

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE DESARROLLO

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL POR MAQUINADO EN ACEROS
INOXIDABLES AUSTENITICOS

Perla ALVAREZ; Alfredo HEY

Buenos Aires
1983

ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL POR MAQUINADO EN ACEROS
INOXIDABLES AUSTENITICOS

Perla Alvarez*

Alfredo Hey**

RESUMEN

Se presentan resultados complementarios de estudios previos sobre la respuesta de aceros inoxidable austeníticos de uso nuclear (Tipo 304, 313 y 347) a procesos de trabajado mecánico, particularmente a procesos de maquinado. El daño introducido se cuantifica por métodos destructivos y no destructivos y se compara con el resultante de procesos de deformación homogénea como tracción o laminación.

* Investigadora

Departamento de Materiales - C.N.E.A.

** Jefe División Tratamientos Termomecánicos

Departamento de Materiales - C.N.E.A.

INTRODUCCION

Los aceros inoxidables austeníticos constituyen una de las familias de materiales de uso más extendido en la industria nuclear. No existe coincidencia de criterios, sin embargo, sobre los tipos de aceros más convenientes particularmente entre los estabilizados, preferidos en Europa, y los de bajo carbono de uso generalizado en América del Norte. Entre las muchas características factibles de ser estudiadas, resulta de interés la respuesta de este tipo de materiales a la deformación en frío, que en estas estructuras de tipo austenítico es particularmente intensa; no solamente en función del endurecimiento por trabajado sino también por la aparición de estructuras de tipo martensítico por transformaciones inducidas por deformación.

En el caso particular de fabricación de componentes por procesos de maquinado, el arranque de viruta se traduce en la generación de una zona superficial de material deformado de profundidad variable según sean las características del material y del proceso. El comportamiento en servicio del componente puede verse afectado tanto en el aspecto mecánico: resistencia a la fatiga, ductilidad, aparición de fisuras, etc. sino en otros aspectos como resistencia a la corrosión, a la fragilización por hidrógeno, etc.

Se ha considerado conveniente analizar comparativamente el comportamiento de los aceros inoxidables de uso más generalizado en condiciones de deformación tanto homogénea como superficial, considerando asimismo la posibilidad de evaluar el daño a través de métodos no destructivos y de su eliminación a través de tratamientos térmicos.

En este trabajo se presentan resultados de un estudio complementario realizado en un trabajo anterior (1), donde se ha analizado la respuesta de tres aceros a procesos de maquinado de distinto grado de severidad, habiéndose considerado asimismo la influencia de la temperatura de trabajado sobre las propiedades del material deformado.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron aceros tipo 304, 316 y 347 en forma de chapas de espesores diversos de procedencia comercial (Tabla I). Todas las muestras fueron sometidas a un recocido previo en vacfo de una hora a 1050°C con enfriamiento en aire.

Tabla I

	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Nb
347	0,05	1,48	0,44	9,88	17,52	0,36	0,044
304	0,07	1,17	0,43	9,86	18,46	0,6	0,015
316	0,05	1,04	0,60	11,40	16,16	2,08	0,015

Los ensayos de maquinado se hicieron por cepillado a baja velocidad utilizando herramientas con distintos ángulos de corte en tanto que las deformaciones por laminación se realizaron en una laminadora STANAT con cilindros de 120 mm de diámetro a una velocidad de 27 rpm, manteniendo las probetas entre pasada y pasada a temperaturas predeterminadas utilizando baños termostatzados o refrigerados.

Se midió dureza con durómetro Vickers, microdureza con microscopio Leitz y respuesta magnética con un equipo (Inst.

Dr. Forster Mod.1053) para detección de ferrita delta en soldada duras.

Las muestras se observaron por metalografía óptica y microscopía electrónica de barrido.

Los ensayos de tracción se realizaron en una máquina INSTRON de 10 Ton. y las rugosidades superficiales se determinaron con rugosímetro PERTHEN.

RESULTADOS

Laminación: Las Figs. 1a, 1b y 1c muestran para los aceros 347, 304 y 316, respectivamente, los resultados obtenidos luego de una laminación con 20% de reducción a temperaturas entre -70°C y $+90^{\circ}\text{C}$. En línea de trazos se muestra la dureza final en función de temperatura de laminación. En línea de puntos la respuesta magnética, en unidades arbitrarias referidas a una estructura totalmente ferrítica, en función de la temperatura de laminación. Se muestra también, en línea llena, el alargamiento uniforme, en función de temperatura de laminación, medido en un ensayo de tracción de probetas previamente laminadas en las condiciones antedichas.

Maguinado: Utilizando el método previamente descrito (1) se removi6 por cepillado una sección en forma de cuña en probetas de acero 347, de 13 mm de ancho con pasadas de profundidad creciente, utilizando herramientas con ángulos de ataque positivo neutro y negativo según se muestra en la Fig. 2. La Fig. 3 muestra los perfiles transversales de microdureza y la Fig. 4 muestra la variación de profundidad de daño en función de profundidad de corte para los distintas herramientas.

Asimismo, utilizando herramientas con diferente ángulo de corte se obtienen superficies del tipo de las que se indican Fig. 5 y 6.

Se eliminaron capas sucesivas de material en probetas rectangulares utilizando avances y profundidades de pasada decrecientes. La Fig. 7 muestra la variación de la profundidad del daño para cada acero en función de la cantidad de material eliminado por pasada, evaluado por el producto del avance por profundidad de pasada. Las magnitudes de profundidades y avances utilizados y de daños resultantes se muestran esquemáticamente en las Figs. 8 y 9.

A título ilustrativo se muestran los resultados obtenidos previamente por laminación entre -70°C y 90°C con deformación de 0 a 30%. La Fig. 10 muestra la variación de dureza en función de porcentaje de reducción, la Fig. 11 muestra variación de respuesta magnética en función de reducción y la Fig. 12 la variación de respuesta magnética en función de temperatura de laminación.

Asimismo la Fig. 13 muestra la variación de dureza y respuesta magnética luego de recocidos de una hora a temperaturas entre 100°C y 1100°C .

DISCUSION

Aparte de la naturalmente alta capacidad de endurecimiento por trabajado de las estructuras austeníticas, el aumento de dureza por deformación está determinado por la mayor o menor tendencia de la estructura a generar, por deformación, estructuras de tipo martensítico. El grado de estabilidad está determinado por la composición química y puede evaluarse a través de la temperatura Md30 que es la temperatura a la cual se forma 50% de martensita luego de una deformación verdadera de 0.30. Utilizando la expresión de Gladman y otros (2)

$$\begin{aligned} \text{Md30} = & 497 - 462 (\%C+N) - 9,2(\%Si) - 8,1(\%Mn) \\ & - 13,7(\%Cr) - 20(\%Ni) - 18,5(\%Mo) \end{aligned}$$

y considerando las variaciones permisibles dentro de norma se obtienen los siguientes rangos de variación de Md30.

$$\begin{array}{ccc} 347 \begin{bmatrix} - 3,22^\circ\text{C} \\ -110,32^\circ\text{C} \end{bmatrix} & 304 \begin{bmatrix} 15,68^\circ\text{C} \\ -90,32^\circ\text{C} \end{bmatrix} & 316 \begin{bmatrix} - 35,4^\circ\text{C} \\ -161,3^\circ\text{C} \end{bmatrix} \\ & 304L \begin{bmatrix} 38,78^\circ\text{C} \\ -67,22^\circ\text{C} \end{bmatrix} & 316L \begin{bmatrix} - 12,3^\circ\text{C} \\ -138,22^\circ\text{C} \end{bmatrix} \end{array}$$

Para los aceros usados en el presente trabajo los valores de Md30 son:

$$347 ; 13^\circ\text{C} \qquad 304 ; 10^\circ\text{C} \qquad 316 ; -36^\circ\text{C}$$

Esta mayor o menor tendencia a la formación de estructuras martensíticas se refleja claramente en las curvas de endurecimiento tanto en función de temperatura (Fig. 10) como de deformación (Fig. 14) y es asimismo observable en las curvas de respuesta magnética. Los efectos son máximos en el acero 347, intermedios en el 304 y mínimos en el 316. La caída de ductilidad por efecto del trabajado y particularmente por la aparición de martensita es evidenciada por el descenso en elongación uniforme en tracción. El efecto sobre la misma de la variación de temperaturas de trabajado es notorio en la Fig. 1. Este efecto se considera particularmente relevante en operaciones de maquinado, susceptibles a notables variaciones de temperatura por efecto de la generación de calor por deformación por una parte y por otra por el uso de líquidos lubricantes y refrigerantes.

La Fig. 9 muestra el aspecto superficial de las probetas maquinadas con pasadas de severidad (avance y profundidad de pasada) crecientes.

La Fig. 5 muestra el aspecto superficial de probetas maquinadas con herramientas con distintos ángulos de corte. Además de la macrorugosidad caracterizada por los bordes de los surcos dejados por pasadas sucesivas, se observa en el interior de los mismos una microrugosidad donde se diferencian, en términos generales, dos regiones. Una brillante, lisa y con pocos relieves, Fig.6-H₂, y una región mate, áspera y que a ma-

yores aumentos revela, Fig.6-H₃, el aspecto característico de hoyuelos de una fractura dúctil por corte. La proporción de zona mate aumenta a medida que se pasa de ángulo de corte positivo a negativo, es decir, a medida que se "desafila" la herramienta. Esto se traduce, obviamente, en una alteración de las condiciones de corte, que pasa de corte neto a corte con desgarramiento y arrastre de material. De esta mayor deformación resulta una mayor penetración del daño, como lo muestran las Figs. 7 y 8. Es asimismo evidente que las mediciones de rugosidad deben interpretarse cuidadosamente si pretenden utilizarse como indicadores del daño estructural subsuperficial.

Las temperaturas de transformación Md, o eventualmente Ms, son en principio indicadores de la tendencia a endurecimiento, sobretodo por formación de estructuras de tipo martensítico. Es de hacer notar que, como se ha mostrado más arriba, los rangos de variación permisibles son muy amplios; en consecuencia, deberá utilizarse como referencia el valor que surja de la composición específica del material que se utiliza.

Si se considera que, como se ha mostrado previamente, los ensayos de tipo no destructivo, como respuesta magnética, o dureza superficial, no son indicadores fehacientes de la magnitud del daño subsuperficial, es evidente que la forma más correcta de controlarlo es a través de una apropiada especifica-

ción y realización de las pasadas finales de maquinado tal como se muestra en la Fig. 9.

En efecto, conociendo el perfil de penetración del daño para una dada condición de corte es posible especificar las profundidades de corte de las últimas pasadas de forma tal de eliminar en cada pasada el daño introducido en la pasada precedente. El daño final será el correspondiente a la última pasada, el que podrá minimizarse eligiendo condiciones de corte apropiadas. Es interesante hacer notar que una refrigeración abundante no es necesariamente aconsejable ya que la cantidad de martensita formada disminuye con un aumento de la temperatura de trabajado.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta el presente confirman que el grado de endurecimiento por trabajado en aceros inoxidables austeníticos está determinado por la composición química y por variables del proceso como temperatura y cantidad de deformación, y que la eliminación del mismo requiere tratamientos a temperaturas superiores a 500°C.

En el caso particular de maquinado por arranque de viruta la magnitud y profundidad del endurecimiento superficial depende de

- temperatura de trabajado
- tipo de herramienta
- condiciones de corte como: avance y profundidad de pasada
- composición del material

La temperatura M_d , calculable en base a composición química, es un indicador de la tendencia al endurecimiento.

Es limitada la posibilidad de evaluar la magnitud del daño a partir de ensayos no destructivos, como respuesta magnética, o mediciones de rugosidad, dureza superficial, etc.

Es posible limitar la magnitud del daño a través de

una adecuada selección de las condiciones de maquinado en las últimas pasadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por el PMTM - OEA - CNEA y por las empresas FITZNER Hnos. SAIC y DALMINE SIDERCA, y la asistencia técnica del Sr. O. Carpinetta.

REFERENCIAS

1. P. ALVAREZ y A.M. HEY - XXXVIII Congreso Anual de A.B.M., San Pablo, Brasil. Julio 1983, Vol. II, P. 1.
2. T. GLADMAN, J. HAMMOND y F.W. MARSH - Sheet Metal Industries, mayo 1974, 51 (s) 219.

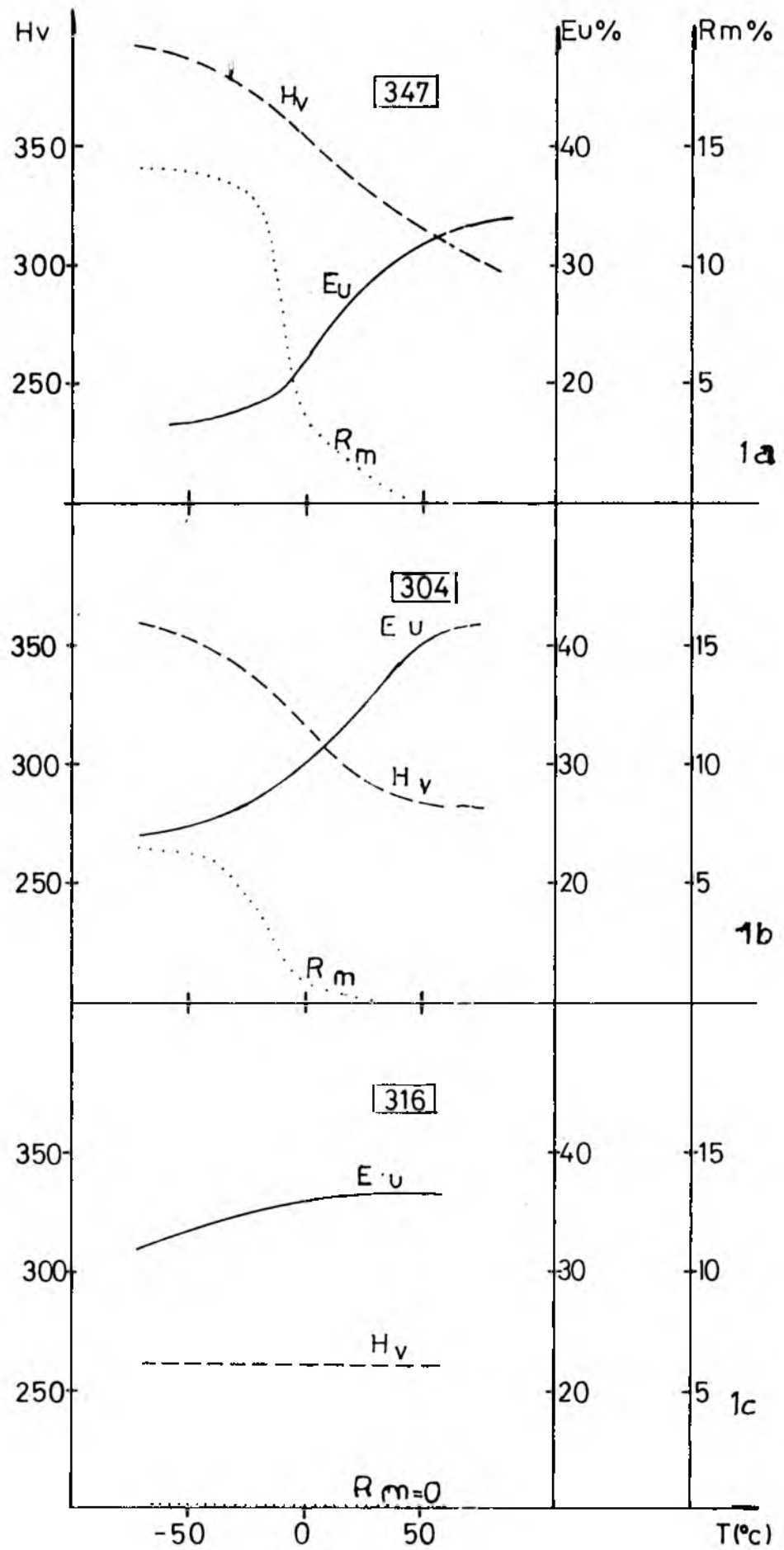
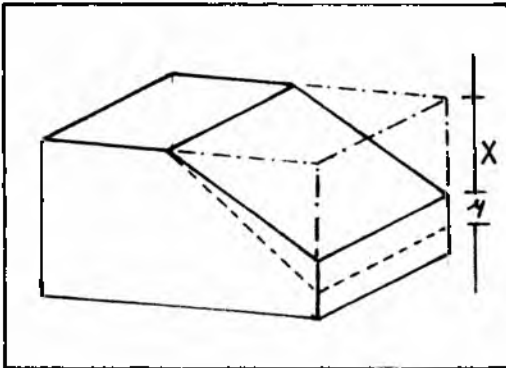


Fig 1: Dureza H_v — Respuesta magnetica R_m Alargamiento uniforme en traccion E_u — en funcion de la temperatura de laminacion. Reduccion 20%

Esquema de probeta para maquinado



perfil de herramienta

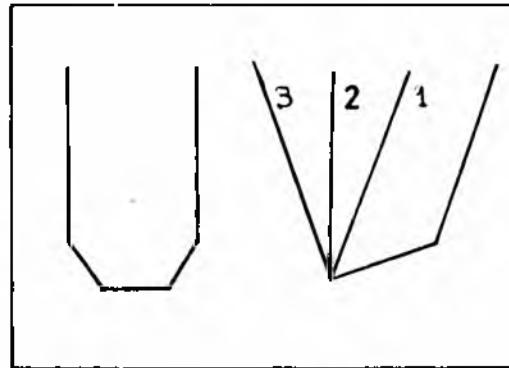


Fig 2

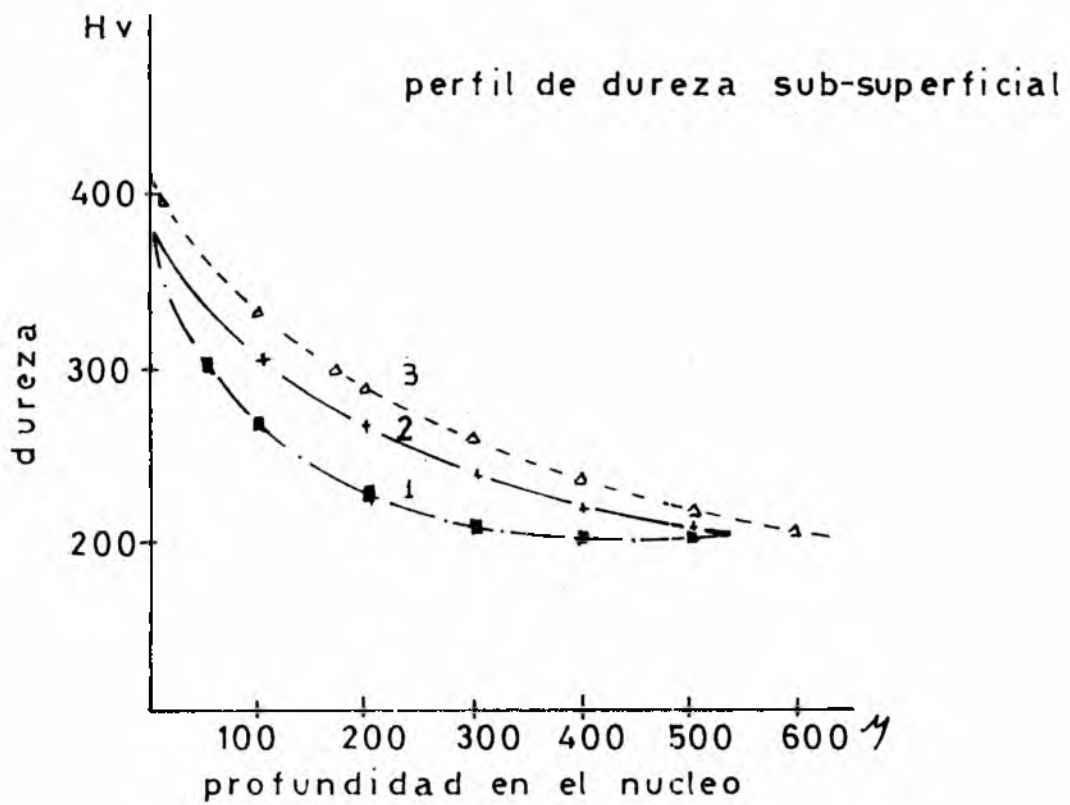


Fig 3

Dureza sub-superficial y profundidad de daño - profundidad de corte

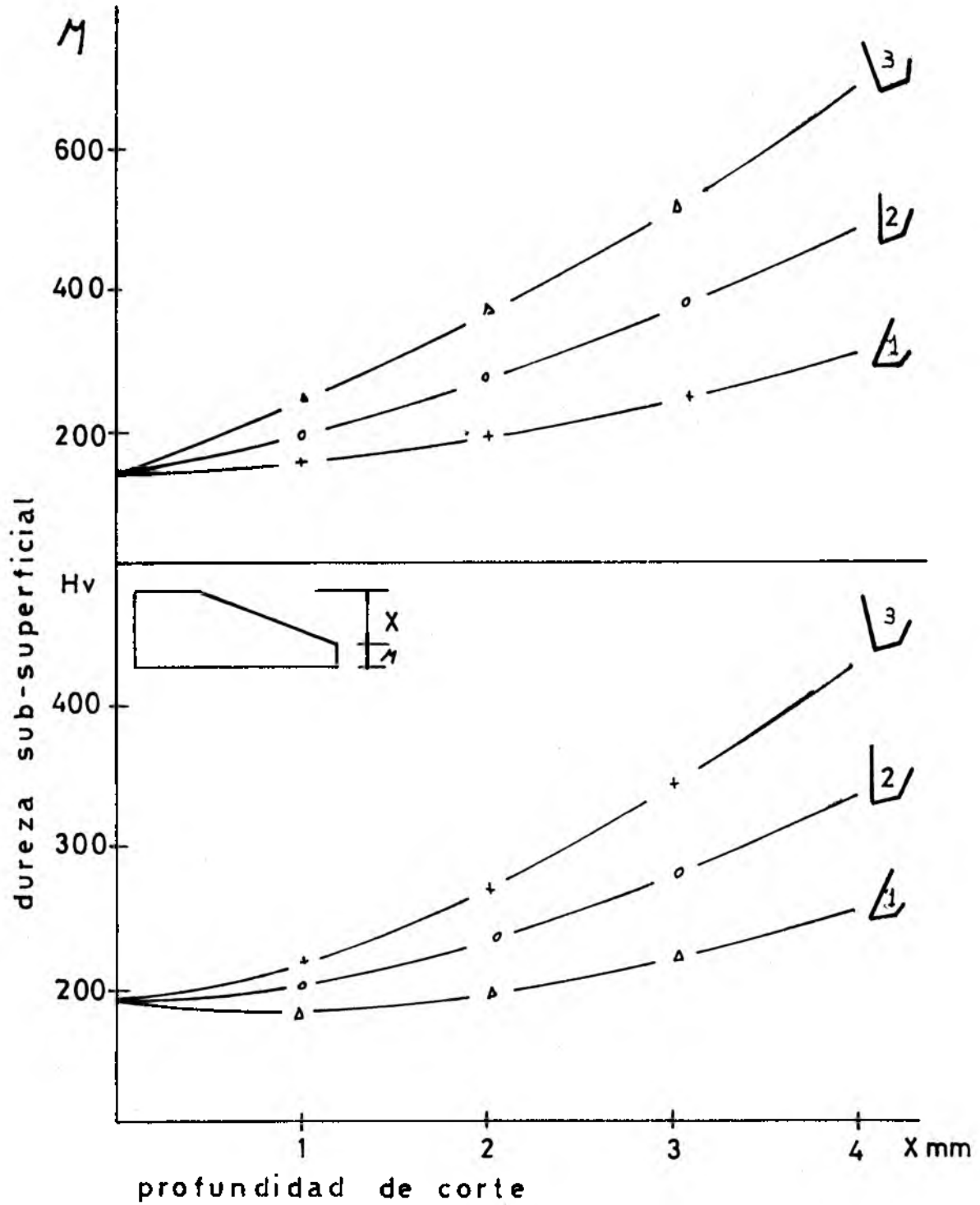


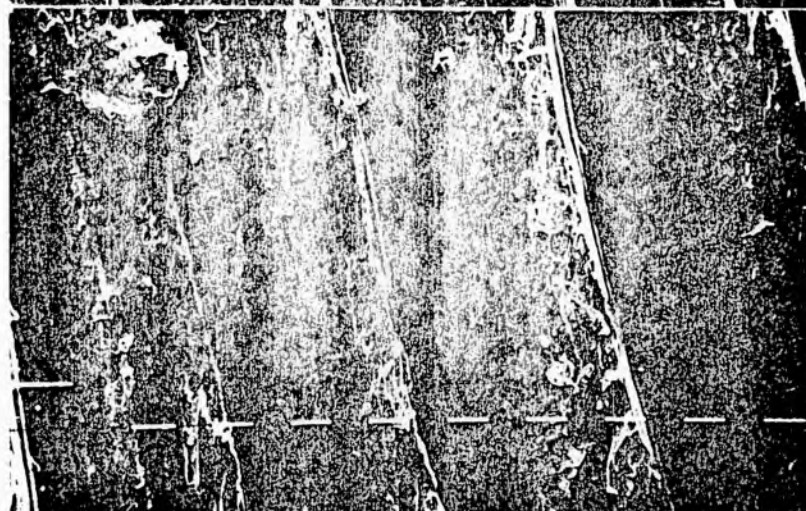
Fig 4

Perfil Superficial Introducido por el Maquinado con Diferentes Herramientas

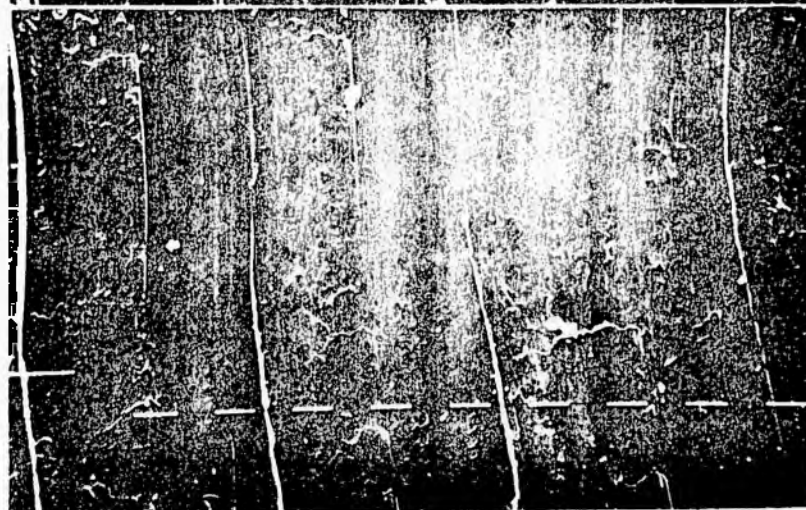
Fig 5



H 3
Rt=100 μ m



H 2
Rt= 57 μ m

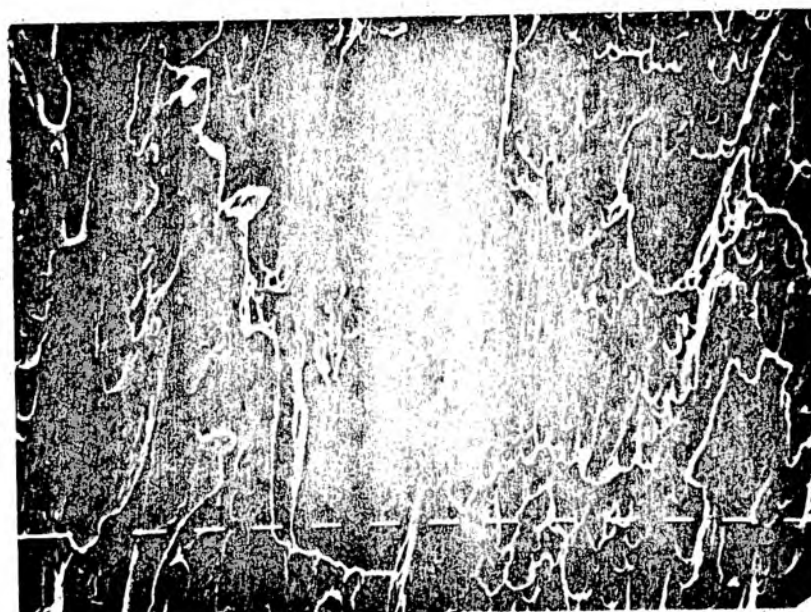


H 1
Rt= 3.0 μ m

50x

Deformación Típica Introducida en el Maquinado

Fig 6



H3



H2

400 x

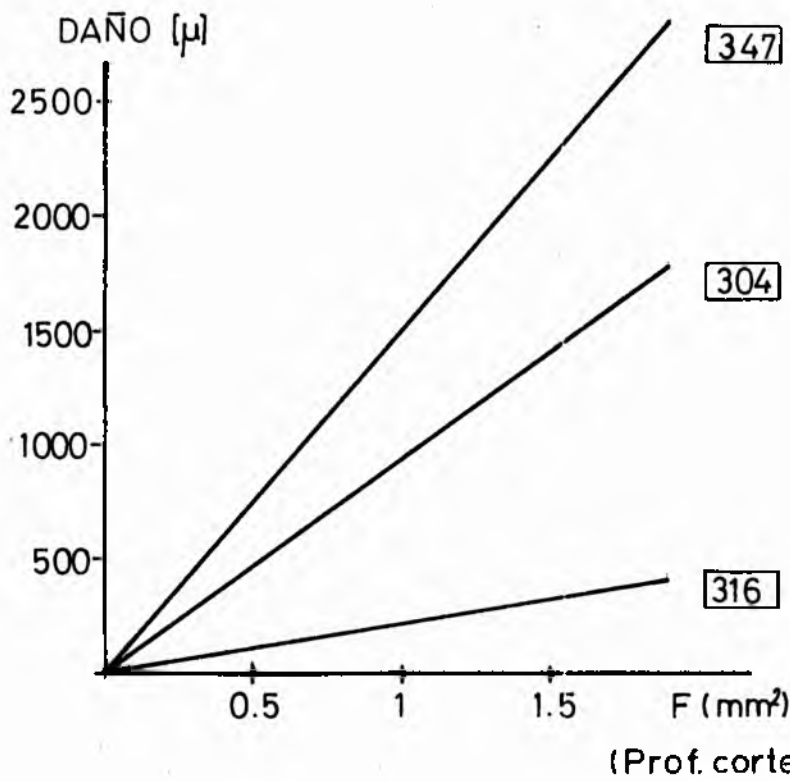


Fig 7: Material eliminado vs. Profundidad de daño en el material

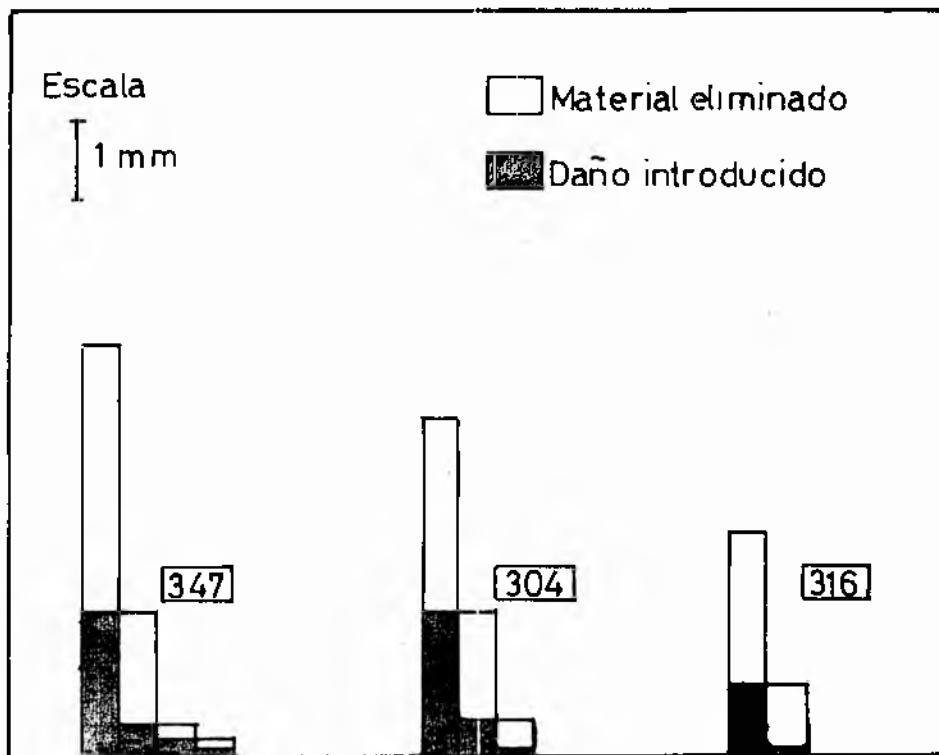
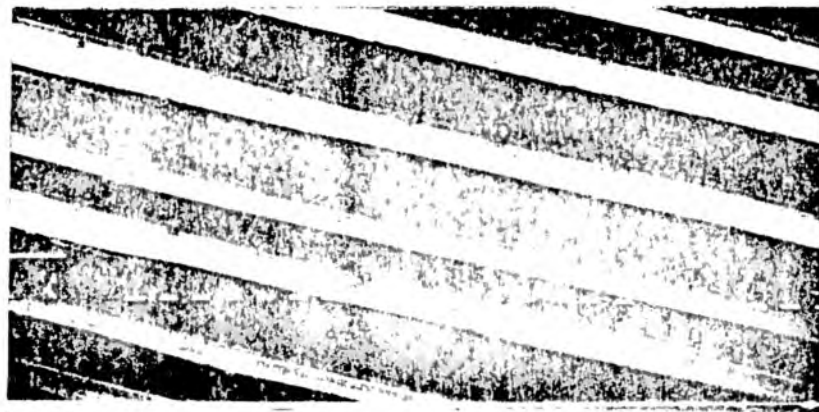


Fig 8: Esquema del maquinado en los aceros estudiados

MAQUINADO

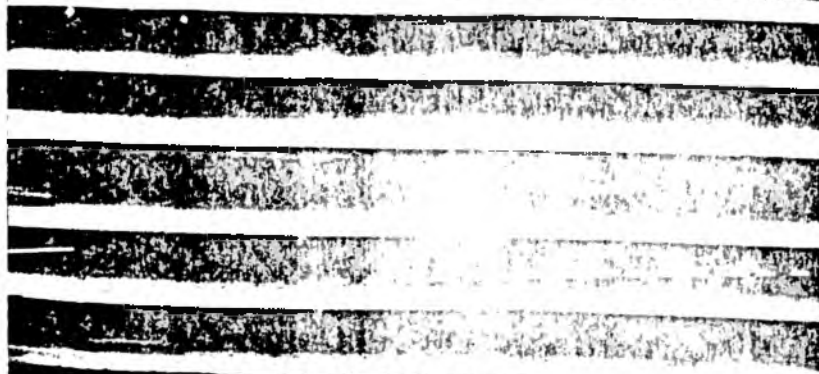
fig. 9



Profundidad Pasada
2.5 mm

Avance 0.6 mm

Rt = 138 μm



Profundidad Pasada
1.2 mm

Avance 0.5 mm

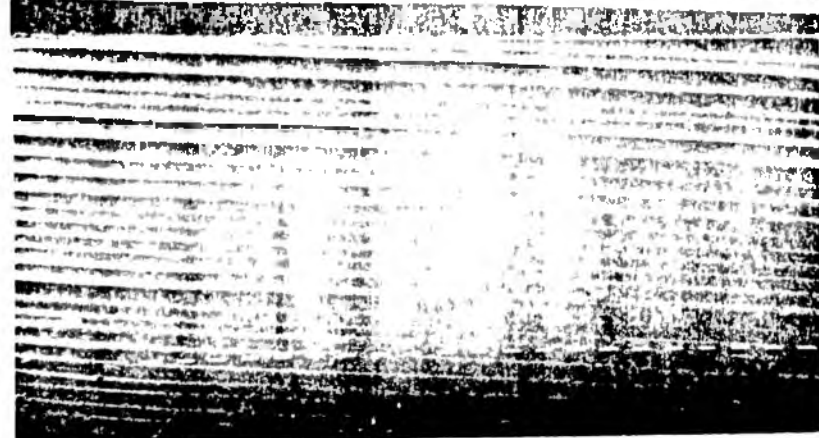
Rt = 102 μm



Profundidad Pasada
0.3 mm

Avance 0.3 mm

Rt = 61 μm



Profundidad Pasada
0.1 mm

Avance 0.05 mm

Rt = 32 μm

20x

Dureza-porcentaje de reducción

ACERO 347

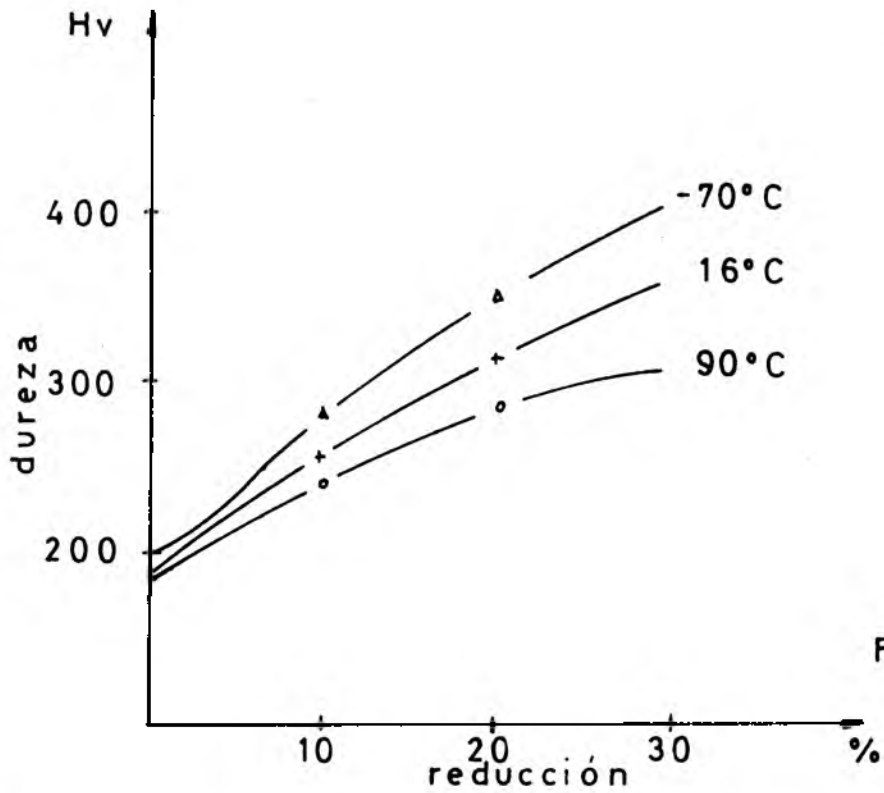


Fig 10

Porcentaje de respuesta magnética - reducción por laminación a -70°C
ACERO: 347 - 304 - 316

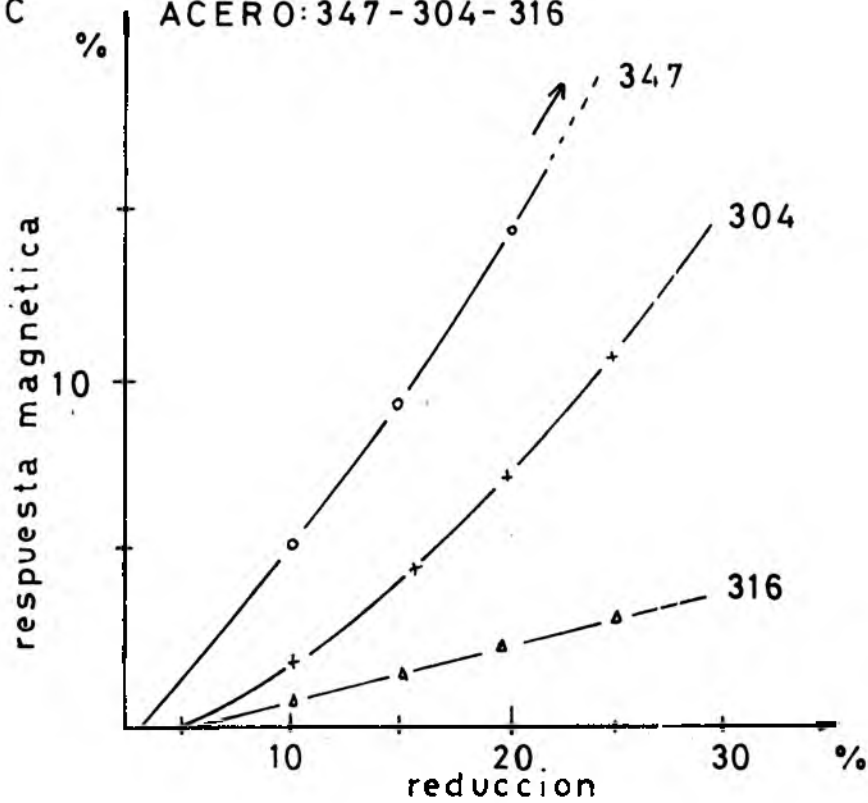


Fig 11

Porcentaje de respuesta magnetica - temperatura de laminacion

ACERO 347

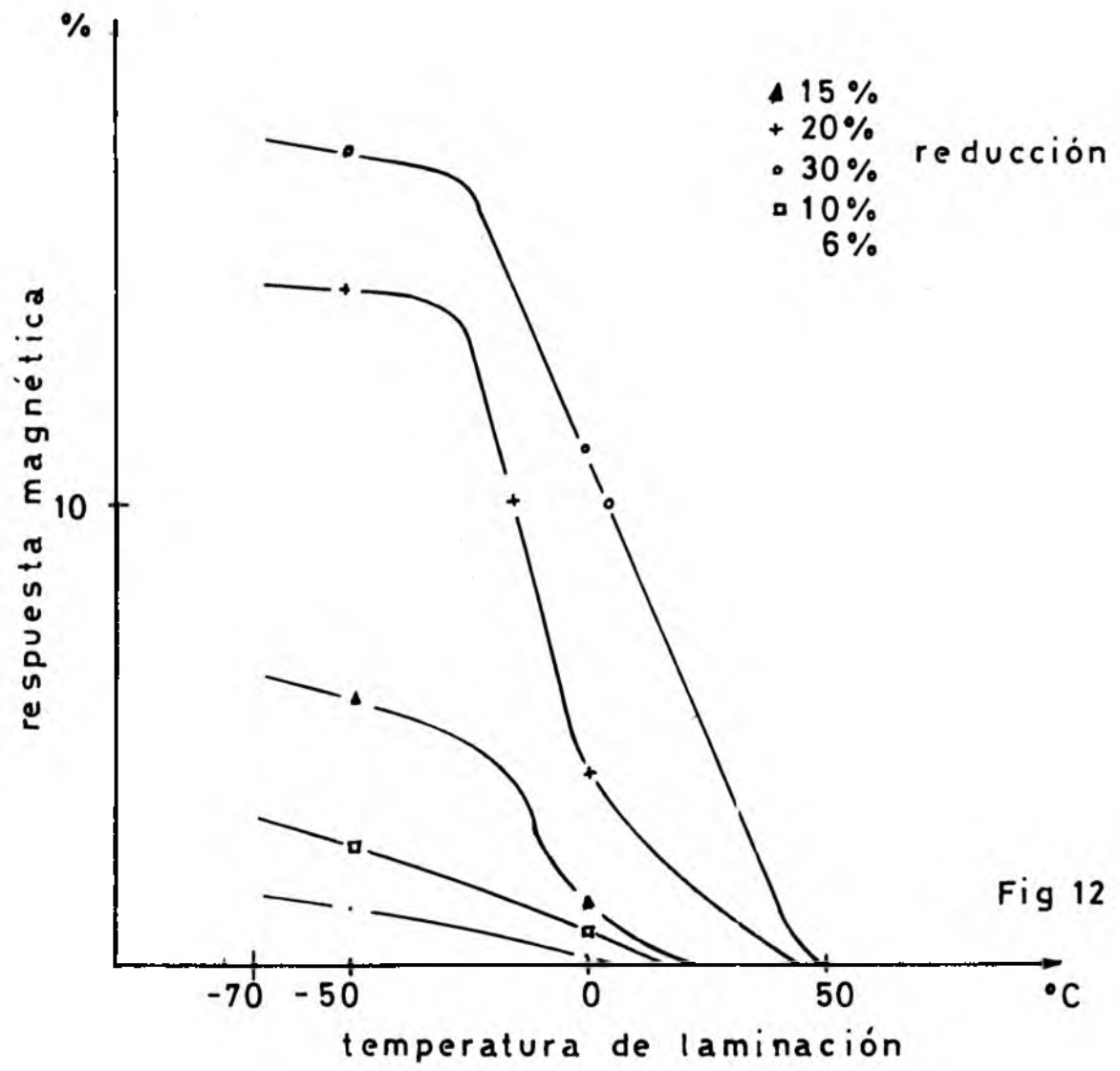
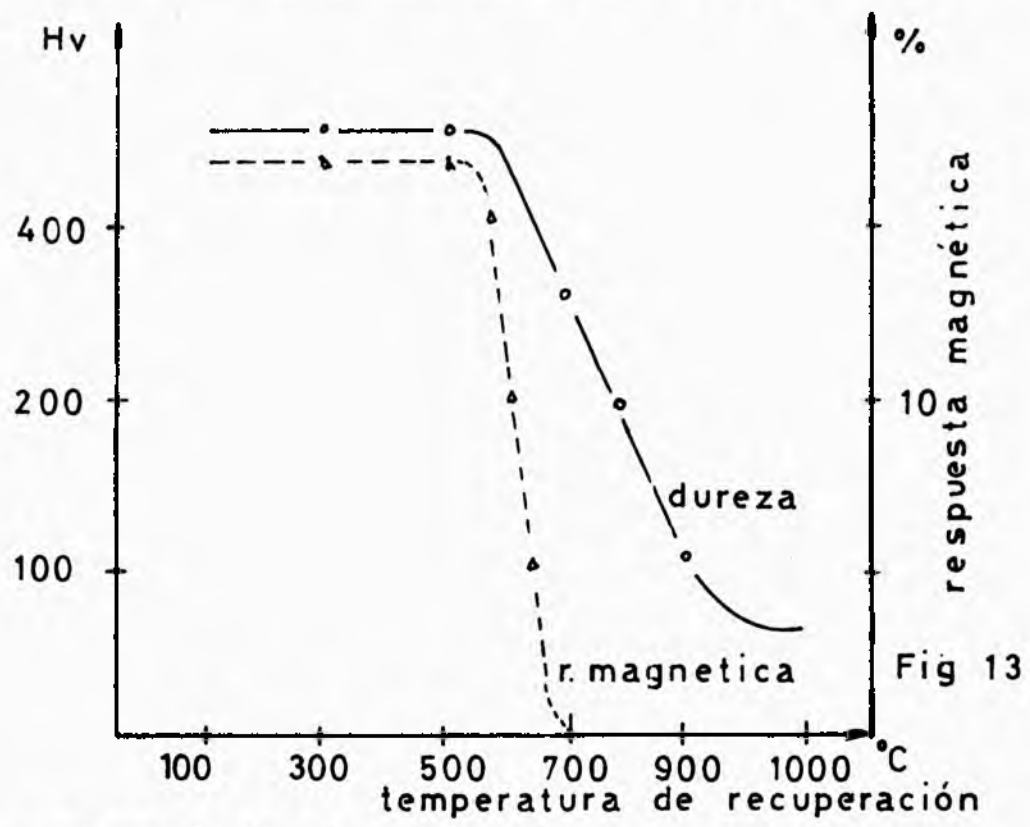


Fig 12

Dureza y respuesta magnética - temperatura de recuperación
 tiempo: 1 hora deformación inicial 30% a -70°C



Dureza - porcentaje de reducción a -70°C
 ACERO: 347- 304- 316

