

01. 76. 21

PMM/C-197

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

PROGRAMA MULTINACIONAL DE METALURGIA
(Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico-OEA)

ACEROS MICROALEADOS AL NIOBIO

PUESTA A PUNTO EN LAMINACION

Ings. Alfredo M. Hey y Oscar A. Podestá

Buenos Aires-Argentina
1976

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

PROGRAMA MULTINACIONAL DE METALURGIA
(Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico-OEA)

ACEROS MICROALEADOS AL NIOBIO

PUESTA A PUNTO EN LAMINACION

Ings. Alfredo M. Hey y Oscar A. Podestá

ACEROS MICROALEADOS AL NIOBIO

PUESTA A PUNTO EN LAMINACION

Ings. Alfredo M. Hey* y Oscar A. Podestá**

RESUMEN

Se describen una serie de experiencias realizadas en la puesta a punto en producción de aceros estructurales de Alta Resistencia y Baja Aleación, en perfiles diversos, utilizando técnicas de laminado y enfriamiento controlados de aceros microaleados con Niobio.

* Dto. Metalurgia, Comisión Nacional de Energía Atómica

** Altos Hornos Zapla

1. Las técnicas de laminación controlada de aceros microaleados con Nb y V, que permiten la fabricación de aceros de Alta Resistencia y Baja Aleación (HSLA) con excelentes propiedades de tenacidad y ductilidad, comenzaron a aplicarse en la década pasada y continúan atrayendo la atención de las empresas productoras (1,2).

En el ámbito latinoamericano resultan particularmente atractivas no sólo por permitir un incremento en la calidad de los aceros que se producen en mayor proporción, sino que estas mejoras se obtienen por un uso más eficiente de equipos existentes y requieren el empleo, en reducidas proporciones, de elementos microaleantes que en algunos casos, se producen en la región.

Si bien los trabajos de investigación, que aun continúan, y los ensayos de producción a escala industrial comenzaron en este país hace bastante tiempo, diversas circunstancias han impedido hasta el presente la puesta en producción de estos aceros. A diferencia con otros países del área, como Brasil, donde, como consecuencia de la producción local de elementos microaleantes, se ha registrado una sustancial promoción y adopción de estas técnicas.

La puesta en marcha de algunas obras públicas de envergadura, ha creado una demanda creciente de aceros estructurales de alta resistencia y el presente trabajo describe algunos de esfuerzos realizados por Altos Hornos Zapla para responder a esta demanda.

El trabajo precedente (3) constituye una muy autorizada versión de las bases metalúrgicas que rigen el desarrollo de los aceros estructurales de Alta Resistencia y Baja Aleación y nos eximen de la necesidad de entrar en detalles sobre el tema.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo describe un conjunto de experiencias realizadas en A.H.Z. destinadas a poner a punto la fabricación de una serie de aceros estructurales en perfiles diversos mediante la utilización de técnicas de laminado y enfriamiento controlados de aceros microaleados. Se pretende así incorporar a la línea de producción calidades de resistencia incrementada y mejorar las propiedades, en especial ductilidad y soldabilidad, de las que ya se encuentran en producción.

3. TECNICAS UTILIZADAS

El retardo en la recristalización de austenita que ocasionan los microaleantes como el Nb durante la laminación a temperaturas relativamente bajas, permite la refinación del grano ferrítico final. El grado de refinación, que aumenta con la velocidad de enfriamiento durante la transformación, incrementa la resistencia a fluencia y también la ductilidad y la tenacidad del material.

Ello permite un incremento extra de resistencia por el endurecimiento por precipitación que los mismos microaleantes pueden producir. Mediante un manejo adecuado de las distintas variables metalúrgicas es posible obtener un rango apreciable de propiedades en el producto final.

En este caso particular se optó por interferir en grado mínimo con las características normales del proceso y a tal efecto se mantuvieron inalteradas las variables mecánicas, como calibrados, cantidad de deformación, etc. y se operó exclusivamente sobre las variables térmicas del mismo. Los ensayos iniciales se efectuaron sobre geometrías simples, tales como planchuelas y redondos lisos, para pasar con posterioridad a perfiles normales y redondos conformados.

Se controlan las siguientes temperaturas a lo largo del proceso:

- temperatura de calentamiento en horno
- temperatura de iniciación de laminación
- temperatura intermedia previa a la entrada a la última caja (penúltima pasada)
- temperatura de ingreso a la planchada de enfriamiento

3.1 Temperatura de calentamiento:

Se intenta, idealmente, la puesta en solución de cantidades de microaleantes suficientes para interferir con la recristalización en las etapas finales de laminación sin caer en excesivo crecimiento de grano. Se comenzó con temperaturas que garantizaran una solubilidad casi total para ir reduciéndolas paulatinamente en función de los resultados obtenidos.

3.2 Temperatura de comienzo de laminación:

Se fija como tal la temperatura medida después de la primera pasada de descascarillado por facilidad de medición. La misma se regula al mínimo requerido para operar cómodamente en las etapas de desbaste.

3.3 Temperatura de entrada a Terminado:

Se regula mediante esperas en planchada, controlándose mediante el uso de pirómetros la obtención del valor requerido.

Se fija de acuerdo a la capacidad de deformación del equipo y a las características de tenacidad requeridas del material en proceso.

3.4 Temperatura Final:

La velocidad de enfriamiento a la salida del tren se controla mediante la aplicación de agua a presión en una caja de enfriamiento.

Se utiliza en los casos en que las propiedades al impacto no son particularmente exigentes y/o cuando la capacidad mecánica del tren o la consiguiente reducción en productividad hacen desaconsejable el uso de excesivos enfriamientos intermedios.

3.5 Composición:

Las composiciones utilizadas se fijaron dentro de los siguientes rangos:

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb
150-190	1300-1500	200-400	50	50	20	20-40

que pueden considerarse típicos para este tipo de aceros. Los valores adoptados en cada caso, se fijaron teniendo en cuenta las especificaciones del producto final y las variantes introducidas en el proceso. Algunas fluctuaciones observadas en el rendimiento y distribución del Nb se obviaron alterando la práctica de adición.

3.6 Ensayos Finales:

El material terminado, se sometió a los ensayos habituales de laboratorio: tracción, impacto, doblado, soldadura y metalográfico.

4. EQUIPAMIENTO

Pasamos a describir en este punto, características generales de las instalaciones en las cuales se llevaron a cabo los ensayos. Son algunas de ellas las que en cierta medida fijaron el modo de operar para la programación de las experiencias.

4.1 Horno de calentamiento:

Se trata de una instalación alimentada a gas de Altos Hornos a carbón vegetal.

El poder calorífico inferior (PCI) oscila, entre 900 y 1.000 K.cal/Nm³. Posee recuperadores de calor, combustionándose el aire y gas a temperaturas iniciales de 500/600° C y 300/400° C respectivamente.

La figura 1 muestra una vista general del horno y las dimensiones de su hogar.

Su capacidad de calentamiento es de 20 t/hora, alcanzándose temperaturas de hasta 1.300° C en las palanquillas.

El control de temperaturas es realizado en tres zonas, entrada, medio y salida.

4.2 Tren Mediano:

Instalación de origen alemán, cuya puesta en marcha data del año 1964.

Está compuesto de tres cajas tríos en disposición abierta, accionadas por un único motor de corriente continua de 2.000 Kw en pico y 1.000 Kw nominales.

El diámetro nominal de cilindros es de 475 mm, siendo de 1.400 mm la longitud de tabla para las dos primeras cajas y 1.200 para la tercera.

Las velocidades tangenciales pueden variar entre 2.5 y 5 m/seg. La figura 2 muestra un diagrama de este equipo.

4.3 Caja de enfriamiento controlado:

La figura 3 muestra esta caja, que básicamente se compone de dos tubos concéntricos con boquillas de entrada y salida.

Tanto el diseño de estas últimas como la distribución de perforaciones en el tubo interior, están dirigidas a lograr que el agua circule en mayor medida, desde el extremo de salida hacia el de entrada de la barra. La alimentación se produce por tres mangueras, siendo el área de las tres bridas de acople igual al de las 240 perforaciones del tubo.

La presión máxima de agua es de 3 kg/cm^2 regulable a voluntad.

Para el funcionamiento de esta caja de enfriamiento es necesario remover placas de la planchada del tren y fijarla sólidamente a los bastidores de soporte. Se ubica inmediatamente a continuación de la guía de salida del calibre acabador.

5. EXPERIENCIAS REALIZADAS

Los lingotes de 1.300 kg se desbastaron, en forma normal, a palanquillas de la medida correspondiente a cada perfil o sección. El calentamiento de las palanquillas se efectuó en el horno descrito en 4.1 a temperaturas algo mayores que las habituales.

Todas las experiencias se iniciaron laminando un cierto número de palanquillas en forma totalmente normal. Posteriormente, además de uniformar temperatura inicial mediante esperas a la salida de caja 1, se trataron de obtener las siguientes temperaturas de final de laminación: 950, 900, 850 y 800°C. Las caídas de temperatura en el terminador son del orden de los 25°C según perfil. Ocasionalmente, debido a demoras o atascamientos se llegó a procesar barras por debajo de los 800°C.

Durante las experiencias iniciales se midieron las temperaturas de salida de la barra en movimiento, mediante un Pirómetro de Radiación Ireon con registro automático, encontrándose algunas diferencias con las mediciones ópticas, especialmente a temperaturas bajas. Se adoptó la rutina de medir ópticamente la temperatura previa a la entrada a caja III que, por realizarse con la barra detenida, ofrece un mayor grado de confiabilidad.

Alrededor de 5 palanquillas se procesaron por cada temperatura final de laminación.

Se ensayaron un total de 5 coladas sobre las siguientes geometrías: planchuela 76.2 x 11.0 mm, perfil normal UPN 80 barras redonda lisa \varnothing 31.7 y \varnothing 41.2 y barra redonda corrugada \varnothing 32 y \varnothing 40 mm.

5.1 Variables de las experiencias realizadas, ordenadas por tipo de perfil ensayado.

5.1.1 Planchuela de cantos redondos en dimensión 76,2 x 11.

- Composición química (Milésimas de por ciento)

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb
185	1450	286	35	19	16	16

- Temperatura de Horno. 1240°C

- Temperatura Inicial, tomada luego de la primer pasada.
Variable entre 1.170 y 1.200°C

- Temperaturas de entrada previas al anteuúltimo paso.
Se ensayaron las siguientes temperaturas, obtenidas por detenciones de las barras:
Normal (960°C a 1.000°C); 950°C; 900°C; 850°C; 800°C

- Temperaturas finales
Entre 780°C y 975°C

- Enfriamiento
Al aire en cama de rieles con tiraje natural.

- Palanquilla utilizada
70x70x4.500 mm, 165 kg de peso y 4.800 mm² de sección.

- Producto final
Planchuela de 76,2 x 11 x 800 mm² de sección.

- Reducción en las dos últimas pasadas
24% y 18.5%; total 38%.

- Reducción total, palanquilla a planchuela
83.3%

5.1.2 Perfil Normal "U" 80 mm

- Composición química (Milésimas de por ciento)

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb
157	1.325	300	37	18	40	51

- Temperatura de Horno
1.220° C
- Temperatura inicial, tomada después de la primer pasada
Entre 1.180° C y 1.200° C
- Temperatura de entrada al calibre terminador
Se ensayaron las temperaturas de 920° y 880°. Se intentaron temperaturas más bajas, manifestándose incontrolable el proceso de laminado.
- Temperatura de salida final
Varían entre 830 y 870° C
- Enfriamiento
El aire en parilla de rieles con tiro natural
- Palanquilla utilizada
96x96x4.300 mm, de 270 kg y 8.850 mm²
- Sección final
PN"U" 80 de 1.110 mm²
- Reducción en último paso 14.7%
- Reducción total, palanquilla a perfil 87.5%

5.1.3 Redondos lisos de 31.7 a 41.2 mm

- Análisis químico (Milésimos de por ciento)

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb
188	1.330	338	43	15	8	23

- Temperaturas de horno
1.210° C
- Temperatura después de la primer pasada
 - a) Ø 31.7 entre 1.120 y 1.170° C
 - b) Ø 41.2 entre 1.120 y 1.160° C

- Temperatura previa al anteúltimo paso
Entre 970° C y 1.050° C
- Temperaturas de entrada al último paso
Se ensayaron los siguientes valores:
 - Ø 31.7 mm. Normal (930 a 950° C); 900° C; 850° C; 800° C
 - Ø 41.2 mm. Normal (980° C); 950° C; 900° C; 850° C; 800° C
- Enfriamiento
Para cada diámetro y para cada rango de temperatura indicados arriba, se enfriaron barras en aire y en la caja de enfriamiento controlado.
- Palanquillas utilizadas
85x85x4.300 mm, de 225 kg de peso y 6.890 mm²
- Productos finales
 - Ø 31.7 mm de 789 mm²
 - Ø 41.2 mm de 1.332 mm²
- Reducción en dos últimos pasos
 - Ø 31.7 mm: 35%
 - Ø 41.2 mm: 28%
- Reducción total
 - Ø 31.7 mm: 88.5%
 - Ø 41.2 mm: 81.0%

5.1.4 Redondos conformados de 32 y 40

- Análisis químico de ambas coladas ensayadas (Milésimas de porciones)

	C	Mn	Si	P	S	Al	Nb
Cl	137	1212	118	41	24	33	100
C2	169	1287	275	46	25	21	52

- Temperaturas de Horno
1.210° C/1.220° C
- Temperatura de entrada al último paso
Se ensayaron los siguientes:
Normal (950° C/970° C); 900° C; 850° C; 800° C
- Enfriamiento
Para cada rango de temperatura, diámetros y coladas se enfriaron barras al aire y en caja de enfriamiento controlado.
- Palanquillas utilizadas
Para ambos diámetros 85 x 85 x 4.300 mm de 225 kg y 6.890 mm²

- Productos finales

- Ø 32 mm de 870 mm² de sección máxima
- Ø 40 mm de 1.350 mm² de sección máxima

- Reducción en los dos últimos pasos

- Ø 32 mm: 44%
- Ø 40 mm: 36%

Valores para una sección que incluye nervaduras.

- Reducción total

- Ø 32 mm: 87%
- Ø 40 mm: 80%

6. RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla I están volcados los valores promedio de los ensayos realizados para cada producto.

Las figuras 5 a 14 indican en detalle, los resultados de los ensayos mecánicos realizados sobre redondos lisos 31.7 y 41.2 mm que se consideran como típicos de las demás experiencias realizadas.

6.1 Estructuras Obtenidas:

Los análisis metalográficos de las barras terminadas con enfriamiento al aire, muestran una estructura ferrítico-perlítica (con contenidos de perlita del orden del 30%) con algunas islas de estructura Widmanstätten en las barras terminadas a temperaturas más altas.

El tamaño de grano decrece apreciablemente hacia las temperaturas más bajas de acabado. Figura 15.

Las barras enfriadas con agua muestran una tendencia similar con la aparición en la periferia, a las temperaturas más bajas de terminado, de espesores crecientes de estructuras de tipo bainítico revenidas.

Los tamaños de grano van desde 8 hasta 12 ASTM.

7. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Del análisis de los gráficos y tablas precedentes, surge que de la simple adición de Nb, resulta una apreciable mejora (del orden de los 5 kg/mm²) en la resistencia a la fluencia con respecto al mismo material sin microaleantes y laminados ambos en condiciones normales.

Como es de esperar, una disminución en la temperatura de acabado, produce un progresivo refinamiento de grano que se traduce en un

consiguiente aumento en la tensión de fluencia. Dependiendo del perfil y de la reducción en las últimas pasadas, este incremento puede llegar a ser del orden de 5 kg/mm^2 ,

De igual manera se observa un incremento en los valores representativos de la ductibilidad tales como alargamiento, estricción, doblado y resiliencia. Los valores de energía absorbida en impacto, resultan particularmente altos y de los ensayos realizados a distintas temperaturas se pueden inferir temperaturas de transición mejores que -40°C para las temperaturas bajas de acabado.

Asimismo se consideran satisfactorios los resultados de los ensayos de doblado y de soldadura.

El carbono equivalente de las composiciones utilizadas es en general menor que $CE = 0.42$ y es susceptible de ser reducido aún más por cuanto los valores de resistencia a la tracción, levemente superiores a las temperaturas bajas de acabado, están por encima de los normales en este tipo de aceros.

La aplicación de enfriamiento por agua inmediatamente luego de completada la laminación, acelera la velocidad de enfriamiento durante la transformación obteniéndose una cierta reducción en el tamaño de grano y un apreciable incremento en el endurecimiento por precipitación.

Del mismo resultan, en las barras laminadas en el entorno de 950°C , aumentos de unos 5 kg/mm^2 en resistencia a fluencia y 3 kg/mm^2 en resistencia a la rotura con una leve disminución en la ductilidad.

La caja de enfriamiento ocasiona un descenso de temperatura superficial en la barra no menor de 200°C . Ello hace que, cuando se aplica el enfriamiento a barras terminadas por debajo de los 850°C , comienzan a formarse apreciables cantidades de bainita en espesores crecientes. Si bien el calor remanente en el interior de la barra produce a posteriori un revenido total de estas estructuras, lo que se refleja en un sustancial aumento de resistencia, sin desmendo de la ductilidad, se considera indeseable la presencia de estas estructuras, menos controlables que las habituales estructuras ferrítica-perlítica. A tal efecto se encuentran en construcción cajas de enfriamiento, adaptadas a diversas temperaturas y secciones, con el objeto de evitar el enfriamiento superficial por debajo de la temperatura de comienzo de la transformación bainítica.

De todas maneras, el modelo existente de caja de enfriamiento, ha cumplido con creces el objetivo inicial, que era reemplazar mediante enfriamiento controlado, la necesidad de introducir esperas intermedias para reducir la temperatura de acabado, esperas éstas que se traducen en considerables descensos en productividad.

En efecto, y teniendo presente las características de la instalación aquí utilizada, las demoras alcanzan rangos que imposibilitarían laminar ren-

tablemente productos de las características buscadas.

Se indican en el cuadro siguiente, valores de tiempo de espera y reducción porcentual en el tonelaje horario, para alcanzar los distintos valores de ensayo antes del anteúltimo paso.

Producto	Temperatura °C	Tiempo de espera (seg)	Merma %
76x11	900	25	10
	850	36	15
	800	65	27.5
Ø 31.7	900	45	23
	850	70	31
	800	110	42
Ø 41.2	950	27	17
	900	50	26
	850	90	38
	800	150	51

Se encuentra en etapa de diseño una nueva caja de enfriamiento cuya ubicación será a la salida del anteúltimo paso y cuyos fines son el de permitir reducciones en los pasos posteriores a menor temperatura, con el consiguiente refinamiento de grano que ello trae aparejado y la posibilidad de acortar la caja final de enfriamiento, mejorándose así la estructura de las barras.

Los resultados obtenidos hasta el presente permiten cumplir cómodamente con las especificaciones del acero A-55 (Resistencia a rotura 55 kg/mm²; Resistencia a fluencia 43 kg/mm²; Alargamiento 18%), actualmente en catálogo. Mediante un adecuado manejo de las variables del proceso, es posible cumplir con cierta soltura requisitos especiales de fluencia, ductilidad, etc.

Ello no obstante, se considera que el método no está totalmente optimizado y a tal efecto se continúan realizando experiencias. Además de la adecuación de las cajas de enfriamiento final y de la implementación de enfriamiento intermedio ya mencionado, se trabaja en la optimización del tamaño de grano austenítico al comienzo de laminación mediante adecuado manejo de la temperatura del horno y de los niveles de Nb y C, y en otras variantes de composición tales como adecuación de la "templabilidad" promovida por Mn a las dimensiones de cada producto final, incremento de soldabilidad y ductilidad por reducción de los niveles de C en concordancia con los requerimientos de rotura, etc.

Se prevé la necesidad de adecuar algunos calibrados a las características del proceso, en especial los perfiles normales que presentan algunas

complicaciones particulares.

CONCLUSIONES

Se ha puesto a punto la fabricación de un acero de alta resistencia y baja aleación microaleado al Nb, que responde a las especificaciones de un acero estructural A-55.

La soldabilidad de este acero, muestra una apreciable mejora con respecto a las composiciones utilizadas habitualmente en esta calidad.

Mediante un adecuado manejo de la composición y la aplicación selectiva de laminado y enfriamiento controlados, es posible la obtención de un rango apreciable de propiedades mecánicas.

La aplicación de enfriamiento controlado, permite en buena parte de los casos reducir la incidencia sobre la productividad de las esperas intermedias que requiere el laminado controlado.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es el resultado del esfuerzo de buena parte del personal de A.H.Z. y del Departamento de Metalurgia de C.N.E.A., cuya colaboración se agradece.

Asimismo brindamos al Programa Multinacional de Metalurgia de la O.E.A. nuestro agradecimiento por el permanente apoyo e incentivo brindados.

El desarrollo de aceros microaleados fue iniciado en este país por el Ing. Jorge Mazza, cuya incesante colaboración es objeto de nuestro especial reconocimiento.

REFERENCIAS

- 1 Strong tough structural steels, ISI, Sp. Report 104, 1967.
- 2 Symposium low alloy high strength steels, the Metallurg. Companies, 1970.
- 3 J. Malcolm Gray - Congreso Ifafa Laminación - Mayo 1976.
- 4 Puesta a Punto de un Acero Estructural A-55 al Niobio. Altos Hornos Zapla; Departamento de Metalurgia, C.N.E.A. 3er. Seminario de Laminación I.A.S., Dic. 1975.

T A B L A I

Temperatura anterior a pasada	Producto	F kg/mm ²	R kg/mm ²	E %	A %	Resiliencia			Plegado	Soldabi- lidad.	Tamaño de grano
						-0°C	-20°C	-40°C			
80°C < T < 950°C	Ø 31,7 Liso - aire	47,2	64	63,9	25,5	10,5	6,5	5,1	Bueno	Buena	10/11
	Ø 31,7 Liso - agua	46,2	58,8	56	22	14,6	8,7	8,9	Bueno	Buena	
	Ø 31,7 Liso - aire	42,5	57	63,5	26,3	18,5	-	9,5	Bueno	Buena	8/12
	Ø 31,7 Liso - agua	51	62,5	62,5	23,5	17,5	-	7,4	Bueno	Buena	8/12
	Ø 41,2 Liso - aire	44	57,5	58,4	28,6	14,4	-	7,2	Bueno	Buena	8/12
	Ø 41,2 Liso - agua	51	64	61	25,3	17	-	12	Bueno	Buena	8/12
	Ø 32 Conf. - aire	42,8	53,3	-	29	28,3	25	25(..)	Bueno	Buena	8/12
	Ø 32 Conf. - agua	60,2	67	-	23	28	26,5	26(..)	Bueno	Buena	8/11
	Ø 40 Conf. - aire	42	54	-	25,8	25,5	23,4	23(.)	(x)	Buena	8/11
	Ø 40 Conf. - agua	54	63,4	-	17,8	27,4	19,8	26(.)	(x)	Buena	8/11
Normal	Ø 31,7 Liso - aire	42,9	62,2	62	28,5	4,9	2,9	1,6	Bueno	Buena	9/10
	Ø 31,7 Liso - agua	42	57	62,7	25,4	4	-	2,2	Bueno	Buena	8
	Ø 41,2 Liso - aire	47	60	-	-	13,8	-	2,15	Bueno	Buena	8/9
	Ø 41,2 Liso - agua	42	57,5	55	28,9	3,05	-	1,2	Bueno	Buena	7/9
	Ø 32 Conf. - aire	46,2	60	52	28,7	5,2	-	1,2	Bueno	Buena	7/9
	Ø 32 Conf. - agua	42,7	54,5	-	27,5	21	9,4	2,3	Bueno	Buena	8
	Ø 40 Conf. - aire	57,4	65,9	-	24,5	25,5	24,2	20,7	Bueno	Buena	8
	Ø 40 Conf. - agua	42	55,4	-	25,3	5,2	2,8	-	(x)	Buena	8
	Ø 40 Conf. - agua	49,5	60	-	20,3	22,5	8,7	-	(x)	Buena	8

(x) Se detectaron algunas fisuras en la raíz de nervaduras transversales, atribuibles a concentraciones de

tensiones y a la presencia de estructura bainítica.

(.) Para temperatura del penúltimo paso menor de 850°C

(..) Para temperatura del penúltimo paso menor de 900°C

PERFIL LONGITUDINAL HORNO 20 Tn/h

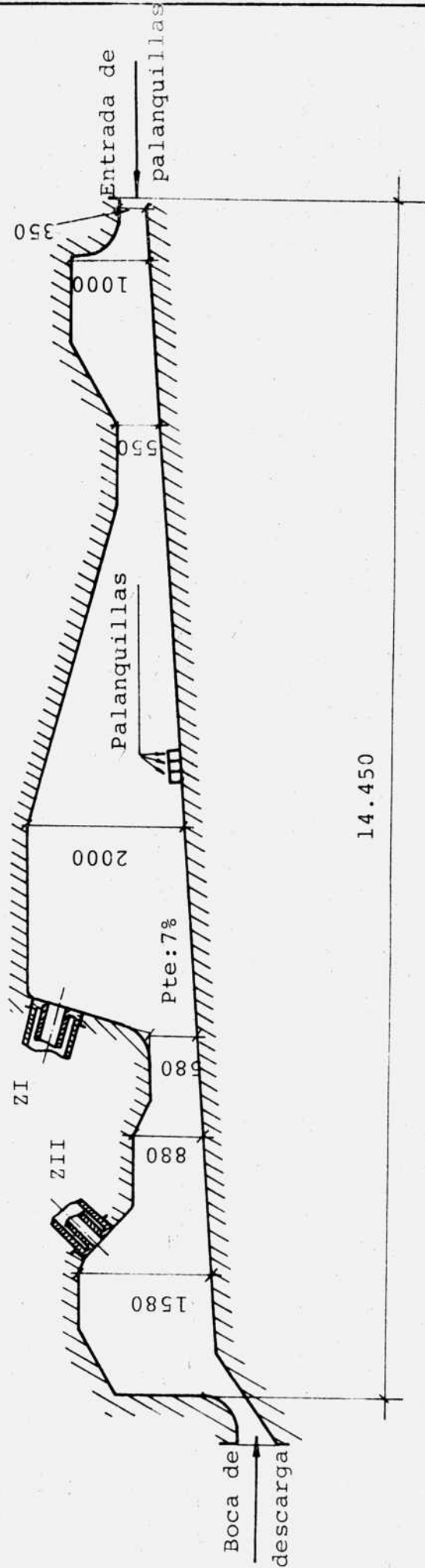
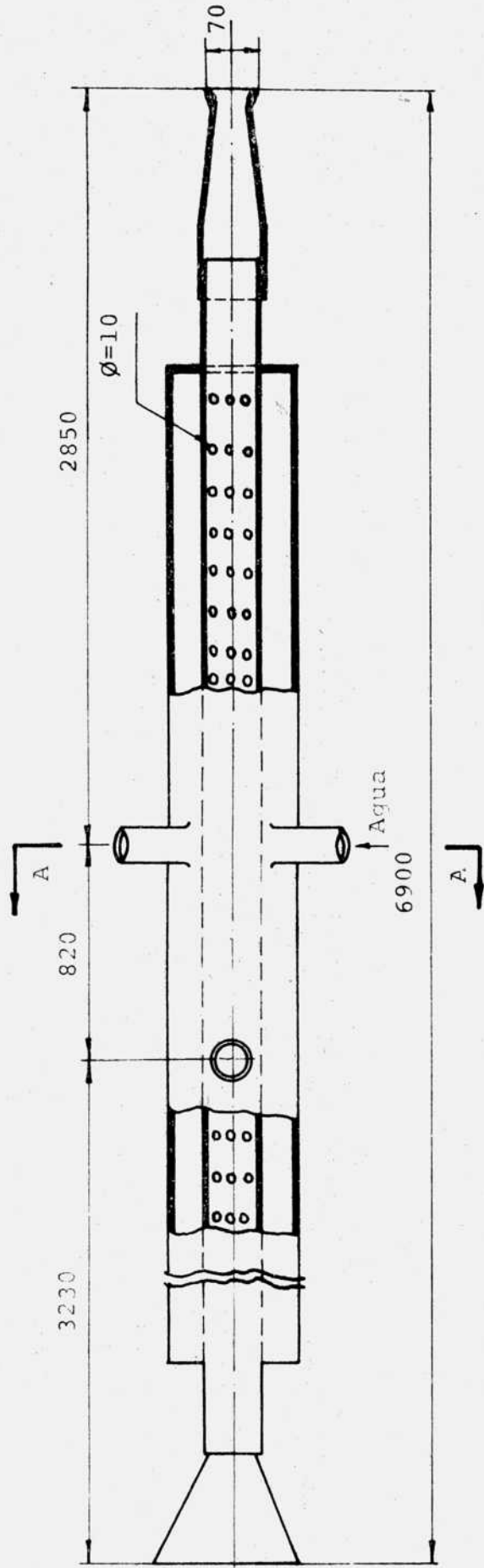


FIGURA N°1

CAJA DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO CONTROLADO



CORTE A-A

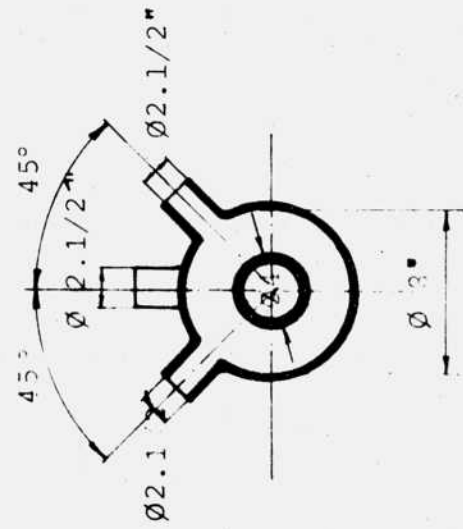
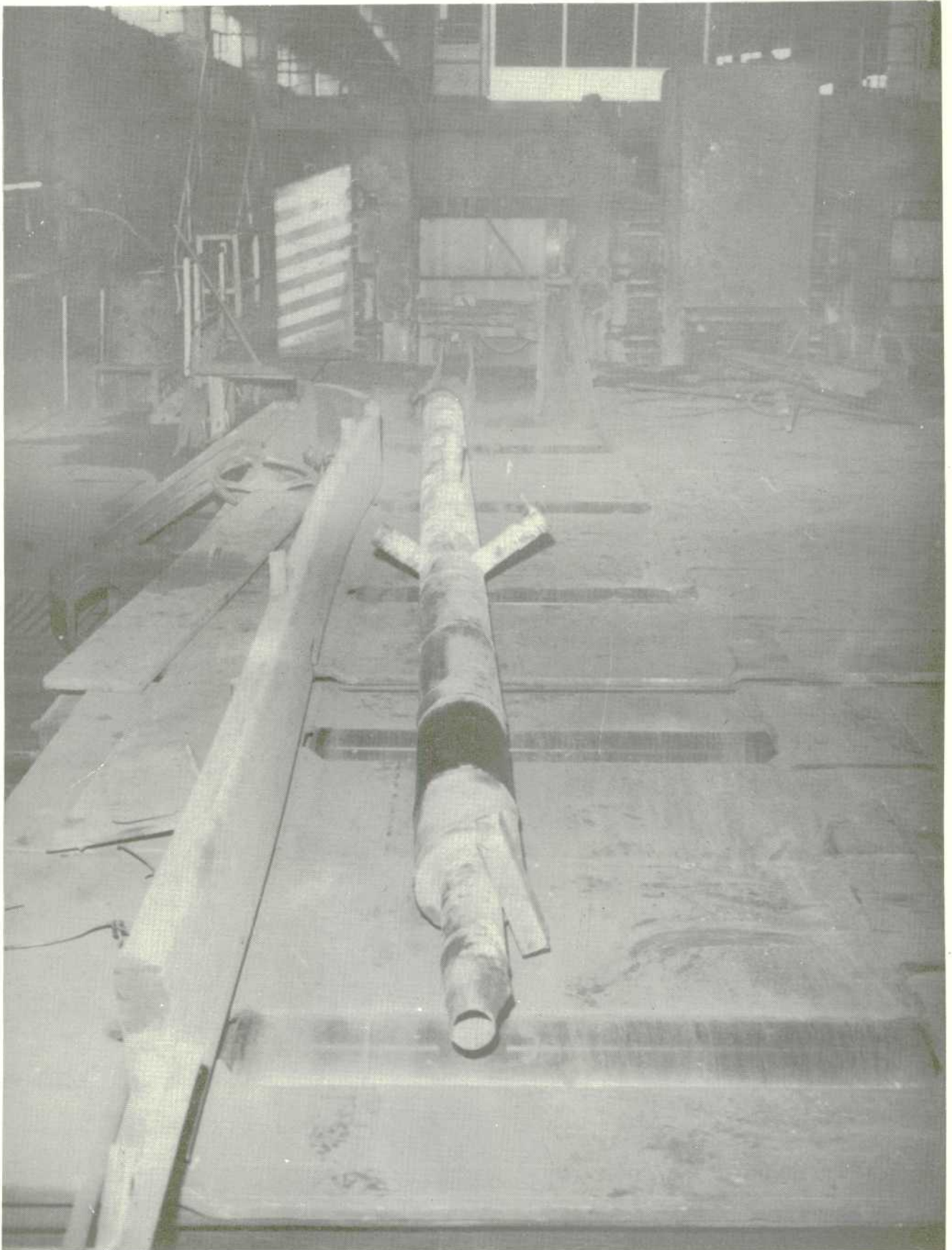


FIGURA N° 3



CAJA ENFRIAMIENTO CONTROLADO

Figura N°4

Ø31,7mm. FLUENCIA

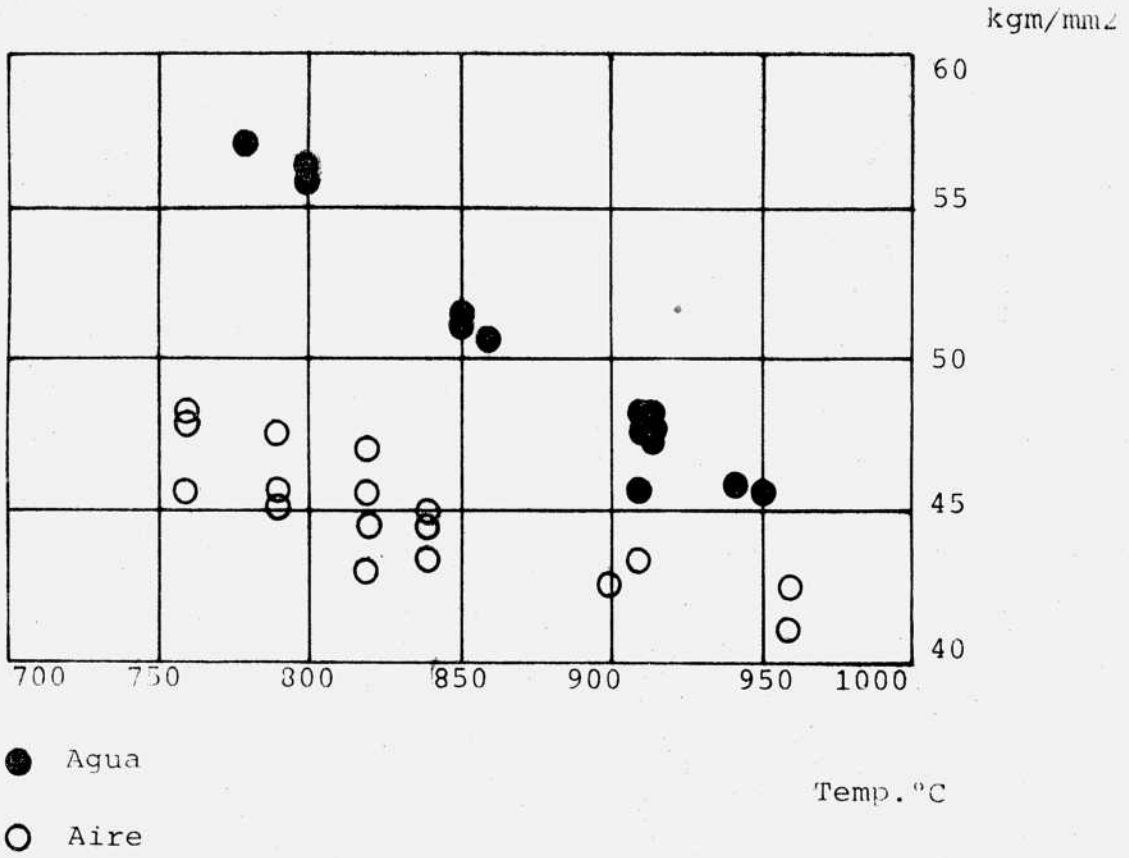


Figura N°5

Ø 41,2mm. FLUENCIA

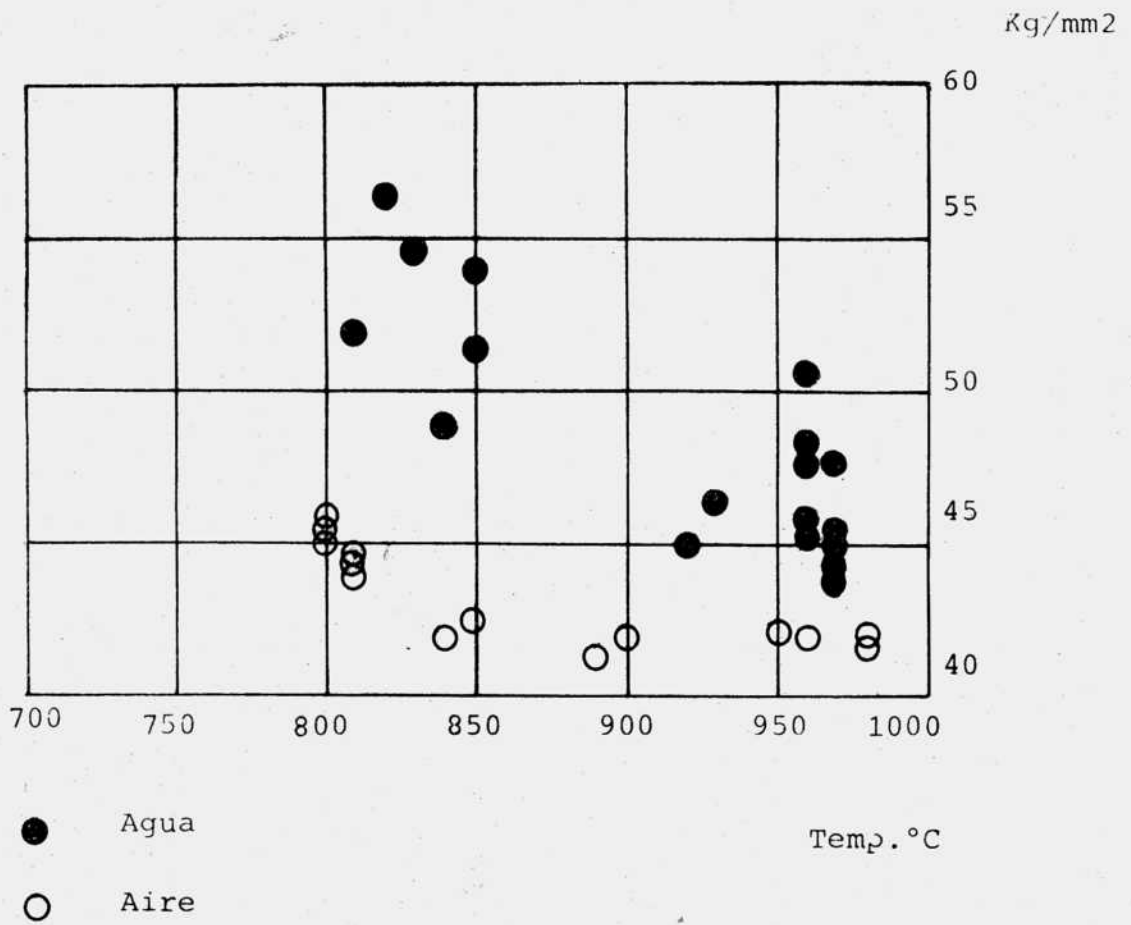


Figura N°6

Ø 31,7mm. ROTURA

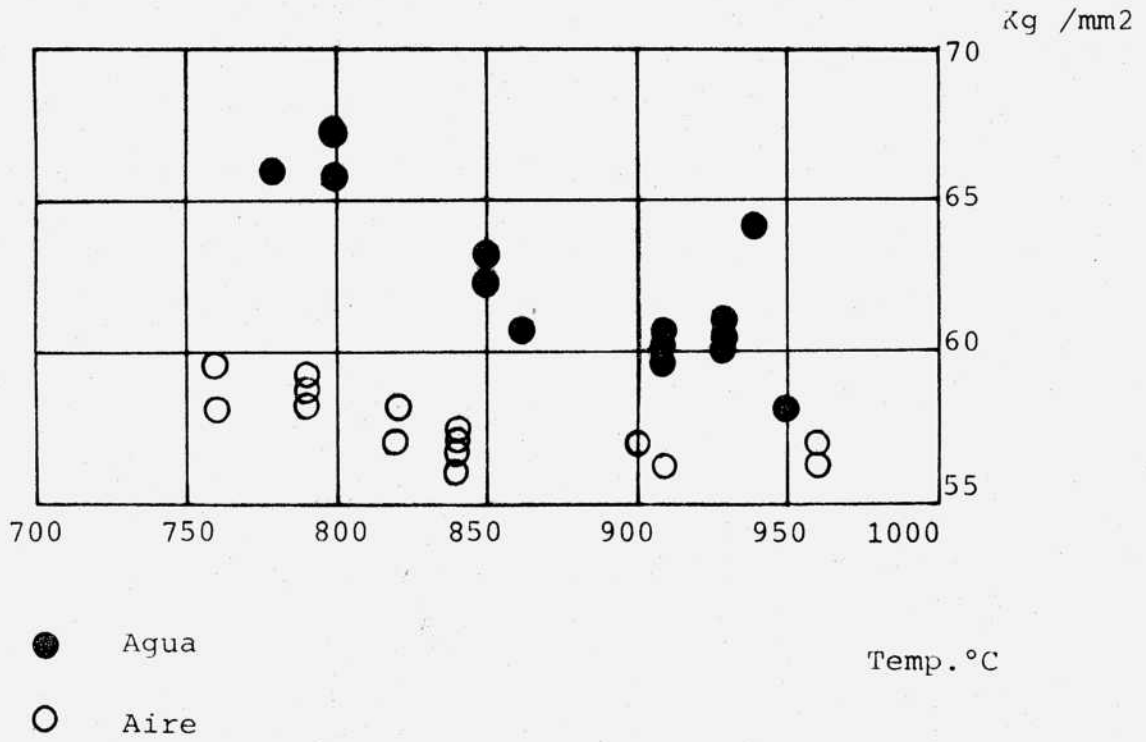


Figura N°7

Ø 41,2mm. ROTURA

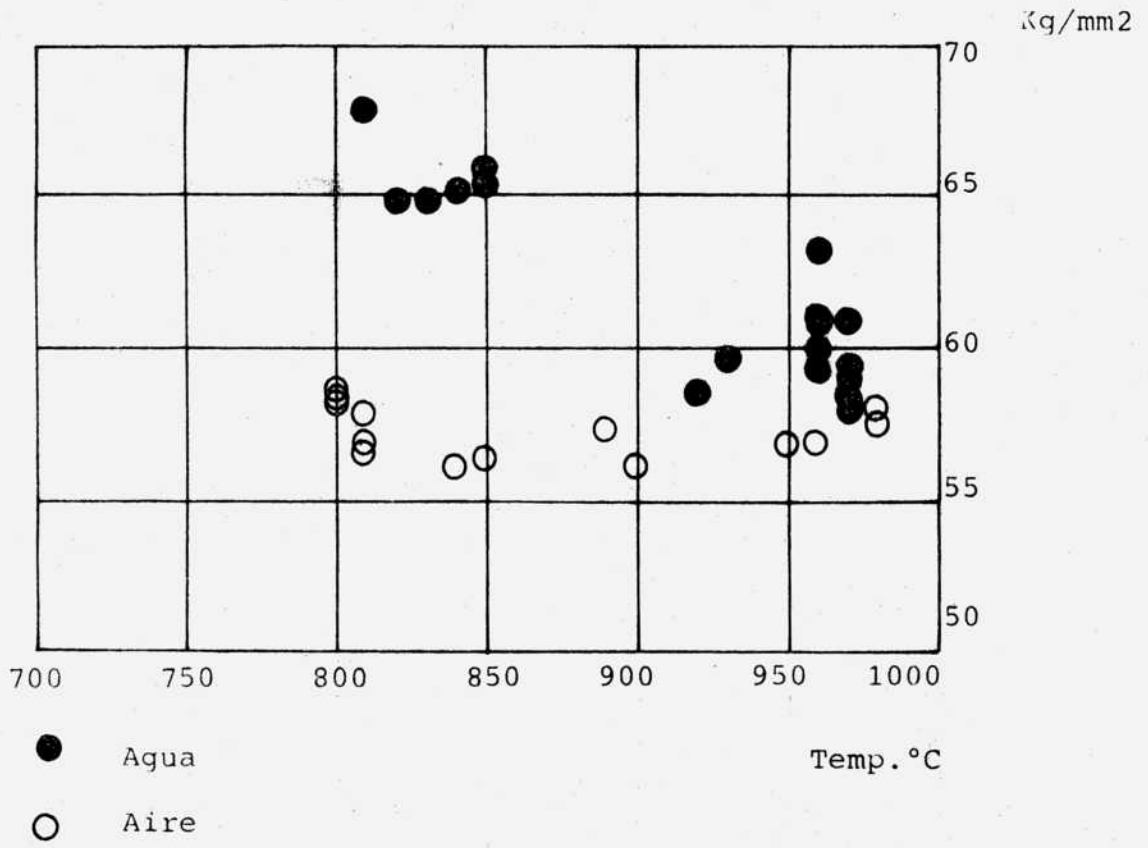


Figura N°8

Ø 41,2 mm. RESILIENCIA

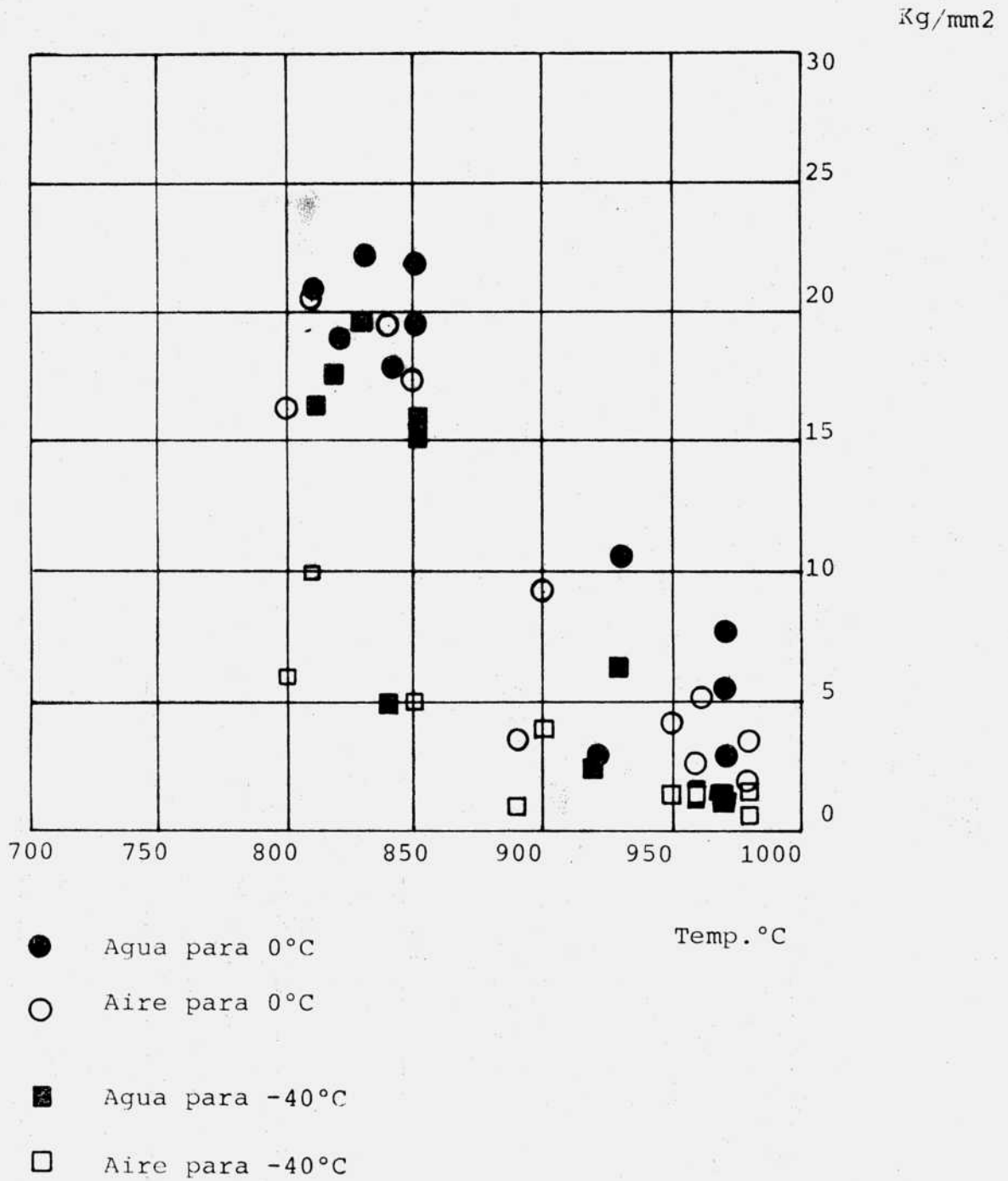


Figura N°10

Ø 31,7 mm. ALARGAMIENTO

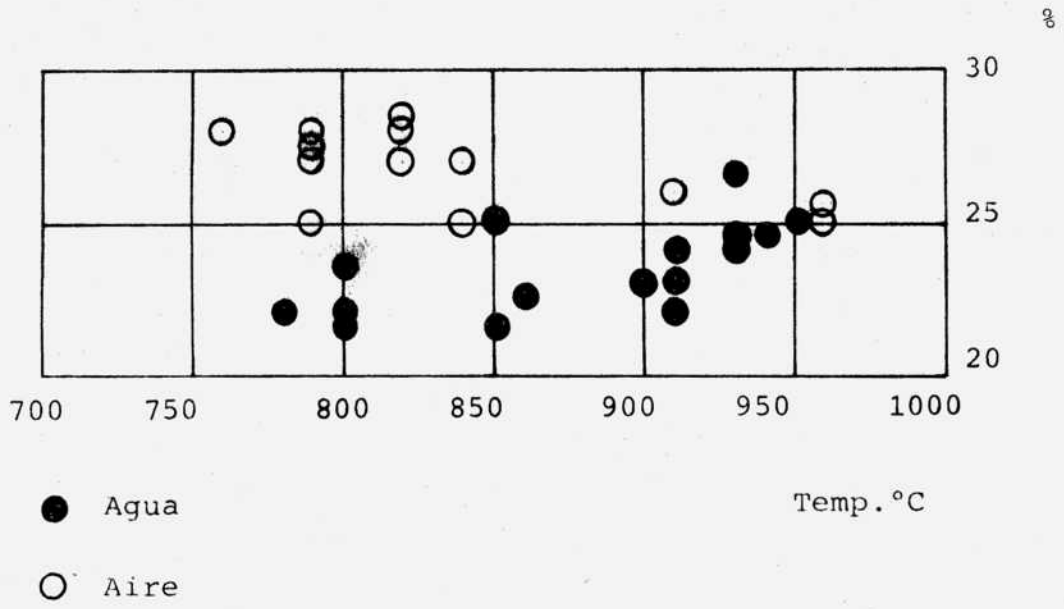


Figura N°11

Ø 41,1mm. ALARGAMIENTO

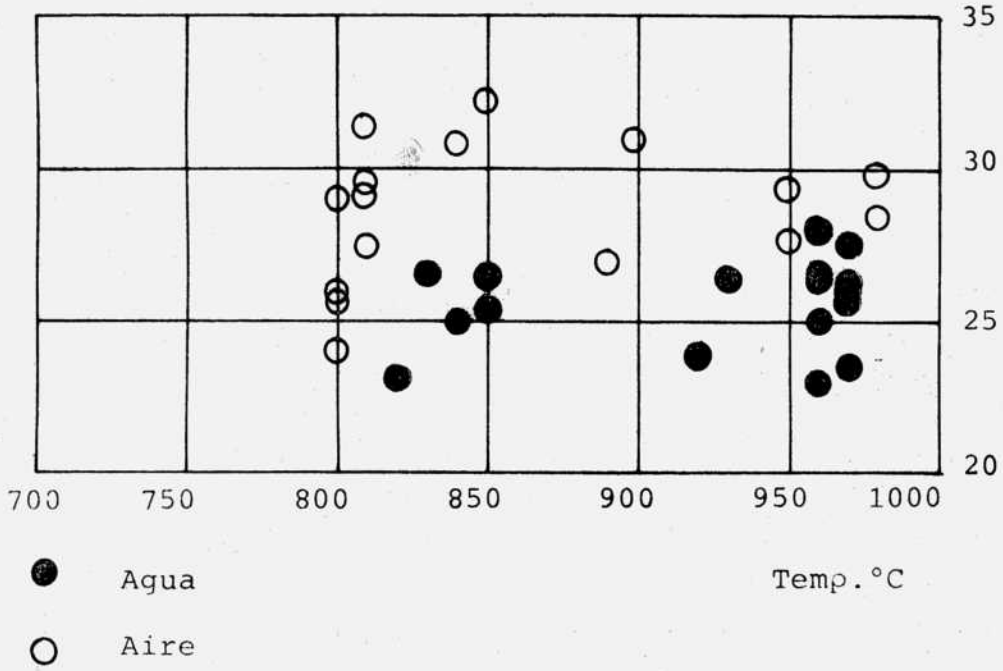


Figura N°12

Ø 31,7mm. ESTRICCIÓN

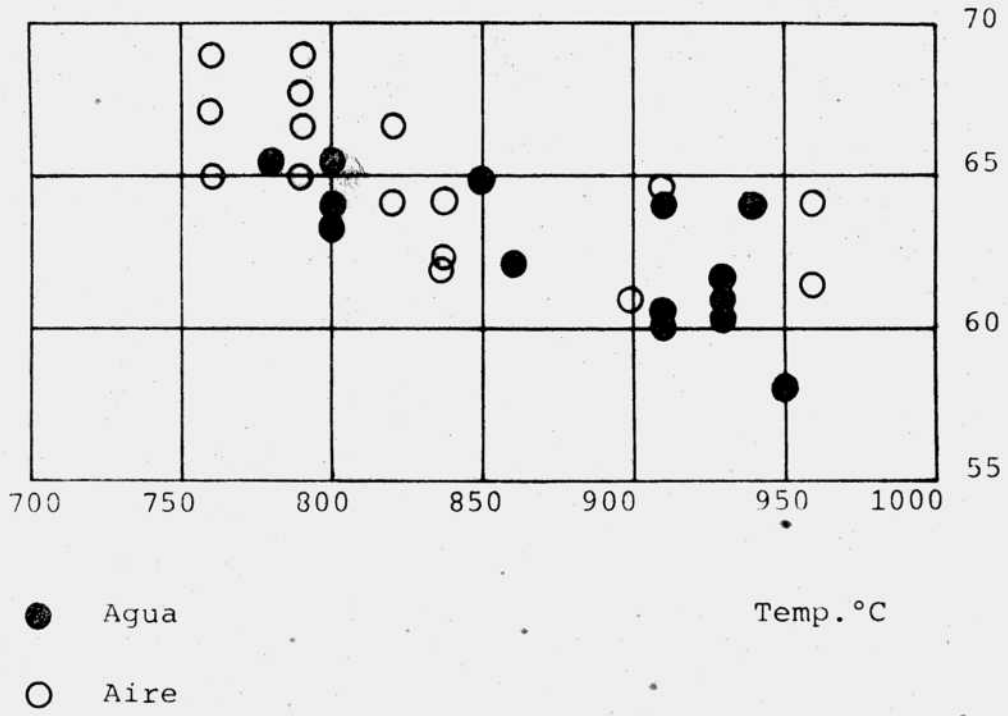


Figura N°13

Ø 41,2mm. ESTRICCIÓN

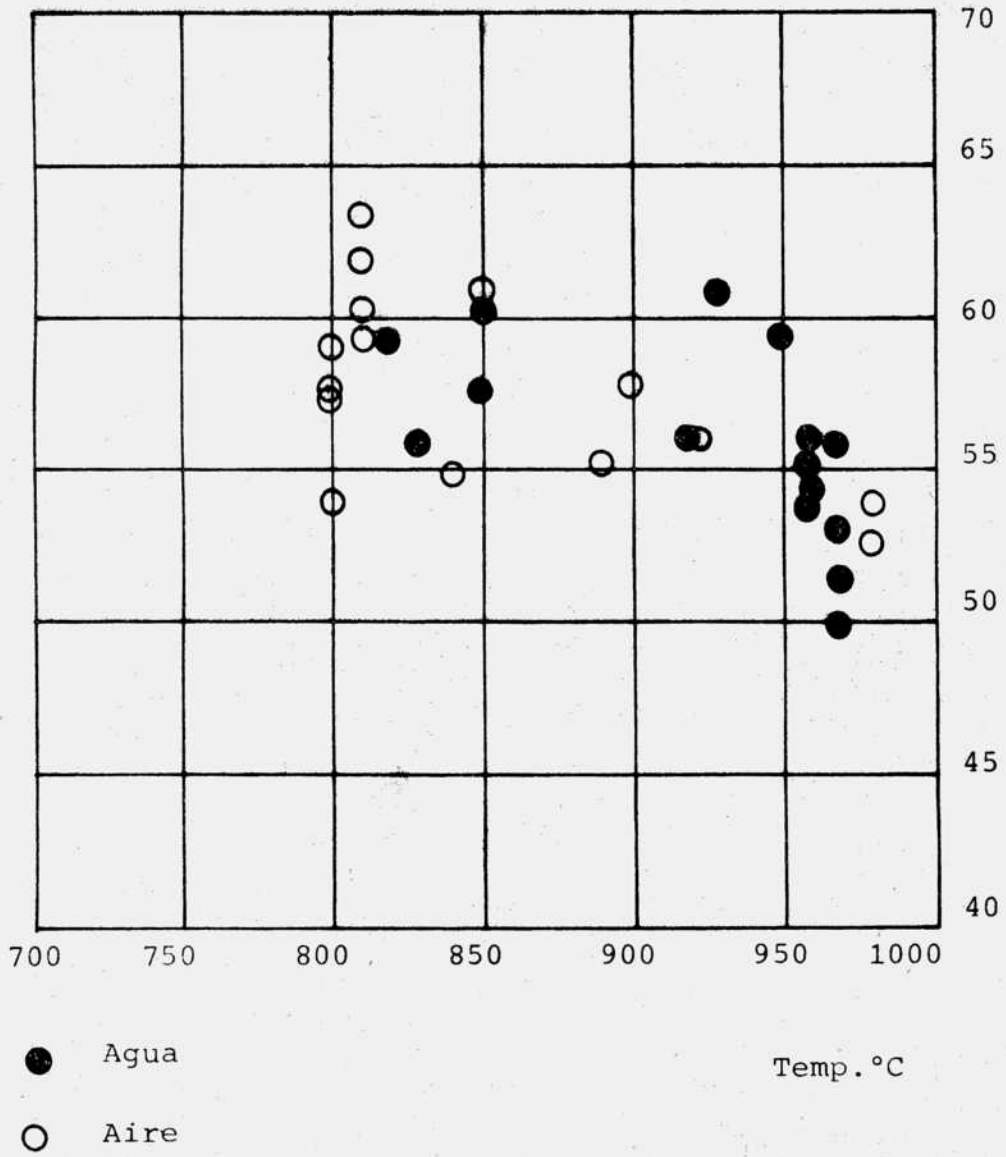
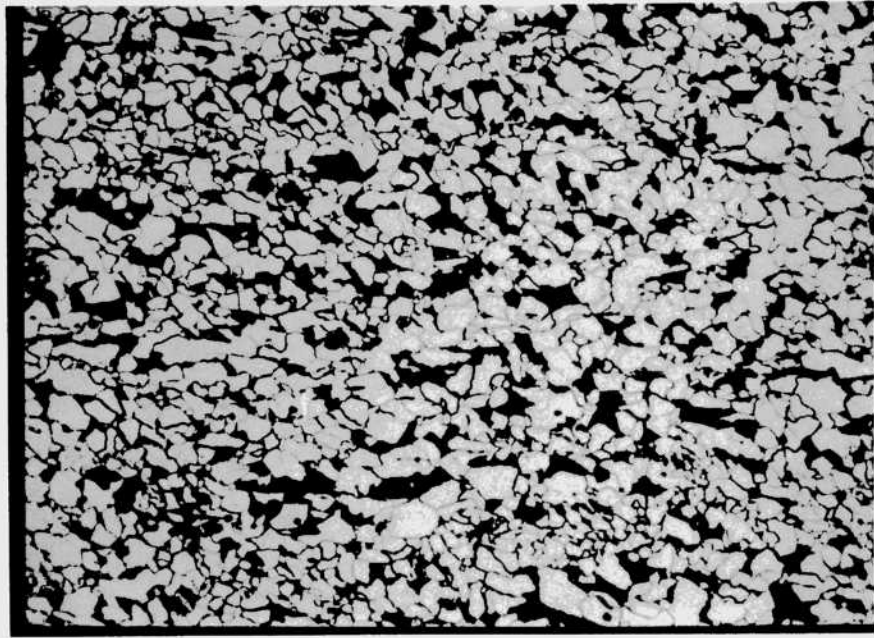
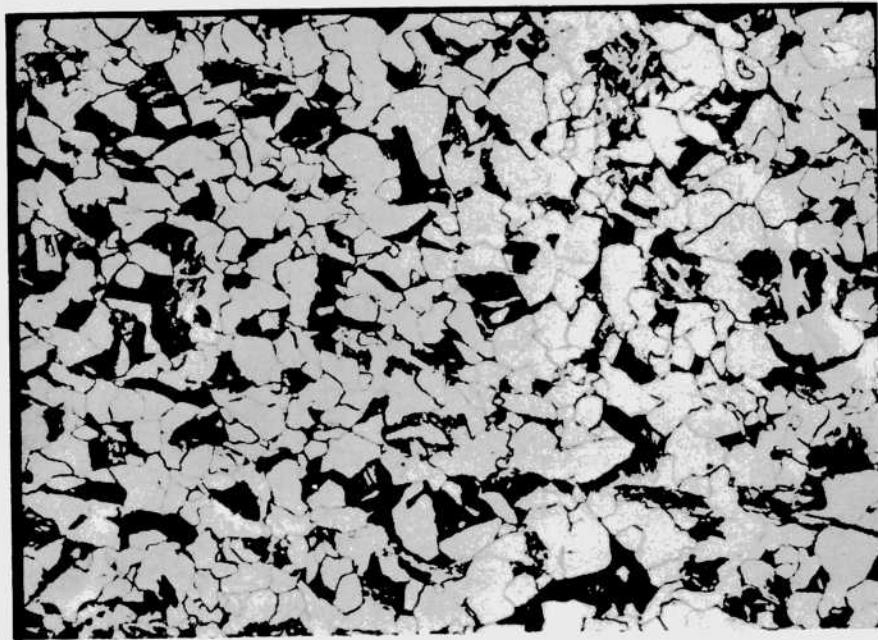


Figura N°14



a)



b)

Fig. 15. Acero al Niobio deformado 38%: (a) por debajo de 830°C. (b) Por debajo de 920°C.