

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 198 147**

51 Int. Cl.:

C22C 38/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.02.1999 E 99942615 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **13.03.2013 EP 1084282**

54 Título: **Material de acero para herramientas de trabajo en caliente**

30 Prioridad:

27.03.1998 SE 9801044

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:
25.06.2013

73 Titular/es:

**UDDEHOLMS AB (100.0%)
683 85 Hagfors, SE**

72 Inventor/es:

**SANDBERG, ODD y
KLARENFJORD, BENGT**

74 Agente/Representante:

POLO FLORES, Carlos

ES 2 198 147 T5

DESCRIPCIÓN

Material de acero para herramientas de trabajo en caliente

ÁMBITO TÉCNICO

La invención se refiere a un material de acero para herramientas de trabajo en caliente, es decir, herramientas para 5 moldear o trabajar metales a temperaturas comparativamente altas.

POSICIÓN TÉCNICA

El término "herramientas de trabajo en caliente" se aplica a un gran número de tipos diferentes de herramientas para 10 trabajar o moldear metales a temperaturas comparativamente altas, por ejemplo, herramientas para moldeo a presión en troquel, como troqueles, insertos y machos, partes añadidas, buzas, elementos eyectores, pistones, cámaras de presión etc.; herramientas para el herramental de extrusión, como troqueles, portatroqueles, coquillas, tacos de presión y husos, vástagos, etc.; herramientas para la compresión en caliente, como herramientas para la compresión en caliente de 15 aluminio, magnesio, cobre, aleaciones de cobre y acero; moldes para plásticos, como moldes para moldeos por inyección, moldeos por compresión y extrusión; junto con varios tipos diferentes de herramientas como herramientas para el cortado en caliente, anillos/collares de contracción y piezas sometidas al desgaste diseñadas para su uso en trabajos a altas temperaturas. Existen varias calidades estándar del acero para estas herramientas de trabajo en caliente, por ejemplo, AISI H10-H19, y también varios aceros especiales comerciales. La Tabla 1 presenta algunos de estos aceros para trabajo en caliente estandarizados y/o comerciales.

Tabla 1 – Composición química nominal por porcentaje en peso de aceros de trabajo en caliente conocidos.

Tipo de acero	Acero nº	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	Ni	V	Co	Fe
W.nr 1.2344/H13	1	0,40	1,0	0,40	5,3	1,4	-	-	1,0	-	Bal
W.nr 1.2365/H10	2	0,32	0,25	0,30	3,0	2,8	-	-	0,5	-	"
W.nr 1.2885/H10A	3	0,32	0,25	0,30	3,0	2,8	-	-	0,5	3,0	"
W.nr 1.2367	4	0,38	0,40	0,45	5,0	3,0	-	-	0,6	-	"
W.nr 1.2889/H19	5	0,45	0,40	0,40	4,5	3,0	-	-	2,0	4,5	"
W.nr 1.2888	6	0,20	0,25	0,50	9,5	2,0	5,5	-	-	10,0	"
W.nr 1.2731	7	0,50	1,35	0,70	13,0	-	2,1	13,0	0,7	-	"
H42	8	0,60	0,30	0,30	4,0	5,0	6,0	-	2,0	-	"
Com. 1 *	9	0,35	0,1	0,6	5,5	3,0	-	-	0,8	-	"
Com. 2 *	10	0,32	0,3	0,6	5,1	2,6	-	-	0,7	-	"
Com. 3 *	11	0,39	0,2	0,7	5,2	2,2	-	0,6	0,8	0,6	"
W.nr 1.2396	12	0,28	0,40	0,45	5,0	3,0	-	-	0,7	-	"
W.nr 1.2999	13	0,45	0,30	0,50	3,1	5,0	-	-	1,0	-	"
QRO ® 90 *	14	0,39	0,30	0,75	2,6	2,25	-	-	0,9	-	"
CALMAX ® *	15	0,28	0,60	0,40	11,5	-	7,5	-	0,55	9,5	"
H11	16	0,40	1,0	0,25	5,3	1,4	-	-	0,4	-	"
Com. 4 *	17	0,37	0,30	0,35	5,3	1,3	-	-	0,5	-	"
Com. 5 *	18	0,35	0,17	0,50	5,2	1,6	-	-	0,45	-	"

20 * Disponibles en el mercado, acero no estándar. QRO ® 90 y CALMAX ® son marcas registradas de Uddeholm Tooling AB.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En la primera fase de la invención, se estudiaron los aceros 1-15 de la Tabla 1. Este estudio indicó que ninguno de los aceros estudiados satisfacía las demandas exigidas a las herramientas usadas en las diferentes áreas de aplicación mencionadas anteriormente.

5

En consecuencia, el trabajo posterior se centró en el desarrollo de una aleación destinada principalmente a la fundición en coquilla de metales ligeros, un área de aplicación en el que hay una necesidad especial de un nuevo material de acero con una combinación de propiedades mejor que la que presentan los aceros conocidos disponibles actualmente. El objetivo del material de acero según la invención es ofrecer propiedades óptimas en cuanto a buenas templabilidad y

10

microestructura a fin de ofrecer altos niveles de tenacidad y ductilidad también en calibres pesados. Al mismo tiempo, no debe darse un deterioro de la resistencia al revenido y de la resistencia a las altas temperaturas.

Más en particular, uno de los propósitos de la invención es ofrecer un acero para trabajo en caliente cuya composición química permita que el acero pueda satisfacer los siguientes requisitos:

- tiene que tener una buena facilidad de trabajo en caliente a fin de obtener un rendimiento alto en la fabricación,

15

- debe poderse fabricar en calibres muy pesados, lo que significa un grosor mayor que, por ejemplo, 760 x 410 mm o mayor que \varnothing 550 mm.

- debe tener un contenido en impurezas muy bajo,

- no debe contener ningún carburo primario,

20

- debe tener buenas propiedades de tratamiento en caliente, lo cual significa, entre otras cosas, que debe poder ser revenido a una temperatura de austenitización moderadamente alta,

- debe tener una templabilidad muy buena, por ejemplo, debe poder ser templado en profundidad incluso en los calibres muy pesados antes mencionados,

- debe tener una forma estable durante el termotratamiento,

- debe tener una buena resistencia al revenido,

25

- debe tener una buena resistencia a las temperaturas altas,

- debe tener unas propiedades de tenacidad y ductilidad muy buenas en las dimensiones en cuestión,

- debe tener una buena conductividad térmica,

- no debe tener un coeficiente de expansión del calor inaceptablemente alto,

- debe tener buenas propiedades de revestimiento con PVD/CVD/nitruración,

30

- debe tener buenas propiedades de electroerosión, buenas propiedades de corte y soldado, y

- debe tener un coste de fabricación favorable.

El material de acero inventado puede satisfacer las condiciones arriba mencionadas por las razones siguientes: primero, al tener la aleación de acero una composición tan básica puede procesarse el material a fin de producir una microestructura adecuada con una distribución muy uniforme de carburos en una matriz ferrítica, adecuada para un

35

posterior termotratamiento de la herramienta acabada; segundo, el material de acero con dicha composición básica tiene asimismo un bajo contenido en silicona, que es considerada una impureza en el acero de la invención, y también contenidos muy bajos de las impurezas no metálicas nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre. Se sabe desde hace mucho tiempo que las impurezas no metálicas, como el azufre, el fósforo, el oxígeno y el nitrógeno, tienen ciertos efectos negativos en muchos aceros, especialmente en lo que respecta a la tenacidad del acero. Esto también se aplica al

40

conocimiento de que algunos metales en niveles de microelementos pueden tener efectos negativos en muchos aceros como la reducción de la tenacidad. Esto ocurre, por ejemplo, con el titanio, el circonio y el niobio en pequeños niveles. Sin embargo, no ha sido posible, en el caso de la mayoría de los aceros, incluido el acero para trabajo en caliente, mejorar significativamente la tenacidad únicamente mediante la reducción de los contenidos en impurezas de este tipo en el acero. El estudio de las aleaciones de acero existentes ha demostrado asimismo que no puede conseguirse una

45

buna tenacidad únicamente optimizando la composición básica de la aleación del acero. Solamente era posible conseguir dichas condiciones mediante la combinación de una composición básica óptima y de contenidos bajos o muy bajos de dichas impurezas no metálicas, y también preferiblemente un contenido muy bajo de titanio, circonio y niobio.

A fin de cumplir las condiciones arriba mencionadas, el material de acero inventado presenta una composición de

ES 2 198 147 T5

aleación que, por porcentaje en peso, consiste en:

0,3–0,4 C, preferiblemente 0,33-0,37 C, normalmente 0,35 C

0,2-0,8 Mn, preferiblemente 0,40-0,60 Mn, normalmente 0,50 Mn

4-6 Cr, preferiblemente 4,5-5,5 Cr, convenientemente 4,85-5,15 Cr, normalmente 5,0 Cr

5 1,8-3 Mo, preferiblemente un máximo de 2,5 Mo, convenientemente 2,2-2,4 Mo, normalmente 2,3 Mo

0,4-0,6 V, preferiblemente 0,5-0,6 V, convenientemente 0,55 V,

hierro de equilibrio e impurezas metálicas y no metálicas inevitables, comprendiendo dichas impurezas no metálicas silicona, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre, que pueden incluirse con los siguientes contenidos máximos:

un máximo de 0,25 Si, preferiblemente un máximo de 0,20 Si, convenientemente un máximo de 0,15 Si

10 un máximo de 0,010 N, preferiblemente un máximo de 0,008 N

un máximo de 10 ppm O, preferiblemente un máximo de 8 ppm O

un máximo de 0,010 P, preferiblemente un máximo de 0,008 P, y

un máximo de 0,0008 S, preferiblemente un máximo de 0,0005 S

Es preferible que el titanio, el circonio y el niobio se den en los siguientes porcentajes en peso máximos:

15 un máximo de 0,05 Ti, preferiblemente un máximo de 0,01, y convenientemente un máximo de 0,008, y más preferiblemente un máximo de 0,005,

un máximo de 0,1 preferiblemente un máximo de 0,02, convenientemente un máximo de 0,010 y más preferiblemente 0,005 Zr,

20 un máximo de 0,1, preferiblemente un máximo de 0,02, convenientemente un máximo de 0,010, y más preferiblemente un máximo de 0,005 Nb.

En lo que respecta a la elección de los elementos de aleación deseables individuales, puede decirse que los contenidos de carbón, cromo, molibdeno y vanio han sido escogidos de manera que el acero tuviera una matriz ferrítica en la condición de entrega del material, una matriz martensítica con una dureza adecuada tras el templado y el revenido, ausencia de carburos primarios pero existencia de carburos precipitados secundarios de tipo MC y $M_{23}C_6$ de tamaño submicroscópico en el material templado y revenido, a la vez que la composición básica del acero proporciona potencial para obtener asimismo la tenacidad deseada.

El contenido mínimo en cromo será de 4%, preferiblemente del 4,5% y convenientemente al menos del 4,85% a fin de que el acero presente una templabilidad adecuada, pero podría no ser incluido en contenidos superiores a 6%, preferiblemente un máximo de 5,5% y adecuadamente un máximo de 5,15% a fin de que el acero no tenga como resultado un contenido en carburo de tipo $M_{23}C_6$ y M_7C_3 a un nivel indeseado tras el revenido. El contenido nominal de cromo es de 5,0%.

El tungsteno afecta negativamente a la termoconductividad y a la templabilidad en relación con el molibdeno y por ello no es un elemento deseable en el acero, pero puede permitirse en contenidos de hasta 0,5%, preferiblemente un máximo de 0,2%. Sin embargo, el acero no debería contener tungsteno añadido intencionadamente, es decir, la forma más deseable de acero contiene tungsteno únicamente a niveles de impureza.

El molibdeno debería incluirse en un contenido mínimo de 1,8%, preferiblemente al menos 2,2% a fin de proporcionar una resistencia adecuada a la templabilidad y al revenido junto con la propiedades deseables de resistencia a las altas temperaturas. Un contenido en molibdeno mayor que 3% conlleva el riesgo de carburos de contorno de grano y de carburos primarios, lo cual reduce la tenacidad y la ductilidad. El contenido en molibdeno no debería, pues, superar el 3,0%, preferiblemente un máximo de 2,5%, convenientemente un máximo de 2,4%. Si el acero contiene un cierto contenido en tungsteno de acuerdo con lo anterior, el tungsteno sustituye parcialmente al molibdeno según la regla “dos partes de tungsteno corresponden a una parte de molibdeno”.

El acero contiene un contenido de al menos 0,4% de vanadio a fin de ofrecer una resistencia al revenido adecuada y las propiedades deseadas de resistencia a las altas temperaturas. Además, el contenido en vanadio debería ser al menos la cantidad expresada a fin de evitar la granulación al termotratarse el acero. Se establece el límite superior para el vanadio de 0,6% para reducir el riesgo de formación de carburos de contornos de grano y primarios y/o de carbonitruros, que reducirían la ductilidad y la tenacidad del acero. El acero debería contener, preferiblemente, 0,5-0,6 V, convenientemente 0,55 V.

El acero debería contener manganeso en los niveles descritos, sobre todo para aumentar la templabilidad hasta cierto punto.

A fin de usar la buena tenacidad potencial que puede ofrecer un material de acero con dichos contenidos de carbón, manganeso, cromo, molibdeno y vanadio, los contenidos de dichas impurezas no metálicas deberían al mismo tiempo
5 mantenerse en dichos niveles bajos o muy bajos. Se puede decir lo siguiente en relación con la importancia de estos elementos de impureza.

La silicona puede encontrarse como un producto residual en el acero por su de-oxidación y puede incluirse a un nivel mayor de 0,25%, preferiblemente un máximo de 0,20% y convenientemente un máximo de 0,15% a fin de que la actividad del carbono se mantenga baja y, en consecuencia, también el contenido de carburos primarios que pueden
10 precipitarse durante el proceso de solidificación y, en una fase posterior, también los carburos de contorno de grano, lo cual mejora la tenacidad.

El nitrógeno es un elemento que tiende a estabilizar la formación de carburos primarios. Los carbonitruros primarios, en particular los carbonitruros entre los que se pueden incluir el vanadio, el titanio, el circonio y el niobio, son más difíciles de disolver que los carburos puros. Estos carburos, si se encuentran presentes en la herramienta acabada, podrían tener un
15 efecto muy negativo en la tenacidad al impacto del material. Con un contenido muy bajo en nitrógeno, estos carburos se disuelven más fácilmente durante la austenitización del acero junto con el termotratado, tras lo cual dichos carburos secundarios pequeños, principalmente del tipo MC y $M_{23}C_6$ de tamaño microscópico, es decir, de menos de 100 nm, normalmente 2-100 nm, se precipitan, lo cual es ventajoso. El material de acero según la invención debería contener, pues, un máximo de 0,010% N, preferiblemente un máximo de 0,008% N.

20 El oxígeno en el acero forma óxidos, que pueden provocar fracturas como resultado de la fatiga térmica. Este efecto negativo sobre la ductilidad es contrarrestado con un contenido en oxígeno muy bajo, un máximo de 10 ppm O, preferiblemente un máximo de 8 ppm O.

El fósforo se segrega en superficies de contorno de fase y en contornos de grano de todo tipo y reduce la fuerza de cohesión y, por consiguiente, la tenacidad. El contenido en fósforo debería, pues, no superar el 0,010%, preferiblemente
25 un máximo de 0,008%.

El azufre que, en combinación con el manganeso, forma sulfuros de manganeso, tiene un efecto negativo en la ductilidad, pero también en la tenacidad, ya que influye negativamente en las propiedades transversales. El azufre puede darse en una cantidad máxima de 0,0008%.

Los contenidos en titanio, circonio y niobio del acero no deben superar niveles superiores a los contenidos máximos mencionados anteriormente, es decir, un máximo de 0,05% Ti, preferiblemente un máximo de 0,01, convenientemente un máximo de 0,008 y más preferiblemente un máximo de 0,005 Ti, un máximo de 0,1, preferiblemente un máximo de 0,02, convenientemente un máximo de 0,010 y más convenientemente 0,005 Zr y un máximo de 0,1, preferiblemente un máximo de 0,02, convenientemente un máximo de 0,010, y más preferiblemente un máximo de 0,005 Nb, a fin de evitar la formación de nitruros y carbonitruros principalmente.
30

35 En su condición de entrega, el material de acero según la invención tiene una matriz ferrítica con carburos distribuidos uniformemente, que se disuelven durante el termotratamiento del acero junto con el endurecimiento. En este termotratamiento el acero es austenitizado a una temperatura de entre 1.000 y 1.080°C, convenientemente a una temperatura de 1.020-1.030°C. El material es a continuación enfriado a temperatura ambiente y revenido una o varias veces, preferiblemente durante 2x2 h a 550-650°C, preferiblemente a aproximadamente 600°C.

40 Se advertirán otras características y aspectos de la invención en la siguiente descripción de experimentos llevados a cabo y en las reivindicaciones adjuntas a la patente.

Breve descripción de los dibujos

En la siguiente descripción de los experimentos que fueron llevados a cabo, se hace referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

45 La Fig. 1 es un diagrama tridimensional que muestra el contenido nominal en silicona, molibdeno y vanadio de un número de aceros estudiados,

La Fig. 2 muestra la microestructura en estado de recocido blando en el centro de un acero de la invención,

La Fig. 3 ilustra la resistencia al revenido de los aceros examinados,

50 La Fig. 4 ilustra la influencia sobre la dureza del acero examinado de un tiempo de mantenimiento a 600°C tras el temple y el revenido,

La Fig. 5 y la Fig. 6 muestran un diagrama CCT y un diagrama TTT respectivamente, para un acero de la invención,

La Fig. 7 ilustra la resiliencia Charpy en V frente a las temperaturas de prueba de los aceros examinados,

La Fig. 8 y la Fig. 9 ilustran la resiliencia a +20°C frente al grosor de las placas probadas con pruebas de resiliencia Charpy en V y pruebas con muestras de prueba sin entalla,

La Fig. 10 es un diagrama que ilustra la ductilidad en caliente y el límite de deformación en caliente de los aceros
5 examinados, y

La Fig. 11 ilustra los perfiles de las propiedades de los aceros examinados.

Descripción de los estudios llevados a cabo

Las composiciones químicas de los aceros estudiados aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2 – Composición química analizada en porcentaje en peso de los aceros estudiados

Tipo de acero	Nº de acero	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W	Co	V	Ti	Zr	Nb	Cu	Al	N	O ppm	Fe
	A1	0,35	0,15	0,51	0,006	0,0001	5,05	0,06	2,38	0,01	0,02	0,57	0,002	0,001	0,001	0,04	0,008	0,007	5	Bal
	A2	0,36	0,17	0,51	0,006	0,0003	5,04	0,06	2,34	0,01	0,02	0,57	0,002	0,001	0,001	0,04	0,016	0,007	4	Bal
A	A3	0,37	0,17	0,51	0,007	0,0001	5,06	0,07	2,40	0,01	0,02	0,57	0,002	0,001	0,001	0,04	0,038	0,007	5	Bal
Invencción	A4	0,35	0,19	0,52	0,006	0,0003	5,08	0,06	2,35	0,01	0,02	0,55	0,002	0,001	0,001	0,06	0,015	0,008	5	Bal
	A5	0,37	0,17	0,53	0,008	0,0002	5,11	0,06	2,38	0,01	0,02	0,57	0,001	0,001	0,001	0,06	0,016	0,008	3	Bal
	A6	0,35	0,10	0,50	0,007	0,0002	4,98	0,06	2,33	0,01	0,02	0,54	0,002	0,001	0,001	0,04	0,017	0,007	6	Bal
H11																				
"Premium"	16X	0,39	1,06	0,41	0,006	0,0001	4,96	0,09	1,32	0,01	0,02	0,38	0,003	0,001	0,002	0,06	0,07	0,009	7	Bal
H13																				
"Premium"	1X	0,40	1,10	0,41	0,008	0,0003	5,13	0,10	1,46	0,01	0,02	0,92	0,004	0,001	0,002	0,06	0,031	0,008	6	Bal
QRO 90®	14X	0,39	0,33	0,74	0,007	0,0003	2,64	0,07	2,29	0,01	0,02	0,83	0,002	0,001	0,001	0,07	0,032	0,007	10	Bal
W nr																				
1,2367	4X	0,38	0,43	0,42	0,0016	0,0004	5,08	0,09	2,84	0,03	0,02	0,66	0,003	0,003	0,001	0,06	0,064	0,015	12	Bal
Com. 4	17X	0,37	0,30	0,35	0,006	0,0003	5,08	0,08	1,33	0,01	0,01	0,49	0,001	0,002	0,002	0,02	0,005	0,013	6	Bal
Com. 3	11X	0,36	0,21	0,57	0,007	0,0007	5,26	0,67	2,17	0,01	0,57	0,86	0,002	0,003	0,001	0,03	0,005	0,025	13	Bal
Com. 2	10X	0,36	0,34	0,56	0,008	0,0005	5,03	0,09	2,55	0,01	0,03	0,63	0,002	0,002	0,001	0,05	0,020	0,018	8	Bal

Com. 1	9X	0,34	0,07	0,60	0,006	0,0014	5,46	0,07	2,94	0,01	0,01	0,83	0,003	0,002	0,001	0,05	0,017	0,013	10	Bal
Com. 5	18X	0,35	0,17	0,48	0,007	0,0048	5,19	0,07	1,63	0,01	0,01	0,45	0,002	0,002	0,001	0,04	0,011	0,012	20	Bal

En la Tabla 2, el H11 "Premium" y el H13 "Premium" son variantes de los aceros AISI H13 y H11 respectivamente. "Premium" significa que las masas de acero fundidas relacionadas con la fabricación han sido tratadas con inyección SiCa, lo que produce niveles extremadamente bajos de contenido en azufre, y que los productos acabados se han sometido a un procedimiento de trabajo en caliente modificado. Los aceros se caracterizan, en comparación con los 5 aceros estándar del mismo tipo, por tener un mayor nivel de tenacidad en todas direcciones, un mayor potencial para utilizar un temple mayor manteniendo la tenacidad y una mayor resistencia al cambio brusco de temperatura.

Se produjeron dos hornadas a partir de acero del tipo A de la invención, y de estas hornadas se produjeron tres lingotes mediante refundición ESR. Éstos han sido llamados A1, A2... A6 en la Tabla 2. Los estudios descritos se han concentrado principalmente en el acero A2. En aquellos casos en los que se hace referencia al acero A, se trata de un 10 valor medio del resultado de los estudios de un mayor número de aceros A1-A6. El tratamiento metalúrgico de fusión se correspondió esencialmente con el proceso aplicado para H11 "Premium" y H13 "Premium". Las hornadas ESR tuvieron pesos que oscilaban entre 480 y 6.630 kg. Se produjeron barras a partir de estos lingotes de varias formas mediante forja y forja con giro.

Los últimos seis aceros de la Tabla 2, los aceros 4X, 17X, 11X, 10X, 9X y 18X son materiales que fueron adquiridos en el 15 mercado por el solicitante, el cual analizó su composición química.

Todos los aceros, excepto el QRO®90, tienen un contenido en cromo del orden del 5%. Otros aceros examinados se diferencian los unos de los otros por tener diferentes contenidos en silicón, molibdeno y vanadio principalmente. Esto aparece ilustrado en la Fig. 1, que con un diagrama tridimensional ilustra los contenidos nominales de silicón, molibdeno y vanadio de estos aceros. Véase Tabla 1 en relación con los contenidos nominales.

20 Las dimensiones y también la dureza en estado de recocido blando están indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3 – Dureza en estado de recocido blando

Nº de acero	Dimensiones (mm)	Dureza (HB)
A3	762 x 407	164
A3	762 x 305	162
A2	610 x 254	159
A2	610 x 203	164
A2	610 x 153	157
A2	508 x 127	163
A1	Ø 508	163
A1	Ø 350	156
A4	762 x 407	174
A5	762 x 305	159
A5	700 x 300	163
A6	610 x 102	170
A4	Ø 750	170
A6	Ø 270	170
A6	Ø 125	170
A6	Ø 80	170
16X	500 x 110	192

1X	762 x 305	174
14X	356 x 127	174
4X	510 x 365	183
17X	500 x 200	164
11X	485 x 200	189
10X	510 x 210	172
9X	510 x 210	207
18X	260 x 210	174

Investigaciones sobre la estructura indicaron que el contenido en carburo principal era cero en todos los aceros con la excepción de los aceros 11X y 9X, que contenían cantidades significativas de carburos primarios y carbonitruros primarios. La microestructura en estado de recocido blando en el centro de los aceros A2, 610 x 203 mm, se muestra en la Fig. 2.

La resistencia al revenido tras la austenitización a 1.025°C/30 min y también la influencia del tiempo de mantenimiento a 600°C tras templarse a 1.025°C/30 min. (1.010°C para el acero número 16X) y revenirse a 45 HRC se ilustra en el diagrama de las Figs. 3 y 4. En este diagrama se muestra que el acero de la invención A2 y el acero 9X tienen la mejor resistencia al revenido. El acero A2 de la invención se vio menos afectado por el tiempo de mantenimiento a 600° C, mientras que el acero número 9X perdió rápidamente su dureza. Esto es aplicable también al acero número 10X.

Incluso la templabilidad fue muy buena en el acero de la invención A2, como muestran los diagramas CCT y TTT de las Figs. 5 y 6.

Las mediciones de tenacidad fueron llevadas a cabo como pruebas de resiliencia Charpy en V frente a la temperatura de prueba, y los resultados se muestran en las Figs. 7 y 8 respectivamente.

La Fig. 9 muestra la tenacidad al choque a temperatura ambiente en muestras sin entalla frente a la dimensión de la barra. Las curvas ilustran que el acero de la invención, A2, tiene una tenacidad y una ductilidad superiores dentro de los aceros investigados. Obsérvese que el acero número 4X en la Fig. 9 ha sido comprobado en la dirección TL1, lo cual proporciona un valor 10% mayor que las muestras tomadas en la dirección ST2.

Se llevaron a cabo ensayos de tracción en caliente a 600°C en muestras que habían sido termotratadas a 45 HRC. Los resultados se muestran en la Tabla 4 y en la Fig. 10. Teniendo en cuenta esta propiedad, el acero de la invención tiene una combinación de alta resistencia a la temperatura y ductilidad significativamente mejor que los otros aceros estudiados.

Tabla 4 – Propiedades de tracción en caliente tras ensayos a 600° C.

Nº de acero	Dureza (HRC)	R _{p0,2} (Mpa)	R _m (Mpa)	A _s (%)	Z (%)
A2	45,5	649	897	17	80
16X	43,5	517	715	18	80
1X	44,5	584	795	17	83
11X	44,2	555	801	17	78
10X	45,5	637	896	13	67
9X	45,2	615	897	14	67
18X	45,6	613	859	15	77

Ciertas propiedades críticas de los aceros inventados están comparados en el diagrama polar de la Fig. 11. En lo que respecta a la tenacidad, los aceros nº 11X y 9X presentan altos contenidos en carburos primarios y carbonitruros, lo cual reduce significativamente la tenacidad en estos dos aceros. El acero nº 10X y, hasta cierto punto, también el acero nº 18X tienen una tenacidad comparable a la del acero nº 1X, pero el acero de la invención, A2, tiene una ductilidad y una tenacidad superiores. Esto último ha sido confirmado a través de pruebas de forjado en prensa a plena escala. En dichas pruebas, relativas al forjado de componentes de cubos grandes de camiones, se usó un acero del tipo H13 "Premium" y el acero A1 como material de la herramienta. El número de componentes fabricados ascendía a 2.452 y 7.721 artículos respectivamente. El modo de fractura de las herramientas H13 "Premium" comprendía la rotura total, mientras que las herramientas del acero A1 fueron apartados de servicio solamente como resultado de deformación del plástico del diámetro interior de la matriz.

El acero de la invención, A2, tiene pues el mayor límite elástico, ductilidad (reducción del área) y templabilidad (en lo que respecta a reducción de la dureza). La resistencia al revenido es también muy buena en A2. De los aceros estudiados, el acero de la invención, A2, es el que presenta mejores características.

Sin que la invención quede ligada a ninguna teoría en particular, se puede decir que estas propiedades superiores pueden ser el resultado de los factores siguientes:

- una composición química equilibrada de elementos que forman carburos como el cromo, el molibdeno y el vanadio con la cual, y dándose una estructura inicial de recocido en blando excelente para el temple posterior de la herramienta, se consigue una templabilidad muy buena y una buena resistencia al revenido y propiedades de resistencia a las altas temperaturas,
- 20 - falta de carburos primarios y/o carbonitruros primarios del tipo MX en los que M es vanadio y X es carbón y/o nitrógeno, por una elección óptima del contenido en carbono y vanadio junto con un bajo contenido en nitrógeno,
- un contenido comparativamente alto en molibdeno, un contenido en carbono relativamente bajo y un contenido en silicón muy bajo, lo cual reduce la actividad del carbono y por tanto la tendencia a la precipitación de la tenacidad reduciendo los carburos primarios y las precipitaciones en contorno de grano.
- 25 - un contenido bajo de elementos como el oxígeno, el nitrógeno y el azufre, que da como resultado la tenacidad reduciendo óxidos, nitruros y sulfuros.
- un bajo contenido en elementos que causan fragilidad de temple, como el fósforo.

REIVINDICACIONES

1. Material de acero para herramientas de trabajo en caliente caracterizado porque tiene una composición de aleación que en porcentaje en peso consiste en:
- 0,3-0,4 C
- 5 0,2-0,8 Mn
- 4-6 Cr
- 1,8-3 Mo
- 0,4-0,6 V
- 10 hierro de equilibrio e impurezas metálicas y no metálicas inevitables, comprendiendo dichas impurezas no metálicas silicona, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre, que pueden estar presentes en las siguientes cantidades máximas:
- un máximo de 0,25 Si
- un máximo de 0,010 N
- un máximo de 10 ppm O
- un máximo de 0,010% en peso de P
- 15 un máximo de 0,0008% en peso de S
2. Material de acero según la reivindicación 1, caracterizado porque contiene un máximo de 0,20 Si.
3. Material de acero según la reivindicación 1, caracterizado porque contiene:
- 0,33-0,37 C
- 0,4-0,6 Mn
- 20 4,5-5,5 Cr y
- 1,8-2,5 Mo
4. Material de acero según la reivindicación 3, caracterizado porque contiene 4,85-5,15 Cr y 2,2-2,4 Mo.
5. Material de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, caracterizado porque contiene un máximo de 0,008 N.
- 25 6. Material de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, caracterizado porque contiene un máximo de 8 ppm O.
7. Material de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, caracterizado porque contiene un máximo de 0,008 P.
8. Material de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, caracterizado porque contiene 0,35 C, un
- 30 máximo de 0,15 Si, 0,5 Mn, un máximo de 0,008 P, un máximo de 0,0008 S, 5 Cr, 2,3 Mo, 0,55 V, un máximo de 0,008 N, un máximo de 8 ppm O.
9. Material de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, caracterizado porque contiene
- un máximo de 0,05 Ti, preferiblemente un máximo de 0,01 Ti
- un máximo de 0,1 Zr, preferiblemente un máximo de 0,02 Zr
- 35 un máximo de 0,1 Nb, preferiblemente un máximo de 0,02 Nb.
10. Material de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1-9, caracterizado porque contiene un máximo de 0,008, preferiblemente un máximo de 0,005 Ti, un máximo de 0,016, preferiblemente un máximo de 0,010 Zr, y un máximo de 0,010, preferiblemente un máximo de 0,005 Nb.

11. Uso de un material de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1-10 para herramientas y partes de herramientas para el forjado en prensa de metales.

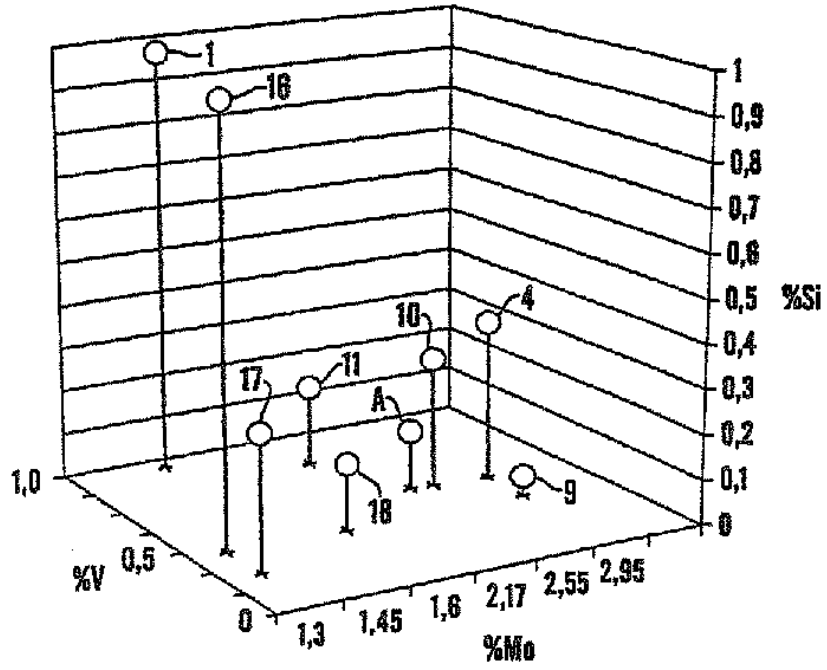
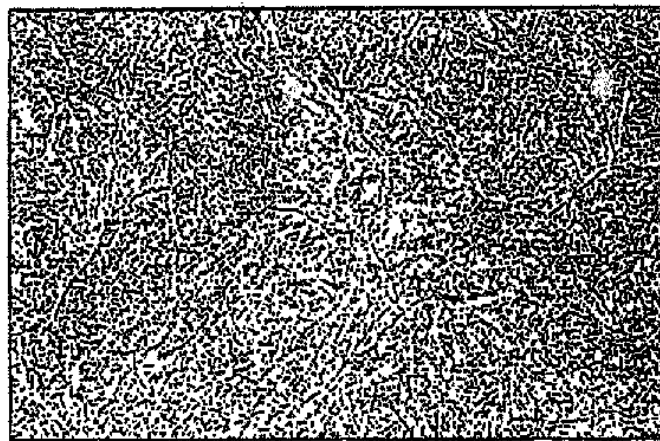


Fig. 1



0,05 mm

Fig. 2

RESISTENCIA AL REVENIDO TRAS AUSTENITIZACIÓN A 1.025°C/30 min.

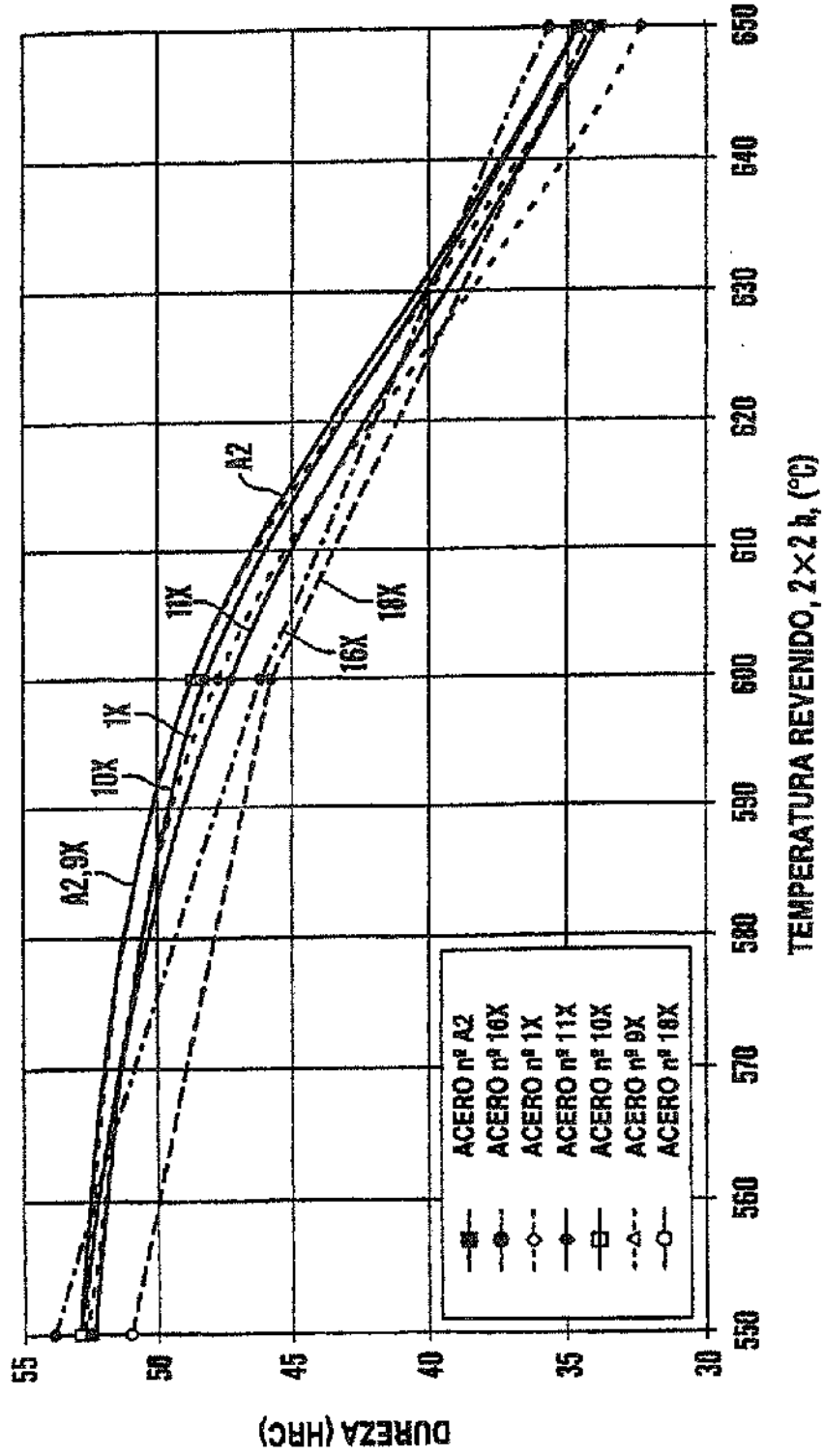


Fig.3

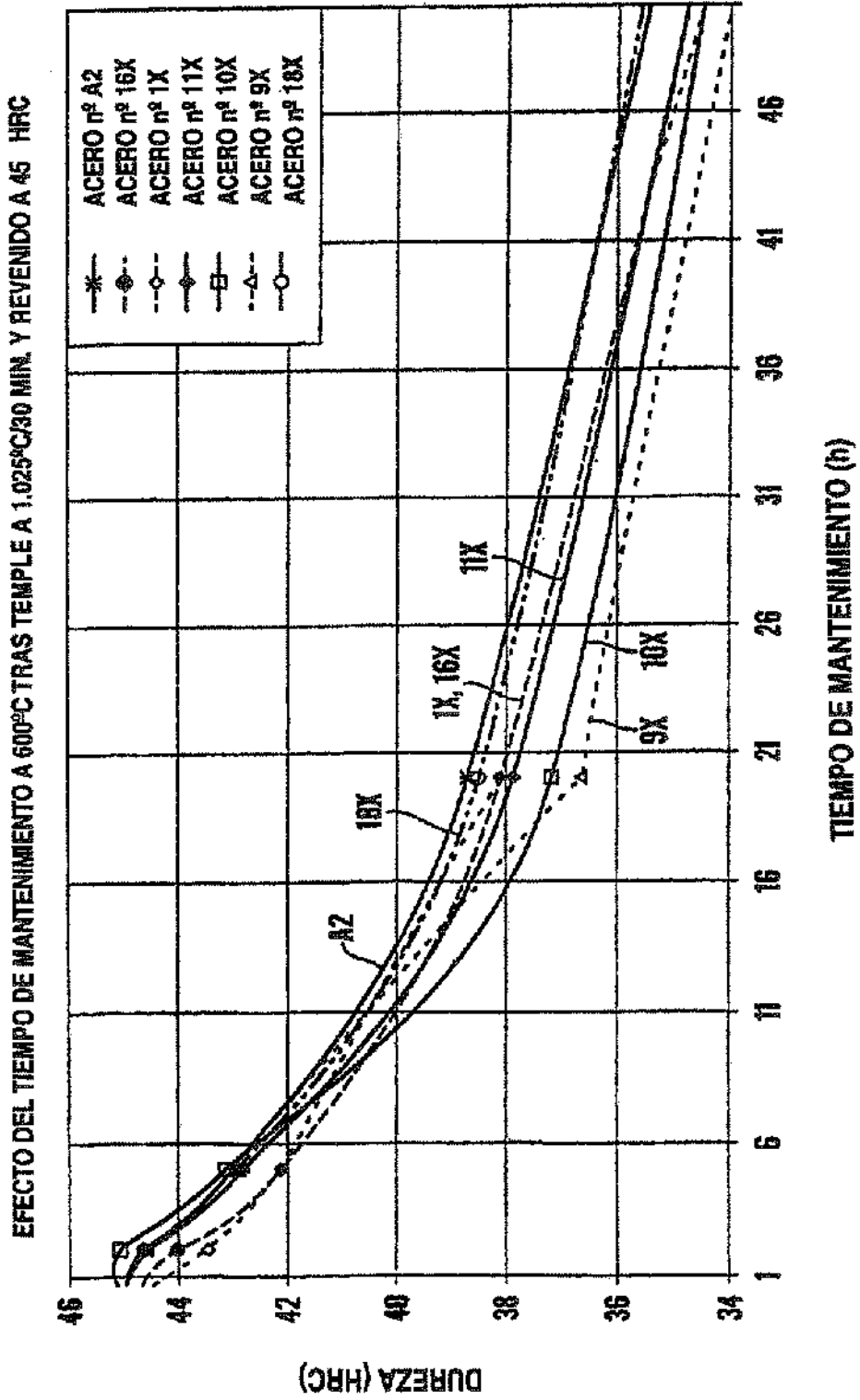


Fig.4

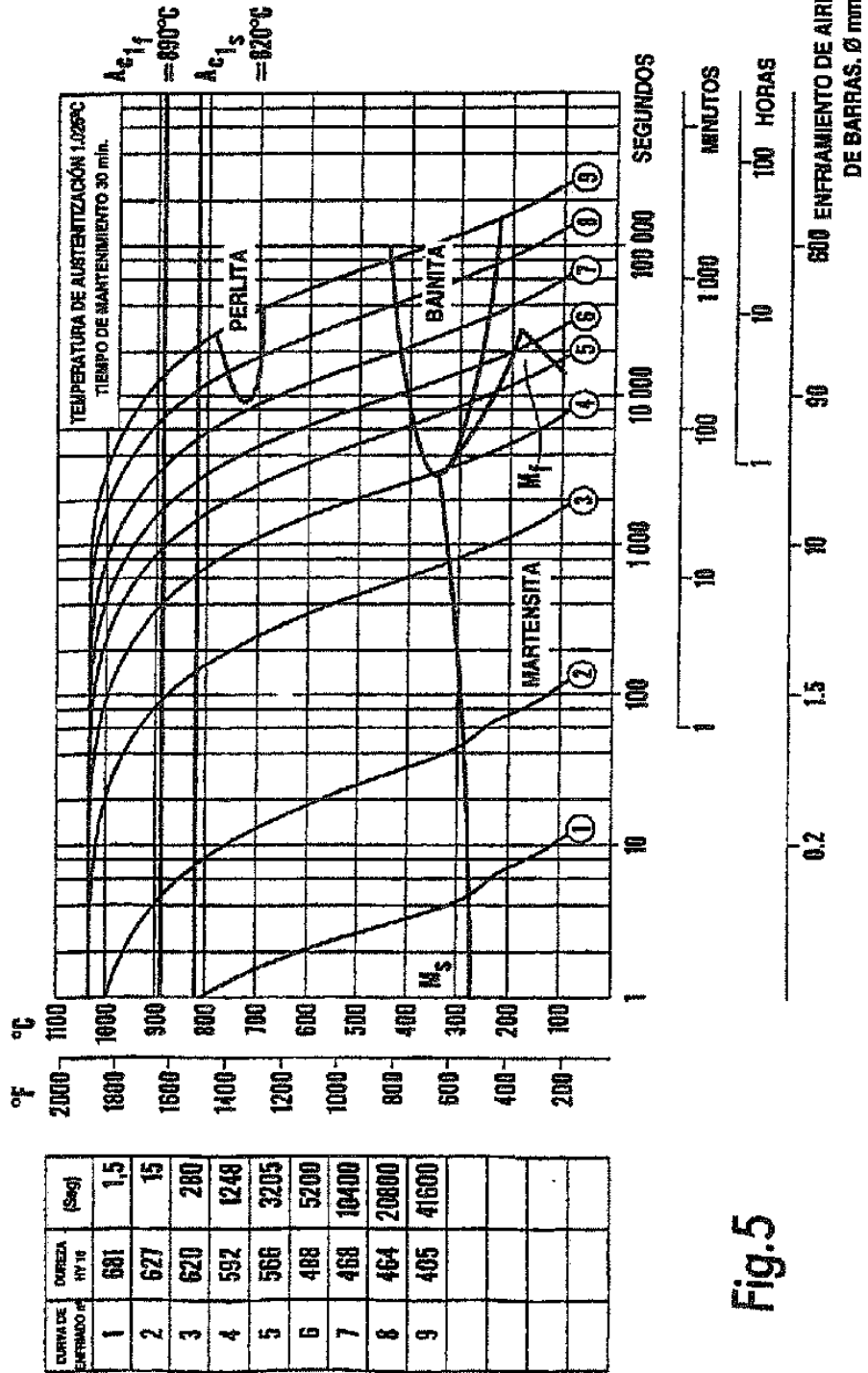


Fig.5

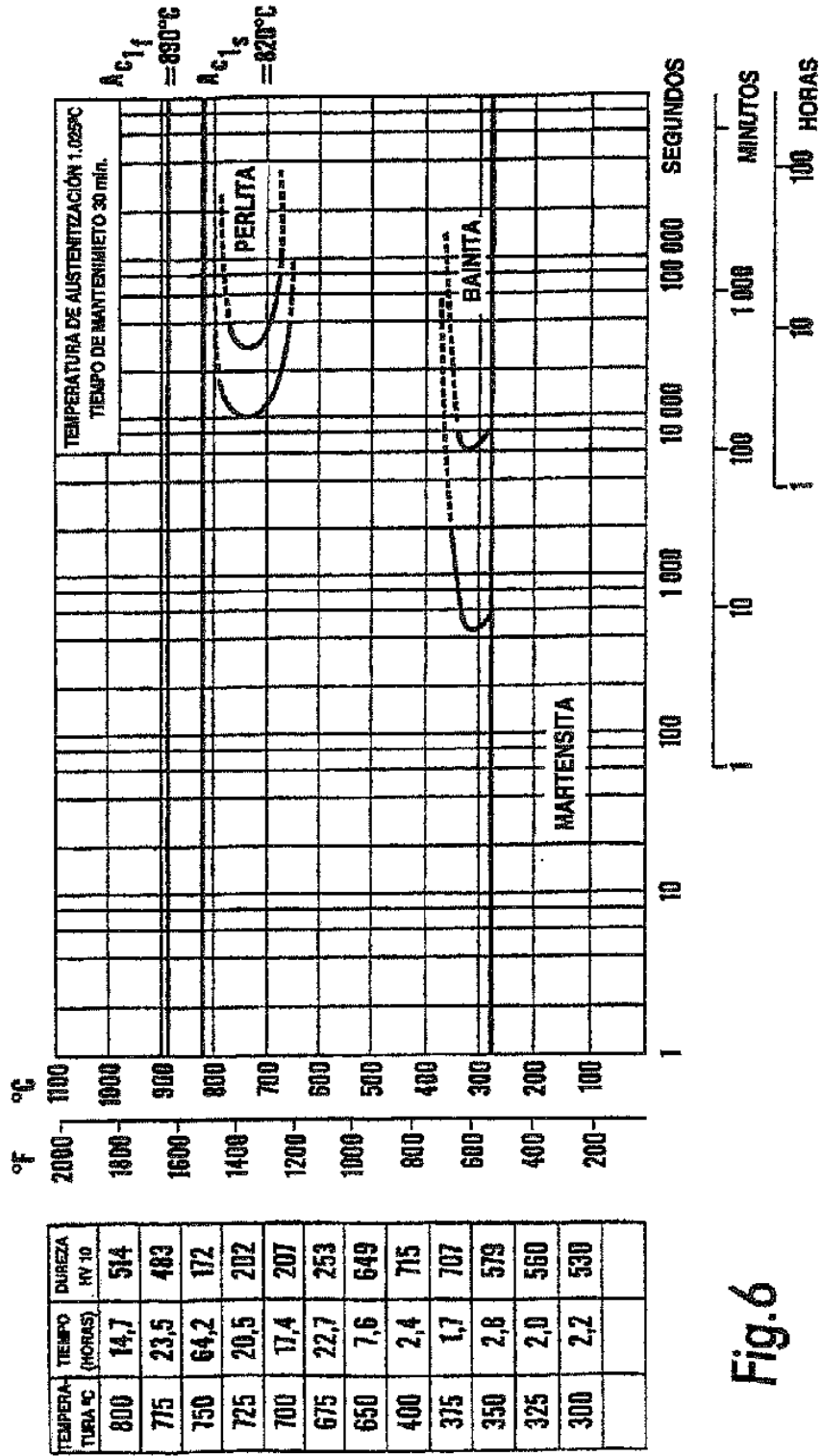


Fig.6

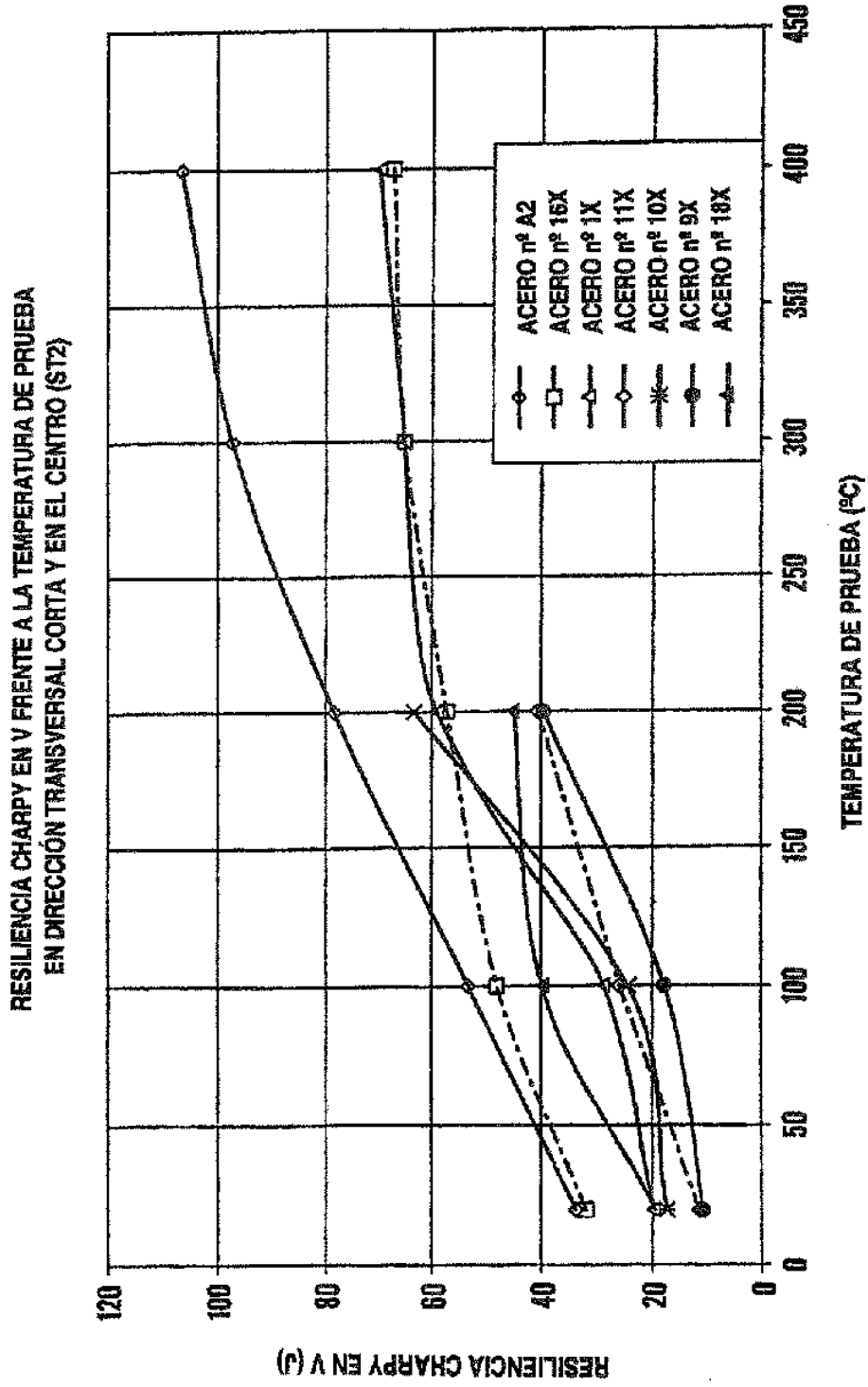


Fig.7

RESILIENCIA DE MUESTRAS CHARPY EN V a +20°C FRENTE AL GROSOR DE LA PLACA.
DIRECCIÓN TRANSVERSAL CORTA Y CENTRAL DE LAS MUESTRAS, ST2 44-46 HRC.

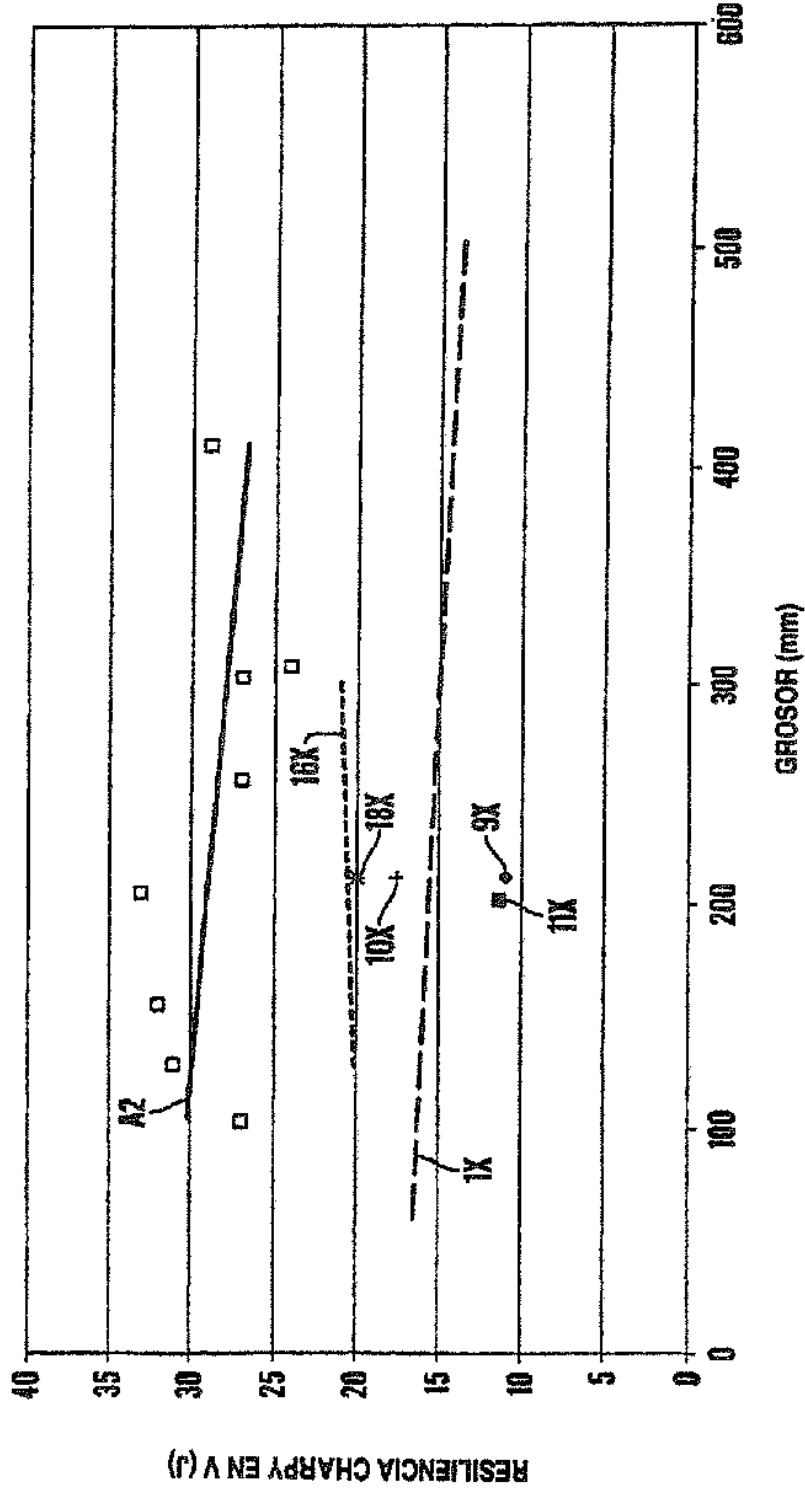


Fig.8

RESILIENCIA DE MUESTRAS SIN ENTALLA A +20°C FRENTE AL GROSOR DE LA PLACA.
 DIRECCIÓN TRANSVERSAL CORTA Y CENTRAL DE LAS MUESTRAS, ST2. 44-46 HRC.

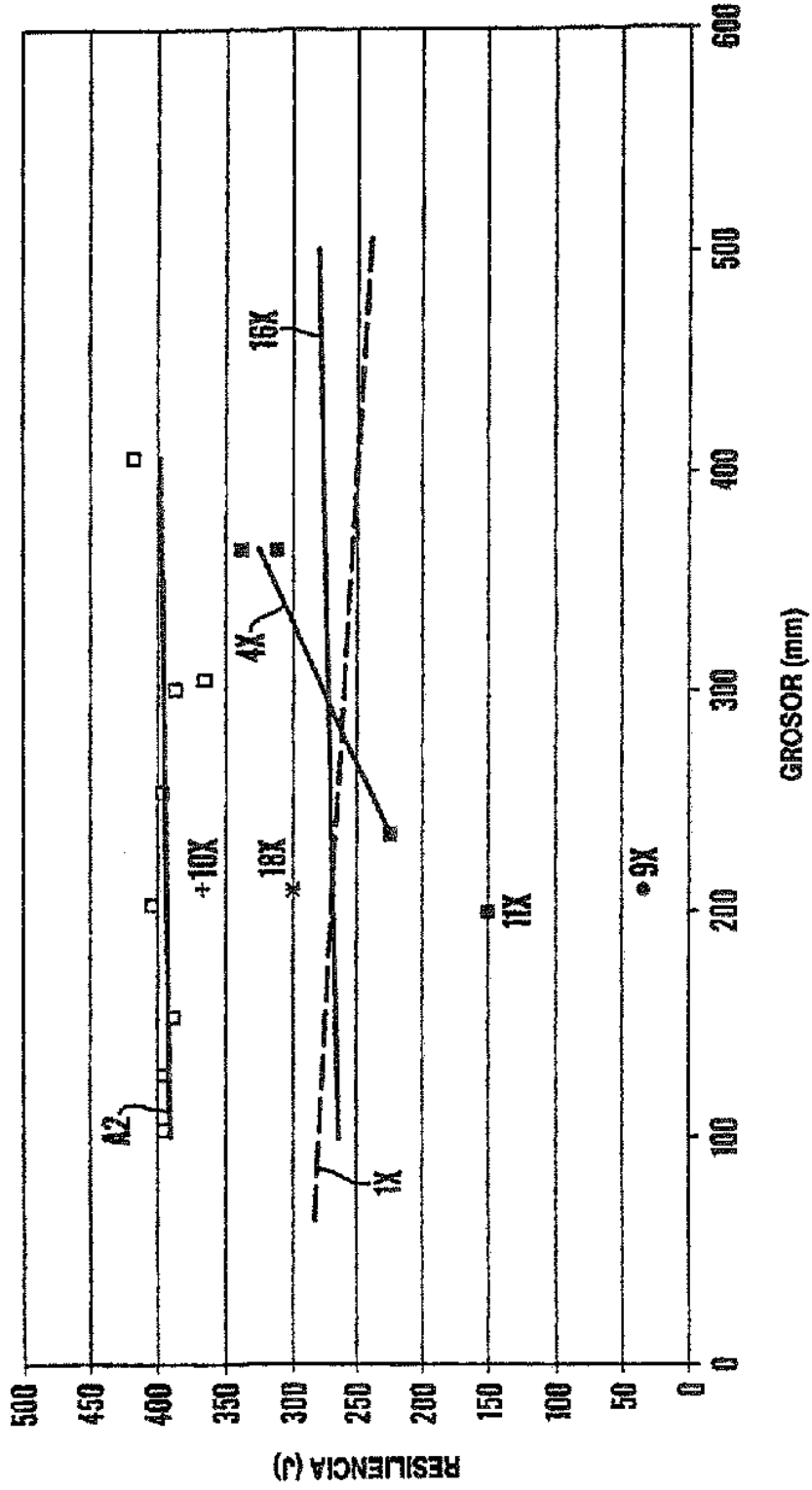
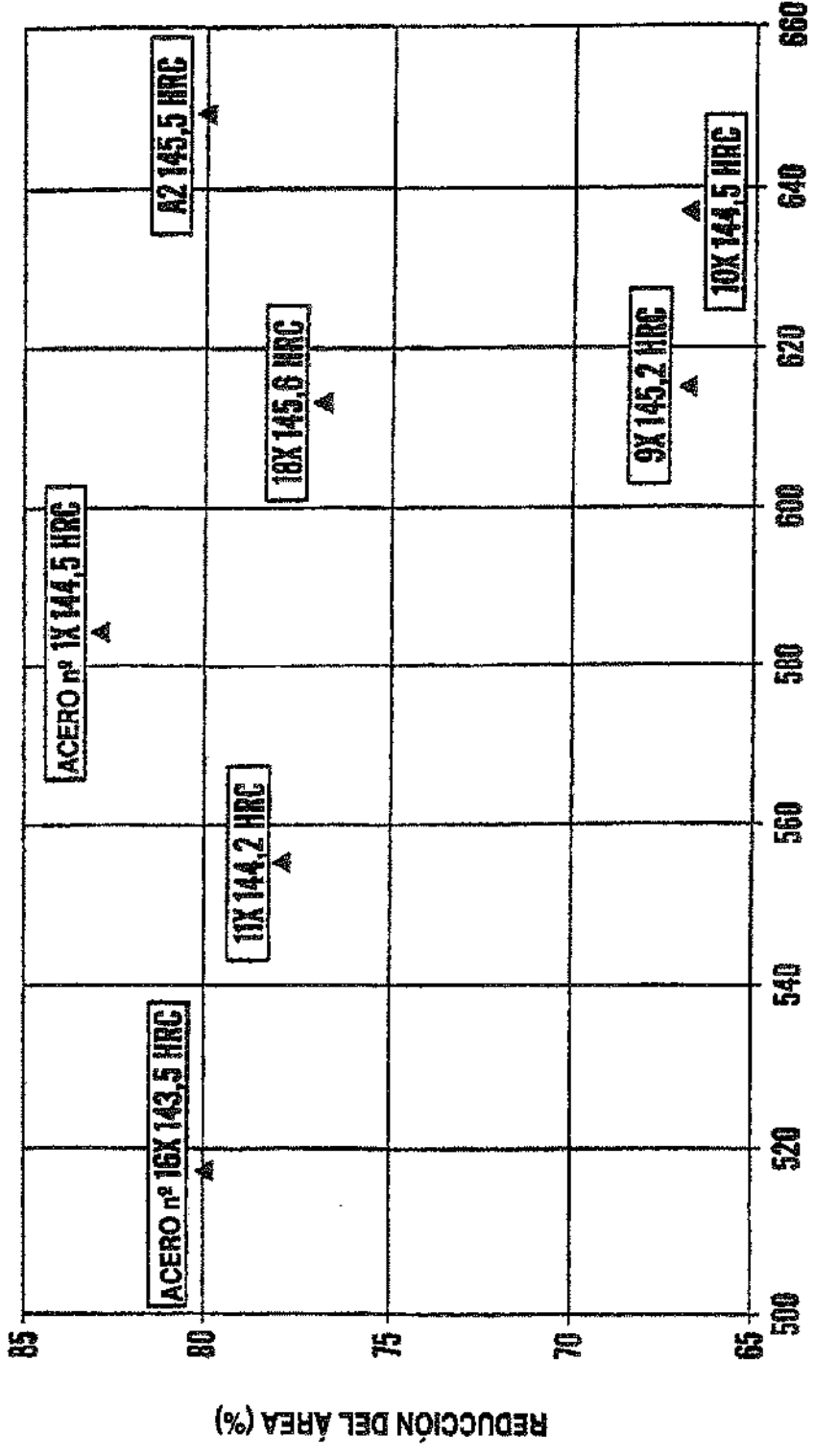


Fig.9

REDUCCIÓN DE ÁREA FRENTE A LÍMITE ELÁSTICO EN CALIENTE A (600°C)
 PARA MUESTRAS TERMOTRADAS A 43,5 - 45,5 HRC.



LÍMITE ELÁSTICO EN CALIENTE (Mpa)

Fig.10

COMPARACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES CRÍTICAS DE LOS ACEROS ESTUDIADOS.

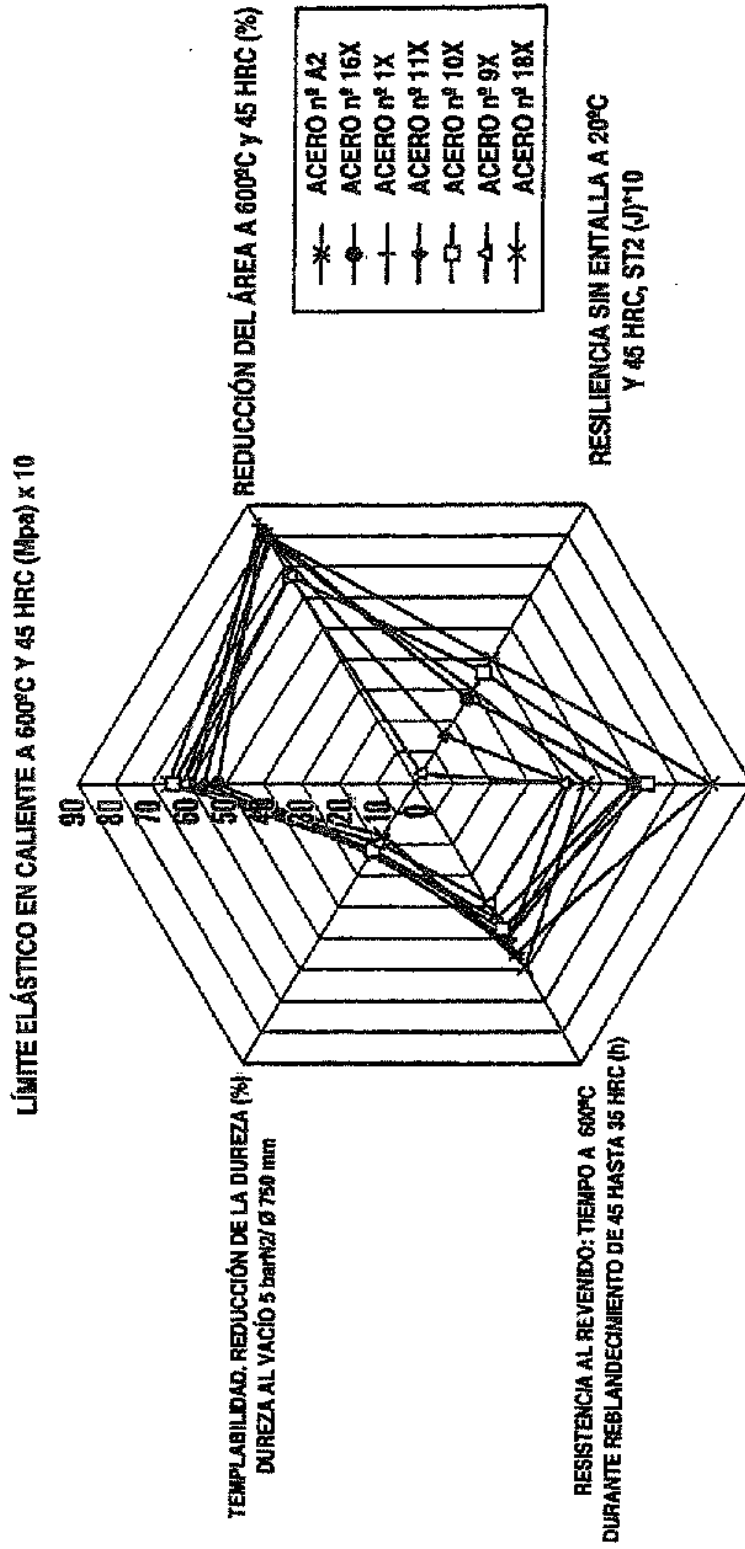


Fig. 17 RESILIENCIA CHARPY EN V a 200°C y 45 HCR, ST2 (J)