

PATENTE DE INVENCION

=====
Ref: BR 1700.

Int. Cl.: E22C 21/00; E22F 1/04

Memoria Descriptiva 5 3 1 0

sobre:

Procedimiento para la producción de productos laminados en aleaciones de aluminio.

=====

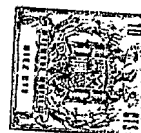
Solicitante: SOCIETE DE VENTE DE L'ALUMINIUM PECHINEY, entidad francesa, residente en 23 bis, rue Balzac, 75008, PARIS, Francia.

=====

La invención se refiere a un procedimiento para la producción de nuevos productos laminados perfeccionados, en aleaciones de aluminio, mediante tratamiento térmico de las citadas aleaciones.

5

Se requieren, en particular en la construc-



5 ción aeronáutica, cantidades crecientes de productos en aleaciones de aluminio laminados (por laminado, forjado, matrizado o extrusión u otro procedimiento). Así, es corriente fabricar ciertos elementos de células o de alas, sometidos a fuertes sollicitaciones mecánicas, por mecanizado a partir de chapas cuyo espesor inicial puede llegar hasta 90 o 100 mm, a veces incluso superior.

10 Ahora bien, se conoce que estos productos en aleación de aluminio son casi siempre anisótropos y que presentan un fibrado introducido por la laminación. Las características mecánicas a través del fibrado son, por ello, netamente inferiores a las características mecánicas a lo largo, es decir en el sentido principal de la deformación.

15 El principal inconveniente del "fibrado" y de la anisotropía que le está asociada es que es preciso tener en cuenta la disminución de las características en el sentido "transversal", lo que conduce en numerosos casos a un sobrecargado sensible de las citadas piezas con las consecuencias perjudiciales que se sabe sobre la carga útil máxima de los aviones.

20 La presente invención que resulta de los trabajos de Monsieur Jean, Marie, Amédés BOUVAIST, tiene por objeto productos laminados en aleación de aluminio caracterizadas porque su estructura es prácticamente homogénea e isótropa y sus características mecánicas (límite elástico, carga de rotura, alargamiento, energía de propagación de las grietas) son sensiblemente las mismas en todas las direcciones. Se refiere más particularmente a productos laminados de aleaciones de aluminio tales como las de las series denominadas "A-ZG" o "A-ZGU" o "A-U" según las normas francesas AFNOR A-02.001 y 25 A-02.002, o de las series "7 000" y "2 000" según las normas 30



americanas A.A. (Aluminium Association".

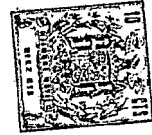
5 La invención tiene igualmente por objeto un tratamiento térmico nuevo que, aplicado a productos laminados fibrados obtenidos por los procedimientos clásicos de laminación permite atenuar, incluso suprimir, la anisotropía de las características mecánicas.

10 La solicitante ha comprobado, además, que de forma totalmente sorprendente, este tratamiento térmico nuevo tiene, sobre estas mismas aleaciones, un efecto inesperado, que es la disminución importante de la "velocidad crítica de temple". Se sabe, en efecto que la velocidad de refrigeración de una aleación durante el temple depende a la vez de las dimensiones de la pieza, de la naturaleza y de la temperatura del fluido de temple. Se sabe que la velocidad de refrigeración debe ser suficientemente elevada para evitar una reprecipitación de los elementos de aleaciones puestos en solución.

15 Se define, para cada tipo de aleación, una velocidad crítica de temple que es por ejemplo de aproximadamente 40°C/segundo para la aleación AZ5GU (NF a O2.001) o 7075 (según la A.A.). Para velocidades de refrigeración inferiores, las características mecánicas de la aleación (dureza Vickers, carga de rotura) se deterioran rápidamente mientras que permanecen sensiblemente constantes o no se elevan más que de modo muy débil para velocidades superiores.

25 La combinación de estos dos efectos - supresión de la anisotropía y disminución de la velocidad crítica de temple - permite una concepción más racional de las piezas ya que pueden soportar grados de sollicitaciones mecánicas sensiblemente idénticas en todas las direcciones, y que se pueden templear piezas macizas en medios menos energéticos que el agua fría.

30



(por ejemplo en agua hirviendo o incluso aire pulsado) y por tanto eliminar los riegos de oquedades de temple y la necesidad de un revenido para eliminar tensiones.

5 El tratamiento térmico nuevo, objeto de la presente solicitud, está basado sobre los resultados sorprendentes de un análisis profundo del fenómeno de "quemado".

10 En la práctica actual, se efectúan los tratamientos térmicos de las aleaciones de aluminio a una temperatura que no sobrepasa una cierta temperatura denominada de "quemado" por encima de la cual se asiste en la mayoría de los casos a una desagregación total de la pieza en el transcurso de la refrigeración y, en todos los casos, a una deterioración de las características mecánicas. La estructura denominada "quemada" se caracteriza por la presencia de una porosidad irreversible y de fases líquidas.

15 La solicitante ha encontrado, contrariamente a la práctica actual, que es posible llevar, sin degradarla, una pieza de aleación de aluminio por encima de la temperatura de solidus T_1 permaneciendo siempre por debajo de la temperatura de liquidus T_2 a condición de que en el momento del tratamiento el contenido de las piezas en hidrógeno, susceptible de degradarse en forma gaseosa hasta la temperatura T_2 , sea inferior a 0,5 ppm y, preferentemente, inferior a 0,2 ppm e incluso 0,1 ppm. Esto puede conseguirse por tratamientos
20 previos de desgasificación en estado líquido o en estado sólido o por cualquier otro medio que permita extraer el hidrógeno e impedir su introducción en el metal antes y durante el tratamiento o cualquier otro medio susceptible de fijarle en el metal en forma estable.

30 Tal tratamiento permite eliminar casi totalmente el



"fibrado".

5 Eligiendo convenientemente, para cada tipo de aleación, la temperatura de tratamiento T_t ($T_1 < T_t < T_2$) y la duración de residencia a esta temperatura, se pueden obtener todos los estados intermedios entre una estructura fibrada y una estructura recristalizada con granos equiaxiales.

10 Este tratamiento es particularmente eficaz sobre aleaciones que contienen fases secundarias a base de elementos tales como manganeso y/o cromo y/o zirconio y/o hierro de las cuales se sabe, por otra parte, que tienen un efecto inhibidor importante sobre los fenómenos de recristalización cuando están precipitados en forma muy fina.

15 El nuevo tratamiento, donde el metal se pone parcialmente en fase líquida, permite hacer engordar los precipitados de fases secundarias y hace posible la recristalización, sin suprimir el efecto endurecedor, debido a la dispersión de estos. El aspecto y las dimensiones de los precipitados coalescidos son característicos del tratamiento como se demostrará más adelante por medio de clichés micrográficos. Como,
20 por otra parte, estos precipitados coalescidos, sirven de gérmenes para la precipitación de fases groseras tales como $MgZn_2$ durante la refrigeración provocada por el temple, se comprende que el número de los precipitados coalescidos disminuye a medida que su dimensión aumenta, la templeabilidad de la aleación mejora y que la velocidad crítica de temple
25 desciende muy por debajo de sus valores habituales, como lo mostrarán los ejemplos 3 y 4.

30 Entre las aleaciones de elevada resistencia para las cuales este tratamiento es particularmente eficaz, se pueden citar la A-U4SG (Cu 4,4 % - Si 0,9 % - Mg 0,5 % - Mn 0,6 %),



el 7075: Zn 5,6 % - Mg 2,5 % - Cu 1,5 % - Cr 0,30 % - Mn <0,3 % o su equivalente francés la A-Z5GU, y aleaciones aun más perfeccionadas tales como las A-Z6G2U2 o A-Z9G3U, (7001 según A.A.).

5 El tratamiento según la invención va seguido de un tratamiento de solución a una temperatura inferior a T_1 , con vistas a resorber las heterogeneidades procedentes del mantenimiento entre las temperaturas T_1 y T_2 .

EJEMPLO 1

10 Sobre una chapa de 40 mm de espesor de aleación "7075" (norma A.S.T.M.), que tiene la composición química indicada mas arriba, se han revelado las características siguientes, al estado T_6 (puesta en solución 3 h a 470°C , temple con agua fría y revenido de 24 h a 120°C):

15 Dirección de la toma	LE_{hb}	R_{hb}	A %	K_{1c}
A lo largo	52,4	59,1	14,4	127
Transversal corto	52,7	56,8	3,3	68

20 Esta misma chapa, cuya temperatura T_1 de solidus se ha encontrado próxima a 535°C , se ha mantenido 1h 30 a 540°C (5°C por encima de T_1) y a continuación 3 h a 470°C (65°C por debajo de T_1), a continuación templada con agua fría y sometida a un revenido de 24 h a 120°C .

Se han revelado entonces las características siguientes:

25 Dirección de la toma	LE_{hb}	R_{hb}	A %	K_{1c}
A lo largo	52,0	57,3	16,0	108
Transversal corto	52,4	57,4	17,0	88

30 El valor crítico del factor "de intensidad de esfuerzo" K_{1c} (tenacidad) está, en los dos casos, expresada en hectobares $\sqrt{\text{Vmm}}$. Se comprueba en este caso que se obtiene una



isotropía casi perfecta de las características mecánicas y que la anisotropía de tenacidad es notablemente muy inferior; la tenacidad en el sentido Transversal-corto ha aumentado aproximadamente 30 %.

5

EJEMPLO 2

10

Se ha tomado una chapa de 50 mm de espesor en A-U4SG que tiene la composición química siguiente: Cu 4,3 % - Si 0,85 % - Mg 0,45 % - Mn 0,58 % - Fe 0,18 % (Para esta composición, la temperatura T_1 es de aproximadamente de 525°C). Tras laminado en caliente y un tratamiento habitual al estado T_6 (puesta en solución 8 h a 505°C, temple con agua fría, revenido 8 h a 175°C) se revelan las características mecánicas siguientes:

15

Dirección de la toma	LE_{hb}	R_{hb}	A %
L (a lo largo, sentido del laminado)	46,0	51,1	12,0
TL (Transversal-largo, en anchura)	43,5	49,0	9,0
TC (Transversal-corto, en espesor)	41,8	47,5	5,2

20

Esta misma chapa ha sufrido un tratamiento térmico, según la invención, que consiste en:

- 4 h de residencia a 535°C (es decir 10°C por encima de T_1)
- 8 h de puesta en solución a 505°C (es decir 20° por debajo de T_1)
- temple con agua fría
- 8 h de revenido a 175°C

25

Se han revelado entonces las características mecánicas siguientes:

30

Dirección de la toma	LE_{hb}	R_{hb}	A %
L (largo)	45,9	50,2	9,3
TL (transversal-largo)	46,0	50,5	7,5
TC (Transversal-corto)	46,1	51,0	6,0



5 Se comprueba que el límite elástico y la carga de ro-
tura son sensiblemente iguales en las tres direcciones y que
estas características "transversal-corto" son remontadas has-
ta un nivel mas alto revelado sobre la chapa tratada normal-
mente.

10 El examen micrográfico de las piezas desfibradas según
la invención hace aparecer una estructura característica re-
cristalizada de granos finos y equiaxiales y que contienen
numerosos precipitados de fases secundarias de tamaño supe-
rior a 0,5 μm mientras que las delgadas tratadas de una mane-
ra tradicional y fibradas presentan una dispersión de estas
fases mucho mas fina, estando comprendido su tamaño medio en-
tonces entre 0,05 μm y 0,1 μm . (Es importante precisar que
15 el "tamaño medio" de los citados precipitados corresponde al
tamaño medio de las partículas mas gruesas que representan
70 a 80 % aproximadamente de la fracción volúmica de las ci-
tadas fases secundarias).

20 Las figuras 1a, 2a, 3a corresponden a muestras ataca-
das antes del examen al microscopio óptico por el reactivo
fluobórico.

Las figuras 1b y 3b corresponden a muestras atacadas
antes del examen al microscopio óptico, por el reactivo de
Keller.

25 Las figuras 1c y 3c corresponden a un examen en micros-
copio electrónico por transmisión.

Las escalas respectivas estan indicadas al lado de ca-
da figura.

30 Los clichés micrográficos 1a, 1b, 1c, muestran el as-
pecto de la estructura de una pieza en aleación 7075 tratada
de una manera tradicional 3 h a 470°C mientras que los clichés



2 y 3 muestran el aspecto de la estructura de la misma pieza tratada según la invención ($T_t > T_1$). Para esta aleación, se tiene $T_1 = 535^\circ\text{C}$.

5 Sobre el cliché 1A, se ve que la estructura es fibrada y que las fases secundarias (al Cr y Fe), precipitadas muy finamente en el interior de los granos, son invisibles en microscopia óptica (1b) y no son visibles mas que en microscopia electrónica (1c).

10 Para un tiempo corto por encima de la temperatura T_1 (1 h a 540°C seguido de 3 h a 470°C), se ve que el desfibrado es parcial (2a): la recristalización se produce en zonas donde la precipitación de las fases secundarias al Cr y Fe ha coalescido en una dispersión de glóbulos que son entonces visibles en microscopia óptica.

15 Para tiempos mas largos a la temperatura T_t (4 h a 540°C seguido de 3 h a 470°C), el desfibrado es total (3a): las fases secundarias son, allí también, netamente visibles en microscopia óptica (3b).

20 El grado de desfibrado depende por tanto del tiempo de permanencia por encima de la temperatura T_1 definida mas arriba y de la desviación entre la temperatura de tratamiento T_t y T_1 . La estructura obtenida es característica del tratamiento.

25 Es muy diferente de la de un metal fibrado pero también de la que se observa sobre un metal recristalizado tras un tratamiento de recocido en estado sólido. En este último caso, la precipitación de las fases secundarias es muy fina y homogénea en el interior de los granos.

30 La reducción de la velocidad crítica de temple, por medio del tratamiento según la invención, se pone en eviden-



cia por las figuras y ejemplos que siguen.

Las figuras 4 y 5 muestran como evoluciona la dureza Vickers de la aleación 7075 (H_V 10 en Kg/mm^2) en función de la velocidad de temple (en $^{\circ}C$ por segundo), para un 7075 tratado de forma clásica (curvas A) y según la invención (curvas B). La velocidad crítica de temple que es del orden de $40^{\circ}C$ por segundo en el primer caso desciende a las proximidades de $10^{\circ}C$ en el segundo caso.

En el caso de la figura 1, el revenido ha sido de 24 h a $120^{\circ}C$ (tratamiento T6) y en el caso de la figura 2, de 6 h a $105^{\circ}C$ y a continuación de 24 h a $158^{\circ}C$ (tratamiento T 73).

Se observa igualmente que el tratamiento T 73 da al 7075 una ganancia de dureza muy netamente superior (de aproximadamente $20 Kg/mm^2$) a la que da el tratamiento T6 para una misma velocidad de temple.

Las figuras 6 y 7 muestran como evoluciona la dureza Vickers de la aleación 7075 (AZ6GU con 0,10 % de Zr) en función de la velocidad de temple (en $^{\circ}C$ por segundo) para un tratamiento clásico (curvas A) y según la invención (curvas B), el revenido ha sido de 24 h a $120^{\circ}C$ en el caso de la figura 3 (tratamiento T6) y de 24 h a $120^{\circ}C$, y a continuación 24 h a $163^{\circ}C$ (tratamiento T 73) en el caso de la figura 4).

La mejora aportada por el tratamiento según la invención es, además muy importante. Permite, por ejemplo, en el caso de piezas forjadas macizas en aleación 7075, proceder a una refrigeración natural en aire calmado (correspondiente a una velocidad de refrigeración del orden de $0,5^{\circ}C$ por segundo), sin pérdida notable de características mecánicas con relación a una pieza templada en agua, evitando siempre los inconvenientes del temple en agua (riesgos de oquedades de tem-



ple, necesidad de efectuar un revenido de eliminación de tensiones).

La disminución de la velocidad crítica de temple presenta varias aplicaciones importantes, en particular:

5 1.- Permite aumentar el espesor de las piezas templadas, con igualdad de características mecánicas en el núcleo.

2.- Permite utilizar medios de temple menos energéticos que el agua fría, por ejemplo: agua hirviendo, y disminuir las tensiones residuales de temple, lo que permite suprimir las operaciones de anulación de tensiones sobre productos laminados.

EJEMPLO 3

15 Se mide la dureza Vickers en probetas de aleación 7075 tratada de forma clásica (3 h a 470°C, temple en agua, revenido T6) y según la invención (4 h a 540°C, y después 3 h a 470°C, temple en agua, revenido T6 como anteriormente) para una temperatura de agua de 20° y 100°C.

Se han obtenido los resultados siguientes:

	TEMPLE EN AGUA	DUREZA VICKERS (Kg/mm ²)
20 Tratamiento clásico y revenido T6	- a 20 °C	185
	- a 100 °C	123
	- Disminución de dureza	62
25 Tratamiento según la invención y revenido T6	- a 20 °C	190
	- a 100 °C	184
	- Disminución de dureza	6

30 Se comprueba que el temple en agua hirviendo disminuye la dureza Vickers en aproximadamente 30 %, en el caso de un

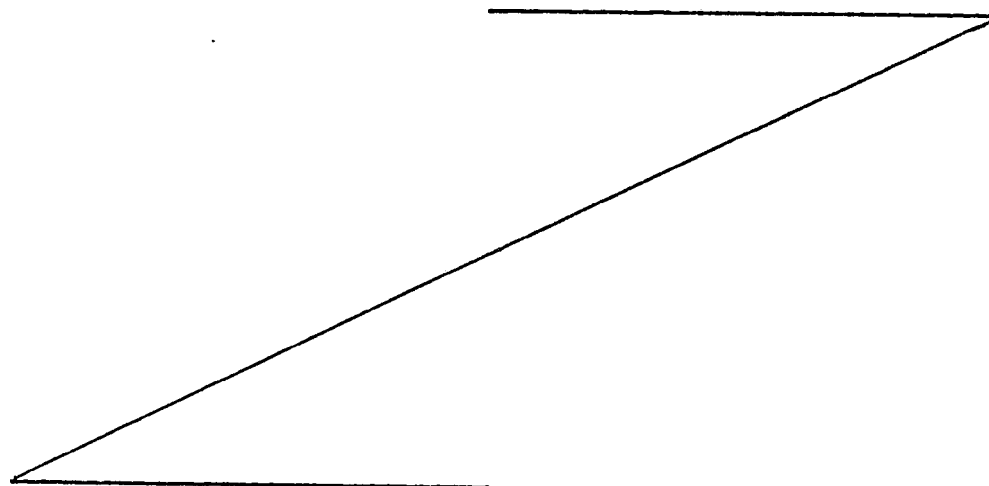


tratamiento clásico, y en apenas 3 %, en el caso de un tratamiento según la invención.

EJEMPLO 4

5 Se han medido las características mecánicas sobre probetas tomadas en el sentido del espesor (transversal-corto) de una chapa de 50 mm de aleación 7075 tratada de forma clásica: puesta en solución 2 h a 470°C, temple en agua fría a 20°C en un caso, temple en agua hirviente en un segundo caso, laminado de 2 % por tracción y revenido de 24 h a 120°C en un caso (estado llamo: T 651) y de 8 h a 105°C, después 24 h a 158°C en 10 un segundo caso (estado T 7351) y tratadas según la invención: puesta en solución 4 h a 540°C después 2 h a 470°C (la temperatura de fusión de los eutecticos se han encontrado igual a 478°C, y la de solidus de equilibris a 532°C), temple en agua 15 fría a 20°C en un caso, temple en agua hirviendo en un segundo caso, laminado de 2 % por tracción y revenido de 24 h a 120°C en un caso (estado T 651) y de 8 h a 105°C después 24 h a 165°C en un segundo caso (estado T 7351).

20 Se obtienen entonces las características siguientes en el sentido transversal-corto.





5

10

15

	TEMPLE EN AGUA	ESTADO T 651	ESTADO T 7351
Tratamiento clásico	20 °C	R 54,8 LE 47,5 A % 4 %	48,2 nb 40,1 nb 5 %
	100 °C	R 47,1 LE 38,5 A % 5,2	40,4 nb 30,5 nb 3,5 %
Tratamiento según la invención	20 °C	R 56,7 LE 48,4 A % 8,7	50,9 nb 42,4 nb 6,2 %
	100 °C	R 55,5 LE 47,6 A % 6,5	48,3 nb 41,5 6,1 %

20

25

Se comprueba que el temple en agua hirviendo sobre tratamiento clásico hace caer las características mecánicas de 10 a 20 %, y de 2 % solamente sobre tratamiento según la invención.

3.- La disminución de la velocidad crítica de temple se acompaña igualmente, como se ve en las figuras 4 a 7 de una disminución mucho menos rápida de la dureza (y, correlativamente, de las otras características mecánicas) cuando la citada velocidad es inferior a la velocidad crítica. En el límite, se puede usar el temple al aire (velocidad de aproximadamente 1°C/segundo en aire pulsado, y de aproximadamente 0,5°C/segundo en aire calmo) sin pérdida notable de características mecánicas.



EJEMPLO 5

Se han medido las características mecánicas en el sentido transversal-corto, de probetas en aleación 7075, tratada de forma clásica y según la invención, y, en los dos casos, templada en aire calmo y después revenido 24 h a 120°C. Se ha encontrado:

	R(hb)	LE(hb)	A %
Tratamiento clásico	34,2	21,2	7,2
Tratamiento según la invención (4 h a 540°C)	48,5	43,0	2,4

- N O T A -

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas, son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que el invento corresponde a una Solicitud de Patente, presentada en Francia, con fecha 7 de enero de 1974, bajo el número 74.00.398, acogiéndose por lo tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor, siendo lo que constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente de Invención por 20 años en España, sobre: PROCEDIMIENTO PARA LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LAMINADOS EN ALEACIONES DE ALUMINIO; caracterizándose por lo siguiente:

1ª.- Procedimiento para la producción de productos laminados en aleaciones de aluminio, que comprenden elementos de aleación habituales tales como Cu, Mg, Si, Zn, así como uno o varios aditivos o impurezas que dan fases secundarias tales como Mn, Cr, Zr, Fe, cuyos productos se caracterizan por una estructura isotropa con granos equiaxiales que dan caracterís



5

10

15

20

ticas mecánicas sensiblemente idénticas en todas las direcciones, por una pequeña velocidad crítica de temple, porque una proporción importante de los precipitados habituales de las fases secundarias estan coalescidos con un tamaño superior a 0,5 μm y por un contenido en hidrógeno susceptible de desprenderse en forma gaseosa hasta la temperatura de líquidus inferior a 0,5 ppm y preferentemente inferior a 0,2 ppm e incluso 0,1 ppm; caracterizado porque dichas aleaciones se someten a un tratamiento térmico, durante un periodo de media hora a 12 horas, a una temperatura T_t superior a la temperatura de solidus T_1 e inferior a la temperatura T_2 de líquidus, seguido de un tratamiento de puesta en solución a una temperatura inferior a T_1 con vistas a resorber las heterogeneidades introducidas por el mantenimiento entre T_1 y T_2 .

2º.- Procedimiento para la producción de productos laminados en aleaciones de aluminio, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los adjuntos dibujos.

Esta Memoria consta de 15 hojas, escritas a máquina por una sola cara.

Madrid -3 ENE 1975

SOCIETE DE VENTE DE L'ALUMINIUM BECHINEY.

A. GOMEZ ACEBO Y CERRA
p. p. Firmados L. Goeta Fernández



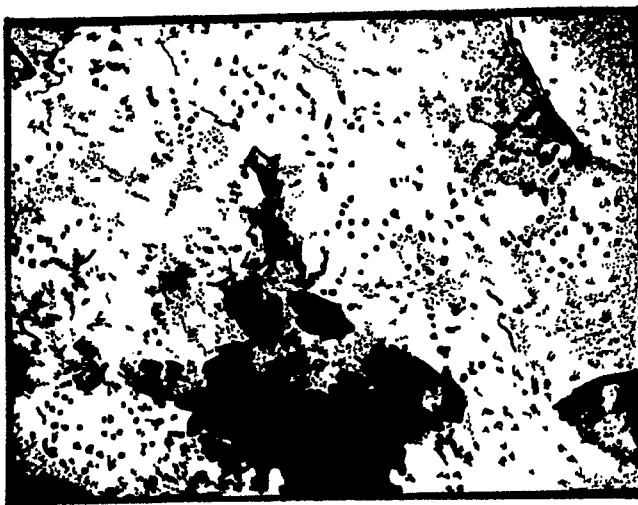
FIG.1a



FIG.1b



FIG.1c



ESCALA
VARIABLE

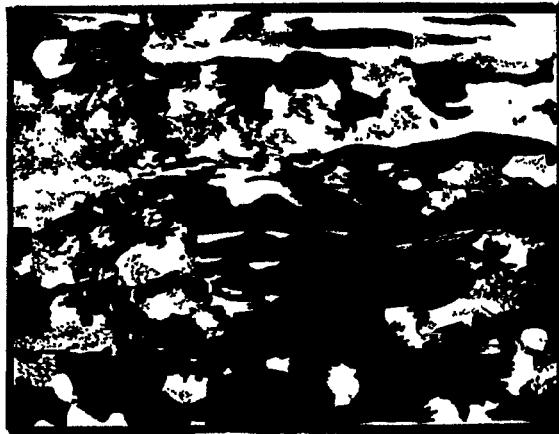
10³ m.m.

21 5/1 1978

J. GOMEZ ACEVEDO Y TORRES
p. p. Firmador L. Costa Fernandez



FIG.2



1
0,

REGLA
VARIABLE

Madrid

L. GOMEZ ACEBO Y MUÑOZ

p. p. Firmado L. Gósta Fernández

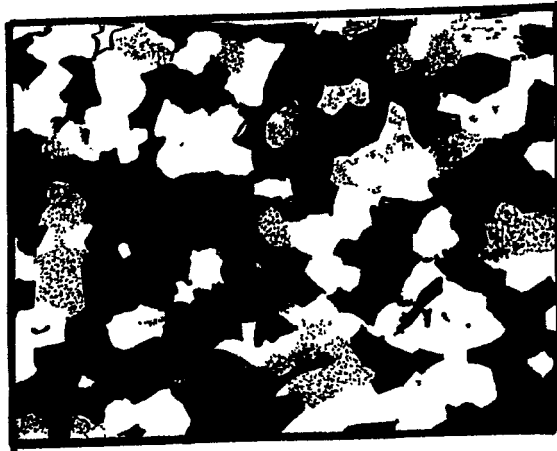


FIG 3a

—
0,1mm



FIG 3b

—
0,05mm



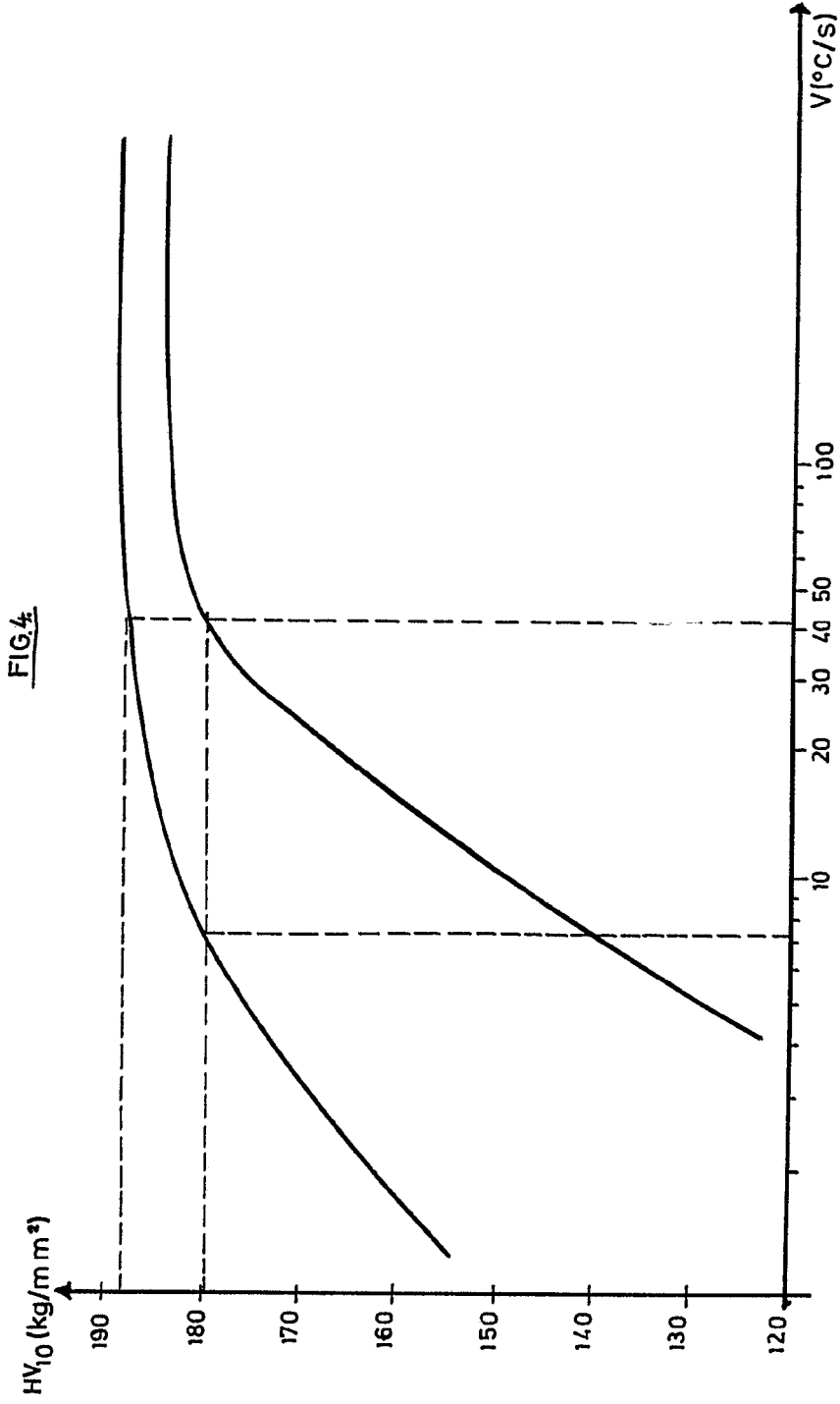
FIG 3c

—
 10^{-3} mm

ESCALA
VARIABLE

L. GOMEZ ACEBO Y CAÑAS
p. Firmador L. Gomez Acebo y Cañas

1975



BLE

1925
Firmado L. Costa F...

FIG.4.

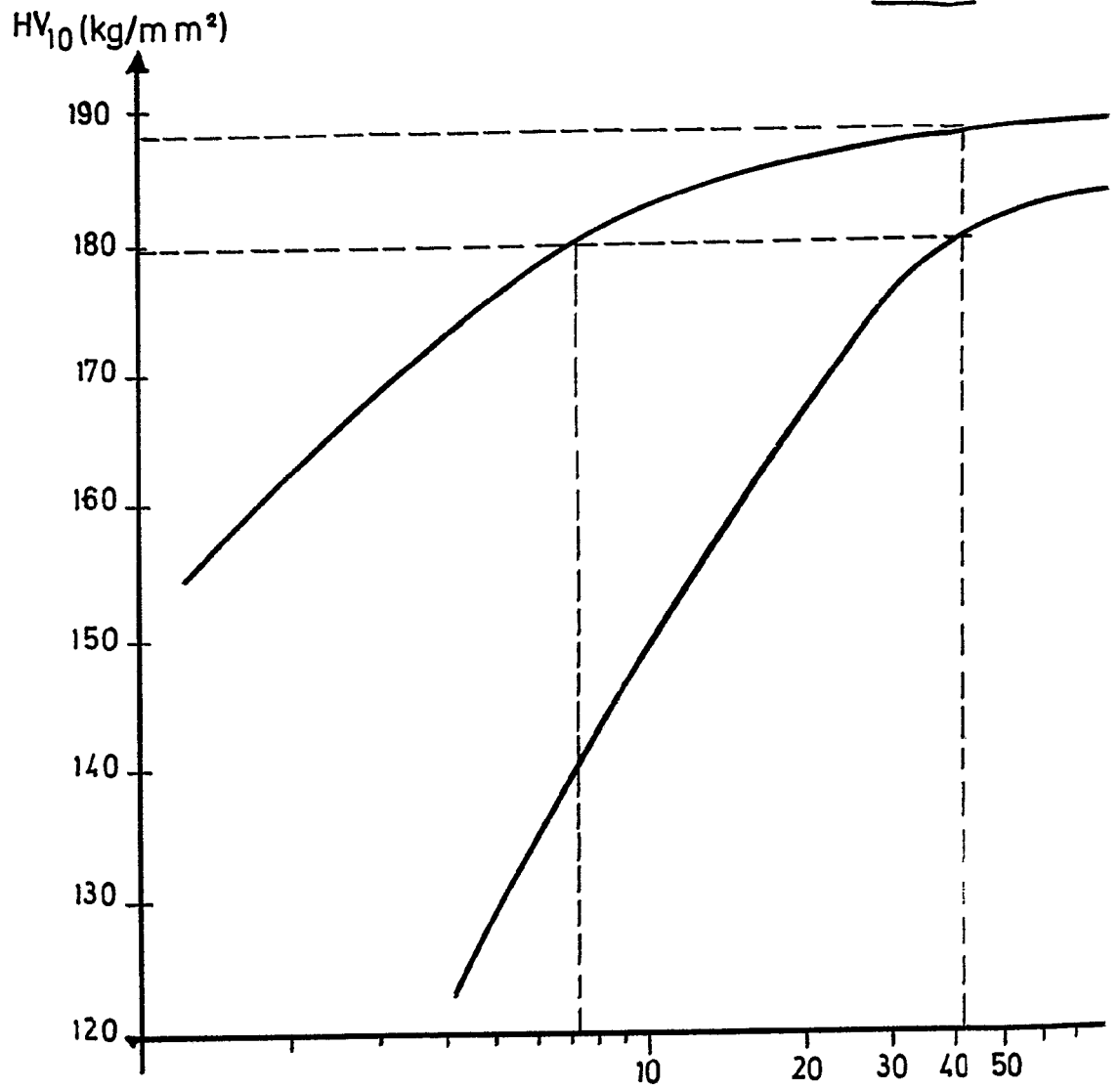
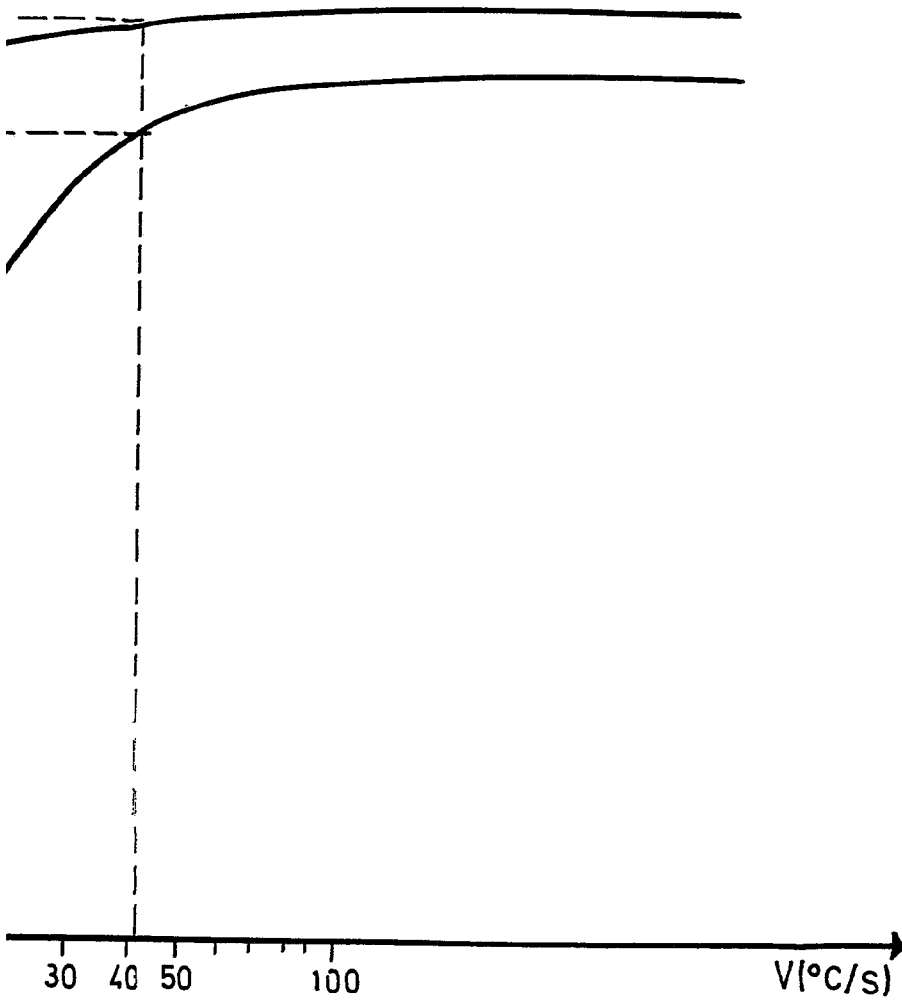




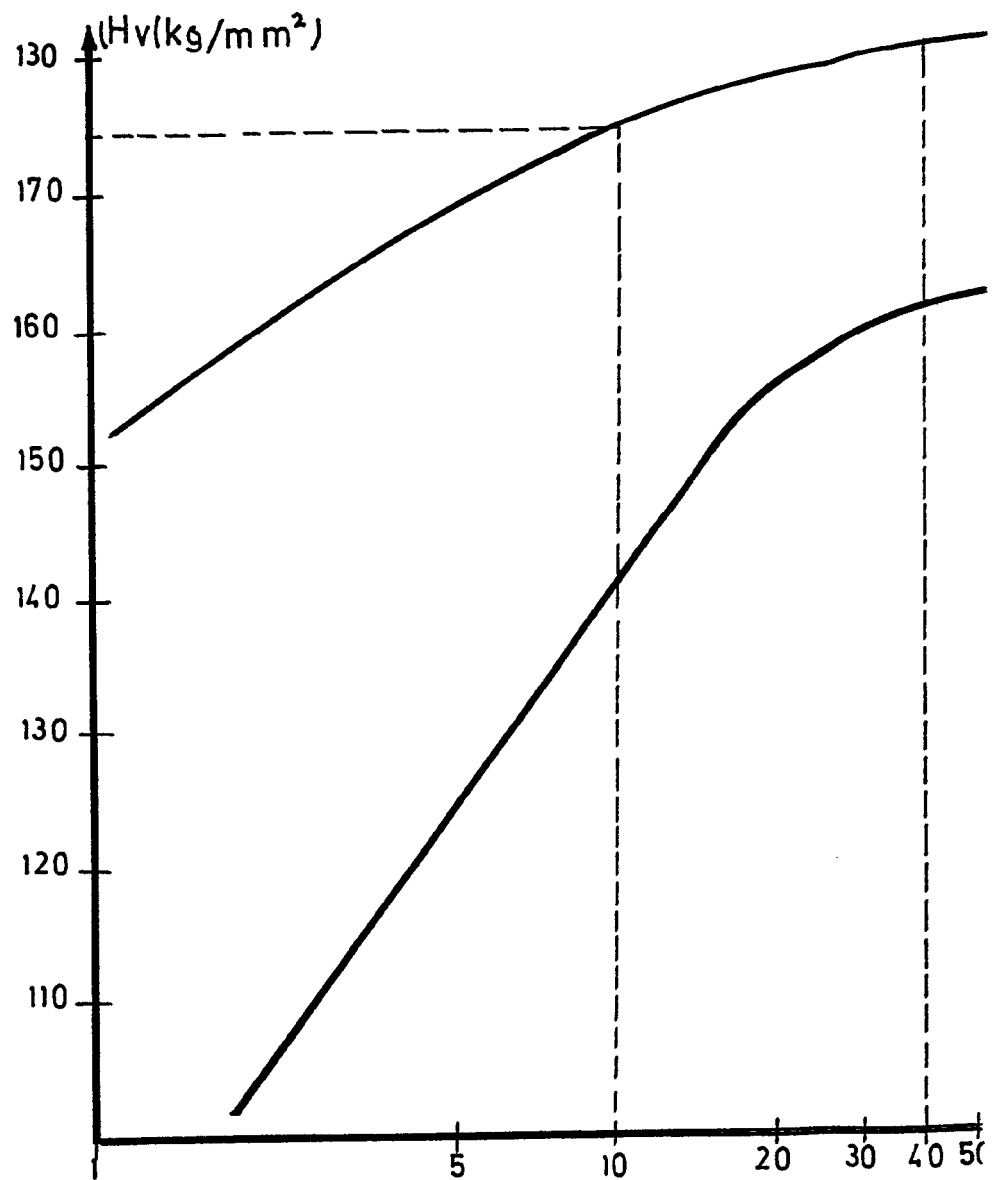
FIG. 4.



LABORATORIO
FÍSICO

10 de Mayo de 1975
MAQUINISTA CONTROL N.º 1
Dr. p. Filmedor L. Guea F. *[Signature]*

FIG.5



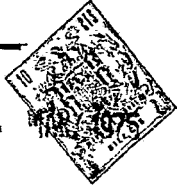
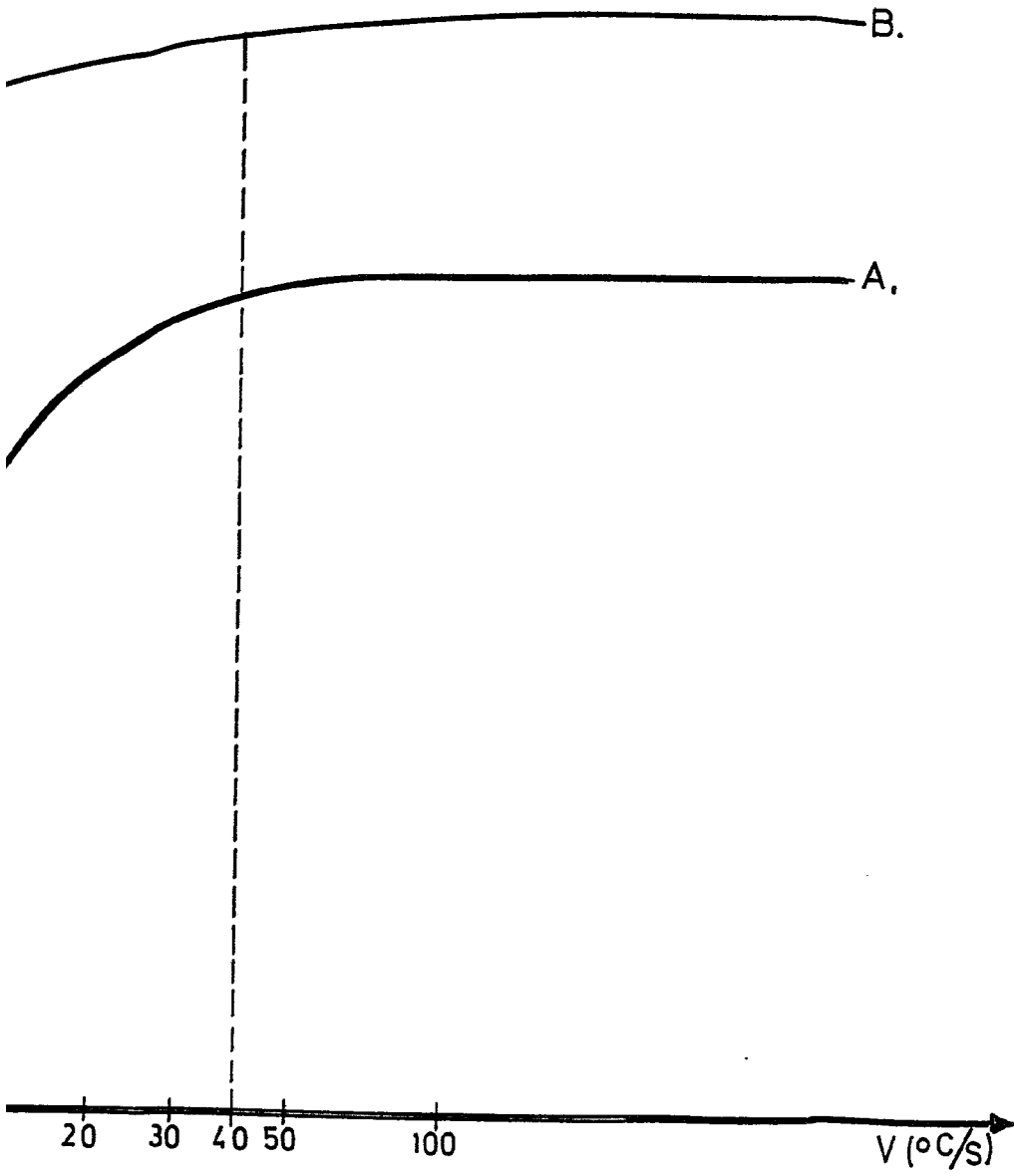


FIG.5

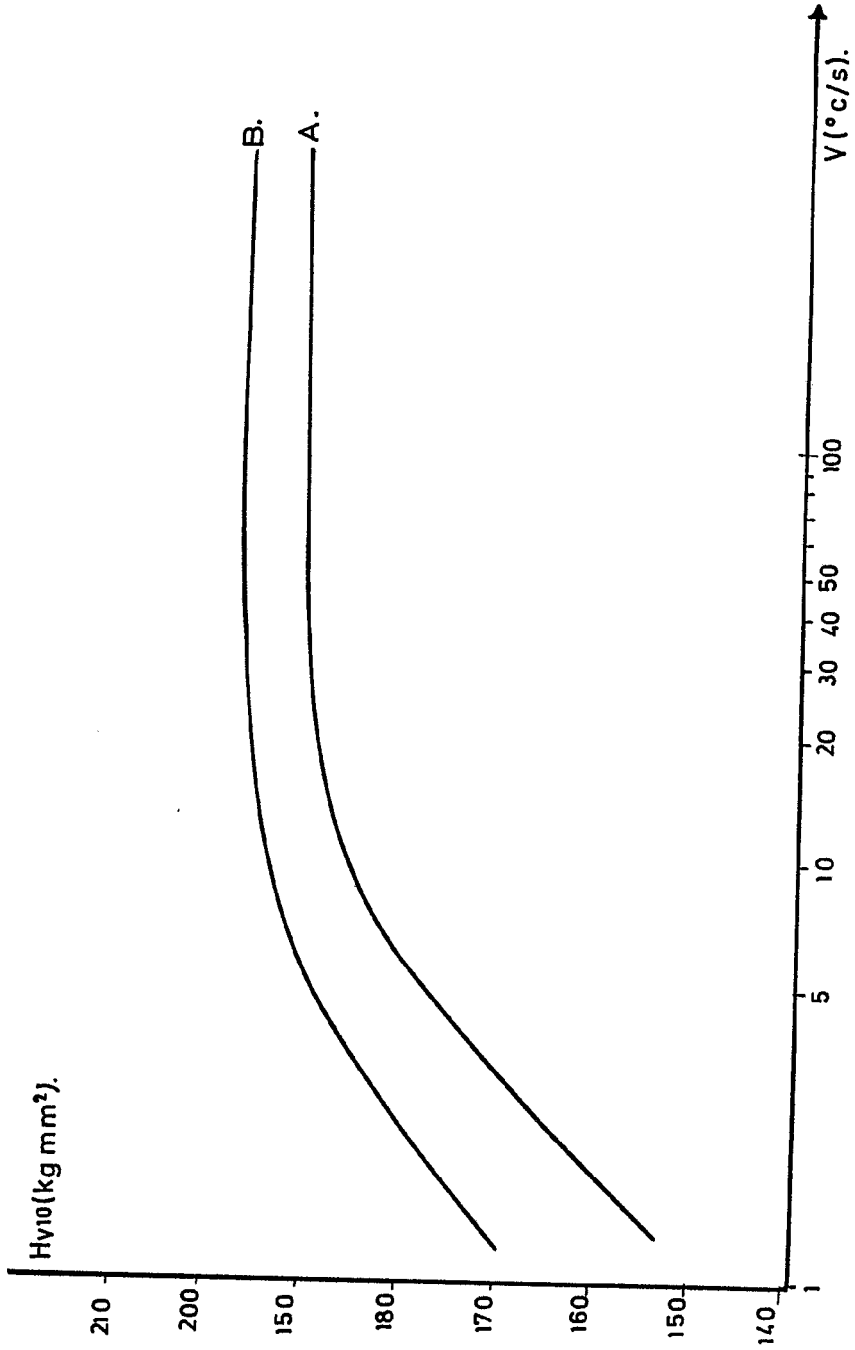


280
11.11.1975

11.11.1975
J. GOMEZ ACEBO Y MOSES
Firmador L. Goite Ferraz



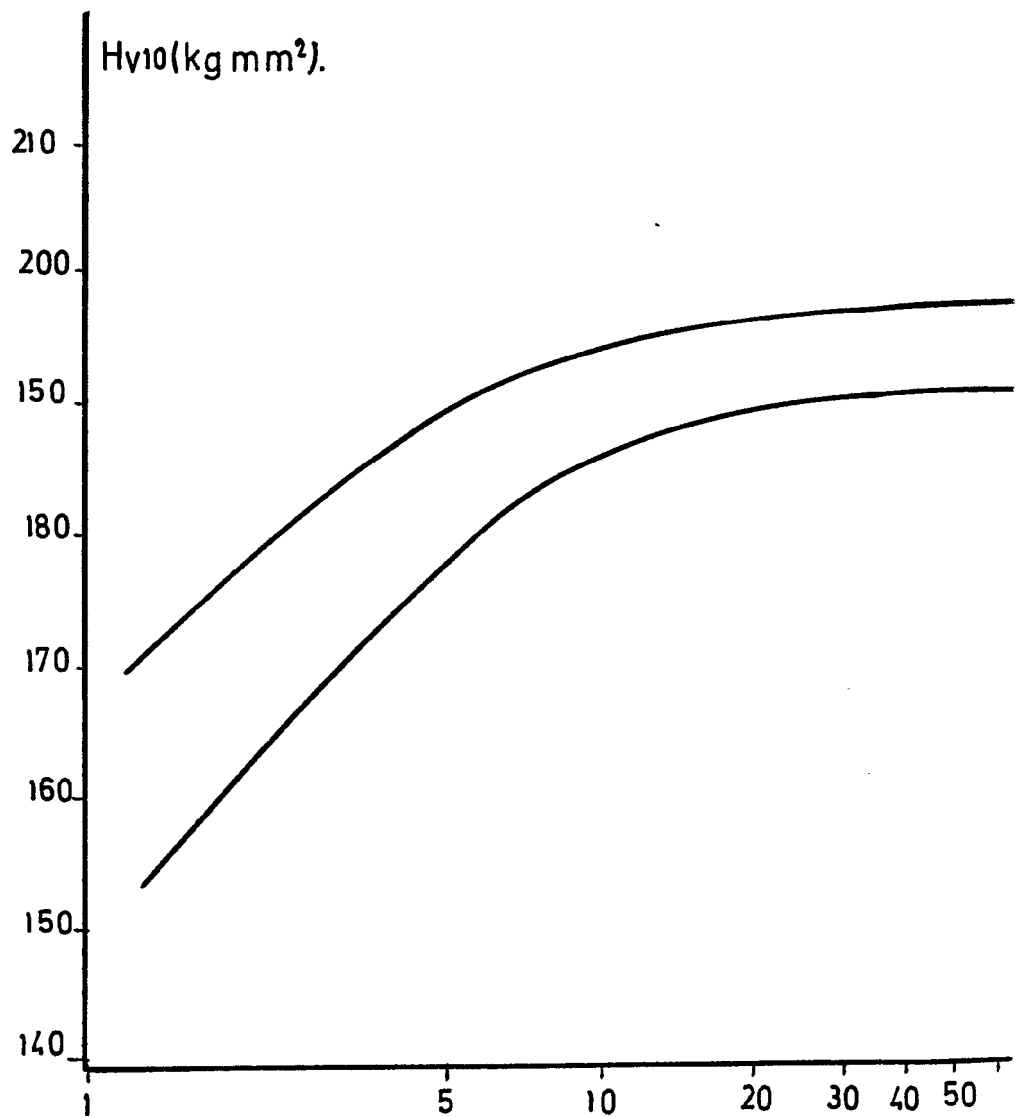
FIG. 6.

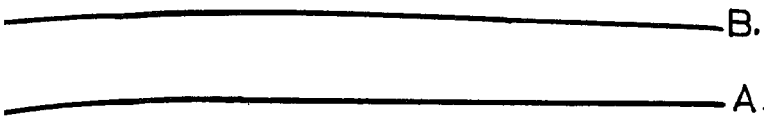
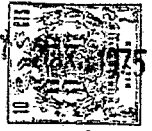


VARIABLE

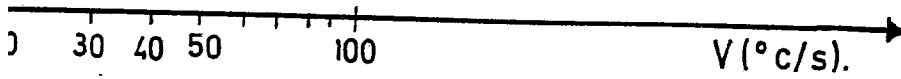
ALUMINUM
L. GOMEZ AREDO Y IRIARTE
P. Elvira de la Cruz
S. de la Cruz

FIG. 6.





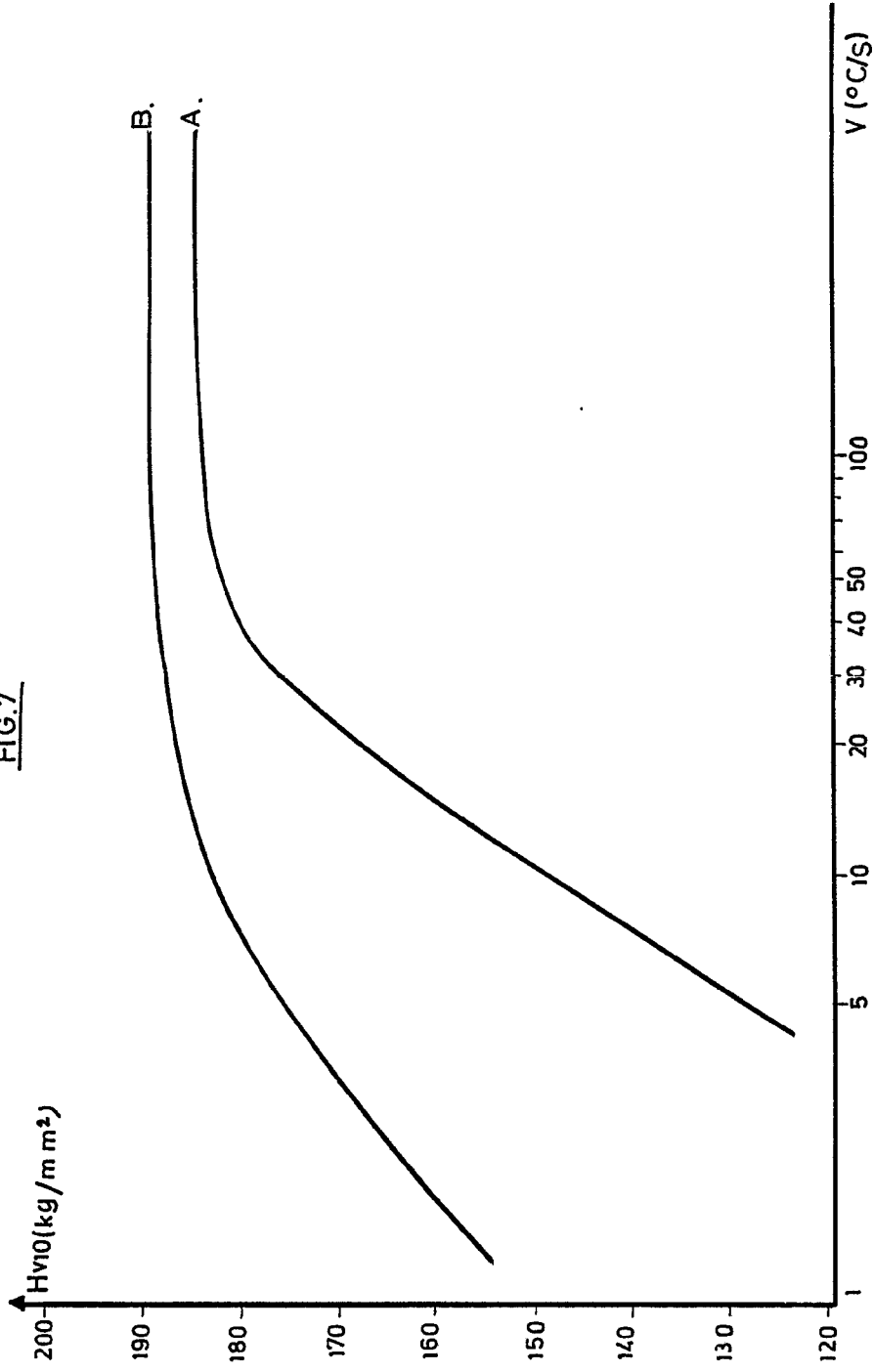
888
VARIABLE



Mañana 11/11/75
L. GOMEZ ACEBO Y MUÑOZ
p. Firmado: L. GOMEZ ACEBO Y MUÑOZ



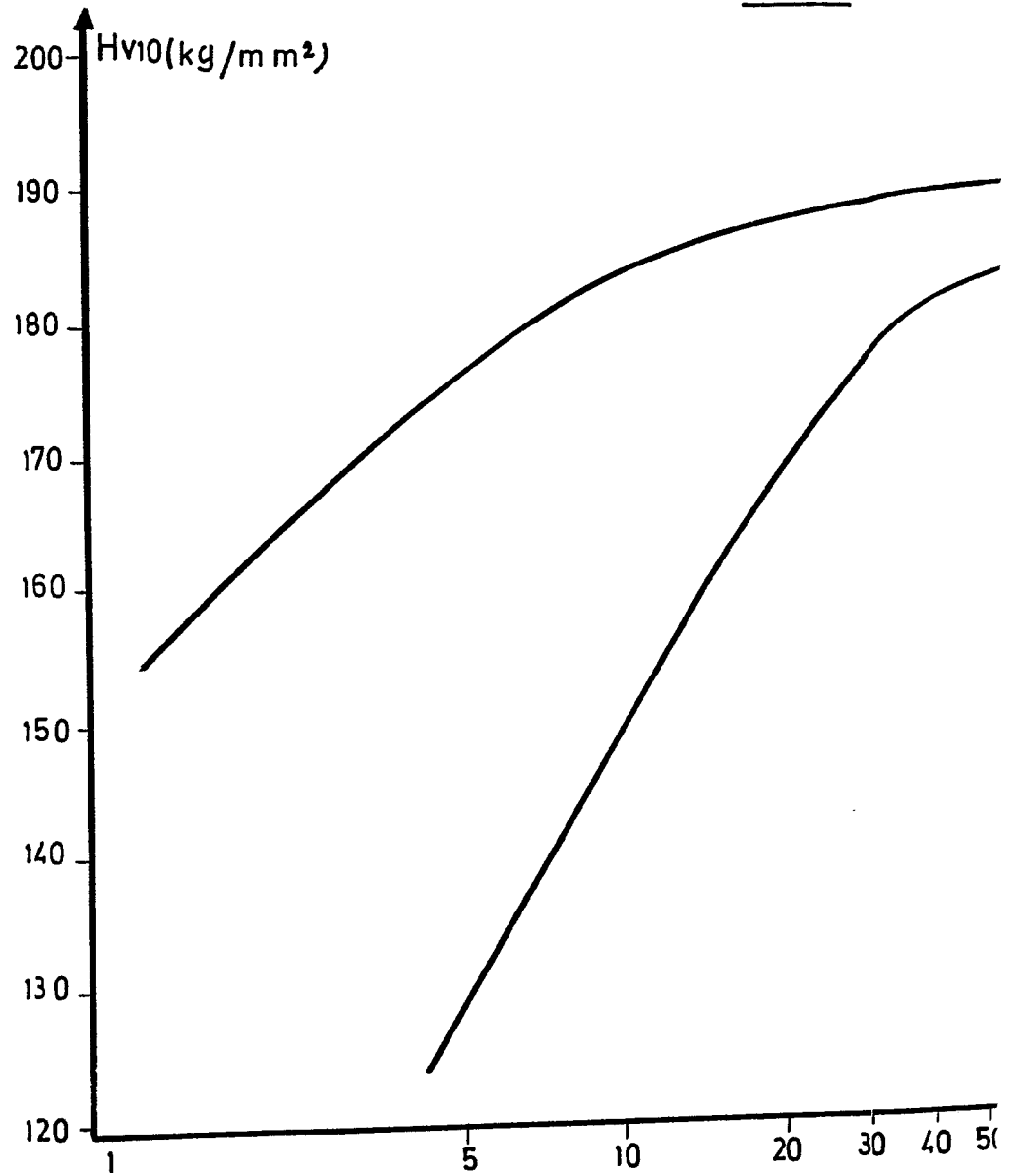
FIG. 7



ES
VARIABLE

Monsieur
J. GONZALEZ S. S. Y C. S. A.
B. P. El Financiero y Social Fomento

FIG.7



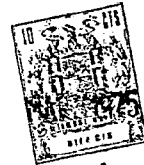


FIG. 7



ESC.
VARIABLE

20 30 40 50 100 V (°C/s)

2 MAR 1975

MzAd

J. GOMEZ ACEBU Y MODER
p. Firmador: G. G. Ferrández