestas, se analizaron en 1987.

Defectos en soldadura

Los medios de unión entre barras de carriles en vía mediante soldadura se centran fundamentalmente en:

- Soldadura aluminotérmica.
- Soldadura eléctrica por diferentes procedimientos.

La primera, empleada tradicionalmente, puede representar defectos básicamente de ejecución deficiente, que conduzcan a su rotura.

Su importancia es tal que actualmente suponen el defecto capital en la mayoría de las Administraciones Ferroviarias. Concretamente en la Red Española, han constituido, en 1987, el 54 por 100 de las roturas habidas en la población de carriles asentados en estado nuevo con posterioridad a 1950 y el 32 por 100 de las retiradas motivadas por auscultación ultrasónica preventiva de defectos.

Hasta tal punto es trascendente el problema que el Comité D 161 de la ORE en sus recientes estudios sobre la duración de la vida de los carriles en función de la frecuencia de aparición de defectos, recomienda la necesidad de tratar separadamente los defectos en soldadura de los restantes defectos de carril (hecho que hasta el momento

no se había tenido en cuenta), de cara a considerar una renovación de carrilaje solamente cuando exista un crecimiento importante de los defectos distintos a los de soldadura.

Las circunstancias que determinan el mal comportamiento de las soldaduras aluminotérmicas son variables en función de las condiciones de explotación en las distintas Redes.

Para la SNCF el hecho de que el 80 por 100 de sus roturas en soldadura aluminotérmica se produzcan en soldaduras de menos de tres años, pone en entredicho la cualificación de los soldadores y avala las adversas condiciones de trabajo en que se desenvuelven en vía.

Para los ferrocarriles británicos, la aparición de roturas prematuras estriba en el procedimiento inadecuado seguido, mientras que para los ferrocarriles holandeses este tipo de soldadura es inapropiado por su insuficiente resistencia para las cargas actuales y frecuencia de circulación de trenes, sin olvidar la escasez del intervalo disponible para su ejecución.

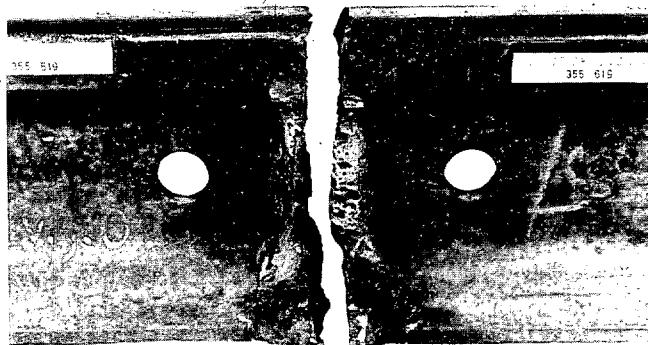
La realidad es que los métodos de soldadura están puestos a punto en la mayor parte de las Administraciones y no cabría pensar en posibilidad alguna de mejorarlos, si se siguieran estrictamente las prescripciones de ejecución. Por desgracia, la normativa es vulnerada con frecuencia, fundamentalmente por dos motivos:

- Insuficiencia del tiempo disponible para su ejecución.
- Impericia de los soldadores, ajenos en su mayoría a la Red Ferroviaria.

En general, todas las Administraciones admiten las ventajas del sistema de soldadura eléctrica, sobre todo si ésta se realiza en taller, no habiéndose detectado roturas que la sitúen entre las causas importantes de retiradas de carril. Las épocas en las que en este tipo de soldaduras, se registraron retiradas con carácter epidémico por deficiencias del procedimiento operativo (SNCF en el período 1958-1959), son ya historia pasada. Hoy en día, las soldaduras eléctricas defectuosas tienen una antigüedad apre-

LOS DEFECTOS DE CARRIL EN LA RED FERROVIARIA ESPAÑOLA: CAUSAS Y SOLUCIONES

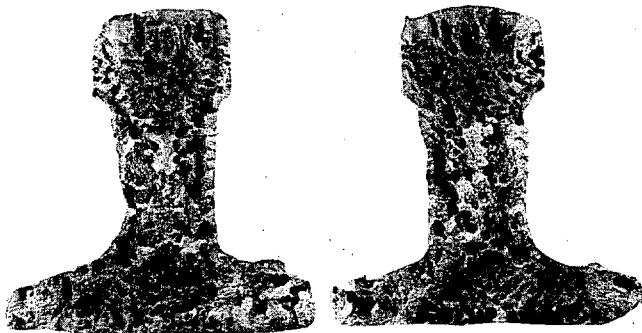
FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



FOTOGRAFIA DE LA SECCION DE ROTURA



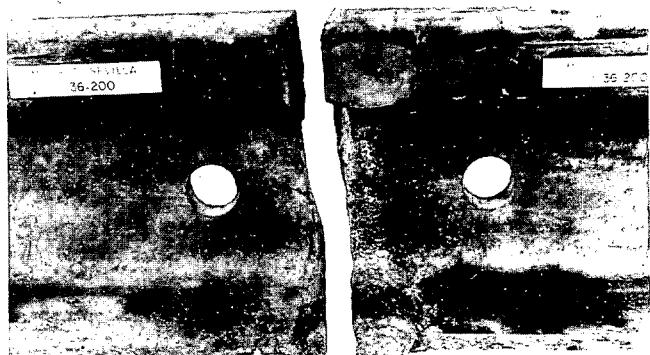
FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA



Tipo de defecto: rotura transversal de la soldadura aluminotérmica por la existencia de abundantes coqueras, consecuencia de una ejecución muy deficiente.

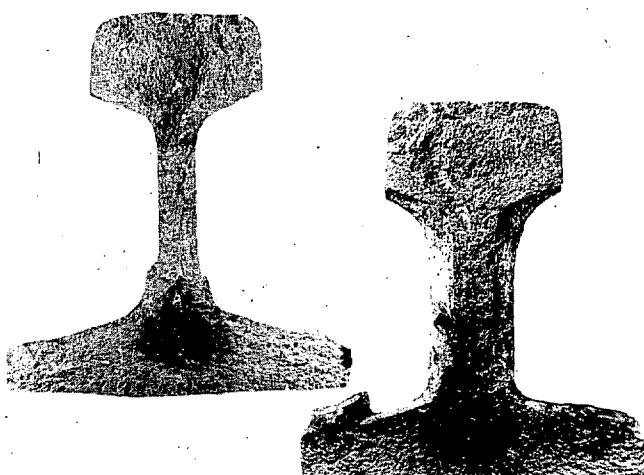
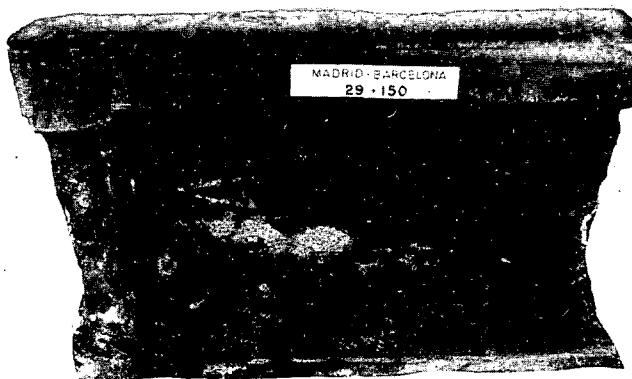
Tipo de defecto: rotura transversal de la soldadura aluminotérmica, con poros e inclusiones de escoria

FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA

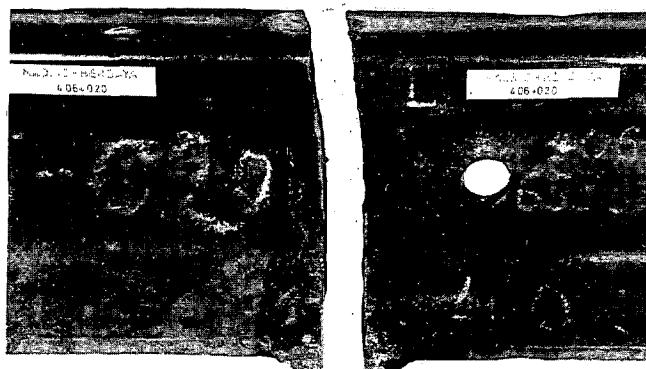
FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



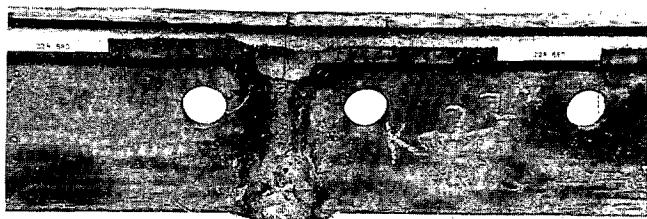
Tipo de defecto: rotura transversal en soldadura aluminotérmica por fusión incompleta del patín, debida a descentramiento del molde

LOS DEFECTOS DE CARRIL EN LA RED FERROVIARIA ESPAÑOLA: CAUSAS Y SOLUCIONES

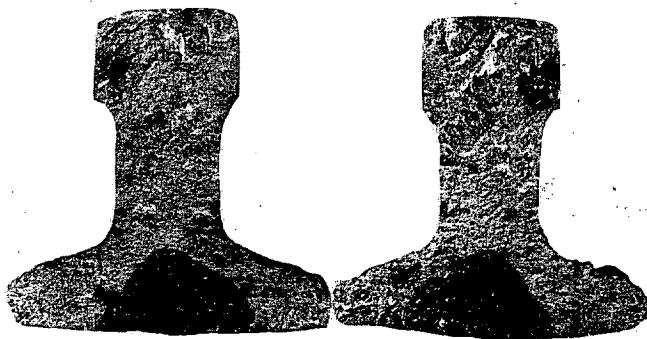
FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



FOTOGRAFIA DE LA SECCION LONGITUDINAL DEL CARRIL



FOTOGRAFIAS DE LAS SECCIONES DE ROTURA



Tipo de defecto: rotura transversal en soldadura aluminotérmica por la existencia de tensiones de retracción en el patín

ciable y se consideran como roturas de fatiga iniciadas en algún núcleo de la época de ejecución, que por otra parte puede controlarse en taller mediante un adecuado sistema ultrasónico de detección de defectos.

Por otra parte, un enfriamiento controlado es particularmente útil, sobre todo en algunas calidades de acero, al objeto de evitar la fragilización motivada por la estructura martensítica que se forma en la soldadura.

En las fotografías que se adjuntan, se exponen deficiencias diversas que conducen la rotura de los carriles en la zona de soldadura, como son poros, coqueras, inclusiones de escoria, falta de fusión del patín del carril, retracción, etc.

DETALLES DE LA FISURA



Tipo de defecto: fisuración transversal en la cabeza en soldadura aluminotérmica con ejecución muy deficiente

BIBLIOGRAFIA

BASSETTI. Influence de l'élaboration sur la qualité métallurgique des rails. Journées françaises du rail, septiembre, 1970.

CHIPPERFIELD y BLICBAU. Modélisation de la fatigue des rails due au contact des roues. Rail International, Bruselas, enero, 1984.

DE LEIRIS. Essais de simulation de fissuration par tache ovale. Journées françaises du rail, septiembre, 1970.

DEROCHE. Enderezado y eliminación de tensiones de los carriles por estirado. Railway Gazette International, Londres, marzo, 1983.

HELLER. Développement et évolution ultérieur des caractéristiques de qualité et d'usage des aciers à rails actuels, ETR n° 1 y 2, Darmstàrdt, 1971.

LOS DEFECTOS DE CARRIL EN LA RED FERROVIARIA ESPAÑOLA: CAUSAS Y SOLUCIONES

KECSKES. El examen de la mancha oval de los carriles debido a la fatiga. *Kozlekedéstudományi Szemle* nº 6, Budapest, 1973.

KLAPPENBACH. Fiabilidad de las soldaduras aluminotérmicas de carriles. *Schweisstechnik*, Berlín, enero, 1986.

KONJUHOV. Influencia de la corrosión del patín sobre su resistencia a la fatiga. *Vestnik Vniizt* nº 5, Moscú, 1975.

MARICH. Research on rail metallurgy. *AREA Bulletin*, Chicago, junio-julio, 1977.

MATSUYAMA. Corrosion of rail steels exposed to marine atmospheres. *Quarterly Reports of the RTRI*, Tokio, septiembre, 1983.

ORE. Question D 45: Qualité des rails et moyen de la garantir, RP 2 y 3, Utrecht, marzo, 1962.

ORE. Question D 117: Adaptation optimale de la voie classique au trafic de l'avenir, RP 2 y 3, Utrecht, abril, 1973.

ORE. Question D 156: Possibilités d'amélioration de la valeur d'usage des rails par des mesures d'ordre métallurgique, RP 1, Utrecht, septiembre, 1984.

ORE. Question D 161: Phénomènes dynamiques d'interaction véhicule/voie du point de vue de la maintenance de la voie, RP 2, Utrecht, abril, 1987.

VINOT. Etat actuel de la politique des rails à la SNCF. *Revue générale des chemins de fer*, diciembre, 1975.

WAECKERLE. Interprétation des examens métallographiques d'éprouvettes de torsion rompues par fatigue. *Journées françaises du rail*, septiembre, 1970.

Luis Velilla Almaraz



Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (especialidad Construcción), por la Universidad Politécnica de Madrid desde 1968.

Tesis Doctoral presentada por el Departamento de Ingeniería Civil-Transportes, de la Escuela T. S. de Ingenieros de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid, en 1988, con la calificación de apto «cum laude».

Técnico jefe de vía al servicio de la Inspección General de Renfe, habiendo desempeñado anteriormente diversos puestos desde su ingreso en la Red en 1969. Profesor de Topografía desde 1970, primero en la Escuela de Ingeniería Técnica de Obras Públicas y a partir de 1977 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid.

