

B-1284

04.86.14

CNEA-NT 1/86

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

COMPORTAMIENTO AL DESGASTE DE UN ACERO AISI 304

P. ALVAREZ; J. RUZZANTE; J. VOSEN; H. FERNANDEZ  
A. HEY Y G. GESTIDO

Buenos Aires

1986

## 1. INTRODUCCION:

Considerando el uso cada vez mayor de aceros inoxidables austeníticos, como materiales estructurales para Centrales Nucleares (1), como asimismo en la industria en general, es importante el conocimiento del comportamiento de los mismos al desgaste, tanto en lo que se refiere a inoxidable-inoxidable, como a otras combinaciones de posibles superficies en contacto.

Esto hace necesario el estudio de los mecanismos de desgaste, relacionados con las condiciones en que se producen. No se puede referir a un material en particular, sino a todo el sistema en el que actúa.

Es sabido que en general los aceros austeníticos presentan bajas propiedades al desgaste, y tienen una marcada tendencia a sufrir severos daños durante el mismo, cualquiera sea el mecanismo que lo produce.

Investigaciones realizadas en los últimos 10 años, han demostrado el papel desempeñado por la microestructura y la importancia del proceso que se desarrolla sub-superficialmente (2-10). Asimismo es cada vez mayor la evidencia, que la acumulación cíclica de deformación plástica en la zona subsuperficial juega un papel importante en el desgaste por deslizamiento. Las condiciones de trabajo en la superficie, crean una zona sub-superficial con diferentes características y por ende con distinta influencia en el grado de desgaste (11).

En el caso de aceros inoxidables austeníticos de estructura cristalográfica fcc o  $\gamma$ , la deformación introducida durante el trabajo mecánico, como asimismo la temperatura de trabajo inducen la transformación a estructuras bcc o  $\alpha'$ . El porcentaje de fase transformada es también función de la composición química del acero.

La inestabilidad estructural de los materiales mencionados, se puede predecir a través del valor Md30 (12) que es la temperatura a la cual 30% de deformación produce 50% de martensita  $\alpha'$ . El porcentaje obtenido de esta fase, aumenta con la deformación y disminuye con el aumento de temperatura de trabajo y se la puede cuantificar por Rayos X (15) o utilizando sus propiedades magnéticas.

Las consideraciones mencionadas en primer término, en lo que refiere a modificaciones sub-superficiales que tienen lugar como consecuencia del desgaste, son importantes no solamente desde el punto de vista académico, sino ingenieril

ya que depende de ello el diseño de un equipo, así como las exigencias a las que será sometido, la interrelación de dichos parámetros se esquematiza en la figura 1.

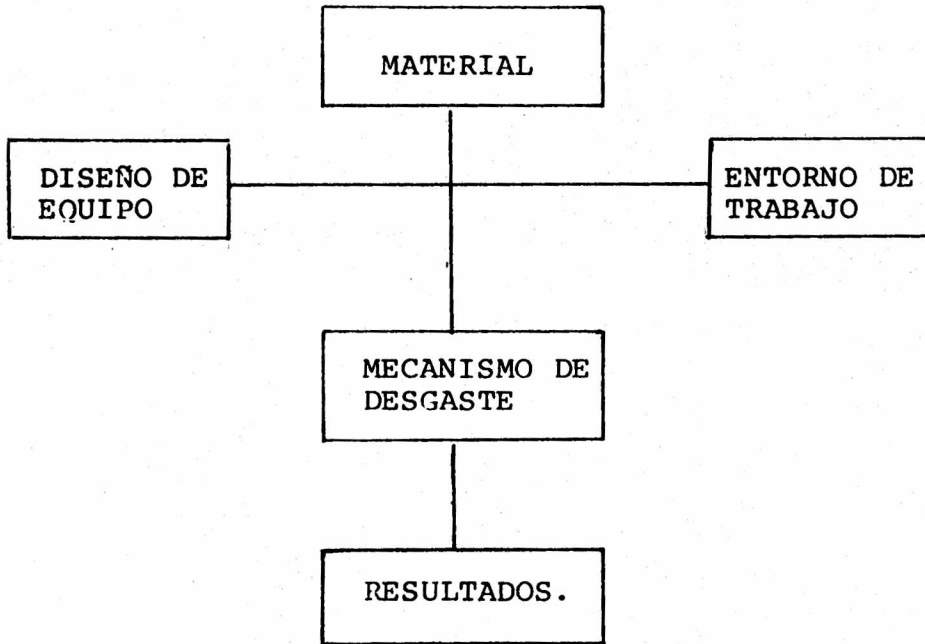


FIGURA N°1

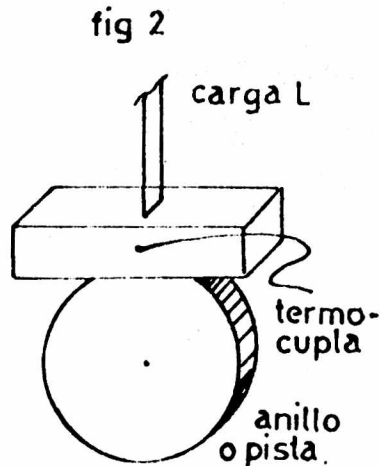
El material en estudio es acero inoxidable de origen comercial. Dicho material sufre la transformación  $\gamma \rightarrow \alpha'$  durante el trabajado mecánico

La aparición de martensita  $\alpha'$  afecta las propiedades mecánicas del acero inoxidable austenítico de manera a veces difícil de predecir. Así es como, dureza, ductilidad, comportamiento a la fractura, pueden ser fuertemente afectados por estos cambios de microestructura. Nuestras experiencias en trabajos anteriores (17), así como en el presente indican que la formación de martensita inducida por deformación, durante el desgaste y en consecuencia el comportamiento mecánico del componente no es sólo función de la composición química del acero, sino también de las condiciones tribológicas en conjunto (carga, velocidad, lubricación, temperatura, etc.).

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:

### 2.1. Máquina de desgaste:

Los ensayos de desgaste se realizaron en una máquina LFW-1 de alta velocidad, tipo blok-on-ring. El fundamento mecánico es el siguiente: Sobre un anillo que rota con una velocidad seleccionable se apoya un block estacionario del material en estudio. Figura 2.



Consta de un sistema electrónico de detección que permite el registro simultáneo, de la fuerza de fricción, temperatura sobre probeta y el desgaste de la misma, medida esta última con un sensor L.V.D.T. Un gráfico típico de trabajo se presenta en la figura 5a, donde el registro superior es la fuerza de fricción, el siguiente, la variación de la posición del Block debida al desgaste y el último temperatura de la probeta. Todos estos valores son en función del n° de vueltas.

El conjunto pista-probeta es sumergido en un recipiente termostalizado que contiene el lubricante adecuado.

En este trabajo los ensayos se realizaron variando la carga y la velocidad de rotación de la pista. El N° de vueltas se estandarizó en 5000. Se utilizó en todos los ensayos el mismo lubricante (Norma MIL-H-6083 B Tipo 1).

### 2.2. Materiales y métodos:

Los blocks sobre los que se realizan los ensayos, fueron maquinados de inoxidables austeníticos de origen comercial y de composición indicada en la tabla 1. La elección de este acero se realizó, seleccionando aceros 304, de diferentes composiciones dentro de las establecidas por norma, de manera tal de trabajar, con el estructuralmente más inestable, lo que se refleja en el valor Md30 indicado también en la tabla.

4

TABLA I

C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	N
0,03	1,67	0,79	10,22	17,82	0,70	0,031

$Md_{30} = 7^{\circ}C$

El  $Md_{30}$  se calculó con la ecuación de Gladman.

La cara sobre la que se va a realizar el ensayo de desgaste, se pulió metalográficamente hasta grado 600. Todas las muestras a ensayar fueron recocidas previamente a  $1050^{\circ}C$  en vacío durante 30 minutos para homogeneizar la estructura.

### 2.3. Microscopía Electrónica de Barrido:

Se efectuaron observaciones en la superficie desgastada con microscopía electrónica de barrido. El siguiente paso fue el seccionamiento de los blocks longitudinal y transversalmente. Un paso preliminar al corte es la protección de los bordes con un depósito de níquel, inclusión en resina y corte con disco de diamante o por electroerosión. Cada una de estas secciones es pulida hasta diamante  $3 \mu$  y terminadas con pulido electrolítico, para eliminar el daño introducido durante las operaciones de pulido. Con estas secuencias de trabajo, los especímenes revelan claras evidencias de cambios de estructura aún sin ataque químico. Para revelar detalles de las zonas altamente deformadas, se hizo un etching suave con 25 ml  $ClH$ , 10 ml glicerina, ácido acético y nítrico. Con la misma solución pero mayor tiempo de ataque, se revela la microestructura del material base.

### 2.4. Microdureza:

Los perfiles de microdureza, fueron medidos con el microdurómetro Leitz con carga de 5 g. Las mediciones se efectuaron en los cortes transversales y longitudinal figura 3 (planos L y T)

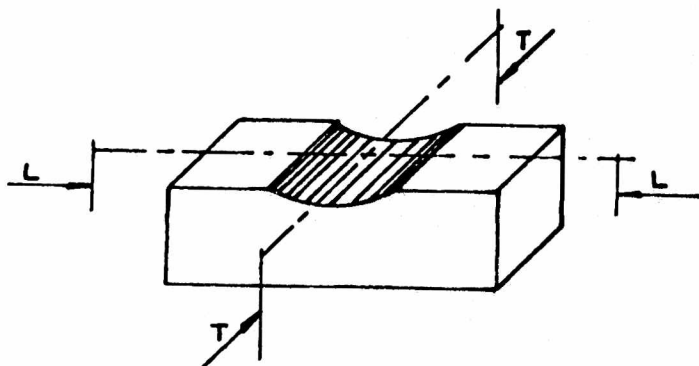


Fig. 3

L (kgr)	V (rpm)	$\bar{f}_l$ (kg)	$\bar{f}_f$ (kg)	$\Delta f_l$ (kg)	$\Delta f_f$ (kg)	$\mu_f$	$\mu_{di}$ ( $\frac{\mu}{\text{seg}}$ )	$v_{eff}$ ( $\frac{\mu}{\text{seg}}$ )
0,5 13,56	72	4,5	2,12	3	2,25	0,33	0,15	0,123
0,5 13,56	72	5,12	2	1,63	1,5	0,378	0,147	0,15
1 27,12	72	10,2	5,25	3,5	2,5	0,376	0,194	0,16
1 27,12	10	8,76	--	2,75	--	0,322	--	--
1 27,12	100	9	5	4	2	0,33	0,18	0,188
1,5 40,68	100	10,7	5,25	4,5	1,5	0,263	0,13	0,21
1 27,12	30	7	7	2	2,5	0,258	--	--
1 27,12	100	8,5	5	5	3,5	0,31	0,18	0,21
1 27,12	100	8,75	4,25	5,5	1,5	0,32	0,16	0,48
2 54,2	10	9,6	--	2,25	--	0,17	--	0,0008
0,2 5,42	100	3,55	--	1,1	--	0,65	--	0,085

L (kgr)	V (rpm)	f <sub>i</sub> (kg)	ff (kg)	A <sub>fi</sub> (kg)	Δff (kg)	μ <sub>i</sub>	μ <sub>f</sub>	V <sub>di</sub> ( $\frac{\mu}{\text{seg}}$ )	v <sub>df</sub> ( $\frac{\mu}{\text{seg}}$ )
0,5 13,56	30,5 27,26	4,1	--	3,2	--	0,30	--	0,066	--
2 54,2	72,2	15,5	8	9	6	0,28	0,14	0,37	0,005

TABLA II

L: Carga sobre el block

V: Velocidad de la pista

f<sub>i</sub>: Fuerza de fricción en la zona 1 (luego del transitorio)

ff: Fuerza de fricción en la zona 2

A<sub>fi</sub>: Variación de la fuerza de fricción en la zona 1

Δff: Variación de la fuerza de fricción en la zona 3

μ<sub>i</sub>: Coeficiente de fricción en zona 1

μ<sub>f</sub>: Coeficiente de fricción en zona 3

v<sub>di</sub>: Velocidad de desgaste en zona 1

v<sub>df</sub>: Velocidad de desgaste en zona 3.

Se promediaron los valores obtenidos para ambas direcciones y para una misma distancia a la superficie, de esta manera se disminuyó la banda de error del método (13-14).

Con los valores así obtenidos se trazaron los perfiles de microdureza en función de la distancia a la superficie. En los mismos especímenes sobre los que se determinó microdureza, se hicieron observaciones de scanning.

#### 2.5. Rugosimetría:

Los perfiles obtenidos en las probetas durante el desgaste, fueron estudiados por rugosimetría para obtener una caracterización cuantitativa de la superficie.

#### 2.6. Examen de virutas con Rayos X:

Virutas obtenidas con diferentes condiciones de desgaste, se estudiaron con difractómetro de rayos X.

#### 2.7. Metalografía Óptica:

Muestras seccionadas transversalmente y pulidas, se las observó con los métodos corrientemente utilizados en metalografía. El reactivo para revelar estructura fue ácido oxálico.

#### 2.8. Observación de las virutas con Scanning:

Las virutas (bolvo) obtenidas en las diferentes etapas del proceso, fueron lixiviadas con tricloroetileno y acetona y observadas por SEM.

#### 2.9. Respuesta Magnética:

Se midió respuesta magnética superficial de las muestras después del proceso de desgaste, tanto en las muestras del comportamiento simple como en las de comportamiento dual.

Las mediciones que en una primera aproximación pueden considerarse solamente como un número magnético, se expresaron como porcentaje de martensita  $M'$ . Esta equivalencia, se realizó teniendo en cuenta la curva de calibración (17-18), válida para aceros 304 que se muestra en la figura 4.

## 2.10. Recuperación de fase $\delta$

En algunos de los ensayos realizados sobre probetas que presentaban comportamiento dual (dos valores de coeficiente de fricción), se transformó la fase  $\alpha'$  generada durante el proceso de desgaste a fase  $\gamma$ . Los tratamientos térmicos se hicieron a tiempo constante y diferente temperatura. La evolución de  $\alpha'$  a  $\gamma$  se siguió con mediciones de respuesta magnética.

## 3.- RESULTADOS.

En lo que respecta a los resultados del desgaste, sin analizar las causas del mismo, se observó diferencia de comportamiento según cuales fueran las condiciones de desgaste: carga y velocidad. La temperatura se mantuvo constante en todos los ensayos e igual a 110°F. (43°C)

Los ensayos realizados se muestran en la tabla II. Se observó que el comportamiento al desgaste, después de entrar el sistema en régimen, era distinto para igual material y temperatura del lubricante. Las diferencias se observaron al variar carga  $L$  y velocidad  $v$ . Según fueran las combinaciones de  $L$  y  $v$  se obtenía comportamiento que obedecía a un solo coeficiente de fricción  $\mu$  o a dos coeficientes  $\mu_1$  y  $\mu_2$  como se observa en la figura 5.

La velocidad de desgaste  $V_d$  también es significativamente diferente cuando hay comportamiento dual. La temperatura del block, también varía acompañando estas variaciones de velocidad de desgaste y coeficiente de fricción.

Los ensayos que presentaban doble comportamiento se indican en el trabajo, como de comportamiento dual o de poco desgaste, los restantes, comportamiento simple o de alto desgaste.

Los resultados obtenidos se graficaron en la figura 6. Los perfiles de microdurezas obtenidos se presentan en la figura 7.

El análisis de las observaciones de SEM de las superficies desgastadas resultó dificultoso por la variedad de la topografía observada. El estudio comparativo de las muestras, se realizó como se ve en la tabla III analizando estadísticamente todas las variaciones topográficas observadas in-situ.

Las zonas a las que se hace referencia corresponden a antes y después de la variación del coeficiente de fricción  $\mu$ , como esquemáticamente se muestra en la figura 8.

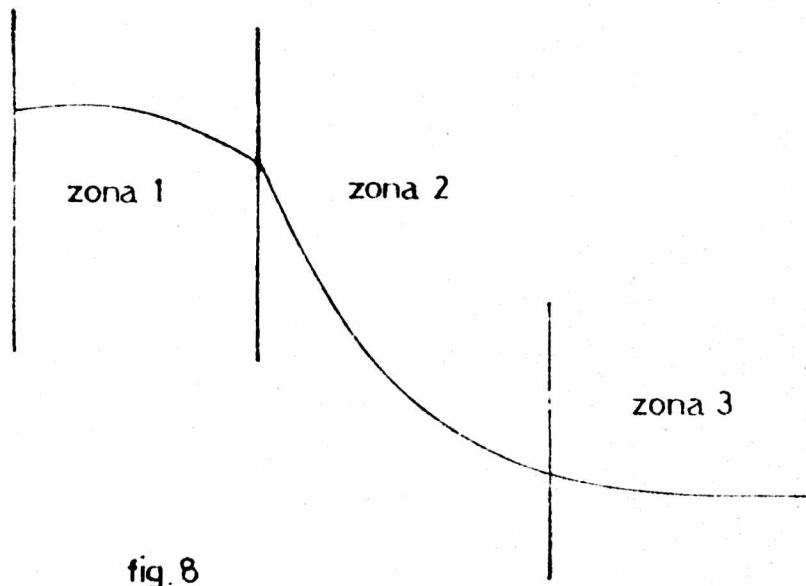


fig. 8

TABLA III

DEFECTOS	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Líneas paralelas a la dirección del desgaste. Fig.9 ( a )	X	X	X
Densidad de líneas de desgaste. Fig.9 ( b )	X		
Cráteres. Fig.9 ( d ; c )	X	X	X
Mesetas planas Fig.9 ( d )		X	X
Acumulación de material en el centro del surco Fig.9 ( e )	X		
Cráteres de fondo plano Fig.9 ( f , g )		X	X
Grietas anchas Fig.9 ( c h )		X	

Los defectos a los que se hace referencia en la tabla se ejemplarizan en la figura 9.

Las mediciones de rugosimetría cuyos resultados se resumen en la tabla IV, son coincidentes con las observaciones de microscopía.

TABLA IV

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
AR <sub>t</sub>	7 $\mu$	0	2 $\mu$

Definimos AR<sub>t</sub> como la diferencia entre la rugosidad del material antes y después del desgaste.

Según se presentara comportamiento dual o no, las observaciones de SEM de los cortes transversales presentaban diferente morfología sub-superficial Fig.10-11. En el caso de comportamiento simple o de alto desgaste, se ve una zona deformada de espesor aproximado a 50  $\mu$ . En el caso de comportamiento dual o de bajo desgaste, se observa una capa muy deformada cercana a la superficie de un espesor aproximado de 30  $\mu$ . Por debajo de esta banda continúa la zona deformada de características similares a las observadas en las muestras de comportamiento simple.

Se repitieron los ensayos en las condiciones en las que se presentaron comportamiento dual y se pararon los mismos ensayos de la zona 1,2 y3 (fig.8) con los siguientes resultados:

Zona 1: "Islas" de alta deformación, fig 11a.

Zona 2: "Islas" de poca deformación, fig 11b.

Las mediciones de respuesta magnética se muestran en la tabla V.

TABLA V

	Nºmag.	% $\alpha'$
Comportamiento simple	1,9	10,5
Comportamiento dual	3,5	19

Los ensayos de recuperación de fase  $\gamma$  apuntan a esclarecer la naturaleza de la capa sub-superficial observada en los ensayos con bajo desgaste a los efectos de poder separar variables de endurecimiento: endurecimiento por trabajo de austenita, endurecimiento por transformación martensítica y endurecimiento por trabajado de la martensita formada.

La recuperación se realizó a temperaturas de 400, 500, 550, 620°C con recocidos de 30' registrando la transformación  $\gamma$  con mediciones de respuesta magnética, con las muestras así tratadas, se realizó un nuevo ensayo de desgaste cuyas variables de desgaste ( $\mu B_d$ ) son coincidentes con los del material inicial.

El análisis de las virutas obtenidas en los diferentes ensayos se analizaron por difracción de rayos X. Se separaron virutas de las zonas 1, 2 y 3. El volumen de las virutas obtenidas en zona 1 es considerablemente mayor que las de la zona 3.

El análisis cristalográfico de las virutas correspondientes a zonas 1 y 2, permitió establecer un parámetro de red  $a = 2,866 \text{ \AA}$  correspondiente a martensita  $\alpha'$ . Para la zona 3, no se obtuvieron los mismos resultados y la escasa cantidad del material obtenido por desgaste, no permitió un análisis más profundo.

#### 4. DISCUSION:

Las características sub-superficiales esperables de acuerdo a la teoría de delaminación (11) se esquematizan en la figura 12.

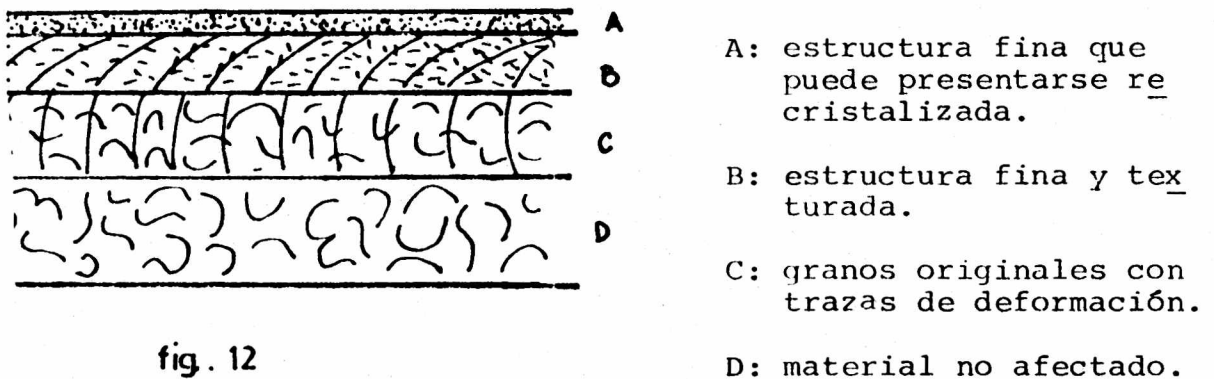


fig. 12

Las transformaciones se presentan en las zonas afectadas por la deformación A, B y C.

Para una mejor interpretación y estudio de los resultados, estos se dividen en dos grupos:

- 1.- Comportamiento simple o de alto desgaste, un solo coeficiente de fricción  $\mu_1$  durante todo el ensayo.
- 2.- Comportamiento dual o de bajo desgaste, dos coeficientes de fricción  $\mu_1$  y  $\mu_2$ .

En lo que refiere al primer grupo, el comportamiento frente al desgaste es el esperable por la teoría de delaminación de Shu, por la cuál, la formación y migración de "cracks" formados por debajo de la superficie, al propagarse llegan a la misma y la cortan en los puntos más débiles, produciéndose así el desgaste del material. La profundidad a la que se encuentran dichas grietas o "cracks" es función del material que se trabaja, del estado estructural del mismo, y de las condiciones de trabajo.

Con respecto al comportamiento de bajo desgaste puede asumirse que si bien en la primera parte ( $\mu_1$ ) se desgasta según el modelo de SHU no ocurre esto en la segunda ( $\mu_2$ ), donde el proceso está gobernado por otro mecanismo de desgaste.

#### 4.1.- Materiales Con Comportamiento Simple:

En nuestro primer grupo de ensayos analizando el corte transversal presentado en la figura 3 y los ensayos de microdureza de la figura 7 y comparando con el esquema presentado en la figura 15 podemos decir:

- a) La capa A no se forma ya que la dureza en la superficie es igual o en algunos casos superior a la medida 5 U por debajo de la superficie. Si existiera una capa recristalizada, esta tendría una dureza menor.
- b) La transformación  $\alpha'$  sucede ya en los primeros estadios del desgaste (comprobado por respuesta magnética) y se propaga por deformación plástica a zonas sub-superficiales. El espesor de la capa transformada se determina a partir de los ensayos de microdureza y en este tipo de comportamiento es del orden de 50  $\mu$  (ver Fig. 7).
- c) La formación de cracks, ocurre en zonas muy cercanas a la superficie y su propagación hasta llegar a la misma es posible, ya que no hay nada que se lo impida (partículas de segunda fase etc., desprendiéndose partículas finas. Por análisis de difracción de Rayos X de las mismas, se determinó que su parámetro de red correspondía a martensita  $\alpha'$ .

Esto último no implica necesariamente que la estructura superficial del block sea toda martensita  $\alpha'$ , ya que las virutas han sufrido una deformación mucho mayor y por ende un proceso de transformación martensítica es más exigido que el block.

Las observaciones de scanning de la superficie ayudaron a determinar el mecanismo del sistema de desgaste. Las micrografías de la figura 9 (a,b) muestran el aspecto de una superficie "arada" con surcos paralelos a la dirección de "sliding". El análisis por rugosimetría, permitió determinar la profundidad de dichos surcos que en valor promedio es  $\Delta R_t = 7 \mu$

Las mediciones de número magnético indican la formación de 10% de martensita  $\alpha'$ . El modelo presentado en la figura 14 se modificaría al esquema de la figura 13.

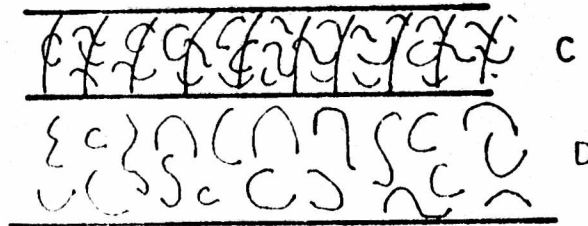


fig 13

En este esquema la distribución de martensita estaría en la capa C.

De acuerdo con esto podemos considerar que la dureza superficial  $H_{ts}$  estaría dada por:

$$H_{ts} = H_{\gamma} + \alpha' ; H_{\gamma} = \text{endurecimiento por trabajado de austenita no transformada.}$$

$\alpha'$  = endurecimiento por presencia de martensita

$H_{ts}$  = dureza total para comportamiento de alto desgaste.

#### 4.2. Comportamiento dual o de bajo desgaste:

El análisis por scanning de la superficie de las muestras (zona 3) que presentan doble comportamiento fig.9 (d,f), es diferente de las anteriores. Se aprecia un relieve más suave sin surcos, lo que también se refleja en el valor de  $R_t$ . En la zona 2  $\Delta R_t = 0$  y en la 3  $\Delta R_t = 2$

La respuesta magnética en las primeras etapas del desgaste es mayor en estas condiciones de trabajo que la que se obtiene en el mismo estado de desgaste en condiciones de comportamiento simple, es decir según el esquema de la figura 8.

$\epsilon \alpha'$  (Zona 1)  
(1800 revoluciones)

$\epsilon \alpha'$  (Comportamiento simple  
1800 revoluciones)

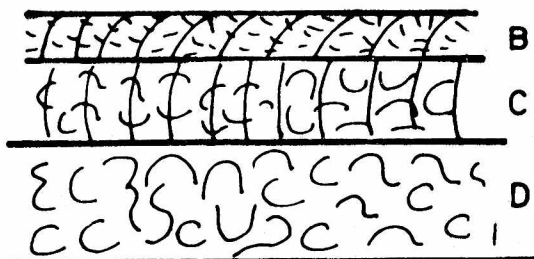
La dureza superficial, así como los perfiles de microdureza de la figura 7, son distintos a los del caso anterior. Esta mayor dureza superficial como el diferente perfil de penetración de la misma se ven también reflejados en las micrografías de cortes transversales, figuras 11, (comportamiento simple y 11a, 11b, y 11c comportamiento dual).

Como se ve en las figuras 11a y 11b, los cracks están a mayor distancia del borde que en el caso de comportamiento simple, además la propagación de estos hacia la superficie se ve impedida por la zona de alta deformación. Asimismo, se ve en la figura 11, que los cracks formados están anclados, por la misma deformación y no pueden llegar a la superficie. Esto explicaría la baja formación de debris en la zona 3 del ensayo.

Las micrografías de las figuras 11a, 11b y 11c muestran una secuencia que corresponde a las zonas 1, 2 y 3. En la primera micrografía se ven islas de alta deformación pero los cracks todavía pueden propagarse hasta la superficie. En la correspondiente a la zona 2 las islas crecen y colapsan, las zonas de baja deformación son aisladas fundamentalmente para la zona 3 (figura 11c) se ve una franja subsuperficial continua de material altamente deformado que no permiten la migración de los cracks.

Los ensayos de respuesta magnética finalizado el ensayo indicaron un mayor porcentaje, 19% de martensita, que el obtenido en el caso de comportamiento simple al finalizar el ensayo.

El esquema de la figura 12, modificaría en este caso al presentado en figura 14



- B: estructura fina con muy alta deformación.
- C: granos originales con trazas de deformación.
- D: material original.

fig. 14

La martensita  $\alpha'$  formada durante el desgaste y deformada en el transcurso del mismo, se encuentra en las capas B y C. Esto está corroborado con los perfiles de microdureza.

Si consideramos la dureza total  $H_{td}$  como la suma de factores

$$H_{td} = H_{\gamma} + \alpha' + H_{\alpha'}$$

donde  $H_{\gamma}$  = dureza de la austenita presente.

$\alpha'$  = dureza de martensita formada

$H_{\alpha'}$  = endurecimiento por trabajado de la martensita.

$H_{td}$  = dureza total obtenida con comportamiento dual.

si comparamos esta expresión con la de  $H_{ts}$ ; se explicaría el mayor valor de  $H_{td}$  frente al  $H_{ts}$  por:

- a-  $\alpha'$  es menor para comportamiento simple que para dual.
- b- el endurecimiento por trabajado de la martensita, no aparecería en la expresión de  $H_{ts}$ .

En los ensayos de comportamiento dual, este factor implica la presencia de la capa altamente deformada representada en la fig. 16-17 por la zona 3. Este último factor sería coincidente con el trabajo de Glardon Finnie (18), donde relaciona la cantidad de partículas obtenidas por desgaste con diferentes materiales con su respectivo coeficiente de endurecimiento por trabajado. Para comprobar esta última hipótesis, se realizó un tratamiento térmico de retransformación de fase  $\alpha'$  a  $\gamma$  con lo cual desaparece  $\alpha'$  y  $H_{\alpha'}$  de la expresión de  $H_{td}$ . Las probetas recuperadas y ensayadas en condiciones de comportamiento simple presentaron el comportamiento esperado y las ensayadas en condiciones de comportamiento dual presentaron nuevamente comportamiento dual. Con el valor de  $\mu'_1$ , algo superior al  $\mu_1$  inicial y  $\mu'_2$  similar a  $\mu_2$ .

## 5. CONCLUSIONES:

1. La disminución del grado de desgaste es debido a un aumento de dureza.
2. En aceros inoxidable austeníticos que presentan comportamiento simple, el aumento de dureza no se debe solamente a la transformación martensítica, sino al endurecimiento por trabajado de la fase austenítica presente no transformada a martensita  $\alpha'$ .

- 3.- En el caso de comportamiento dual, la velocidad final de desgaste, zona 3, permanece constante. La velocidad de desgaste no depende de L y V, sino del estado sub-superficial generado.
- 4.- Existe una relación entre L y V que permite determinar el tipo de comportamiento (simple o dual) que presentara el material.
- 5.- El endurecimiento por trabajado de la martensita formada por deformación y el porcentaje de la misma, es el causante del comportamiento dual.

BIBLIOGRAFIA:

1. A.F. SMITH. WEAR 96 (1984) 301-318
2. Suh, N.P., "The Delamination Theory of Wear, Vol. 25 N°1, July 1973, pp.III-124
3. Suh. N.P., et al., "Further Investigation of the Dalmination Theory of Wear"..ASME Journal of Lubrication Technology. Vol. 96, N°4. Oct. 1974. pp 631-637
4. Jahanmir, S., Suh, N.P., and Abrahamson, E.P., "Microscopic observation of the Wear Sheet Formation by Delamination, "Wear, Vol. 28, N°2 May 1974. pp. 235.
5. Seifert, W.W., and Westcotto, V.C, "A Method for the Study of Wear Particles in Lubricating Oil, "Wear, Vol. 21 N°1 Aug. 1972, pp. 27-42.
6. Saka, N., and Suh, N.P., "Delamination Wear of Dispersion-Hardened Alloys., "ASME Journal of Engineering for Industry Vol.99 May 1977, pp 289-294.
7. Suh, N.P., and Saka, N., "The Stacking Fauh Energy and Delamination Wear of Single-Phase, F.C.C. Metals, "Wear, Vol.,44 N°1 Aug. 1977, pp 135-143.
8. Saka, N., Pamies-Teixeira, J.J., and Suh, N.P., "Wear of Two Phase Metals", Wear, Vol. 44 N°1 Aug. 1977 pp. 77-86.
9. Rigney. D.A., and Glaeser W.A. "The Significance of Near Surface Microstructure in the Wear Process". Wear, Vol. 46 N°1 Jan. 1978, pp 241-250.
10. Suh, N.P., "An Overview of the Delamination Theory of Wear". Wear Vol. 44 N°1 Aug. 1977, pp 1-16.
11. OIöf. Vingsbo, Sture. Hogmark. Fundamentals of Friction and Wear ASM 1980 MATERIALS SCIENCE SEMINAT.
12. I.G.LADMAN, J. HAMMON y F. W. MARSH SHEET METAL INDUSTRIES Mayo 1974 51 (S) 219.
13. Blau, P.J., "The Use of Knoop Indentations for Measuring microhardness near Worn Metal Surfaces", Scripta metallurgica Vol. 13 N°2, 1979, pp. 95-98.

14. Blau, P.J., "Use of a Two-Diagonal Measurement Method for Reducing Scatter in Knoop Microhardness Testing" Scripta Metallurgica, Vol. 14, N°7, 1980, pp 719-724.
15. GOODCHILD D, Roberts W.T., Wilson D.V. ACTA MET. 18 Nov. 1970 (1137).
16. SS HECKER-MG STOUT- STAUDHAMMER-J.L. SMITH, MET TRANS. 13 A. 1982, 619.
17. P.Alvarez, A. Hey, Jul, 1983. Congreso Anual ABM.
18. R. Glardon, I. Finnie. Trans. of the ASME. Vol. 105 Jan 1983, (36).

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
GERENCIA DE DESARROLLO  
**SERVICIO DE ANALISIS DE INFORMACION**

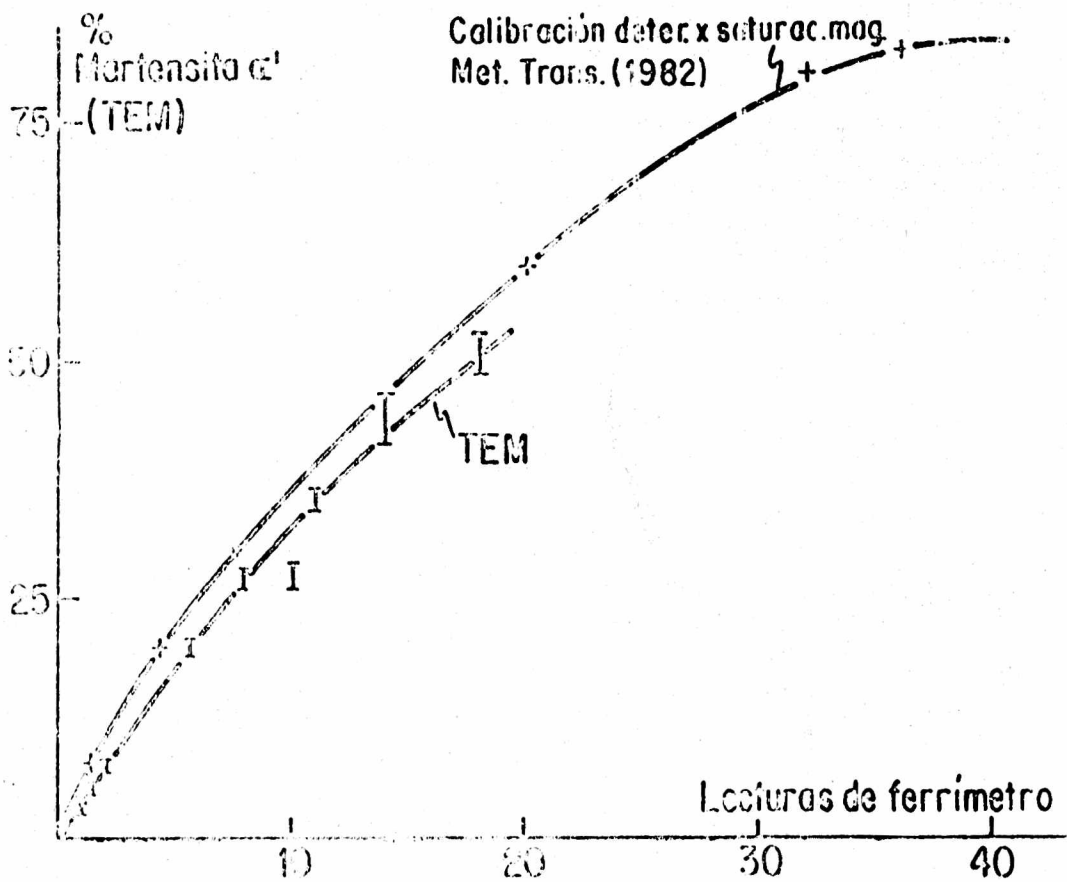


Fig. 4 Acero 304 - Curva de calibración del delta ferrímetro por mediciones con TEM.



# AISI 304-ENSAYOS DE DESGASTE

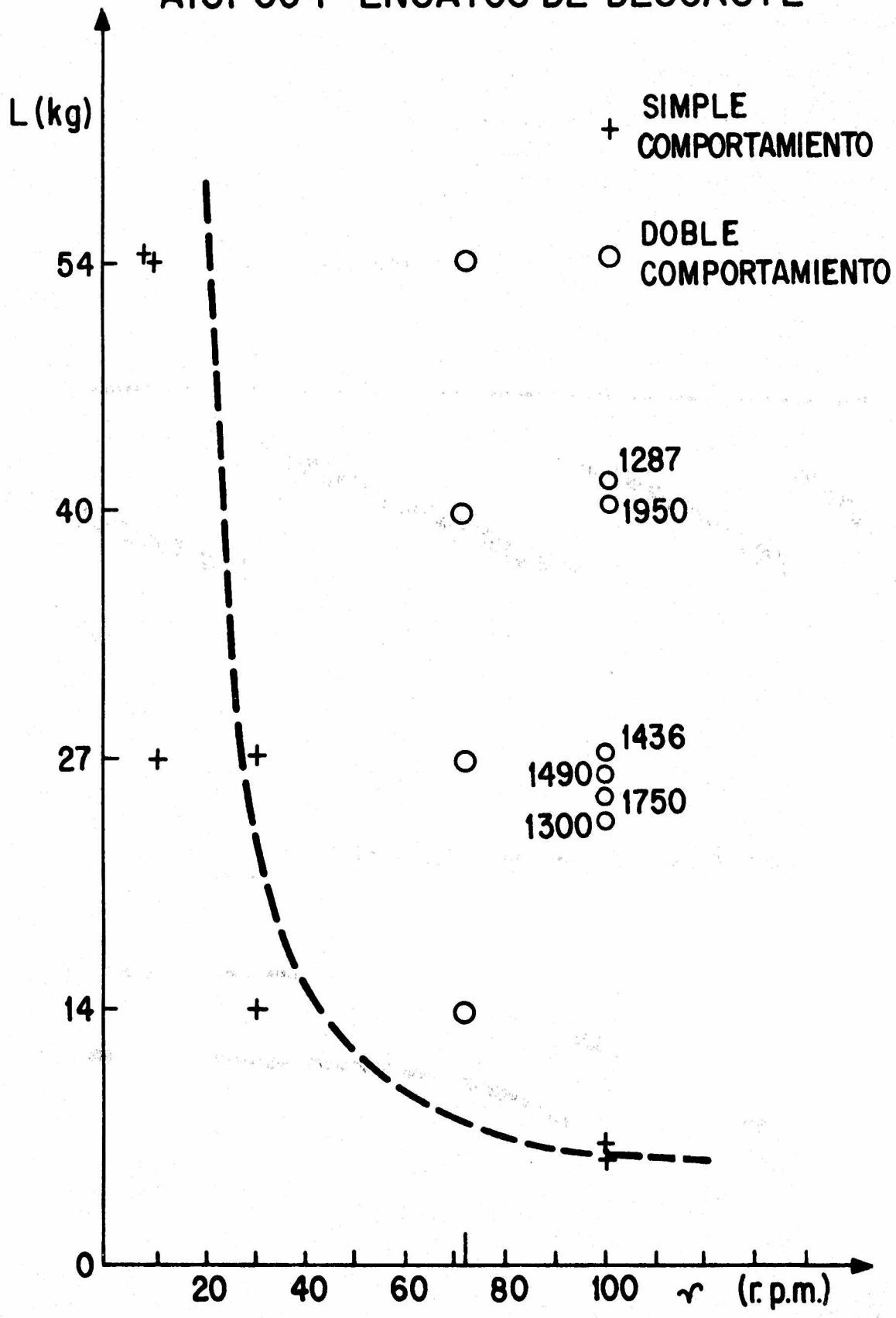


Fig. 6

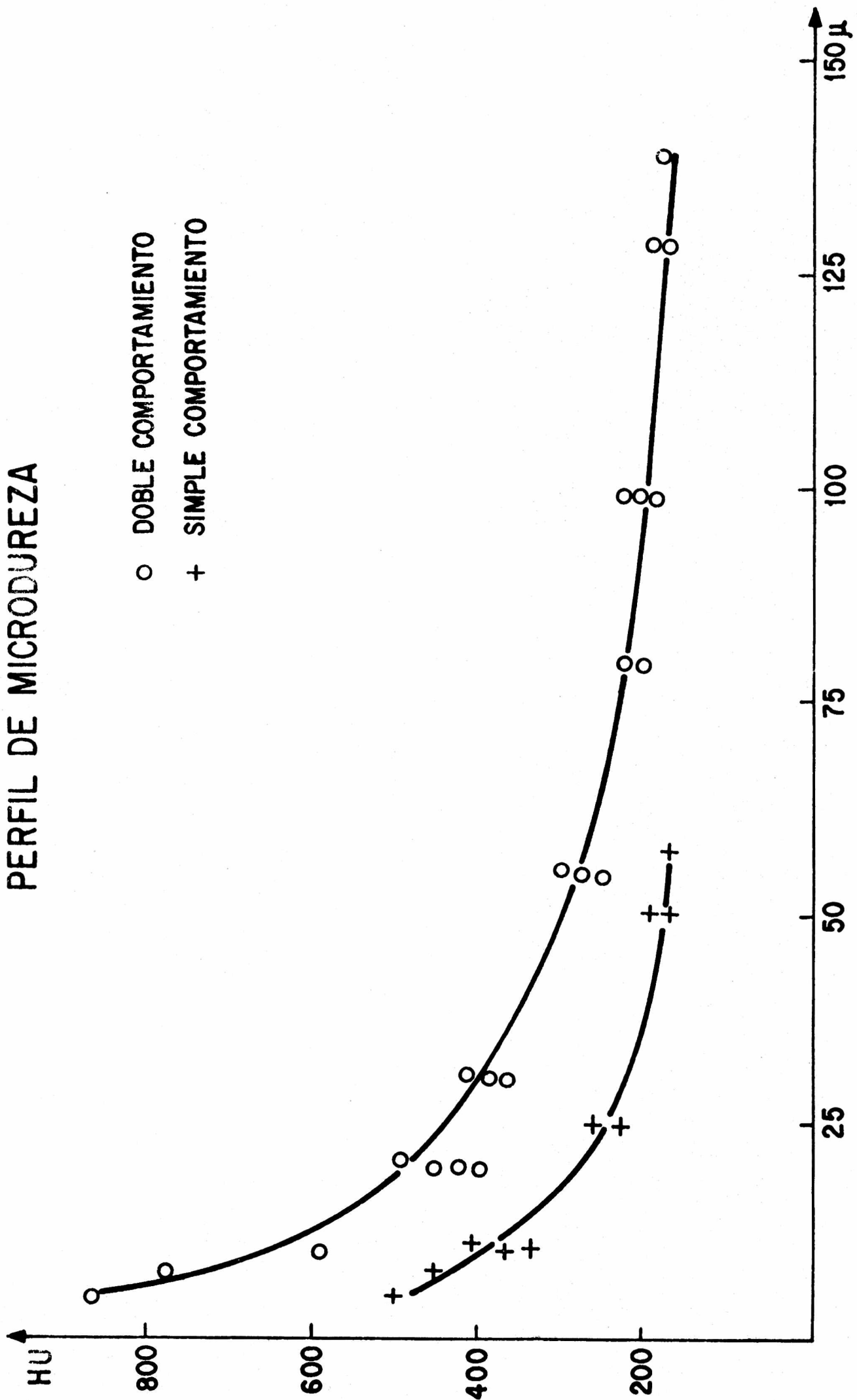
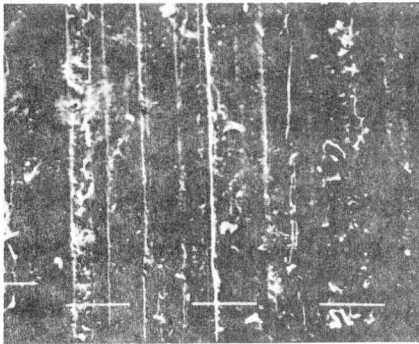
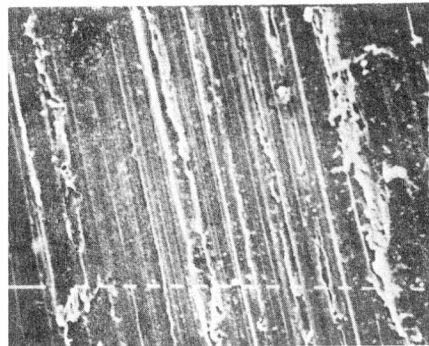


Fig. 7

FIG. 9 SEM de Superficies



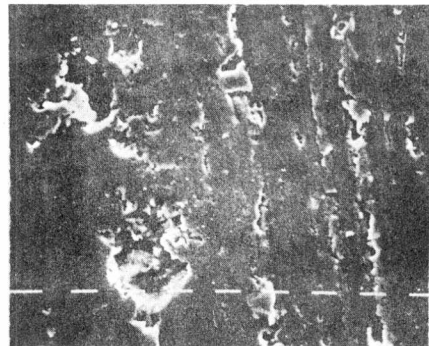
a 160 X



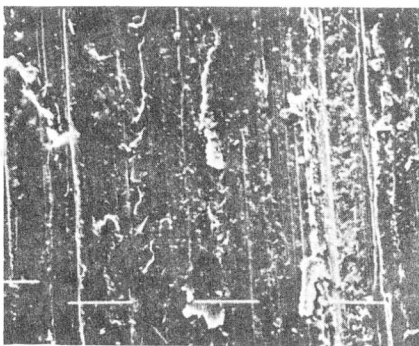
b 320 X



c 320 X



d 640 X



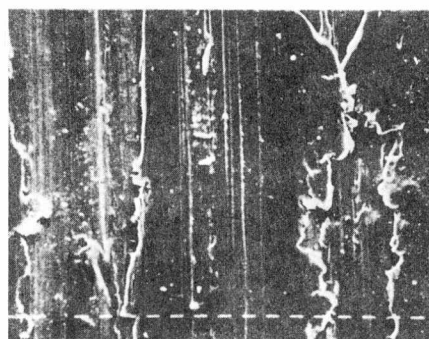
e 160 X



f 300 X



g 1250 X



h 320 X

FIG. 10 Comportamiento simple

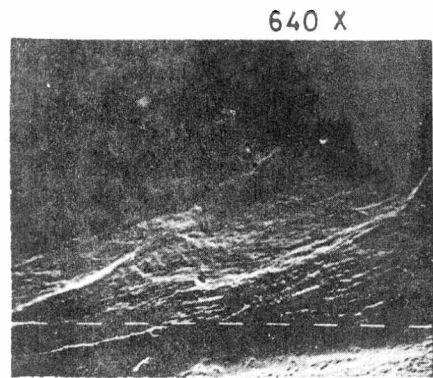
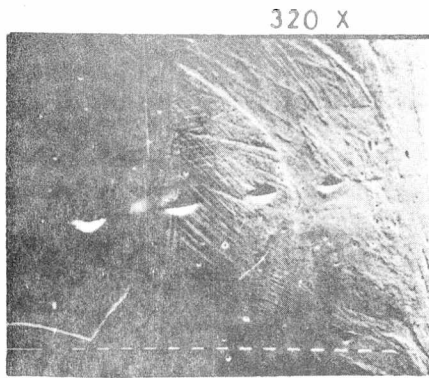
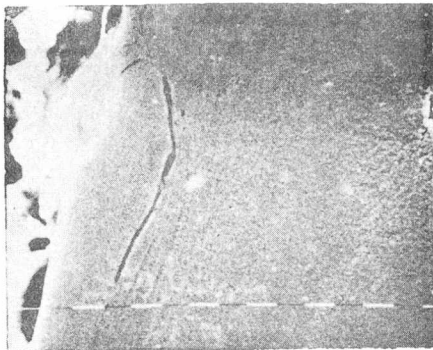
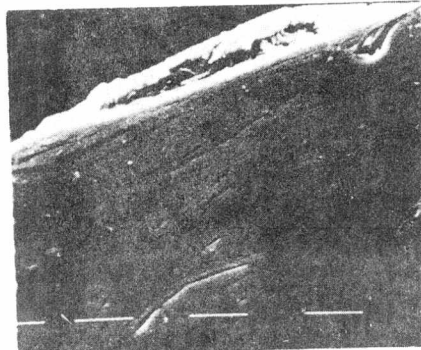


FIG. 11 Comportamiento dual

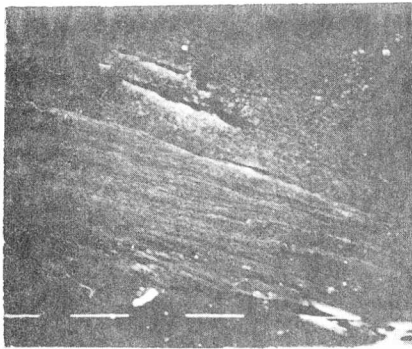


640 X

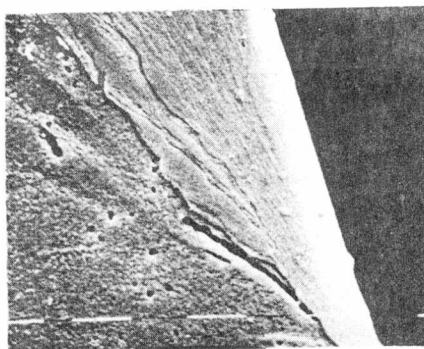


2000 X

a Zona 1

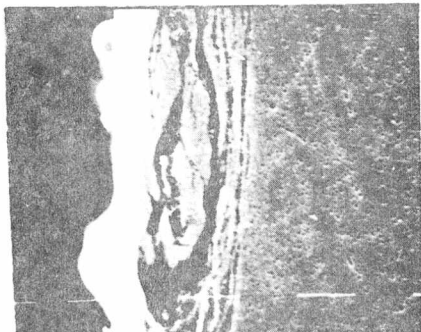


2000 X

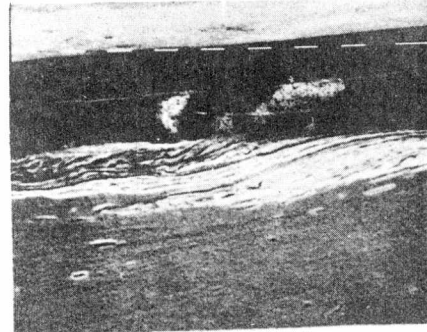


2000 X

b Zona 2



2000 X



640 X

c Zona 3

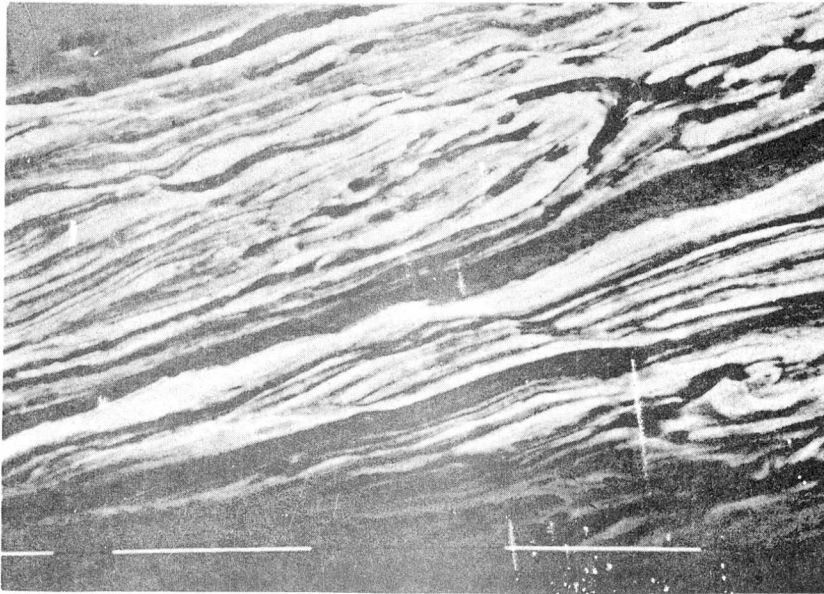


FIG. 15

2500 X

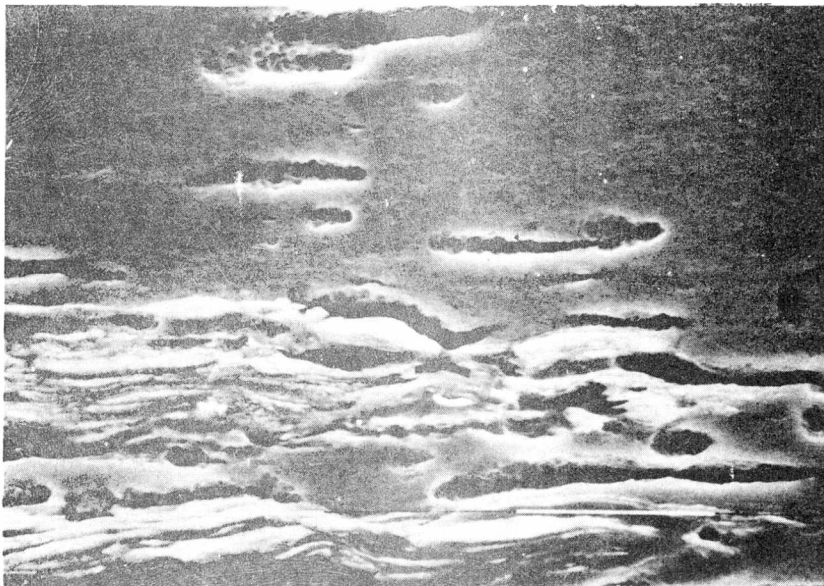


FIG. 16

2700 X