

TM
Z5853
. M2
FIME
1979
Q53

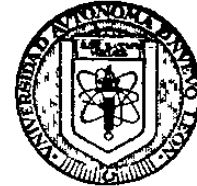
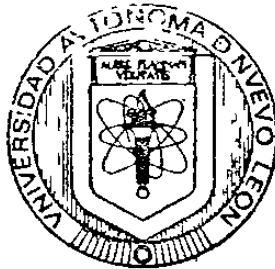
TM
Z5853
.M2
FIME
1979
Q53



1020070556

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



DIRECCION GENERAL DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

**ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS
FISICAS DE UN ACERO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE
INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIDAD EN METALURGIA**

P R E S E N T A

JOSE LUIS QUIROZ VAZQUEZ

MONTERREY, N. L.

JUNIO DE 1979



16207 *

GRACIAS DIOS PORQUE UNA VEZ MAS ME HAS MOSTRADO TU GRANDEZA,
POR ESCUCHAR NUESTRAS ORACIONES Y AL GUIARME EN EL FUTURO--
COMO PROFESIONISTA.

GRACIAS POR AYUDARME A PRESENTAR ESTA TESIS CON LA CUAL CUL-
MINO UNO DE MIS GRANDES ANHELOS.

DEDICO ESTA TESIS:

A MIS PADRES:

SR. VICENTE QUIROZ QUEZADA

SRA. MA. GUADALUPE VAZQUEZ DE QUIROZ

QUE CON SU EJEMPLO, PROTECCION, COMPRESION Y AMOR ME HAN MOSTRADO EL CAMINO QUE SE SIGUE PARA LA DIGNIDAD Y EL RESPETO. GRACIAS POR SUS CONSEJOS, POR PREOCUPARSE POR MI. GRACIAS A DIOS PORQUE LOS TENGO A USTEDES.

QUIERO QUE RECIBAN ESTE TEXTO COMO ALGO DE LA SEMILLA QUE HAN SEMBRADO.

GRACIAS PAPA

GRACIAS MAMA

A MIS HERMANOS:

JUAN VICENTE
MA. GUADALUPE
MA. DOLORES
ROSA ARMINDA

QUIENES DE UNA U OTRA FORMA ME HAN AYUDADO Y ALENTADO EN LOS MOMENTOS
DIFICILES.

A MIS TIOS (AS), PRIMOS (AS), SOBRINOS (AS), Y DEMAS FAMILIARES:

CON AGRADECIMIENTO POR EL CARINO QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO.

À MI NOVIA:

MARITZA ALICIA
CON AMOR

PORQUE HA SIDO ALICIENTE EN MI CAMINO HACIA LA META. GRACIAS POR TODO
LO QUE CON TU AMOR ME HAS BRINDADO.

A MI ASESOR:

DR. JUAN FRANCISCO MOJICA

POR SU AYUDA VALIOSA Y DESINTERESADA EN LA ELABORACION DE ESTA TESIS

A LOS DISTINGUIDOS MIEMBROS DEL
HONORABLE JURADO

EN ESPECIAL AL:

ING. GUADALUPE E. CEDILLO GARZA

POR SU GRAN AYUDA Y ATENCION QUE TUVO SIEMPRE PARA CONMIGO.

A LAS SIGUIENTES PERSONAS:

ING. ANGEL SANCHEZ TREVINO

ING. ARNOLDO LOZANO GARZA

ING. FELIPE FUENTES ESPINOSA

ING. BUENAVENTURA J. FLORES R.

ING. JOSE ESTRADA RODRIGUEZ

ING. JOSE E. BERNAL AVALOS

ING. J. JESUS DIAZ CONTRERAS

ING. OSVALDO DEL ANGEL SALAS

EN AGRADECIMIENTO A SU AMISTAD Y AYUDA DESINTERESADA QUE ME BRINDARON.

A MIS AMIGOS, TODOS

CON SINCERO APRECIO.

C O N T E N I D O

	PAG.
INTRODUCCION	
CAPITULO I.- METODOS DE ENSAYOS MECANICOS	
1.- GENERALIDADES -----	1
2.- ENSAYO DE TRACCION -----	1
3.- PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO -----	2
4.- PROPIEDADES DE TRACCION -----	3
5.- DIAGRAMA DE TRACCION -----	4
6.- PROGRAMA REAL DE TRACCION -----	7
7.- ENSAYO PARTICULAR (TRACCION) -----	8
8.- CORRECCION DE GRAFICAS -----	9
DATOS Y GRAFICAS DE ENSAYOS -----	10
9.- ENSAYO DE DUREZA -----	31
10.- PROCEDIMIENTO ROCKWELL -----	31
11.- APARATOS DE DUREZA SUPERFICIAL ROCKWELL-----	34
12.- ENSAYO PARTICULAR (DUREZA) -----	36
13.- PROBETAS SIN TRATAMIENTO TERMICO -----	36
14.- FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VARIACION DE DUREZA.	
15.- PROBETAS CON TRATAMIENTO TERMICO-----	38

CAPITULO II .- PREPARACION DE LAS PROBETAS PARA LA OBSERVACION MICROSCOPICA. PAGES.

16.- INTRODUCCION -----	41
17.- TOMA DE MUESTRAS -----	42
18.- MONTAJE DE PROBETAS PEQUENAS -----	42
19.- DESBASTE A MANO -----	43
20.- PULIDO-----	43
21.- ATAQUE DE LAS PROBETAS PARA SU EXAMEN MICROSCOPICO -----	45
22.- TAMANO DE GRANO -----	46
23.- MEDIDA DEL TAMANO DE GRANO -----	47
24.- ENSAYO PARTICULAR -----	51
CONCLUSIONES -----	56
REFERENCIAS -----	62

LISTA DE SIMBOLOS UTILIZADOS

2

SIMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
L_t	LONGITUD TOTAL DE LA PROBETA	cm.
L_c	LONGITUD ENTRE CABECERAS	cm.
L_{cal}	LONGITUD DE CALIBRACION	cm.
B	ANCHO DE LAS CABECERAS	cm.
b	ANCHO DE LA SECCION REDUCIDA	cm.
E_i	ESPESOR INICIAL DE LA PROBETA	cm.
E_f	ESPESOR FINAL DE LA PROBETA	cm.
B_{rup}	ANCHO DE SECCION RUPTURADA	cm.
A_i	AREA INICIAL DE SECCION REDUCIDA	cm. ²
A_f	AREA FINAL DE SECCION REDUCIDA	cm. ²
P_{ced}	CARGA DE CEDENCIA	Kg.
P_{maxi}	CARGA MAXIMA	Kg.
P_{rup}	CARGA DE RUPTURA	Kg.
σ_{ced}	ESFUERZO DE CEDENCIA	Kg/cm ²
σ_{maxi}	ESFUERZO MAXIMO	Kg/cm. ²
σ_{rup}	ESFUERZO DE RUPTURA	Kg/cm. ²
$\% \text{ RED. A.}$	% DE REDUCCION DE AREA	%
M	MODULO DE ELASTICIDAD	Kg/ cm. ²
T	TEMPERATURA	°C
t	TIEMPO	seg.
N	NUMERO DE GRANOS	No. DE GRANOS/cm ²
Dureza Sup.	DUREZA SUPERFICIAL	R-A
n	TAMAÑO DE GRANO	-----

INTRODUCCION

Para poder señalar la calidad de los metales y sus posibles aplicaciones, es necesario conocer sus principales características, que se pueden determinar haciendo en cada caso ensayos apropiados. Las características mecánicas son en general las que se determinan con más facilidad y también las más importantes para poder decidir con criterios adecuados el empleo de los metales en la construcción de máquinas, motores, edificios, puentes, vías-férreras, etc. En cambio es menos frecuente y más complicado el estudio de las características eléctricas o químicas de los materiales.

Entre los diversos fines para los que interesa realizar estos ensayos los más importantes son los siguientes:

- a).- Para determinar propiedades de los aceros y fijar sus posibilidades de utilización.
- b).- Para efectuar el control de calidad durante los procesos de fabricación.
- c).- Para determinar los tratamientos, composiciones o tipos de acero más apropiados para un uso determinado.
- d).- Para establecer las causas de fracasos en servicios y determinar si unos materiales pueden ser reemplazados por otros.
- e).- Para el estudio de nuevos tipos de acero.
- f).- Para investigación de nuevos procesos de fabricación.

El presente estudio se hará en base a un acero en particular de bajo carbono laminado en frío. Se determinará mediante ensayos apropiados, las propiedades mecánicas a la tensión del acero sin tratar, así como también la dureza, la microestructura y tamaño de grano que posee antes y después de un tratamiento determinado.

CAPITULO I

MÉTODOS DE ENSAYOS MECANICOS.-

- 1.- Los ensayos mecánicos tienen por finalidad determinar un cierto número de características de los metales y aleaciones, como son: aptitud para deformarse por tracción o compresión, resistencia a la penetración de una pieza dura sometida a un esfuerzo constante, comportamiento frente a sollicitaciones alternadas inferiores al límite elástico, resistencia al choque de deformación bajo carga constante a temperatura elevada, Etc. Estas propiedades dependen de la clase del material, su tratamiento, estructura interna, forma de la pieza y otros factores. Las características de las propiedades mecánicas se determinan en aparatos especiales, ensayando probetas preparadas de antemano.

Existen los siguientes tipos de ensayos mecánicos:

- a).- Con carga estática cuando la carga que se aplica va aumentando lenta y gradualmente.
- b).- Con carga dinámica, cuando la fuerza externa actúa con gran velocidad.
- c).- Con carga periódica variable, si en el curso del ensayo varía la magnitud y la dirección de ésta.

A continuación analizaremos en forma general los ensayos mecánicos requeridos para este estudio, siendo éstos a su vez los más usuales para la determinación de las características anteriormente enunciadas.

2.- ENSAYO DE TRACCION.

Los términos ENSAYO DE TRACCION Y ENSAYO DE COMPRESION generalmente se usan para referirse a ensayos en los cuales una probeta preparada es sometida a una carga monoaxial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurre la falla.

Los ensayos apropiadamente conducidos en partes representativas pueden ser valiosas para indicar directamente el desempeño de tales partes bajo car-

gas en servicio. Los ensayos adecuados de probetas o partes montadas sometidas a tratamientos específicos pueden ser útiles para evaluar cuantitativamente -- el efecto de esos tratamientos.

3.- PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL ENSAYO:

- a).- Después de preparar la probeta con las medidas exactas se divide longitudinalmente en partes iguales (marcando de 10 en 10mm, por ejemplo, en la probeta de tipo normal), utilizándose luego esas divisiones para medir el alargamiento.
- b).- Enseguida se sujeta la probeta entre las mordazas de la máquina, y se procura que las cabeceras queden bien sujetas.
- c).- Se mide el tramo de calibración y se determina el valor de las divisiones del indicador caratular del extensómetro. Se coloca el extensómetro de tal manera que sus brazos formen un ángulo de 90° y que el indicador caratular toque ligeramente la mesa de prueba. Se ajusta la máquina de ensayo y el extensómetro para que indiquen cero.
- d).- Se eligen incrementos de carga. A medida que aumenta la carga la probeta se va estirando cada vez más debiendo observarse, mientras tanto, la marcha de la aguja en el cuadrante indicador, haciéndose diversas anotaciones, que pueden ser de interés como, por ejemplo la medición y anotación de las cargas que corresponden a diferentes alargamientos, y también las cargas correspondientes al límite elástico.
- e).- Se continúa aplicando la carga hasta rebasar el límite elástico, Para esta parte la velocidad de aplicación de carga puede aumentarse ya que esto no afecta tanto a la resistencia última como a la resistencia de cedencia. Llega un momento en que la probeta se rompe, terminándose entonces el ensayo. Se registran las cargas máximas de rotura.
- f).- Se retira la probeta de la máquina, y se observa la fractura y el carácter de la fractura y se miden las dimensiones de la sección más pequeña. Se ajustan las partes rotas y se mide el tramo de calibración y los intervalos entre las marcas intermedias.
- g).- Se traza el diagrama de ESFIERZAS DE TRACCIÓN UNITARIA.

4.- PROPIEDADES DE TRACCION.-

A continuación explicaremos el significado de cada uno de los coeficientes que pueden determinarse mediante el ensayo de tracción:

a).- CARGA DE ROTURA.- Es la carga máxima por unidad de sección que resiste el material antes de romperse.

b).- LIMITE DE ELASTICIDAD TEORICO.- Es la carga máxima por unidad de sección que al cesar de actuar no produce deformaciones permanentes en el material.

c).- LIMITE APARENTE DE ELASTICIDAD.- Es la carga por unidad de sección, a partir de la cual en el ensayo de tracción el alargamiento crece rápidamente sin que haya un aumento sensible de la carga. En la mayoría de los metales no se presenta el límite elástico aparente por lo que se utiliza el límite elástico convencional o práctico.

d).- LIMITE DE ELASTICIDAD PRACTICO.- Es la carga para la cual las deformaciones permanentes del material son superiores a una cierta medida, 0.02%, 0.05%, 0.2%, Etc... de la longitud de la probeta. Su determinación se lleva a cabo de la siguiente forma.

Desde el punto que represente una deformación del 0.2% de la deformación total, en el eje de las abscisas, se traza una paralela a la porción elástica de la curva ESFUERIO-DEFORMACION. Esta recta cortará a la curva en punto a partir del cual el material que se está ensayando se aparta del comportamiento elástico en un 0.2%. El esfuerzo en este punto es el límite de fluencia convencional del 0.2%. Por tanto, en un metal deformado plásticamente en tracción simple la magnitud del esfuerzo a partir de la que comienza la deformación es el límite de fluencia convencional.

Aunque el alargamiento permanente del 0.2% es el que más se emplea para definir el límite de fluencia convencional, suelen utilizarse también los del 0.1% para los aceros y 0.5% para las fundiciones.

e).- LIMITE DE PROPORCIONALIDAD.- Es la carga máxima por unidad de sección para la cual las cargas son proporcionales a los alargamientos. En la práctica se suelen tomar como valor del límite de proporcionalidad la carga durante el ensayo llega a producir una deformación ---

superior en un 0.01% a la que corresponde a la Ley de Hooke.

- f).- **MODULO DE ELASTICIDAD.**- Se utiliza para conocer los alargamientos elásticos que experimenta el material bajo la acción de diferentes cargas. Se determina en el ensayo de tracción, dividiendo las cargas que actúan por -- los alargamientos elásticos que experimenta el material. El módulo de elasticidad es también la carga que produciría un alargamiento elástico de un 100% si para esa carga no llegara a romperse la probeta.
- g).- **DEFORMACION UNITARIA.**- Señala el aumento de longitud que ha experimentado el material hasta el momento de romperse. Se determina mediante el cociente de la diferencia de la longitud final menos la longitud inicial entre la longitud inicial, multiplicandose por 100 para expresarse en %.
- h).- **ESTRICCION.**- Es la reducción de la sección que experimenta la probeta en la zona de rotura. Se determina mediante el cociente de la diferencia de el área inicial menos el área más pequeña después de la rotura, multiplicandose por 100 para expresarse en %.

5.- **DIAGRAMAS DE TRACCION :**

Las propiedades de tracción descritas pueden determinarse a partir de un diagrama ESFUERZO-DEFORMACION en el que la tensión de tracción se representa en ordenadas y la deformación en las abscisas.

Conviene diferenciar en la curva representativa del ensayo, dos zonas:

- A).- Una de alargamientos repartidos uniformemente en toda la probeta.
B).- Otra en la que los alargamientos se localizan hacia el centro de la probeta donde se produce la estricción.

En la primera zona de alargamientos repartidos hay dos periodos. Un primer periodo en que se producen alargamientos elásticos y otro segundo en el -- que en la probeta se producen alargamientos permanentes.

1ª. ZONA. ALARGAMIENTOS REPARTIDOS.

1^{er}. período o de alargamientos Elásticos.- Se presentan en la primera parte del ensayo y se suele denominar período elástico; en él los alargamientos de la probeta son muy pequeños y son proporcionales a los esfuerzos a que está sometido el material. Cuando el esfuerzo cesa, la probeta vuelve a recobrar sensiblemente su longitud primitiva (zona O-E figura 1).

2º. período o de Alargamientos Permanentes.- En él se producen grandes alargamientos y además una parte de ellos son permanentes. A partir de una cierta carga los alargamientos que van produciéndose son cada vez más importantes. En este período se observa que cuando cesa el esfuerzo la probeta queda alargada, produciéndose alargamientos permanentes importantes (zona E-S figura 1).

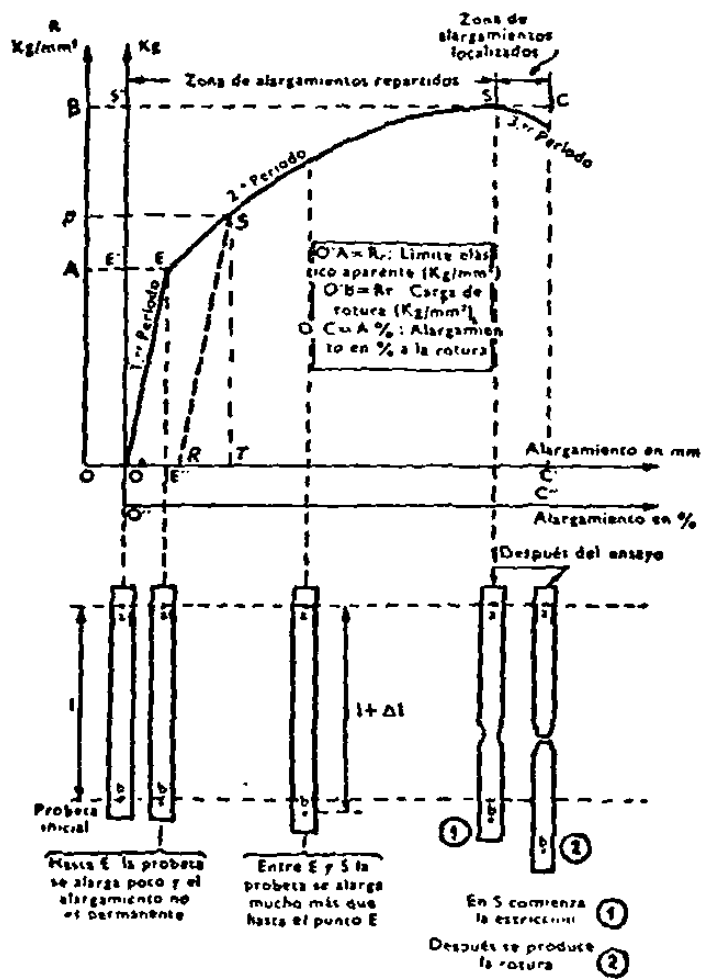
En este segundo período, el alargamiento total que se produce cuando está actuando la carga está formado por la suma de los dos alargamientos; el alargamiento elástico temporal que desaparece y el alargamiento permanente que subsiste cuando deja de actuar la carga sobre el material.

En estos dos períodos los alargamientos se reparten por igual sobre toda la longitud de la probeta y la sección disminuye también en igual proporción en toda ella.

2ª. ZONA. ALARGAMIENTOS LOCALIZADOS.

Cuando la carga que actúa llega a alcanzar un cierto valor se produce en una zona de la probeta, generalmente próxima al centro, una estricción o alargamiento localizado. A partir de este momento el alargamiento se localiza exclusivamente en la llamada región de estricción, llegándose finalmente a la rotura de la probeta.

El área que queda bajo la curva de tracción, se toma a veces como medida de la tenacidad. Representa el trabajo necesario para la rotura y cuanto mayor sea indica más capacidad del material para resistir sobre cargas de tracción sin romperse.



6.- DIAGRAMA REAL DE TRACCION.-

El ensayo convencional de tracción, que hasta aquí se ha descrito, es perfectamente adecuado a materiales frágiles o, para los dúctiles, hasta el límite elástico. No describe, sin embargo, el comportamiento durante el período de deformación plástica porque las resistencias se determinan -- como cargas referidas a la unidad de sección inicial de la probeta, mientras que la instantánea, que es la que verdaderamente soporta la carga, -- disminuye continuamente en proporción apreciable. Esto quiere decir que la carga real soportada por la sección de la probeta, o dicho en otras -- palabras, la carga por unidad de sección real de la probeta, es cada vez mayor que la referida a la sección inicial. Aun se produce más error cuando se inicia la estricción localizada, pues esta da lugar a una región -- de poca sección que es la que soporta la carga. Si es posible registrar las secciones reales correspondientes a cada carga se podrá construir una curva de tracción real como se ilustra en la figura 2.

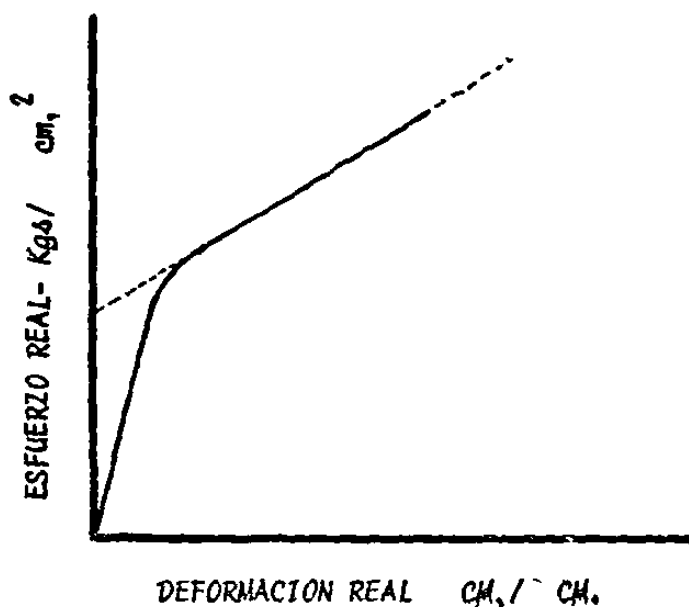


Fig. 2 .- DIAGRAMA REAL DE TRACCION.

8.- CORRECCION DE GRAFICAS.

De acuerdo con las gráficas obtenidas por la máquina de ensayo y las lecturas tomadas se puede observar que existe un determinado corrimiento de la curva debido a los siguientes factores:

A).- Pequeños deslizamientos de la probeta.

B).- Leves flexiones de la probeta, que hacen al extensómetro registrar un pequeño alargamiento al inicio del ensayo.

Por lo tanto para obtener las gráficas convencionales es necesario que la recta formada en la región elástica sea prolongada hasta intersectarse -- con el eje de deformaciones. El punto de intersección representa la magnitud del corrimiento, la cual es restada a cada una de las deformaciones leídas dándonos nuevas coordenadas de deformación. Con los esfuerzos corregidos procedemos a graficar obteniendo así las gráficas convencionales, las cuales son representadas en las figuras siguientes.

E N S A Y O No. I

CARGA	LECTURA CARATULAR	ESFUERZO	DEFORMACION	DEFORMACION CORREGIDA.
Kg.	cm.	Kg/cm. ²	cm/cm	cm/cm
25	0.0228	352	0.0045	
50	0.0355	703	0.0070	0.0010
75	0.0457	1055	0.0090	0.0030
100	0.0533	1406	0.0105	0.0045
125	0.0610	1758	0.0120	0.0060
150	0.0660	2109	0.0130	0.0070
200	0.0787	2812	0.0155	0.0095
225	0.0838	3164	0.0165	0.0105
250	0.0889	3515	0.0175	0.0115
300	0.1016	4218	0.0200	0.0140
350	0.1092	4921	0.0215	0.0155
400	0.1219	5624	0.0240	0.0180
450	0.1320	6327	0.0260	0.0200
500	0.1397	7030	0.0275	0.0215
550	0.1511	7733	0.0297	0.0237
600	0.1625	8436	0.0320	0.0260
625	0.1603	8788	0.0355	0.0295
600	0.1828	8436	0.0360	0.0300
550	0.1854	7733	0.0365	0.0305
450.	0.1892	6327	0.0372	0.0312

T A B L A No. I

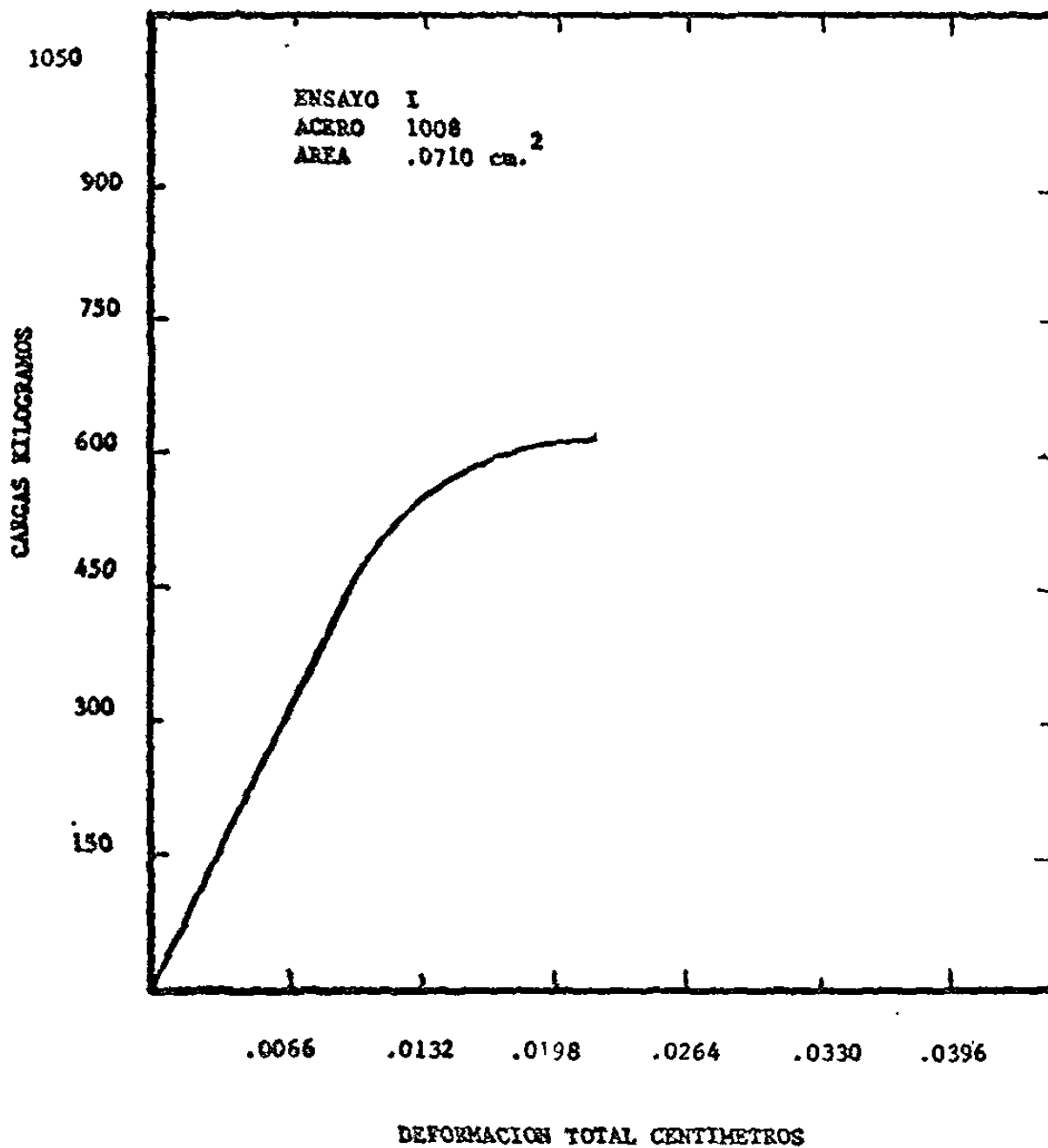


FIGURA No. 4

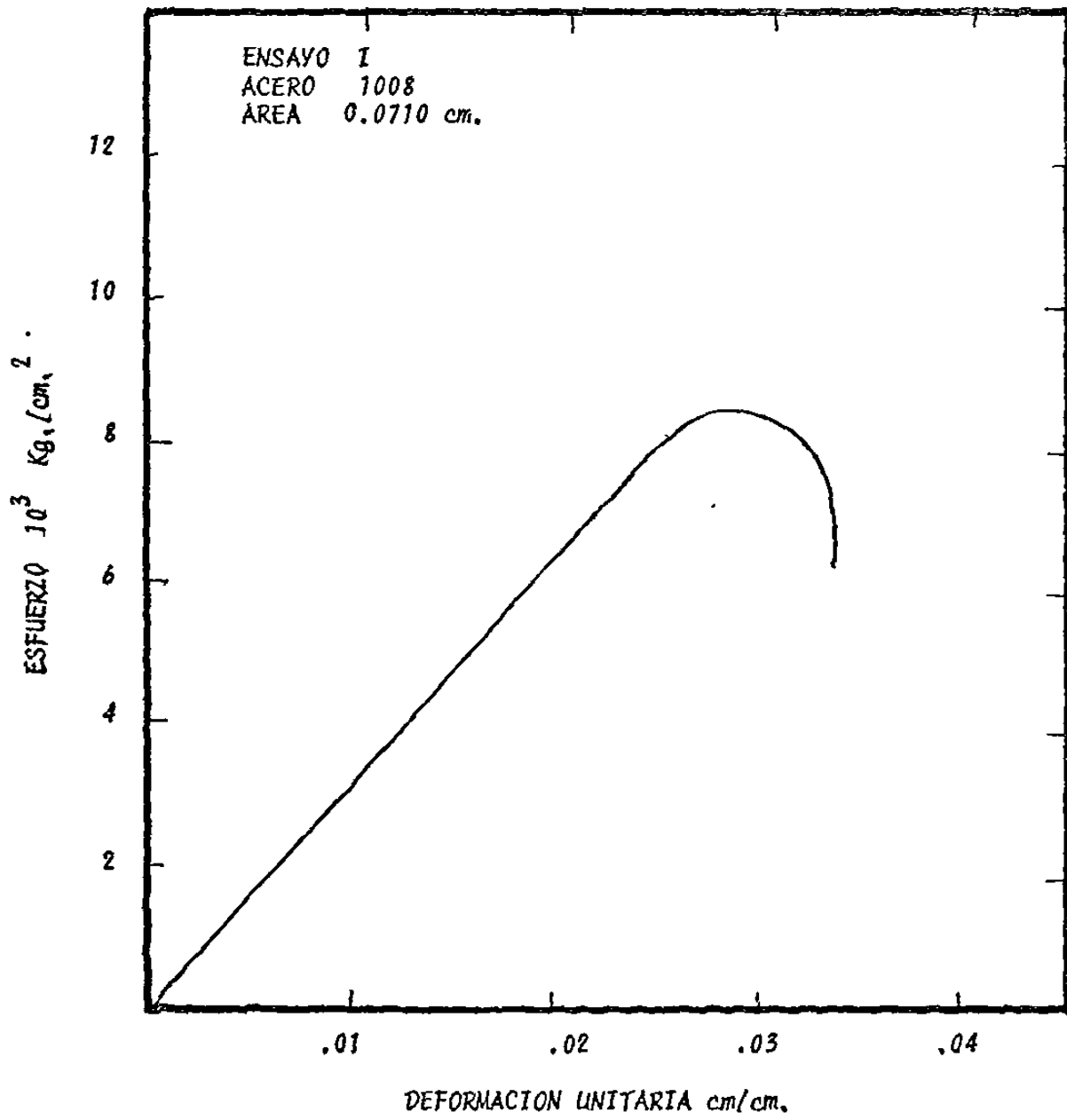


FIGURA No. 5

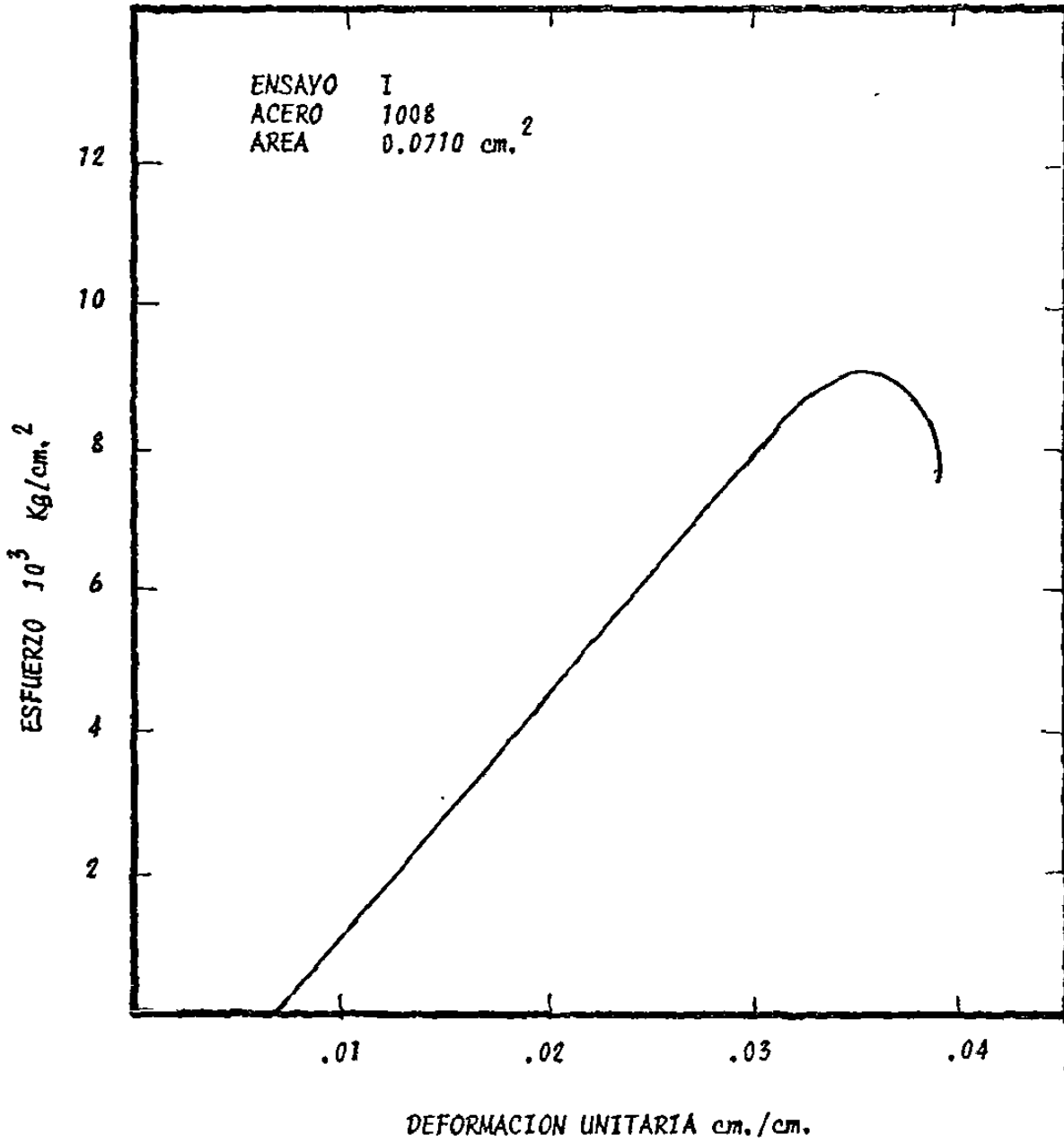


FIGURA No. 6

E N S A Y O		No. II		
CARGA	LECTURA CARATULAR	ESFUERZO	DEFORMACION	DEFORMACION CORREGIDA
Kg.	cm.	Kg/cm. ²	cm/cm.	cm./cm.
25	0.0457	212	0.0090	
75	0.1473	637	0.0290	
125	0.1993	1062	0.0392	
175	0.2273	1487	0.0447	0.0022
200	0.2349	1700	0.0462	0.0037
225	0.2413	1912	0.0475	0.0050
250	0.2489	2124	0.0490	0.0065
300	0.2616	2550	0.0515	0.0095
350	0.2692	2974	0.0530	0.0105
400	0.2794	3412	0.0550	0.0125
450	0.2870	3824	0.0565	0.0140
500	0.2946	4249	0.0580	0.0155
550	0.3022	4674	0.0595	0.0170
600	0.3098	5100	0.0610	0.0185
650	0.3175	5524	0.0625	0.0200
700	0.3251	5948	0.0640	0.0215
750	0.3327	6373	0.0655	0.0230
800	0.3403	6754	0.0670	0.0245
850	0.3479	7223	0.0685	0.0260
900	0.3606	7648	0.0710	0.0285
905	0.3708	7712	0.0730	0.0305
850	0.384	7223	0.0745	0.0320
750	0.3911	6373	0.0770	0.0345
600	0.4038	5100	0.0795	0.0370

T A B L A No. II

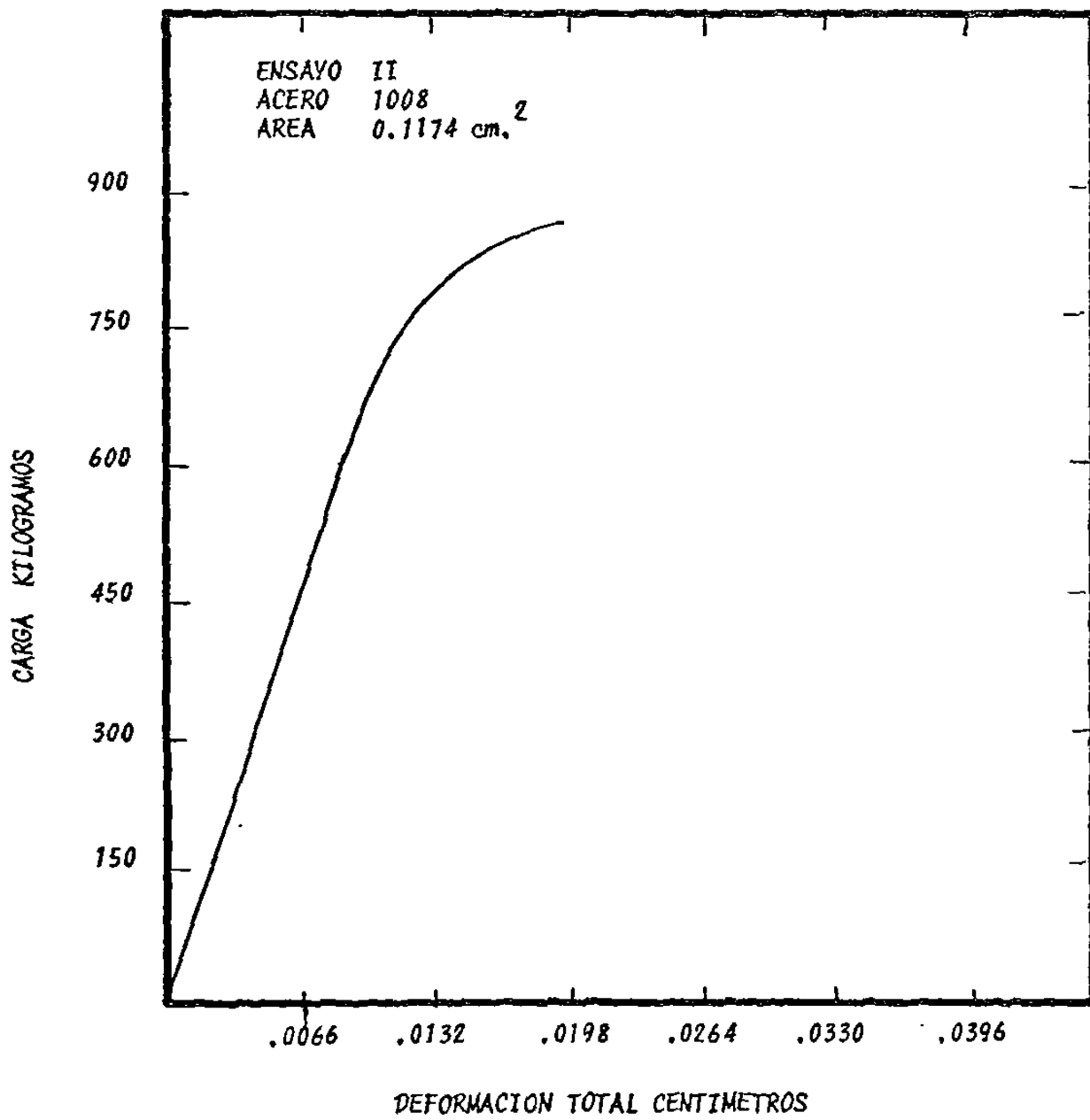


FIGURA No. 7

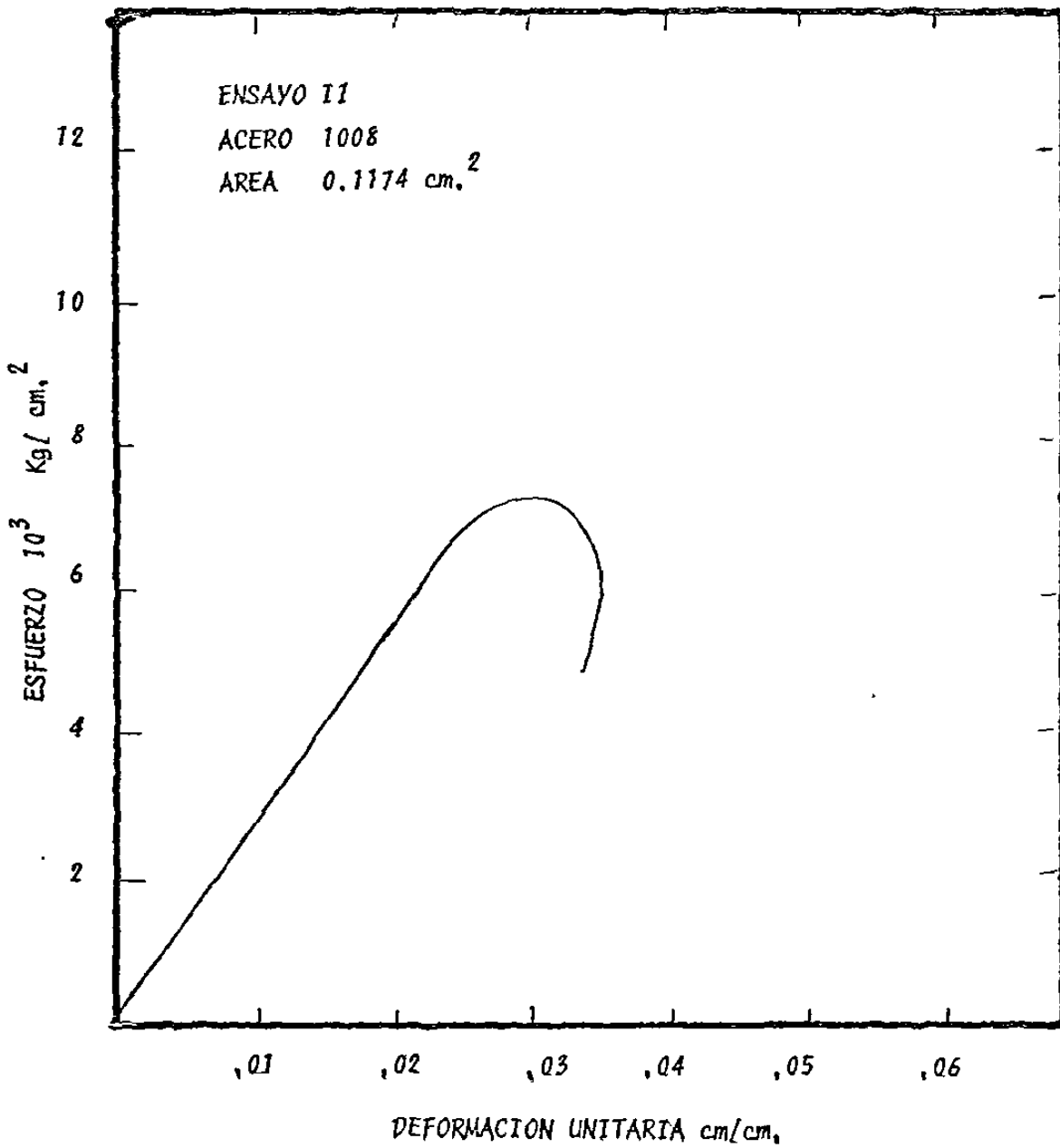


FIGURA No. 8

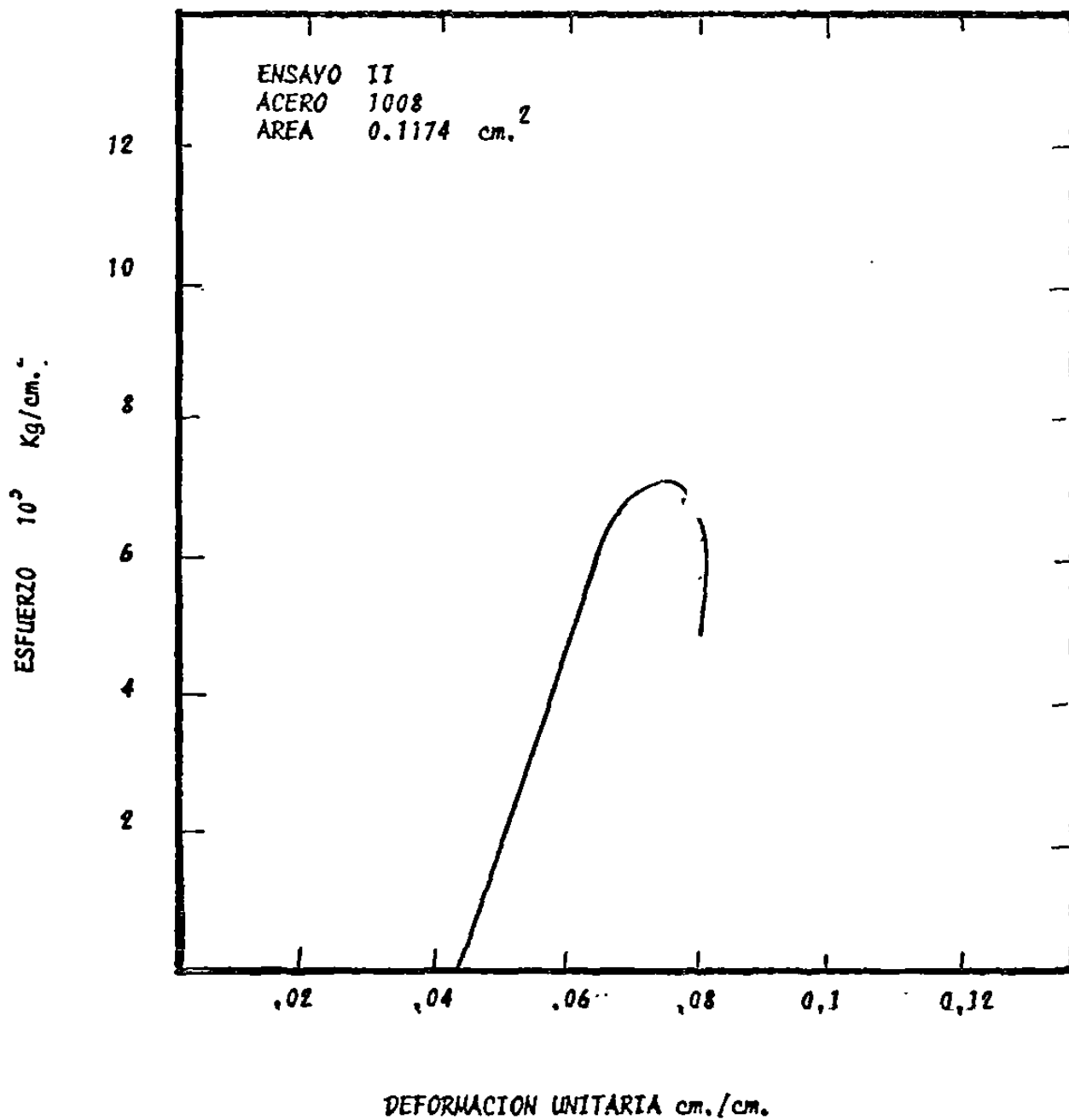


FIGURA No. 9

E N S A Y O No. III

CARGA	LECTURA CARATULAR	ESFUERZO	DEFORMACION	DEFORMACION CORREGIDA
Kg.	cm.	Kg/cm. ²	cm./cm.	cm/cm.
25	0.0508	147	0.0100	
100	0.1524	586	0.0300	
200	0.2463	1172	0.0485	0.0005
350	0.2946	2050	0.0580	0.0100
450	0.3098	2370	0.0610	0.0130
550	0.3251	3222	0.0640	0.0160
650	0.3378	3808	0.0665	0.0185
750	0.3492	4394	0.06875	0.0207
850	0.3683	4980	0.0725	0.0245
950	0.3759	5565	0.0740	0.0260
1050	0.3937	6151	0.0765	0.0285
1150	0.4038	6737	0.0795	0.0315
1162.5	0.4241	6825	0.0835	0.0355
1162.5	0.4318	6825	0.0850	0.0370
1100	0.4572	6444	0.0900	0.0420
1050	0.4699	6151	0.0925	0.0445
1000	0.4800	5858	0.0945	0.0466
950	0.4927	5565	0.0970	0.0490
775	0.5105	4540	0.1005	0.0520

T A B L A No. III

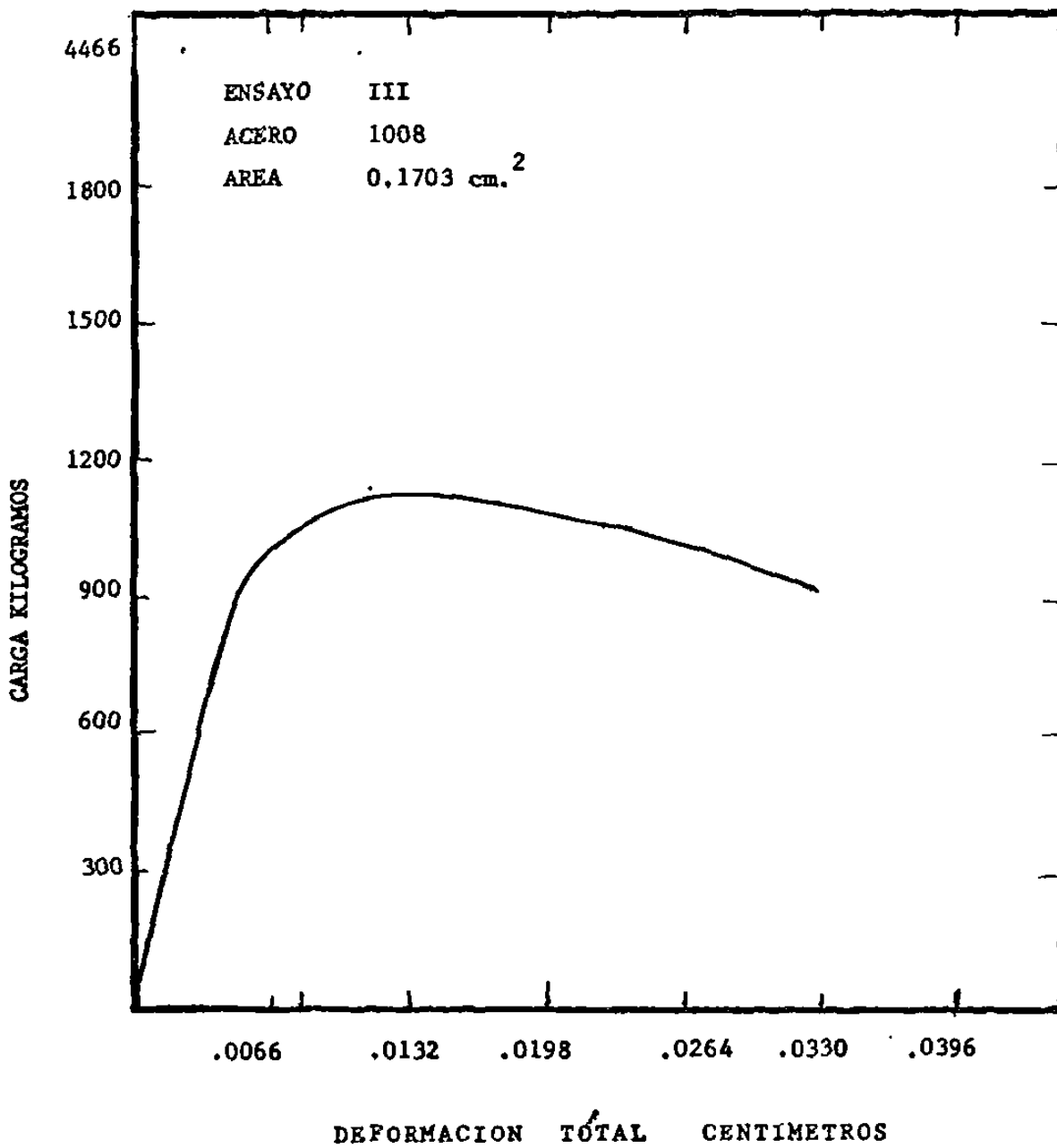


FIGURA No. 10

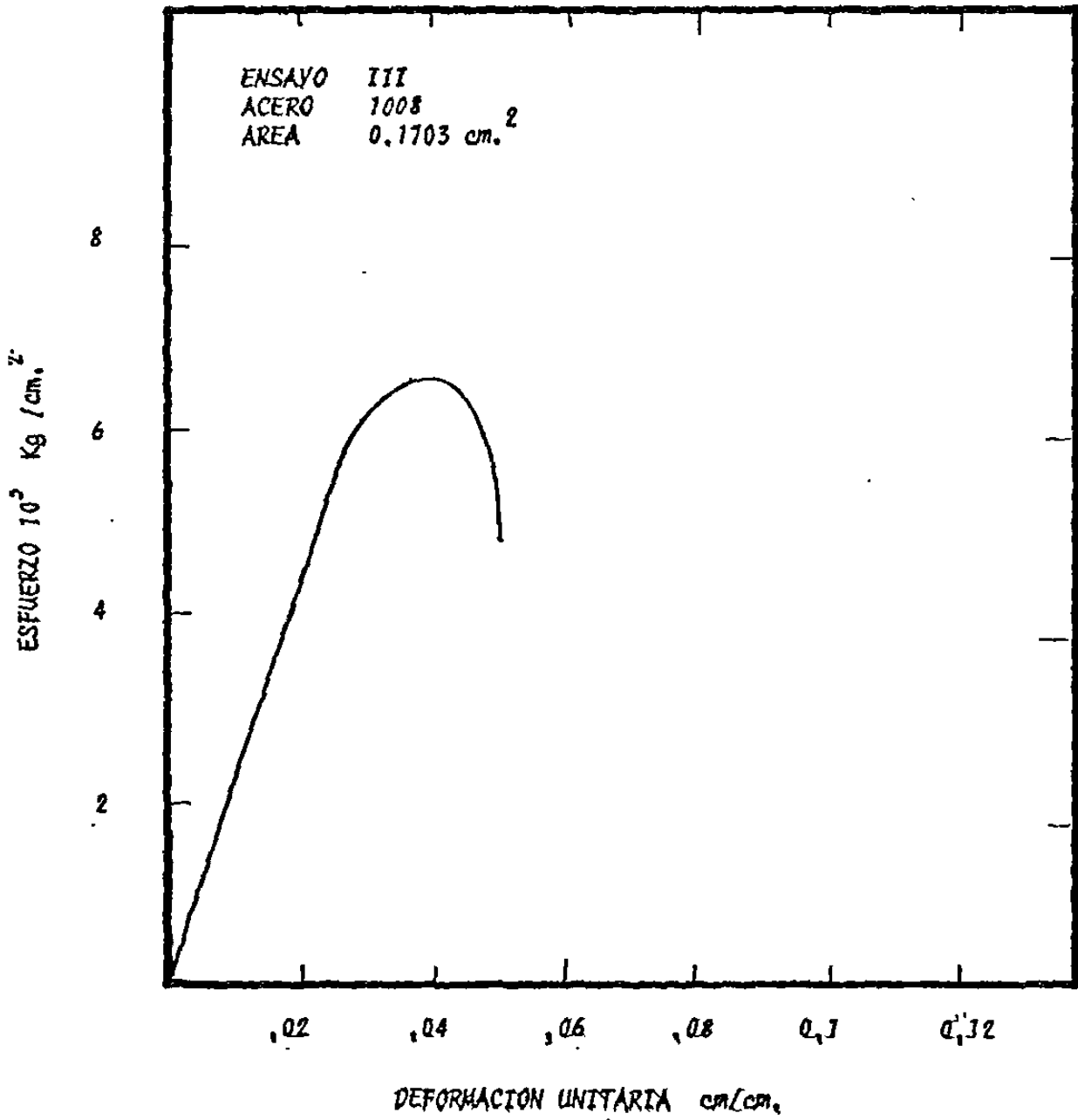


FIGURA No. 11

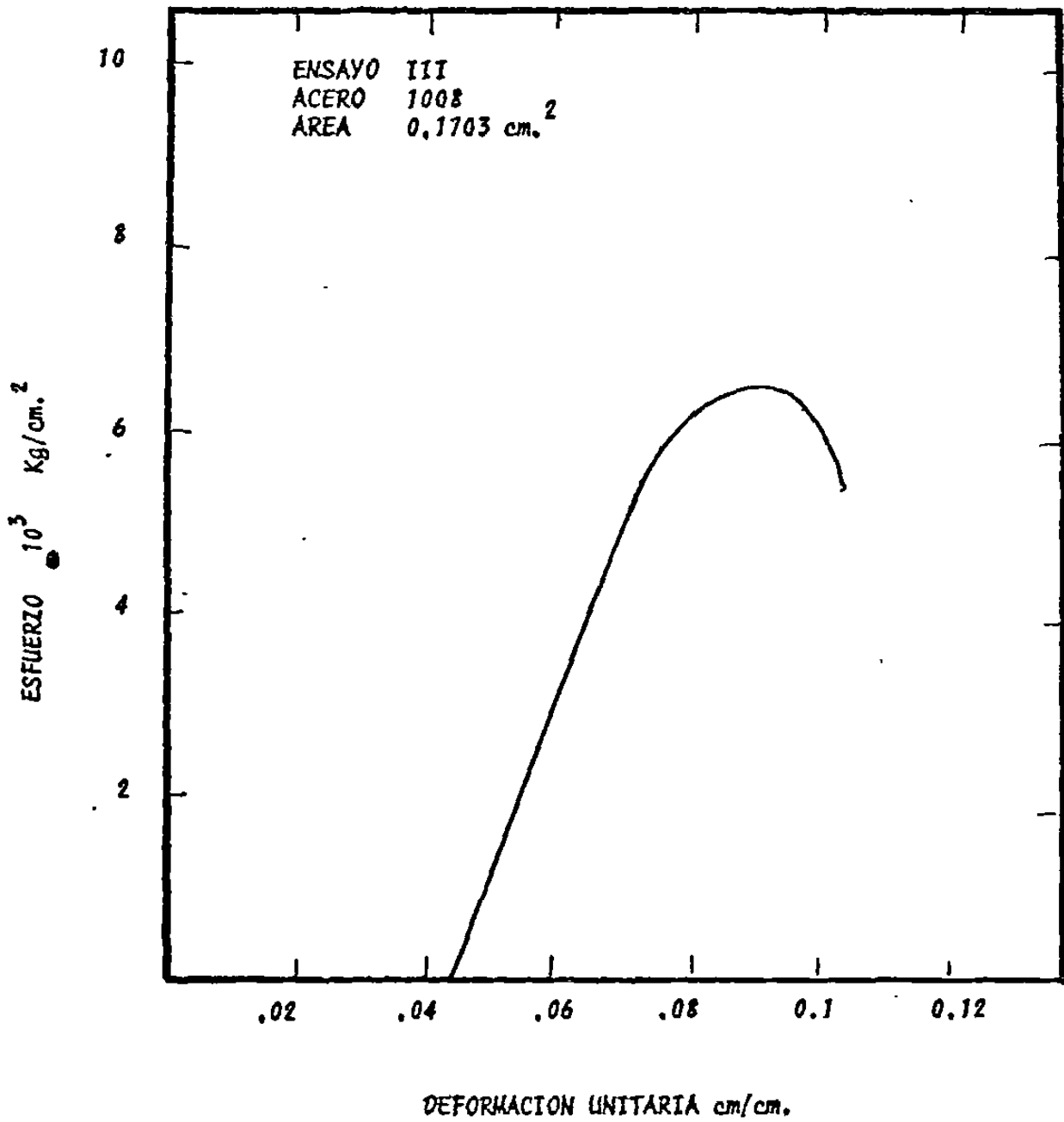


FIGURA No. 12

E N S A Y O No. IV				
CARGA	LECTURA CARATULAR	ESFUERZO	DEFORMACION	DEFORMACION CORREGIDA
Kg.	cm.	Kg/cm. ²	cm./cm.	cm./cm.
25		109		
100	0.170	437	0.0335	
200	0.264	874	0.0520	
350	0.317	1530	0.0625	0.0095
450	0.330	1767	0.0650	0.0120
550	0.342	2403	0.0675	0.0145
650	0.355	2840	0.0700	0.0170
750	0.365	3277	0.0720	0.0190
850	0.378	3714	0.0745	0.0215
950	0.388	4151	0.0765	0.0235
1050	0.401	4587	0.0790	0.0260
1150	0.414	5024	0.0815	0.0285
1250	0.435	5461	0.0857	0.0327
1258	0.444	5505	0.0875	0.0345
1258	0.449	5505	0.0885	0.0355
1258	0.477	5505	0.0940	0.0410
1250	0.502	5461	0.0990	0.0460
1200	0.538	5591	0.1060	0.0530
1150	0.566	5024	0.1115	0.0585
1100	0.586	4806	0.1155	0.0625
1050	0.604	4587	0.1190	0.0660
1000	0.619	4369	0.1220	0.069
675	0.657	2950	0.1295	0.076

T A B L A No. IV

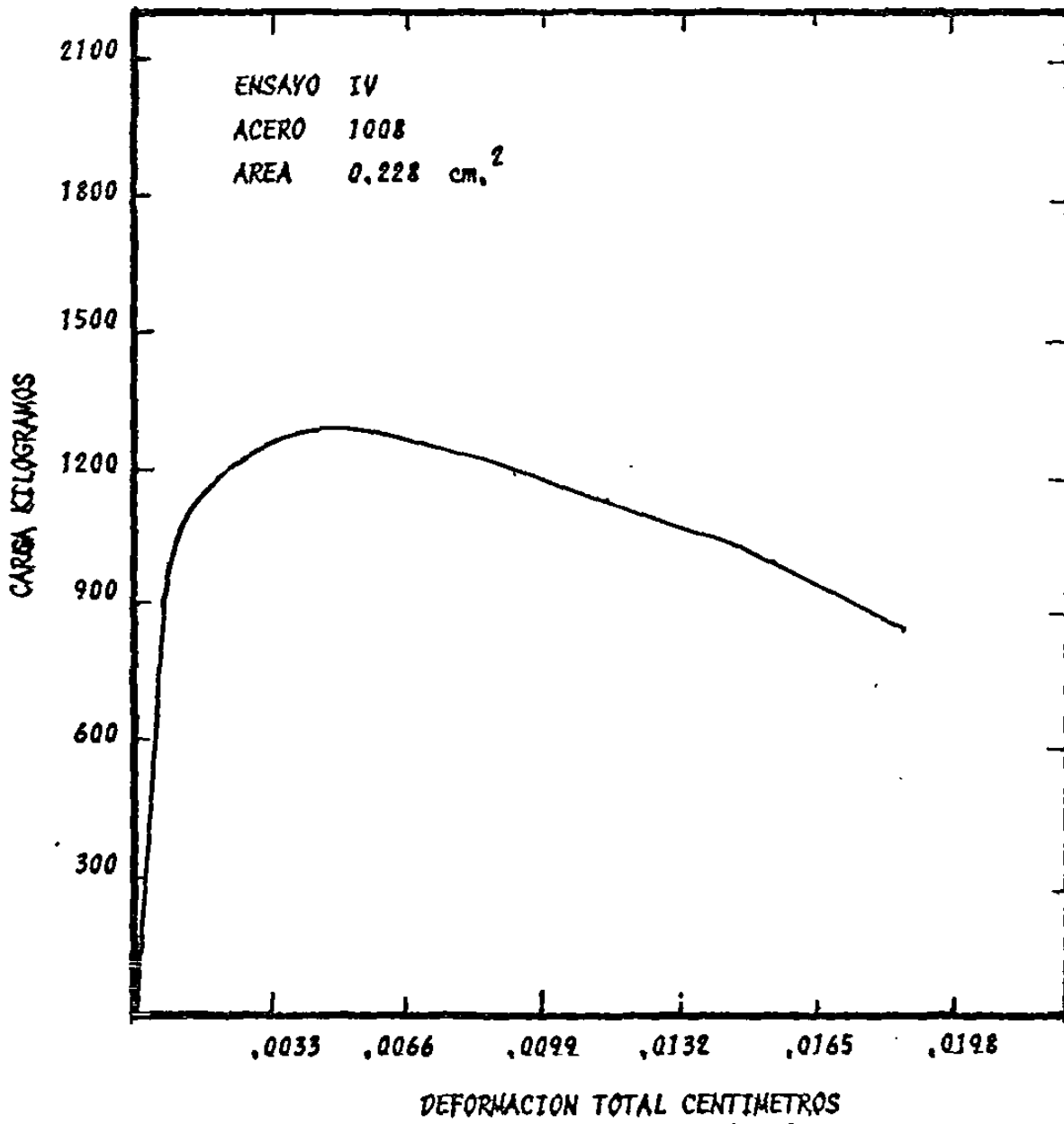


FIGURA No. 13

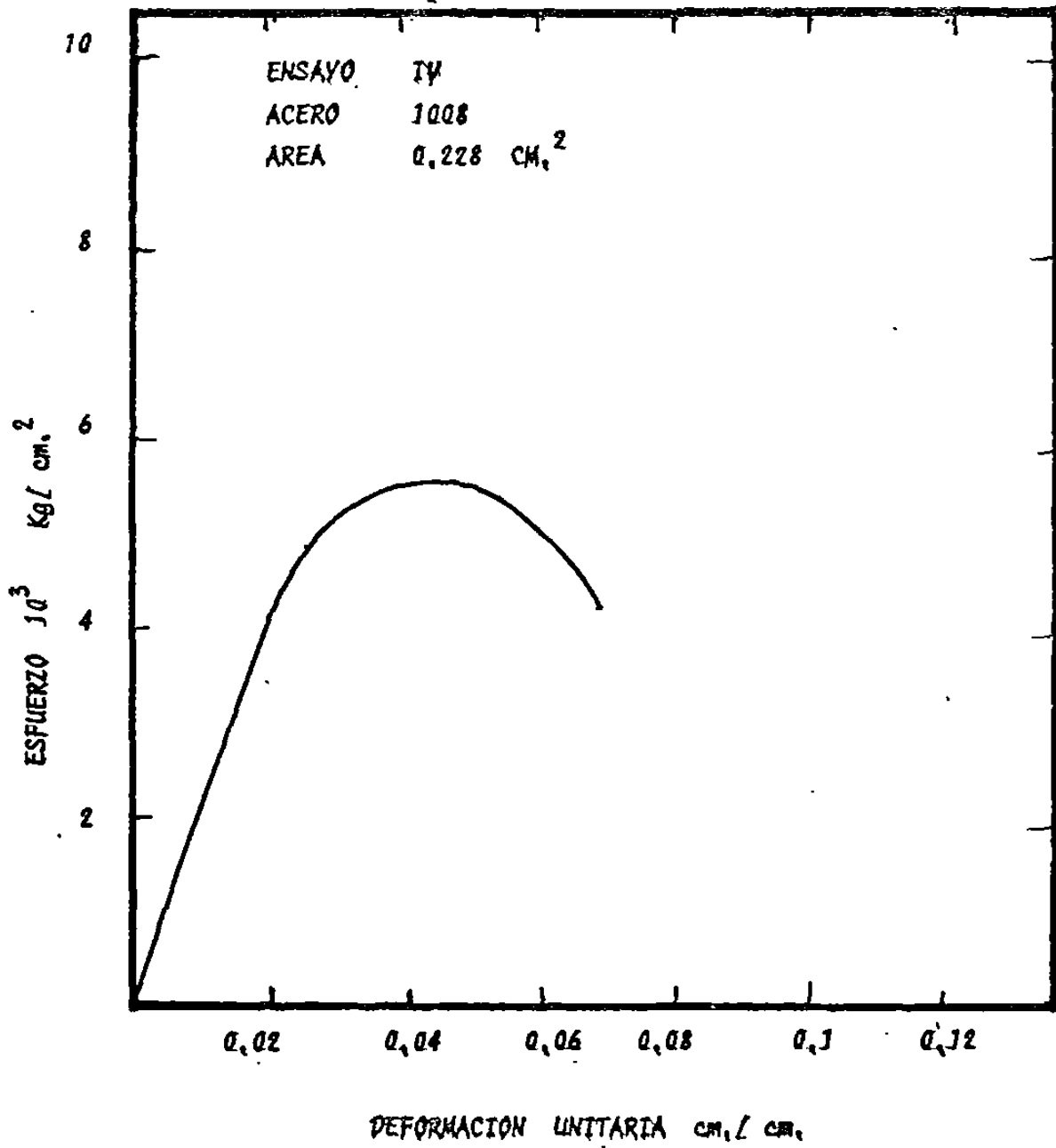


FIGURA No. 14

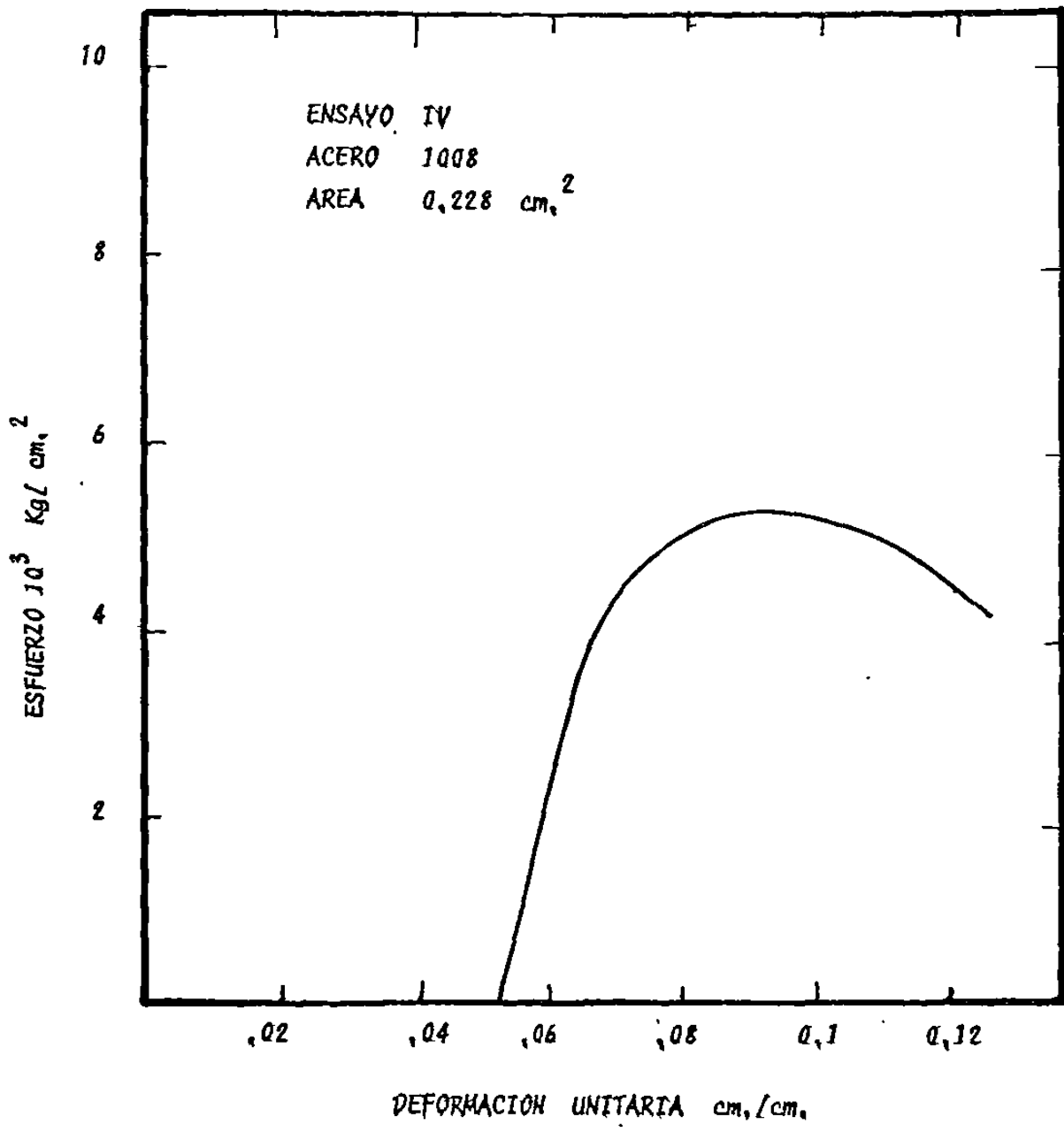


FIGURA No. 15

E N S A Y O No. V				
CARGA	LECTURA CARATULAR	ESFUERZO	DEFORMACION	DEFORMACION CORREGIDA
Kg.	cm.	Kg./cm. ²	cm./cm.	cm./cm.
50	0.0914	159	0.0180	
200	0.3429	636	0.0675	0.0009
400	0.3911	1273	0.0770	0.0104
500	0.4013	1591	0.0790	0.0124
550	0.4089	1750	0.0805	0.0139
600	0.4165	1910	0.0820	0.0154
650	0.4216	2069	0.0830	0.0164
700	0.4267	2228	0.0840	0.0174
750	0.4318	2387	0.0850	0.0184
800	0.4368	2546	0.0860	0.0194
850	0.4445	2705	0.0875	0.0209
900	0.4521	2864	0.0890	0.0224
950	0.508	3023	0.1000	0.0334
1000	0.5994	3182	0.1180	0.0514
1050	0.6756	3341	0.1330	0.0664
1100	0.8026	3500	0.1580	0.0914
1150	1.056	3660	0.2080	0.141
1172	1.391	3740	0.2740	0.207
1150	1.930	3660	0.3800	0.313
1100	2.057	3500	0.4050	0.338
1000	2.184	3182	0.4300	0.363
352	2.260	1121	0.4450	0.378

T A B L A No. V

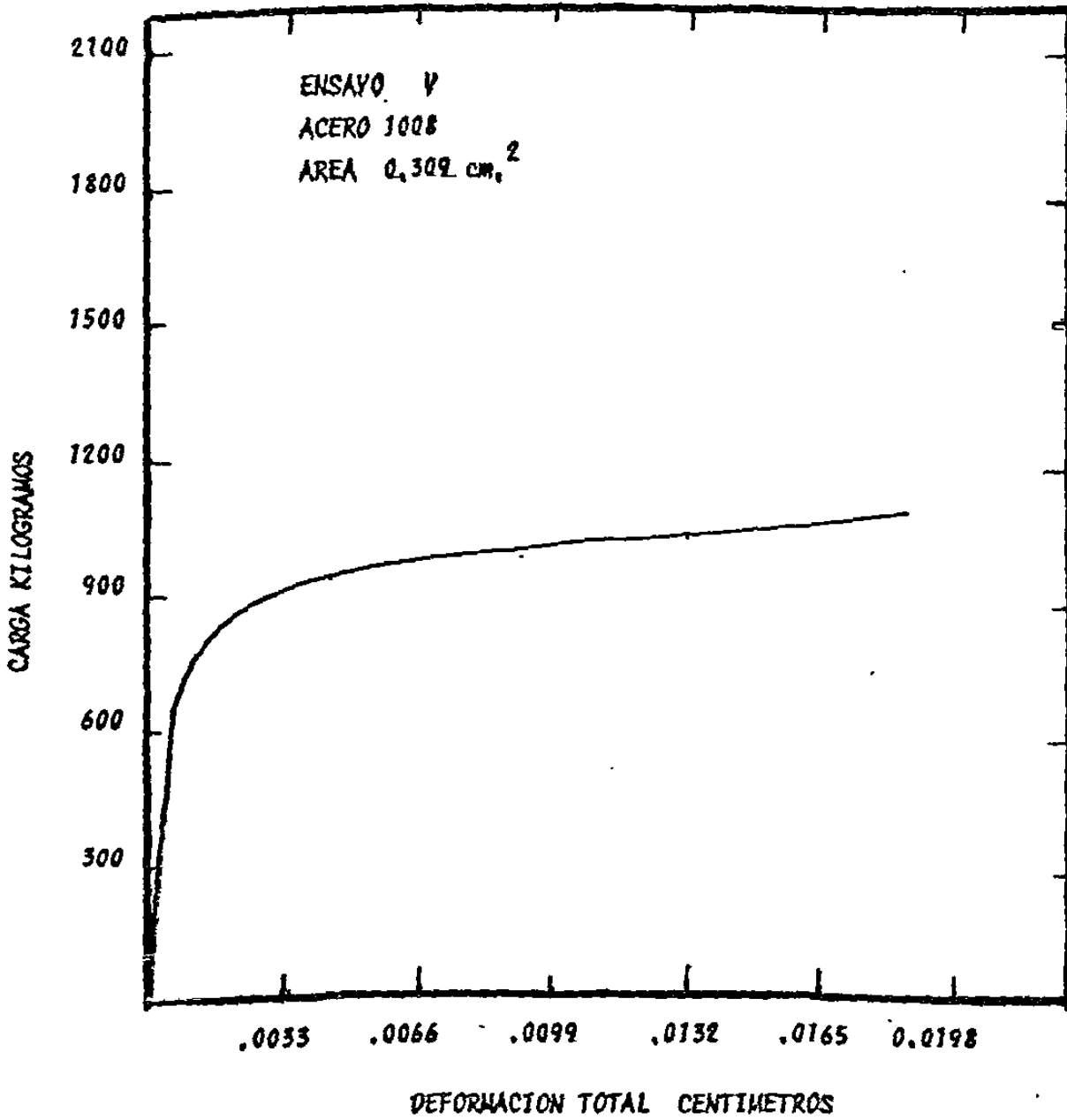
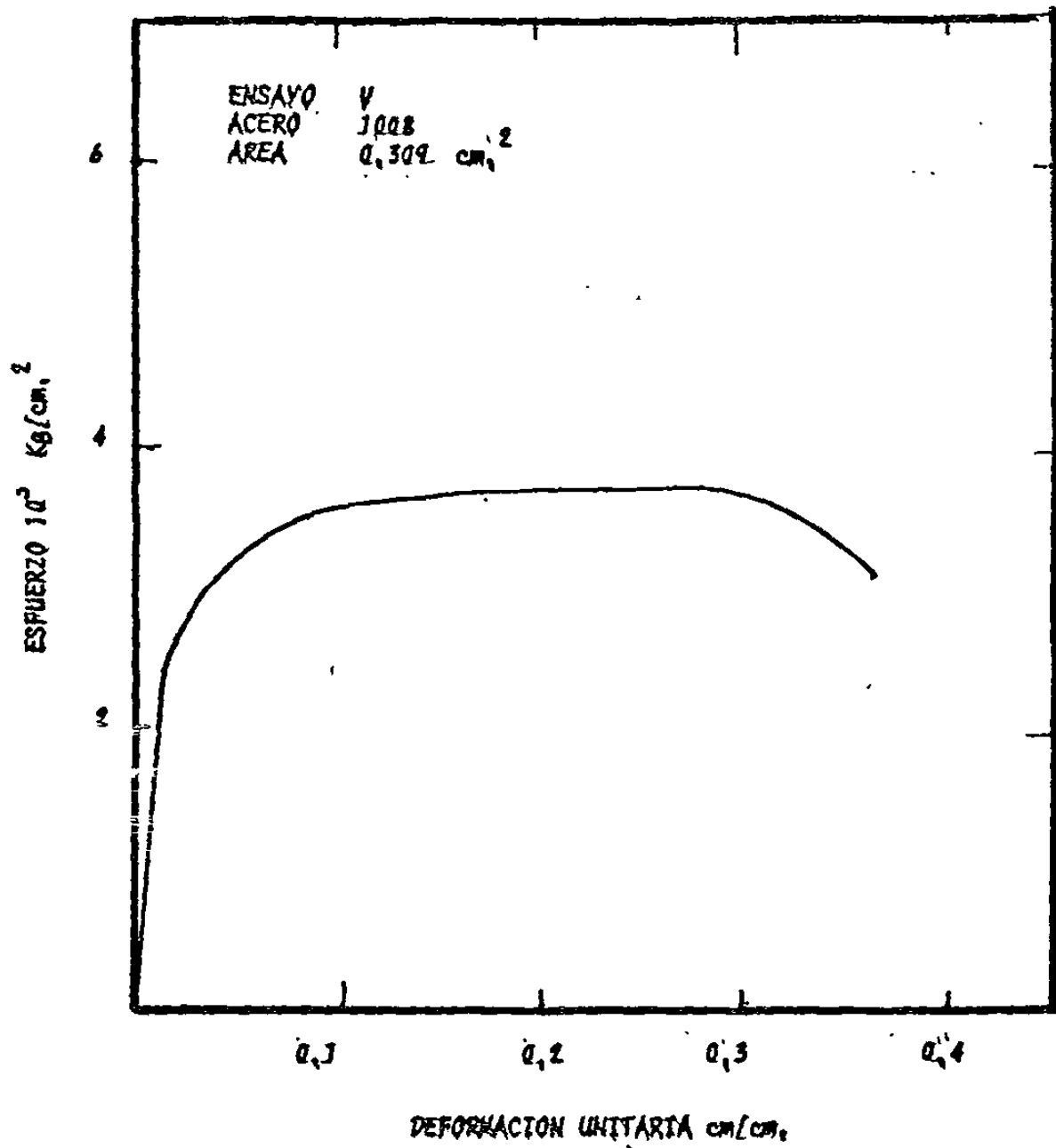


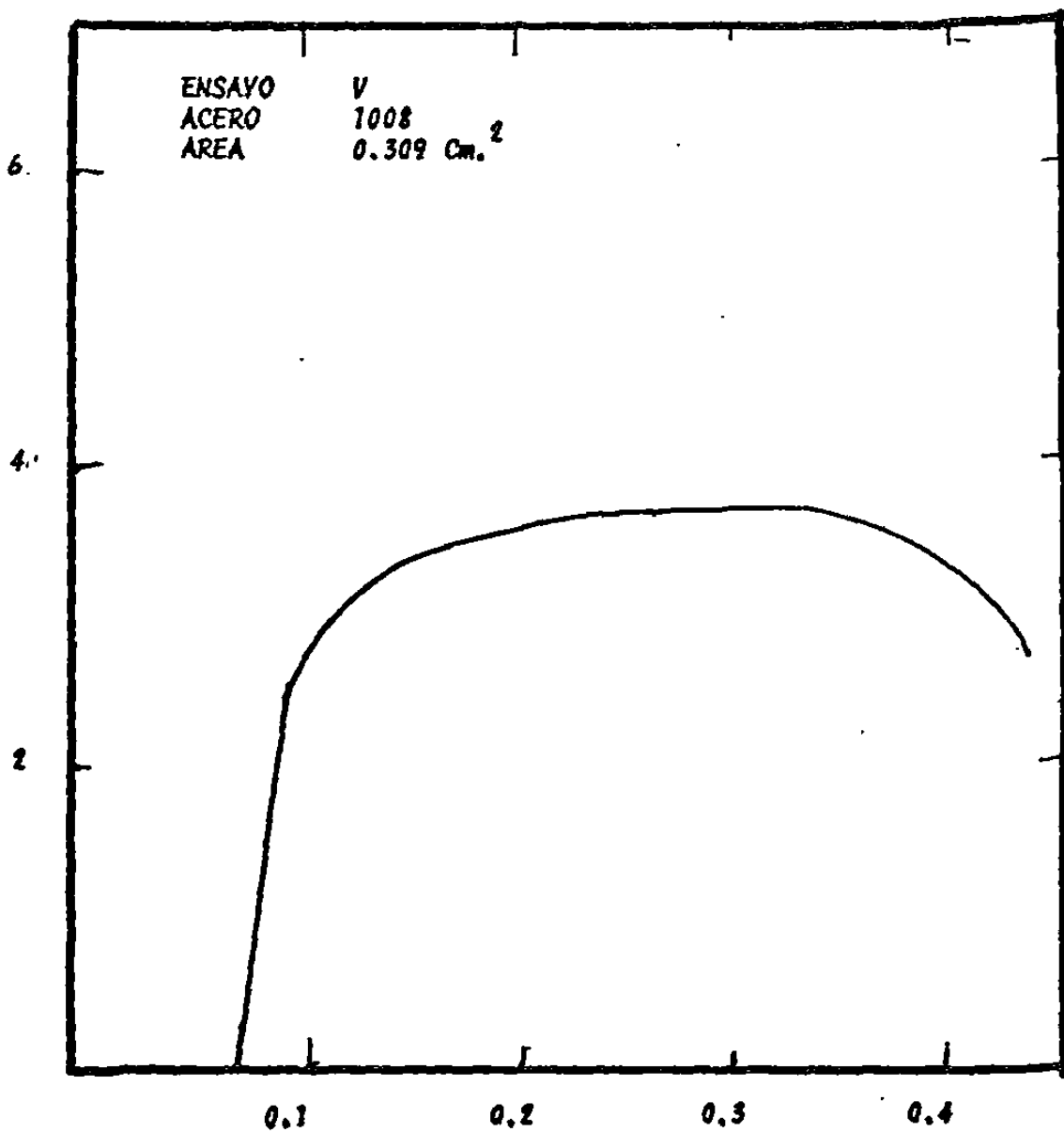
FIGURA No. 16



ENSAYO V
ACERO 1008
AREA 0,309 cm²

DEFORMACION UNITARIA cm/cm

FIGURA No. 17



DEFORMACION UNITARIA cm/cm.

FIGURA No. 18

DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE TRACCION

ENSAYO	UNIDADES	I	II	III	IV	V
L_t -----	cm.	20.32	20.32	20.32	20.32	20.32
L_c -----	cm.	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16
L_{cal} -----	cm.	5.08	5.08	5.08	5.08	5.08
B -----	cm.	1.905	1.905	1.905	1.905	1.905
b -----	cm.	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
B_{rup} -----	cm.	1.27	1.27	1.27	1.27	0.866
E_l -----	cm.	0.0558	0.0924	0.1341	0.1798	0.2463
E_b -----	cm.	0.0528	0.0855	0.0767	0.0944	0.1016
A_l -----	cm. ²	0.0709	0.1174	0.1703	0.2283	0.3096
A_b -----	cm. ²	0.067	0.1083	0.0974	0.1199	0.1290
σ_{ced} -----	Kg/cm. ²	8450	7217	6756	5237	2870
P_{ced} -----	Kg.	500	680	934	572	890
P_{max} -----	Kg.	624	905	1163	1257	1173
P_{rup} -----	Kg.	450	600	773	1000	1092
$\sigma_{máx}$ -----	Kg/cm. ²	8788	7712	6825	5505	3740
σ_{rup} -----	Kg/cm. ²	633	5098	4540	2950	1121
% RED. A. -----	%	5.45	7.25	42.8	47.4	58.4
M -----	Kg/cm. ²	0.324×10^6	0.2755×10^6	0.2158×10^6	0.1729×10^6	0.1195×10^6

T A B L A No. VI

9.- ENSAYO DE DUREZA :

Es fácil comprender el concepto general de dureza como la capacidad de los metales de resistir a la penetración en ellos de una sustancia más dura, pero no se ha ideado una unidad absoluta de la dureza aplicable a todos los materiales; las cifras que se manejan son siempre empíricas y se refieren únicamente a un medio particular de medida. Actualmente existen diferentes métodos para medir la dureza, que pueden clasificarse, según el procedimiento que se emplea, en tres grupos:

- A).- Los que miden la dureza mineralógica, o la dureza que oponen los cuerpos a ser rayados.
- B).- Los que miden la resistencia que oponen los cuerpos a la penetración. Esta clase de dureza es la que más frecuentemente se mide, y puede ser determinada estática o dinámicamente, es decir, se puede ejercer una presión progresivamente o por medio de un golpe.
- C).- Los que miden la dureza elástica o al rebote.

Actualmente los métodos más usados son los siguientes: BRINELL, ROCKWELL VICKERS y SHORE.

En este estudio utilizaremos el método ROCKWELL, por su simplicidad y -- precisión.

10.- PROCEDIMIENTO DE ROCKWELL.-

Debido a pequeñez de la penetración y a la manera en que se le mide existen algunas diferencias en la selección y preparación de las probetas -- para el ensayo ROCKWELL en comparación con el de BRINELL.

Ciertas precauciones son necesarias de las cuales las siguientes son las más importantes.

La superficie del ensayo debe ser plana y estar libre de escama, película de óxido, fosas y materia extraña que pueda afectar los resultados. Una superficie carcomida puede arrojar lecturas erráticas debido a la cercanía de algunas indentaciones al borde de una presión. Esto permite el libre flujo del metal alrededor de la herramienta penetradora y resulta una lectura baja. Las superficies aceitadas generalmente producen lecturas bajas.

eramente más bajas que las secas debido a la fricción reducida en el penetrador.

La superficie del fondo debe estar libre de escama, suciedad u otras materias extrañas que pudieran aplastarse o fluir bajo la presión de ensayo afectando los resultados.

El espesor de la probeta debe ser tal que no aparezca ninguna protuberancia o marca en la superficie opuesta a la huella, pues en esos casos la profundidad de la huella resulta notoriamente afectada por el yunque de apoyo.

Todos los ensayos de dureza deben hacerse sobre un solo espesor del material cualquiera que sea el espesor.

Debe evitarse las vibraciones de la máquina ROCKWELL. Si, cuando la palanca operadora se regresa a su posición normal, la aldaba funciona con tal brusquedad que cambia notoriamente la posición del indicador de la cartula, deben colocarse empaques de fieltro o hule debajo del mecanismo accionante para absorber el golpe. Si el tirón es severo, puede resultar una diferencia de lectura de varios números de dureza.

Si se ensayan placas curvas el lado cóncavo debe quedar contra el penetrador. Las probetas que sobresalen para no equilibrarse sobre el yunque deben apoyarse apropiadamente. Para impedir perjuicios al yunque y al penetrador no se deben poner en contacto sin una probeta entre ellos.

La velocidad y el tiempo de aplicación de la carga principal deben establecerse y respetarse. El amortiguador debe ajustarse de tal manera que la palanca operadora completa su viaje en 4 o 5 segundos sin ninguna probeta en la máquina y con la máquina ajustada para aplicar una carga principal de 100 kilogramos. Se especifica un intervalo de aplicación completa de la carga principal, no más de 2 segundos. Para los metales suaves el flujo plástico puede causar variaciones tan altas como de 10 números de dureza. Con esos materiales, la palanca operadora debe regresarse en el momento que se vea que la carga principal está completamente aplicada.

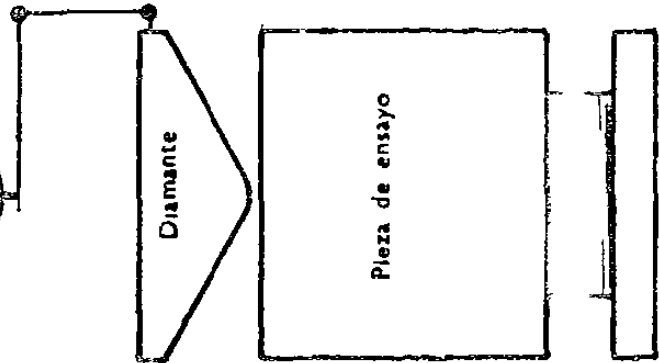
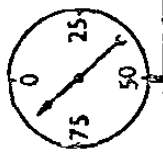
Es aconsejable revisar regularmente los penetradores de bola para cerciorarse de que no se hayan aplastado y asegurarse de que el cono del diamante no se haya desgastado o mellado.

ENSAYO

1

Se coloca en la máquina la pieza a ensayar.

Micrómetro

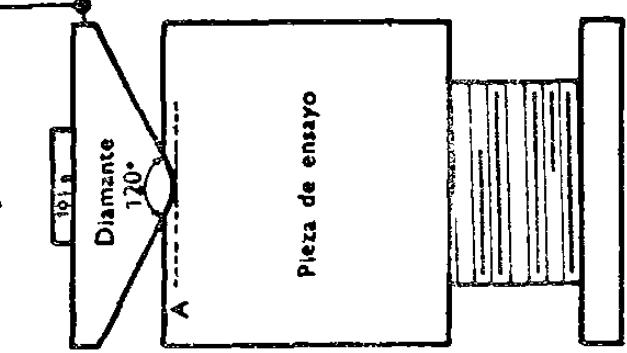
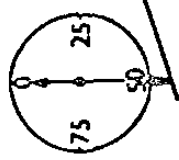


2

Se eleva la pieza por medio del tornillo ap y hasta que actúe la carga preliminar de 10 kg.

3

Se pone el micrómetro en cero.



El micrómetro marca 0

FORMA DE HACER EL ENSAYO

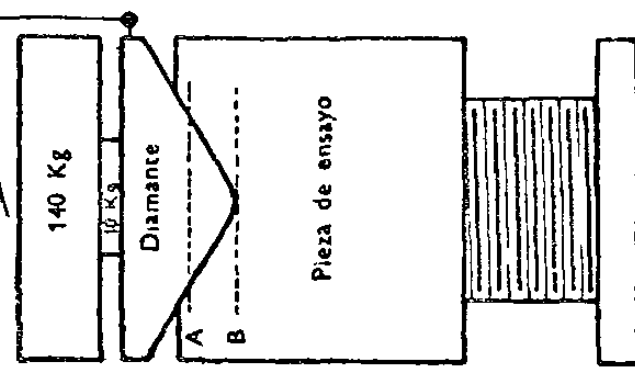
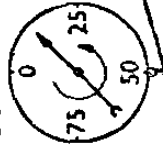
1. Se coloca en la máquina la pieza a ensayar.
2. Se eleva la pieza por medio del tornillo ap y hasta que actúe la carga preliminar de 10 kg.
3. Se pone el micrómetro en cero.
4. Se eleva la palanca de mano y actúa la carga principal.
5. Se vuelve a bajar la palanca para quitar la carga principal.
6. Se desmonta el micrómetro de la escala de la dureza.
7. Se baja el apoyo y la pieza queda libre.

ROCKWELL

4

Se mueve la palanca de mano y actúa la carga principal de 140 kg. presionando en total 10 + 140 = 150 kg.

Al aplicar la carga el diamante penetra y la aguja se mueve.



El micrómetro marca un núm. X.

$$X = \frac{200 - AB}{2}$$

AB expresado en milímetros.

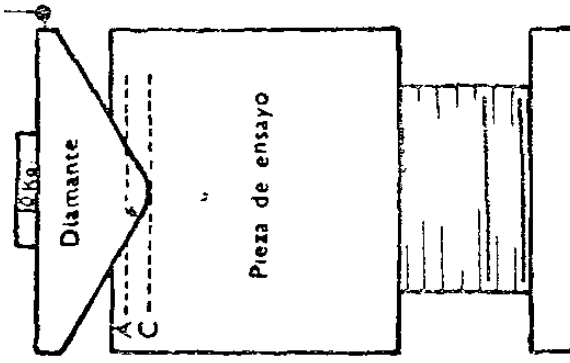
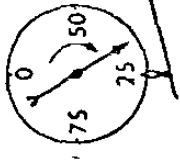
A) es la diferencia de penetraciones cuando actúa la carga principal y cuando actúa la carga preliminar.

OBSERVACIONES

La escala del micrómetro está invertida con respecto al movimiento de la aguja al penetrar el diamante.
 Los divisores corresponden a una penetración de 0,2 mm.
 El divisor corresponde a una penetración de 0,002 mm.
 1 μ = 0,001 mm = 1 micra.

5

Se vuelve a bajar la palanca por medio del tornillo ap y actúa la carga preliminar de 10 kg. presionando en total 10 + 140 = 150 kg.



El micrómetro marca un núm. Y

$$Y = \frac{200 - AC}{2}$$

AC expresado en milímetros.

A) es la diferencia de penetraciones cuando actúa la carga preliminar y cuando actúa la carga de 10 kg.

11.- APARATOS DE DUREZA SUPERFICIAL ROCKWELL:

Este aparato es una máquina para propósitos especiales concebida especialmente para ensayos de dureza que resulten posibles únicamente penetraciones ligeras y cuando se desee conocer la dureza de la probeta -- cerca de la superficie. Fue diseñado particularmente para ensayar el acero nitrurado, hojas de afeitar, trabajo ligeramente carburizado, y láminas de latón, bronce y acero.

El aparato "superficial" opera sobre el mismo principio que el aparato Rockwell regular, pero emplea cargas más pequeñas y posee un sistema de medición de la profundidad más sensitivo. En lugar de la carga -- menor de 10 kilogramos y las cargas mayores de 60, 100, 150 kilogramos de Rockwell regular, el aparato superficial aplica una carga menor de 3 kilogramos y cargas mayores de 15, 30 o 45 kilogramos.

Como el cono de diamante de estas máquinas superficiales está ideado especialmente para usarse en trabajo nitrurado y la bola de acero de 1/16" para probar lámina delgada, las letras N y T han sido seleccionadas para estas dos designaciones.

La tabla VII resume todos los ensayos ROCKWELL, sus características y casos en que se deben emplear.

Escalas de durezas Rockwell

Denominación	Clase	Elemento penetrador	Carga previa	Carga total	Color y situación de la escala donde se hace la lectura		Materiales para los que se recomienda el ensayo
A	Normal	Cono de diamante	10	60	Negro	Fuera	Aceros nitrurados, flejes estirados en frío, hojas de afilar, Carburos metálicos (85 a 98).
B	"	Bola de 1/16"	"	100	Rojo	Dentro	Aceros al carbono recocidos de bajo contenido en C.
C	"	Cono de diamante	"	150	Negro	Fuera	Aceros duros, con dureza superior a 100 Rockwell B ó 20 Rc.
D	"	Cono de diamante	"	100	Negro	Fuera	Aceros cementados.
E	"	Bola de 1/8"	"	100	Rojo	Dentro	Metales blandos, como antifricción y piezas fundidas.
F	"	Bola de 1/16"	"	60	"	"	Bronce recocido.
G	"	Bola de 1/16"	"	150	"	"	Bronce fosforoso y otros metales.
H	"	Bola de 1/8"	"	60	"	"	Metales blandos, con poca homogeneidad, fundición de hierro.
K	"	Bola de 1/8"	"	150	"	"	Metales duros, con poca homogeneidad, fundición de hierro.
L	"	Bola de 1/8"	"	60	"	"	"
M	"	Bola de 1/4"	"	100	"	"	"
P	"	Bola de 1/8"	"	150	"	"	"
R	"	Bola de 1/8"	"	60	"	"	Metales muy blandos.
S	"	Bola de 1/8"	"	100	"	"	"
V	"	Bola de 1/8"	"	150	"	"	"
15-N	Superficial	Cono de diamante	3	15	Negro	Fuera	Aceros nitrurados, cementados y de herramientas de gran dureza.
30-N	"	Cono de diamante	"	30	Negro	Fuera	"
45-N	"	Cono de diamante	"	45	Negro	Fuera	"
15-T	"	Bola de 1/16"	"	15	Rojo	Dentro	Bronce, latón y acero blando.
30-T	"	Bola de 1/16"	"	30	"	"	"
45-T	"	Bola de 1/16"	"	45	"	"	"

T A B L A No. VII

ENSAYO No.	El Pulg.	DUREZA SUP. R-A	DUREZA SUP. PROMEDIO R-A
I	0.0220	58-56-57-58	57
II	0.0364	56-53-57-57	56
III	0.0528	54-55-55-56	55
IV	0.0708	51-52-53-53	52
V	0.0972	40-45-44-45	43

T A B L A No. VIII

1.- FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VARIACION DE DUREZA:

- a).- *La falta de uniformidad en el espesor de cada una de las probetas, por lo que en una misma hay variabilidad de dureza.*
- b).- *La no homogeneidad estructural de cada una de las probetas.*
- c).- *La sección del rollo de donde se tomó la probeta, ya que pudo haber sido de la punta, sección media o final del rollo. Esto provoca la variación de dureza entre ellas.*
- d).- *Los diversos espesores entre ellas varía la dureza con respecto a cada una de ellas.*
- e).- *La presencia de incrustaciones o inclusiones.*
- f).- *La habilidad del manejo de la máquina.*

15.- PROBETAS CON TRATAMIENTO TERMICO:

Con los datos obtenidos se determinó la dureza promedio del acero en estudio, por lo que únicamente se le dió tratamiento a una sola probeta, cuyo espesor es de : 0.0924 cm. sometiéndola a diversas -- temperaturas y tiempos diferentes.

$T = 575^{\circ}\text{C}$	$T = 600^{\circ}\text{C}$	$t = 30 \text{ min.}$
5 min.	5 min.	300°C
10 min.	10 min.	400°C
15 min.	15 min.	500°C
30 min.	30 min.	550°C
60 min.	60 min.	600°C

Se le dió tratamiento a una probeta para poder observar la variación de dureza que se produce con el tratamiento térmico el cual puede -- ser situado en un revenido o en un recocido subcrítico, y por que -- posteriormente se utilizará para analizar su microestructura.

Debido al tratamiento, en las probetas se formó óxido el cual fué -- eliminado con una solución de 50% de ácido clorhídrico y 50% agua.

Se utilizó la dureza Rockwell superficial de denominación 15 T, obteniendo los resultados que se dan en la tabla IX.

<i>t</i> min.	T °C	DUREZA SUP. PROMEDIO R- A
5	575	41.3
10	575	41.0
15	575	40.5
30	575	38.8
60	575	36.1
5	600	41.1
10	600	41.1
15	600	40.3
30	600	38.3
60	600	38.1
30	300	55
30	400	53.5
30	500	41.8
30	550	39.8
30	600	37.3

T A B L A No. IX

Podemos observar que en general la dureza disminuyó con respecto a la obtenida en los ensayos de las probetas sin tratamientos, debido a diversos factores tales como:

- a).- El tiempo y temperatura a que fueron expuestas las probetas ya que, únicamente hubo una regeneración de la microestructura y no un cambio de ella porque los parámetros señalados no fueron lo suficientemente grandes para la transformación.

- b).- También el espesor influyó, ya que entre mayor sea el espesor de la probeta mayor tiempo debe exponerse a la temperatura de un determinado tratamiento.

CAPITULO II

PREPARACION DE LAS PROBETAS
PARA LA OBSERVACION MICROSCOPICA.-

16.- INTRODUCCION:

La metalografía es, esencialmente, el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación para relacionar éste con las propiedades físicas y mecánicas. Las fases importantes de tal estudio son:

A) EXAMEN MACROSCOPICO

B) EXAMEN MICROSCOPICO

Si bien alguna la parte más importante de la metalografía es el examen microscópico de una probeta adecuadamente preparada, empleando aumentos que, con el microscopio óptico, oscilan entre 100 y 200 aproximadamente. Tales estudios microscópicos tienen una finalidad mucho más amplia que los macroscópicos ya que proporcionan una abundante información sobre la constitución del metal o aleación investigados. Mediante ellos se pueden definir características estructurales como el tamaño de grano con toda claridad; se puede conocer el tamaño, forma y distribución de las fases que componen la aleación y de las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras heterogeneidades que tan profundamente pueden modificar las propiedades mecánicas y el comportamiento general del metal.

La experiencia demuestra que poco o nada se puede obtener del examen microscópico si antes no se prepara la probeta, para obtener una superficie satisfactoria, con arreglo a normas más o menos rígidas y precisas.

17.- TOMA DE MUESTRAS:

Cuando se examinan formas laminadas es conveniente tomar probetas transversales y longitudinales con relación a la dirección de laminación. El examen de ambos tipos es deseable porque las inclusiones y otras características pueden no observarse satisfactoriamente con probetas tomadas en una sola de estas direcciones. De especial interés es el examen de los bordes en materiales forjados y laminados, porque pueden revelar la presencia de zonas decarburadas u otras condiciones superficiales adversas.

Para que la estructura original no se altere como consecuencia del calor desarrollado por el frotamiento se eligió un disco abrasivo para el corte y durante éste se enfrió suficientemente la probeta.

Siempre que sea posible las probetas deben tener un tamaño conveniente y cómodo de manejar. Las probetas de manejo más cómodas son aquellas cuya altura es de unos 12 mm. y su dimensión en una de las direcciones de la superficie a pulir, es de 20 a 25 mm.

18.- MONTAJE DE PROBETAS PEQUEÑAS:

Cuando las probetas metalográficas son pequeñas o de una forma que no permite un fácil manejo en las operaciones de desbaste y pulido, es necesario montarlas en un material adecuado o en una pinza para hacer posible la preparación. Debido al equipo disponible, a las dimensiones de las probetas y sus tratamientos y al material disponible se utilizaron los siguientes montajes:

- a).- MONTAJE EN PLASTICO SINTETICO: Dicho montaje se utilizó para montar la probeta sin tratar, ya que su estructura no es afectada por la temperatura y presión de la prensa de montaje, usándose una resina termoendurecible siendo esta la BAKELITA la cual requiere para su endurecimiento una temperatura de 135 a 150°C, juntamente con una presión de 2500 a 3500 libras por pulgada cuadrada.
- b).- MONTAJE MECANICO: Este montaje se utilizó para las probetas con tratamiento, ya que la temperatura y presión de la prensa podrían alterar la estructura original, por lo que se utilizó una pinza como ---

la representada en la figura: 20-b . La pinza se fabricó de un material análogo al de las probetas, pues así se evitó un mayor tiempo en el pulido y el redondeo de los bordes.

19.- DESBASTE A MANO.-

La superficie que haya de observarse se debe hacer plana mediante un desbaste, el cual es llevado a cabo en tres etapas:

- a) DESBASTE GRUESO b) DESBASTE INTERMEDIO c) DESBASTE FINAL.

En este desbaste se usaron cintas de 200, 300, 400 y 600 mallas colocadas sobre placas. La probeta se mueve longitudinalmente de un lado a otro de la cinta, comprimiéndola con una presión suave y manteniendo la dirección del movimiento constante, haciéndose esto en cada una de las cintas y durando el doble de tiempo con respecto a la anterior se obtuvo un buen desbaste. En cada cambio de cinta la probeta fue limpiada.

20.- PULIDO.-

El pulido de una probeta metalográfica tiene por objeto eliminar de su superficie las rayas finas, producidas en la última operación de desbaste y conseguir una superficie sin rayas y con alto pulimento. En esta fase se utilizan abrasivos los cuales tienen como fin la eliminación o corte del metal superficial sin que se produzca deformación o flujo del mismo, o éstos sean mínimos. El pulido se lleva a cabo en dos etapas:

- a) PULIDO PRELIMINAR b) PULIDO FINAL.

Los dos anteriores pulidos se realizaron en dos discos cuyo giro era de 250 revoluciones por minuto, cubiertos con paño de fieltro y lona ligera correspondiendo estos al disco de pulido preliminar y pulido final respectivamente.

El abrasivo utilizado para el pulido preliminar fue la ALUMINA de 0.3 micras y para el pulido final la ALUMINA de 0.05 micras. Para la operación adecuada fue necesario una humedad de paño óptima, un tiempo de cinco minutos en cada uno de los pulidos, una presión moderada con un movimiento de la probeta continuo del centro a la periferia del disco girando esta en sentido contrario al de la rotación del disco.

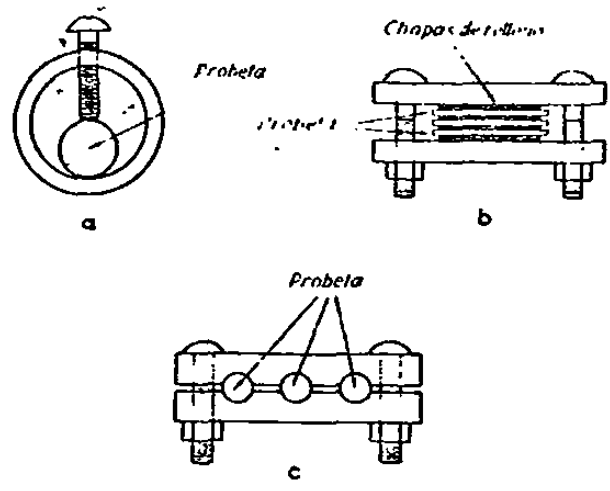


FIGURA No. 20

21.- ATAQUE DE LAS PROBETAS PARA SU EXAMEN MICROSCOPICO:

Puesto que el objeto de la mayoría de las investigaciones metalográficas es determinar las características estructurales verdaderas de la probeta, es necesario que los diferentes constituyentes estructurales queden delineados con precisión y calidad. Esto se logra sometiendo la probeta a la acción química de un reactivo apropiado en unas condiciones cuidadosamente controladas.

Durante la preparación de la probeta, por las técnicas de desbaste y pulido señaladas con anterioridad, se produce una capa de metal deformado en frío sobre la superficie de la probeta que suele denominarse METAL -- DISTORSIONADO, cuya cantidad depende de varias circunstancias de las que las más importantes son:

- a).- Los métodos empleados en el desbaste y pulido.
- b).- El cuidado puesto en la preparación.
- c).- La composición química y estructural de la probeta.
- d).- La naturaleza del abrasivo o abrasivos empleados en el pulido.

El metal distorsionado se eliminó y en consecuencia se observó la estructura real de la probeta, al atacarse y pulirse alternativamente varias -- veces.

El reactivo de ataque empleado para observar la microestructura del acero en estudio fué el NITAL 3. Se aplicó durante 15 segundos mediante los métodos de ataque por inmersión de la probeta montada en resina termoendurecible en el reactivo y por frotamiento con un algodón impregnado para las probetas montadas en las pinzas. En ambos métodos de ataque es preciso -- que la superficie de la probeta está limpia para asegurarse de que el reactivo la mojará regular y uniformemente. Para ello se lavó primero a fondo con agua corriente, se frotó luego con un algodón húmedo, se volvió a lavar con alcohol y por último se secó con un chorro de aire caliente.

22.- TAMAÑO DE GRANO.-

Al hablar de tamaño de grano, nos referimos al tamaño de grano austenítico, es decir, al tamaño de grano correspondiente al momento anterior antes de iniciarse el enfriamiento, cuando el acero está, a temperaturas -- variables de 750 a 1000°C, en estado austenítico. Como se ha comprobado que este tamaño de grano es el que ejerce influencia más decisiva en el comportamiento de los aceros, es al que se ha dedicado atención preferente, no habiéndose estudiado en cambio, con tanto detalle, las modificaciones que experimentan los granos de ferrita, perlita, Etc., por ser su importancia secundaria.

Los resultados comparativos que se obtienen con aceros de la misma composición y diferente tamaño de grano son:

	GRANO FINO	GRANO GRUESO
Templabilidad	poca	mucha
Tenacidad para la misma dureza	mucha	poca
Deformaciones en el temple	pocas	muchas
Grietas	pocas	bastantes
Tensiones residuales	pocas	bastantes
Maquinabilidad en estado recocido.....	peor	mejor

El tamaño de grano en una estructura es determinado por la relación entre la velocidad de crecimiento y la velocidad de nucleación. Si el número de núcleos formados es alto, se producirá un material de grano fino, y si sólo unos pocos núcleos son formados, se obtendrá un material de grano grueso. La velocidad de enfriamiento es el factor más importante en la determinación de la velocidad de la nucleación y por consiguiente el tamaño de grano. Enfriando rápidamente se formará un gran número de núcleos y un tamaño de grano fino. Por el contrario, en un enfriamiento lento se forman pocos núcleos de gran tamaño y grano grueso.

Otros de los factores que incrementa la velocidad de nucleación, promoviendo así la formación de grano fino, son:

- a).- Impurezas insolubles tales como aluminio y titanio que forman óxidos insolubles en el acero.
- b).- El ablandamiento activo durante la solidificación la cual tiende a destruir los cristales superiores porque tienen un gran crecimiento.

23.- MEDIDA DEL TAMAÑO DE GRANO.-

Los tres métodos básicos para la estimación del tamaño de grano recomendados por la A.S.T.M., son:

A).- METODO POR COMPARACION.- Después de preparar la probeta de acuerdo a los procedimientos señalados, la imagen de la microestructura -- proyectada en una ampliación de 100 X, o una fotomicrografía de la estructura a la misma ampliación es comparada con una serie de tamaños de grano estándar. Por prueba de ensayo y error se obtiene una comparación, y el tamaño de grano del metal es entonces designado por un número correspondiente al índice del libro de comparación. Los metales que muestran un tamaño de grano mixto está valuado en similar manera y en tales casos es costumbre reportar el tamaño de grano en términos de dos números denotando el porcentaje aproximado de cada tamaño presente. El método de comparación es -- más conveniente y suficientemente exacto para estructuras de granos equiaxiales. La A.S.T.M., determina el tamaño de grano "n" con la siguiente fórmula:

$$N = 2^{n-1}$$

Donde N es el número de granos por pulgada cuadrada en 100 X.

TAMANO DE GRANO		GRANOS POR PULGADACUADRADA	
No.		en 100 x	
		PROMEDIO	RANGO
$n =$	1	$N =$ 1	-----
	2	2	1-5-3
	3	4	3-6
	4	8	6-12
	5	16	12-24
	6	32	24-48
	7	64	48-96
	8	128	96-192
	9	256	192-384
	10	512	384-768

B).- METODO DE INTERSEPTOS.- El tamaño de grano es estimado por una diagonal sobre un vidrio de pantalla o fotomicrografía, o sobre la muestra misma, el número de granos interseptados por una o más líneas rectas. Los granos tocados por el final de la línea recta se cuentan solamente como medios granos.

La longitud de la línea en milímetros dividida por el número promedio de granos interseptados por la misma, da un promedio de interseptos lineales o diámetros de grano. El método de interseptos es encomendado particularmente para granos que no son equiaxiales.

C).- METODO PLANIMETRICO.- Un círculo o un rectángulo de área conocida (usualmente de 5000 mm^2) es inscrito sobre un microfotografía, siendo seleccionada una ampliación de ésta, de tal manera que queden inscritos 50 granos dentro del círculo o rectángulo. La suma de los granos incluidos completamente dentro del círculo de área conocida más un medio del número de granos interseptados por el círculo da el número total o equivalente de granos contenidos en el área. Conociendo la ampliación de la muestra, el número de granos por milímetro cuadrado es determinado multiplicando el número total de granos contenidos por el correspondiente factor de ampliación.

$$N = \left(N_c + \frac{N_l}{2} \right) f$$

Donde:

N = Granos por milímetro cuadrado

N_c = Número de granos completos dentro del círculo

N_l = Número de granos interseptados por el círculo

f = Factor de Ampliación.

AMPLIACION UTILIZADA

1	0.002
25	0.125
50	0.5
75	1.125
100	2.0
200	8.0
300	18.0
500	50.0
1000	200.0

ENSAYO PARTICULAR:

Las temperaturas y tiempos a que fue sometida la probeta de 0.0364" son las siguientes:

T = 575°C	T = 600°C	t = 30 min.
5 min.	5 min.	300°C
10 min.	10 min.	400°C
15 min.	15 min.	500°C
30 min.	30 min.	550°C
60 min.	60 min.	600°C

Como podemos observar la probeta fue sometida a un tratamiento el cual puede situarse en un RECOCIDO SUBCRITICO o en un REVENIDO, lo cual hace que la estructura únicamente disminuya su dureza más no cambia los constituyentes, haciendo además que el tamaño de grano tienda a ser uniforme.

Después del tratamiento las probetas se preparan para el análisis metalográfico, atacandola después con Nital 3 durante 15 segundos por tres veces para poder quitar la mayor cantidad de metal distorsionado. Posteriormente se observó en el microscópio una estructura de bajo contenido de carbono, cuya composición es la siguiente:

ACERO	C	Mn	Pmáx.	Smáx.
1008	.10 máx.	.3-.5max.	.04	.05

El tamaño de grano se determina por medio del método de Comparación y las estructuras observadas son las siguientes: (Figuras 21-37).

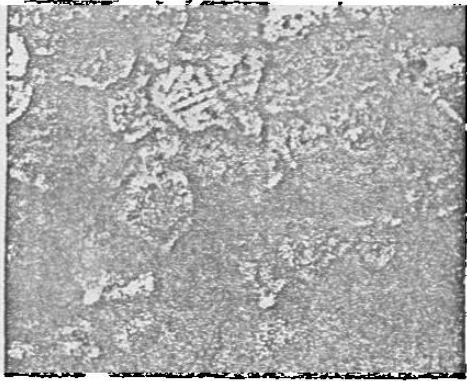


FIGURA No. 21
T= 600°C
t= 5 min.
n= 10

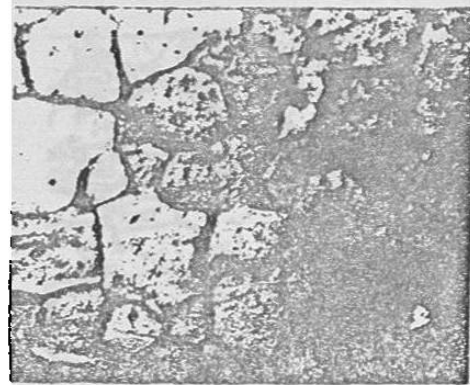


FIGURA No. 22
T= 600°C
t= 10 min.
n= 9.8

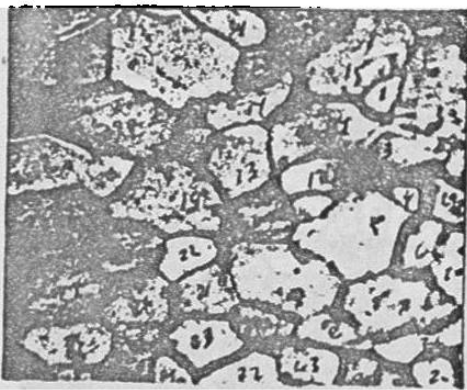


FIGURA No. 23
T= 600°C
t= 15 min.
n= 9.6

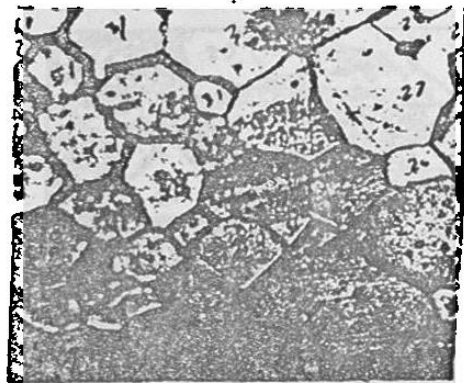


FIGURA No. 24
T= 600°C
t= 30 min.
n= 9.4

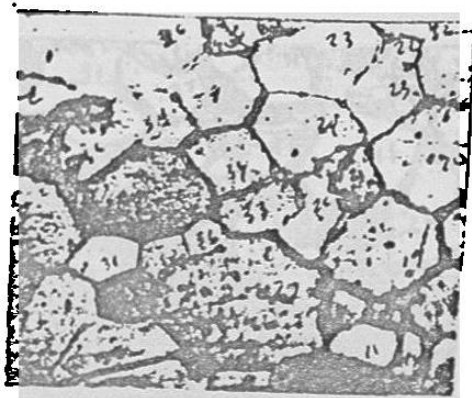


FIGURA No. 25
T= 600°C
t= 60 min.
n= 9.2



FIGURA No. 26

T= 575°C
t= 5 min.
n= 10

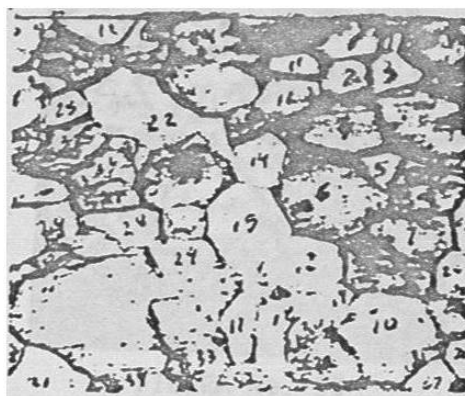


FIGURA No. 27

T= 575°C
t= 10 min.
n= 9.6

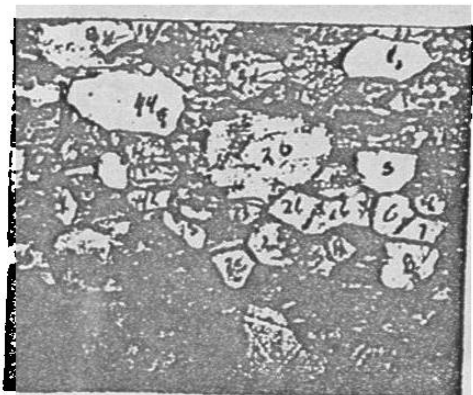


FIGURA No. 28

T= 575°C
t= 15 min.
n= 9.4

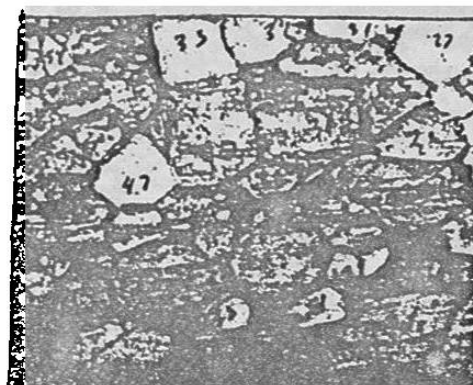


FIGURA No. 29

T= 575°C
t= 30 min.
n= 9.2

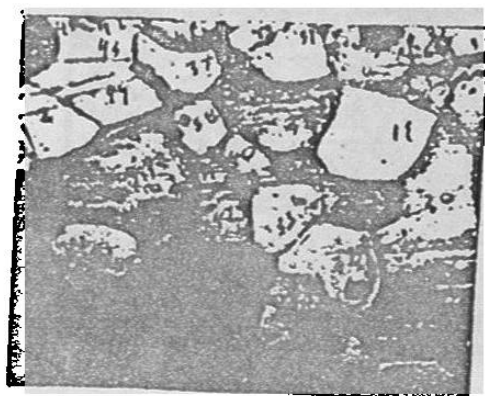


FIGURA No. 30

T= 575°C
t= 60 min.
n= 9

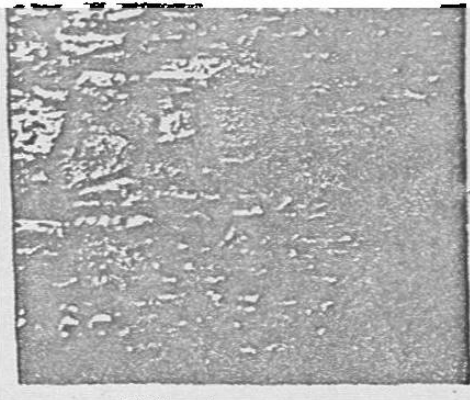


FIGURA No. 31

T= 600°C
t= 30 min.
n= 9

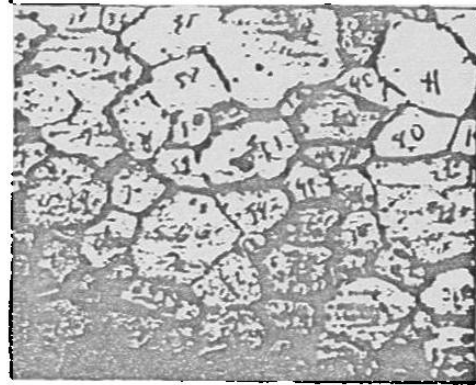


FIGURA No. 32

T= 550°C
t= 30 min.
n= 9.5

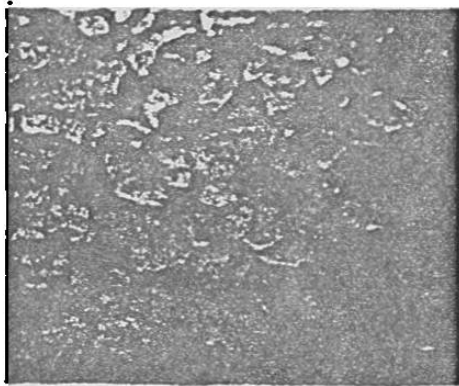


FIGURA No. 33

T= 500°C
t= 30 min.
n= 9.8

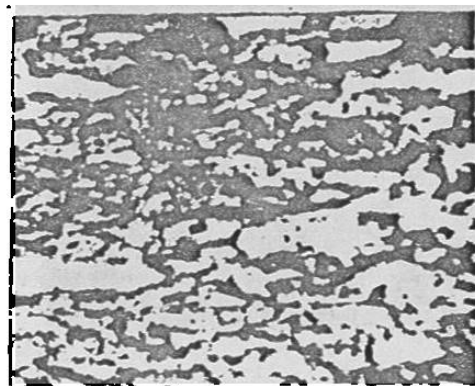


FIGURA No. 34

T= 400°C
t= 30 min.
n= Deformado

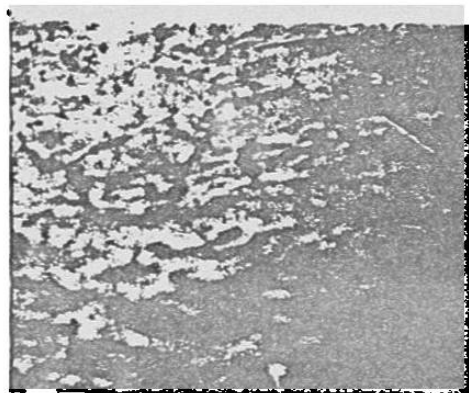


FIGURA No. 35

T= 300°C
t= 30 min.
n= Deformado

PROBETAS SIN TRATAMIENTO TERMICO :

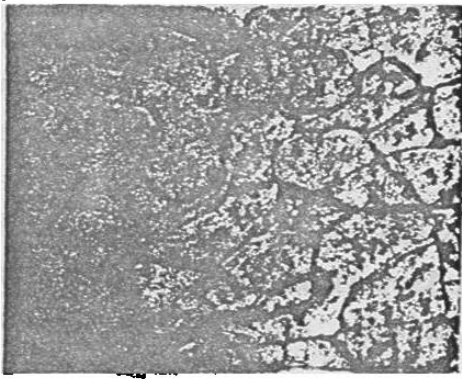


FIGURA No. 36
SECCION TRANSVERSAL
 $n > 10$

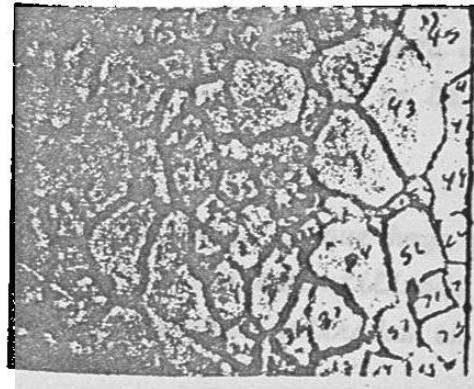


FIGURA No. 37
SECCION LONGITUDINAL
 $n > 10$

CONCLUSIONES

El ensayo de tracción fué realizado con probetas de un acero efervescente -- (1008) de diferentes espesores con el fin de observar las variaciones en -- las características mecánicas en función de la deformación por efecto del -- trabajo en frío a que fué sometido el acero en estudio. De acuerdo con los -- datos obtenidos en el ensayo de tracción, los cuales se encuentran en la ta- bla VI, se observa que, en la probeta de menor espesor se presenta la mayor resistencia y menor porcentaje de reducción de área lo cual indica que es -- menos dúctil y por lo tanto la que requiere menos carga para llegar a la rup- tura, siendo a la vez la que presentó mayor dureza. Las variaciones de dichas características para las probetas de mayor espesor fueron en sentido inverso a la experimentada por la probeta de menor espesor, por lo cual se concluye que entre mayor sea la deformación por efecto del trabajo en frío se presenta un incremento en la dureza y en la resistencia así como una disminución en la -- ductilidad y tenacidad del acero.

El conocimiento de estas características da una idea del rango en que haya ma- yor facilidad para el troquelado del acero, por lo cual puede ser utilizado -- en estampados, chapas, alambre, roblones, electrodos, y piezas estiradas en -- frío.

En las figuras 38-43 se ilustran las variaciones de las características mecá- nicas en función del trabajo en frío a que fué sometido el acero en estudio. Si se observa la figura 42 en la cual están integrados los valores de resisten- cia contra porcentaje de reducción de área, se verá que para la menor resisten- cia se obtiene mayor % de reducción de área o sea que para las probetas menos deformadas se obtienen valores de resistencia bajos y % de reducción de área altos. Por lo cual lo anteriormente afirmado en cuanto a la variación de las características mecánicas es correcto.

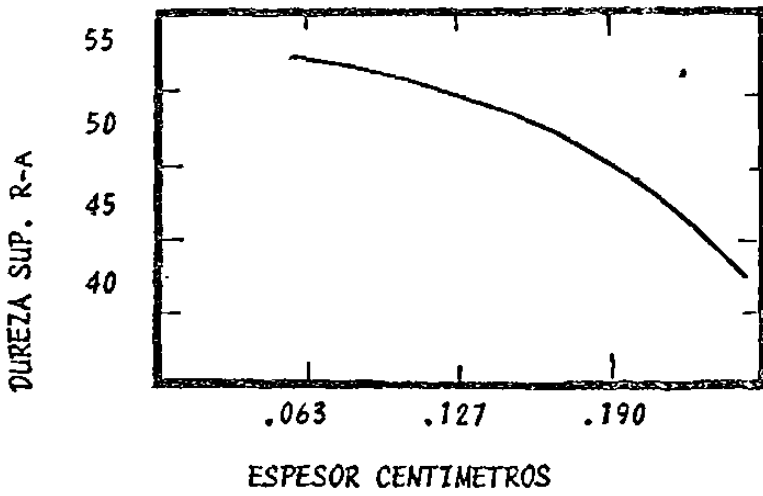


FIGURA No. 38

FIGURA No. 39

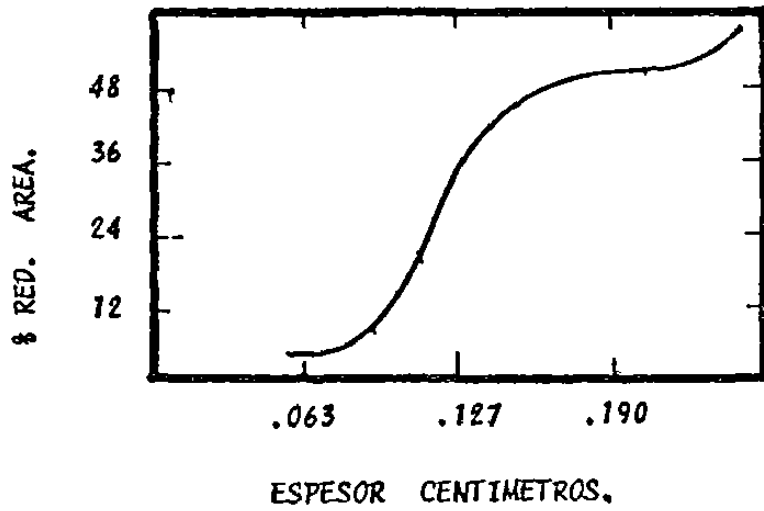
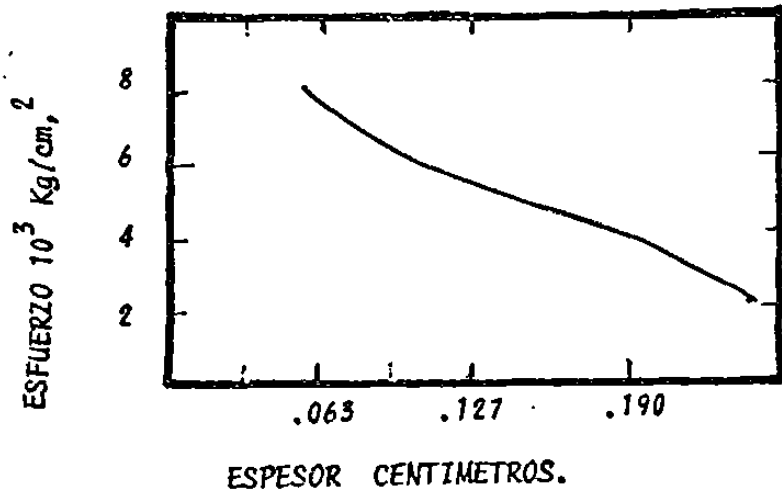


FIGURA No. 40

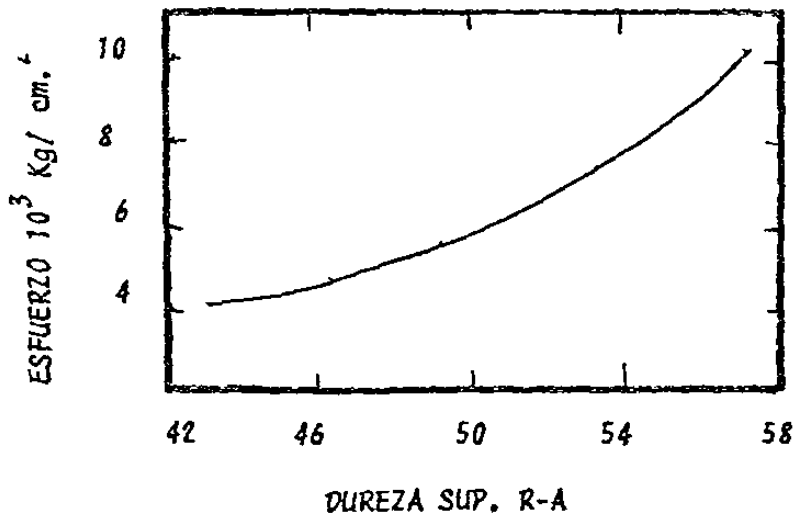


FIGURA No. 41

FIGURA No. 42

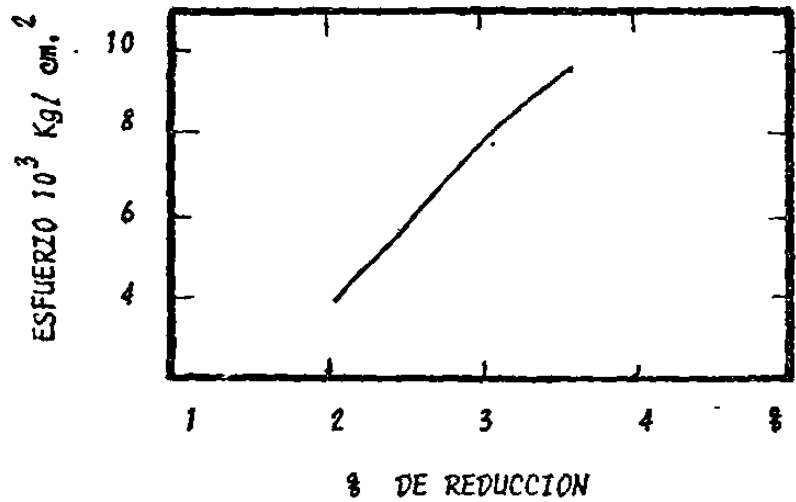
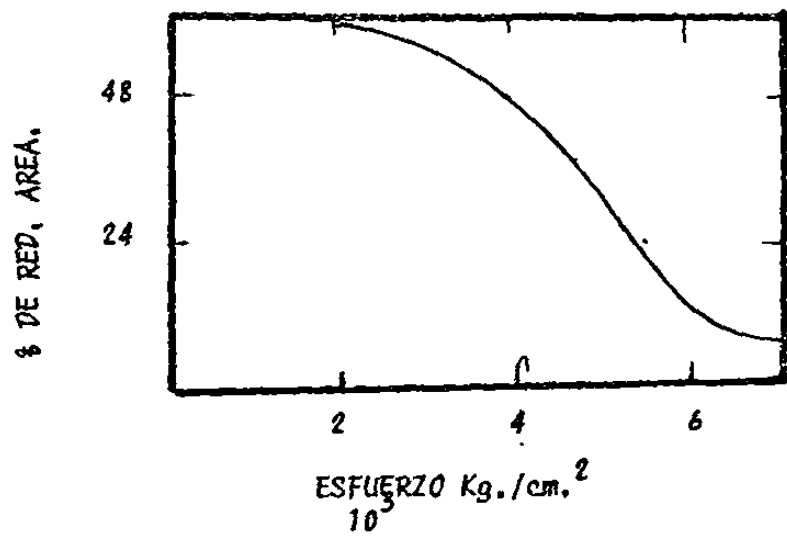


FIGURA No. 43

PROBETAS TRATADA TERMICAMENTE:

Las probetas de espesor 0.0364 Plg. permanecieron a diferentes temperaturas durante determinados intervalos de tiempo, los cuales fueron enunciados en páginas anteriores. Esto con el fin de observar las variaciones en cuanto a dureza y tamaño de grano con respecto a las probetas sin tratamiento.

Después del tratamiento se realizaron ensayos de dureza en donde se observó una disminución de ella, acentuándose más en aquellas probetas que estuvieron expuestas a mayores tiempos y temperaturas, siendo la causa de esto, que las temperaturas a las que estuvieron expuestas caen en la zona de un recocido subcrítico (fundamentalmente considerado como un proceso de ablandamiento) por lo que se afirma que la microestructura únicamente se regeneró sin haber sufrido transformación alguna.

Las variaciones introducidas en las características por la deformación debida al trabajo en frío a que fue sometida el acero desaparecen y el material prácticamente vuelve a sus características originales lo cual sucede a las temperaturas de 500 a 600°C. La explicación de esto es que se provoca la recristalización de la ferrita, que por efecto del trabajo en frío se había alargado, recobrando los cristales la forma normal poliédrica.

Los efectos que provocan los tratamientos térmicos aplicados en las características mecánicas del acero son:

- a).- Aumenta su ductilidad y maleabilidad con respecto a la que tenía después de laminado en frío.
- b).- Con el aumento de ductilidad el acero puede nuevamente ser laminado.

El ensayo de dureza practicado a una probeta indica el grado de homogeneización que alcanzó durante el tratamiento.

Haciendo referencia a las variaciones del tamaño de grano que tienen lugar durante el tratamiento térmico con respecto al que presentó la probeta antes del tratamiento el cual es mayor de 10, se puede decir lo siguiente:

Durante el recocido se observan dos procesos, uno de nucleación y otro de crecimiento de grano, dependiendo de como se favorezcan ambos procesos, el tamaño de grano aumenta o disminuye. En este estudio el tamaño de grano obtenido en las probetas tratadas a temperaturas de 575 y 600°C durante intervalos de tiempo de 5, 10, 15, 30 y 60 minutos es menor de 10 por lo cual se afirma que hubo un rápido crecimiento de grano y una lenta nucleación lo cual da lugar a un material de grano grueso. Algunos de los factores que incrementan la rapidez del crecimiento del grano son la temperatura de recocido así como el tiempo de permanencia.

En una forma general se puede ver que el tamaño de grano es mayor a medida que aumenta la temperatura y el tiempo de recocido.

En las probetas que fueron sometidas durante 30 minutos a temperaturas de 300, 400, 500, 550 y 600°C respectivamente se observó que para las correspondientes a 300 y 400°C la recristalización está a punto de completarse, no existiendo el más leve indicio que permita reconocer la estructura que tenía antes del tratamiento, no así en la probeta sometida a 500°C en donde la recristalización ya se efectuó y la estructura presenta un tamaño de grano definido.

El conocimiento del tamaño de grano es de gran importancia debido a que nos indica las probables propiedades que posee el acero, así como los tratamientos térmicos que pueden utilizarse para obtener características deseables.

En las figuras 44-46 se representan los resultados, de los ensayos de dureza y tamaño de grano para cada tratamiento térmico.

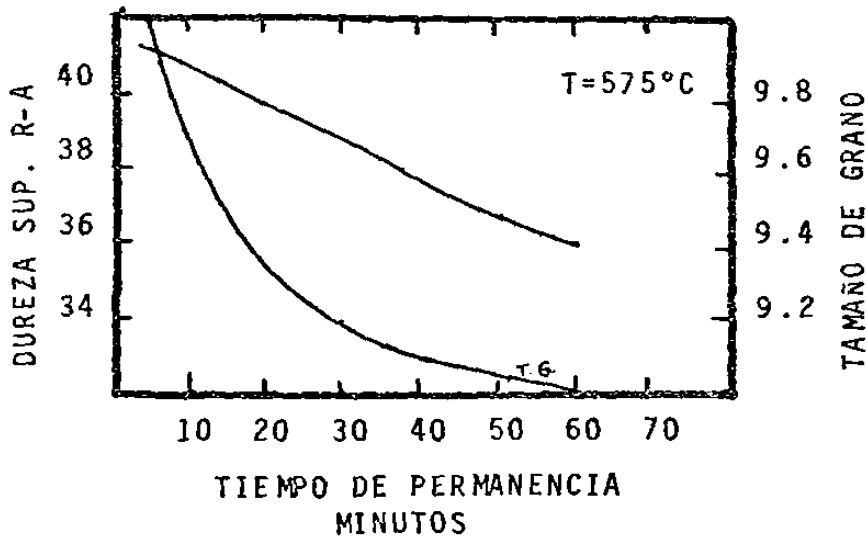


FIGURA No. 44

FIGURA No. 45

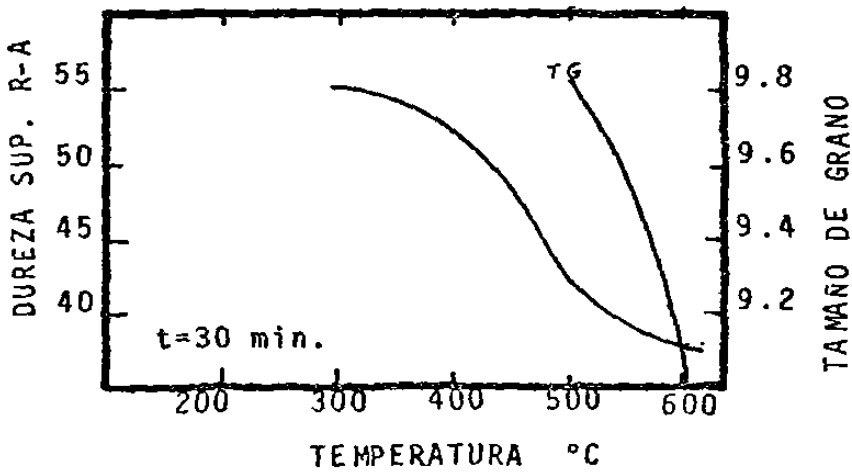
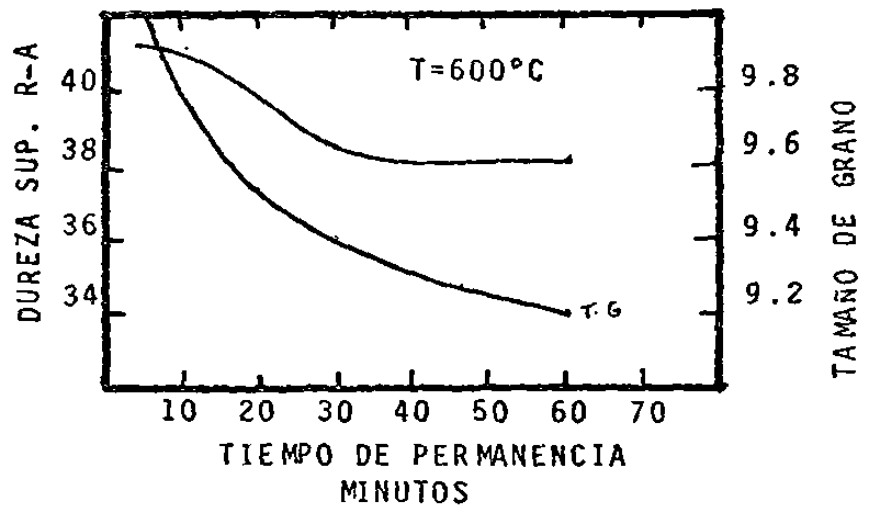


FIGURA No. 46

REFERENCIAS :

- 1.- American Society for Metals: " Metal Handbook", Volumen I, 8th Edition P. 87.
- 2.- American Society for Metals: " Metal Handbook". Volumen 7, 8th Edition P. 4
- 3.- Harmer E. Davis, G.E. Troxell y C.T. Wiskocil: " Ensaye e Inspección de los Materiales en Ingeniería ", 3^a. Ed. Editorial C.E.C.S.A. P. 25, 26, 41, 43, 51, 56, 58, 61, 72, 74, 155, 158, 160, 168, 175, 239, 240, 251, 257.
- 4.- Van Vlack: "Materiales para Ingeniería", 8^a. Ed., Editorial C.E.C.S.A. P. 183, 186, 195, 199, 371, 384.
- 5.- Sidney H. Avner: " Introducción a la Metalurgia Física"; 1^a Ed. Editorial Mc. GRAW-HILL, P. 61, 94, 109, 200, 300.
- 6.- Malcolm S. Burton: " Metalurgia Aplicada", Ed. 1961, Editorial Aguilar, S.A. , P. 22, 24, 25, 34, 38, 40, 44, 45, 47, 98, 100, 101, 102, 103, - 115.
- 7.- Kehl, G.L.: " Fundamentos de la Práctica Metalográfica", Ed. 1954, Editorial Aguilar, S.A., P. 23--27, 50--59, 60--76, 258--262, 272--289.
- 8.- José Apraiz Barreiro: " Tratamientos Térmicos de los Aceros", 7^a. Ed. Editorial DOSSAT-PLAZA DE SANTA ANA, P. 31, 75, 76, 82, 132, 433, 439, - 477, 478, 479, 494, 507, 513, 514, 532.
- 9.- A. Malishev, G. Nikolaiev, y Y. Shuvalov, " Tecnología de los Metales", 2^a. Ed., Editorial MIR, P. 43. 44. 54. 57. 111. 257. 258.
- 10.- Robert E. Reed-Hill: "Principios de Metalurgia Física", 6^a. Ed. Editorial C.E.C.S.A., P. 183, 185, 190, 194, 237, 238, 240, 241, 244, 248, - 249.

