

TRATAMIENTO TERMICO DE COMPONENTES ELASTICOS PARA
COMBUSTIBLES NUCLEARES

Perla ALVAREZ

Alfredo M. HEY

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

GERENCIA DE DESARROLLO

DEPARTAMENTO MATERIALES

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1984

INTRODUCCION:

El material en estudio DIN 1-4980, es el empleado en la fabricación de las zapatas elásticas del tubo soporte y zapatas elásticas del separador versión III, del elemento combustible para la Central Nuclear Atucha I.

Este acero austenítico al Cr-Ni, es endurecible por precipitación, debido a su contenido de Ni, Al y Ti. Es recomendable, para todas las aplicaciones, que requieran alta resistencia mecánicas y a la corrosión a temperaturas del orden de 700°C. La temperatura de trabajo del reactor es 320°C.

El análisis típico de este material es:

ELE- MENTO	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	V	Al	B
% en peso	0,05	1,00	0,025	0,025	0,5	15,0	25,5	1,25	2,10	0,25	0,25	0,006

El material que se recibe para la fabricación de piezas, tiene un tratamiento previo de solubilizado, realizado por el fabricante, a 1100°C con enfriamiento al aire y un laminado en frío con 15% de reducción.

Una vez fabricadas las piezas, se las somete a un proceso de envejecimiento a 720°C durante 16 hs. en atmósfera inerte o en vacío con enfriamiento posterior "al aire".

Estos tratamientos de envejecimiento, dan al material una alta resistencia, por formación de precipitados de Ni₃ (TiAl) comunmente conocidos en la bibliografía como fase γ' .

El envejecimiento de este tipo de aceros depende de:

- i) Fracción en volumen de γ' .
- ii) Coherencia de la deformación alrededor de las partículas de γ' .
- iii) Orden interno de la fase γ' .

En general, un aumento en el contenido de (Al + Ti) trae como consecuencia un aumento en el envejecimiento, debido al incremento de la fracción en volumen precipitada.

Asimismo el desorden entre la fase γ' y la matriz austenítica, aumenta al aumentar la cantidad del Ti, que reemplaza al Al en γ' . Esto es debido al mayor tamaño atómico del Ti con respecto al Al. Consecuentemente la intensidad del envejecimiento aumenta con la disminución de la relación Al/Ti.

Como las propiedades finales de las zapatas elásticas, dependen del del tratamiento térmico al que son sometidas, es importante determinar el margen de las especificaciones con las

que se trabaja: tiempo, temperatura y velocidad de enfriamiento.

Asimismo es de interés tecnológico, conocer como pueden afectar, a las propiedades mecánicas, las variaciones de dichos parámetros.

Los posibles problemas que se pueden presentar son:

- a) Tratamientos interrumpidos, a temperatura constante.
- b) Tratamientos a mayor y menor temperatura que la especificada.
- c) Variaciones en la velocidad de enfriamiento.
- d) Recuperación de piezas tratadas a temperaturas mayores y menores que la recomendada.

El tratamiento en planta se realiza en vacío, o atmósfera inerte, a $720^{\circ}\text{C} \pm 15$. El enfriamiento es "al aire", manteniendo el vacío hasta temperatura ambiente.

1. ESPECIFICACIONES

El material es recepcionado en forma de flejes cumpliendo las siguientes especificaciones:

$$\begin{aligned}\bar{V} \text{ max} &\geq 77,9 \text{ kg mm}^{-2} \\ \bar{V} 0,2 &\geq 66,97 \text{ kgmm}^{-2} \\ \epsilon \text{ rot} &\geq 10\% \\ \text{HV}_5 &\leq 300\end{aligned}$$

y las piezas fabricadas y envejecidas deben cumplir:

$$\begin{aligned}\bar{V} \text{ max} &\geq 105 \text{ kg mm}^{-2} \\ \bar{V} 0,2 &\geq 90 \text{ kg mm}^{-2} \\ \epsilon \text{ rot} &\geq 9\% \\ \text{HV}_5 &\geq 320\end{aligned}$$

2. METODO EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizaron sobre probetas experimentales, Fig. 1. Dichas probetas se tallaron según la dirección de laminación.

En algunos casos que se consideran más adelante, se utilizaron resultados de ensayos de dureza y tracción, obtenidos del tratamiento de probetas normalizadas DIN 50114, talladas en el sentido de laminación.

Los valores de \bar{V} y $\epsilon \%$ rot obtenidos en ambos casos son comparables.

2.1 TRATAMIENTOS ISOTERMICOS

La temperatura de tratamiento fue la especificada para el proceso: $720^{\circ}\text{C} \pm 15$, variándose los tiempos de tratamien-

to entre 1 hora y 40 horas.

Los resultados obtenidos se grafican en las Figs. 2 y 3.

2.2 EVOLUCION DE PROPIEDAD DE DUREZA

Se evaluó la dureza en tratamientos isócronos e isotérmicos. Los resultados se grafican en la Fig. 4.

2.3 RECOCIDOS INTERRUMPIDOS

La temperatura de trabajo fue 720°C. Los ciclos de tratamiento son consignados en la Tabla II.

TABLA II

t_1 horas	t_2 horas	$\bar{V}_{0,2}$ kg mm ⁻²	\bar{V}_{max} kg mm ⁻²	ϵ_{rot}	HV ₅
1/2	15 1/2	104,4	120,4	10,6	415
2	14	104,2	119,8	10,6	418
6	10	104,2	120,4	10,2	421
8	8	104,5	121,3	12,0	421
10	6	107,0	117,5	11,7	417
14	2	104,5	120,4	10,6	420

2.4 VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO

Se ensayaron distintas velocidades de enfriamiento en material recocido a 720°C durante 16 horas.

TABLA III

Tipo de enfriamiento	$\bar{V}_{0,2}$	\bar{V}_{max}	ϵ_{rot}	HV ₅
I. Enfr. al aire	105,9	121,5	10,9	410,3
II. 30°C / hora	108,2	120,9	10,5	414,0*
III. 15°C / hora	110,3	126,2	9,6	420,0

2.5 TRATAMIENTOS ISOCRONOS

Para tiempo constante $t = 16$ horas se estudia la influencia de la temperatura. Valores obtenidos en Figs. 5 y 6.

2.6 METALOGRAFIA OPTICA

Se utilizaron los métodos clásicos para determinación de

tamaño de grano. Con diferentes tiempos de recocido no se observó crecimiento de grano en tratamientos a 720°C. Tampoco hay diferencias con el tamaño de grano inicial, ASTM=8.

A tiempos crecientes de tratamientos se observa la desaparición paulatina de la subestructura de deformación, Fig.8.

2.7 MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO

Se observó que a tratamientos a alta temperatura había una distribución de precipitados en borde de grano, Fig.9.

La composición de los precipitados fue analizada por EDAX y se determinó que eran carbonitruros y sulfuros de titanio, Figs. 10, 11 y 12. Estos resultados se confirmaron por microsonda.

2.8 MICROSONDA ELECTRONICA

Se confirmó que los precipitados eran carburos de titanio y sulfuros de titanio. Además que el Ni y el Cr solo se encuentran en la matriz, Figs. 13 a 18.

2.9 ENSAYOS DE RETRATAMIENTO

Se ensayaron probetas a 620°C durante 16 horas. Las probetas así tratadas se dividen en 3 lotes:

- a - Sin tratamiento posterior
- b - Tratamiento isotérmico a 720°C durante 3 horas
- c - Tratamiento isotérmico a 720°C durante 16 horas

Se evaluaron los resultados con ensayos de tracción y dureza.

TABLA IV

TRATAMIENTOS	$\bar{V}_{0,2}$ kg mm ⁻²	\bar{V}_{max} kg mm ⁻²	ϵ_{rot} %	HV ₅
a	96,9	109,1	8	390
b	98,6	115,0	8,5	436
c	103,1	117,5	12,5	456

El valor de elongación a rotura aumentó considerablemente para las re-tratadas a 720°C - 16 horas. Los valores de $\bar{V}_{0,2}$ y ϵ_{rot} obtenidos en el reprocesamiento son algo menores que en el tratamiento a temperaturas y tiempos críticos 720°C-16 hs (108 y 118 kg mm⁻²). Igualmente los valores obtenidos están dentro de especificaciones.

Se recuperan también los valores de dureza, Fig. 7.

3. RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Ver Tabla VII.

DISCUSION

Las metalografías de figura 7 muestran que durante el tratamiento de envejecimiento no ocurre recristalización y por lo tanto, puede descartarse el refinamiento de grano como fuente de endurecimiento. La evolución de las propiedades mecánicas puede, en consecuencia, analizarse en función de endurecimiento por trabajado y por precipitación.

A temperaturas por encima de 600°C se alcanzan rápidamente valores de resistencia dentro de especificaciones, los que se mantienen a tiempos aún mayores que los especificados, siempre que la temperatura no sobrepase la crítica y a la cual, se obtiene el máximo de resistencia.

Por encima de la misma, se observa sobre-envejecimiento, que se traduce en un descenso de los valores de resistencia por debajo de los aceptables.

A temperaturas mayores de 600°C, y menores de 720°C, y a tiempos completos de tratamiento, se observa que no se alcanzan valores satisfactorios de ductilidad. Lo mismo sucede con tratamientos a 720°C y tiempos cortos.

Aparentemente el proceso de recuperación de la subestructura de deformación, en estas condiciones de trabajo, es todavía incompleto. Su efecto negativo sobre la ductilidad se suma así al efecto producido por el endurecimiento por precipitación y da lugar a valores inaceptables.

A tiempos y temperaturas mayores, la estabilización de la subestructura traerá, como consecuencia, un aumento de ductilidad que compensará posibles reducciones en la misma por precipitación.

Asimismo se observa que un segundo tratamiento a temperatura y tiempos correctos, incrementa a niveles aceptables los bajos valores de resistencia y ductilidad, resultantes de tratamientos a temperaturas bajas.

Las observaciones por SEM no han permitido observar los precipitados responsables del endurecimiento. A tal fin, se encaran observaciones por trasmisión. Sin embargo, es dable esperar precipitación firme y homogénea, en particular debido al efecto nucleante de las dislocaciones presentes en virtud de la deformación previa. La evolución de dichos precipitados es el mayor responsable de la evolución de las propiedades mecánicas.

Se observa que el parámetro más crítico es la temperatura de tratamiento y que en tanto la misma se respeta, son aceptables variaciones apreciables en tiempo de tratamiento, velocidades de enfriamiento, y, aún interrupciones del proceso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

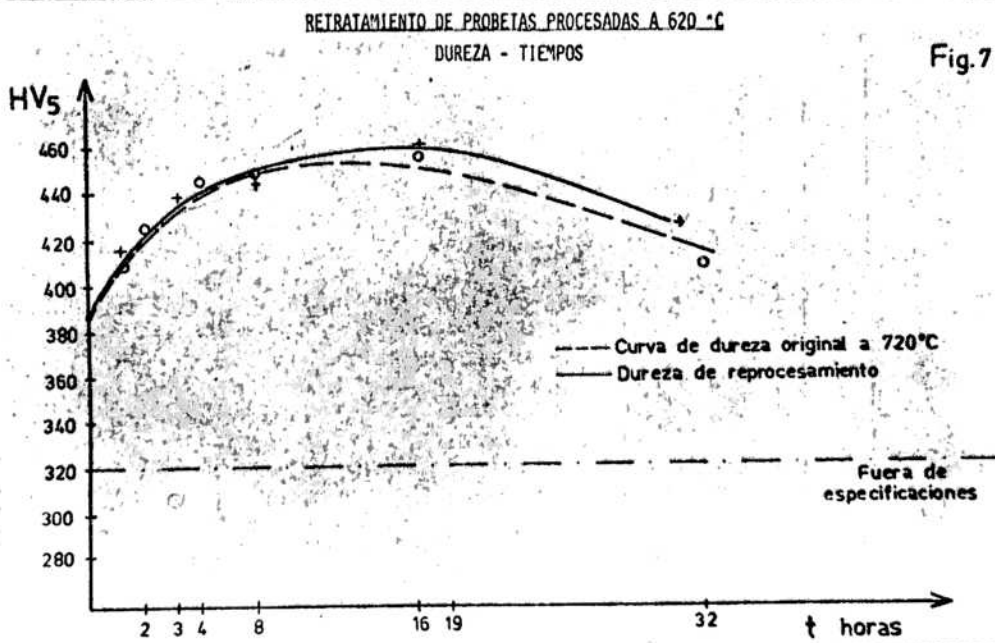
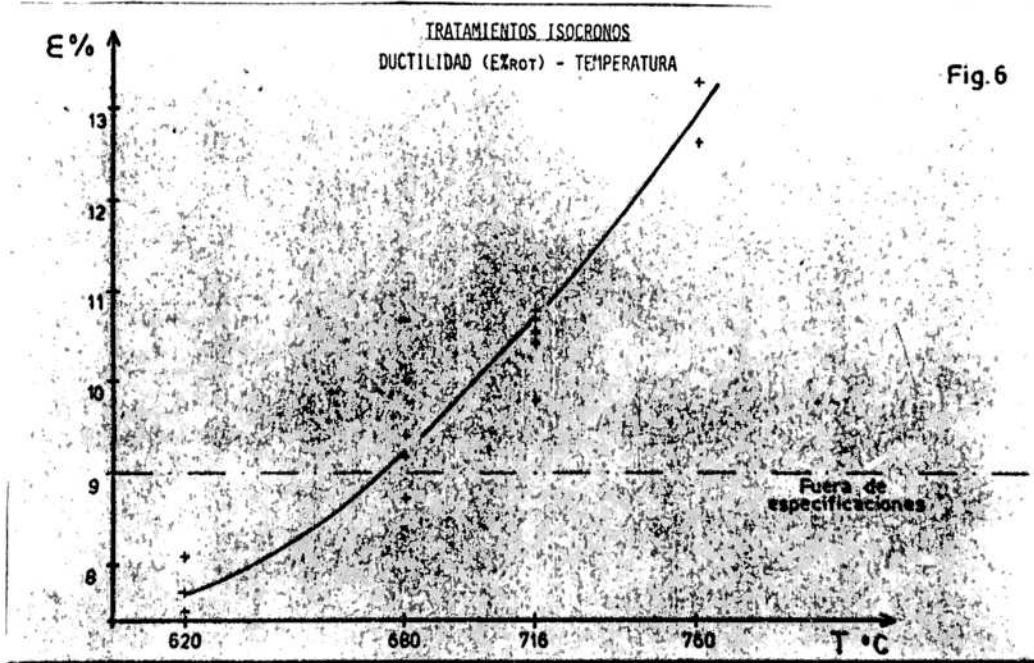
- La temperatura de tratamiento constituye el parámetro más crítico del proceso.
- De tratamientos por encima de la temperatura especificada

resultan valores insuficientes de resistencia (\bar{V}_{\max} y $\bar{V}_{0,2}$) en tanto temperaturas más bajas producen bajas ductilidades ($\bar{\epsilon}_{\text{rot}}$).

- Las piezas tratadas a temperaturas más bajas son recuperables a través de un nuevo tratamiento en condiciones correctas de tiempo y temperatura.

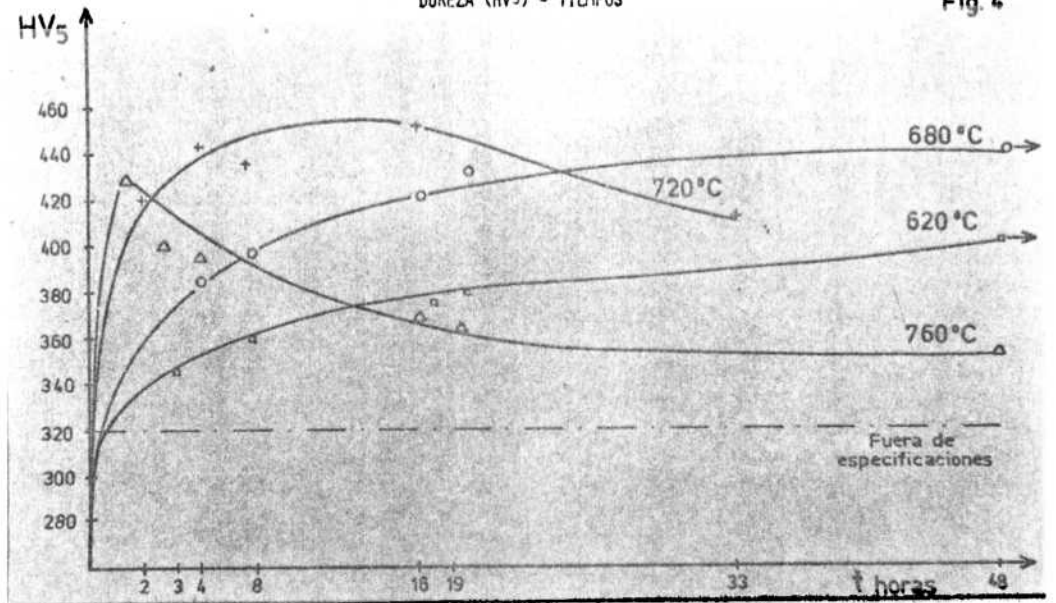
- Tratamientos a temperatura correcta y tiempos cortos, producen bajas ductilidades. Las piezas son recuperables a través de un tratamiento a temperatura correcta y por el tiempo faltante. Es decir, una interrupción en el tratamiento no afecta las propiedades finales siempre que la temperatura y el tiempo total cumplan especificaciones.

- Aumentos apreciables en el tiempo de tratamiento y en el tiempo de enfriamiento se traducen en descensos no demasiado significativos en las propiedades mecánicas, que permanecen dentro de lo especificado.



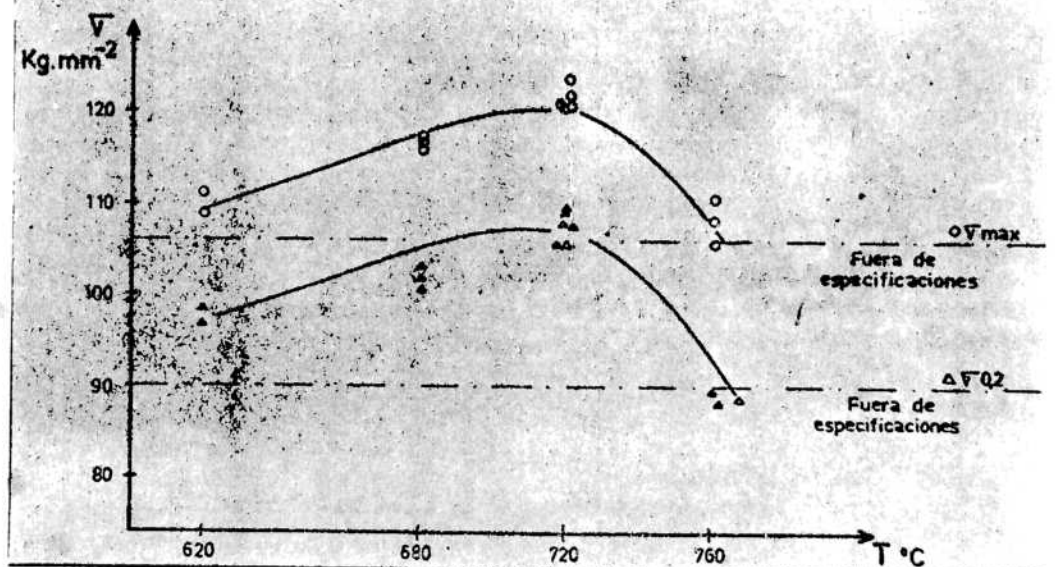
TRATAMIENTOS ISOCRONOS E ISOTERMOS
DUREZA (HV₅) - TIEMPOS

Fig. 4



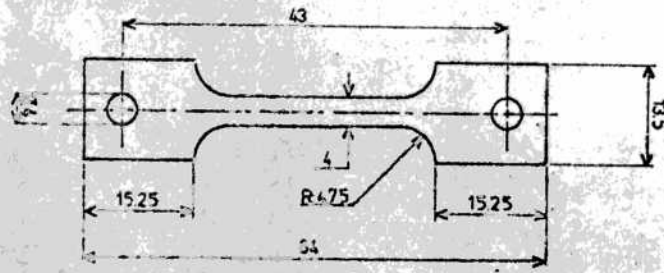
TRATAMIENTOS ISOCRONOS
TENSION (σ) - TEMPERATURA

Fig. 5



PROBETA DE TRACCION UTILIZADA

Fig. 1



ESCALA 2:1

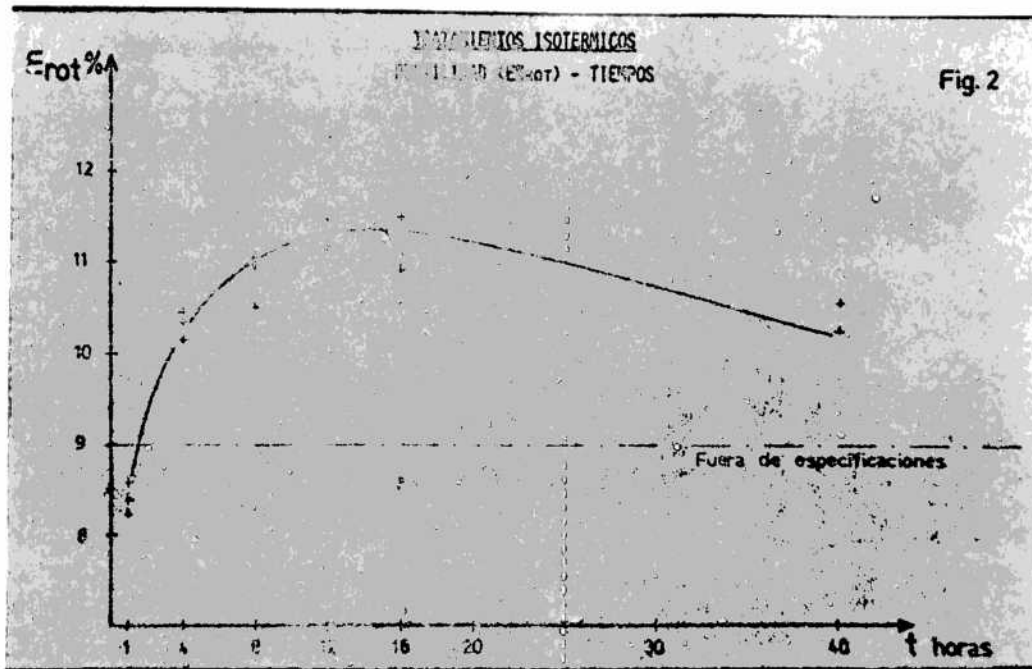


Fig. 2

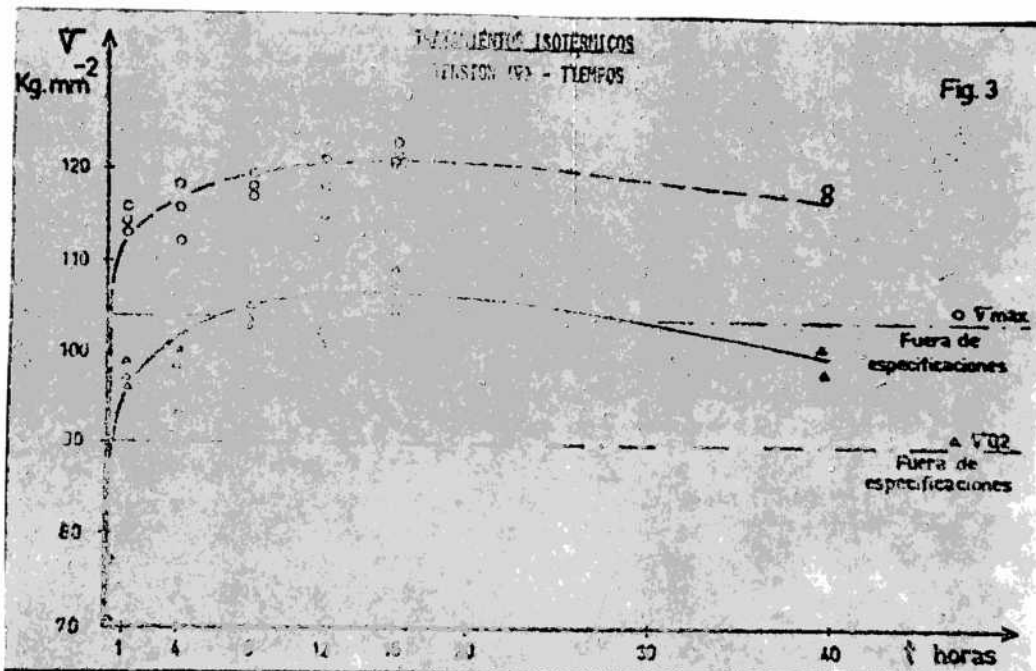
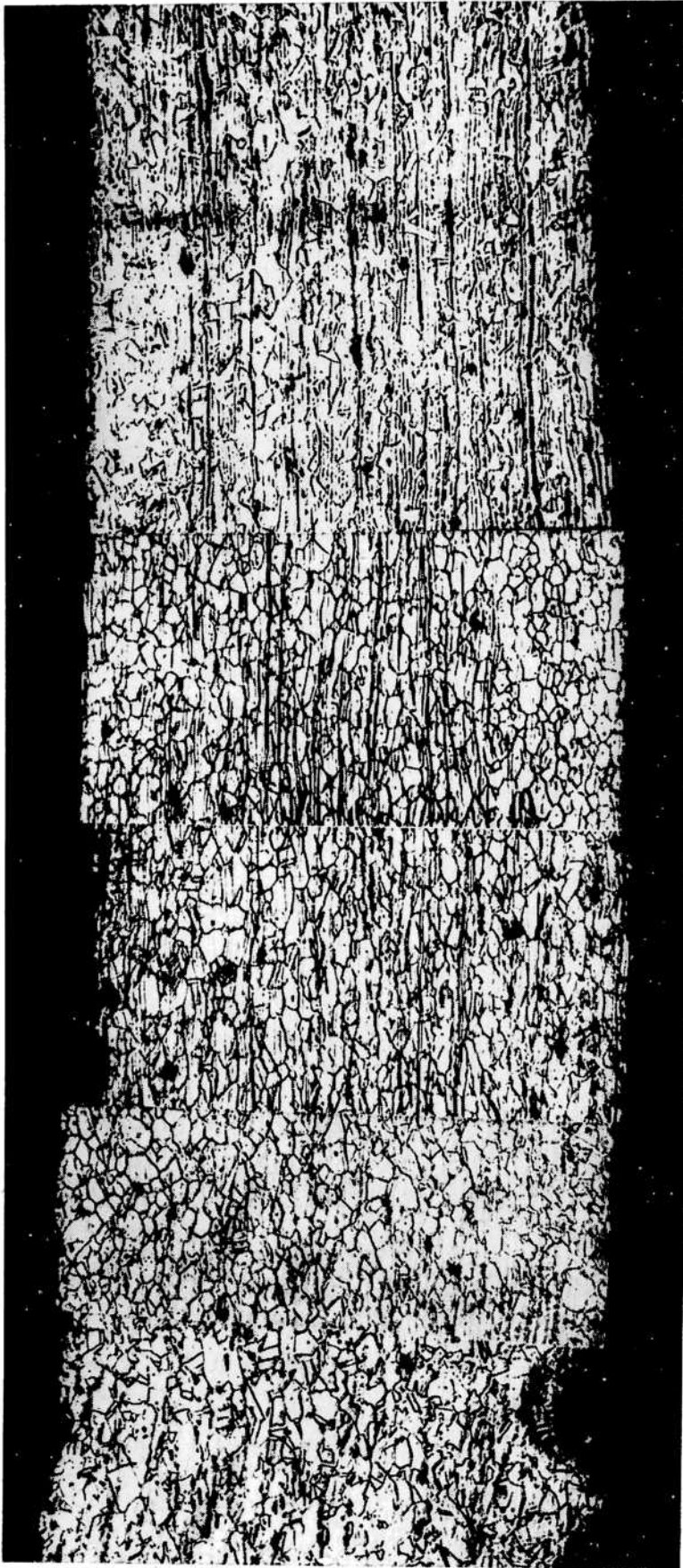


Fig. 3



SIN TRATAMIENTO TERMICO

1 HORA

4 HORAS

8 HORAS

16 HORAS

FIGURA 8

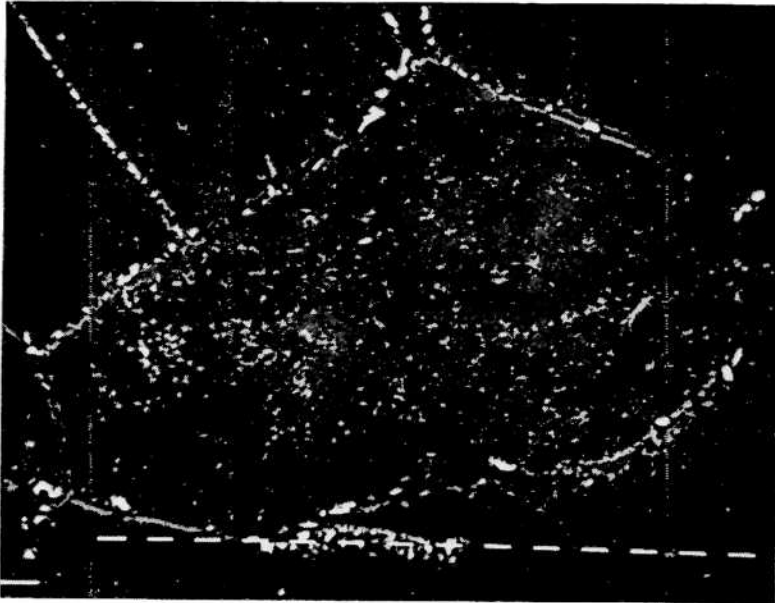


FIGURA 9

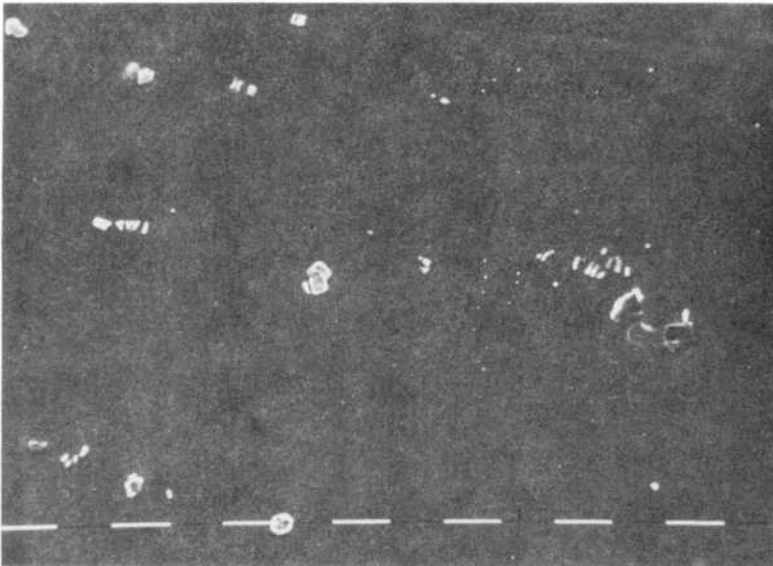


FIGURA 10

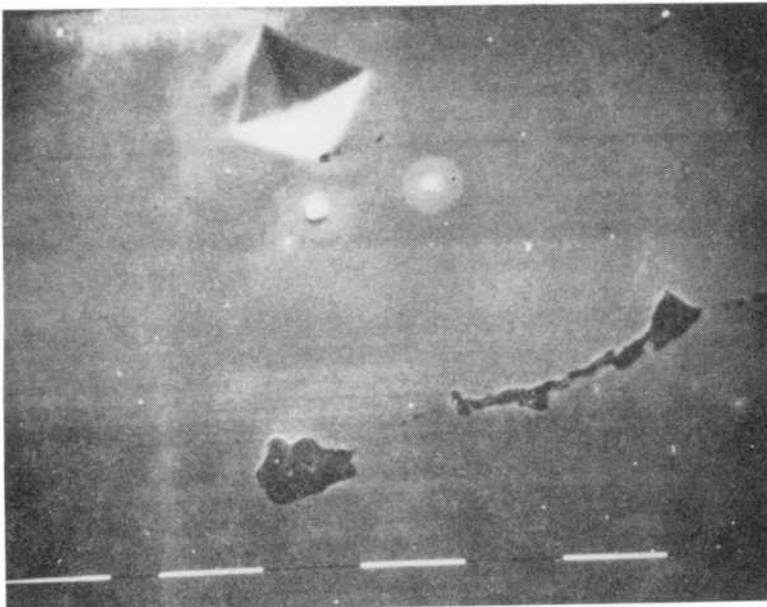


FIGURA 11

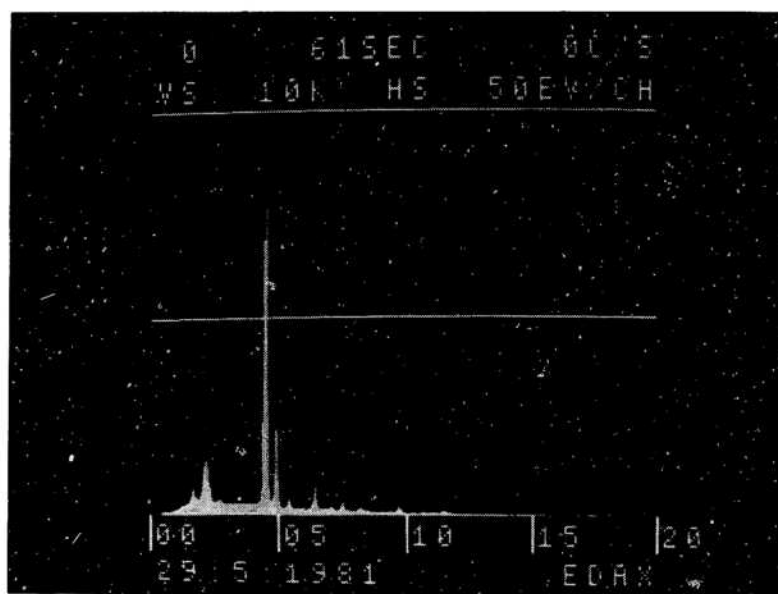


FIGURA 12

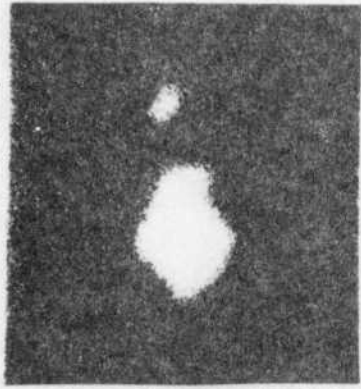


Figura N° 1
Imágen x de Ti.50x50 μ

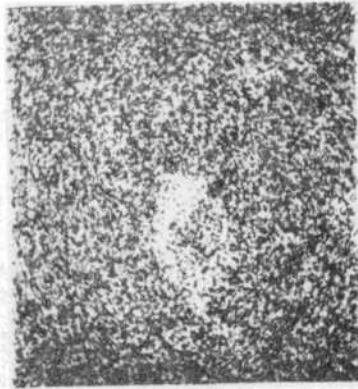


Figura N° 2
Imágen x de S .50x50 μ

FIGURA 13

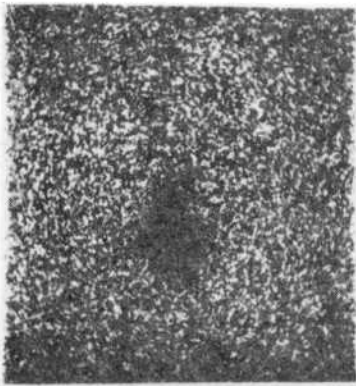


Figura N° 3
Imágen x de Cr.50x50 μ

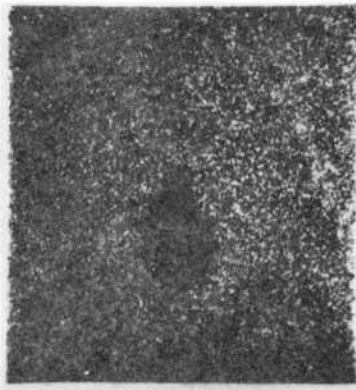


Figura N° 4
Imágen x de Ni.50x50 μ

FIGURA 14

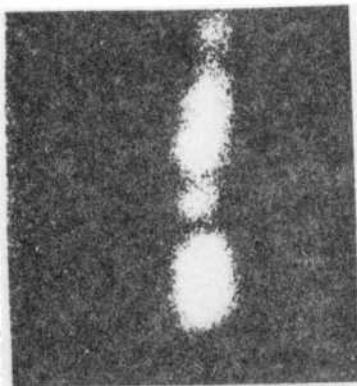


Figura N° 5
Imágen x de Ti.50x50 μ

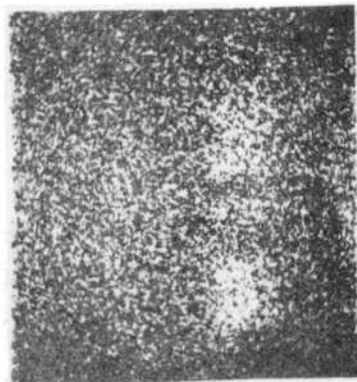


Figura N° 6
Imágen x de S .50x50 μ

FIGURA 15

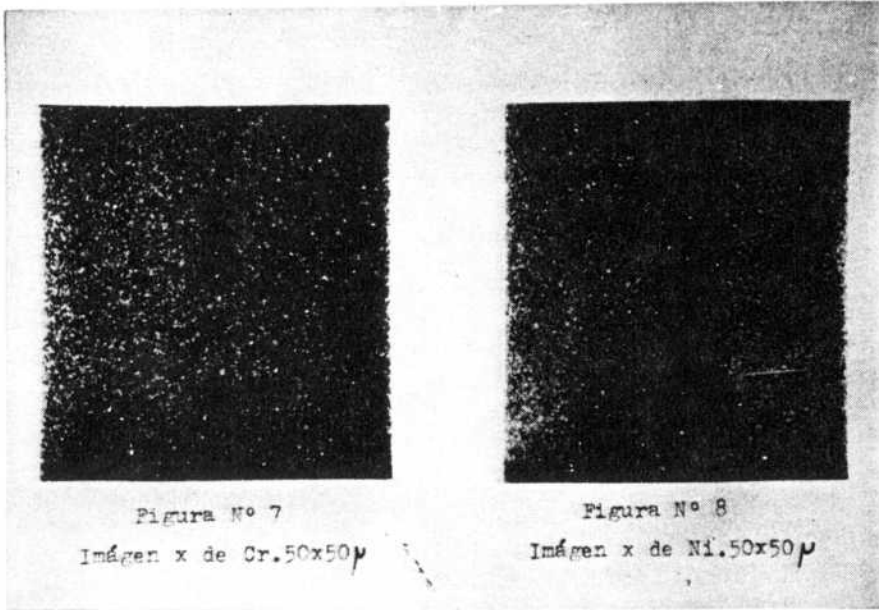


FIGURA 16

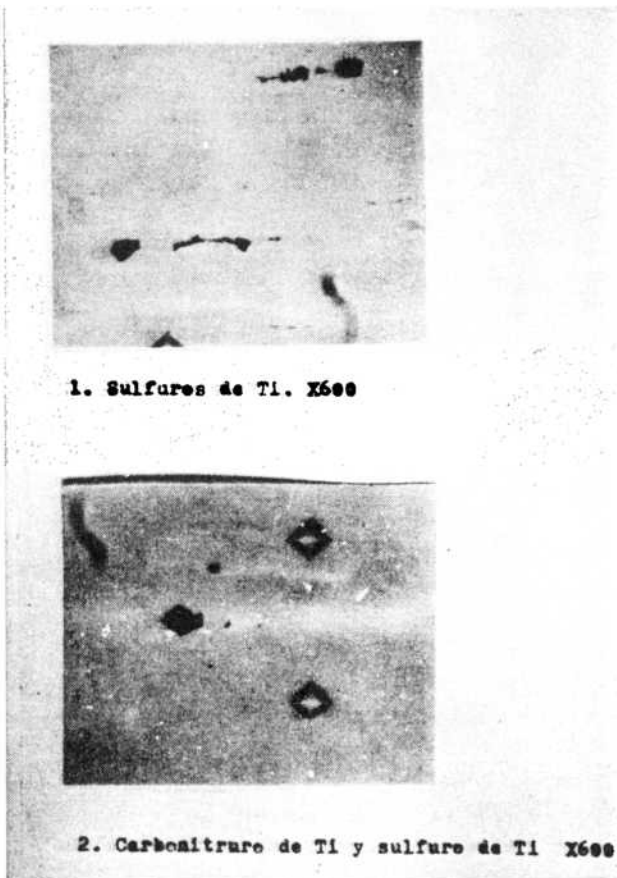


FIGURA 17 y 18