

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 425**

51 Int. Cl.:

C22C 9/06 (2006.01)

C22C 9/10 (2006.01)

C22F 1/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2008 PCT/US2008/087705**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2009 WO09082695**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2008 E 08864853 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018 EP 3158095**

54 Título: **Aleaciones de cobre-níquel-silicio**

30 Prioridad:

21.12.2007 US 16441

14.04.2008 US 44900

17.12.2008 US 336731

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.05.2018

73 Titular/es:

GBC METALS, LLC (50.0%)
427 North Shamrock Street
East Alton IL 62024, US y
WIELAND-WERKE AG (50.0%)

72 Inventor/es:

MUTSCHLER, RALPH, A.;
ROBINSON, PETER, WILLIAM;
TYLER, DEREK, E.;
KAUFLER, ANDREA;
KUHN, HANS, ACHIM y
HOFMANN, UWE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 670 425 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

Aleaciones de cobre-níquel-silicio

Antecedentes

5 Esta invención se refiere a unas aleaciones a base de cobre y, en particular, a unas aleaciones a base de cobre-níquel-silicio.

10 Las aleaciones a base de cobre-níquel-silicio se usan ampliamente para la producción de piezas eléctricamente conductoras de alta resistencia mecánica, tales como conectores y rejillas de conexión. La aleación C7025, desarrollada por Olin Corporation, es un importante ejemplo de una aleación a base de cobre-níquel-silicio que proporciona una buenas propiedades mecánicas (límite de elasticidad 95 ksi - 110 ksi / 665 MPa - 758 MPa) y eléctricas (35% IACS). Véanse las patentes de EE.UU. números 4.594.221 y 4.728.372, incorporadas en esta memoria como referencia. Más recientemente, ha sido desarrollada por Olin Corporation y Wieland Werke la aleación C7035, una aleación de cobre, níquel y silicio modificada con cobalto, la cual puede proporcionar incluso mejores propiedades mecánicas (límite de elasticidad 100 ksi - 130 ksi / 689 MPa - 896 MPa) y eléctricas (40-55% IACS). Véase la patente de EE.UU. N° 7.182.823, incorporada en esta memoria como referencia.

15 Las propiedades de las aleaciones de cobre que pueden ser importantes incluyen la conformabilidad, la conductividad, la resistencia mecánica, la ductilidad y la resistencia a la relajación de tensiones.

20 Típicamente, la conformabilidad se evalúa mediante el ensayo de plegado en donde unas bandas de cobre se pliegan 90° alrededor de un mandril de radio conocido. El ensayo de plegado por rodillo emplea un rodillo para conformar la banda alrededor del mandril. Alternativamente, el ensayo de bloque con ranura en V usa el mandril para empujar la banda dentro de una matriz abierta, forzándola a conformarse al radio del mandril. Para ambos ensayos, el radio de plegado mínimo (mbr, por sus siglas en inglés) en función del espesor de la banda (t) se indica entonces como mbr/t. El radio de plegado mínimo es el radio más pequeño del mandril alrededor del cual se puede plegar una banda sin fisuras visibles con un aumento de 10x a 20x. Generalmente, se indica la mbr/t tanto para los plegados en sentido favorable, definidos porque el eje de plegado es normal a la dirección de laminación, como para los plegados en sentido desfavorable, definidos porque el eje de plegado es paralelo a la dirección de laminación. Se considera que constituye una buena conformabilidad una mbr/t de hasta 4t, tanto para los pliegues en sentido favorable como para los pliegues en sentido desfavorable. Es más preferida una mbr/t de hasta 2.

30 La conductividad eléctrica se mide típicamente como un porcentaje IACS. IACS se refiere a la norma internacional de cobre recocido, la cual asigna al cobre "puro" un valor de la conductividad de 100% IACS a 20°C. A lo largo de esta descripción, todos los ensayos eléctricos y mecánicos se realizan a temperatura ambiente, nominalmente 20°C, a menos que se especifique lo contrario. La expresión calificativa "aproximadamente" indica que no se requiere exactitud y se debe interpretar como ±10% del valor referido.

35 La resistencia mecánica se mide habitualmente por el límite de elasticidad. Una aleación de cobre de alta resistencia mecánica tiene un límite de elasticidad superior a 95 ksi (655,1 MPa) y preferiblemente superior a 110 ksi (758,5 MPa). A medida que disminuye el calibre de la aleación de cobre conformada en componentes y continúa la miniaturización de estos componentes, la combinación de la resistencia y la conductividad, para un revenido dado, se vuelve más importante que la resistencia o la conductividad consideradas por separado.

40 La ductilidad se puede medir mediante la elongación. Una medida de la elongación es la elongación A10, que es el alargamiento permanente de la longitud del calibre después de la fisuración, expresado como un porcentaje de la longitud del calibre original L_0 , donde L_0 se toma igual a 10 mm.

La resistencia a la relajación de tensiones se considera aceptable cuando es al menos 70% de la tensión comunicada remanente después de que la muestra de ensayo se exponga a una temperatura de 150°C durante 3.000 horas, y al menos 90% de la tensión comunicada remanente después de que la muestra de ensayo se exponga a una temperatura de 105°C durante 1.000 horas.

45 La resistencia a la relajación de tensiones se midió por medio del método del anillo [Fox A.: Research and Standards 4 (1964) 480], en el que una banda de 50 mm de longitud se sujeta sobre el radio exterior de un anillo de acero que inicia la tensión en la superficie exterior de la banda. Con la exposición a temperaturas elevadas, las tensiones elásticas cambian a deformación plástica. Este procedimiento depende del tiempo, la temperatura y la tensión inicial definida por el radio del anillo de acero. Los experimentos se realizaron entre 50°C/96 h y 210°C/384 h. Después de cada recocido, se midió la curvatura remanente de la banda y se calculó la reducción de la tensión correspondiente de acuerdo con [Graves G.B.: Wire Industry 46 (1979) 421]. Usando el parámetro de Larson-Miller, P, se puede hacer una extrapolación de los experimentos de breve duración a temperaturas más altas, a experimentos de larga duración realizados a temperaturas menores [Boegel A.: Metall 48 (1994) 872].

55 La relajación de tensiones también se puede medir mediante el método de liberación ("lift-off", en inglés), como se describe en la norma de ASTM (American Society for Testing and Materials) E328-86. Este ensayo mide la reducción de la tensión en una muestra de una aleación de cobre mantenida a una tensión fija durante unos tiempos

ES 2 670 425 T3

de hasta 3.000 horas. La técnica consiste en restringir el extremo libre de una viga en voladizo a una deflexión fija y medir la carga ejercida por la viga sobre la restricción en función del tiempo y la temperatura. Esto se realiza sujetando la muestra de ensayo de viga en voladizo en un bastidor de ensayo especialmente diseñado. La condición del ensayo estándar es cargar la viga en voladizo con el 80% del límite de elasticidad para una deformación remanente de 0,2% a temperatura ambiente. Si la deflexión calculada supera aproximadamente 0,2 inch (5 mm), se reduce la tensión inicial hasta que la deflexión sea menor de 0,2 inch (5 mm) y se recalcula la carga. El procedimiento de ensayo consiste en cargar la viga en voladizo con el valor calculado de la carga, ajustar el tornillo roscado en el bastidor de ensayo para mantener la deflexión y bloquear en su lugar con una tuerca el tornillo roscado. La carga requerida para levantar del tornillo roscado la viga en voladizo es la carga inicial. El bastidor de ensayo se coloca en un horno fijado a la temperatura de ensayo deseada. El bastidor de ensayo se retira periódicamente, se deja enfriar a temperatura ambiente y se mide la carga requerida para levantar del tornillo roscado la viga en voladizo. Se calcula el porcentaje de la tensión remanente en los logaritmos de los tiempos seleccionados y se representan los datos en papel para gráficos semilogarítmicos, poniendo la tensión remanente en ordenadas (vertical) y el logaritmo del tiempo en abscisas (horizontal). Usando la técnica de regresión lineal, a través de los datos se ajusta una línea recta. Para producir los valores de la tensión remanente a 1, 1.000, 3.000 y 100.000 horas se hace uso de interpolación y extrapolación.

La resistencia a la relajación de tensiones es sensible a la orientación, y se puede indicar en la dirección longitudinal (L), donde el ensayo se lleva a cabo a 0° con la dimensión más larga de la muestra de ensayo en la dirección de laminación de la banda, y siendo la deflexión de la muestra de ensayo paralela a la dirección de laminación de la banda. La resistencia a la relajación de tensiones se puede indicar en la dirección transversal (T), donde el ensayo se lleva a cabo a 90° con la dimensión más larga de la muestra de ensayo perpendicular a la dirección de laminación de la banda, y siendo la deflexión de la muestra de ensayo perpendicular a la dirección de laminación de la banda.

La Tabla 1 muestra las propiedades mecánicas y eléctricas de algunas de las aleaciones de cobre comercialmente disponibles que han sido consideradas en la invención:

Tabla 1: Ejemplos de propiedades de aleaciones a base de Cu exentas de Be actualmente disponibles				
Aleación	Compañía	Composición	Conductividad eléctrica (% IACS)	Límite de elasticidad ksi (MPa)
C7025	Olin Brass	Cu+3,0Ni+0,60Si+0,15Mg	>35	95-110 (655-758)
EFTEC-75	Furukawa	Cu+3,2Ni+0,65Si+0,5Zn+0,50Sn	25	116 (800)
EFTEC-23Z	Furukawa	Cu+2,5Ni+0,6Si+0,5Zn+0,03Ag	53	101-116 (696-800)
EFTEC-97	Furukawa	Cu+2,3Ni+0,55Si+0,5Zn+0,15Sn+0,1Mg	40	110 (758)
EFTEC-98	Furukawa	Desconocida	38	104-136 (717-938)
EFTEC-98S	Furukawa	Cu+3,8Ni+0,93Si+0,48Zn+0,18Sn+0,13Mg+0,3Cr	38	95-129 (655-889)
K62	Wieland	Cu+0,3Cr+0,4Ni+0,6Sn+0,03Ti	52	100 (689)
KLF-125	Kobe Steel	Cu+3,2Ni+0,70Si+0,3Zn+1,25Mn	35	100 (689)
CAC-65	Kobe Steel	Cu+3,2Ni+0,70Si+1,0Zn+0,50Sn	46	94 (648)
MAX 251	Mitsubishi Shindo	Cu+2,0Ni+0,50Si+0,50Sn	45	89 (614)
Max375	Mitsubishi	Cu+2,85Ni+0,7Si+0,5Zn+0,5Sn+0,015Mg	42	91-116 (627-800)
KLF-1	Kobe Steel	Cu+3,2Ni+0,70Si+0,3Zn+0,05Mn	55	88 (607)
C7027	Olin Brass	Cu+2,0Ni+0,60Si+0,60Fe+0,50Sn	>40	>80 (>552)
C18080/K88	Olin/Wieland	Cu+0,5Cr+0,1Ag+0,08Fe+0,06Ti+0,03Si	80	80 (552)

ES 2 670 425 T3

C18070/K75	Wieland	Cu+0,3Cr+0,1Ti+0,02Si	>75	70 (483)
PMC 102	Poongsan	Cu+1,3Ni+0,25Si+ 0,05P	60	75 (517)
C7035/K57	Olin/Wieland	Cu+1,4Ni+1,1Co+0,6Si	>45	110-130 (758-896)
NKC388	Nippon Mining	Cu+3,8Ni+0,85Si+0,18Mg+0,1Mn	35-45	112-125 (772-862)
HCL 305	Hitachi	Cu+2,5Ni+0,5Si+1,7Zn+0,02P	42	87-102 (600-703)
HCL 307	Hitachi	Cu+3,0Ni+0,7Si+1,7Zn+0,3Sn+0,02P	35	102-112 (703-772)

5 Por buenas que sean estas aleaciones y lo extendido su uso, quedan aplicaciones donde se requieren aleaciones con una mayor resistencia mecánica, y en particular con una mayor resistencia mecánica sin sacrificar otras propiedades deseables, tales como la conductividad, la resistencia a la relajación de tensiones y/o la conformabilidad. Aunque los cobres de berilio, debido a su contenido de berilio, pueden proporcionar una alta resistencia mecánica, no son adecuados para muchas aplicaciones. Entre las aleaciones de cobre exentas de berilio, una alta resistencia mecánica (por ejemplo, un límite de elasticidad por encima de 130 ksi / 896 MPa) suele ir acompañada de una disminución significativa de otras propiedades deseables, en particular de la conformabilidad.

La patente de EE.UU. 2007/0079456 describe una aleación de cobre con 1-2,5% en peso de níquel.

10 Compendio

En las reivindicaciones se proporciona una aleación a base de cobre y un método para fabricar una aleación a base de cobre de acuerdo con la invención.

15 Un aspecto de la presente invención es una aleación a base de cobre-níquel-silicio endurecible por estabilización que se puede tratar para fabricar una banda producto comercialmente útil para su uso en conectores e interconexiones eléctricos para las industrias de automoción y multimedia, en particular, y para cualesquiera otras aplicaciones que requieran un límite de elasticidad alto y una conductividad eléctrica moderadamente alta en una banda, placa, cable o colada. Otro aspecto de la presente invención es un método de tratamiento para fabricar una banda producto comercialmente útil para su uso en conectores e interconexiones eléctricos para las industrias de automoción y multimedia y para cualquier otra aplicación que requiera un límite de elasticidad alto y una conductividad eléctrica moderadamente alta.

20 En las reivindicaciones 2 y 4 se proporcionan unas realizaciones preferidas.

Esta aleación se trata para que tenga un límite de elasticidad de al menos aproximadamente 140 ksi (965 MPa) y una conductividad eléctrica de al menos aproximadamente 30% IACS.

25 Preferiblemente, las aleaciones se tratan para que tengan un límite de elasticidad de al menos aproximadamente 143 ksi (986 MPa) y una conductividad eléctrica de al menos aproximadamente 37% IACS.

La relación $(Ni+Co)/(Si-Cr/5)$ está preferiblemente entre aproximadamente 3,5 y aproximadamente 5,0, La relación Ni/Co está preferiblemente entre aproximadamente 3 y aproximadamente 5.

30 Las aleaciones y los métodos de tratamiento de las diversas realizaciones proporcionan unas aleaciones a base de cobre que tienen una combinación mejorada del límite de elasticidad y la conductividad eléctrica y, preferiblemente, también de la resistencia a la relajación de tensiones. En particular, las aleaciones tienen una mayor resistencia mecánica y una mayor resistencia a la relajación de tensiones que las conseguidas previamente con las aleaciones de Cu-Ni-Si, mientras que mantienen unos niveles de conductividad razonables.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 1;

35 la Fig. 2 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 2;

la Fig. 3 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 3;

la Fig. 4 es un gráfico del límite de elasticidad frente a la conductividad, para las aleaciones del Ejemplo 3;

- la Fig. 5 es un gráfico del límite de elasticidad frente a la conformabilidad por plegado (MBR/t) para las aleaciones del Ejemplo 3;
- la Fig. 6 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 4;
- 5 la Fig. 7 es un gráfico del límite de elasticidad frente a la conductividad para las aleaciones de la Tabla 5 tratadas mediante el procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 4;
- la Fig. 8 es un gráfico del límite de elasticidad frente a la conformabilidad por plegado (MBR/t) para las aleaciones de la Tabla 5 tratadas mediante el procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 4;
- la Fig. 9 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 5;
- 10 la Fig. 10 es un gráfico del límite de elasticidad frente a la relación Ni/Co para unas aleaciones sin cromo que tienen unos niveles de aleación similares a los del Ejemplo 5;
- la Fig. 11 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 6;
- la Fig. 12 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 7;
- la Fig. 13 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre el límite de elasticidad en las aleaciones de cobre-níquel-cromo-silicio del Ejemplo 7;
- 15 la Fig. 14 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre el límite de elasticidad en las aleaciones de cobre-níquel-cobalto-silicio del Ejemplo 7;
- la Fig. 15 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre el límite de elasticidad en las aleaciones de cobre-níquel-cromo-cobalto-silicio del Ejemplo 7;
- 20 la Fig. 16 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre la conductividad eléctrica en las aleaciones de cobre-níquel-cromo-silicio del Ejemplo 7;
- la Fig. 17 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre la conductividad eléctrica en las aleaciones de cobre-níquel-cobalto-silicio del Ejemplo 7;
- la Fig. 18 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre la conductividad eléctrica en las aleaciones de cobre-níquel-cromo-cobalto-silicio del Ejemplo 7;
- 25 la Fig. 19 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 8;
- la Fig. 20 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre el % IACS en las aleaciones del Ejemplo 8 tratadas mediante el método SA-CR-estabilización-CR-estabilización con estabilizaciones a 475°C/300°C.
- la Fig. 21 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre el límite de elasticidad en las aleaciones del Ejemplo 8 tratadas mediante el método SA-CR-estabilización-CR-estabilización con estabilizaciones a 475°C/300°C;
- 30 la Fig. 22 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 9;
- la Fig. 23 es un diagrama esquemático de una probeta de laminación en caliente de borde cónico;
- la Fig. 24 es una fotografía de la aleación K224 laminada en caliente (sin Cr), que muestra grandes fisuras en los bordes;
- 35 la Fig. 25 es una fotografía de la aleación K225 laminada en caliente (0,11 Cr), que no muestra fisuras en los bordes;
- la Fig. 26A es una fotografía de los resultados del ensayo de desgaste de la herramienta de la aleación sin Cr RN033407; y
- la Fig. 26B es una fotografía del resultado del ensayo de desgaste de la herramienta de la aleación que contiene Cr RN834062.
- 40 la Fig. 27 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 10;
- la Fig. 28 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre el % IACS del Ejemplo 8 y el Ejemplo 10 (aleaciones con bajo contenido de Cr y Mn) tratadas mediante el método SA-CR-estabilización-CR-estabilización con estabilizaciones a 475°C/300°C; y
- 45 la Fig. 29 es un gráfico que muestra el efecto de la relación estequiométrica sobre el límite de elasticidad en el Ejemplo 8 y el Ejemplo 10 (aleaciones con bajo contenido de Cr y Mn) tratadas mediante el método SA-CR-

estabilización-CR-estabilización con estabilizaciones a 475°C/300°C;

la Fig. 30 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 11; y

la Fig. 31 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 12;

la Fig. 32 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 13;

5 la Fig. 33 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 14;

la Fig. 34 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 15;

la Fig. 35 es un diagrama de flujo del tratamiento de las aleaciones del Ejemplo 16;

la Fig. 36 es un gráfico de la MBR/t BW de un bloque con ranura en V a 90°, frente al límite de elasticidad para las aleaciones y los procedimientos de los Ejemplos 13, 14, 15 y 16; y

10 la Fig. 37 es un gráfico del % IACS, frente al límite de elasticidad para las aleaciones y procedimientos de los Ejemplos 13, 14, 15 y 16.

Descripción detallada

15 Existe en el mercado una necesidad de aleaciones para bandas de cobre con una resistencia mecánica y una conductividad eléctrica mayores, junto con una buena resistencia a la relajación de tensiones. Esta combinación de propiedades es particularmente importante para los componentes que se forman en diversas interconexiones eléctricas para su uso en aplicaciones de conectores eléctricos multimedia y de terminales. En estas aplicaciones están siendo usadas las aleaciones de cobre comercialmente disponibles, tales como la C510 (bronce fosforoso), la C7025, la C7035, la C17410 y la C17460, por sus combinaciones generalmente favorables de resistencia mecánica y conductividad. Sin embargo, aunque estas aleaciones tienen una resistencia mecánica adecuada para la mayoría de las aplicaciones actuales, la tendencia continuada a la miniaturización de los componentes demanda aleaciones de cobre que ofrezcan una alta resistencia mecánica, en combinación con una conductividad eléctrica razonablemente buena y una resistencia a la relajación razonablemente buena, junto con un coste razonable. También es deseable minimizar o eliminar elementos de aleación potencialmente tóxicos, tales como el berilio.

25 Las aleaciones que se usan para las interconexiones multimedia requieren una alta resistencia mecánica para evitar daños durante la inserción del conector y para mantener una buena fuerza de contacto durante el servicio. Para estas aplicaciones, todo lo que se requiere es una buena, pero no especialmente alta, conductividad eléctrica, ya que simplemente se necesita que la conductividad sea suficiente para transportar una señal de corriente, y no se necesitan los altos niveles necesarios para evitar el calentamiento excesivo por I^2R en las aplicaciones de mayor potencia. Para estas aplicaciones existen requisitos aún más estrictos para la estabilidad mecánica a temperatura ambiente y a temperaturas de servicio ligeramente elevadas, los cuales se caracterizan por una buena resistencia a la relajación de tensiones a aproximadamente 100°C, por ejemplo.

35 Las composiciones de aleación de las realizaciones preferidas de esta invención y el esquema usado para tratar los revenidos de acabado, sorprendentemente, proporcionan una combinación altamente deseable de propiedades para satisfacer las necesidades de las aplicaciones, tanto de automoción como multimedia, a saber, una resistencia mecánica muy alta junto con una conductividad moderadamente alta; en particular, las aleaciones de las realizaciones preferidas de la presente invención son capaces de ser tratadas en forma de bandas producto con combinaciones del límite de elasticidad/conductividad eléctrica de al menos aproximadamente 140 ksi (965 MPa) con una conductividad de al menos aproximadamente 30% IACS.

40 Las aleaciones de la realización preferida de la presente invención tienen una combinación mejorada del límite de elasticidad y la conductividad eléctrica, y una buena resistencia a la relajación de tensiones, junto con unos niveles modestos de plegabilidad. Donde se necesite unos niveles óptimos del límite de elasticidad (YS, por sus siglas en inglés) y de la conductividad eléctrica, es necesario, por ejemplo, una combinación de YS de 140 ksi (965 MPa) / 30% IACS, composición que se proporciona en la reivindicación 1.

45 Generalmente, cuando los elementos de aleación se encuentran sustancialmente por encima de los límites superiores indicados, se presentan unas segundas fases gruesas excesivas.

Cuando la relación $(Ni+Co)/(Si-Cr/5)$ se controla entre aproximadamente 3,5 y aproximadamente 5, la conductividad eléctrica y el límite de elasticidad de la aleación son los más altos. La relación Ni/Co es óptima para el límite de elasticidad y la conductividad cuando ésta se controla entre aproximadamente 3 y aproximadamente 5.

50 El magnesio generalmente aumenta la resistencia a la relajación de tensiones y la resistencia al reblandecimiento en los productos acabados; también aumenta la resistencia al reblandecimiento durante los tratamientos térmicos de recocido de estabilización del procedimiento. Cuando el Sn está presente en unos niveles bajos, generalmente, proporciona un reforzamiento de la solución sólida y también aumenta la resistencia al reblandecimiento durante los tratamientos térmicos de recocido de estabilización del procedimiento, sin dañar excesivamente la conductividad.

Unos niveles bajos de Mn, generalmente, mejoran la conformabilidad al plegado, aunque con una pérdida de conductividad.

La realización preferida del procedimiento de la presente invención comprende una fusión y una colada; una laminación en caliente de 750 a 1.050°C, una laminación opcional para eliminar el óxido, y una homogeneización o un recocido de campana intermedio opcionales, una laminación en frío para obtener el calibre conveniente para solubilizar, un tratamiento de recocido en solución a 800-1.050°C durante 10 segundos a una hora, seguido de un templado o enfriamiento rápido en agua a temperatura ambiente para obtener una conductividad eléctrica menor de aproximadamente 20% IACS (11,6 MS/m) y un tamaño de grano equiaxial de aproximadamente 5-20 µm; una reducción del espesor por laminación en frío del 0 al 75% para obtener el calibre de acabado; un recocido de endurecimiento y estabilización a 300-600°C durante 10 minutos a 10 horas; y, posteriormente, una laminación en frío adicional para obtener una reducción del espesor del 10 al 75% hasta el calibre de acabado; y un segundo recocido de endurecimiento y estabilización de 250 a 500°C durante 10 minutos a 10 horas.

La aleación resultante también se puede tratar para obtener el calibre de acabado, sin usar un tratamiento térmico de solubilización durante el procedimiento, mediante el uso de unos ciclos de tratamientos de recocido de campana de temperatura más baja con intervención de trabajos en frío. Además, al procedimiento se le puede añadir uno o más recocidos de recristalización opcionales durante la reducción del calibre laminado en caliente al espesor apropiado para solubilizar.

El esquema preferido para dar lugar a una aleación con un límite de elasticidad de al menos aproximadamente 140 ksi (965 MPa) y una conductividad de al menos aproximadamente 30% IACS, implica solubilizar a aproximadamente 900 a 1.000°C, laminar en frío aproximadamente al 25%, estabilizar a aproximadamente 450-500°C durante 3-9 horas, laminar en frío aproximadamente al 20-25% hasta el calibre de acabado y estabilizar a 300-350°C durante 3-9 horas.

Aunque esta descripción está dirigida particularmente a un procedimiento para la fabricación de bandas de aleación de cobre, las aleaciones de la invención y los procedimientos de la invención son igualmente aptos para la fabricación de otros productos de aleación de cobre, tales como papel metalizado, alambre, barras y tubos. Además, también están dentro del alcance de la invención procedimientos diferentes a los de la colada convencional, tales como colada de banda, metalurgia en polvo y colada por pulverización.

Las aleaciones y los métodos de las realizaciones preferidas se comprenderán mejor a partir de los siguientes ejemplos ilustrativos:

Ejemplo 1 - El aumento de los niveles de aleación aumenta la resistencia mecánica; la sustitución del cobalto mejora la resistencia mecánica y la conductividad.

En un crisol de sílice se fundieron una serie de lingotes de laboratorio de 10 pound (4,5 kg) con las composiciones indicadas en la Tabla 2, y se les aplicó una colada Durville en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de aproximadamente 4" x 4" x 1,75" (0,1 m x 0,1 m x 0,044 m). La Fig. 1 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 1. Después de homogeneizarlos durante dos horas a 900°C, se laminaron en caliente en tres pasadas a 1,1" (28 mm) (1,6" / 1,35" / 1,1") (41 mm / 34 mm / 28 mm), se recalentaron a 900°C durante 10 minutos, y luego se laminaron en caliente en tres pasadas a 0,50" (13 mm) (0,9" / 0,7" / 0,5") (23 mm / 18 mm / 13 mm), seguido de un templado en agua, seguido de un revenido de homogeneización o de sobreestabilización a 590°C durante 6 horas. Después de desbastar y fresar para eliminar el óxido superficial, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y la solución se trató térmicamente en un horno de lecho fluidizado durante el tiempo y la temperatura indicados en la Tabla 2. El tiempo y la temperatura se seleccionaron para conseguir un tamaño de grano aproximadamente constante. Las aleaciones se sometieron luego a un recocido de estabilización de 400 a 500°C durante 3 horas, diseñado para aumentar la resistencia mecánica y la conductividad. Luego, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y se estabilizaron de 300 a 400°C durante 4 horas. En la Tabla 3 se presentan las propiedades medidas después del segundo recocido de estabilización. Los datos indican que el límite de elasticidad aumentó al aumentar los niveles de aleación, en las aleaciones ternarias J994 a J999, de 127 a 141 ksi (876 a 972 MPa) cuando los niveles de Si variaban de 0,8 a 1,3%, respectivamente. Al comparar las aleaciones J994, K001 y K002 para examinar el efecto del Co sobre las aleaciones próximas al 0,8% de Si, se observó que la sustitución del Co por el Ni aumentó tanto el límite de elasticidad como la conductividad. Al considerar la sustitución del Co por el Ni en las aleaciones con ~1,2% de Si, la aleación K003 mostró una disminución del límite de elasticidad y un aumento de la conductividad, mientras que la K004, en comparación con la J998, mostró un aumento del límite de elasticidad y una disminución de la conductividad.

El tener una relación Ni/Co de aproximadamente 3 (K002 y K004) condujo a una mayor resistencia mecánica que la relación Ni/Co de 1 (K001 y K003), particularmente para un nivel de Si más alto. Las aleaciones de Mn, K011 y K012, muestran que la sustitución del Mn por el Ni mejoró las propiedades de resistencia mecánica/plegado, pero con una pérdida significativa de conductividad. Cuando se compararon las aleaciones J994 a K036 y K037, se puso de manifiesto que el Sn proporciona un reforzamiento de la solución sólida.

Aleación	Composición analizada, % en peso	Condiciones del recocido en solución	Tamaño de grano, μm
J994	Cu - 3,33 Ni - 0,81 Si	850°C - 1 minuto	11,2
J995	Cu - 3,78 Ni - 0,92 Si	900°C - 1 minuto	16,5
J996	Cu - 4,17 Ni - 1,03 Si	900°C - 1 minuto	22,1
J997	Cu - 4,48 Ni - 1,12 Si	900°C - 1 minuto	22,1
J998	Cu - 4,88 Ni - 1,24 Si	900°C - 1 minuto	12,9
J999	Cu - 5,39 Ni - 1,35 Si	900°C - 2 minutos	14,1
K001	Cu - 1,65 Ni - 0,82 Si - 1,66 Co	1.000°C - 30 segundos	12,9
K002	Cu - 2,56 Ni - 0,80 Si - 0,79 Co	950°C - 1 minuto	17,7
K003	Cu - 2,45 Ni - 1,23 Si - 2,46 Co	1.000°C - 30 segundos	6,7
K004	Cu - 3,70 Ni - 1,22 Si - 1,15 Co	1.000°C - 30 segundos	12,9
K009	Cu - 1,74 Ni - 0,78 Si - 1,67 Mn	850°C - 30 segundos	28,2
K010	Cu - 2,65 Ni - 0,79 Si - 0,79 Mn	850°C - 30 segundos	22,1
K011	Cu - 2,51 Ni - 1,19 Si - 2,56 Mn	850°C - 1 minuto	9,1
K012	Cu - 3,70 Ni - 1,21 Si - 1,19 Mn	850°C - 1 minuto	9,8
K013	Cu - 3,22 Ni - 0,81 Si - 0,10 Cr	850°C - 1 minuto	12,6
K014	Cu - 3,31 Ni - 0,82 Si - 0,18 Cr	850°C - 1 minuto	10,7
K015	Cu - 4,82 Ni - 1,21 Si - 0,09 Cr	900°C - 1 minuto	15,5
K016	Cu - 4,89 Ni - 1,26 Si - 0,18 Cr	900°C - 1 minuto	12,9
K036	Cu - 3,69 Ni - 0,73 Si - 0,52 Sn	850°C - 2 minutos	10,3
K037	Cu - 3,66 Ni - 0,77 Si - 0,93 Sn	850°C - 2 minutos	16,2
K040	Cu - 3,74 Ni - 0,72 Si - 0,08 Mg	850°C - 2 minutos	17,7
K041	Cu - 3,78 Ni - 0,76 Si - 0,205 Mg	850°C - 2 minutos	18,6

Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
J994	450/300	36,8	126,7/130,8/2 (873,6/901,8//2)	2,91/3,4
J995	450/300	35,5	130,8/134,7/1 (901,8/928,7/1)	3,2/6,7
J996	450/300	34,5	132,7/138,5/2 (914,9/954,9/2)	3,1/6,9
J997	450/300	33,7	135,3/139,3/2 (932,9/960,4/2)	3,7/6,7
J998	450/300	34,3	137,9/144,2/2 (950,8/994,2/2)	3,3/8,6
J999	450/300	34,2	140,9/147,1/2 (971,5/1.014,2/2)	3,4/6,7
K001	500/300	40,3	129,2/134,4/2 (890,8/926,7/2)	--

ES 2 670 425 T3

K002	500/350	40,5	130,3/135,8/2 (898,4/936,3/2)	3,8/5,2
K003	450/300	37,8	129,7/134,3/2 (894,3/926,0/2)	3,5/3,7
K004	450/300	28,4	145,3/150,8/2 (1.001,8/1.039,7/2)	5,1/6,8
K009	450/350	16,5	108,1/113,3/4 (745,3/781,2/4)	--
K010	450/300	22,9	127,1/131,3/2 (876,3/905,3/2)	--
K011	400/300	11,9	137,6/141,0/2 (948,7/972,2/2)	2,4/3,2
K012	400/300	17,0	135,4/140,4/2 (933,6/968,0/2)	2,4/3,7
K013	450/300	36,7	125,4/129,6/2 (864,6/893,6/2)	---
K014	450/300	36,2	128,0/131,9/2 (882,5/909,4/2)	---
K015	450/300	33,8	135,6/139,8/2 (934,9/963,9/2)	3,5/5,2
K016	450/300	32,4	136,0/140,4/2 (937,7/968,0/2)	3,3/5,2
K036	450/300	34,3	131,5/143,1/1 (906,7/986,6/1)	3,9/6,9
K037	450/300	30,8	135,2/147,1/2 (932,2/1.014,2/2)	3,5/6,8
K040	450/350	38,4	125,4/136,5/2 (864,6/941,1/2)	--
K041	450/350	37,7	123,7/135,5/1 (852,9/934,2/1)	--

Ejemplo 2 - El cobalto mejora la resistencia mecánica.

5 Unas aleaciones seleccionadas del Ejemplo 1 se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado durante el tiempo y la temperatura indicados en la Tabla 2. La Fig. 2 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 2. Posteriormente las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y luego se sometieron a un recocido de estabilización de 400 a 500°C durante 3 horas. Después de una reducción en frío adicional del 22% a 0,007" (0,18 mm), las muestras se recocieron y estabilizaron a unas temperaturas de 300 a 400°C durante 3 horas. En la Tabla 4 se indican las propiedades de las condiciones representativas. En muchos casos las propiedades de plegado fueron algo mejores, con unas resistencias mecánicas similares a las del procedimiento del Ejemplo 1. Las adiciones de Co (K003 y K004) y Sn (K037) proporcionaron el aumento más elevado de la resistencia mecánica en las aleaciones de este ejemplo.

Tabla 4: Propiedades de las aleaciones de los Ejemplos 2 del procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización				
Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
J994	450/300	38,3	130,0/134,3/2 (958,4/926,0/2)	2,3/3,7
J997	450/300	37,7	125,2/132,7/2 (863,2/914,9/2)	2,9/8,9
J998	400/300	28,8	128,4/134,0/2 (885,3/923,9/2)	3,1/4,0
J999	400/300	29,5	131,9/135,4/2 (909,4/933,6/2)	3,1/5,1
K002	450/300	35,1	125,0/129,2/1 (861,8/890,8/1)	2,4/4,9
K003	450/300	33,7	135,2/140,3/2 (932,2/967,3/2)	3,1/4,0
K004	450/300	31,9	134,4/139,7/2 (926,7/963,2/2)	3,7/6,7
K014	450/300	38,1	127,9/132,3/2 (881,8/912,2/2)	2,3/4,0
K036	450/300	36,0	129,2/131,8/1 (890,8/908,7/1)	3,1/3,9

ES 2 670 425 T3

K037	450/300	32,0	135,2/139,8/2 (932,2/963,9/2)	3,3/4,7
K040	450/300	38,7	127,1/129,3/1 (876,3/891,5/1)	--
K041	450/300	38,4	132,4/136,4/1 (912,9/940,4/1)	3,6/4,7

Ejemplo 3 - Niveles de cobalto y cromo y relación (Ni+Co)/(Si-Cr/5).

En un crisol de sílice se fundieron una serie de lingotes de laboratorio de 10 pound (4,5 kg) con las composiciones indicadas en la Tabla 5 y se les aplicó una colada Durville en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de aproximadamente 4" x 4" x 1,75" (0,1 m x 0,1 m x 0,044 m). La Figura 3 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 3. Después de homogeneizarlos durante dos horas a 900°C, se laminaron en caliente en tres pasadas a 1,1" (28 mm) (1,6" / 1,35" / 1,1") (41 mm / 34 mm / 28 mm), se recalentaron a 900°C durante 10 minutos, y luego se laminaron en caliente en tres pasadas a 0,50" (13 mm) (0,9" / 0,7" / 0,5") (23 mm / 18 mm / 13 mm), seguido de un templado en agua. Las placas templadas en agua se homogeneizaron a 590°C durante 6 horas, se desbastaron y luego se fresaron para eliminar los óxidos superficiales surgidos durante la laminación en caliente. Luego, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado, durante 60 segundos, a las temperaturas indicadas en la Tabla 5. La temperatura se seleccionó para mantener un tamaño de grano relativamente constante. Luego, las aleaciones se sometieron a un recocido de estabilización de 400 a 500°C durante 3 horas, diseñado para aumentar la resistencia mecánica y la conductividad. Luego, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y se estabilizaron de 300 a 400°C durante 4 horas. En la Tabla 6 se presentan las propiedades medidas después del segundo recocido de estabilización. A partir de este conjunto de datos, se pudo observar que las adiciones a una aleación a base de Cu-Ni-Si, de Co (K068), de Cr (K072), o de ambos Co y Cr (K070) consiguieron las mejores combinaciones de resistencia mecánica, conductividad y conformabilidad por plegado. También se observó que en las muestras que tenían la resistencia mecánica mayor estaban presentes unos niveles relativamente altos de Si de 1,2% y mayores. Aunque hubo alguna evidencia de reforzamiento con el Sn, ello se acompañó de una escasa conformabilidad por plegado. En la Tabla 5, se puede observar que la relación (Ni+Co)/(Si-Cr/5) estaba muy próxima a 4 para la mayoría de las aleaciones, particularmente para las K068, K070 y K072. Además, la relación Ni/Co era próxima a 3 para la K068 y la K070. Se representó el límite de elasticidad frente a la conductividad en la Figura 4, y frente a la conformabilidad por plegado en la Figura 5. Se resaltaron los valores para las K068, K070 y K072 para mostrar su inusualmente buena combinación de propiedades.

Tabla 5: Aleaciones de los Ejemplos 3 y 4

Aleación	Composición analizada, % en peso	Relación (Ni+Co)/(Si-Cr/5)	Ni/Co	Temperatura del recocido en solución	Tamaño de grano μm
K056	Cu - 4,94 Ni - 0,97 Si - 0,86 Sn	5,09		900°C	15
K057	Cu - 2,63 Ni - 0,73 Co - 0,80 Si - 0,88 Sn	4,20	3,80	925°C	16
K058	Cu - 3,80 Ni - 0,97 Co - 1,24 Si - 0,83 Sn	3,85	3,92	950°C	14
K059	Cu - 3,27 Ni - 0,82 Si - 0,22 Mn	3,99		850°C	20
K061	Cu - 3,83 Ni - 1,28 Co - 1,27 Si - 0,31 Mn	4,02	2,99	950°C	8
K065	Cu - 4,96 Ni - 1,25 Si - 0,085 Mg	3,97		900°C	17
K066	Cu - 3,29 Ni - 0,84 Si - 0,33 Mn - 0,092 Mg	3,92		850°C	10
K067	Cu - 2,57 Ni - 0,83 Co - 0,83 Si - 0,082 Mg	4,10	3,10	950°C	21
K068	Cu - 3,80 Ni - 1,21 Co - 1,27 Si - 0,048 Mg	3,94	3,14	975°C	12
K069	Cu - 3,42 Ni - 0,64 Si - 0,89 Sn - 0,062 Mg	4,07		875°C	28
K070	Cu - 3,83 Ni - 1,29 Co - 1,39 Si - 0,56 Cr	4,01	2,97	975°C	8
K071	Cu - 3,38 Ni - 0,95 Si - 0,54 Cr - 0,035 Mg	3,99		950°C	19
K072	Cu - 4,64 Ni - 1,28 Si - 0,54 Cr - 0,078 Mg	3,96		950°C	17

ES 2 670 425 T3

K073	Cu - 3,52 Ni - 1,07 Si - 1,06 Cr - 0,047 Mg	4,10		950°C	14
K074	Cu - 4,11 Ni - 1,31 Si - 1,01 Cr - 0,058 Mg	3,71		975°C	18
K075	Cu - 4,71 Ni - 1,29 Si - 0,50 Cr - 0,85 Sn	3,96		950°C	19
K076	Cu - 3,54 Ni - 1,00 Si - 0,49 Cr - 0,89 Sn	3,92		925°C	17

Tabla 6 - Propiedades del procedimiento SA-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 3				
Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/El ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
K056	450/300	25,7	142,7/148,4/2 (983,9/1.023,2/2)	8,7/8,7
K057	450/350	29,0	131,3/137,6/3 (905,3/948,7/3)	3,3/6,9
K058	450/300	24,5	142,8/149,0/2 (984,6/1.027,3/2)	5,2/6,9
K059	450/350	32,2	132,3/137,5/3 (912,2/948,0/3)	2,9/2,9
K061	450/300	27,2	142,0/146,5/2 (979,1/1.010,1/2)	3,6/5,2
K065	450/300	32,4	137,8/143,1/1 (950,1/986,6/1)	6,9/6,9
K066	450/350	29,1	134,5/139,8/2 (927,3/963,9/2)	3,1/3,1
K067	500/300	38,6	132,4/137,0/2 (912,9/944,6/2)	3,8/5,2
K068	450/300	28,6	143,2/149,3/2 (987,3/1.029,4/2)	4,0/6,9
K069	450/350	30,3	134,1/139,4/3 (924,6/961,1/3)	4,0/6,9
K070	450/350	31,0	147,1/151,9/2 (1.014,2/1.047,3/2)	4,0/4,0
K071	450/350	33,5	134,9/140,0/3 (930,1/965,3/3)	3,1/3,3
K072	450/350	30,6	145,7/151,1/2 (1.004,6/1.041,8/2)	4,0/6,9
K073	450/350	33,8	141,6/146,6/2 (976,3/1.010,8/2)	3,8/4,0
K074	450/350	29,4	146,9/153,1/2 (1.012,8/1.055,6/2)	3,8/6,9
K075	450/350	26,2	145,4/152,9/3 (1.002,5/1.054,2/3)	5,2/8,7
K076	450/350	27,7	137,7/144,8/3 (949,4/998,4/3)	3,1/6,9

Ejemplo 4 - Efecto del cobalto y el cromo sobre la resistencia mecánica y la conformabilidad.

5 Las aleaciones del Ejemplo 3 se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado, durante 60 segundos, a la temperatura indicada en la Tabla 5. La Figura 6 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 4. Posteriormente, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y luego se sometieron a un recocido de estabilización de 400 a 500°C durante 3 horas. Después de una reducción en frío adicional del 22% a 0,007" (0,18 mm), las muestras se recocióron y estabilizaron a unas temperaturas de 300 a 400°C durante 3 horas.

10 En la Tabla 7 se indican las propiedades de las condiciones representativas. De forma similar al Ejemplo 3, fueron de particular interés las aleaciones K068, K070 y K072, que mostraron que las aleaciones que contenían Co, Cr o una combinación de ambos consiguieron los más altos niveles de resistencia mecánica. Los datos de conformabilidad por plegado indicaron que las aleaciones K068 y K070, que ambas contenían Co, tuvieron la mejor conformabilidad con una mayor resistencia mecánica. Se representó el límite de elasticidad frente a la conductividad en la Figura 7, y frente a la conformabilidad por plegado en la Figura 8. Son de destacar los valores de las

15 aleaciones K068, K070 y K072.

Tabla 7: Propiedades del procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización de las aleaciones de la Prueba 4				
Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
K056	450/300	29,1	147,4/152,4/2 (1.016,3/1.050,8/2)	5,7/8,6
K057	450/300	29,7	136,1/141,9/2 (938,4/978,4/2)	2,0/5,7
K058	450/300	25,6	146,7/153,3/1 (1.011,5/1.057,0/1)	2,0/8,6
K065	450/300	34,7	142,9/145,4/2 (1.011,5/1.002,5/2)	3,6/4,9
K067	500/300	38,4	137,4/141,7/3 (947,3/977,0/3)	2,9/5,7
K068	450/300	30,3	151,6/155,3/1 (1.045,2/1.070,8/1)	3,6/4,9
K069	450/300	29,7	139,4/145,7/1 (961,1/1.004,6/1)	2,9/8,6
K070	450/300	31,1	152,3/157,9/2 (1.050,1/1.088,7/2)	2,9/3,9
K071	450/300	34,8	143,8/147,6/2 (991,5/1.017,7/2)	2,9/3,9
K072	450/300	31,4	155,4/161,3/1 (1.071,4/1.112,1/1)	2,7/8,6
K073	450/300	34,7	147,2/150,9/2 (1.014,9/1.040,4/2)	2,7/3,9
K074	450/300	29,8	153,9/160,0/1 (1.061,1/1.103,2/1)	2,1/3,9
K075	450/300	26,5	151,4/158,2/2 (1.043,9/1.090,8/2)	2,0/11,0
K076	450/300	28,1	142,8/149,0/1 (984,6/1.027,3/1)	2,1/8,6

Ejemplo 5 - Relación níquel:cobalto.

En un crisol de sílice se fundieron una serie de lingotes de laboratorio de 10 pound (4,5 kg) con las composiciones indicadas en la Tabla 8 y se les aplicó una colada Durville en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de aproximadamente 4" x 4" x 1,75" (0,1 m x 0,1 m x 0,044 m). La Figura 9 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 5. Este grupo de aleaciones se basó en las aleaciones K068, K070 y K072 de la Tabla 5, en donde se fue variando el nivel de aleación global y la relación Ni/Co, mientras que se mantenía próxima a 4,2 la relación estequiométrica ((Ni+Co)/(Si-Cr/5)). Después de homogeneizarlos durante dos horas a 900°C, se laminaron en caliente en tres pasadas a 1,1" (28 mm) (1,6" / 1,35" / 1,1") (41 mm / 34 mm / 28 mm), se recalentaron a 900°C durante 10 minutos y adicionalmente se laminaron en caliente en tres pasadas a 0,50" (13 mm) (0,9" / 0,7" / 0,5") (23 mm / 18 mm / 13 mm), seguido de un templado en agua. Las placas templadas se homogeneizaron luego a 590°C durante 6 horas, se desbastaron y luego se fresaron para eliminar los óxidos superficiales surgidos durante la laminación en caliente. Luego, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado, durante 60 segundos, a la temperatura indicada en la Tabla 8. La temperatura se seleccionó para mantener un tamaño de grano relativamente constante. Luego, las aleaciones se sometieron a un recocido de estabilización de 450 a 500°C durante 3 horas, diseñado para aumentar la resistencia mecánica y la conductividad. Luego, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y se estabilizaron de 300 a 400°C durante 4 horas. En la Tabla 9 se presentan las propiedades medidas después del segundo recocido de estabilización para un procedimiento con una primera estabilización a 475°C y una segunda estabilización a 300°C. Para el conjunto de composiciones con Co únicamente (K077 a K085), los valores del límite de elasticidad tendieron a aumentar con la elevación del contenido de aleación. Por ejemplo, la aleación K078, con un valor de Ni+Co+Cr+Si de 6,24, tuvo un límite de elasticidad de 155 ksi (1.069 MPa), mientras que la K084, con un valor de Ni+Co+Cr+Si de 5,22, tuvo un límite de elasticidad de 139 ksi (958 MPa). Una relación Ni/Co de 3 a 4 proporcionó una mejor resistencia mecánica que una relación de 5, cuando se compara la aleación K077 (relación Ni/Co de 3,62) y la K078 (relación Ni/Co de 3,83) con la K079 (relación Ni/Co de 5,04), así como cuando se compara la aleación K080 (relación Ni/Co de 3,32) y la K081 (relación Ni/Co de 3,93) con la K082 (relación Ni/Co de 4,89). Las representaciones del límite de elasticidad frente a la relación Ni/Co en la Figura 10 ilustran esto, con la excepción de la K085, que tenía un nivel de Si más alto que la K083 y la K084. Las aleaciones que contenían Co y Cr, K086 a K094, no fueron tan sensibles a los niveles de aleación globales y a la relación Ni/Co como las aleaciones con Co únicamente. Las aleaciones con Co únicamente (K095 a K097) también tenían unas propiedades comparables a las de otros tipos de aleaciones.

ES 2 670 425 T3

Tabla 8: Aleaciones del Ejemplo 5						
Aleación	Composición analizada % en peso	Ni/Co	Ni+Co+Cr+Si	Relación (Ni+Co)/ (Si-Cr/5)	Temperatura del recocido en solución, °C	Tamaño de grano µm
K077	Cu - 3,84 Ni - 1,06 Co - 1,31 Si	3,62	6,21	3,740	975	10,0
K078	Cu - 3,98 Ni - 1,04 Co - 1,22 Si	3,83	6,24	4,115	975	10,3
K079	Cu - 4,28 Ni - 0,85 Co - 1,32 Si	5,04	6,45	3,886	975	14,8
K080	Cu - 3,49 Ni - 1,05 Co - 1,10 Si	3,32	5,64	4,127	975	15,5
K081	Cu - 3,77 Ni - 0,96 Co - 1,17 Si	3,93	5,90	4,043	975	16,9
K082	Cu - 3,86 Ni - 0,79 Co - 1,12 Si	4,89	5,77	4,152	975	20,4
K083	Cu - 3,22 Ni - 1,05 Co - 1,06 Si	3,07	5,33	4,028	975	15,5
K084	Cu - 3,33 Ni - 0,89 Co - 1,00 Si	3,74	5,22	4,220	950	15,3
K085	Cu - 3,59 Ni - 0,75 Co - 1,16 Si	4,79	5,50	3,741	950	18,7
K086	Cu - 3,80 Ni - 1,20 Co - 1,46 Si - 0,57 Cr	3,17	7,03	3,715	975	10,9
K087	Cu - 4,03 Ni - 1,01 Co - 1,37 Si - 0,60 Cr	3,99	7,01	4,032	975	15,9
K088	Cu - 4,26 Ni - 0,82 Co - 1,51 Si - 0,57 Cr	5,20	7,18	3,639	975	16,4
K089	Cu - 3,50 Ni - 1,11 Co - 1,33 Si - 0,58 Cr	3,15	6,52	3,797	975	10,5
K090	Cu - 3,75 Ni - 0,92 Co - 1,25 Si - 0,55Cr	4,08	6,47	4,096	975	16,3
K091	Cu - 3,97 Ni - 0,79 Co - 1,42 Si - 0,56 Cr	5,03	6,74	3,639	975	16,7
K092	Cu - 3,25 Ni - 1,01 Co - 1,22 Si - 0,58 Cr	3,22	6,06	3,859	975	15,2
K093	Cu - 3,43 Ni - 0,86 Co - 1,30 Si - 0,51 Cr	3,99	6,10	3,581	975	16,0
K094	Cu - 3,50 Ni - 0,73 Co - 1,22 Si - 0,59 Cr	4,79	6,04	3,838	975	17,5
K095	Cu - 4,97 Ni - 1,36 Si - 0,60 Cr		6,93	4,008	950	18,4
K096	Cu - 4,63 Ni - 1,35 Si - 0,61 Cr		6,59	3,770	925	12,0
K097	Cu - 4,20 Ni - 1,18 Si - 0,59 Cr		5,97	3,955	925	18,9

Tabla 9: Propiedades del procedimiento SA-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 5				
Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
K077	475/300	29,1	152,1/159,3/4 (1.048,7/1.098,3/4)	5,2/5,2
K078	475/300	29,7	155,5/162,3/4 (1.072,1/1.119,0/4)	5,2/5,2
K079	475/300	30,7	143,7/150,1/4 (990,8/1.034,9/4)	
K080	475/300	31,2	142,4/147,9/3 (981,8/1.019,7/3)	5,2/3,6
K081	475/300	30,7	144,2/148,3/3 (994,2/1.022,5/3)	4,0/6,1
K082	475/300	32,2	137,7/142,7/2 (949,4/983,9/2)	
K083	475/300	31,1	140,0/145,8/3 (965,3/1.005,3/3)	5,2/5,2

ES 2 670 425 T3

K084	475/300	32,1	138,9/145,6/3 (957,7/1.003,9/3)	
K085	475/300	31,8	140,4/146,3/2 (968,0/1.008,7/2)	
K086	475/300	30,1	151,6/157,9/4 (1.045,2/1.088,7/4)	5,2/6,1
K087	475/300	30,5	149,4/153,6/3 (1.030,1/1.059,0/3)	5,2/3,6
K088	475/300	30,4	152,2/159,3/4 (1.049,4/1.098,3/4)	5,2/5,2
K089	475/300	30,3	149,0/155,6/3 (1.027,3/1.072,8/3)	4,0/5,2
K090	475/300	31,3	151,9/157,4/3 (1.047,3/1.085,2/3)	5,2/3,8
K091	475/300	30,7	149,5/154,5/3 (1.030,8/1.065,2/3)	5,2/6,1
K092	475/300	30,8	146,5/152,1/3 (1.010,1/1.048,7/3)	4,0/5,2
K093	475/300	30,3	147,2/153,4/4 (1.014,9/1.057,7/4)	5,2/5,2
K094	475/300	31,2	148,1/154,4/2 (1.021,1/1.064,6/2)	4,0/3,8
K095	475/300	30,7	150,2/159,1/3 (1.035,6/1.097,0/3)	3,8/6,1
K096	475/300	32,1	153,3/160,6/4 (1.057,0/1.107,3/4)	4,0/6,1
K097	475/300	31,9	148,7/155,5/3 (1.025,3/1.072,1/3)	3,8/5,2

5 Las aleaciones de la Tabla 8 se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado, durante 60 segundos, a la temperatura indicada en la Tabla 8. Posteriormente, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y luego se sometieron a un recocido de estabilización de 450 a 500°C durante 3 horas. Después de una reducción en frío adicional del 22% a 0,007" (0,18 mm), las muestras se recocieron y estabilizaron a unas temperaturas de 300 a 400°C durante 3 horas. En la Tabla 10 se indican las propiedades de las muestras proporcionadas en una primera y una segunda estabilizaciones a 450°C y 300°C, respectivamente. Las aleaciones con Co únicamente mostraron una sensibilidad a los niveles de aleación globales con este esquema que no se ha encontrado en las aleaciones que contenían Cr. Las aleaciones con Co únicamente con un límite de elasticidad de 10 150 ksi (1.034 MPa) y superior fueron la K077 y la K078, mientras que todas las aleaciones que contenían Cr alcanzaron o se aproximaron a ese nivel del límite de elasticidad. Las propiedades de resistencia mecánica-plegado para este procedimiento fueron bastante similares a las de la Tabla 9.

Tabla 10: Propiedades del procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 5

Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
K077	450/300	29,1	152,8/160,2/2 (1.053,5/1.104,5/2)	3,7/4,3
K078	450/300	30,1	149,7/157,7/4 (1.032,1/1.087,3/4)	4,0/4,9
K079	450/300	35,2	133,4/140,3/2 (919,8/967,3/2)	
K080	450/300	32,2	133,1/139,6/2 (917,7/962,5/2)	
K081	450/300	32,2	133,0/138,8/2 (917,0/957,0/2)	
K082	450/300	44,9	100,7/112,9/3 (694,3/778,4/3)	
K083	450/300	30,2	140,7/145,8/3 (970,1/1.005,3/3)	
K084	450/300	\$1,8	141,7/146,7/3 (977,0/1.011,5/3)	4,0/5,1
K085	450/300	31,2	141,4/146,7/2 (974,9/1.011,5/2)	
K086	450/300	30,3	150,8/156,6/2 (1.039,7/1.079,7/2)	4,9/6,7

ES 2 670 425 T3

K087	450/300	30,2	153,4/158,7/2 (1.057,7/1.094,2/2)	4,6/4,9
K088	450/300	28,6	153,7/159,4/2 (1.059,7/1.099,0/2)	3,7/6,7
K089	450/300	29,8	148,9/155,4/1 (1.026,6/1.071,4/1)	4,6/6,7
K090	450/300	29,9	151,3/155,9/3 (1043,2/1.074,9/3)	4,6/4,3
K091	450/300	30,0	152,4/159,5/1 (1.050,8/1.099,7/1)	4,0/6,7
K092	450/300	32,5	149,6/156,4/3 (1.031,5/1.078,3/3)	4,3/6,7
K093	450/300	30,3	147,1/152,7/2 (1.014,2/1.052,8/2)	4,6/6,7
K094	450/300	29,9	160,4/156,9/2 (1.105,9/1.081,8/2)	4,3/4,9
K095	450/300	30,0	155,9/165,3/2 (1.074,9/1.139,7/2)	4,0/6,7
K096	450/300	31,8	157,5/165,4/3 (1.085,9/1.140,4/3)	4,0/6,7
K097	450/300	32,0	155,1/161,6/3 (1.069,4/1.114,2/3)	4,3/4,9

Ejemplo 6 - Relación níquel:cobalto.

En un crisol de grafito se fundieron unos lingotes de laboratorio con las composiciones indicadas en la Tabla 11, y se les aplicó una colada Tamman en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de 4,33" X 2,17" X 1,02" (110 mm X 55 mm X 26 mm). La Figura 11 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 6. Para un contenido de Si de 1% y un contenido de Cr de 0,5% deseados, con una aleación que contenía Co y otra que no contenía Co, se ajustó el contenido de Ni con el fin de mantener una relación estequiométrica ((Ni+Co)/(Si-Cr/5)) próxima a 4,2. Después de homogeneizarlos durante dos horas a 900°C, se laminaron en caliente a 0,472" (12 mm), y con eso se recalentaron después de cada pasada a 900°C durante 10 minutos. Después de la última pasada, la barra se templó en agua. Después de desbastar y fresar a 0,394" (10 mm) con el fin de eliminar el óxido superficial, las aleaciones se laminaron en frío a 0,0106" (0,27 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado durante el tiempo y la temperatura indicados en la Tabla 11. El tiempo y la temperatura se seleccionaron para conseguir unos tamaños de grano por debajo de 20 µm. Las aleaciones se sometieron luego a un recocido de estabilización de 450 a 500°C durante 3 horas, diseñado para aumentar la resistencia mecánica y la conductividad. Luego, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,0079" (0,2 mm) y se estabilizaron a 300 ó 400°C durante 3 horas. En la Tabla 12 se presentan las propiedades medidas después del segundo recocido de estabilización. Se midió la conformabilidad por medio de un bloque con ranura en V. Los datos indican que ambas aleaciones fueron capaces de alcanzar un límite de elasticidad de 135 ksi (931 MPa), pero la variante BS que contenía Co mostró una mejor resistencia al reblandecimiento, lo que se puede observar con el aumento de la temperatura de recocido de estabilización. La plegabilidad ligeramente mejor en sentido desfavorable de la variante BS se debe presumiblemente a un tamaño de grano ligeramente menor después del recocido en solución.

Tabla 11: Aleaciones del Ejemplo 6, % en peso

Aleación	Ni	Co	Cr	Si	Mg	Relación (Ni+Co)/(Si-Cr/5)	Ni/Co	Condiciones de SA	Tamaño de grano, µm
BR	3,59		0,48	1,00		3,97	∞	915°C - 1 minuto	10-15
BS	3,18	0,47	0,49	0,97		4,19	6,77	950°C - 1 minuto	5-10

**Tabla 12 – Propiedades del procedimiento
SA-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 6**

Aleación	1.AA	2.AA 300°C/3 h					2.AA 400°C/3 h				
	Temp. °C	YS, ksi (MPa)	TS, ksi (MPa)	A10%	% IACS	90° MINBR/t	YS, ksi (MPa)	TS, ksi (MPa)	A10%	% IACS	90° MINBR/t
BR	450	135,8 (936,3)	144,2 (994,2)	3,7	32,5	4,0/5,0	118,2 (815,0)	129,5 (892,9)	6,5	37,1	-/-

	475	133,9 (923,2)	141,8 (977,7)	3,7	35,1	4,0/6,0	124,0 (855,0)	132,9 (916,3)	7,9	38,5	-/-
	500	117,3 (808,8)	123,6 (852,2)	5	37,1	4,0/4,0	100,1 (690,2)	108,8 (750,1)	11	41,6	-/-
BS	450	135,8 (936,3)	142,6 (983,2)	1,6	31,7	4,0/4,0	128,2 (883,9)	137,2 (946,0)	3,7	33,5	3,5/4,0
	475	132,7 (914,9)	138,4 (954,2)	1,7	34,6	5,0/5,5	126,5 (872,2)	136,2 (939,1)	2,3	38,3	4,0/4,5
	500	127,3 (877,7)	134,7 (928,7)	4,8	37,4	4,0/5,0	119,4 (823,2)	127,8 (881,2)	6	41,2	-/-

Ejemplo 7 - Relación (Ni+Co)/(Si-Cr/5).

Se coló y se trató un grupo de aleaciones usando como base, una vez más, las composiciones básicas de las aleaciones K068 (Co únicamente), K070 (Co y Cr) y K072 (Cr únicamente) de la Tabla 5, pero en este caso con un descenso gradual en los niveles de Si, aumentando de ese modo la relación estequiométrica (Ni+Co)/(Si-Cr/5) por encima del intervalo de 3,6 a 4,2 de las aleaciones anteriores. Los niveles de Ni y Co se diseñaron para que fueran constantes para cada uno de los tres tipos de aleaciones. En un crisol de sílice se fundieron una serie de lingotes de laboratorio de 10 pound (4,5 kg) con las composiciones indicadas en la Tabla 11 y se les aplicó una colada Durville en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de aproximadamente 4" x 4" x 1,75" (0,1 m x 0,1 m x 0,044 m). Las aleaciones K143 a K146 son variantes de la K072, las K160 a K163 son variantes de la K070, y las K164 a K167 son variantes de la K068. La Figura 12 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 7. Después de homogeneizarlos durante dos horas a 900°C, se laminaron en caliente en tres pasadas a 1,1" (28 mm) (1,6" / 1,35" / 1,1"), (41 mm / 34 mm / 28 mm), se recalentaron a 900°C durante 10 minutos, y adicionalmente se laminaron en caliente en tres pasadas a 0,50" (13 mm) (0,9" / 0,7" / 0,5") (23 mm / 18 mm / 13 mm), seguido de un templado en agua. Luego, las placas templadas se homogeneizaron a 590°C durante 6 horas, se desbastaron y luego se fresaron para eliminar los óxidos superficiales surgidos durante la laminación en caliente. Luego, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado, durante 60 segundos, a las temperaturas indicadas en la Tabla 13. La temperatura se seleccionó para mantener un tamaño de grano relativamente constante. Luego, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y se estabilizaron a 450, 475 y 500°C durante 3 horas. En la Tabla 14 se indican las propiedades después de cada temperatura de estabilización para las aleaciones del ejemplo actual, así como para las aleaciones K068, K070, K072, K078, K087 y K089. Para cada tipo de aleación, el límite de elasticidad disminuyó a medida que la relación estequiométrica aumentaba por encima de aproximadamente 4,5, y se situó por debajo de 120 ksi (827 MPa) para una relación de alrededor de 5,5. Esto se muestra en las Figuras 13 a 15 para las aleaciones de Cr (más los datos de la K072), las aleaciones de Co (más los datos de las K068 y K078) y las aleaciones de Co-Cr (más los datos de las K070, K087 y K089), respectivamente. En las aleaciones de Co y Cr, la conductividad disminuyó a medida que la relación estequiométrica aumentó por encima de 4,5, mientras que para las aleaciones con Co y Cr no hay una relación clara entre la estequiometría y la conductividad. Esto se muestra gráficamente en las Figuras 16 a 18. En base a estos datos, es evidente que las mejores propiedades de límite elástico-conductividad se produjeron cuando la relación estequiométrica se mantuvo entre 3,5 y 5,0.

Tabla 13: Aleaciones del Ejemplo 7

Aleación	Ni	Co	Cr	Si	Mg	Relación (Ni+Co)/(Si-Cr/5)	Ni/Co	Temperatura de SA
K143	4,61		0,519	1,11	0,099	4,582		950
K144	4,63		0,503	0,828	0,074	6,365		950
K145	4,59		0,607	0,91	0,085	5,820		950
K146	4,55		0,576	0,803	0,093	6,615		950
K160	3,84	1,2	0,52	1,19		4,641	3,20	975
K161	3,8	1,18	0,515	1,1		4,995	3,22	975
K162	3,83	1,2	0,513	1,03		5,424	3,19	975

ES 2 670 425 T3

K163	3,84	1,21	0,556	0,938		6,108	3,17	975
K164	3,74	1,17		1,05	0,104	4,676	3,20	975
K165	3,9	1,23		1,01	0,116	5,079	3,17	975
K166	3,87	1,23		0,918	0,12	5,558	3,15	975
K167	3,9	1,24		0,83	0,085	6,193	3,15	975

Tabla 14: Propiedades después del recocido en solución, la laminación en frío al 25% y la estabilización del Ejemplo 7

Aleación	Estabilización a 450°C			Estabilización a 475°C			Estabilización a 500°C		
	YS ksi (MPa)	% IACS	Plegados a 90°	YS ksi (MPa)	% IACS	Plegados a 90°	YS ksi (MPa)	% IACS	Plegados a 90°
K143	138,9 (957,7)	31,2	2,9/2,0	135,8 (936,3)	33,7	2,0/2,7	126,3 (870,8)	35,8	2,0/2,2
K144	118,1 (814,3)	27,5	1,8/2,2	125,6 (866,0)	30,8	1,3/1,1	121,3 (836,3)	33,1	2,2/1,3
K145	120,8 (832,9)	27,3	2,0/1,3	127,5 (879,1)	30,3	2,2/1,3	123,5 (851,6)	32,6	2,2/1,8
K146	113,4 (781,9)	26,8	1,8/1,1	121,7 (839,1)	30,4	2,2/2,0	116,8 (805,3)	32,2	1,3/1,6
K160	127,4 (878,4)	29,5	2,0/3,1	133,8 (922,6)	34,0	2,4/1,6	122,6 (845,3)	39,3	1,8/1,8
K161	127,4 (878,4)	29,4	2,4/1,1	131,3 (905,3)	33,0	2,2/1,6	123,5 (851,6)	35,7	1,8/0,7
K162	122,4 (843,9)	33,4	1,3/1,3	120,7 (832,2)	34,4	2,4/1,3	116,5 (803,2)	35,9	1,6/1,3
K163	120,7 (832,2)	29,8	1,3/1,1	119,4 (823,2)	32,0	1,6/1,1	111,1 (766,1)	34,2	1,6/1,1
K164	126,6 (872,9)	29,9	2,4/1,6	132,6 (914,2)	33,7	2,4/2,0	125,8 (867,4)	36,7	2,0/2,9
K165	118,9 (819,8)	29,6	2,2/1,6	124,0 (855,0)	32,9	2,2/2,4	119,5 (823,9)	35,4	1,6/1,8
K166	116,6 (803,9)	27,9	2,0/1,3	120,4 (830,1)	30,4	2,9/1,1	117,7 (811,5)	32,5	2,0/1,8
K167	111,6 (769,5)	25,7	2,0/1,6	114,5 (789,4)	27,4	1,6/1,3	113,4 (781,9)	29,3	1,3/0,2
K068	131,9 (909,4)	29,3	2,2/2,8				131,7 (908,0)	33,5	2,2/2,2
K070	134,7 (928,7)	29,7	2,2/1,6				129,7 (894,3)	33,6	1,7/1,6
K072	133,3 (919,1)	29,9	1,7/1,7				130,0 (896,3)	33,2	1,6/2,2
K078	125,3 (863,9)	30,8	--	133,3 (919,1)	31,9	2,2/1,6	125,7 (866,7)	36,3	--
K087	133,4 (919,8)	29,0	--	136,9 (943,9)	30,7	2,2/1,6	124,1 (855,6)	37,7	--
K089	136,2 (939,1)	29,9	--	135,0 (930,8)	30,6	--	131,5 (906,7)	34,4	--

Ejemplo 8 - Relación (Ni+Co)/(Si-Cr/5).

5 En un crisol de sílice se fundieron una serie de lingotes de laboratorio de 10 pound (4,5 kg) con las composiciones indicadas en la Tabla 15 y se les aplicó una colada Durville en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de aproximadamente 4" x 4" x 1,75" (0,1 m x 0,1 m x 0,044 m). La Figura 19 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 8. Después de homogeneizarlos durante dos horas a 900°C, se laminaron en caliente en tres pasadas a 1,1" (28 mm) (1,6" / 1,35" / 1,1") (41 mm / 34 mm / 28 mm), se recalentaron a 900°C durante 10 minutos, y luego se laminaron en caliente en tres pasadas a 0,50" (13 mm) (0,9" / 0,7" / 0,5") (23 mm / 18 mm / 13 mm), seguido de un templado en agua. Las placas templadas se homogeneizaron a 590°C durante 6 horas, se desbastaron y luego se fresaron para eliminar los óxidos superficiales surgidos durante la laminación en caliente. Luego, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado, durante 60 segundos, a 950°C. El tamaño del grano varió de 6 a 12 µm. Luego, las aleaciones se sometieron a un recocido de estabilización de 450 o 475°C durante 3 horas, diseñado para aumentar la resistencia mecánica y la conductividad. Luego, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,18 mm) y

se estabilizaron a 300°C durante 4 horas. En la Tabla 16 se presentan las propiedades medidas después del segundo recocido de estabilización.

5 La Tabla 17 incluye las propiedades medidas después de que las muestras se trataran térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C, se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), se les
 10 diera un recocido de estabilización a 475°C durante 3 horas, se laminaron en frío al 22% a 0,007" (0,18 mm), y se les diera un recocido final de 300°C durante 3 horas. Los resultados muestran la viabilidad de una gama de composiciones con 1,0 a 1,2% de Si, con una relación Ni/Co de 4 y una relación estequiométrica ((Ni+Co)/(Si-Cr/5)) de 3,5 a 5,0, Esto se muestra gráficamente en las Figuras 20 y 21, que representan los datos de la conductividad y el límite de elasticidad de la Tabla 17, frente a la relación estequiométrica. Estos gráficos muestran unos límites de elasticidad de 140 ksi (965 MPa) o más altos, combinados con unas conductividades de 25% IACS o más altas, que se obtienen por este procedimiento cuando la relación está entre 3,0 y 5,0. No se encontró que el Cr influyera significativamente sobre las propiedades de las aleaciones de este ejemplo.

15 Se realizaron unos ensayos de relajación de tensiones en unas muestras de las aleaciones K188 y K205 que se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) a partir de una placa fresada laminada en caliente, se recocieron a 950°C durante 60 segundos, se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), y se recocieron y estabilizaron a 475°C durante 3 horas. Los ensayos de relajación de tensiones se realizaron a 150°C durante 3.000 horas en unas muestras de orientación longitudinal y transversal. Los resultados de la Tabla 18 muestran que ambas aleaciones tuvieron una excelente resistencia a la relajación de tensiones, por encima del 85% de la tensión remanente después de 1.000 horas a 150°C, independientemente del contenido de Cr o de la orientación de la muestra.

Tabla 15: Aleaciones del Ejemplo 8

Aleación	Composición analizada, % en peso	Ni/Co	Relación estequiométrica	Tamaño de grano, μm
K188	Cu - 3,40 Ni - 0,81 Co - 1,16 Si - 0,42 Cr - 0,019 Mg	4,20	3,91	7,3
K189	Cu - 3,20 Ni - 0,72 Co - 1,05 Si - 0,38 Cr - 0,033 Mg	4,46	4,02	10,1
K190	Cu - 3,22 Ni - 0,70 Co - 1,28 Si - 0,31 Cr - 0,036 Mg	4,59	3,22	8,5
K191	Cu - 3,22 Ni - 0,70 Co - 1,05 Si - 0,53 Cr - 0,064 Mg	4,58	4,16	9,5
K192	Cu - 2,94 Ni - 0,69 Co - 1,29 Si - 0,55 Cr - 0,062 Mg	4,24	3,08	10,9
K193	Cu - 3,21 Ni - 0,90 Co - 1,05 Si - 0,34 Cr - 0,117 Mg	3,56	4,16	8,6
K194	Cu - 3,20 Ni - 0,84 Co - 1,30 Si - 0,22 Cr - 0,035 Mg	3,80	3,22	7,8
K195	Cu - 3,18 Ni - 0,88 Co - 0,81 Si - 0,52 Cr - 0,070 Mg	3,71	5,72	7,1
K196	Cu - 3,19 Ni - 0,89 Co - 1,28 Si - 0,57 Cr - 0,111 Mg	3,60	3,49	7,7
K197	Cu - 3,61 Ni - 0,70 Co - 1,06 Si - 0,36 Cr - 0,067 Mg	5,14	4,36	10,7
K198	Cu - 3,60 Ni - 0,70 Co - 1,28 Si - 0,39 Cr - 0,077 Mg	5,13	3,58	8,7
K199	Cu - 3,60 Ni - 0,70 Co - 1,06 Si - 0,60 Cr - 0,076 Mg	5,13	4,58	9,3
K200	Cu - 3,60 Ni - 0,70 Co - 1,28 Si - 0,60 Cr - 0,092 Mg	5,14	3,70	9,3
K201	Cu - 3,63 Ni - 0,88 Co - 1,04 Si - 0,29 Cr - 0,065 Mg	4,12	4,59	6,0
K202	Cu - 3,62 Ni - 0,90 Co - 1,27 Si - 0,36 Cr - 0,101 Mg	4,04	3,77	7,4
K203	Cu - 3,59 Ni - 0,89 Co - 1,05 Si - 0,56 Cr - 0,076 Mg	4,04	4,77	6,1
K204	Cu - 3,58 Ni - 0,88 Co - 1,27 Si - 0,56 Cr - 0,075 Mg	4,09	3,85	5,9
K205	Cu - 3,73 Ni - 0,91 Co - 1,13 Si - 0,082 Mg	4,09	4,11	12,1
K206	Cu - 3,53 Ni - 0,81 Co - 1,02 Si - 0,080 Mg	4,36	4,25	12,2
K207	Cu - 3,53 Ni - 0,78 Co - 1,25 Si - 0,055 Mg	4,55	3,44	9,9
K208	Cu - 3,57 Ni - 1,00 Co - 1,02 Si - 0,070 Mg	3,57	4,48	7,6

ES 2 670 425 T3

K209	Cu - 3,54 Ni - 1,02 Co - 1,25 Si - 0,085 Mg	3,47	3,65	7,4
K210	Cu - 3,94 Ni - 0,82 Co - 1,06 Si - 0,149 Mg	4,78	4,49	9,5
K211	Cu - 3,97 Ni - 0,80 Co - 1,24 Si - 0,065 Mg	4,97	3,85	11,5
K212	Cu - 3,95 Ni - 0,99 Co - 1,04 Si - 0,100 Mg	4,01	4,75	10,2
K213	Cu - 3,97 Ni - 0,99 Co - 1,22 Si - 0,079 Mg	4,01	4,07	10,2

Tabla 16 - Propiedades del procedimiento SA-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 8

Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
K188	450/300	29,3	149,5/156,1/2 (1.030,8/1.076,3/2)	3,3/5,2
K189	475/300	33,6	147,3/153,8/2 (1.015,6/1.060,4/2)	4,0/4,0
K204	450/300	29,7	149,6/155,1/2 (1.031,5/1.069,4/2)	4,0/5,2
K205	475/300	34,2	149,8/155,7/2 (1.032,8/1.073,5/2)	4,0/5,2
K206	475/300	35,0	147,9/153,9/2 (1.019,7/1.061,1/2)	4,0/5,3
K213	475/300	34,2	150,8/157,4/2 (1.039,7/1.085,2/2)	5,2/5,2

Tabla 17: Propiedades del procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización del Ejemplo 8

Aleación	Estabilizaciones	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
K188	475/300	35,1	145,7/152,4/3 (1.004,6/1.050,8/3)	2,0/4,9
K189	475/300	34,7	146,1/152,6/2 (1.007,3/1.052,1/2)	2,6/5,7
K190	475/300	28,0	139,2/148,5/4 (959,7/1.023,9/4)	2,9/5,1
K191	475/300	37,2	143,7/149,9/3 (990,8/1.033,5/3)	3,4/6,7
K192	475/300	28,1	139,7/146,4/2 (963,2/1.009,4/2)	2,6/6,7
K193	475/300	36,2	143,6/149,3/3 (990,1/1.029,4/3)	2,9/5,1
K194	475/300	29,1	138,7/146,1/3 (956,3/1.007,3/3)	2,6/6,7
Kt95	475/300	35,5	130,7/134,7/4 (901,1/928,7/4)	2,0/3,4
K196	475/300	30,2	143,4/149,5/2 (988,7/1.030,8/2)	2,6/9,0
K197	475/300	35,4	145,3/152,0/2 (1.001,8/1.048,0/2)	3,1/6,7
K198	475/300	31,7	148,2/155,7/3 (1.021,8/1.073,5/3)	2,9/6,7
K199	475/300	35,5	147,8/154,4/3 (1.019,0/1.064,5/3)	2,9/9,0
K200	475/300	33,7	146,3/152,9/3 (1.008,7/1.054,2/3)	3,4/6,7
K201	475/300	36,8	145,2/150,0/2 (1.001,1/1.034,2/2)	2,9/6,7
K202	475/300	33,5	146,1/152,8/3 (1.007,3/1.053,5/3)	2,6/5,1
K203	475/300	34,4	147,4/153,6/2 (1.016,3/1.059,0/2)	3,6/5,7

K204	475/300	33,9	150,3/156,8/3 (1.036,3/1.081,1/3)	2,9/6,7
K205	475/300	35,3	147,0/152,8/2 (1.013,5/1.053,5/2)	2,9/5,7
K206	475/300	35,8	146,9/153,7/3 (1.012,8/1.059,7/3)	2,4/6,7
K207	475/300	29,7	143,3/150,3/2 (988,0/1.036,3/2)	2,6/6,7
K206	475/300	36,2	142,5/148,1/3 (982,5/1.021,1/3)	2,9/6,7
K209	475/300	32,2	145,5/152,1/3 (1.003,2/1.048,7/3)	2,6/6,7
K210	475/300	34,1	148,6/154,1/5 (1.024,6/1.062,5/5)	2,9/6,7
K211	475/300	33,8	144,7/152,1/2 (997,7/1.048,7/2)	3,1/5,1
K212	475/300	34,5	140,6/145,4/3 (969,4/1.002,5/3)	2,9/5,7
K213	475/300	35,0	148,4/154,4/2 (1.023,2/1.064,5/2)	3,6/6,7

Tabla 18: Datos de la relajación de tensiones para unas muestras laminadas en frío al 25% y estabilizadas a 475°C durante 3 horas del Ejemplo 8					
Aleación	Límite de elasticidad ksi (MPa)	Longitudinal		Transversal	
		(tensión remanente en porcentaje)		(tensión remanente en porcentaje)	
		1.000 h	3.000 h	1.000 h	3.000 h
K188 (Cr)	136,4 (940,4)	89,9	87,9	88,2	85,2
K205 (sin Cr)	132,2 (911,5)	92,0	90,4	91,6	89,6

Ejemplo 9 - Efecto del Cr.

5 En un crisol de sílice se fundieron una serie de lingotes de laboratorio de 10 pound (4,5 kg) con las composiciones indicadas en la Tabla 19 y se les aplicó una colada Durville en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de aproximadamente 4" x 4" x 1,75" (0,1 m x 0,1 m x 0,044 m). La Figura 22 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 9. Luego, los lingotes se mecanizaron para que tuvieran unos bordes cónicos, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 23, para crear un mayor estado de tensión de tracción en los bordes. Esta condición es más propensa a la fisuración de los bordes que la de los bordes planos estándar, y por ello más sensible a las adiciones de aleación, en este caso de Cr. Las aleaciones se homogeneizaron durante dos horas a 10 900°C y se laminaron en dos pasadas a 1,12" (28,4 mm) (1,4" / 1,12") (35,6 mm / 28,4 mm) y luego se templaron en agua. Después del examen de las fisuras, las barras se recalentaron a 900°C durante dos horas y se laminaron en tres pasadas a 0,50" (13 mm) (0,9" / 0,7" / 0,5") (23 mm / 18 mm / 13 mm), seguido de un templado en agua. Se encontró que sin Cr, en la aleación K224 surgieron grandes fisuras durante las primeras etapas de laminación en caliente, que se agrandaron durante las pasadas restantes. En ninguna de las aleaciones que contenían Cr surgieron grandes fisuras durante la laminación en caliente. Unas pocas aleaciones mostraron unas pequeñas fisuras después de las pasadas iniciales, lo que se cree que fue debido a defectos de colada, pero éstas no se agrandaron durante las pasadas posteriores. El efecto del Cr fue el mismo independientemente del nivel de Cr de 15 0,11% a 0,55%. En las Figuras 24 y 25 se muestran unos ejemplos de las condiciones de los bordes de las aleaciones K224 y K225 después de la laminación en caliente. La adición de Cr, incluso en una pequeña cantidad, redujo la fisuración en la producción de la planta, mejorando de ese modo el rendimiento después de la laminación en caliente y el fresado en bobina. Los datos de las barras coladas en planta (es decir, barras coladas en forma de coladas dc producto de prueba), cuyas composiciones se indican en la Tabla 20, muestran el efecto beneficioso del Cr en la prevención de fisuras por laminación en caliente y, por lo tanto, mejoran el rendimiento. La Tabla 21 indica el rendimiento normalizado de la planta de colada (CPY) de seis barras que contenían Cr y de cuatro barras que no contenían Cr, donde el CPY normalizado se obtuvo de la siguiente manera: Primero, se calculó el CPY individualizado como la relación entre el peso del fresado en bobina y el peso de la barra colada. En segundo lugar, a la barra con el CPY más alto, en este caso la RN0334101, se le asignó un CPY normalizado de 100%. En tercer 25

lugar, se calculó el CPY normalizado de todas las demás barras, dividiendo el CPY de cada barra entre el CPY de la RN033410. El CPY normalizado de las barras sin Cr fue 48-82% en comparación con 82-100% para las barras que contenían Cr

5 Es deseable limitar el nivel de Cr debido a la abrasividad de los siliciuros de Cr, lo cual se muestra en la Figura 26. La Figura 26A muestra el desgaste en una bola de acero de una herramienta que se deslizó por 3.000 inches lineales (76 m) (1.500 inches (38 m) en cada lado de la banda), bajo una carga de 100 g por encima de la superficie de la banda, con aceite de grasa de cerdo como lubricante, de una muestra sin Cr (RN033407) que se recoció en solución en la planta a 975°C, se laminó en frío al 25% y luego se estabilizó a 450°C y se limpió en ácido sulfúrico; mientras que la Figura 26B tenía una condición similar usando una muestra de una aleación que contenía Cr (RN834062). El aspecto pulido de la bola que se muestra en la Fig. 26 muestra que la aleación que contenía Cr provocó mucho más desgaste, lo que llevó a que fuera eliminado un volumen significativamente mayor de material de la bola. Esto se observa en la Fig. 26 como una marca de desgaste mucho más grande para la aleación que contenía Cr. La marca de desgaste más grande sugiere que durante la estampación de la lámina de la aleación en piezas, se produjo un gran desgaste de la herramienta.

10

Tabla 19: Aleaciones usadas en el Ejemplo 9					
Aleación	Ni	Co	Cr	Si	Mg
K224	3,71	0,91	0	1,14	--
K225	3,71	0,93	0,11	1,19	0,030
K226	3,61	0,82	0,23	1,20	0,035
K227	3,50	0,95	0,34	1,20	0,035
K228	3,51	0,85	0,48	1,21	0,040
K229	3,39	0,85	0,55	1,20	0,043

15

Tabla 20: Composiciones de las barras coladas en planta del Ejemplo 9					
Barra	Ni	Co	Cr	Si	Mg
RN032031	3,71	0,75	--	1,09	0,12
RN032038					
RN033407	3,66	0,88	--	1,07	0,106
RN033408					
RN033409	3,83	0,89	0,45	1,22	0,138
AN033410					
AN834059	3,24	0,758	0,425	1,02	0,094
RN834060					
RN834061	3,45	0,74	0,44	1,14	0,076
RN834062					

Tabla 21: Datos del fresado para las barras coladas en planta del Ejemplo 9		
Barra	Tipo	CPY% (normalizado)
RN032037	Sin Cr	75,2%

RN032038	Sin Cr	48,1%
RN033407	Sin Cr	76,0%
RN033408	Sin Cr	82,3%
AN033409	Cr	95,6%
RN033410	Cr	100%
RN834059	Cr	92,1%
RN834060	Cr	90,1%
RN834061	Cr	87,7%
RN834062	Cr	82,0%

5 En una sola operación de colada se produjeron tres barras con la composición mostrada en la Tabla 21a. En la Tabla 21b se proporciona el rendimiento de la planta de colada de las barras, que se normalizó de manera similar a los datos de la Tabla 21 donde la RN033410 se consideró 100%. El CPY de las barras con un bajo contenido de Cr se comparó favorablemente con las barras que contenían Cr de la Tabla 21. Ello se cree que fue debido a la reducción de la fisuración del Cr durante la laminación en caliente incluso a estos bajos niveles. La RN037969 tenía un % del CPY normalizado por encima de 100, debido al hecho de que el rendimiento de esta barra fue mayor que el de la RN033410 del ejemplo anterior.

Tabla 21a: Composiciones analizadas de unas barras con bajo contenido de Cr y tratadas en la planta					
Barra	Ni	Co	Cr	Si	Mg
037969	3,70	0,98	0,059	1,07	0,093
037970					
037971					

Tabla 21b		
Barra	Tipo	CPY % (normalizado)
RN037969	Bajo contenido de Cr	102,1%
RN037970	Bajo contenido de Cr	89,8%
RN037971	Bajo contenido de Cr	68,4%

10

Ejemplo 10 - Efecto del Cr y el Mn.

15 En un crisol de sílice se fundieron una serie de lingotes de laboratorio de 10 pound (4,5 kg) con las composiciones indicadas en la Tabla 22 y se les aplicó una colada Durville en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de aproximadamente 4" x 4" x 1,75" (0,1 m x 0,1 m x 0,044 m). La Figura 27 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 10. La aleación K259 contenía un nivel de Cr menor que el de las aleaciones del Ejemplo 9 para investigar los límites inferiores del efecto beneficioso del Cr en la laminación en caliente. Las aleaciones K251, K254 y K260 contenían unos niveles bajos de Mn para determinar si el Mn afectaba a la laminación en caliente de la aleación de esta invención. Luego, los lingotes se mecanizaron para que tuvieran unos bordes cónicos, como se representa esquemáticamente en la Fig. 23, para crear un mayor estado de tensión de tracción en los bordes. Las aleaciones se homogeneizaron durante dos horas a 900°C, y se laminaron en dos pasadas a 1,12" (28,4 mm) (1,4" / 1,12") (35,6 mm / 28,4 mm) y luego se templaron en agua. Después del examen de las fisuras, las barras se recalentaron a 900°C durante dos horas, y se laminaron en tres pasadas a 0,50" (13 mm) (0,9" / 0,7" / 0,5") (23 mm / 18 mm / 13 mm), seguido por un templado en agua. La aleación K259, con 0,058% de Cr, se laminó en caliente sin formación de fisuras en los bordes. En las aleaciones que contenían Mn,

20

junto con la K261 (sin Cr ni Mn) surgieron grandes fisuras en los bordes. Por ello, una adición de Cr próxima al 0,05%, con un intervalo preferido de 0,025 a 0,1% de Cr, pareció que era apropiada para equilibrar la laminabilidad en caliente y la formación de partículas abrasivas que conducen al desgaste de la herramienta.

5 Las barras templadas se homogeneizaron a 590°C durante 6 horas, se desbastaron y luego se fresaron para eliminar los óxidos superficiales surgidos durante la laminación en caliente. Luego, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado, durante 60 segundos, a 950°C. Luego, las aleaciones se sometieron a un recocido de estabilización de 475°C durante 3 horas, diseñado para aumentar la resistencia mecánica y la conductividad. Luego, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y se estabilizaron a 300°C durante 3 horas. Alternativamente, después del tratamiento térmico en
 10 solución, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), se les dio un recocido de estabilización a 475°C durante 3 horas, se laminaron en frío al 22% a 0,007" (0,18 mm), y se les dio un recocido final de 300°C durante 3 horas. En la Tabla 23 se indican las propiedades después de la estabilización final para ambos itinerarios de procedimiento. Para ambos procedimientos, con unos bajos niveles de Cr y Mn o con ninguno de ellos, se consiguió una combinación de propiedades excepcionalmente buena, con un límite de elasticidad de 150 ksi (1.034 MPa) y al menos 31% IACS. En las Figuras 28 y 29 se representan la conductividad y el límite de elasticidad frente a la relación estequiométrica ((Ni+Co)/(Si-Cr/5)), junto con los datos del ejemplo 8, para mostrar las
 15 propiedades inusualmente buenas alcanzadas cuando la relación se mantuvo entre 3,0 y 5,0.

Tabla 22: Aleaciones con bajo contenido de Cr y Mn del Ejemplo 10

Aleación	Ni	Co	Si	Mg	Cr	Mn	Relación*
K251	3,64	0,84	1,16	0,058	--	0,026	3,862
K254	3,73	0,90	1,16	0,044	--	0,061	3,991
K259	3,78	0,56	1,14	0,073	0,058	0,004	3,846
K260	3,15	0,94	1,15	0,065	< 0,001	0,048	4,078
K261	3,79	0,95	1,16	0,054	<0,001	0,004	4,086

*Relación = (Ni+Co)/(Si-Cr/5)

Tabla 23: Propiedades para el Ejemplo 10

Aleación	Procedimiento SA-estabilización-CR-estabilización			Procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización		
	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t	% IACS	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	90° MBR/t
K251	31,0	149,9/156,5/1 (1.033,5/1.079,0/1)	4,0/5,2	32,0	151,9/158,6/3 (1.047,3/1.093,5/3)	2,6/2,9
K254	33,7	141,2/144,7/2 (973,5/997,7/2)	3,3/3,3	33,0	151,7/158,1/1 (1.045,9/1.090,1/1)	2,3/3,7
K259	31,8	151,0/157,3/2 (1.041,1/1.084,5/2)	4,0/5,2	33,3	150,8/156,9/2 (1.039,7/1.081,8/2)	2,3/2,9
K260	32,4	149,9/156,3/3 (1.033,5/1.077,6/3)	3,8/3,8	35,3	148,6/154,1/3 (1.024,6/1.062,5/3)	2,9/4,3
K261	31,9	150,9/157,1/2 (1.040,4/1.083,2/2)	3,8/5,2	34,4	151,0/157,6/2 (1.041,1/1.086,6/2)	2,6/4,3

20

Ejemplo 11 - Efecto del tratamiento.

Se trataron unas secciones de la barra colada en planta RN032037, cuya composición se indica en la Tabla 20, a partir de una placa laminada en caliente y fresada en bobina en planta de 0,600" (15,24 mm) de espesor. Las muestras se trataron adicionalmente mediante los diversos itinerarios de tratamiento mostrados en la Fig. 30. El
 25 procedimiento A implicó un laminado en frío a 0,012" (0,3 mm) y un tratamiento térmico en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C, un recocido de estabilización a 500°C durante 3 horas, una laminación en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), y se dio un segundo recocido a 350°C durante 4 horas. En el procedimiento BF, el metal se laminó a 0,050" (1,3 mm) y se le dio un recocido de campana intermedio ("IMBA") de 575°C durante 8 horas. Luego, las muestras se sometieron a una laminación en frío a 0,012" (0,3 mm) y a un
 30 tratamiento térmico en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C, un recocido de estabilización a 500°C durante 3 horas, una laminación en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), y se les dio un segundo

recocido a 350°C durante 4 horas. En el procedimiento C, la aleación se laminó a 0,024" (0,61 mm) y se sometió a un tratamiento térmico en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C, seguido de una laminación en frío a 0,012" (0,3 mm) y un segundo tratamiento térmico en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C. Posteriormente, el procedimiento implicó un recocido de estabilización a 500°C durante 3 horas, una laminación en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), y se dio un segundo recocido a 350°C durante 4 horas. En el procedimiento D, una laminación en frío a 0,012" (0,3 mm) seguida de un tratamiento térmico en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C, la aleación se laminó en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), se le dio un recocido de estabilización a 475°C durante 3 horas, se laminó en frío al 22% a 0,007" (0,18 mm), y se le dio un recocido final de 300°C durante 3 horas. En el procedimiento E, el metal se laminó a 0,050" (1,27 mm) y se le dio un recocido de campana intermedio de 575°C durante 8 horas. Luego, las muestras se laminaron a 0,024" (0,61 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C, seguido de una laminación en frío a 0,012" (0,3 mm) y un segundo tratamiento térmico en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 950°C. Posteriormente, el procedimiento implicó un recocido de estabilización a 500°C durante 3 horas, una laminación en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm), y se dio un segundo recocido a 350°C durante 4 horas.

Tabla 24: Propiedades resultantes de los procedimientos del Ejemplo 11

Procedimiento	Descripción	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	% IACS	90° MBR/t
A	Procedimiento "estándar"	145,1/152,7/3 (1.000,4/1.052,8/3)	36,2	4,0/7,0
B	Procedimiento IMBA	144,4/150,4/3 (995,6/1.037,0/3)	37,4	3,8/4,0
C	Procedimiento de doble recocido en solución	147,2/152,7/3 (1.014,9/1.052,8/3)	37,1	3,6/6,9
O	Procedimiento SA-CR-estabilización-CR-estabilización	146,5/154,4/2 (1.010,1/1.064,5/2)	34,2	4,2/8,7
E	Procedimiento IMBA-doble SA	143,6/150,1/3 (990,1/1.034,9/3)	36,7	3,3/7,0

Ejemplo 12 - Efecto del tratamiento.

Se trataron unas secciones de la barra colada en planta RN032037, cuya composición se indica en la Tabla 20, a partir de una placa laminada en caliente fresada en bobina en planta de 0,600" (15,24 mm) de espesor. Las variables de procedimiento se variaron sistemáticamente para explorar una matriz que contenía unos intervalos de condiciones de tratamiento. La Figura 31 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 12. Después de una laminación en frío a 0,012" (0,3 mm), las muestras se recocieron en solución en un horno de lecho fluidizado a unas temperaturas de 925, 950, 975 y 1.000°C durante 60 segundos. Luego, se dio a las muestras unos recocidos de estabilización a unas temperaturas de 450, 475, 500 y 525°C durante tres horas. Luego, las muestras se laminaron en frío al espesor final con diferentes reducciones de 15, 25 y 35%. Finalmente, se dio a las muestras un segundo recocido de estabilización durante cuatro horas a 300, 325, 350 y 375°C. La Tabla 25 contiene las propiedades de las muestras con diferentes temperaturas de recocido en solución, mientras que el resto del procedimiento se mantuvo constante. A medida que aumentó la temperatura de la solución, aumentó el límite de elasticidad, mientras que la conductividad disminuyó. Adicionalmente, la conformabilidad por plegado empeoró a temperaturas de recocido en solución más altas, debido al gran tamaño de grano surgido durante los recocidos a 975 y 1.000°C. Por ello, se prefirió un recocido en solución con un tamaño de grano inferior a 20 µm.

Cuando se varió la temperatura de la primera estabilización, mientras se mantenían constantes las otras variables de tratamiento, se encontró que los niveles de resistencia mecánica más altos eran debidos a las temperaturas de estabilización intermedias, como se muestra en la Tabla 26 para las estabilizaciones a 475 y 500°C. Además, la conductividad aumentó con el aumento de la temperatura de estabilización. Por ello, la temperatura de la primera estabilización se puede manipular para proporcionar varias combinaciones deseadas de resistencia mecánica y conductividad.

Cuando se varió la reducción de laminación entre la primera y la segunda estabilizaciones, se encontró que el límite de elasticidad aumentaba con el aumento de la reducción, en este caso de hasta 35%, mientras que la conductividad no se veía afectada. Se encontró un aumento mayor de la resistencia mecánica cuando se pasó de una reducción del 15 al 25% que cuando se pasó del 25 al 35%. Se encontró que la conformabilidad por plegado empeoraba con unas reducciones mayores. La reducción de laminación se puede manipular para afectar las características de la resistencia mecánica-conformabilidad del material producido. El uso de una reducción de laminación por encima del 35% puede ser útil para producir una resistencia máxima, aunque con una conformabilidad más escasa.

La Tabla 28 muestra que la segunda temperatura de recocido de estabilización no tiene un gran efecto sobre las

ES 2 670 425 T3

propiedades, cuando las otras variables de tratamiento se mantienen constantes. Se encontró que la conductividad aumentaba a medida que aumentaba la temperatura de la segunda estabilización, pero en un grado menor. Por ello, para esta etapa del procedimiento fue aceptable un amplio intervalo de operación.

Tabla 25: Efecto de la variación de las temperaturas del recocido en solución, con una primera estabilización a 475°C, una laminación con una reducción del 25%, una segunda estabilización a 350°C del Ejemplo 12

Temperatura de SA, °C	Tamaño de grano de SA, µm	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	% IACS	Plegados a 90°
925	9,0	142,3/147,7/3 (981,1/1.018,4/3)	36,0	6,0/6,0
950	12,9	145,9/152,3/3 (1.005,9/1.050,1/3)	34,1	6,1/6,1
975	26,1	146,5/152,6/2 (1.010,1/1.052,1/2)	32,3	6,1/12,1
1.000	28,8	147,5/152,1/3 (1.017,0/1.048,7/3)	32,7	8,7/12,1

Tabla 26: Efecto de la variación de las temperaturas de la primera estabilización, con un recocido en solución a 475°C, una laminación con una reducción del 25%, una segunda estabilización a 350°C del Ejemplo 12

Temperatura de la primera estabilización, °C	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	% IACS	Plegados a 90°
450	140,1/145,2/4 (966,0/1.001,1/4)	30,5	4,0/6,1
475	145,9/152,3/3 (1.005,9/1.050,1/3)	34,1	6,1/6,1
500	145,1/152,7/3 (1.000,4/1.052,8/3)	36,2	4,0/7,0
525	133,2/134,5/1 (918,4/927,3/1)	39,9	n/m*

5 *no medido

Tabla 27: Efecto de la variación de las reducciones de laminación, con un recocido en solución a 950°C, una primera estabilización a 475°C, una segunda estabilización a 350°C

Reducción de la laminación	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	% IACS	Plegados a 90°
15%	138,4/145,0/4 (954,2/999,7/4)	33,9	5,4/5,4
25%	145,9/152,3/3 (1.005,9/1.050,1/3)	34,1	6,1/6,1
35%	148,9/155,5/3 (1.026,6/1.072,1/3)	34,0	7,1/10,0

Tabla 28: Efecto de la variación de las temperaturas de la segunda estabilización, con un recocido en solución a 950°C, una primera estabilización a 475°C, una laminación con una reducción del 25%

Temperatura de la segunda estabilización, °C	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	% IACS	Plegados a 90°
300	146,4/152,0/2 (1.009,4/1.048,0/2)	33,2	6,1/6,1
325	146,5/152,3/3 (1.010,1/1.050,1/3)	33,6	6,1/8,7
350	145,9/152,3/3 (1.005,9/1.050,1/3)	34,1	6,1/6,1
375	146,2/152,7/3 (1.008,0/1.052,8/3)	34,8	6,0/8,6

Se laminaron en el laboratorio unas muestras a partir de la barra colada en planta sin Cr RN033407 (composición en

la Tabla 20) desde la condición de fresado en bobina a 0,460" (11,7 mm) hasta 0,012" (0,3 mm). Posteriormente, las muestras se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado durante 60 segundos a 900°C. Luego, las muestras se laminaron al 25% a 0,009" (0,23 mm) y se recoció y estabilizaron a 425, 450 y 475°C durante unos tiempos de 4 y 8 horas, para cada temperatura. Posteriormente, las muestras se laminaron en frío al 22% a 0,007" (0,18 mm) y se les dio un recocido final de 300°C durante tres horas. La mejor combinación de resistencia mecánica y conductividad se produjo a los 450°C para 8 horas de estabilización, estando indicadas en la Tabla 28a las propiedades de esa condición y de otras. Al comparar los datos de 450°C/8 horas con las propiedades de la Tabla 25, está claro que el reducir aún más la temperatura de recocido en solución a 900°C reduce el límite de elasticidad y aumenta la conductividad para producir la combinación única de 140 ksi (965 MPa) y 39% IACS. Además, el tratamiento que incluía una temperatura de recocido en solución de 900°C produjo una conformabilidad por plegado mejorada en comparación con el tratamiento que implicaba unas temperaturas de recocido en solución más altas.

Tabla 28A: Propiedades después de un tratamiento que incluye un recocido en solución a 900°C

Condición de la primera estabilización	Tamaño de grano de SA, µm	YS/TS/EI ksi/ksi/% (MPa/MPa/%)	% IACS	Plegados a 90°
450°C/4 h	5,5	138,5/143,0/2 (954,9/985,9/2)	36,1	2,6/4,0
450°C/8 h	5,5	140,3/144,7/2 (967,3/997,7/2)	39,0	2,0/4,3
475°C/4 h	5,5	126,9/131,7/3 (874,9/908,0/3)	40,7	2,3/4,0
475°C/8 h	5,5	131,0/135,0/3 (903,2/930,8/3)	41,2	1,7/2,3

Ejemplo 13 - Efecto del Si y el Mg.

En un crisol de grafito se fundieron unos lingotes de laboratorio con las composiciones indicadas en la Tabla 29 y se les aplicó una colada Tamman en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de 4,33" x 2,17" x 1,02" (110 mm x 55 mm x 26 mm). Todas las aleaciones se eligieron para que tuvieran un contenido de Cr de 0,5%. El contenido de Si se varió entre 1,0% y 1,5%. Para las variantes con un alto contenido de Si de 1,5%, la relación Ni/Co varió entre 4,98 y 11,37 con una relación estequiométrica ((Ni+Co)/(Si-Cr/5)) fijada en alrededor de 4. Se ensayó la influencia del Mg para la aleación BW, con la misma composición de aleación que la BV pero adicionalmente con 0,1% de Mg.

La Figura 32 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 13. Después de homogeneizarlas durante dos horas a 900°C, se laminaron en caliente a 0,472" (12 mm), con lo que se recalentaron después de cada pasada a 900°C durante 10 minutos. Después de la última pasada, las barras se templaron en agua. Después de desbastar y fresar a 0,394" (10 mm) con el fin de eliminar el óxido superficial, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado con el tiempo y la temperatura indicados en la Tabla 29. El tiempo y la temperatura se seleccionaron para conseguir unos tamaños de grano por debajo de 20 µm.

Posteriormente, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y luego se sometieron a un recocido de estabilización de 450 y 475°C durante 3 horas. En la Tabla 30 se indican las propiedades de las muestras. Se midió la conformabilidad por medio de un bloque con ranura en V. Con el aumento del contenido de Si, el límite de elasticidad aumentó de 121 ksi (834 MPa), para la aleación con 1,05% de Si, a 135 ksi (931 MPa), para la aleación con 1,51% de Si. Para las variantes con 1,16% de Si, el Mg dio lugar a una mejora del límite de elasticidad de 5-7 ksi (34-48 MPa). La reducción de la relación Ni/Co de 11,37 a 4,98 mejoró el límite de elasticidad para las aleaciones con un contenido alto de Si (1,5%). Se ensayó la relajación de tensiones mediante el método del anillo con una tensión objetivo inicial de 0,8 veces el límite de elasticidad. La Tabla 31 muestra los datos de la relajación de tensiones para las variantes BV, BW y BX. Al comparar la BV y la BW, debido a la adición de Mg, se observó que la resistencia a la relajación de tensiones aumentó del 66,3% al 86,6%, para la condición de 150°C/1.000 h, y del 48,5% al 72,3%, para la condición de 200°C/1.000 h. La resistencia a la relajación de tensiones de la BX que contenía más Si ascendió a 82,3%, para la condición de 150°C/1.000 h, y a 68,7%, para la condición de 200°C/1.000 h.

Tabla 29: Aleaciones de los Ejemplos 13 y 15, % en peso.

Aleación	Ni	Co	Cr	Si	Mg	Relación*	Ni/Co	Condiciones de SA	Tamaño de grano, µm
BU	3,08	0,69	0,57	1,05		4,03	4,46	950°C - 1 minuto	10-15

ES 2 670 425 T3

BV	3,51	0,75	0,49	1,16		4,01	4,68	950°C - 1 minuto	10-15
BW	3,52	0,78	0,51	1,16	0,11	4,06	4,51	950°C - 1 minuto	15
BT	4,04	1,15	0,47	1,41		3,94	3,51	950°C - 1 minuto	5
BX	4,89	0,43	0,50	1,48		3,86	11,37	950°C - 1 minuto	15-20
BY	4,48	0,90	0,51	1,51		3,82	4,98	950°C - 1 minuto	10

*Relación = (Ni+Co)/(Si-Cr/5)

Tabla 30: Propiedades del procedimiento SA-Cr-AA del Ejemplo 13.

Aleación	AA T, °C	YS, ksi (MPa)	% IACS	90° MINBR/t
BU	450	121,0 (834,3)	27,6	2,2/1,3
BV	450	121,8 (839,8)	32,5	1,7/1,3
	475	120,5 (830,8)	34,8	n.m.
BW	450	126,9 (874,9)	31,8	2,2/2,6
	475	127,6 (879,8)	34,4	n.m.
BT	450	127,5 (879,1)	28,6	n.m.
	475	128,9 (888,7)	32,1	n.m.
BX	450	129,5 (892,9)	29,1	2,6/2,6
	475	125,9 (868,1)	31,1	n.m.
BY	450	135,2 (932,2)	30	2,2/2,2
	475	134,0 (923,9)	31,4	3,4/2,1

Tabla 31: Relajación de tensiones del procedimiento SA-CR al 25% - AA 450°C/3 h del Ejemplo 13.

Aleación	YS, ksi (MPa)	% IACS	Tensión remanente (%)	
			150°C/1.000 h	200°C/1.000 h
BV	121,8 (839,8)	32,5	66,3	48,5
BW	126,9 (874,9)	31,8	86,6	72,3
BX	129,5 (892,9)	29,1	82,3	68,7

5

Ejemplo 14 - Efecto del Si y el Mg.

La Figura 33 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 14. Unas probetas del Ejemplo 13 se laminaron posteriormente en frío a 0,007" (0,18 mm) con una reducción en frío del 22%. Después de eso, las muestras se recoció y estabilizaron a unas temperaturas de 300 a 400°C durante 3 horas. En la Tabla 32 se indican las propiedades de las muestras a las que se dio una segunda estabilización a 300°C. Se midió la conformabilidad por medio de un bloque con ranura en V.

10

El límite de elasticidad más alto se consiguió con la primera temperatura de estabilización de 450°C. Al aumentar el contenido de Si, el límite de elasticidad aumentó de 131 ksi (903 MPa), para la aleación con 1,05% de Si, a 147 ksi (1.014 MPa), para la aleación con 1,51% de Si. Para las variantes de 1,16% de Si, el Mg dio lugar a una mejora del límite de elasticidad de 7-10 ksi (48-69 MPa). La reducción de la relación Ni/Co de 11,37 a 4,98 mejoró el límite de elasticidad en 3 ksi (21 MPa) para las aleaciones con un alto contenido de Si de 1,5%. Se ensayó la relajación de tensiones mediante el método del anillo, con una tensión objetivo inicial de 0,8 veces el límite de elasticidad. La

15

ES 2 670 425 T3

Tabla 33 muestra los datos de la relajación de tensiones para las BV, BW y BX con el procedimiento SA-CR-1.AA 450°C-CR-2.AA 300°C.

Al comparar las aleaciones BV y BW, debido a la adición de Mg, se observó que la resistencia a la relajación de tensiones aumentó de 72,6% a 85,6%, para la condición de 150°C/1.000 h, y de 55,8% a 69,3%, para la condición de 200°C/1.000 h. La resistencia a la relajación de tensiones de la aleación BX con un contenido mayor de Si ascendió al 81,1%, para la condición de 150°C/1.000 h, y al 66,1%, para la condición de 200°C/1.000 h.

Tabla 32: Propiedades del procedimiento SA-CR-1.AA-CR-2.AA del Ejemplo 14.

Aleación	Temp. de 1.AA, °C	2.AA 300°C/3 h				
		YS ksi (MPa)	TS ksi (MPa)	A10, %	% IACS	90° MINBR/t
BU	450	130,7 (901,1)	138 1 (958,4)	2,6	33,6	5,5/5,5
BV	450	137,4 (947,3)	144,5 (996,3)	3,7	31,4	2,8/5,6
	475	130,8 (901,8)	137,8 (950,1)	4,8	34,8	2,8/5,0
BW	450	144,0 (992,8)	143,6 (990,1)	23	32,1	3,3/7,8
	475	141,3 (974,2)	147,1 (1.014,2)	3,8	34	2,8/6,7
BT	450	144,6 (997,0)	152,4 (1.050,8)	2,9	29,8	4,0/8,0
	475	137,8 (950,1)	146,2 (1.008,0)	4,2	34,1	4,0/7,0
BX	450	143,7 (990,8)	155,2 (1.070,1)	2,8	28,6	3,3/7,8
	475	134,4 (926,7)	148,2 (1.021,8)	2,8	31,2	2 8/6,7
BY	450	146,6 (1.010,8)	146,6 (1.010,8)	155,8	3	3,3/6,7
	475	137,6 (948,7)	150,0 (1.034,2)	4,3	32,2	3,3/6,7

Tabla 33: Relajación de tensiones del procedimiento SA-CR-1.AA 450°C-CR-2.AA 300°C del Ejemplo 14.

Aleación	YS ksi (MPa)	% IACS	Tensión remanente (%)	
			150°C/1.000 h	200°C/1.000 h
BV	137,4 (947,3)	31,4	72,6	55,8
BW	144,0 (992,8)	32,1	85,6	69,3
BX	143,7 (990,8)	28,6	81,1	66,1

Ejemplo 15 - Efecto del Si y el Mg.

En un crisol de grafito se fundieron unos lingotes de laboratorio con las composiciones indicadas en la Tabla 34 y se les aplicó una colada Tamman en unos moldes de acero que, después de abrirse, eran de 4,33" x 2,17" x 1,02" (110 mm x 55 mm x 26 mm). Las aleaciones no tenían Cr y la relación estequiométrica ((Ni+Co)/(Si-Cr/5)) era de alrededor de 4,2. La relación Ni/Co era de aproximadamente 4,5. Dos de las aleaciones tenían un contenido objetivo de Si del 1,1%, pero diferían en el contenido de Mg, y otra aleación tenía un contenido de Si de 1,4% y adicionalmente Mg. La Figura 34 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 15. Después de una homogeneización de dos horas a 900°C, se laminaron en caliente a 0,472" (12 mm), con lo que se recalentaron después de cada pasada a 900°C durante 10 minutos. Después de la última pasada, las barras se templaron en agua. Después de desbastar y fresar a 0,394" (10 mm) con el fin de eliminar el óxido superficial, las aleaciones se laminaron en frío a 0,012" (0,3 mm) y se trataron térmicamente en solución en un horno de lecho fluidizado durante el tiempo y la temperatura indicados en la Tabla 34. El tiempo y la temperatura se seleccionaron para conseguir unos tamaños de grano por debajo de 20 µm.

Posteriormente, las aleaciones se laminaron en frío al 25% a 0,009" (0,23 mm) y luego se sometieron a un recocido de estabilización de 450 y 475°C durante 3 horas. En la Tabla 35 se indican las propiedades de las muestras. El límite de elasticidad, la conformabilidad medida con un bloque con ranura en V y la conductividad de las FL y FM, que no contienen Cr, son similares a los de las BV y BW, que contienen Cr, del Ejemplo 13, con un contenido de Si de 1,1%, una relación Ni/Co y una relación estequiométrica comparables. Como en el Ejemplo 13, la adición de 0,1% de Mg dio lugar a una mejora del límite de elasticidad de 7-8 ksi (48-55 MPa).

Con el aumento del contenido de Si de 1,17% a 1,39%, el límite de elasticidad aumentó de 126,6 ksi (873 MPa) a 130,5 ksi (900 MPa), a la misma temperatura de recocido en solución. Para la variante FN, el aumento de la temperatura de recocido en solución de 950°C a 1.000°C dio lugar a un aumento del límite de elasticidad de 10 ksi (69 MPa).

Se ensayó la relajación de tensiones mediante el método del anillo, con una tensión objetivo inicial de 0,8 veces el límite de elasticidad. La Tabla 36 muestra los datos de la relajación de tensiones para los procedimientos con una temperatura de recocido en solución de 950°C. La relajación de tensiones de las FL y FM fue ligeramente inferior, en comparación con las muestras BV y BW con 1,16% de Si, que contenían Cr, del Ejemplo 13. De manera similar al Ejemplo 13, la adición de 0,1% de Mg dio lugar a un aumento de la relajación de tensiones del 64,6% al 82,7%, para la condición de 150°C/1.000 h, y del 44,3% al 69,2%, para la condición de 200°C/1.000 h. La resistencia a la relajación de tensiones de la variante FN con 1,39% de Si, que contenía Mg, ascendió a 84,1%, para la condición de 150°C/1.000 h, y a 65,9%, para la condición de 200°C/1.000 h.

Tabla 34: Aleaciones de los Ejemplos 15 y 16, % en peso

Aleación	Ni	Co	Cr	Si	Mg	Relación*	Ni/Co	Condiciones de SA	Tamaño de grano, μm
FL	3,71	0,90		1,09		4,23	4,12	950°C - 1 minuto	10
FM	3,89	0,87		1,17	0,10	4,05	4,47	950°C - 1 minuto	5-10
FN	5,19	0,99		1,39	0,10	4,47	4,90	950°C - 1 minuto	10
								1.000°C - 1 minuto	15-20

*Relación = (Ni+Co)/(Si-Cr/5)

Tabla 35: Propiedades del procedimiento SA-CR-AA del Ejemplo 15.

Aleación	Condiciones de SA	AA T, °C	YS ksi (MPa)	% IACS	90° MINBR/t GW/BW
FL	950°C - 1 minuto	450	118,6 (817,7)	29,5	2,6/1,3
		475	119,4 (823,2)	34,5	3,0/1,7
FM	950°C - 1 minuto	450	126,6 (872,9)	30,2	2,6/2,2
		475	126 (868,7)	33,1	2,1/2,1
FN	950°C - 1 minuto	450	130,5 (899,8)	30,7	3,0/2,6
		475	129,1 (890,1)	33,1	2,6/2,2
	1.000°C - 1 minuto	450	141,7 (977,0)	27,1	3,5/3,9
		475	139,2 (959,8)	29,6	3,5/4,8

Tabla 36: Relajación de tensiones del procedimiento SA 950°C-CR 25%-AA 450°C/3 h del Ejemplo 15.

Aleación	YS ksi (MPa)	% IACS	Tensión remanente (%)	
			150°C/1.000 h	200°C/1.000 h
FL	118,6 (817,7)	29,5	64,6	44,3

ES 2 670 425 T3

FM	126,6 (872,9)	30,2	82,7	69,2
FN	130,5 (899,8)	30,7	84,1	65,9

Ejemplo 16 - Efecto del Si y el Mg.

5 La Figura 35 es un diagrama de flujo del procedimiento de este Ejemplo 16. Unas probetas del Ejemplo 15 se laminaron posteriormente en frío a 0,007" (0,18 mm) con una reducción en frío del 22%. Después de eso, las muestras se recocieron y estabilizaron a unas temperaturas de 300 a 350°C durante 3 horas. En la Tabla 37 se indican las propiedades de las muestras a las que se dio una segunda estabilización a 300°C. Se midió la conformabilidad por medio de un bloque con ranura en V. El límite de elasticidad más alto se consiguió con la primera temperatura de estabilización de 450°C.

10 La FM mostró un límite de elasticidad mayor en 11 ksi (76 MPa), en comparación con la FL1, lo que es atribuido parcialmente al contenido de Mg y atribuido parcialmente al ligeramente superior contenido de Si. El límite de elasticidad, la plegabilidad y la conductividad de las FL y FM, que no contenían Cr, eran similares a los de las BV y BW, que contenían Cr, del ejemplo 15, con un contenido de Si, una relación Ni/Co y una relación estequiométrica comparables.

15 El aumento del contenido de Si de 1,17% a 1,39% condujo al mismo límite de elasticidad de aproximadamente 144 ksi (993 MPa) para una temperatura de recocido en solución de 950°C. Para la variante FN, el aumento de la temperatura de recocido en solución de 950°C a 1.000°C dio lugar a un aumento del límite de elasticidad de 143 ksi (986 MPa) a 158 ksi (1.089 MPa).

20 Se ensayó la relajación de tensiones mediante el método del anillo, con una tensión objetivo inicial de 0.8 veces el límite de elasticidad. La Tabla 38 muestra los datos de la relajación de tensiones de las FL y FM para el procedimiento SA 950°C-CR-1.AA 450°C-CR-2.AA 300°C. La relajación de tensiones de las FL y FM fue inferior en 2-3%, en comparación con las muestras BV y BW con 1,16% de Si, que contenían Cr, del Ejemplo 15. De manera similar al ejemplo 15, una adición de 0,1% de Mg dio lugar a un aumento de la relajación de tensiones del 70,0% al 82,0%, para la condición de 150°C/1.000 h, y del 52,3% al 66,9%, para la condición de 200°C/1.000 h. La resistencia a la relajación de tensiones de la variante FN con 39% de Si, que contenía Mg, ascendió a 85,0%, para la condición de 150°C/1.000 h, y a 66,4%, para la condición de 200°C/1.000 h.

Tabla 37: Propiedades del procedimiento SA-CR-1.AA-CR-2.AA del Ejemplo 16.

Aleación	Condiciones de SA	Temp. 1.AA, °C	2.AA 300°C/3 h				
			YS ksi (MPa)	TS ksi (MPa)	A10, %	% IACS	90° MINBR/t GW/BW
FL	950°C - 1 minuto	450	133,1 (917,7)	140 (965,3)	2,7	31,6	4,5/6,1
		475	129,7 (894,2)	139,5 (961,8)	1,9	36,2	3,9/4,4
FM	950°C - 1 minuto	450	144 (992,8)	147,6 (1.017,7)	2	31	4,4/7,2
		475	141,3 (974,2)	145 (999,7)	1,8	33,2	4,5/6,8
FN	950°C - 1 minuto	450	143,2 (987,3)	150,0 (1.034,2)	2	31,5	3,9/7,2
		475	133,1 (917,7)	138,9 (957,7)	2,4	34,3	3,3/5,6
	1.000°C - 1 minuto	450	158,1 (1.090,1)	165,1 (1.138,3)	1,4	27,6	5,0/9,4
		475	157,5 (1.085,9)	164,6 (1.134,9)	1,9	30,9	4,4/8,3

Tabla 38: Relajación de tensiones del procedimiento SA 950°C-CR-1.AA 450°C-CR-2.AA 300°C del Ejemplo 16.

Aleación	YS ksi (MPa)	% IACS	Tensión remanente (%)	
			150°C/1.000 h	200°C/1.000 h
FL	133,1 (917,7)	31,6	70,1	52,3

ES 2 670 425 T3

FM	144,0 (992,8)	31	82,0	66,9
FN	143,2 (987,3)	31,6	85,0	66,4

5 La Figura 36 muestra la relación entre la 90° -minBR/t de la BW y el límite de elasticidad para las aleaciones y procedimientos de los Ejemplos 13, 14, 15 y 16. Los dos procedimientos, SA-CR-AA y SA-CR-AA-CR-AA, forman dos grupos con una cierta relación de conformabilidad-límite de elasticidad. Las líneas continuas sólo son una guía para la observación y marcan el aumento de la Min BR/t y el aumento del límite de elasticidad, con el mayor contenido de Si y/o con la adición de Mg. Casi no hubo diferencia en el límite de elasticidad y la relación de conformabilidad-límite de elasticidad entre las variantes que no contenían Cr y las que contenían Cr.

10 La Figura 37 muestra la relación entre la % IACS y el límite de elasticidad para las aleaciones y procedimientos de los Ejemplos 13, 14, 15 y 16. Las aleaciones que no contenían Cr y las que contenían Cr mostraron la misma capacidad para conseguir una conductividad de 30% IACS, junto con un alto límite de elasticidad. El procedimiento SA-CR-AA-CR-AA consiguió un mayor límite de elasticidad que el procedimiento SA-CR-AA, pero con la misma conductividad.

REIVINDICACIONES

1.- Una aleación a base de cobre que tiene una combinación mejorada del límite de elasticidad, la conductividad eléctrica y la resistencia a la relajación de tensiones, que consiste en:

entre 3,5 y 3,9 por ciento en peso de Ni;

5 entre 0,8 y 1,0 por ciento en peso de Co;

entre 1,0 y 1,2 por ciento en peso de Si;

entre 0,05 y 0,15 por ciento en peso de Mg;

hasta 0,1 por ciento en peso de Cr;

hasta 1,0 por ciento en peso de Sn, y hasta 1,0 por ciento en peso de Mn,

10 siendo el resto cobre e impurezas, en donde la relación Ni/Co está entre 3 y 5, siendo la aleación tratada para que tenga un límite de elasticidad de al menos 140 ksi (965 MPa) y una conductividad eléctrica de al menos 30% IACS.

2.- La aleación según la reivindicación 1, en donde la relación $(Ni+Co)/(Si-Cr/5)$ está entre 3,5 y 5,0.

3.- Un procedimiento para fabricar una aleación a base de cobre de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, que comprende:

15 fundir y colar la aleación;

laminar en caliente de 750 a 1.050°C;

laminar en frío a un calibre conveniente para solubilizar;

recocer en solución la aleación entre 800 y 1.050°C durante 10 segundos a una hora; y

20 posteriormente, templar en agua, o enfriar rápidamente, la aleación a temperatura ambiente para obtener una conductividad eléctrica menor de 20% IACS (11,6 MS/m) y un tamaño de grano equiaxial de 5-20 μm ;

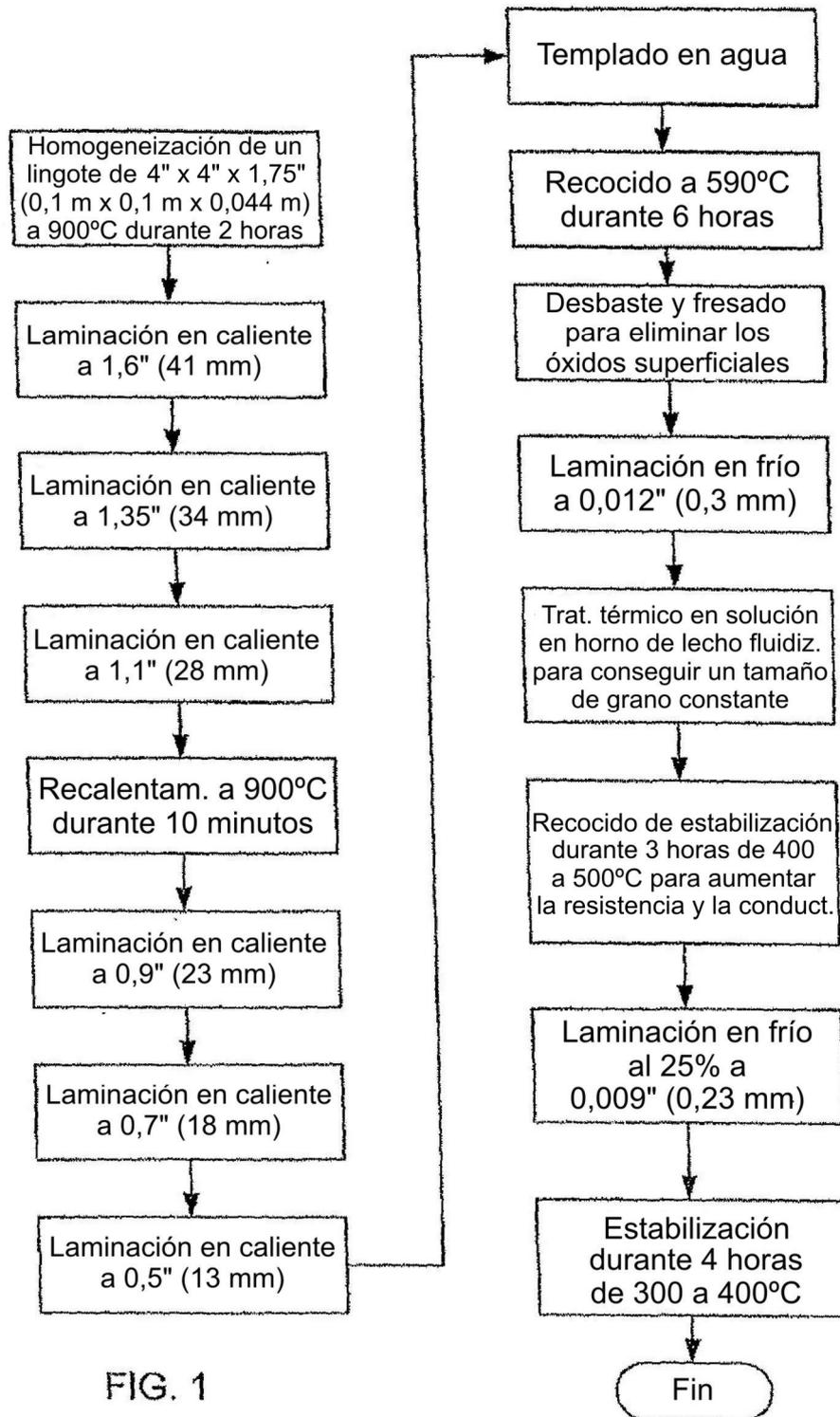
laminar en frío la aleación para obtener una reducción del espesor del 0 al 75%;

someter la aleación a un recocido de endurecimiento de 300 a 600°C durante 10 minutos a 10 horas;

posteriormente, laminar en frío la aleación para obtener una reducción del espesor del 10 al 75% para finalizar el calibrado;

25 someter la aleación a un segundo recocido de endurecimiento y estabilización de 250 a 500°C durante 10 minutos a 10 horas.

4.- El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, que después de la laminación en caliente comprende además un recocido de recristalización intermedio.



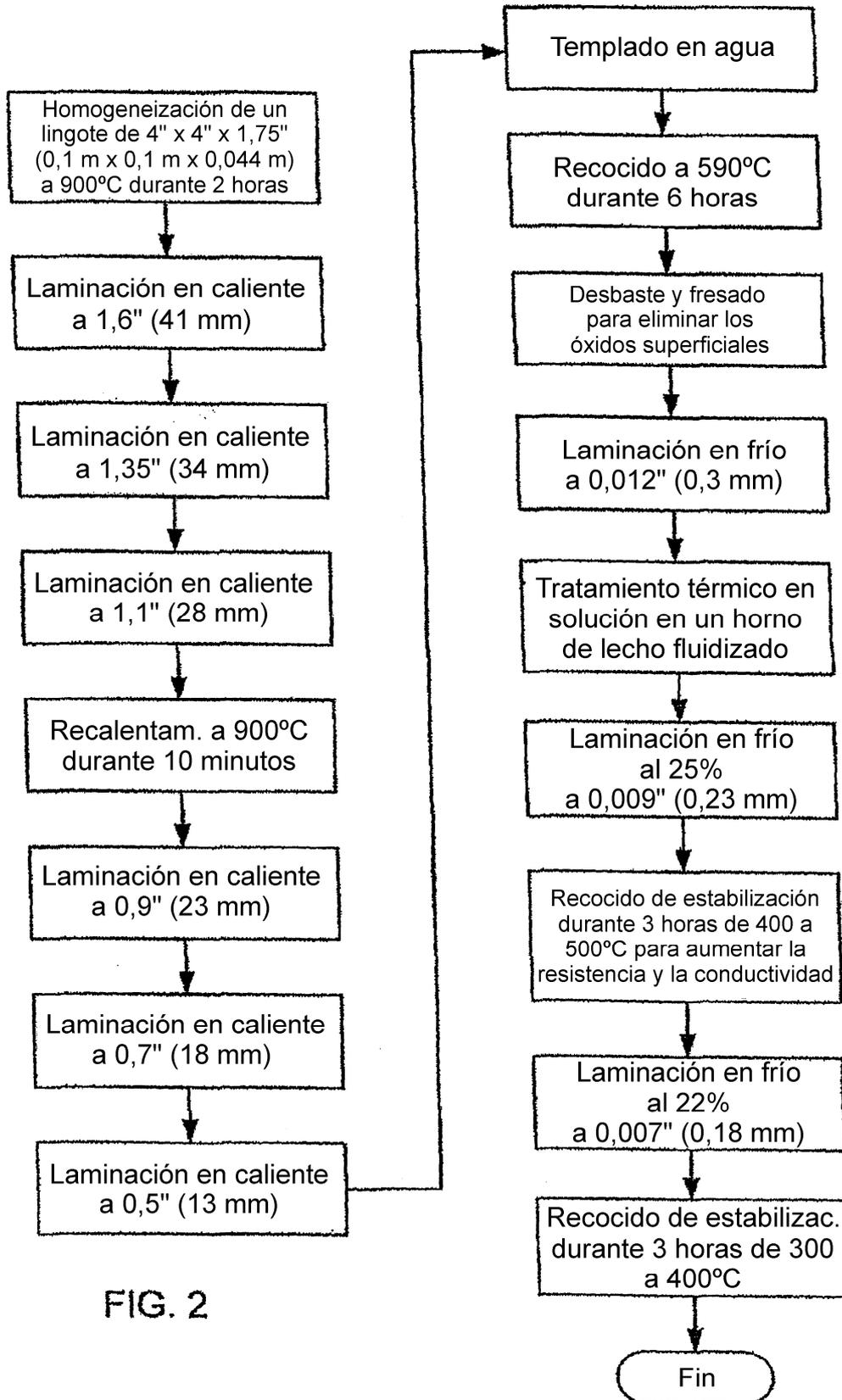
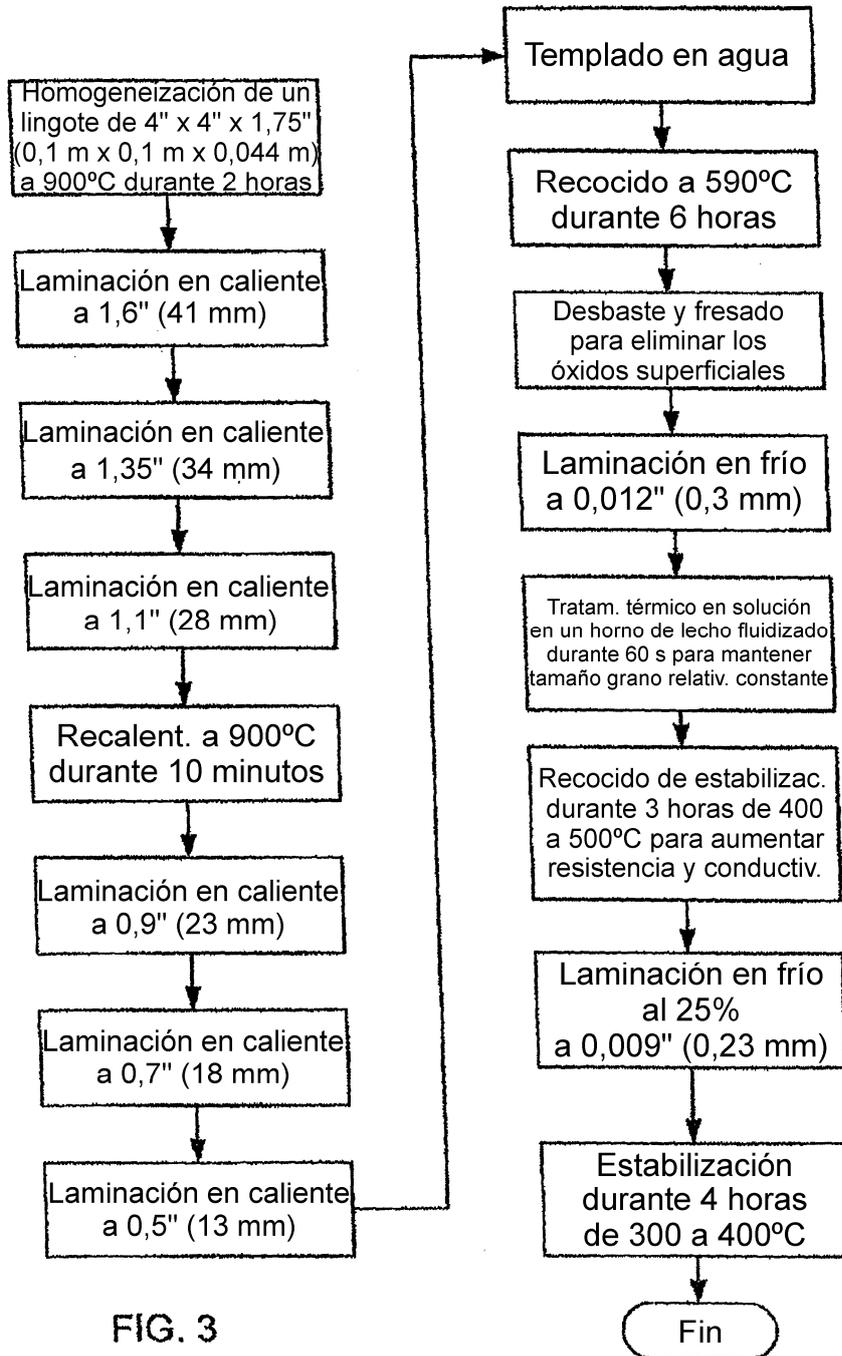


FIG. 2



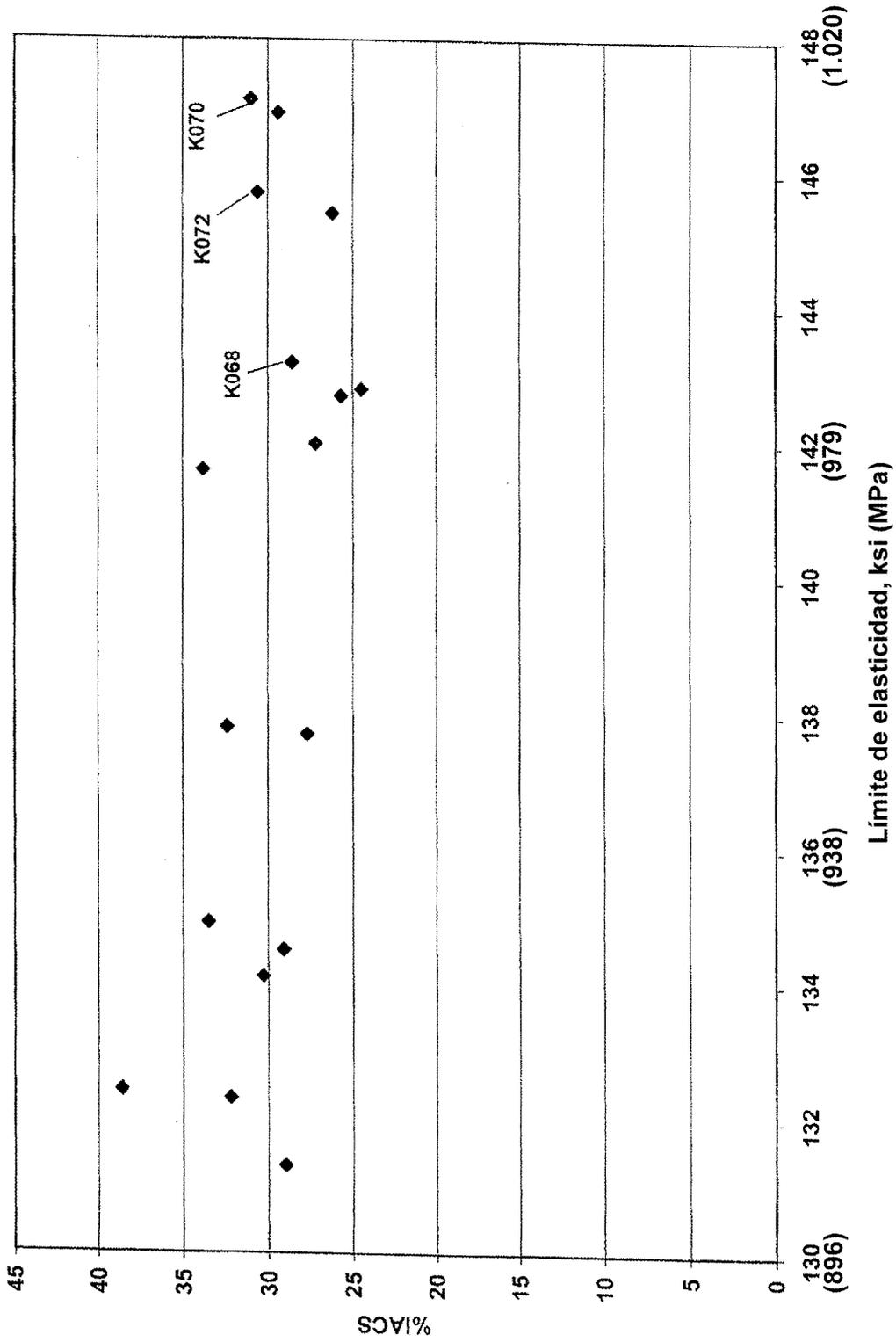


Fig. 4

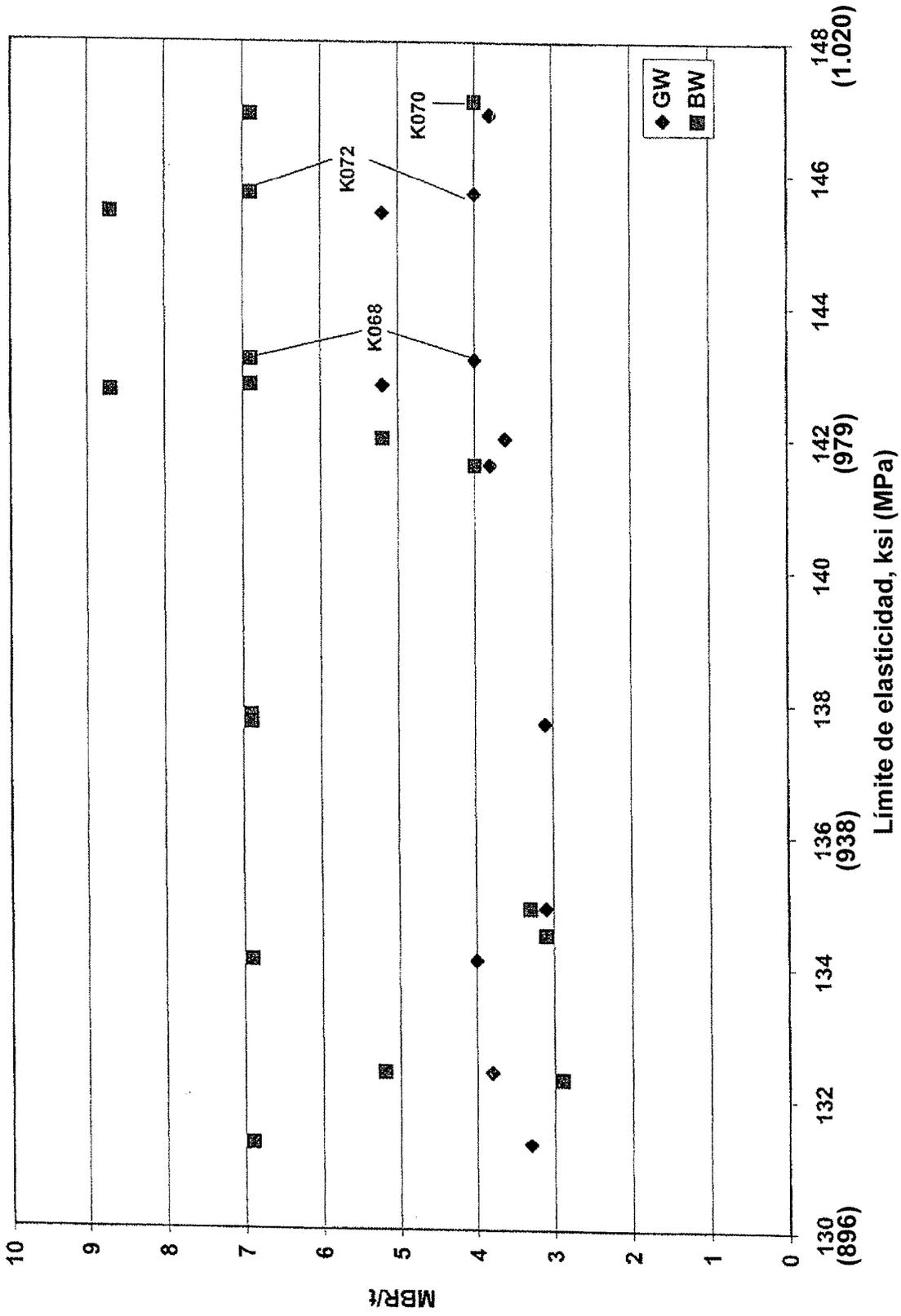


Fig. 5

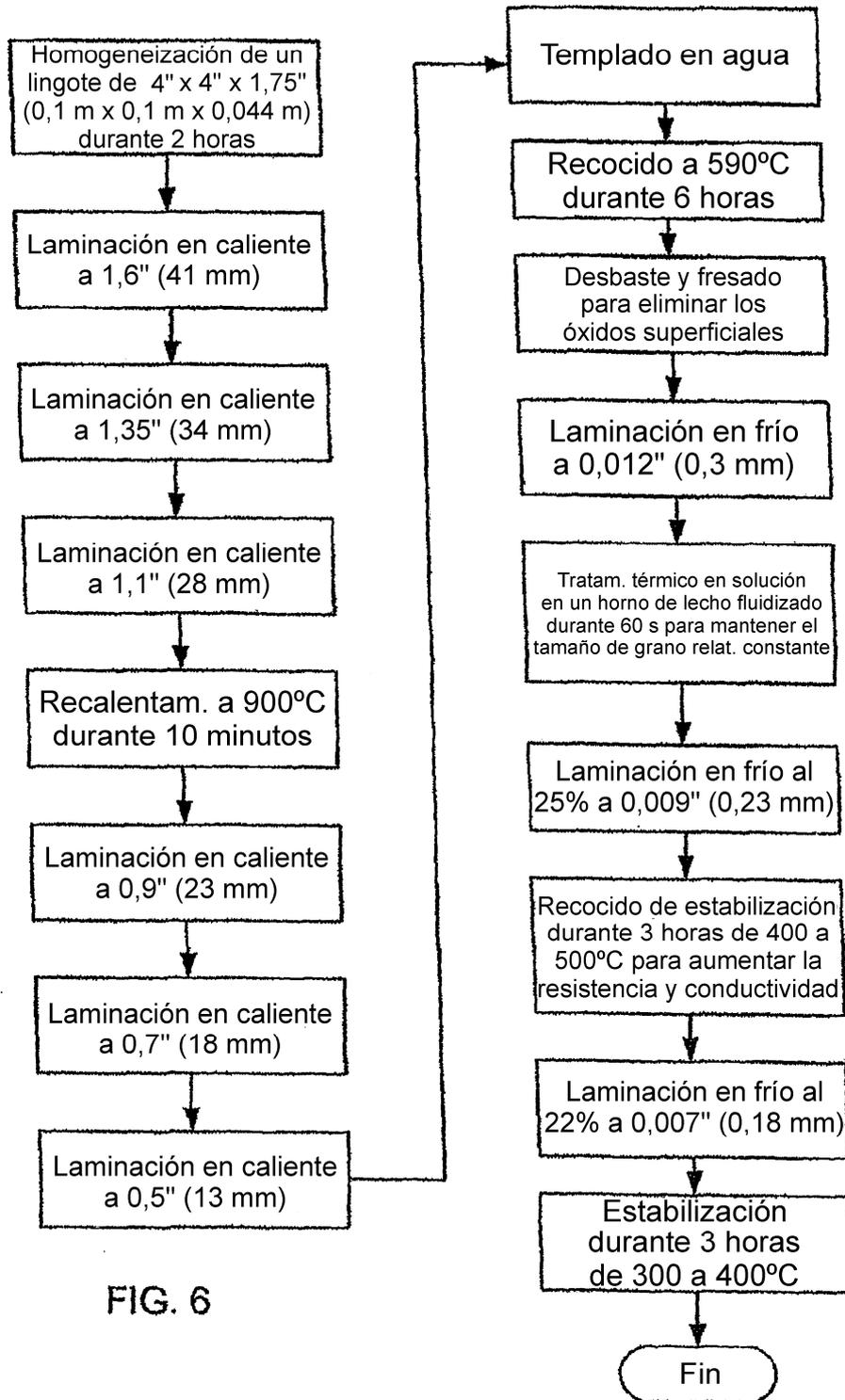


FIG. 6

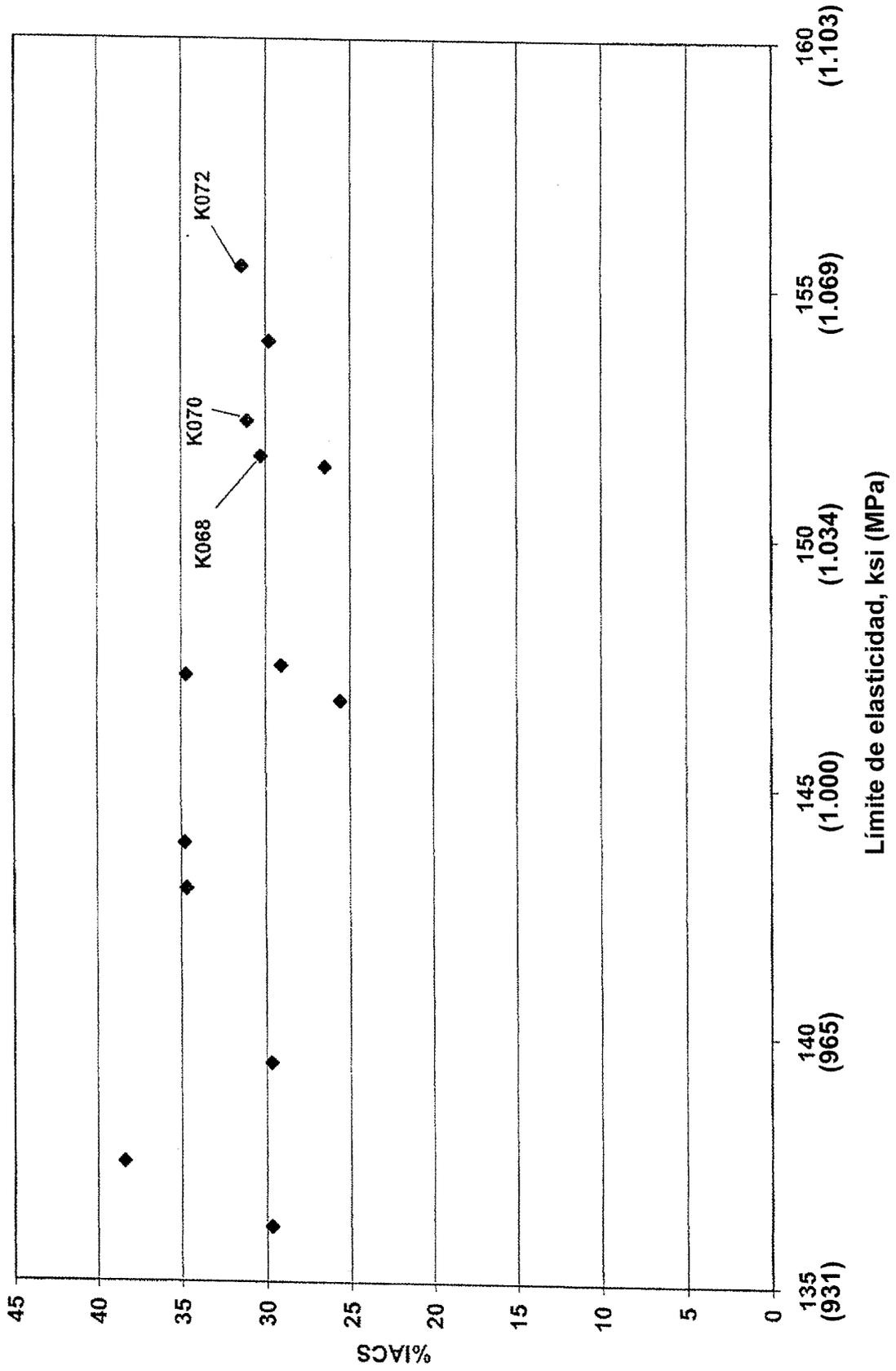


Fig. 7

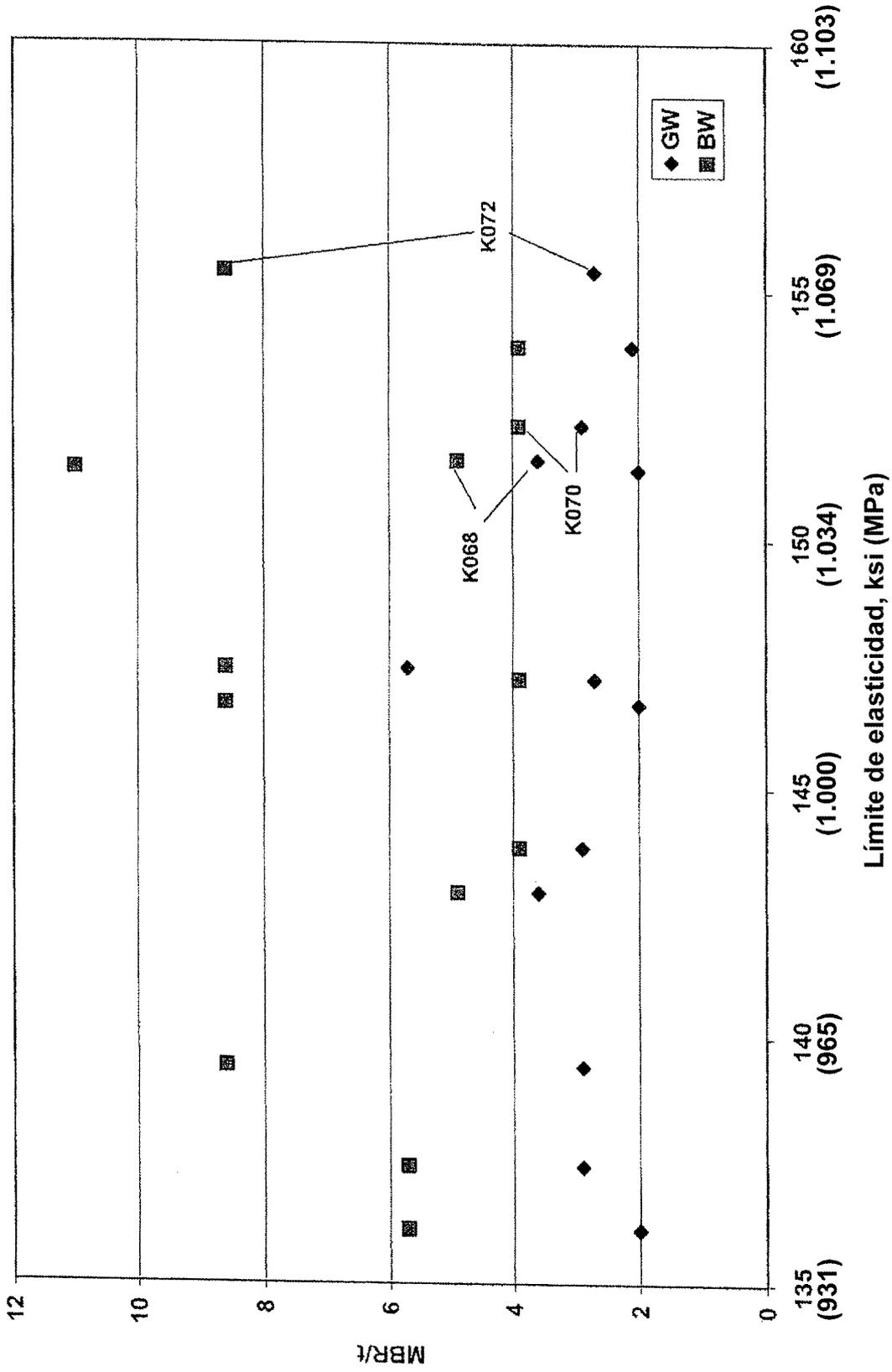


Fig. 8

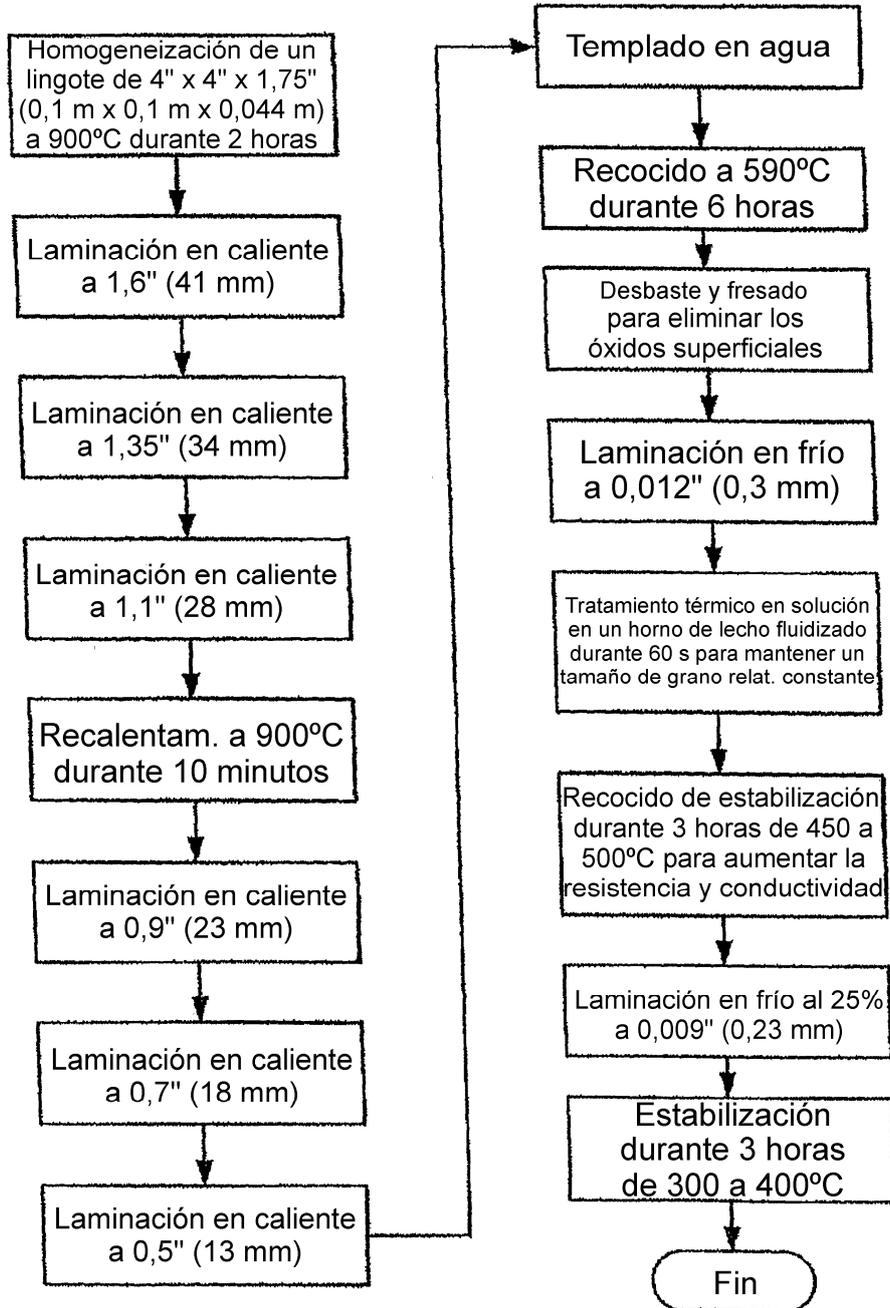


FIG. 9

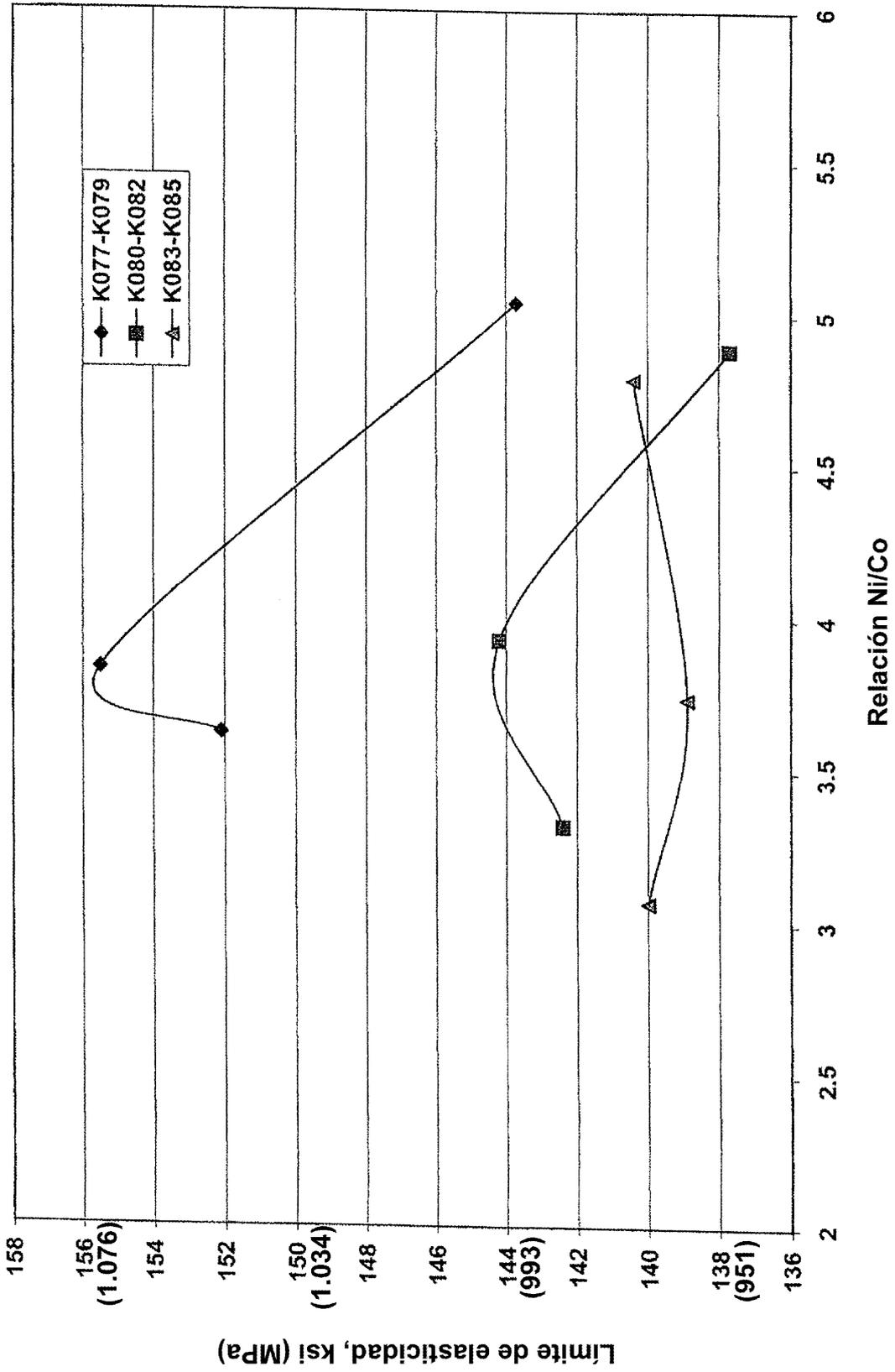


Fig. 10

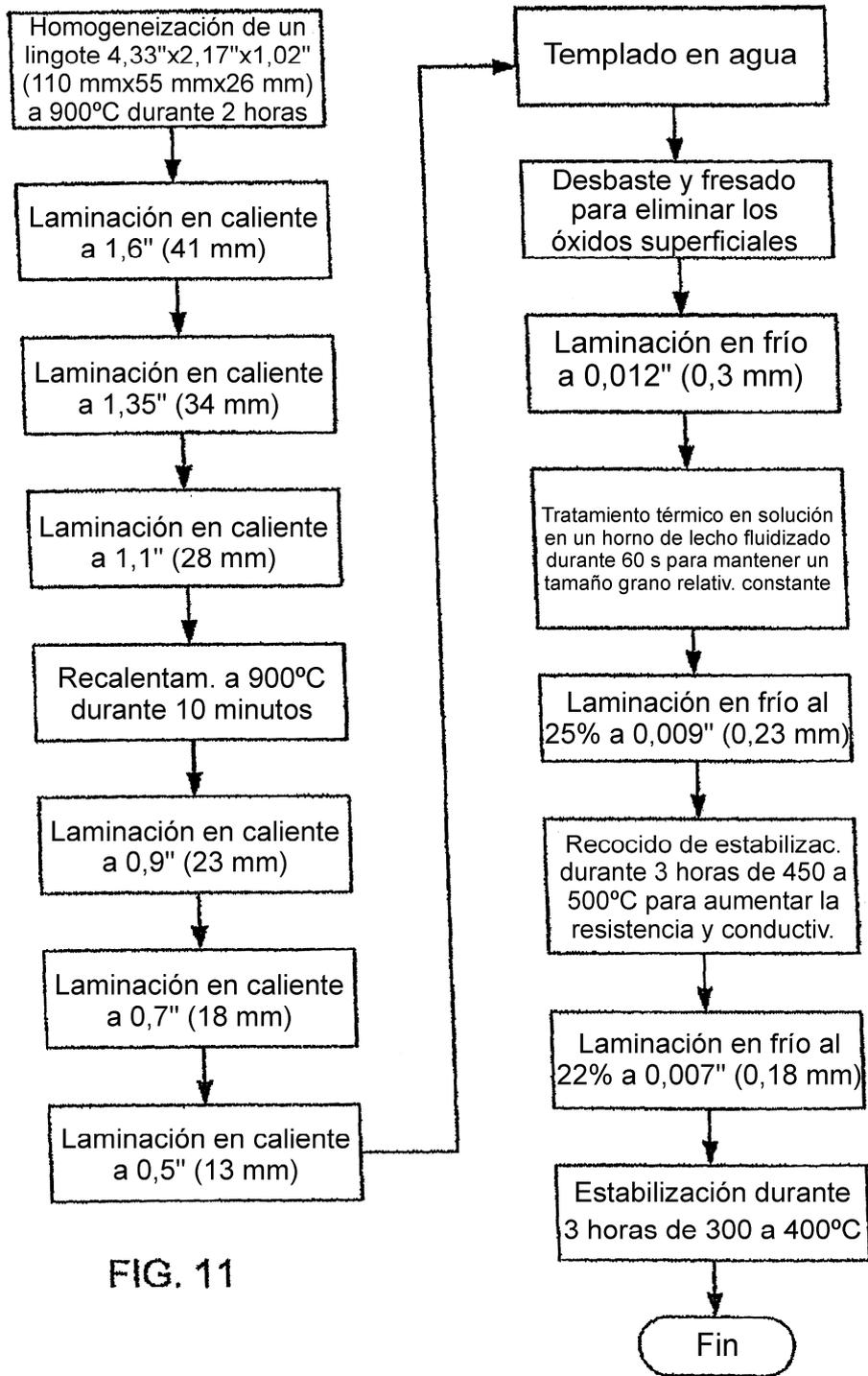


FIG. 11

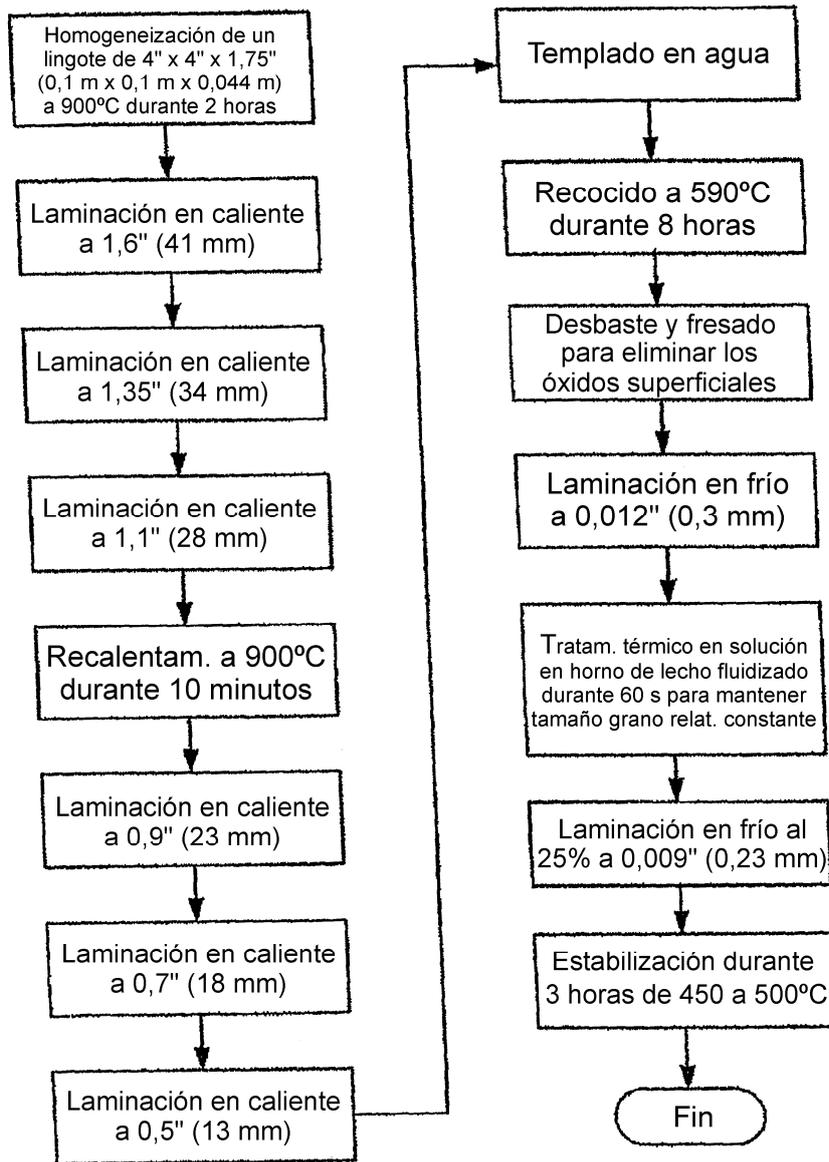


FIG. 12

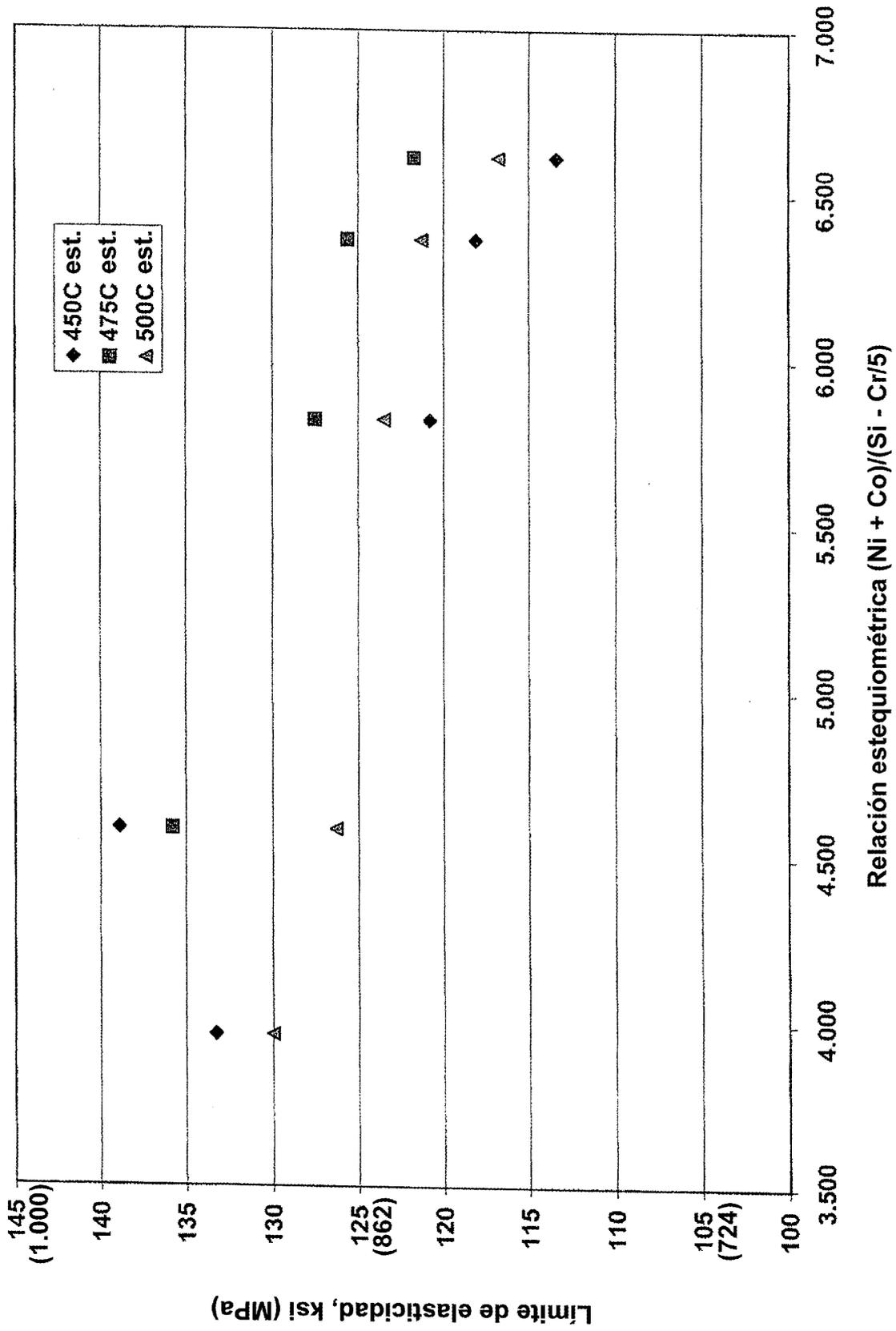


Fig. 13

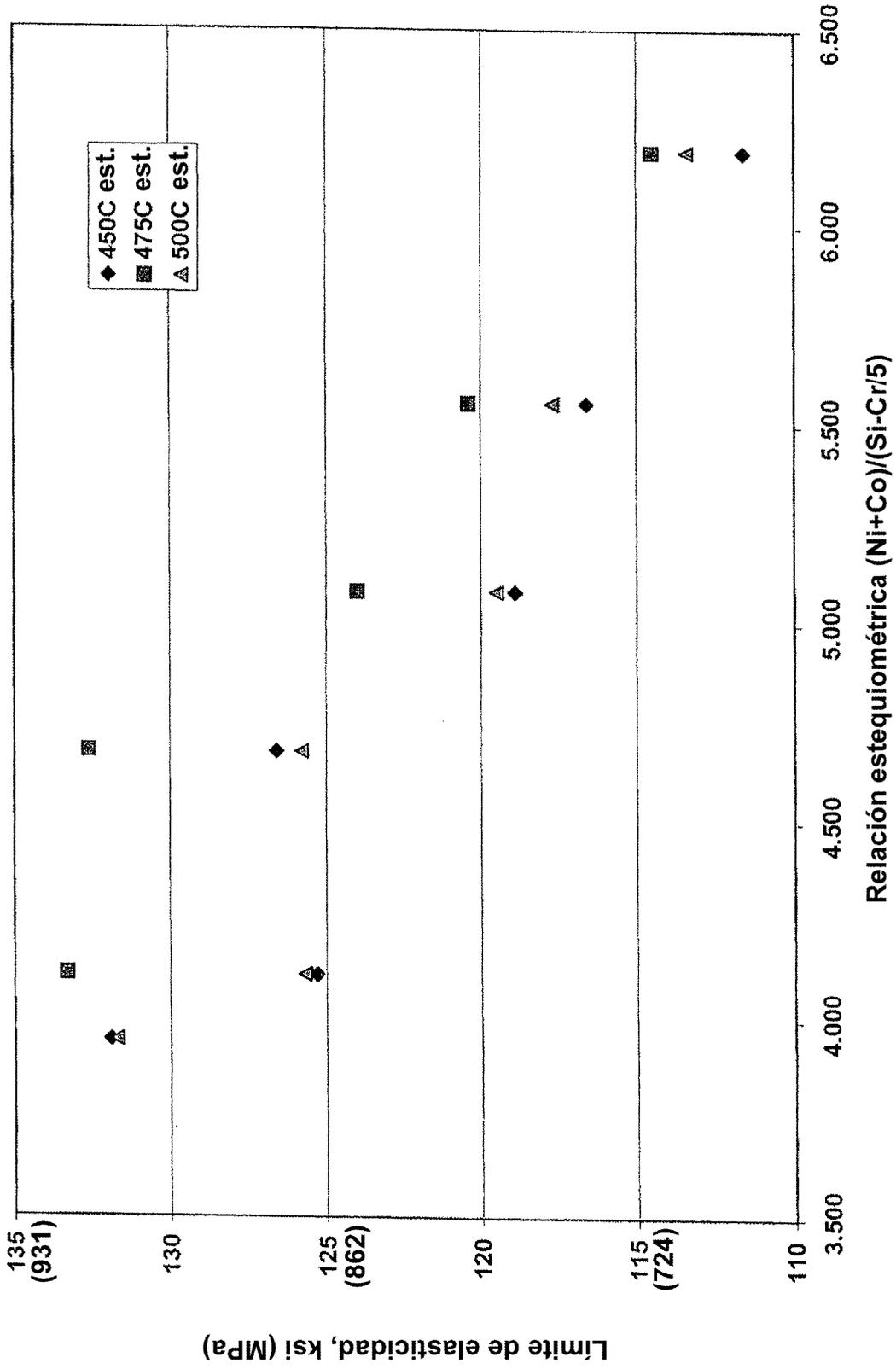


Fig. 14

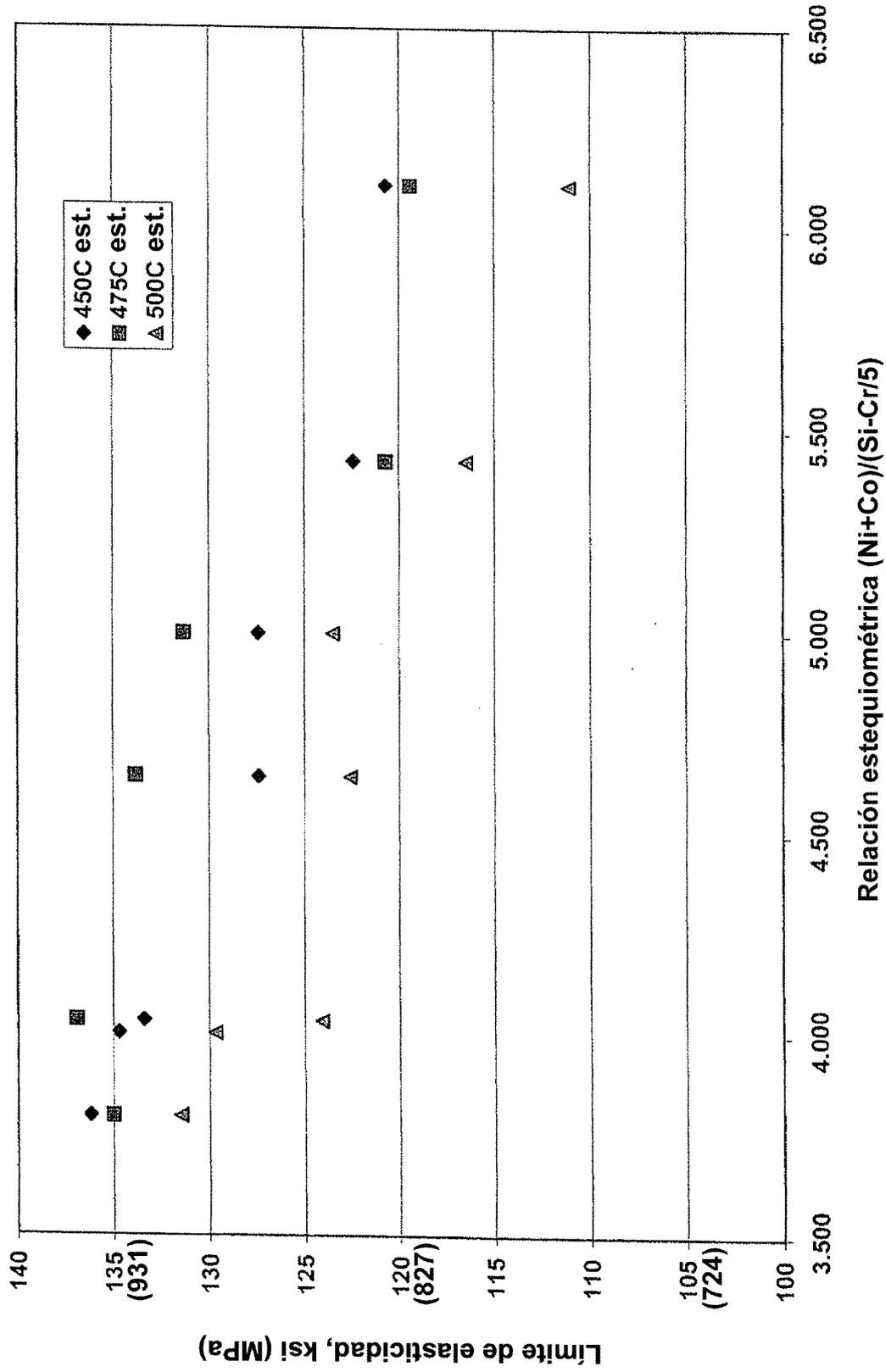


Fig. 15

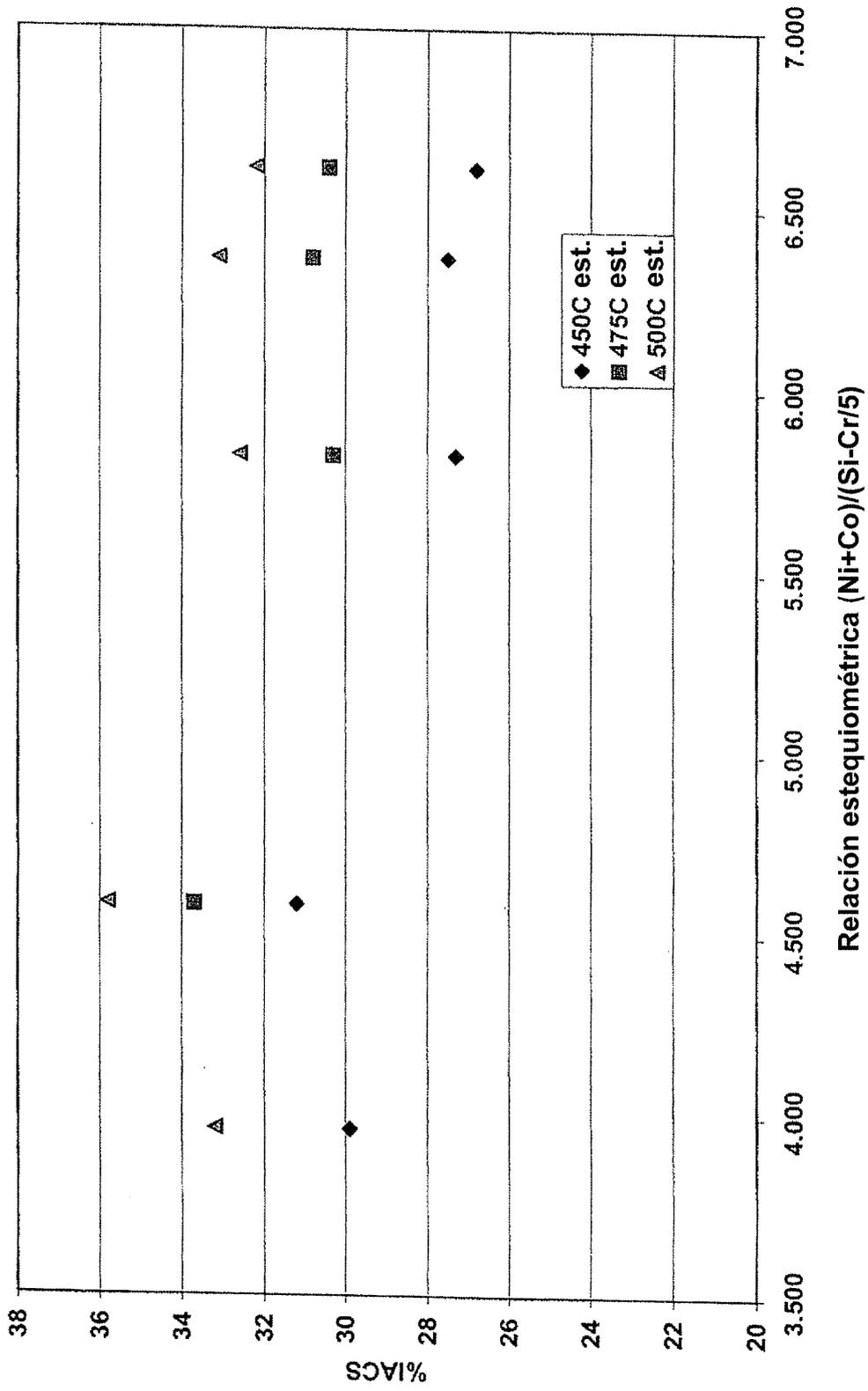


Fig. 16

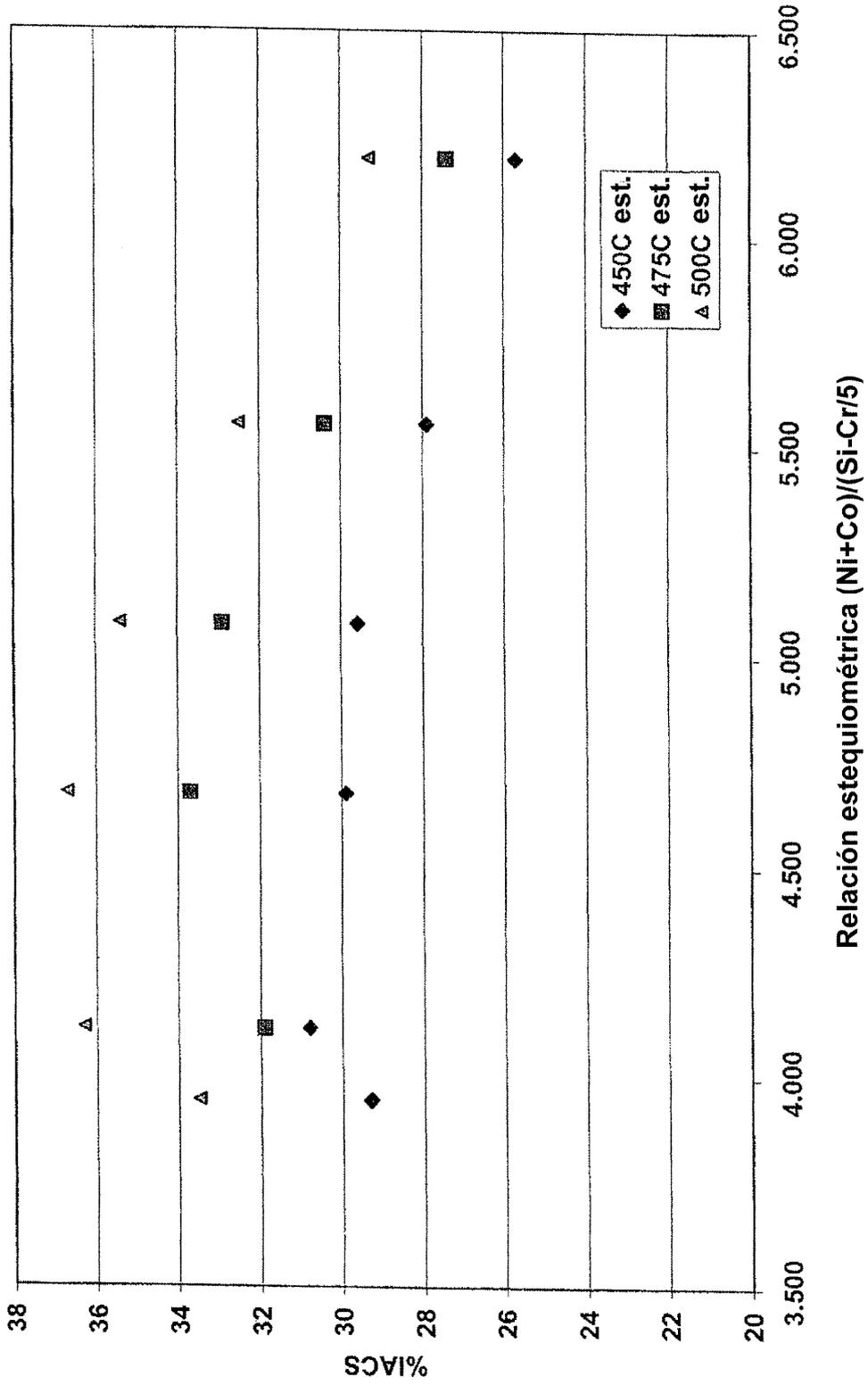


Fig. 17

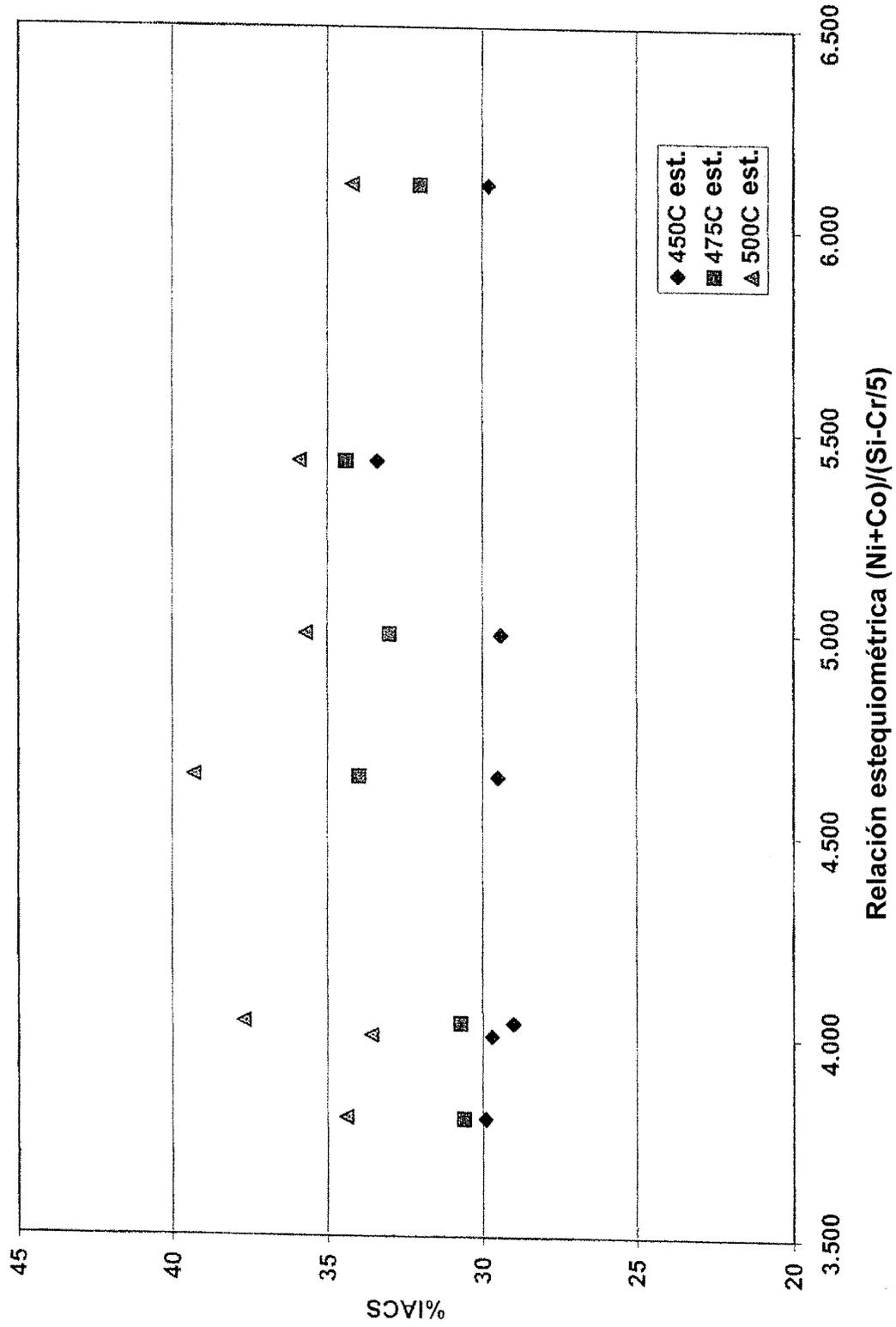


Fig. 18

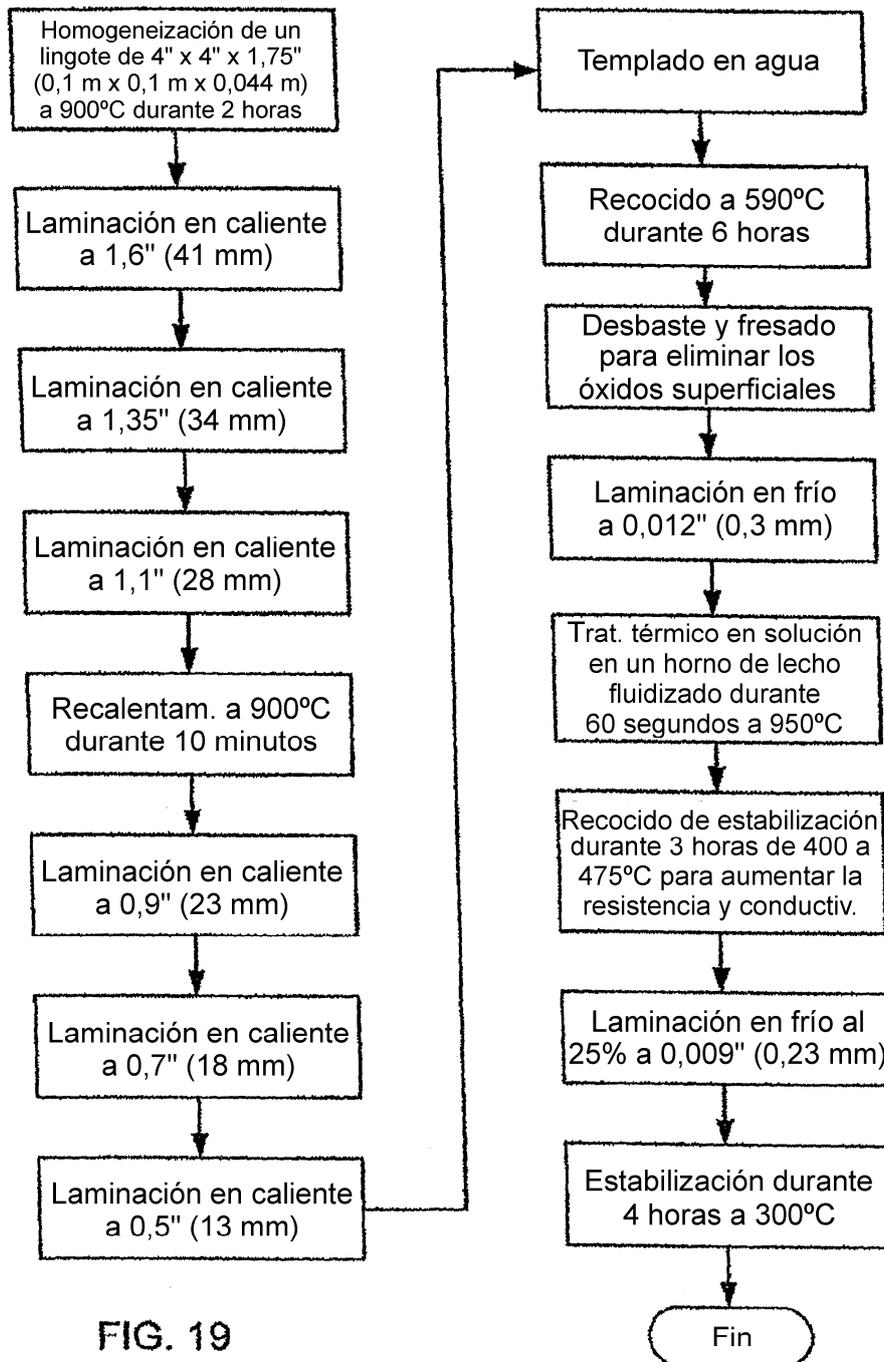


FIG. 19

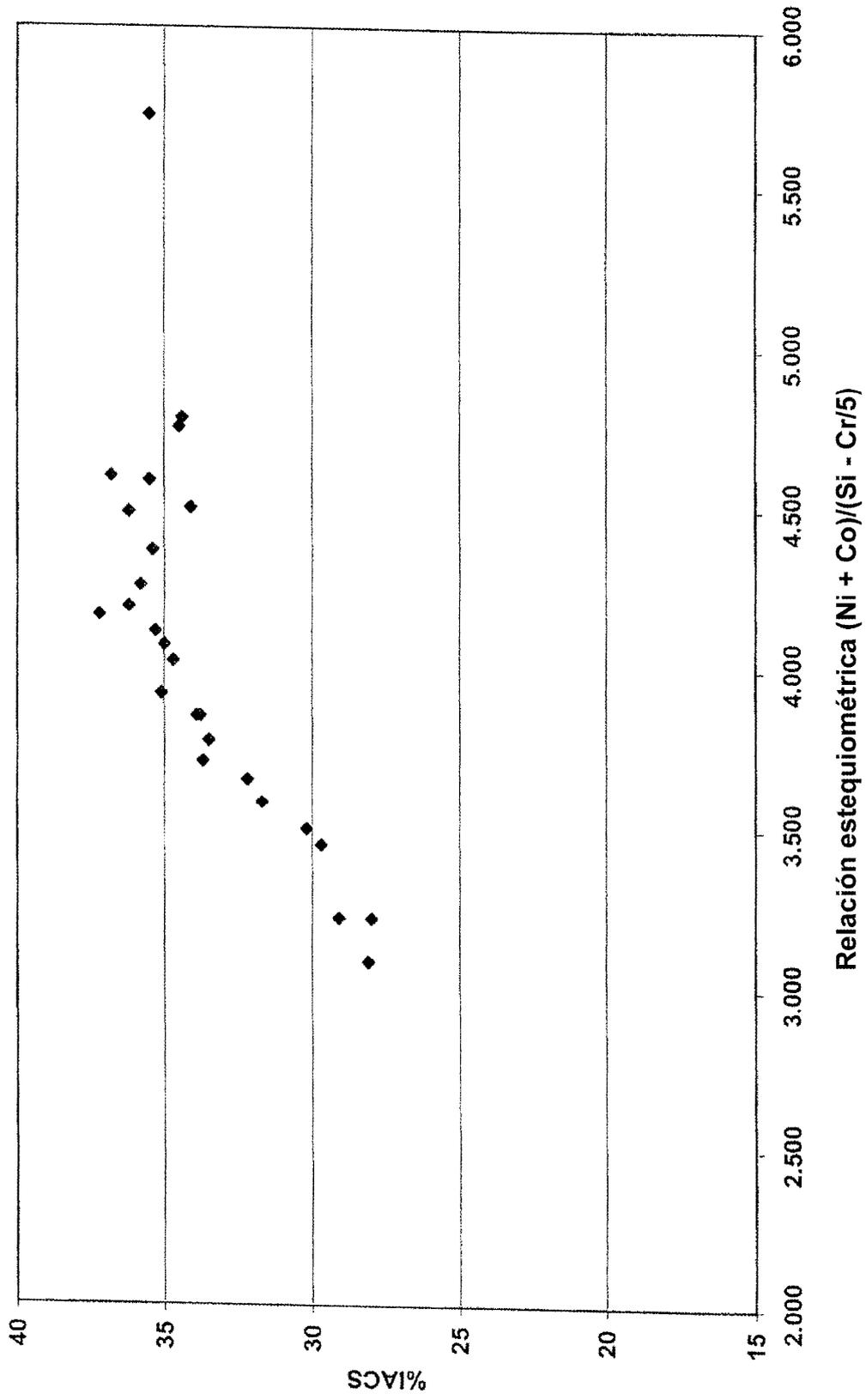


Fig. 20

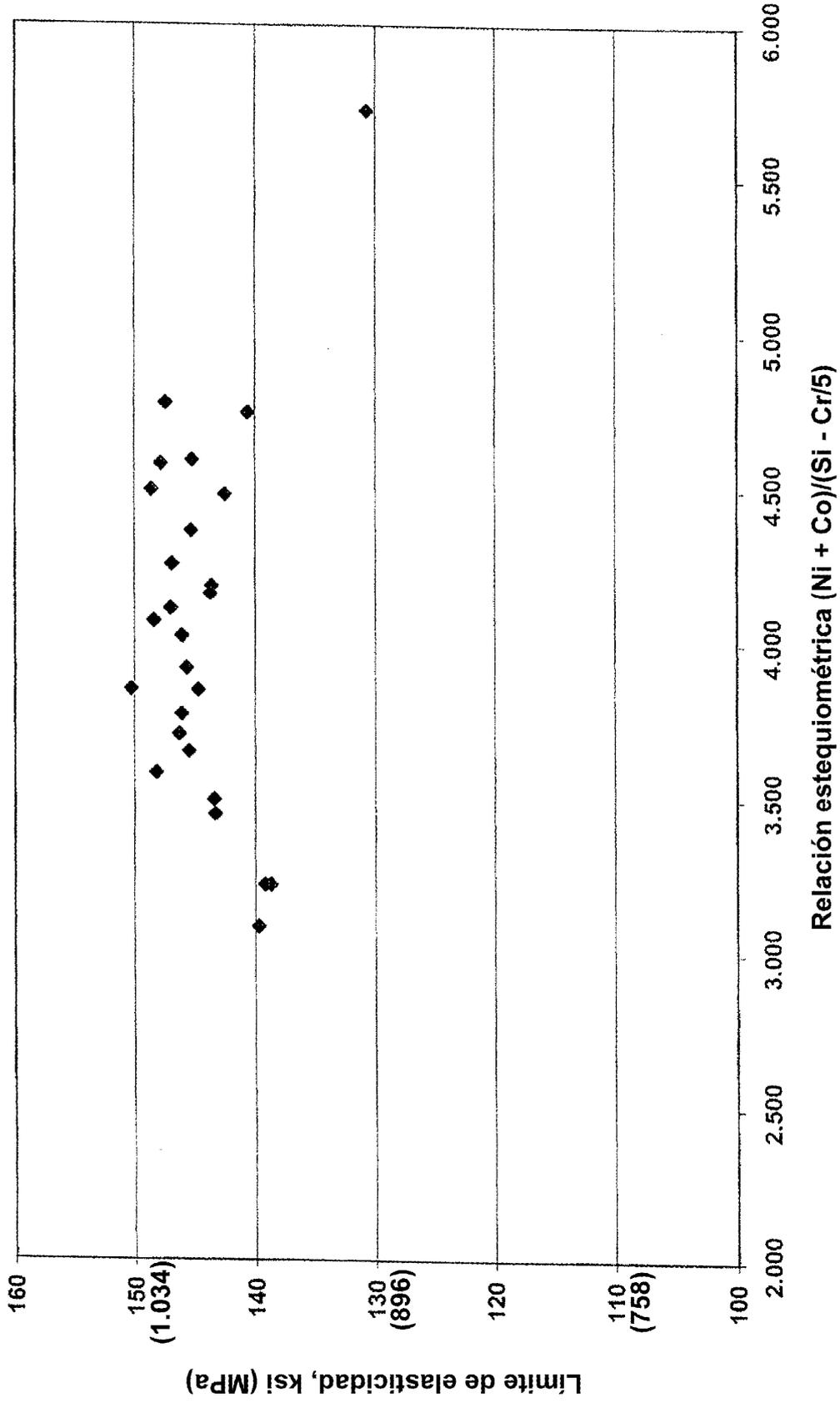


Fig. 21

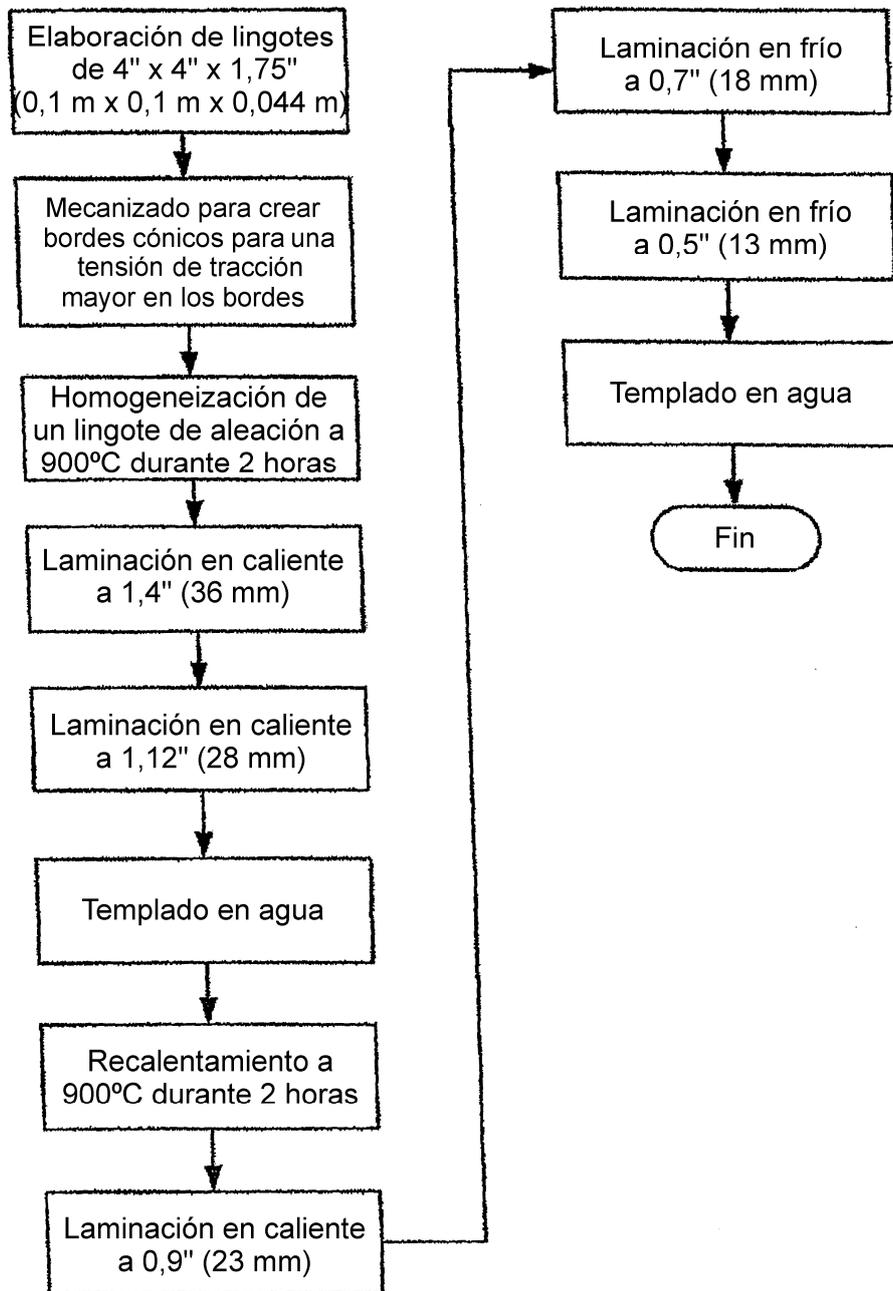


FIG. 22

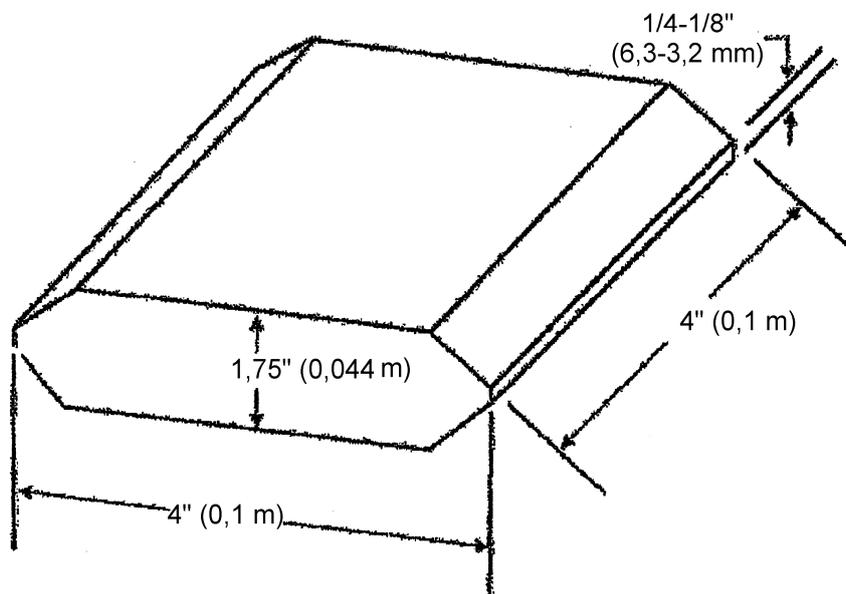


Fig. 23

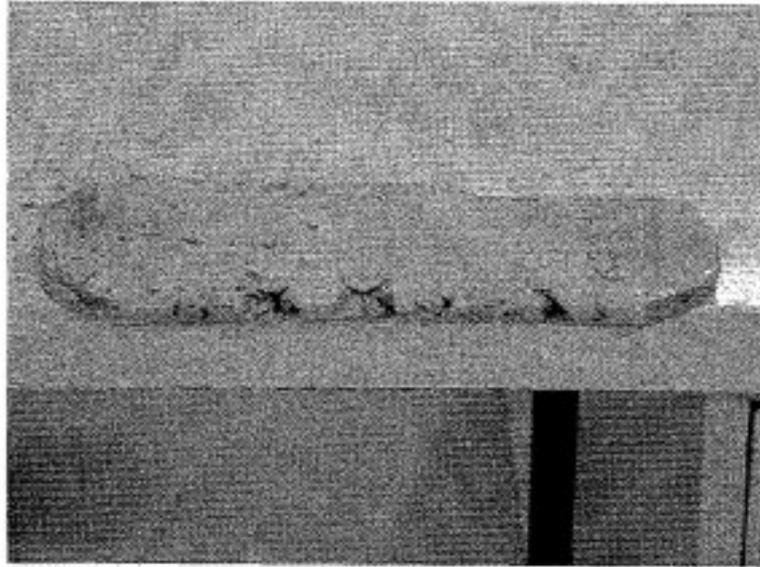


Fig. 24

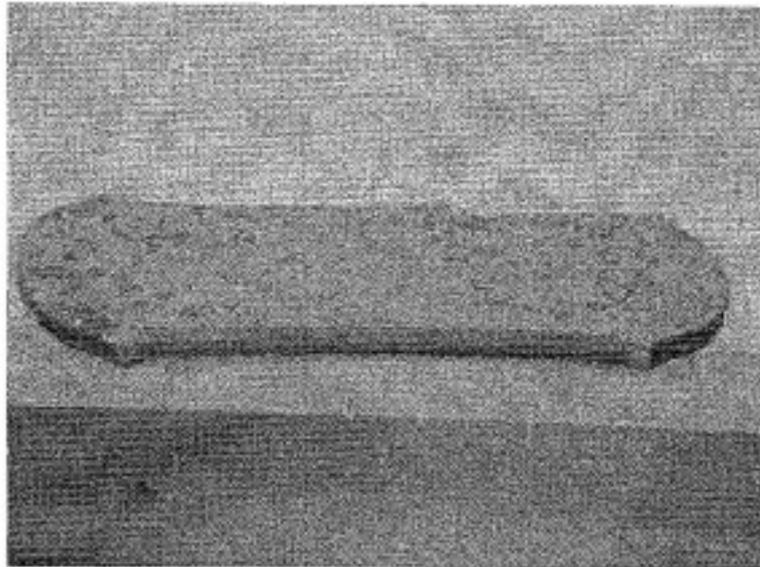


Fig. 25

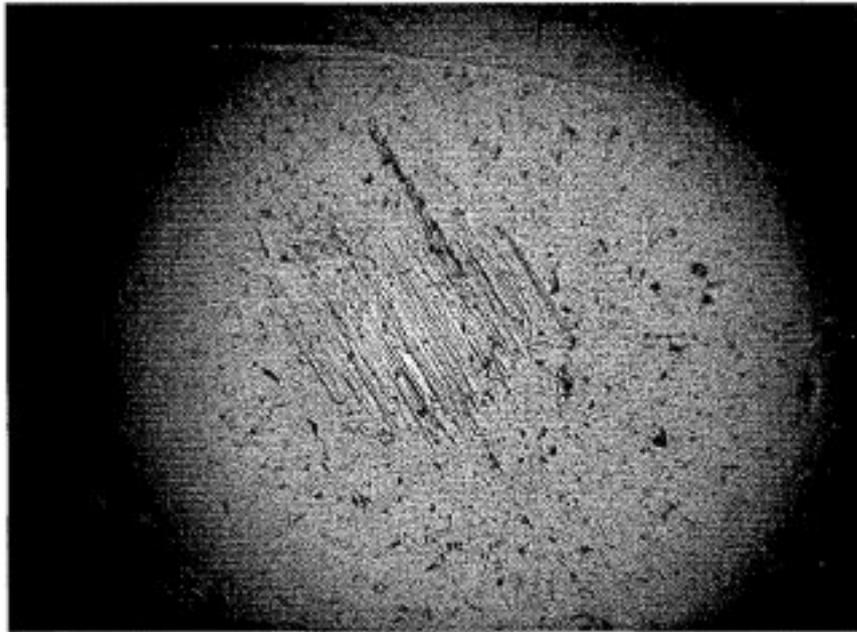


Fig. 26A

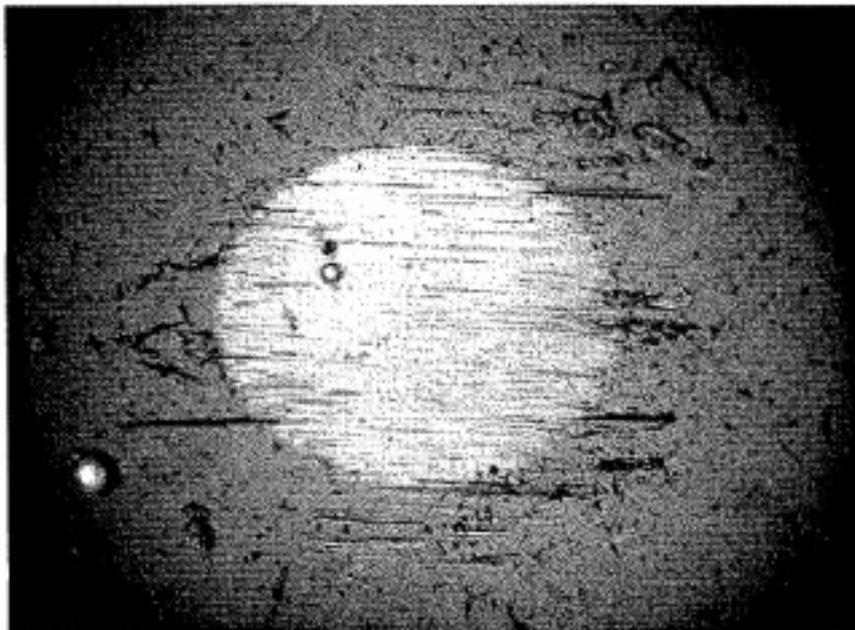


Fig. 26B

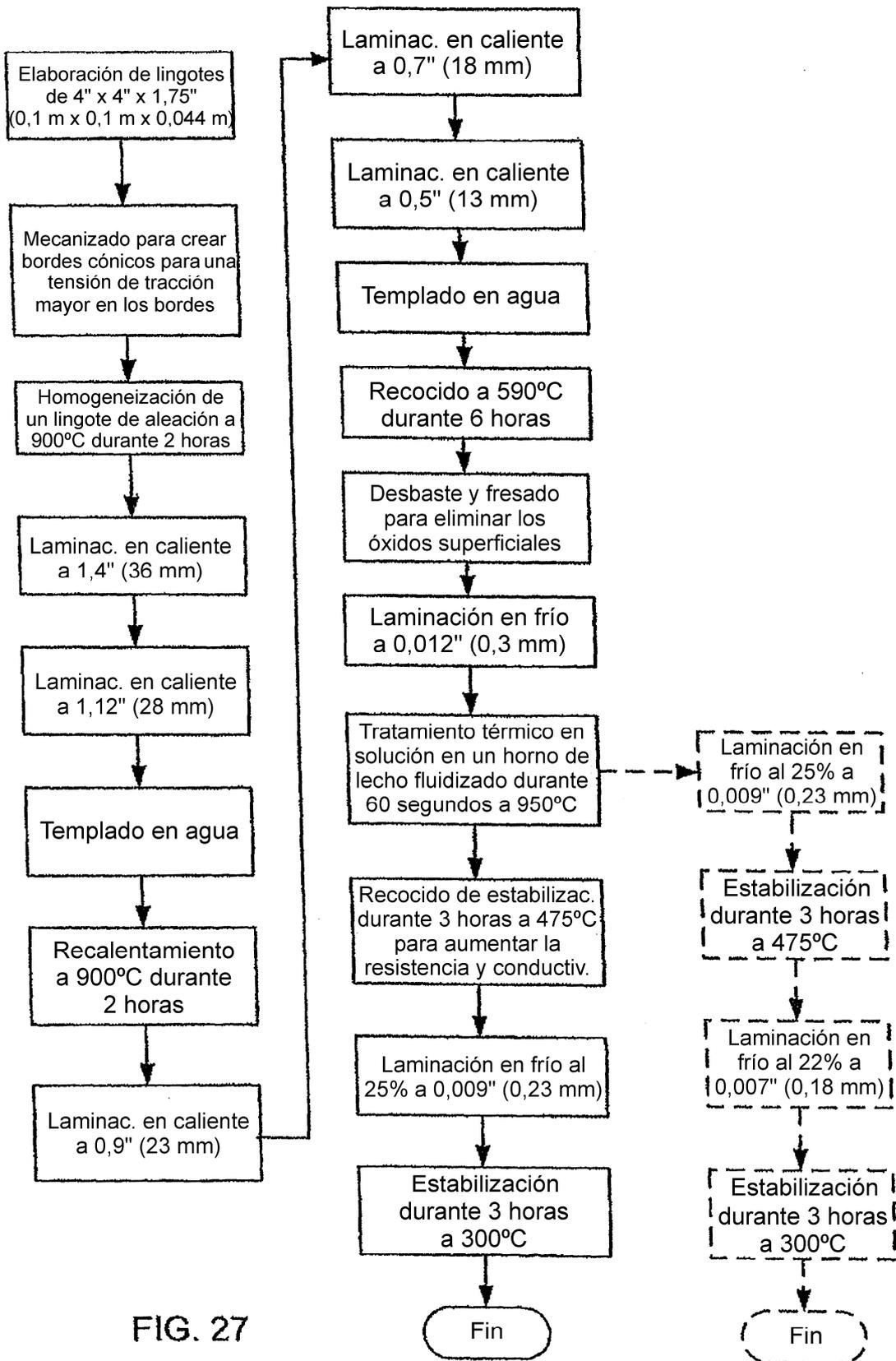


FIG. 27

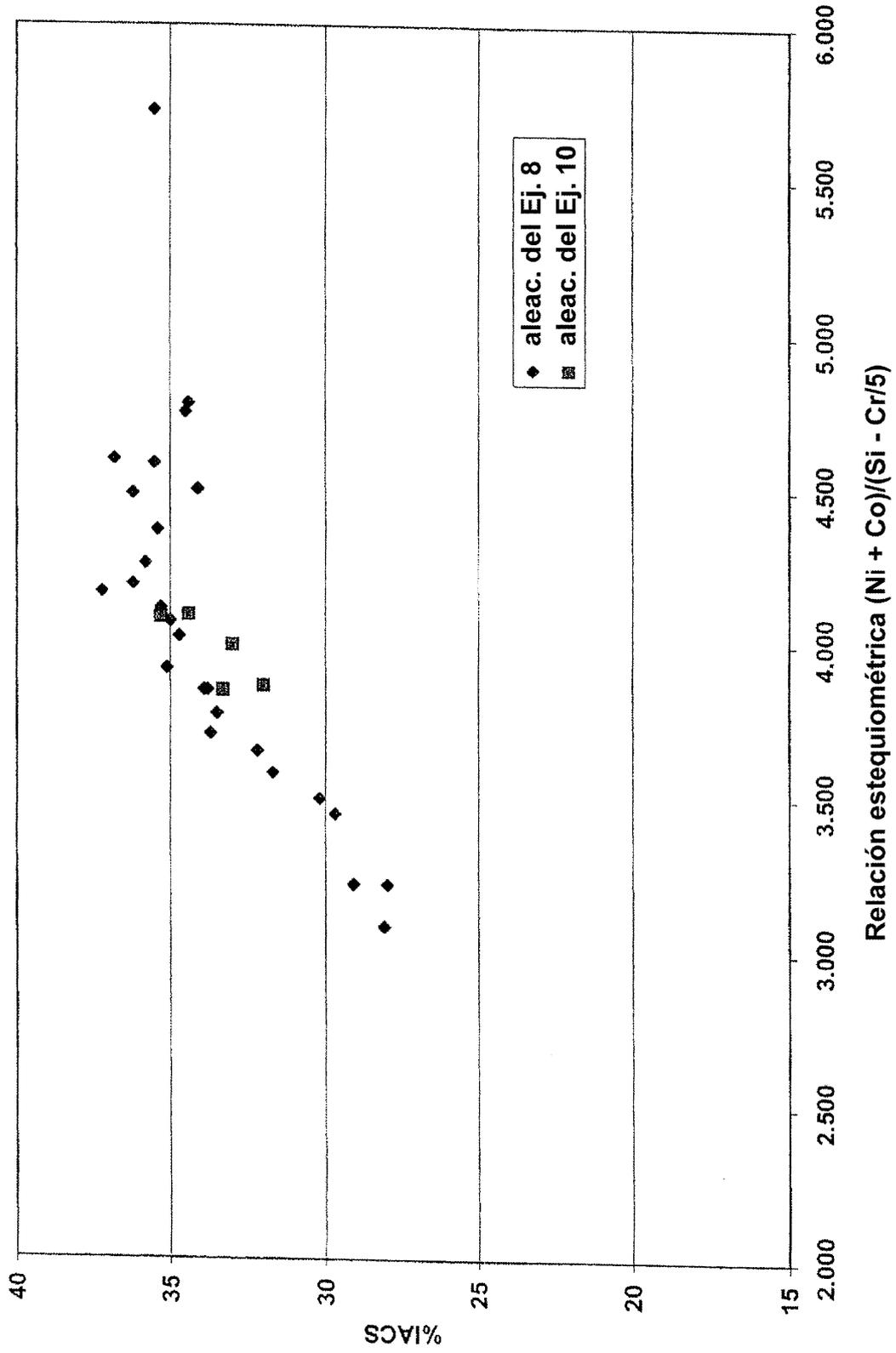


Fig. 28

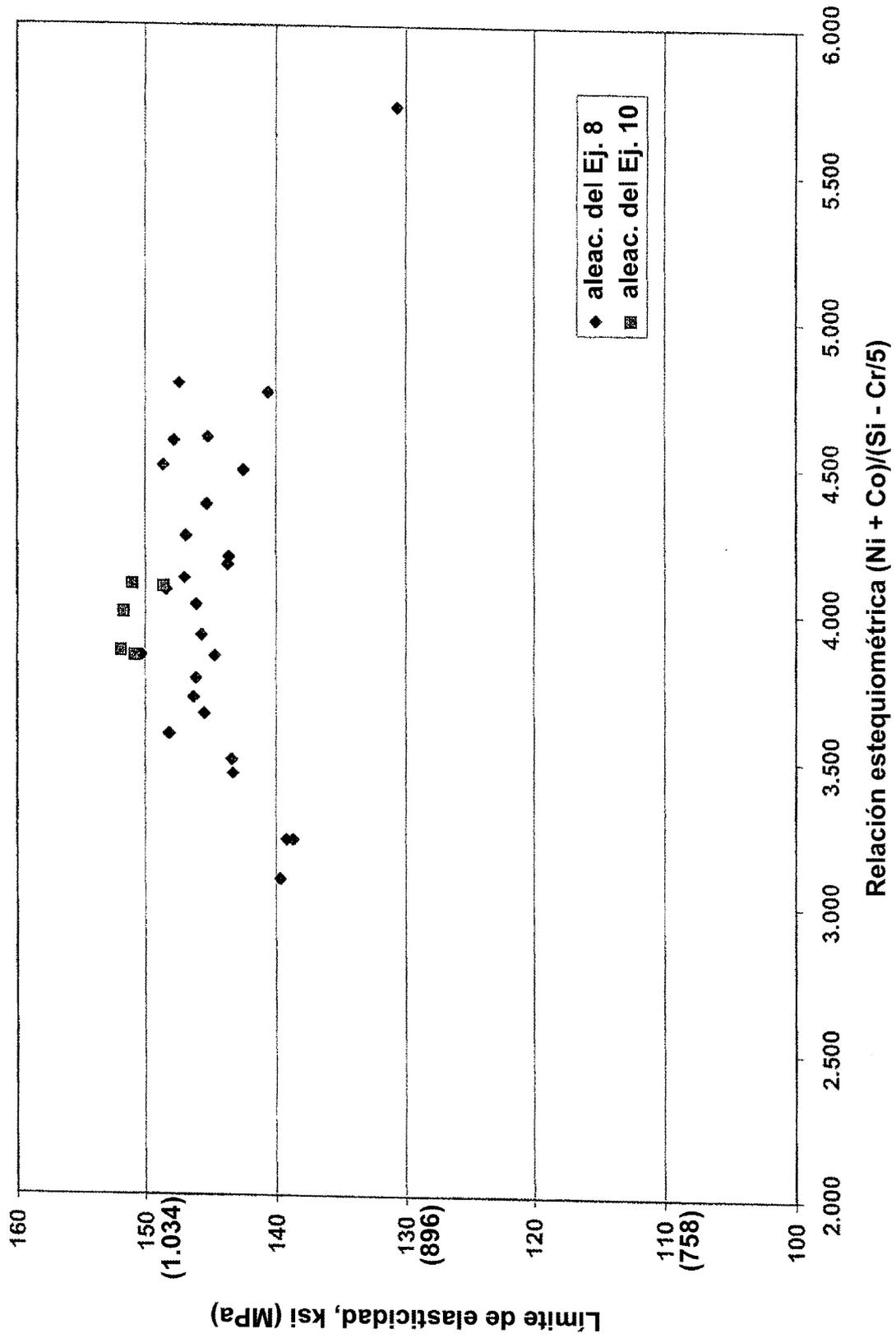


Fig. 29

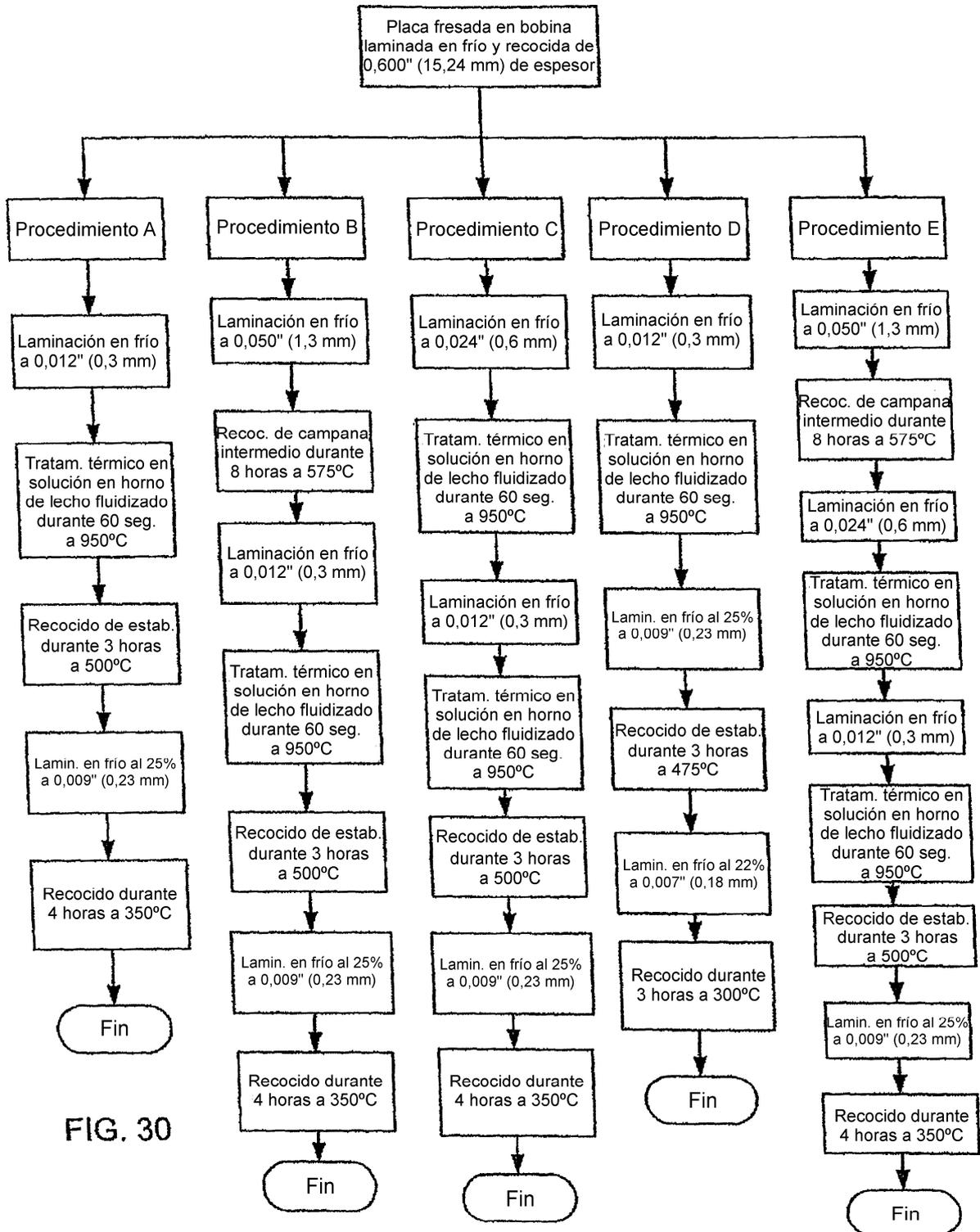


FIG. 30

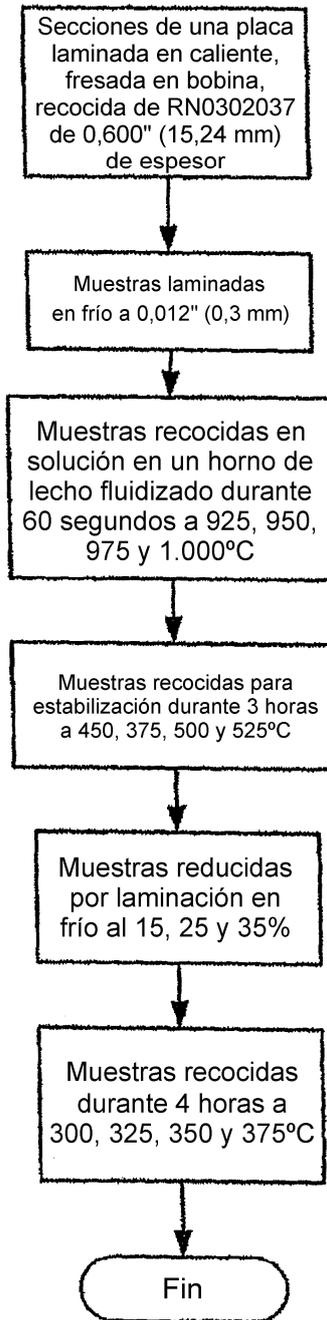


FIG. 31

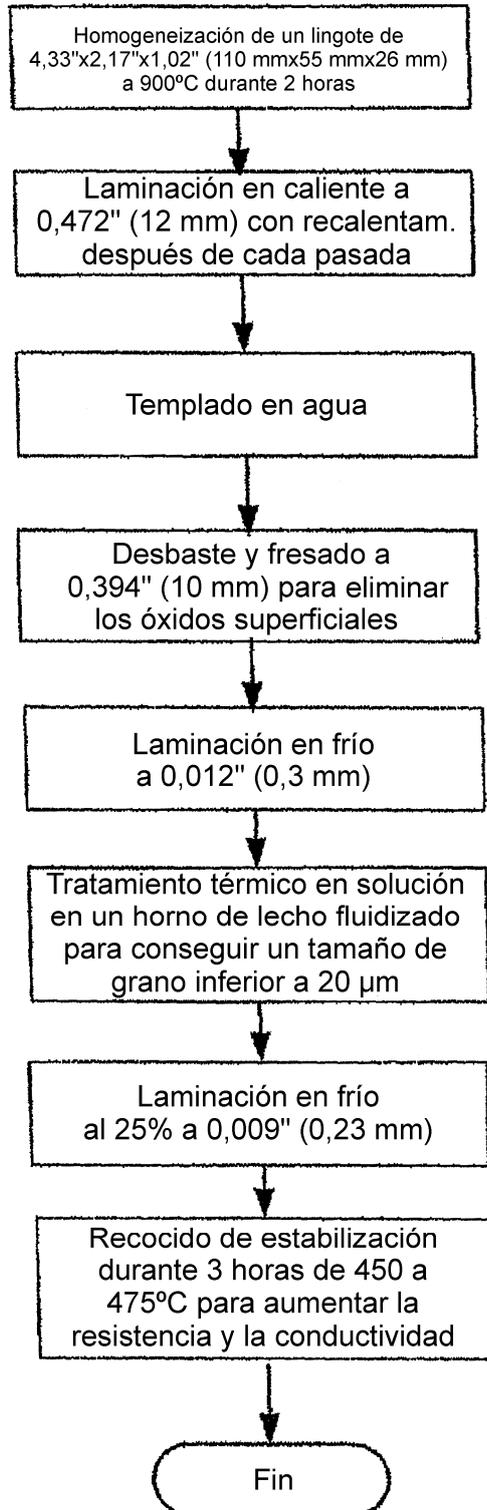


Fig. 32

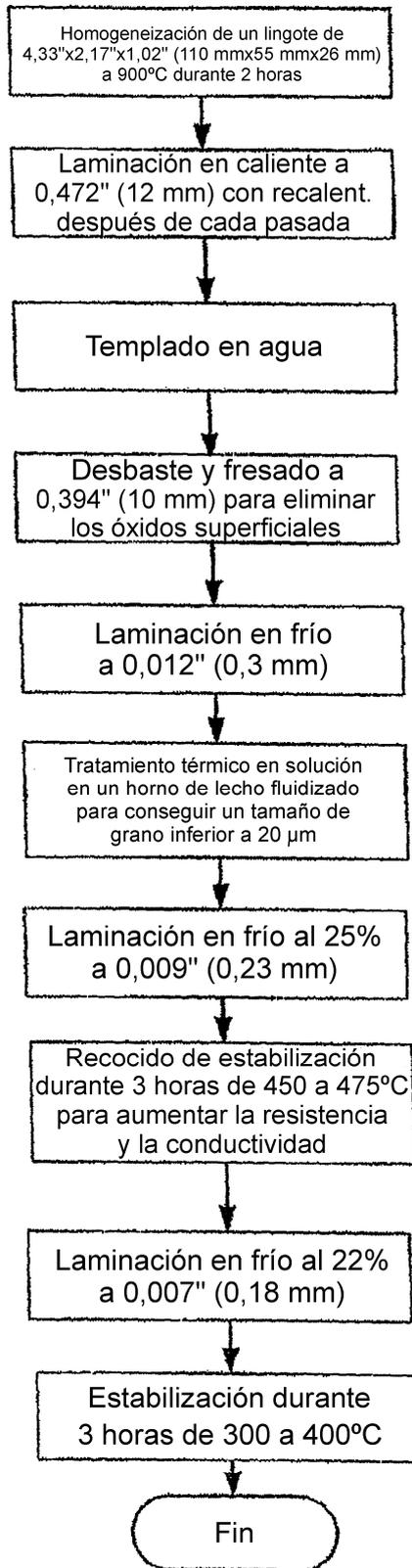


Fig. 33

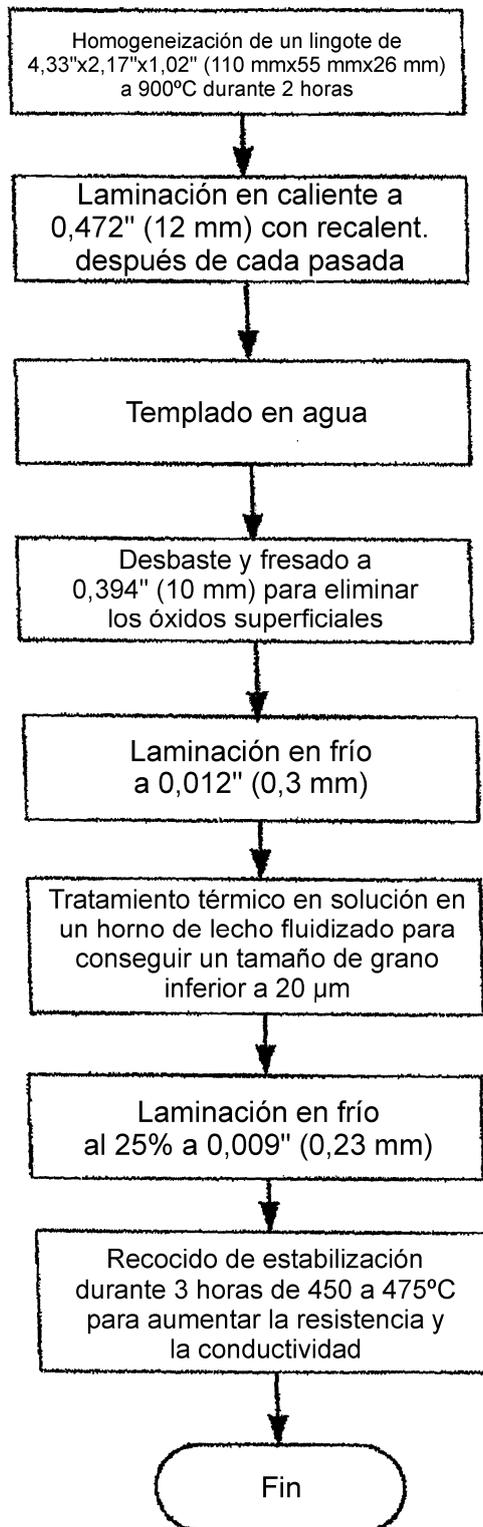


Fig. 34

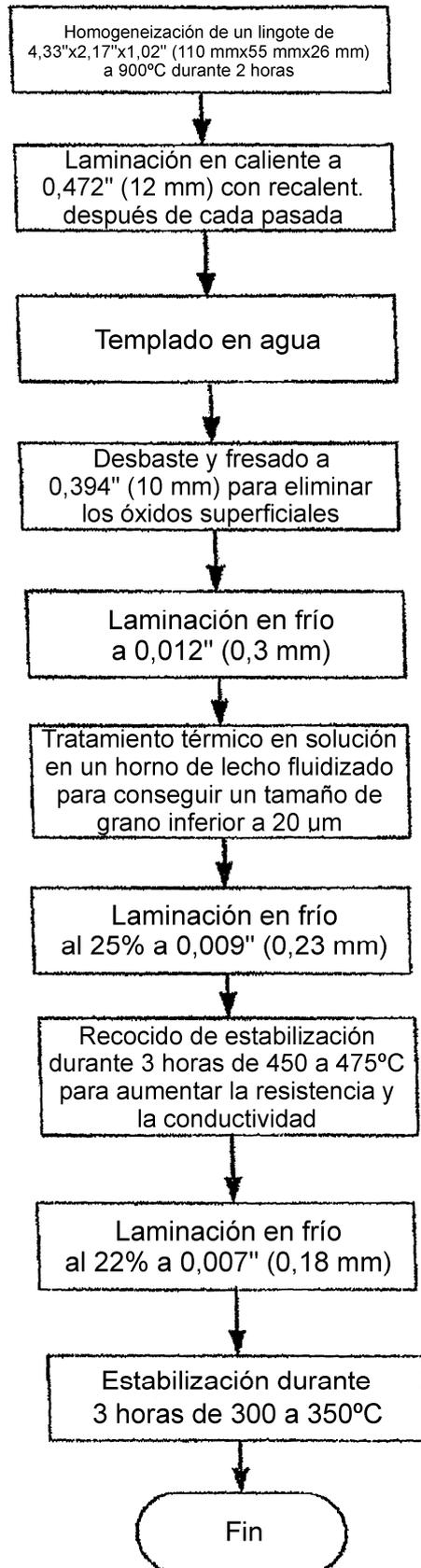


Fig. 35

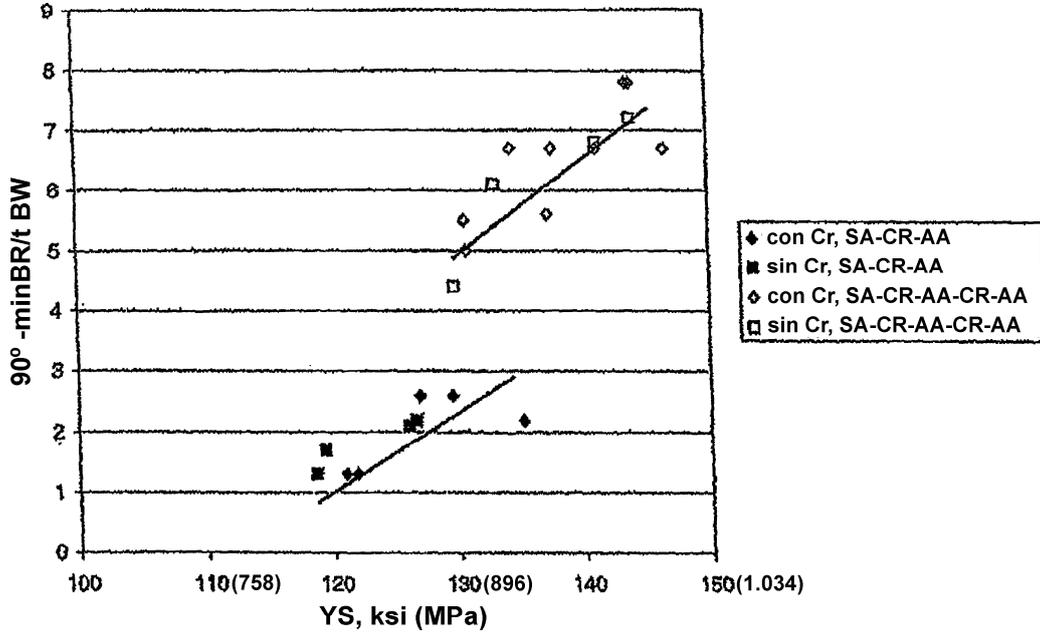


Fig. 36

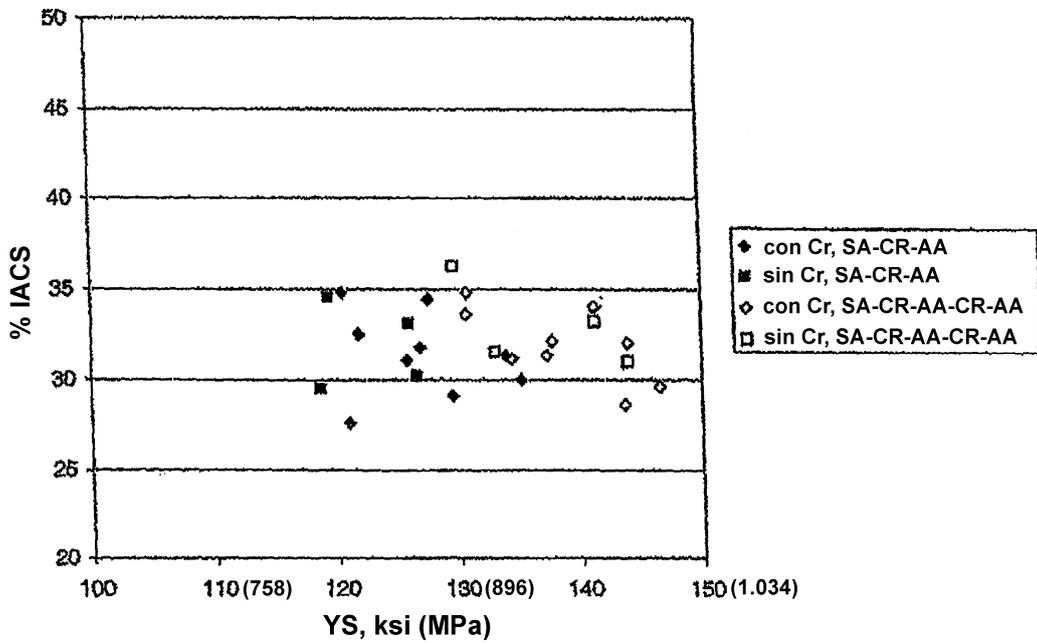


Fig. 37