

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 698 105**

51 Int. Cl.:

C21D 8/02 (2006.01)

C22C 38/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2014 PCT/EP2014/052334**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.08.2014 WO14122215**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2014 E 14702880 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 2954074**

54 Título: **Una banda o lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia con excelente conformabilidad y rendimiento de fatiga y un método para fabricar dicha banda o lámina de acero**

30 Prioridad:

11.02.2013 EP 13154825

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

31.01.2019

73 Titular/es:

**TATA STEEL IJMUIDEN BV (100.0%)
Wenckebachstraat 1
1951 JZ Velsen-Noord, NL**

72 Inventor/es:

RIJKENBERG, ROLF ARJAN

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 698 105 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Una banda o lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia con excelente conformabilidad y rendimiento de fatiga y un método para fabricar dicha banda o lámina de acero

5

Esta invención se refiere a una banda o lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia con resistencia a la tracción de 570 a 870 MPa y una excelente combinación de elongación total, conformabilidad de la brida de estiramiento, así como también resistencia a la fatiga y a un método para fabricar dicha banda o lámina de acero.

10

La mejora de la conformabilidad en niveles de resistencia elevados es conveniente para los mercados generalizados. Particularmente en la industria automotriz, donde la legislación está impulsando mejoras en el ahorro de combustible y la seguridad, se está avanzando hacia aceros de alta resistencia más fuertes y conformables. El acero en bandas de alta resistencia y ultra alta resistencia proporciona a los fabricantes de automóviles el potencial para reducir el peso de las estructuras de los vehículos y la oportunidad de contrarrestar los aumentos de peso que surgen del cambio a vehículos eléctricos e híbridos. Además, los aceros de alta y ultra alta resistencia desempeñan un papel fundamental en la determinación del rendimiento y la resistencia a choques de los vehículos de pasajeros modernos.

15

20

En los últimos años, los denominados aceros multifásicos se han desarrollado para cumplir los requisitos de alta resistencia y conformabilidad. Tales aceros, que incluyen los aceros de fase dual (DP) (que comprenden ferrita y martensita) y los aceros de plasticidad inducida por transformación (TRIP) (que comprenden ferrita, bainita y austenita retenida) ofrecen un alto grado de elongación uniforme y total a altas resistencias.

25

Aunque, para muchas aplicaciones, la elongación por tracción puede considerarse un indicador clave de la conformabilidad, otros parámetros pueden ser críticos para algunas rutas de conformación y rendimiento en servicio. Particularmente, la alta ductilidad del borde estirado (capacidad de expansión del agujero) puede ser de importancia crítica para aplicaciones automotrices generalizadas dentro de la carrocería en bruto, chasis y suspensión. Las microestructuras multifásicas convencionales, tales como las encontradas en aceros DP y TRIP, que comprenden mezclas de fases duras y suaves mientras se proporciona una alta elongación por tracción, generalmente funcionan de manera deficiente en las pruebas de ductilidad de borde estirado.

30

35

Se ha dedicado un esfuerzo más reciente al desarrollo de nuevas clases de acero para las cuales la ductilidad de borde estirado se mejora significativamente. Tales aceros, que incluyen aceros ferríticos nanoprecipitados, aceros ferrita-bainita, aceros de fase compleja y los denominados AHSS de tercera generación (aceros avanzados de alta resistencia), se diseñan para encontrar un mejor equilibrio entre la ductilidad a la tracción y ductilidad de borde estirado. Los aceros de fase compleja son los más explotados comercialmente de estas variantes tanto en condiciones de laminado en frío como de laminado en caliente recocido.

40

Las microestructuras de aceros de fase compleja comprenden ferrita con bainita y martensita. Tales estructuras exhiben una ductilidad de borde estirado muy mejorada en comparación con los aceros DP, aunque a expensas de cierta ductilidad a la tracción. Sin embargo, en algunos escenarios se justifica el intercambio de ductilidad a la tracción por ductilidad de borde estirado. Los ejemplos incluyen piezas laminadas donde se requiere plegabilidad en lugar de estiramiento, piezas formadas a partir de piezas de partida en las cuales los agujeros se han perforado previamente, partes para las cuales el diseño conduce a una alta deformación del borde durante la estampación.

45

50

Los aceros de fase compleja generalmente también exhiben mayores límites de elasticidad antes de la formación que hacen los aceros DP o TRIP. Las altas relaciones de elasticidad antes de la formación también pueden ser ventajosas con respecto al control de la forma en la laminación, logrando la resistencia deseada en las partes formadas que se someten a una deformación limitada y logrando una resistencia uniforme en todo el componente formado. El alto límite de elasticidad también puede ser beneficioso en caso de accidente. El alto límite de elasticidad y la mayor uniformidad de la microestructura también pueden ser beneficiosos en términos de rendimiento de fatiga, que es de particular importancia en las aplicaciones de chasis y suspensión.

55

La naturaleza compleja de los aceros CP laminados en caliente exige un control estricto de las condiciones del proceso del laminador de bandas en caliente. Deben formarse tres fases en la tabla de acabado o en la bobina. Si no se logran los patrones de enfriamiento complejos requeridos, puede producirse una variación inaceptable de las propiedades mecánicas de bobina a bobina y dentro de una bobina. Los químicos que son insensibles a las variaciones de proceso y que permiten propiedades consistentes de bobina a bobina y dentro de una bobina son un requisito clave para la producción de aceros CP comerciales.

60

65

El documento EP1338665 describe un acero de titanio-molibdeno para este propósito. El molibdeno es un elemento de aleación costoso y requiere la separación del material de desecho en trabajos de acero integrados para evitar la reintroducción del desecho que contiene molibdeno en la circulación del acero, lo cual es desventajoso para la producción de aceros para empaques laminados en frío de alto valor r. Una solución solo de titanio se proporciona en el documento EP2267175. Sin embargo, el uso de titanio requiere una carga en caliente para la laminación convencional de la banda en caliente. Además, las grandes inclusiones a base de titanio pueden afectar tanto la conformabilidad de la brida de estiramiento así como también deteriorar el rendimiento de fatiga. Además, las composiciones de acero a base

de titanio no son muy adecuadas para la producción de acero en una instalación de producción de banda compacta (CSP), en la que se integran la fundición y la laminación en caliente. La razón de esto es que el titanio conduce a la obstrucción durante la fundición en una línea de producción de CSP. El documento JP2004143518 describe las bandas de acero laminado en caliente de alta resistencia aleadas con vanadio para las partes estructurales de automóviles que comprenden una microestructura que consiste de ferrita reforzada por precipitación que contiene perlitita y/o cementita.

El objetivo de la invención es proporcionar una banda o lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia con una excelente combinación de resistencia a la tracción, elongación total, conformabilidad de la brida de estiramiento, y la resistencia a la fatiga sin el uso de molibdeno como un elemento de aleación. Con resistencia a la tracción se entiende la resistencia a la tracción máxima, indicada usualmente con TS o Rm.

Un objetivo adicional de la invención es proporcionar una banda o lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia con una excelente combinación de resistencia a la tracción, elongación total, conformabilidad de la brida de estiramiento, y la resistencia a la fatiga sin el uso de titanio como un elemento de aleación.

Un objetivo adicional de la invención es proporcionar una banda o lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia con una excelente combinación de resistencia a la tracción, elongación total, conformabilidad de la brida de estiramiento, y la resistencia a la fatiga que puede producirse en un laminador de bandas en caliente convencional a partir del planchón grueso así como también en un planchón delgado, instalación de laminación directa sin requerir adaptaciones en la composición química.

Uno o más de los objetivos pueden lograrse al proporcionar una banda o lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia con una resistencia a la tracción máxima de 570 a 870 MPa y una excelente combinación de elongación total, conformabilidad de la brida de estiramiento, y la resistencia a la fatiga, que comprende (en por ciento en peso):

- entre 0,015 y 0,075 % de C;
- entre 1,0 y 2,0 % de Mn;
- entre 0,02 y 0,30 % de V;
- opcionalmente entre 0,01 y 0,08 % de Nb;
- a lo máximo 0,5 % de Si;
- a lo máximo 0,06 % de P;
- a lo máximo 0,01 % de S;
- a lo máximo 0,1 % de Al_sol;
- a lo máximo 0,020 % de N;
- equilibrio de Fe e impurezas inevitables;

en donde los contenidos de Nb, V, Al_sol, C y N satisfacen las <ec.1> y <ec.2>:

$$0,9 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93} \right) + \left(\frac{V}{51} \right) + \left(\frac{Al_sol}{27} \right)}{\left(\frac{C}{12} \right) + \left(\frac{N}{14} \right)} \right) \leq 2,2 \quad \text{<ec.1>}$$

$$0,9 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93} \right) + \left(\frac{V}{51} \right)}{\left(\frac{C}{12} \right)} \right) \leq 2,0 \quad \text{<ec.2>}$$

en donde la lámina de acero tiene una microestructura ferrítica reforzada por precipitación y predominantemente monofásica, en la que la fracción de ferrita no es inferior al 97 %.

El acero de acuerdo con la invención contiene titanio y molibdeno solo como impurezas.

El acero de acuerdo con la invención ofrece una alta resistencia en combinación tanto con una alta elongación por tracción así como también una alta capacidad de expansión del agujero (es decir, conformabilidad de la brida de estiramiento). Esto se logra mediante el uso de una microestructura ferrítica monofásica. Esto significa que la fracción de volumen de ferrita en la microestructura no debe ser inferior al 97 %. La microestructura ferrítica dúctil es capaz de acomodar tanto una alta elongación por tracción así como también una alta capacidad de expansión del agujero. Una alta densidad de V y/o precipitados de carbonitruro (Nb, V) proporciona suficiente resistencia. Además de una excelente combinación tanto de una alta elongación por tracción así como también una alta capacidad de expansión del agujero, la microestructura ferrítica monofásica ofrece un rendimiento de fatiga superior. La combinación de una alta elongación total y una alta capacidad de expansión del agujero reduce el riesgo de fallos como un resultado del agrietamiento del borde durante el pensado o durante el servicio.

El HSLA/AHSS convencional (fase dual, ferrita-bainita, o fase compleja) tiene una microestructura mixta que comprende una matriz ferrítica y constituyentes de fase ricos en carbono. La diferencia en la dureza entre la matriz y los constituyentes de fase ricos en carbono promueve la nucleación de microcavidades tras la deformación y el posterior crecimiento de grietas. Como consecuencia, estos contenidos tienen tanto capacidad de expansión de agujero como rendimiento de fatiga inferiores.

Los contenidos ferríticos monofásicos, tales como los descritos en el documento EP1338665 se basan en el uso de molibdeno para lograr una alta resistencia (precipitación). La presente invención evita el uso de molibdeno, ya que es un elemento de aleación muy costoso.

El contenido ferrítico monofásico como se describe en el documento EP 2267175 se basa en la resistencia del uso de titanio sin el uso de molibdeno y obtiene su endurecimiento por precipitación del TiC. El intervalo de resistencia a la tracción especificado en esta patente es 520-720 MPa. Los niveles de nitrógeno se mantienen deliberadamente bajos para evitar grandes inclusiones de TiN, que pueden afectar tanto la conformabilidad de la brida de estiramiento así como también el rendimiento de fatiga.

La presente invención evita deliberadamente el uso de titanio, y se basa en el endurecimiento por precipitación en el uso de vanadio, o en el uso de vanadio y niobio. En contraste con el concepto del documento EP 2267175, la presente invención se basa en la precipitación tanto con carbono así como también nitrógeno, es decir, carbonitruros. El uso de nitrógeno aumenta la efectividad de la precipitación (en particular la de vanadio). La ventaja también es que los (carbo)nitruros son menos propensos al engrosamiento (es decir, la maduración de Ostwald) que los carburos, lo que reduce una pérdida en el endurecimiento durante el embobinado o un tratamiento térmico posterior.

El aluminio en solución sólida debe ser bajo para evitar la pérdida de nitrógeno como resultado de la formación de AlN y tener el mayor nitrógeno posible disponible para la formación de carbonitruros con vanadio o vanadio y niobio. El contenido total de aluminio en el acero (Al_tot) consiste de aluminio unido a óxidos (Al_ox) como resultado de la desoxidación del acero, y de aluminio en solución sólida (Al_sol). El Al_sol debe ser a lo máximo 0,1 por ciento en peso y preferentemente a lo máximo 0,03 por ciento en peso y con mayor preferencia debe ser a lo máximo 0,01 por ciento en peso. El Al_sol se denomina a veces como aluminio soluble en ácido, debido a que se disuelve en ácido mientras que el aluminio unido al óxido (alúmina) no lo hace.

Los altos niveles de nitrógeno son convenientes para aumentar la eficiencia de vanadio en el proceso de precipitación y para aumentar su contribución al endurecimiento por precipitación. El nitrógeno es importante ya que su presencia promueve la formación de nitruros. Los nitruros son menos propensos al engrosamiento que los carburos y por lo tanto se perderá menos resistencia a la precipitación durante el embobinado. Se debe tener cuidado de que todo el nitrógeno así como también todo el carbono se consume en el proceso de precipitación. Este último es importante para la prevención de la formación de constituyentes de cementita o perlíticos, que pueden afectar tanto la conformabilidad de la brida de estiramiento así como también el rendimiento de fatiga. Por esta razón el contenido de N debe ser a lo máximo 0,02 por ciento en peso. Sin embargo, para optimizar el endurecimiento por precipitación, el contenido de N preferentemente debe ser de al menos 0,01 por ciento en peso.

La composición necesita entregar la cantidad correcta de C, N, Al_sol, V y opcionalmente Nb así como también el equilibrio correcto entre (C+N) y (Nb+V) para obtener un endurecimiento por precipitación suficiente y evitar la formación de cementita y/o perlita. Los inventores encontraron que cuando la composición satisface <ec.1> y <ec.2> que la composición se equilibra de manera óptima con respecto a estos elementos. El contenido de C está en el intervalo de 0,015 y 0,075 por ciento en peso con un contenido de V que varía desde 0,02 y 0,30 por ciento en peso. El uso de Nb es opcional. Su uso es beneficioso para proporcionar cierto endurecimiento por precipitación adicional pero sobre todo para proporcionar el refinamiento de grano de la microestructura ferrítica para una resistencia adicional y mejoras de las propiedades de fatiga así como también el rendimiento de la soldadura. Si se usa Nb, su contenido debe ser al menos de 0,01 por ciento en peso para que sea significativamente efectivo y a lo máximo 0,08 por ciento en peso para evitar cargas rodantes demasiado altas sin compensación significativa en términos del refinamiento de grano y propiedades.

El silicio es beneficioso para el endurecimiento de la solución sólida y la supresión de la formación de cementita. Este último es altamente relevante ya que la perlita y/o cementita deterioran las propiedades de conformabilidad de la brida de estiramiento y de fatiga. Sin embargo, se desea un bajo contenido de Si para reducir las cargas rodantes y para evitar problemas de cascarillas, que pueden deteriorar las propiedades de fatiga. Por lo tanto, el contenido de Si no debe exceder 0,5 por ciento en peso.

Mn es importante debido a: (a) endurecimiento de la solución sólida, (b) supresión de la temperatura de transformación de ferrita y (c) desaceleración de la velocidad de transformación. Los factores (b) y (c) son importantes para lograr un endurecimiento por precipitación suficiente. Por lo tanto, el contenido de Mn debe ser al menos 1,0 por ciento en peso. Sin embargo, un contenido de Mn demasiado alto conducirá a la segregación, que deteriora la conformabilidad de la brida de estiramiento. Por lo tanto, el contenido de Mn debe estar en el intervalo de 1,0 y 2,0 por ciento en peso. Preferentemente, el contenido de Mn es al menos 1,4 por ciento en peso.

Un bajo contenido de azufre mejorará la conformabilidad. Por lo tanto, se recomienda realizar esfuerzos para alcanzar un bajo contenido de azufre para obtener una alta capacidad de expansión del agujero. Es conveniente un tratamiento de calcio opcional para el control de inclusión, particularmente de MnS. El contenido de S debe ser a lo máximo 0,01 por ciento en peso.

5

P proporciona el endurecimiento de la solución sólida. Sin embargo, a altos niveles, la segregación P deteriorará la conformabilidad de la brida de estiramiento. Por lo tanto, el contenido de P debe ser a lo máximo 0,06 por ciento en peso.

10

La microestructura es una microestructura ferrítica sustancialmente monofásica. La fracción de volumen de ferrita en la microestructura no es inferior al 97 % (en volumen), preferentemente no inferior al 99 % y con la máxima preferencia debería estar tan cerca del 100 % como sea posible. La ferrita se refuerza por precipitación con carburos, nitruros y/o precipitados de carbonitruro que contiene vanadio o vanadio y niobio. La naturaleza monofásica de la microestructura es crucial. Una microestructura HSLA convencional típica no es monofásica, sino que consiste de una matriz ferrítica con cementita y/o perlita como constituyentes de fase adicionales. Una estructura de fase dual o fase compleja tampoco es monofásica, sino que consiste de una matriz ferrítica con constituyentes de fase adicionales tales como martensita, bainita, austenita retenida, etcétera. La naturaleza monofásica de la invención es crucial para lograr una alta capacidad de expansión del agujero. La microestructura ferrítica monofásica preferentemente debe ser ferrita poligonal. Con una microestructura de ferrita totalmente poligonal se obtendrá el equilibrio óptimo entre la elongación total y la capacidad de expansión del agujero. Aunque la ferrita irregular, bainítica o acicular puede ser permisible, los inventores encontraron que su presencia puede darse a expensas o bien de la elongación total o la capacidad de expansión del agujero, aunque la resistencia y otras propiedades permanecen en un nivel adecuado.

15

20

25

El proceso de fundición de acero y laminación en caliente generalmente es similar al de los aceros HSLA convencionales. El proceso debe diseñarse para garantizar que se logre una microestructura ferrítica monofásica, que sea suficientemente reforzada por precipitación con (carburo, nitruro y/o) precipitados de carbonitruro que contiene V o V y Nb. La presencia de cementita y/o perlita debe evitarse ya que deteriora la capacidad de expansión del agujero así como también la resistencia a la fatiga.

30

Los planchones se recalientan a 1050-1250 °C y se laminan en caliente con una temperatura de laminación de acabado del punto de transformación Ar_3 o superior, y se enrollan en el intervalo de temperatura entre 700 y 580 °C. Para evitar el engrosamiento de precipitados y la pérdida de resistencia, el enfriamiento activo de la bobina después del embobinado es una opción, ya sea mediante la inmersión de la bobina en una cuenca de agua o al pulverizar activamente la bobina con agua (por ejemplo, un rociado de la bobina). La lámina de acero laminado en caliente preferentemente se enfría a la temperatura del embobinado a una velocidad de enfriamiento promedio de al menos 10 °C/s y/o a lo máximo 600 °C/s. Preferentemente la lámina de acero laminado en caliente se enfría a la temperatura del embobinado a una velocidad de enfriamiento promedio de al menos 40 °C/s y/o a lo máximo 150 °C/s.

35

40

Además de un laminador convencional de bandas en caliente, este tipo de producto podría producirse en una fundición de planchón delgado y en el tren de laminación directa tales como los del tipo CSP ya que la composición no se basa en el uso de Ti. Se conoce que la microaleación con Ti puede conducir a problemas con la fundición en un tipo de instalación CSP.

45

Puede proporcionarse un material con un recubrimiento de zinc o un recubrimiento de aleación de zinc a través de un ciclo de calentamiento para obtener el recubrimiento (o electrogalvanización) en donde el recubrimiento de aleación de zinc preferentemente comprende aluminio y/o magnesio como sus principales elementos de aleación.

La banda o lámina de acero de acuerdo con la invención viene en tres categorías i, ii y iii:

50

i. Acero con una resistencia a la tracción de al menos 580 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 100 %, y en el cual la resistencia a la tracción (TS) y la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 11\ 000$, o

55

ii. Acero con una resistencia a la tracción de al menos 650 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 80 %, y en el cual la resistencia a la tracción (TS) y la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 10\ 000$, o

iii. Acero con una resistencia a la tracción de al menos 780 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 60 %, y en el cual la resistencia a la tracción (TS) y la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 9\ 000$

60

Preferentemente la elongación total (EI determinada en una muestra de tracción JIS5 de 1 mm de grosor) no es inferior al 14 %, preferentemente no inferior al 16 %, con la máxima preferencia no inferior al 18 %.

La invención también se incorpora en el uso de la lámina de acero de acuerdo con la invención para producir una pieza del chasis.

65

La invención se explicará ahora aún más por medio de los siguientes ejemplos no limitantes 1 y 2.

Ejemplo 1: Los aceros A a E que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se laminaron en caliente bajo las condiciones dadas en la Tabla 2, produciendo las láminas de acero 1 a la 12 con un grosor en el intervalo de 2,5 a 3,1 mm (YS=límite de elasticidad; UTS=resistencia a la tracción máxima; YR=relación de elasticidad; El=elongación). Las láminas de acero laminado en caliente se decaparon antes de la prueba. Las propiedades de tracción presentadas se basan en la geometría JIS No. 5 con pruebas de tracción paralelas a la dirección de laminación y la aplicación de una prueba de resistencia a la tracción a la pieza de prueba de acuerdo con la norma EN 10002-1/ISO 6892-1. En algunos casos, la rugosidad superficial de las piezas de prueba de tracción se retiró mediante el adelgazamiento de la pieza de prueba con el uso de un pulido suave. Para determinar la relación de expansión del agujero λ que se considera como un criterio para la capacidad de deformación, se cortaron tres muestras cuadradas de acero de 90 x 90 mm² de cada lámina de acero, después se realizó un agujero de 10 mm de diámetro en las muestras mediante troquelado. La prueba de expansión del agujero de las muestras se realizó con rebabado superior. Un punzón cónico de 60° se empujó hacia arriba desde abajo y se midió el diámetro del agujero d_f cuando se formó una grieta a través del grosor. La relación de expansión del agujero λ se calculó mediante el uso de la siguiente fórmula con $d_0=10$ mm:

$$\lambda = \frac{d_f - 10}{10} \times 100\%$$

La microestructura se identificó mediante el uso de microscopía óptica para identificar los constituyentes de la fase en la microestructura y para evaluar la fracción total de cementita y/o perlita. Las propiedades de tracción y las relaciones de expansión de los agujeros de las láminas de acero examinadas se muestran en la Tabla 2. También se muestra en la Tabla 2 una evaluación del tipo de microestructura de las láminas de acero examinadas. La microestructura se asigna como F si la fracción de ferrita es del 97 % o más. En el caso de que la fracción de cementita y/o perlita sea más del 3 %, la microestructura se asigna como F+C+P. Las propiedades de fatiga de las láminas de acero 3B y 12E también se muestran en la Tabla 2. Las propiedades de fatiga y las curvas de fatiga S-N (tensión (en MPa) como una función de ciclos hasta el fallo (Nf)) se midieron con una relación de tensión de fatiga R de -1 (carga de tensión/compresión totalmente invertida) y pruebas de fatiga paralelas a la dirección de laminación. Las pruebas de fatiga S-N se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos de la norma británica de pruebas de fatiga BS3518 Parte 1. En la Tabla 2 se informan la resistencia a la fatiga en ciclos de 1×10^5 y ciclos de 5×10^5 , definidos como el intervalo de tensión con una relación de tensión R de -1 para la cual ocurre una falla en ciclos de 1×10^5 y ciclos de 5×10^5 .

La Figura 1 muestra un gráfico de relación de expansión del agujero contra la resistencia a la tracción para las láminas de acero 1A, 3B, 7B con microestructuras de ferrita monofásicas y para las láminas de acero 8/9C, 10/11D, y 12E, todas con microestructuras mixtas, que comprenden ferrita, cementita, y perlita. Los datos mostrados en la Figura 1 ilustran claramente la influencia beneficiosa de una microestructura de ferrita monofásica en la relación de expansión del agujero. La Figura 2 muestra un gráfico de relación de expansión del agujero contra la elongación total (JIS No. 5) para las láminas de acero 1A, 3B, 7B con microestructuras de ferrita monofásicas y para las láminas de acero 8/9C, 10/11D, y 12E, todas con microestructuras mixtas, que comprenden ferrita, cementita, y perlita. De nuevo, los datos muestran la influencia beneficiosa de una microestructura de ferrita monofásica en un equilibrio superior entre la relación de expansión del agujero y la elongación total. La Figura 3 muestra las curvas de fatiga S-N (R = -1) de la lámina de acero 3B con una microestructura de ferrita monofásica y la de la lámina de acero 12E con una microestructura mixta, que comprenden ferrita, perlita y cementita. También se muestran en la Figura 3 las curvas S-N de un acero de fase dual (DP) laminado en caliente (2,7 mm) con una microestructura que comprende ferrita y martensita y la de un acero de ferrita-bainita (FB) laminado en caliente (3,3 mm), con una microestructura que comprende ferrita y bainita. El grosor y las resistencias máximas a la tracción de estos dos aceros se encuentran en la misma región que las de las láminas de acero 1 a la 12 (ver la Tabla 2). El límite de elasticidad y la resistencia a la tracción máxima del acero DP son 434 y 647 MPa (YR = 0,67), respectivamente, y el límite de elasticidad y la resistencia a la tracción máxima del acero FB son 532 y 638 MPa (YR = 0,83), respectivamente. Las curvas S-N de los aceros DP y FB se consideran como típicos para este tipo de contenidos de acero con su tipo multifásico de microestructuras. Una comparación entre las curvas S-N representadas en la Figura 3 ilustran claramente la influencia beneficiosa de una microestructura de ferrita monofásica en la resistencia a la fatiga.

Ejemplo 2: Los aceros A a K que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 3 se laminaron en caliente bajo las condiciones dadas en la Tabla 4, produciendo las láminas de acero 1 a la 28 con un grosor en el intervalo de 2,6 a 3,6 mm. Se prepararon y se probaron las muestras similares a las del ejemplo 1. Las propiedades de tracción y las relaciones de expansión de los agujeros de las láminas de acero examinadas se muestran en la Tabla 4. También se muestra en la Tabla 4 una evaluación del tipo de microestructura de las láminas de acero examinadas. La microestructura se asigna como F si la fracción de ferrita es del 97 % o más. En el caso de que la fracción de cementita y/o perlita sea más de 3 %, la microestructura se asigna como F+C+P. Las propiedades de fatiga de las láminas de acero 9B, 10B, 11B y 22E también se muestran en la Tabla 4. Las propiedades de fatiga y las curvas de fatiga S-N (tensión (en MPa) como una función de ciclos hasta el fallo (Nf)) se midieron con una relación de tensión de fatiga R de -1 (carga de tensión/compresión totalmente invertida) y pruebas de fatiga paralelas a la dirección de laminación. Las pruebas de fatiga S-N se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos de la norma británica de pruebas de fatiga

BS3518 Parte 1. Se informaron en la Tabla 4 la resistencia a la fatiga en ciclos de 1×10^5 y ciclos de 5×10^5 , definidos como el intervalo de tensión con una relación R de -1 para la cual ocurre una falla en ciclos de 1×10^5 y ciclos de 5×10^5 .

La Figura 4 muestra un gráfico de relación de expansión del agujero frente a la resistencia a la tracción para las láminas de acero 1A a 28K (ejemplos de la invención) enumerados en la Tabla 4. Todas estas láminas de acero tienen una microestructura de ferrita monofásica. También se muestra en la Figura 4 los datos de referencia obtenidos de las láminas de acero comerciales con microestructuras multifásicas. Este conjunto de datos comprende se laminan aceros laminados en caliente de alta resistencia y baja aleación (HSLA), acero de ferrita-bainita (FB), acero de fase dual (DP), aceros de fase compleja (CP), y acero bainítico (BS). El tipo de microestructura (F=ferrita, B=bainita, M=martensita, P=perlita) para todas las láminas de acero se encuentra entre paréntesis en la leyenda de la Figura 4. Los datos mostrados en la Figura 4 ilustran claramente el beneficio de una microestructura de ferrita monofásica sobre una microestructura multifásica: las relaciones de expansión de los agujeros de los ejemplos de la invención 1A a 28K (Tabla 4) de la presente invención son más altas que las de las láminas típicas de acero comerciales con microestructuras multifásicas y similar resistencia a la tracción. La Figura 5 muestra un gráfico de relación de expansión del agujero contra la elongación total (geometría JIS No. 5) para las láminas de acero 18E a 21E (Tabla 4), con niveles de resistencia a la tracción máxima de 800 a 830 MPa. También se muestran en la Figura 5 los datos para las láminas de acero CP800, BS800, y E690TM laminadas en caliente típicas con niveles de resistencia a la tracción máxima y grosor similares a las láminas de acero 18E a 21E. Los datos ilustran de manera convincente el equilibrio superior entre la relación de expansión del agujero y la elongación total alcanzada con la presente invención. La microestructura de ferrita totalmente monofásica de las láminas de acero 18E a 21E (ejemplos de la invención enumerados en la Tabla 4) proporciona un equilibrio significativamente mejorado entre la relación de expansión del agujero y la elongación total cuando se compara con láminas de acero multifásicas con niveles de resistencia a la tracción máxima similares. Las Figuras 6 y 7 muestran las curvas de fatiga S-N (R = -1) que se corresponden con los datos obtenidos de las láminas de acero con resistencia a la tracción cerca de 600-650 y 800-830 MPa, respectivamente. La Figura 6 muestra las curvas S-N de las láminas de acero 9B, 10B, y 11B (ejemplos de la invención enumerados en la Tabla 4) comparadas con las curvas S-N típicas de láminas de acero FB590 y DP600 laminadas en caliente con resistencia a la tracción y grosor similares. Los datos mostrados en la Figura 6 confirman que una microestructura de ferrita monofásica proporciona resistencia a la fatiga considerablemente mayor que las láminas de acero con una microestructura multifásica que consiste de ferrita y bainita (FB590) o ferrita y martensita (DP600) con resistencia a la tracción máxima similar y similar grosor. Se saca una conclusión similar de la Figura 7, que muestra las curvas de fatiga S-N de la lámina de acero 22E (ejemplo de la invención enumerado en la Tabla 4) en comparación con las curvas de fatiga S-N típicas de CP800 laminado en frío y DP800 laminado en frío. Los datos mostrados en la Figura 7 convincentemente muestran que una microestructura de ferrita monofásica ofrece una resistencia a la fatiga considerablemente mayor que las láminas de acero con una microestructura multifásica y resistencia a la tracción máxima similar.

Tabla 1: Composiciones de los aceros correspondientes al ejemplo 1.

Acero	Composición química (por ciento en peso)										Relaciones atómicas**	
	C	Si	Mn	P	S	Al_sol	N	Ti	Nb	V	A	B
A	0,047	0,18	1,60	0,013	0,005	0,043	0,0049	-	-	0,200	1,00	1,29
B	0,023	0,01	1,60	0,000	0,002	0,024	0,0160	-	0,016	0,139	1,51	1,24
C*	0,051	0,19	1,63	0,014	0,006	0,036	0,0070	0,079	0,009	-	0,41	0,65
D*	0,039	0,18	1,60	0,014	0,004	0,039	0,0042	-	0,055	-	0,18	0,57
E*	0,073	0,21	1,55	0,012	0,005	0,036	0,0085	-	0,071	0,077	0,37	0,54
* Comparación (composiciones que se corresponden con los ejemplos comparativos)												
** Relaciones atómicas												
A: (Nb+V+Ti) / C												
B:(Nb+V+Ti+Al) / (C+N)												

ES 2 698 105 T3

Tabla 3: Composiciones de los aceros correspondientes al ejemplo 2.

Acero	C	Si	Mn	P	S	Al_sol	N	Ti	Nb	V	A	B
A	0,025	0,01	1,05	0,001	0,001	0,043	0,0159	-	0,016	0,130	1,31	1,34
B	0,026	0,02	1,56	0,001	0,001	0,013	0,0118	-	0,016	0,141	1,36	1,14
C	0,035	0,01	1,55	0,001	0,001	0,013	0,0126	-	0,017	0,179	1,27	1,10
D	0,040	0,10	1,48	0,001	0,001	0,007	0,0112	-	0,017	0,242	1,48	1,26
E	0,045	0,20	1,81	0,001	0,001	0,012	0,0142	-	0,030	0,259	1,44	1,23
F	0,035	0,02	1,57	0,001	0,001	0,010	0,0130	-	0,015	0,150	1,07	0,90
G	0,029	0,03	1,58	0,001	0,002	0,013	0,0140	-	0,015	0,150	1,29	1,05
H	0,028	0,03	1,57	0,001	0,001	0,005	0,0130	-	0,015	0,160	1,42	1,07
I	0,033	0,02	1,58	0,008	0,004	0,013	0,0100	-	0,016	0,150	1,13	1,04
J	0,034	0,03	1,59	0,007	0,005	0,012	0,0120	-	0,016	0,150	1,10	0,97
K	0,023	0,03	1,70	0,010	0,005	0,016	0,0150	-	0,017	0,160	1,74	1,31
* Relaciones atómicas												
A: $(Nb+V+Ti) / C$												
B: $(Nb+V+Ti+Al) / (C+N)$												

Tabla 2: Condiciones del proceso, propiedades y microestructura correspondientes al ejemplo 1

Lámina	Lámina	Condiciones de laminación en caliente				Propiedades de tracción ¹					Relación de expansión del agujero λ^2			Resistencia a la fatiga σ		Estructura ⁵	Ejemplo
		Temperatura de recalentamiento (°C)	Temperatura de laminación de acabado (°C)	Temperatura de embobinado (°C)	Grosor (mm)	YS (MPa)	UTS (MPa)	YR (-)	EI (%)	prom. (%)	máx. (%)	σ^3 (MPa)	σ^4 (MPa)				
1	A	1 200	925	650	2,8	539	624	0,86	20,4	125	136	-	-	F	Invención		
2	B	1 220	860	630	3,0	590	666	0,89	19,2	-	-	-	-	F	Invención		
3	B	1 220	865	630	2,9	601	668	0,90	22,9	-	-	938	847	F	Invención		
4	B	1 220	880	630	2,9	603	665	0,91	22,8	119	129	-	-	F	Invención		
5	B	1 220	890	600	2,9	619	680	0,91	20,3	-	-	-	-	F	Invención		
6	B	1 220	865	600	3,1	578	655	0,88	19,9	-	-	-	-	F	Invención		
7	B	1 220	890	600	3,0	612	676	0,91	19,9	110	111	-	-	F	Invención		
8	C*	1 250	905	650	3,0	555	634	0,88	22,2	56	62	-	-	F+C+P	Comparativo		
9	C*	1 250	930	600	2,9	635	702	0,90	17,6	47	48	-	-	F+C+P	Comparativo		
10	D*	1 200	915	650	3,0	510	560	0,91	25,2	84	86	-	-	F+C+P	Comparativo		
11	D*	1 200	900	600	3,1	532	592	0,90	24,2	60	67	-	-	F+C+P	Comparativo		
12	E*	1 220	900	630	2,5	637	675	0,94	24,7	37	-	755	600	F+C+P	Comparativo		

(1) En base a la muestra de prueba de tracción JIS No. 5 (50 x 25 mm), dirección longitudinal a la de laminación.
(2) Relación de expansión del agujero: agujero perforado con 10 mm de diámetro, rebabado superior.
(3) Resistencia a la fatiga (definida como intervalo de tensión) en ciclos de 1×10^5 (R = 1).
(4) Resistencia a la fatiga (definida como intervalo de tensión) en ciclos de 5×10^5 (R = 1).
(5) La estructura se asigna como ferrita (F) predominantemente si la fracción de ferrita es de 97 % o más. La estructura se asigna como ferrita con cementita y pearlita (F+C+P) si la fracción de cementita y pearlita es más de 3 %.

* Comparación

Tabla 4: Condiciones del proceso, propiedades y microestructura correspondientes al ejemplo 2

Lámina	Lámina	Condiciones de laminación en caliente				Propiedades de tracción ¹				Relación de expansión del agujero λ^2		Resistencia a la fatiga σ		Estructura ⁵	Ejemplo	
		Temperatura de recalentamiento (°C)	Temperatura de laminación de acabado (°C)	Velocidad de enfriamiento (°C/S)	Temperatura de embobinado (°C)	Grosor (mm)	YS (MPa)	UTS (MPa)	YR (-)	EI (%)	prom. (%)	máx. (%)	σ^3 (MPa)			σ^4 (MPa)
1	A	1 240	880	50	630	3,5	563	624	0,90	23,3	139	141	-	-	F	Invencción
2	A	1 240	885	50	630	3,0	578	645	0,90	22,7	128	134	-	-	F	Invencción
3	A	1 240	875	100	630	3,5	567	618	0,92	23,8	107	134	-	-	F	Invencción
4	A	1 240	880	100	630	3,1	573	624	0,92	20,6	122	140	-	-	F	Invencción
5	B	1 240	875	50	630	3,4	561	634	0,88	21,9	131	146	-	-	F	Invencción
6	B	1 240	865	50	630	2,8	571	648	0,88	23,5	125	127	-	-	F	Invencción
7	B	1 240	900	100	630	3,6	569	630	0,90	21,9	108	125	-	-	F	Invencción
8	B	1 240	900	100	630	2,9	582	644	0,90	20,3	117	131	-	-	F	Invencción
9	B	1 240	885	50	630	2,9	571	645	0,89	23,0	-	-	886	799	F	Invencción
10	B	1 240	865	50	630	3,0	562	647	0,87	22,6	-	-	881	777	F	Invencción
11	B	1 240	900	100	630	3,0	583	640	0,91	23,0	-	-	830	747	F	Invencción
12	C	1 240	890	100	630	3,5	602	683	0,88	23,1	85	105	-	-	F	Invencción
13	C	1 240	885	50	630	3,0	623	697	0,89	21,3	110	120	-	-	F	Invencción
14	D	1 240	895	50	630	3,6	661	757	0,87	21,3	70	76	-	-	F	Invencción
15	D	1 240	895	100	630	3,1	674	771	0,87	21,1	110	121	-	-	F	Invencción
16	D	1 240	890	100	630	3,5	668	752	0,89	19,7	74	84	-	-	F	Invencción
17	D	1 240	890	50	630	3,0	691	769	0,90	19,7	71	92	-	-	F	Invencción
18	E	1 240	905	50	630	2,9	754	826	0,91	19,1	60	62	-	-	F	Invencción
19	E	1 240	880	100	630	3,0	733	816	0,90	18,8	81	87	-	-	F	Invencción

20	E	1 240	875	100	630	3,5	741	804	0,92	19,3	60	62	-	-	F	Invencción
21	E	1 240	890	50	630	3,1	763	821	0,93	18,7	92	96	-	-	F	Invencción
22	E	1 240	895	50	630	2,8	713	821	0,87	19,3	-	-	1 003	769	F	Invencción
23	F	1 240	920	50	630	2,7	602	668	0,90	19,3	128	136	-	-	F	Invencción
24	G	1 240	930	50	630	2,8	588	656	0,90	18,4	116	160	-	-	F	Invencción
25	H	1 240	910	50	630	2,8	588	659	0,89	17,9	120	130	-	-	F	Invencción
26	I	1 240	920	50	630	2,6	595	655	0,91	19,8	109	123	-	-	F	Invencción
27	J	1 240	910	50	630	2,8	596	665	0,90	19,7	83	95	-	-	F	Invencción
28	K	1 240	910	50	630	2,6	601	675	0,89	22,5	86	94	-	-	F	Invencción

(1) En base a la muestra de prueba de tracción JIS No. 5 (50 x 25 mm), dirección longitudinal a la de laminación.

(2) Relación de expansión del agujero: agujero perforado con 10 mm de diámetro, rebabado superior.

(3) Resistencia a la fatiga (definida como intervalo de tensión) en ciclos de 1×10^5 ($R = 1$).

(4) Resistencia a la fatiga (definida como intervalo de tensión) en ciclos de 5×10^5 ($R = 1$).

(5) La estructura se asigna como ferrita (F) predominantemente si la fracción de ferrita es de 97 % o más. La estructura se asigna como ferrita con cementita y pearlita (F+C+P) si la fracción de cementita y pearlita es más de 3 %.

REIVINDICACIONES

1. Una lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia o lámina con resistencia a la tracción máxima de 570 a 870 MPa y una excelente combinación de elongación total, conformabilidad de la brida de estiramiento, y la resistencia a la fatiga, que comprenden (en por ciento en peso):

- entre 0,015 y 0,075 % de C;
- entre 1,0 y 2,0 % de Mn;
- entre 0,02 y 0,30 % de V;
- opcionalmente entre 0,01 y 0,08 % de Nb;
- a lo máximo 0,5 % de Si;
- a lo máximo 0,06 % de P;
- a lo máximo 0,01 % de S;
- a lo máximo 0,1 % de Al_sol;
- a lo máximo 0,020 % de N;
- equilibrio de Fe e impurezas inevitables;

en donde los contenidos de Nb, V, Al_sol, C y N (en por ciento en peso) satisfacen las <ec.1> y <ec.2>:

$$0,9 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93}\right) + \left(\frac{V}{51}\right) + \left(\frac{Al_sol}{27}\right)}{\left(\frac{C}{12}\right) + \left(\frac{N}{14}\right)} \right) \leq 2,2 \quad \text{<ec.1>}$$

$$0,9 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93}\right) + \left(\frac{V}{51}\right)}{\left(\frac{C}{12}\right)} \right) \leq 2,0 \quad \text{<ec.2>}$$

en donde la lámina de acero tiene una microestructura ferrítica reforzada por precipitación y predominantemente monofásica, en donde la microestructura está libre de componentes microestructurales ricos en carbono, tales como perlita o cementita, en los que la fracción de ferrita no es inferior al 97 %.

2. La banda o lámina de acero de acuerdo con la reivindicación 1 en donde la microestructura está libre de precipitados a base de titanio o inclusiones de titanio.

3. La banda o lámina de acero de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 que comprende:

- al menos 0,02 % de C y/o
- al menos 1,4 % de Mn y/o
- al menos 0,10 % de V y/o
- al menos 0,015 % de Nb y/o
- a lo máximo 0,25 % de Si y/o
- a lo máximo 0,02 % de P y/o
- a lo máximo 0,006 % de S y/o
- a lo máximo 0,030 % de Al_sol y/o
- al menos 0,01 % de N.

4. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende a lo máximo 0,015 % de Al_sol, preferentemente a lo máximo 0,010 % de Al_sol.

5. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde los contenidos de Nb, V, Al_sol, C y N (en por ciento en peso) satisfacen las <ec.1a> y <ec.2a>:

$$1,0 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93}\right) + \left(\frac{V}{51}\right) + \left(\frac{Al_sol}{27}\right)}{\left(\frac{C}{12}\right) + \left(\frac{N}{14}\right)} \right) \leq 2,2 \quad \text{<ec.1a>}$$

$$1,0 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93}\right) + \left(\frac{V}{51}\right)}{\left(\frac{C}{12}\right)} \right) \leq 2,0 \quad \text{<ec.2a>}$$

6. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde los contenidos de Nb, V, Al_sol, C y N (en por ciento en peso) satisfacen las <ec.1b> y <ec.2b>:

$$1,1 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93} \right) + \left(\frac{V}{51} \right) + \left(\frac{Al_{sol}}{27} \right)}{\left(\frac{C}{12} \right) + \left(\frac{N}{14} \right)} \right) \leq 2,2 \quad \text{<ec.1b>}$$

$$1,2 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93} \right) + \left(\frac{V}{51} \right)}{\left(\frac{C}{12} \right)} \right) \leq 2,0 \quad \text{<ec.2b>}$$

5

10 7. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores con una resistencia a la tracción de al menos 580 MPa y/o una relación de expansión del agujero de 100 % o mayor.

15 8. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores con una resistencia a la tracción de al menos 680 MPa y/o una relación de expansión del agujero de 80 % o mayor.

9. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores con una resistencia a la tracción de al menos 780 MPa y/o una relación de expansión del agujero de 60 % o mayor.

20 10. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores con:

i. una resistencia a la tracción de al menos 580 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 100 %, y en la cual la resistencia a la tracción (TS) y la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 11\,000$, o

25 ii. una resistencia a la tracción de al menos 650 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 80 %, y en la cual la resistencia a la tracción (TS) y la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 10\,000$, o

30 iii. una resistencia a la tracción de al menos 780 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 60 %, y en la cual la resistencia a la tracción (TS) y la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 9\,000$

35 11. La banda o lámina de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la lámina de acero se proporciona con un recubrimiento de zinc o de aleación de zinc, en donde el proceso de recubrimiento se realiza preferentemente por recubrimiento por inmersión en caliente y/o en donde el recubrimiento de aleación de zinc preferentemente contiene aluminio y/o magnesio como sus principales elementos de aleación.

12. Un método para fabricar una lámina de acero de alta resistencia con una resistencia a la tracción de entre 570 a 870 MPa y una excelente combinación de conformabilidad y la resistencia a la fatiga, que contiene la etapa de fundición de un planchón grueso o delgado que comprende (en por ciento en peso):

- entre 0,015 y 0,075 % de C;
- entre 1,0 y 2,0 % de Mn;
- entre 0,02 y 0,30 % de V;
- opcionalmente entre 0,01 y 0,08 % de Nb;
- a lo máximo 0,5 % de Si;
- a lo máximo 0,06 % de P;
- a lo máximo 0,01 % de S;
- a lo máximo 0,1 % de Al_sol;
- a lo máximo 0,020 % de N;
- equilibrio de Fe e impurezas inevitables;

50 en donde los contenidos de Nb, V, Al_sol, C y N satisfacen las <ec.1> y <ec.2>:

$$0,9 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93} \right) + \left(\frac{V}{51} \right) + \left(\frac{Al_{sol}}{27} \right)}{\left(\frac{C}{12} \right) + \left(\frac{N}{14} \right)} \right) \leq 2,2 \quad \text{<ec.1>}$$

$$0,9 \leq \left(\frac{\left(\frac{Nb}{93} \right) + \left(\frac{V}{51} \right)}{\left(\frac{C}{12} \right)} \right) \leq 2,0 \quad \text{<ec.2>}$$

60

seguido de la etapa de recalentamiento del planchón solidificado a una temperatura de entre 1050 y 1250 °C, laminado en caliente del planchón de acero y acabado de dicha laminación en caliente a una temperatura de laminación en caliente final a la temperatura de Ar₃ o mayor, y embobinado la lámina de acero laminado en caliente en el intervalo de temperatura de entre 700 y 580 °C, en donde la laminación en caliente se realiza en un laminador de bandas en caliente convencional o en el laminador en caliente de una máquina de colada de planchón delgado e instalación de laminación directa.

65

- 5 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde la lámina de acero laminado en caliente se enfría a la temperatura del embobinado a una velocidad de enfriamiento promedio de al menos 10 °C/s y/o a lo máximo 600 °C/s, preferentemente en donde la lámina de acero laminado en caliente se enfría a la temperatura del embobinado a una velocidad de enfriamiento promedio de al menos 40 °C/s y/o a lo máximo 150 °C/s.
- 10 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, en donde la banda caliente embobinada se somete a enfriamiento mediante la inmersión de la bobina en una cuenca de agua o mediante el enfriamiento activo de la bobina con un rociador de agua.
- 15 15. Una pieza, preferentemente una pieza automotriz, con mayor preferencia una pieza del chasis, mediante el uso de la lámina de acero laminado en caliente de alta resistencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a la 11, preferentemente en donde el lámina de acero
- 20 • tiene una resistencia a la tracción de al menos 580 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 100 %, y en la cual la resistencia a la tracción (TS), la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 11\ 000$, o
- tiene una resistencia a la tracción de al menos 650 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 80 %, y en la cual la resistencia a la tracción (TS), la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 10\ 000$, o
- tiene una resistencia a la tracción de al menos 780 MPa y una relación de expansión del agujero de al menos 60 %, y en la cual la resistencia a la tracción (TS), la elongación total (EI), y el grosor de la lámina t (mm) satisfacen la ecuación de $(TS \times EI) / t^{0.2} > 9\ 000$.

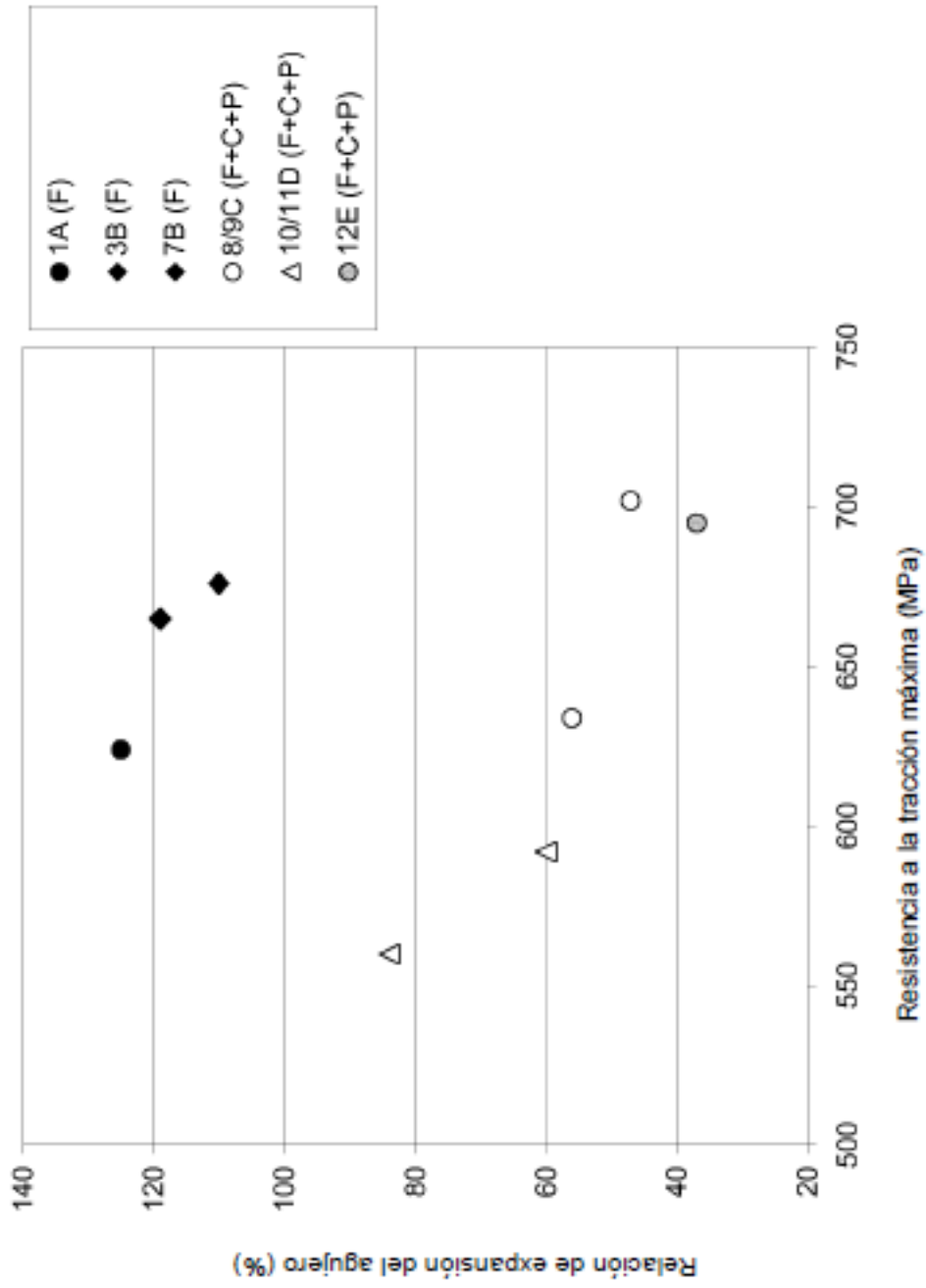


Figura 1

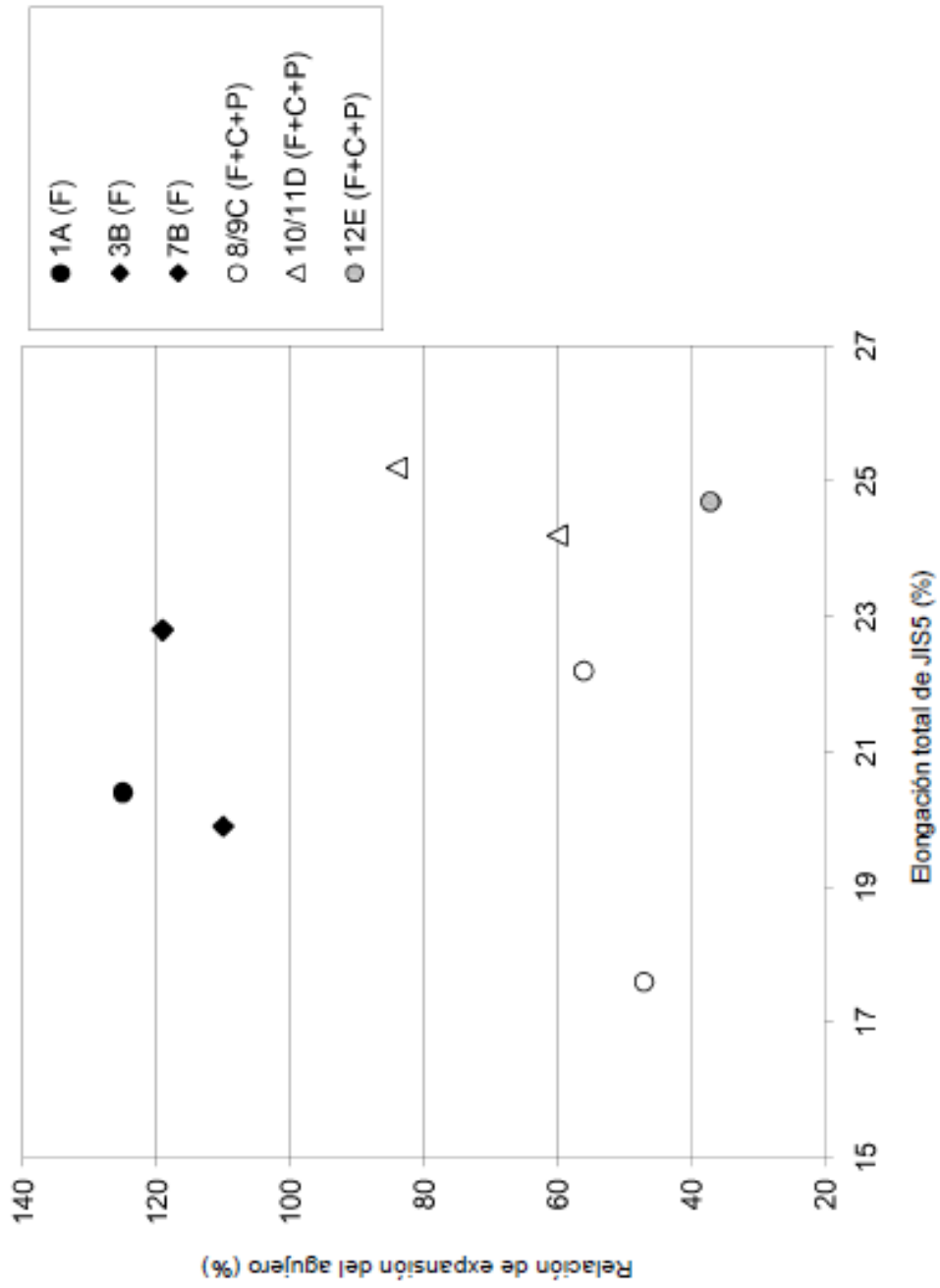


Figura 2

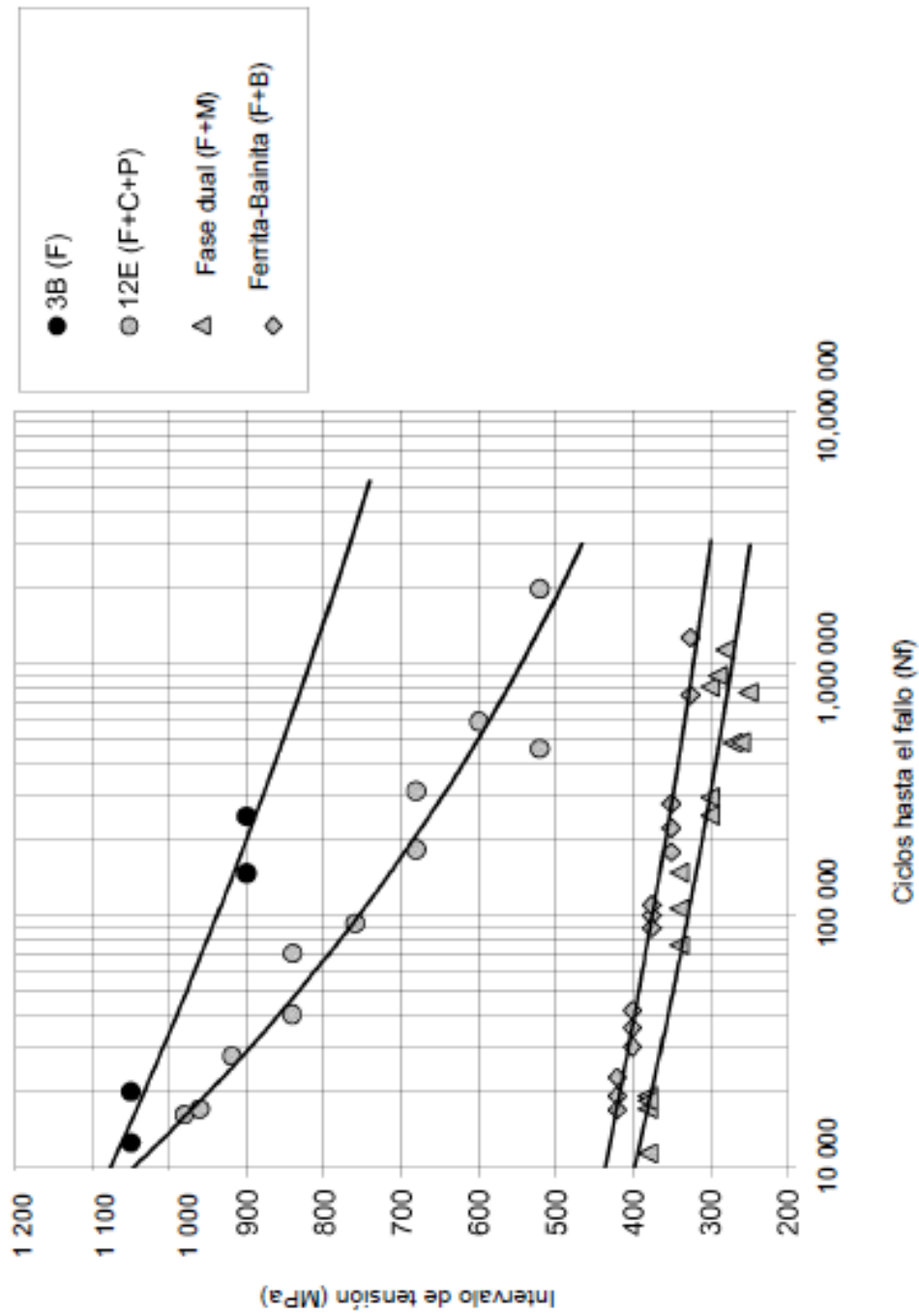


Figura 3

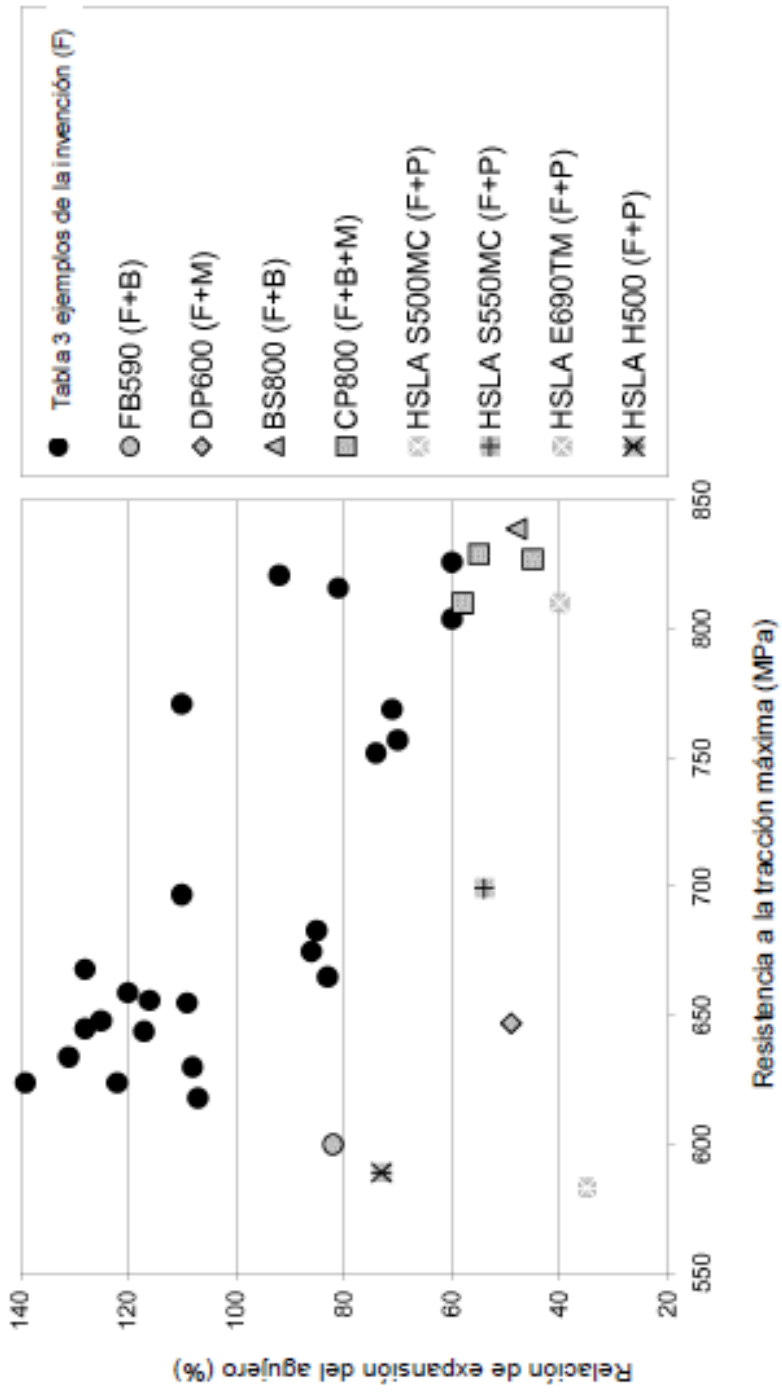


Figura 4

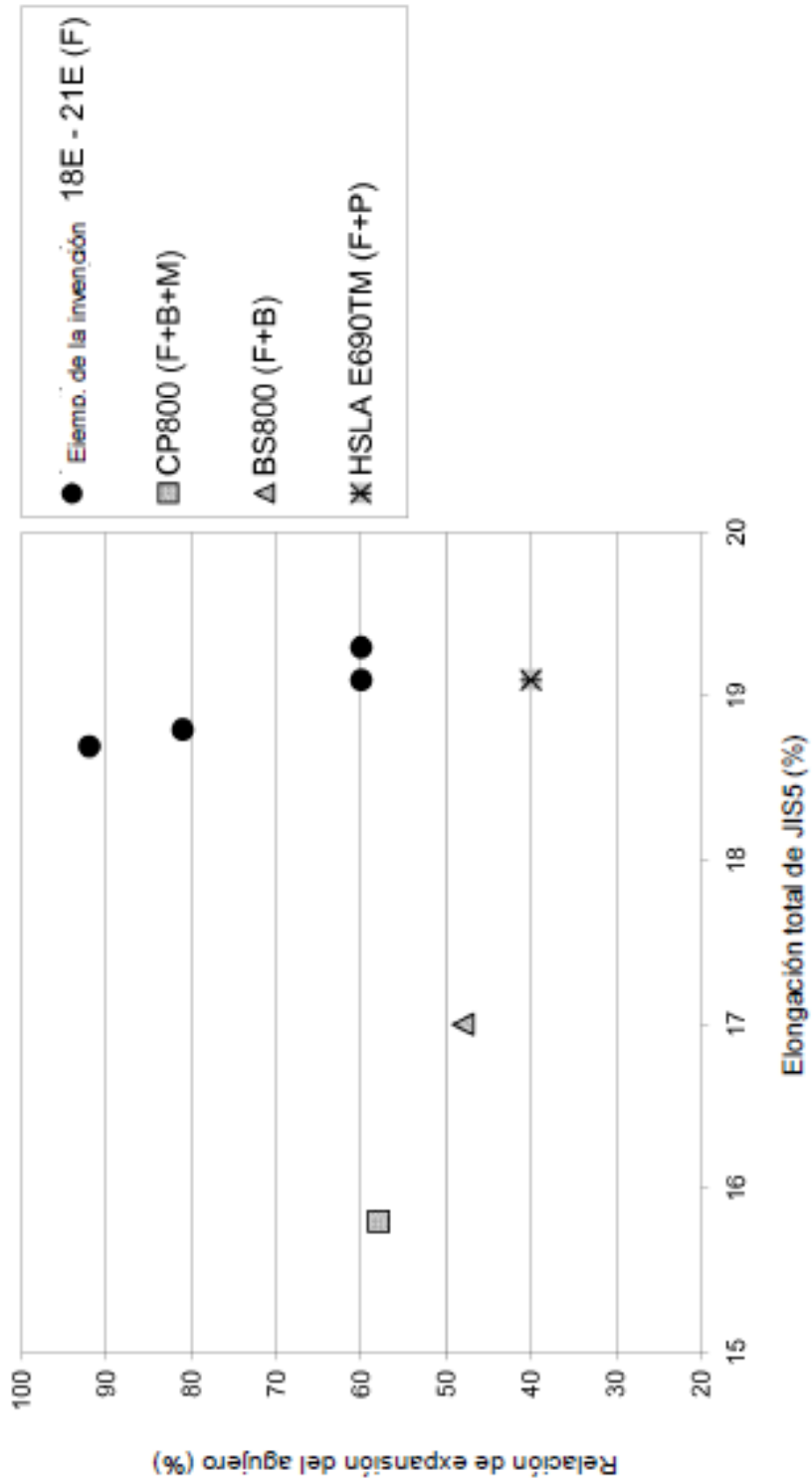


Figura 5

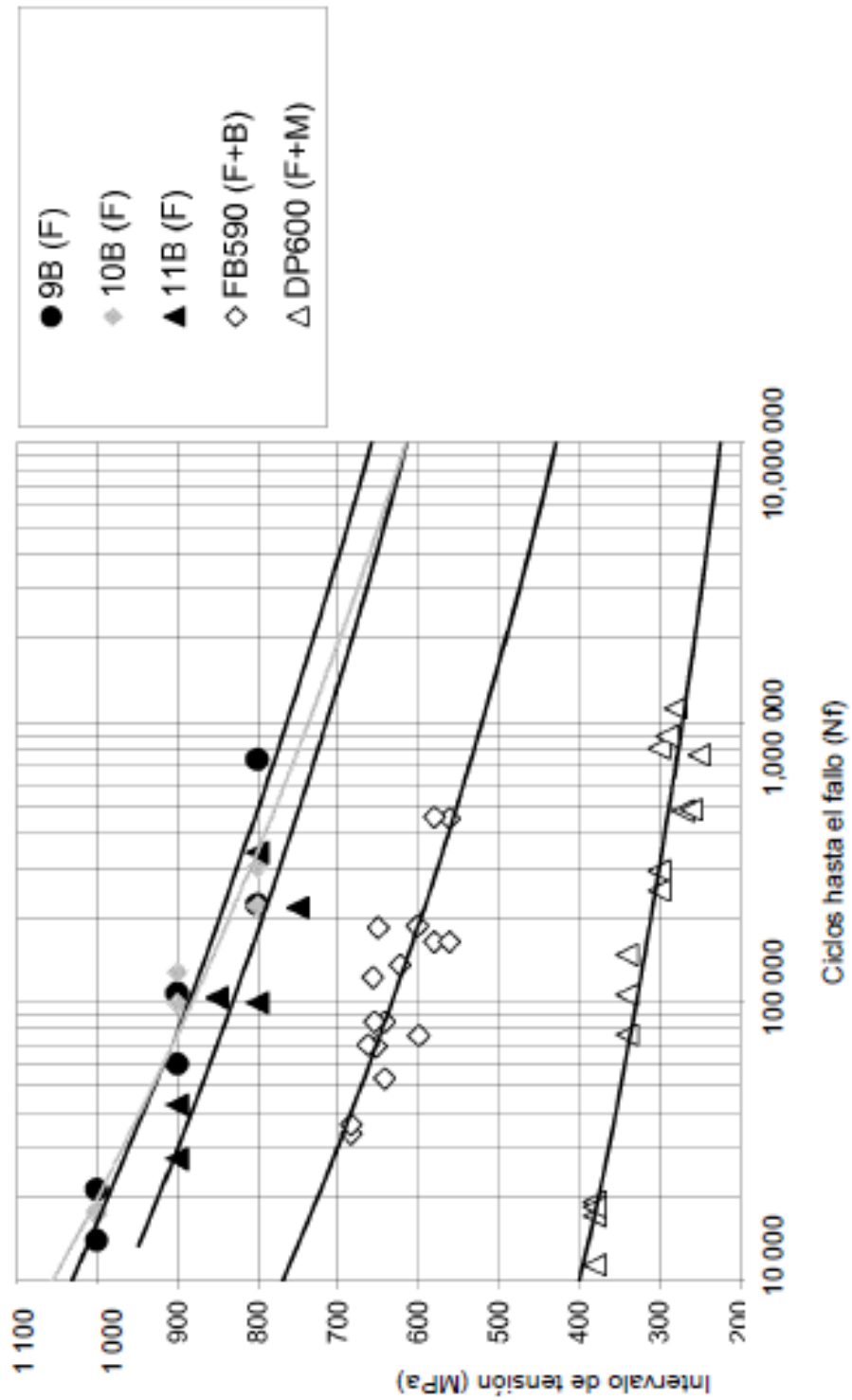


Figura 6

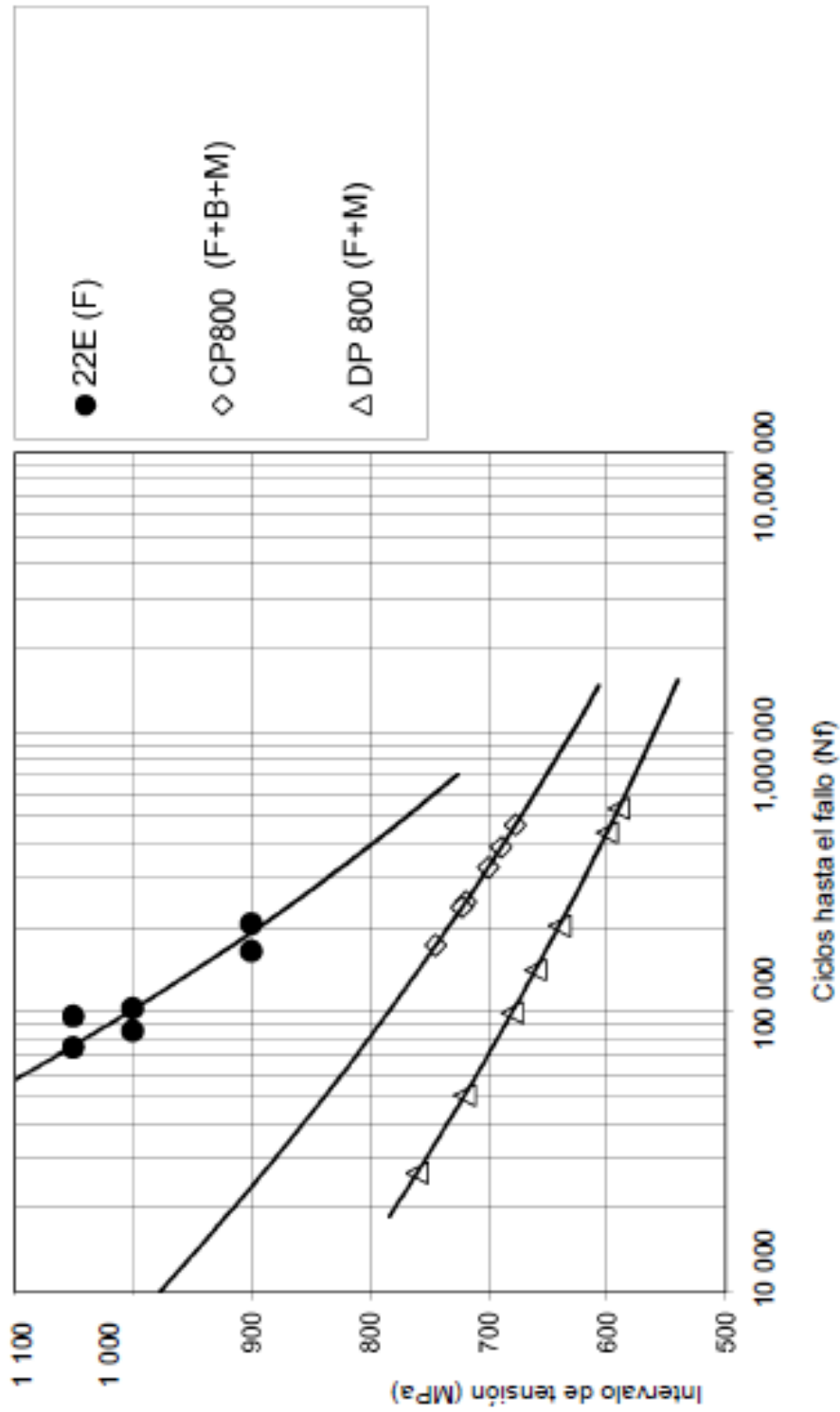


Figura 7