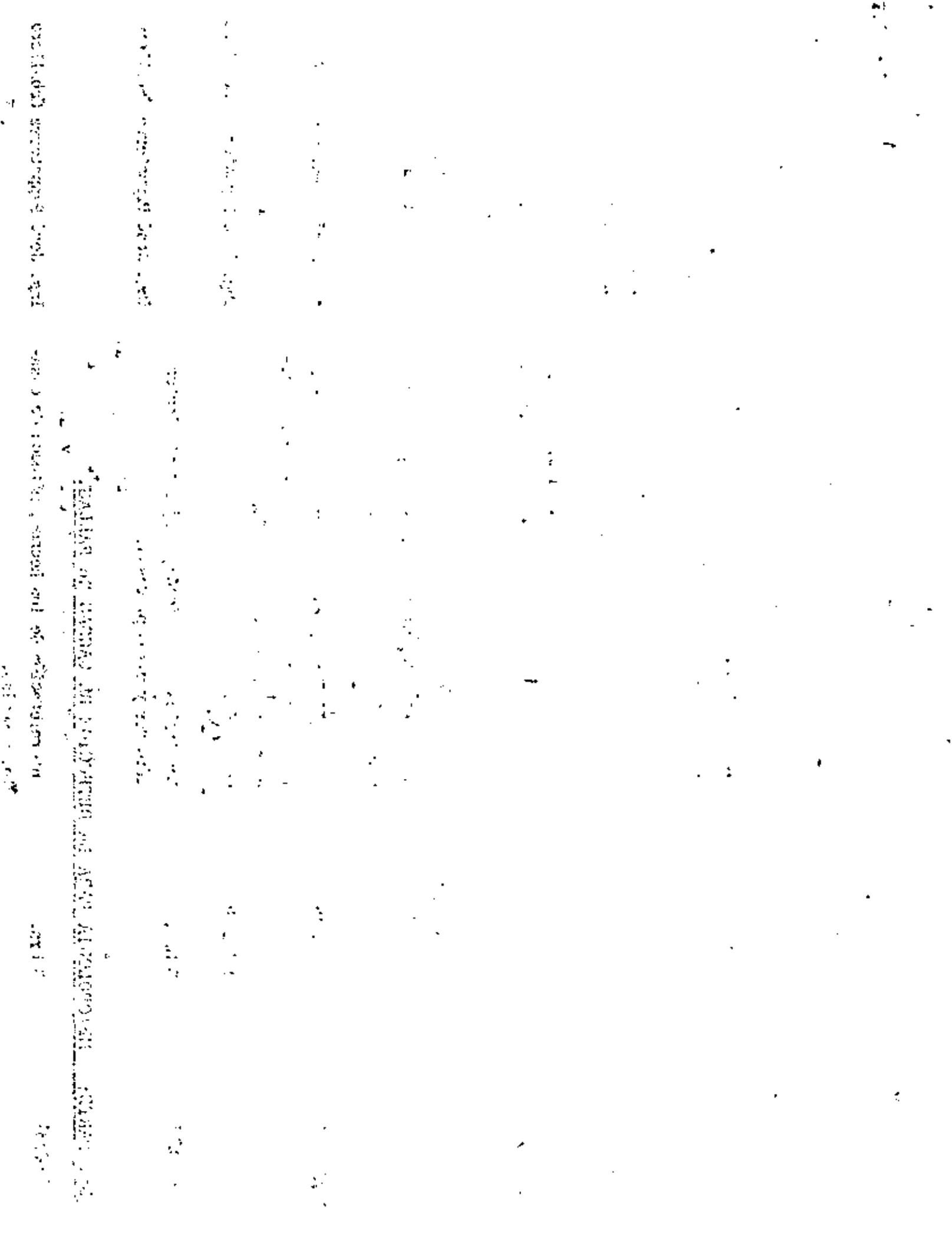


DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS METALICAS

FECHA:	DURACION:	TEMA	PROFESOR
1a. PARTE: FALLAS POR DISEÑO			
26/JUN/81	1 1/2 Hrs.	Introducción.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
	1 1/2 Hrs.	Criterios de diseño mecánico.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
29/JUN/81	1 1/2 Hrs.	Esfuerzos y deformaciones, Círculo de Mohr.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
	1 1/2 Hrs.	Teorías de fallas.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
3/JUL/81	1 1/2 Hrs.	Concentración de esfuerzos. Fatiga. Choque.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
	1 1/2 Hrs.	Esfuerzos de diseño. Factores de seguridad. Desgaste.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
6/JUL/81	1 1/2 Hrs.	Mecánica de la fractura frágil.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
	1 1/2 Hrs.	Diseño por fractura.	Ing. Alberto Camacho Sánchez
10/JUL/81	1 1/2 Hrs.	Diseño de flechas	Ing. Alberto Camacho Sánchez
	1 1/2 Hrs.	Diseño de engranes	Ing. Alberto Camacho Sánchez
13/JUL/81	3 Hrs.	Caso práctico	Ing. Guillermo Aguirre Esponda

2a. PARTE: FALLAS POR MALA FABRICACION.

17/JUL/81	1 1/2 Hrs.	Introducción:	Ing. José Pappaterra Caballero
	1 1/2 Hrs.	- Naturaleza de las averías, defectos y fallas. - Método para la selección y determinación de medidas correctivas de defectos y fallas en fabricación.	



FECHA:	DURACION:	TEMA.	PROFESC
20/JUL/81	3 Hrs.	Las fallas más comunes: - Segregación: tipos, formas, grado, factores, efectos. Detección. Prevención y eliminación de las segregaciones.	Ing. José Pappaterra Caballero
24/JUL/81	1 1/2 Hrs.	Venteaduras, y porosidades: origen, tipos, formas, grado, efectos. Detección. Prevención y corrección.	Ing. José Pappaterra Caballero
	1 1/2 Hrs.	Rechupado: idem.	
27/JUL/81	1 1/2 Hrs.	Impurezas en los metales: origen, tipos, formas, grado, efectos. Detección e identificación. Prevención y eliminación.	Ing. José Pappaterra Caballero
	1 1/2 Hrs.	Decarburación y oxidación del acero: condiciones, susceptibilidad, efectos. Detección e identificación. Prevención.	Ing. José Pappaterra Caballero
31/JUL/81	1 1/2 Hrs.	Tensiones residuales (macro y micro tensiones): tipos, origen, formas, grado, efectos. Detección. Prevención y corrección.	Ing. José Pappaterra Caballero
	1 1/2 Hrs.	Corrosión.	Ing. José Pappaterra Caballero
3/AGO/81	3 Hrs.	Las fallas en fundición, forja, tratamientos térmicos y otros procesos.	Ing. José Pappaterra Caballero

3a. PARTE: METODOLOGIA PARA LA DETECCION DE CAUSAS DE FALLAS.

7/AGO/81	3 Hrs.	Interpretación de los hechos, métodos de ensayo, pesquisa.	Ing. José Pappaterra Caballero
----------	--------	--	--------------------------------



FECHA:	DURACION:	TEMA:	PROFESOR:
10/AGO/81	3 Hrs.	Casos: - Defectos y fallas de fundición - Defectos y fallas de tratamientos térmicos - Defectos y fallas de forja	Ing. José Pappaterra Caballero
14/AGO/81	3 Hrs.	Casos prácticos: Roturas y fallas por causas diversas: de un eje por fatiga, de un cordón soldado, de tubos, etc.	Ing. José Pappaterra Caballero

México, D.F., a 18 de junio de 1981



EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

1

CURSO: DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE
PIEZAS MECANICAS METALICAS

FECHA: 26 de junio al 14 de agosto, 1981

		DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD	
CONFERENCISTA						
1.	ING. ALBERTO CAMACHO SANCHEZ					
2.	ING. JOSE PAPPATERNA CABALLERO					
3.	ING. GUILLERMO AGUIRRE ESPONDA					
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
ESCALA DE EVALUACION : 1 a 10						



SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

TEMA		ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	
1.	PRIMERA PARTE . FALLAS POR DISEÑO INTRODUCCION.					
2.	CRITERIOS DE DISEÑO MECANICO					
3.	ESFUERZOS Y DEFORMACIONES. CIRCULO DE MOHR. TEORIA DE FALLAS					
4.	CONCENTRACION DE ESFUERZOS. FATIGA CHOQUE					
5.	ESFUERZOS DE DISEÑO. FACTORES DE SEGURIDAD. DESGASTE					
6.	MECANICA DE LA FRACTURA FRAGIL					
7.	DISEÑO POR FRACTURA					
8.	DISEÑO DE FLECHAS					
9.	DISEÑO DE ENGRANES					
10.	CASO PRACTICO					

ESCALA DE EVALUACION : 1 a 10



SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

TEMA		ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA
1.	SEGUNDA PARTE. FALLAS POR MALA FABRICACION. INTRODUCCION				
11.	NATURALEZA DE LAS AVERIAS, DEFECTOS Y FALLAS				
12.	METODO PARA LA SELECCION Y DETERMINACION DE MEDIDAS CORRECTIVAS DE DEFECTOS Y FALLAS EN FABRICACION				
13.	LAS FALLAS MAS COMUNES SEGRGACION: TIPOS, FORMAS, ETC:.....				
14.	VENTEADURAS Y POROSIDADES: ORIGEN TIPOS, FORMAS, GRADO;, ETC.....				
15.	REPUCHIADO				
16.	IMPURESAS EN LOS METALES: ORIGEN TIPOS, FORMAS, GRADO, ETC.....				
17.	DECARBURACION Y OXIDACION DEL ACERO: CONDICIONES, SUSCEPTIBILIDAD, EFECTOS ETC...				
18.	TENSIONES RESIDUALES (MACRO Y MICRO) TENSIONES): TIPOS, ORIGEN, FORMAS, GRADO, EFECTOS. ETC.....				
19.	LAS FALLAS EN FUNDICION, FORJA, TRATAMIENTOS TERMICOS Y OTROS PROCESOS.				

ESCALA DE EVALUACION: 1 o 10



EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

(2)
B

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA
TEMA				
1. TERCERA PARTE. METODOLOGIA PARA LA DETECCION DE CAUSAS DE FALLAS. INTERPRETACION DE LOS HECHOS. METODOS DE				
2. CASOS: DEFECTOS Y FALLAS DE FUNDICION DEFECTOS Y FALLAS DE TRAT. TER. DEFECTOS Y FALLAS DE FORJA				
3. CASOS PRACTICOS: ROTURAS Y FALLAS POR CAUSAS DIVERSAS; DE UN EJE DE FATIGA, DE UN CORDON SOLDADO, DE TUBOS, ETC				

ESCALA DE EVALUACION : 1 a 10

EVALUACION DEL CURSO

③

	CONCEPTO	EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO CON EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10



1. ¿Qué le pareció el ambiente en la División de Educación Continua?

MUY AGRADABLE	AGRADABLE	DESAGRADABLE

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

PERIODICO EXCELSIOR ANUNCIO TITULADO DE VISION DE EDUCACION CONTINUA	PERIODICO NOVEDADES ANUNCIO TITULADO DE VISION DE EDUCACION CONTINUA	FOLLETO DEL CURSO

CARTEL MENSUAL	RADIO UNIVERSIDAD	COMUNICACION CARTA, TELEFONO, VERBAL, ETC.

REVISTAS TECNICAS	FOLLETO ANUAL	CARTELETA UNAM "LOS UNIVERSITARIOS HOY"	GACETA UNAM

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

AUTOMOVIL PARTICULAR	METRO	OTRO MEDIO

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas?

SI	NO

6. ¿Qué cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

7. La coordinación académica fue:

EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA

8. Si está interesado en tomar algún curso intensivo ¿Cuál es el horario más conveniente para usted?

LUNES A VIERNES DE 9 A 13 H. Y DE 14 A 18 H. (CON COMIDAS)	LUNES A VIERNES DE 17 A 21 H.	LUNES, MIERCOLES Y VIERNES DE 18 A 21 H.	MARTES Y JUEVES DE 18 A 21 H.

VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 14 H.	VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 13 Y DE 14 A 18 H.	O T R O

9. ¿Qué servicios adicionales desearía que tuviese la División de Educación Continua, para los asistentes?

10. Otras sugerencias:





DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS
MECANICAS METALICAS

FALLAS POR DISEÑO

-Primera Parte-

Ing. Alberto Camacho Sánchez

Junio, 1981.



DISEÑO MECANICO

El diseño de piezas metálicas componentes de máquinas ó dispositivos mecánicos, para soportar cargas diversas, puede hacerse según varios criterios, de acuerdo con la naturaleza de dichas cargas y con el grado de exactitud en la solución que se desee.

La tarea de diseñar una pieza determinada, aparte de las consideraciones cinemáticas pertinentes, consiste en encontrar y aplicar relaciones entre las piezas o cargas aplicadas, el comportamiento mecánico del material de que está construida la pieza y las dimensiones de las secciones rectas que resisten dichas cargas.

En una forma muy amplia, puede considerarse que hay dos criterios básicos de diseño, desde el punto de vista del comportamiento de los materiales:

- Criterio geométrico
- Criterio de la mecánica de fractura.

CRITERIO GEOMETRICO

Este criterio está basado en las teorías tradicionales de la mecánica de sólidos deformables en las cuales se establece un modelo geométrico que describe el comportamiento mecánico de los materiales deformables bajo cargas típicas. El modelo se basa en los conceptos de esfuerzo y de deformación.

ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Cuando un cuerpo deformable se sujeta a fuerzas exteriores, se producen deformaciones y aún la rotura en el mismo, que son determinadas por la resistencia interna del cuerpo a ser deformado. Esta resistencia, según el modelo, está dada por fuerzas minúsculas que equilibran a las fuerzas exteriores en cualquier porción del cuerpo.

Es importante el estudio de dichas fuerzas interiores para el diseño o dimensionamiento de una pieza dada. Para los materiales metálicos más usados en ingeniería, dicho estudio se refiere al ensayo experimental conocido como "prueba de tensión", en la cual una probeta del material se somete a una carga creciente, hasta que se fractura. La prueba produce la conocida gráfica de la Fig. 1.

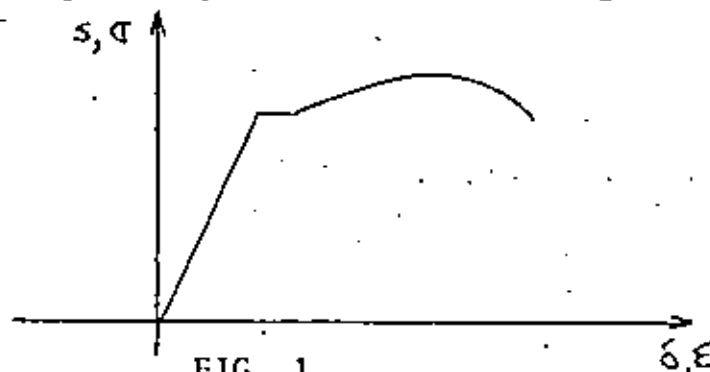


FIG. 1

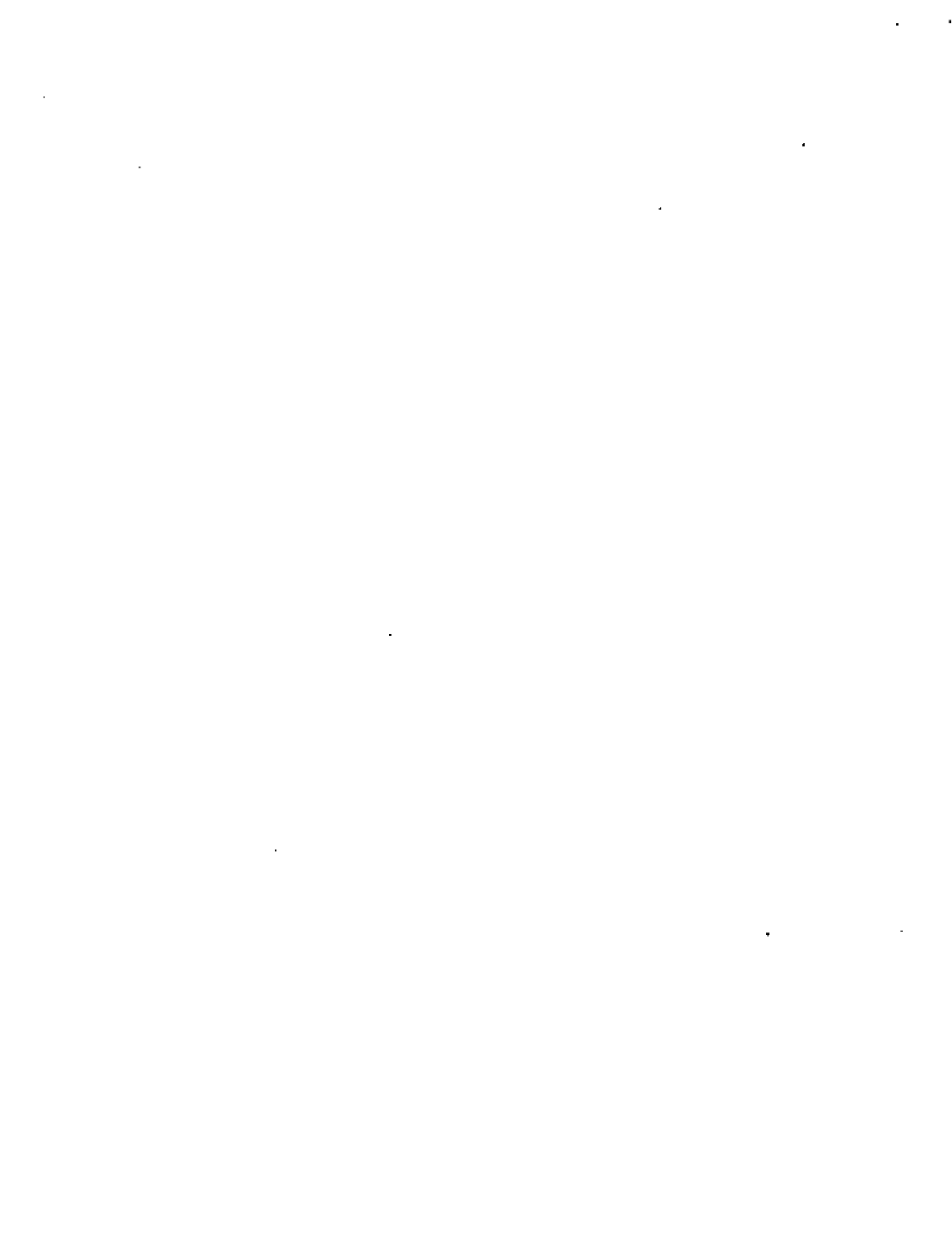
en la cual el eje de las abscisas corresponde a las deformaciones y el de las ordenadas a las fuerzas aplicadas por unidad de área ó esfuerzos. Cuando se incrementa el esfuerzo a partir de cero, se deforma la probeta en forma proporcional al esfuerzo, según la porción recta de la gráfica y se dice que la deformación es elástica; cumpliéndose la llamada relación de Hooke: $s = E\delta$ donde s es el esfuerzo, δ la deformación y E la constante de proporcionalidad ó Módulo de Young. La deformación elástica es reversible, es decir, al retirar la carga el cuerpo recupera su forma original.

Al aumentar el esfuerzo aplicado se llega a un punto de inflexión después del cual se pierde la proporcionalidad y la gráfica toma una forma curva, que corresponde a lo que se llama deformación plástica. El punto de inflexión se llama límite elástico, que para efectos prácticos, especialmente en los aceros, coincide con el llamado esfuerzo de cedencia, en el cual el material pierde su constitución interna básica y fluye para adoptar otras formas, permanentemente.

Otro punto importante en la gráfica es el que corresponde al esfuerzo mayor, y que se llama esfuerzo último y que ocurre antes de la rotura de la probeta.

Por otra parte, el modelo matemático establece que las fuerzas externas son equilibradas, en un plano determinado, por la resultante de fuerzas internas infinitamente pequeñas, que actúan sobre áreas también infinitamente pequeñas; clasificándose las fuerzas internas en normales ó cortantes, según que sean normales ó paralelas al plano considerado. Lo anterior conduce a la definición de esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{dR_n}{da}$$



y de esfuerzo cortante:

$$= \frac{dR_s}{da}$$

donde: dR_N = Fuerza interna normal
 dR_s = Fuerza interna cortante.
 da = área

Se considera un elemento interno del material, prismático, de dimensiones, dx , dy , dz y área de cada una de ellas caras igual a da . Si dicho elemento se considera aisladamente, en una condición de carga del cuerpo, en cada cara actuarán una fuerza interna normal y dos fuerzas internas cortantes, según la Fig. 2.

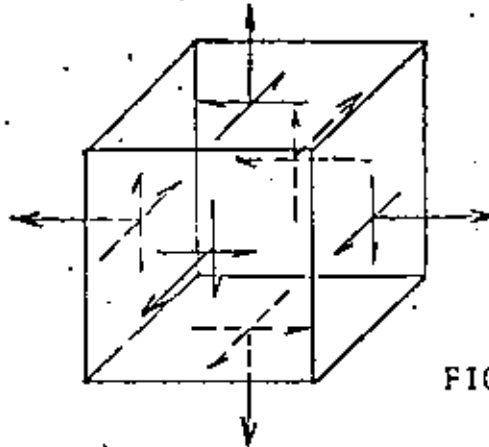


FIG. 2

Al conjunto de los valores numéricos de los seis esfuerzos normales y doce esfuerzos cortantes que actúan en un elemento ó punto interior de un cuerpo bajo la acción de fuerzas externas, en un instante determinado, se le llama "estado triaxial de esfuerzos", referido a un sistema de ejes x , y , z . Sin embargo es necesario conocer los valores máximos que pueden tener los esfuerzos normales y cortantes, que no son necesariamente los orientados según x , y , z . Se pueden deducir relaciones matemáticas que permitan calcular los esfuerzos en cualquier orientación y en particular las máximas, a partir de los valores comunes según x , y , z .



Se puede simplificar el análisis mencionado, si se considera que las fuerzas aplicadas son tales que solamente producen esfuerzos orientados según xy , xz , ó yz , en cuyo caso al conjunto de valores de los ocho esfuerzos resultantes se llama "estado biaxial de esfuerzos" ó "estado plano de esfuerzos", según la figura 3.

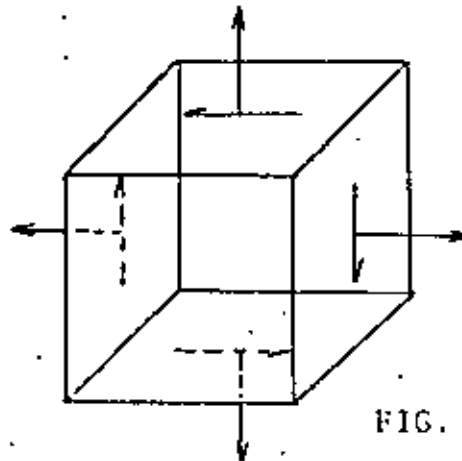


FIG. 3

Esta simplificación permite obtener soluciones adecuadas a las necesidades prácticas en la mayoría de los problemas de diseño mecánico.

Por consideraciones de equilibrio, los cuatro esfuerzos normales y los cuatro esfuerzos cortantes que caracterizan un estado biaxial de esfuerzos, se pueden reducir a sólo dos esfuerzos normales y un esfuerzo cortante. Ver Fig. 4.

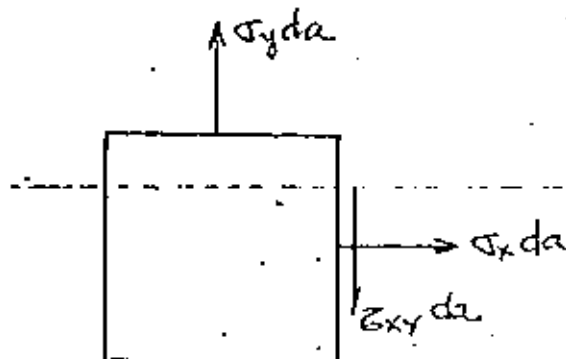
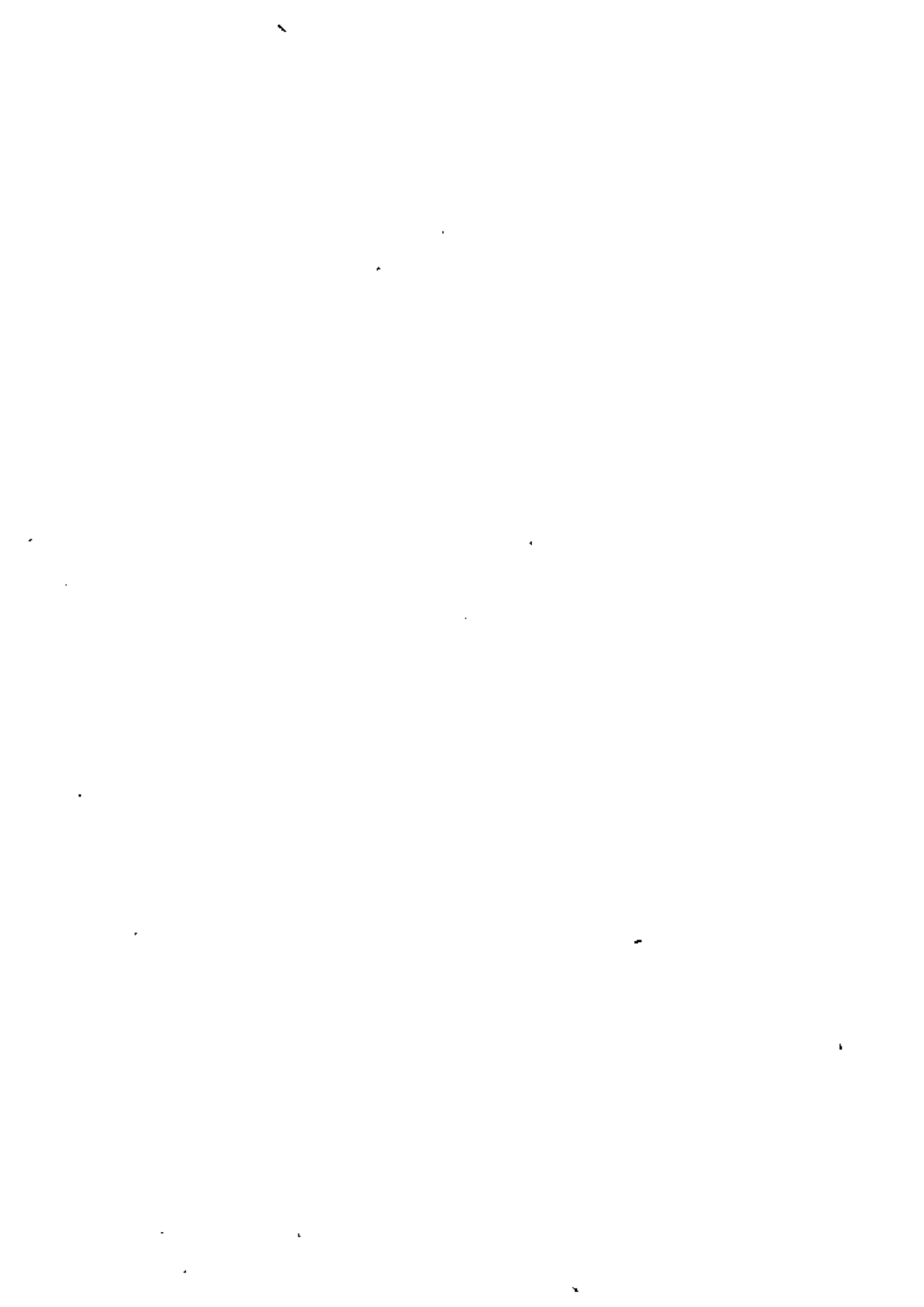


FIG. 4



Existe un método geométrico, llamado del "Círculo de Mohr" para encontrar los valores de los esfuerzos normales y cortantes en planos con diferentes orientaciones, en particular los valores máximos. Ver. Fig. 5. Se puede demostrar que dicho círculo es el lugar geométrico de los pares de valores correspondiente a un esfuerzo normal y uno cortante en planos de diferentes orientaciones, para un estado biaxial de esfuerzos dado. Los valores máximos de los esfuerzos normales llamados "principales" son S_1 , S_2 y el esfuerzo cortante máximo es τ_{max} . Ver. Fig. 5.

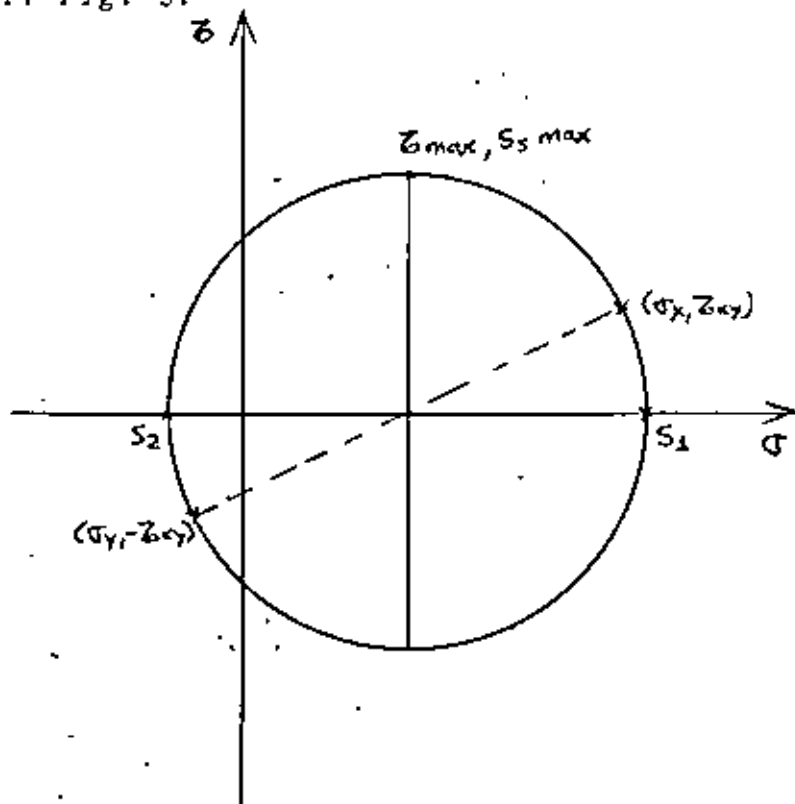


FIG. 5

DISEÑO DE PIEZAS MECANICAS SEGUN EL CRITERIO GEOMETRICO.

El enfoque tradicional de la Mecánica de Materiales está basado en el modelo geométrico mencionado antes y su aplicación al diseño de elementos de máquinas consiste en principio en encontrar, para una pieza determinada, las relaciones de causa y efecto entre: las fuerzas exteriores ó cargas aplicadas, la resistencia del material y las dimensiones de la sección recta, resistente de la pieza.

A fin de sistematizar el análisis, se han tipificado las cargas posibles en cuatro tipos, según las deformaciones y esfuerzos que produzcan. Dichas clases de cargas, se asocia, además con formas típicas de estructuras, según la Tabla I.

Cualquier elemento o pieza componente de una máquina ó dispositivo mecánico puede considerarse en forma simplificada como cualquiera de los elementos estructurales de la tabla y también puede considerarse sujeto a cualquiera de las cargas típicas de la misma tabla ó a combinaciones de varias de ellas. Así por ejemplo, los dientes de los engranes se tratan como vigas empotradas sujetas a flexión y los resortes como barras sujetas a torsión y la flecha como vigas sujetas a cargas combinadas de flexión y de torsión.

En mecánica de materiales se deducen las relaciones que corresponden a cada una de las cargas y elementos estructurales típicos, según la Tabla I.



T A B L A I

CARGA TÍPICA	ELEMENTO ESTRUCTURAL	RELACION
AXIAL, TENSION Ó COMPRESION	COLUMNA, PRISMA	$S = \frac{P}{A}$
DE FLEXION	VIGA	$S = \frac{Mc}{I}$
DE TORSION	FLECHA (DE SECCION RECTA CIRCULAR)	$S_s = \frac{T_r}{J}$
DE PANDEO	COLUMNA, PRISMA	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$

donde:

S = esfuerzo normal

P = carga

A = área de la sección recta resistente

M = momento flexionante máximo, en vigas.

c = distancia de la fibra neutra a la fibra más alejada en vigas.

I = momento de inercia de la sección recta resistente

S_s = Esfuerzo cortante

T = par de torsión

r = radio de la sección recta, en flechas.

J = momento polar de inercia de la sección recta, en flechas.

P_{cr} = carga crítica de pandeo, en columnas.

E = módulo de Young

I = Momento de inercia de la sección recta en columnas.

L = longitud efectiva de la columna.

Dichas relaciones básicas se aplican al cálculo de los elementos de las máquinas, haciendo ajustes y correcciones, muchas veces con datos experimentales.

FATIGA Y CONCENTRACION DE ESFUERZOS.

Las relaciones de la Tabla I son adecuadas para los casos en que las cargas son uniformes y los materiales homogéneos. Cuando no es éste el caso, hay que introducir correcciones a dichas relaciones. En un gran número de aplicaciones, las cargas aplicadas no son uniformes o no varían uniformemente, sino que fluctúan, es decir su magnitud y su sentido varía cíclicamente, según patrones definidos: senoidales, cuadrados, de dientes de sierra, etc. Si la fluctuación de la carga se produce sobre una pieza donde haya cambios o transiciones bruscas de forma, tales como agujeros, esquinas agudas, estrechamientos, entonces puede ocurrir la falla de la pieza en forma de rotura debido a un fenómeno llamado fatiga, aún cuando los esfuerzos sean seguros, es decir menores que el de cedencia correspondiente al material de la pieza, según las pruebas de tensión.

Considerando el estado de esfuerzos en el miembro con dos anchos sujeto a tensión, según la Fig. 7, se tiene que en cada extremo las fuerzas internas y por lo tanto los esfuerzos están uniformemente repartidos en la sección recta. Sin embargo en la región donde cambia el ancho, hay una redistribución de las fuerzas internas que ya no están uniformemente repartidas en la sección, sino que hay una acumulación de dichas fuerzas y por lo tanto de los esfuerzos en las esquinas, con valor mucho mayor que el promedio para la sección. Por lo tanto, y a pesar de ser una carga axial, no es válida la relación $S = \frac{P}{A}$. El esfuerzo máximo ocurre en algún punto de la esquina y es paralelo al límite en tal punto.

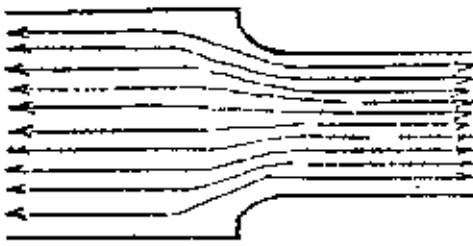


FIG. 7

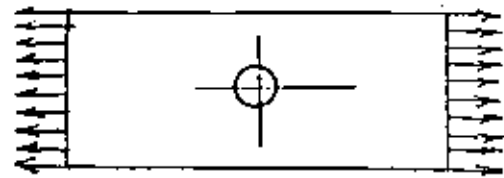


FIG. 8-1

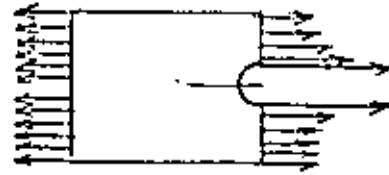


FIG. 8-2

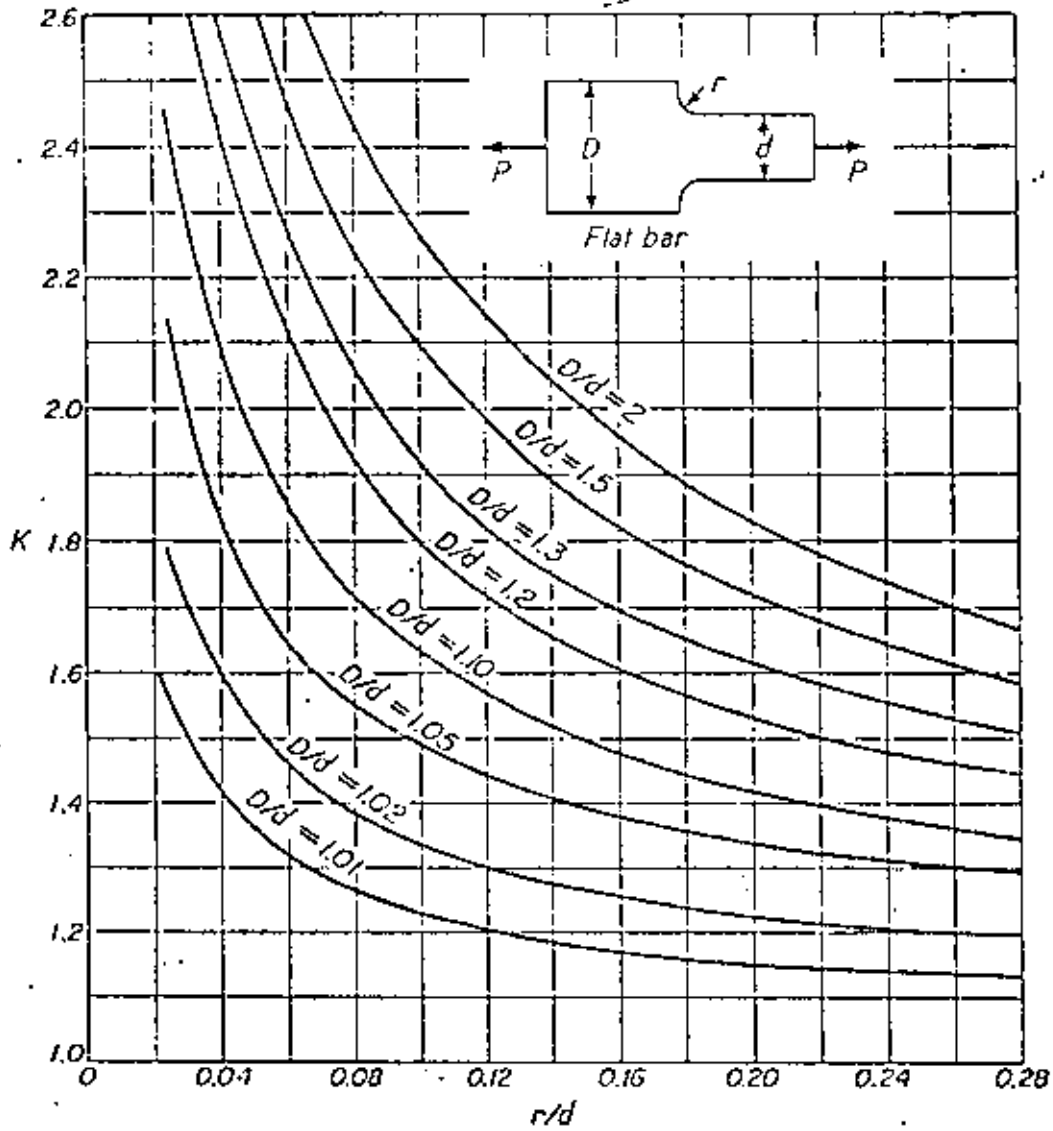
Otro ejemplo, es el de la Fig. 8-1 de una barra en tensión con un agujero circular. Si se corta en la sección recta que pasa por el centro del barrenado, las fuerzas en tensión serán como en la Fig. 8-2. Dichas fuerzas son uniformes prácticamente en toda la sección, excepto en las proximidades del barrenado, donde aumentan considerablemente: Este aumento puede originar que una grieta minúscula se propague cuando la carga es fluctuante, y que el miembro estructural falle por rotura. Esta acción se conoce como falla por fatiga.

Esta irregularidad en la distribución de los esfuerzos causada por cambios abruptos de forma se llama "concentración de esfuerzos" y se presenta en cualquier tipo de carga: axial, flexionante ó cortante, cuando hay esquinas, agujeros, ranuras, cuñeros, marcas de identificación de herramientas ó huellas hechas accidentalmente. Aún inclusiones y fisuras minúsculas en la superficie o interior del material actúan como "elevadores de esfuerzos". El valor máximo de los esfuerzos en dichos puntos se encuentra multiplicando el valor del esfuerzo dado por la ecuación elemental por un factor de concentración de esfuerzos K que se define:

$$K = \frac{\text{Valor más alto en esquinas, ranuras agujeros}}{\text{Valor según la ecuación elemental para la sección recta mínima}}$$

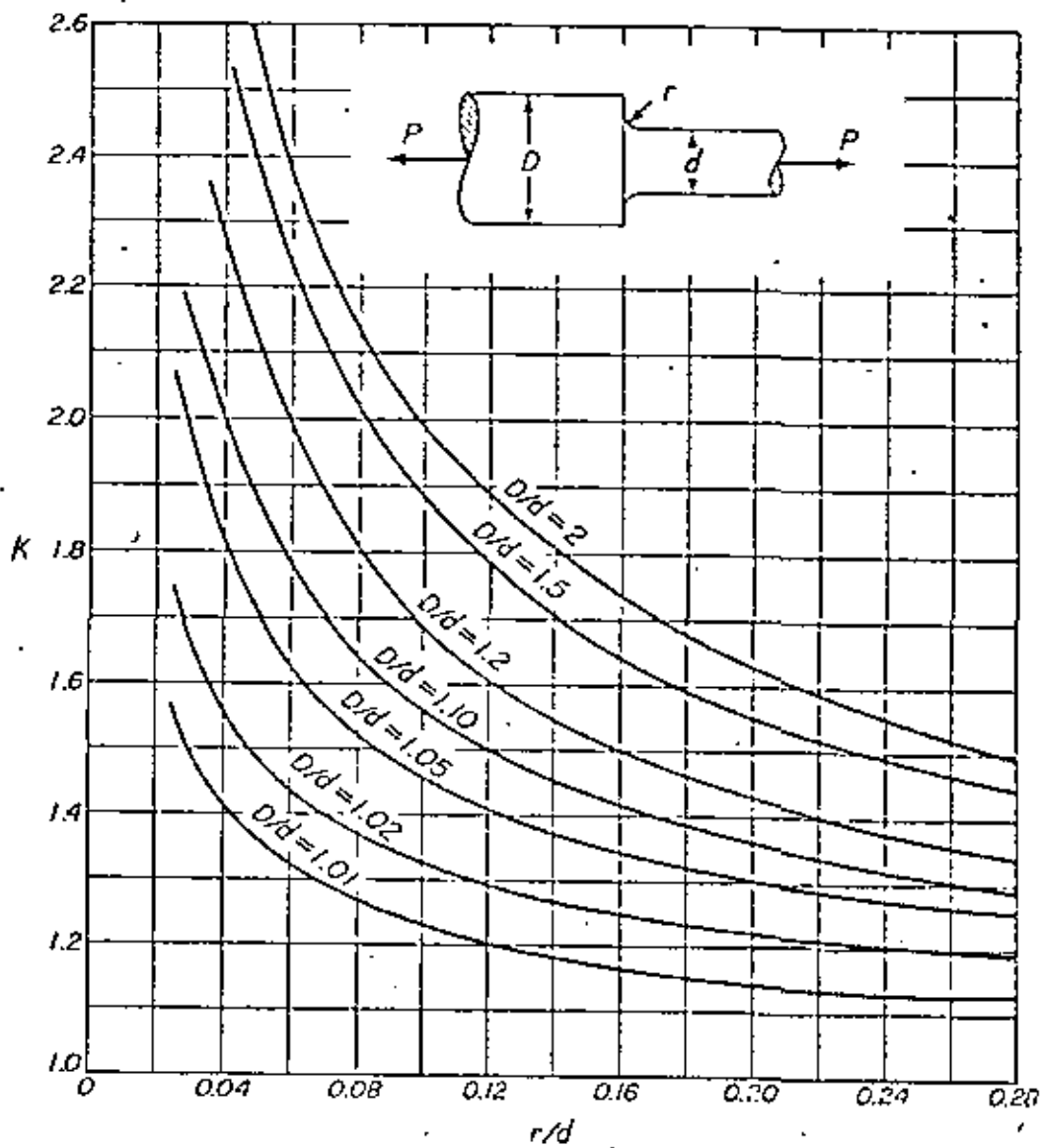
Los valores de K se pueden determinar experimentalmente mediante análisis fotoelástico o medición directa con "strain gauges". En las Figs. 9 a 15 están graficados los valores de K para diversos casos.





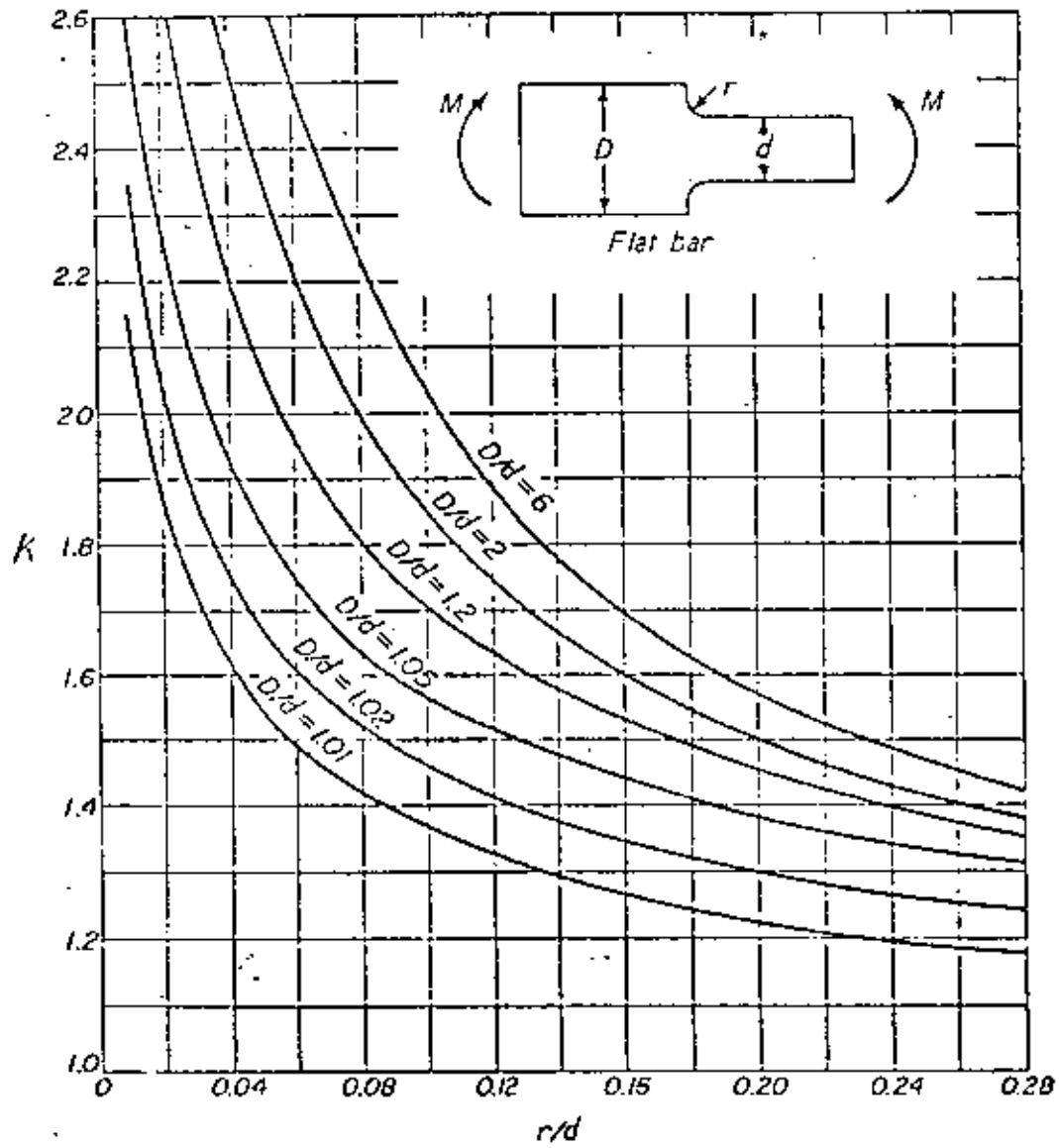
Factors of stress concentration K for various sizes of fillets for flat bar in tension or compression to be applied to the stress in the section of width d .

FIG. 9



Factors of stress concentration K for various sizes of fillets for round bar in tension or compression to be applied to the stress in the section diameter d .

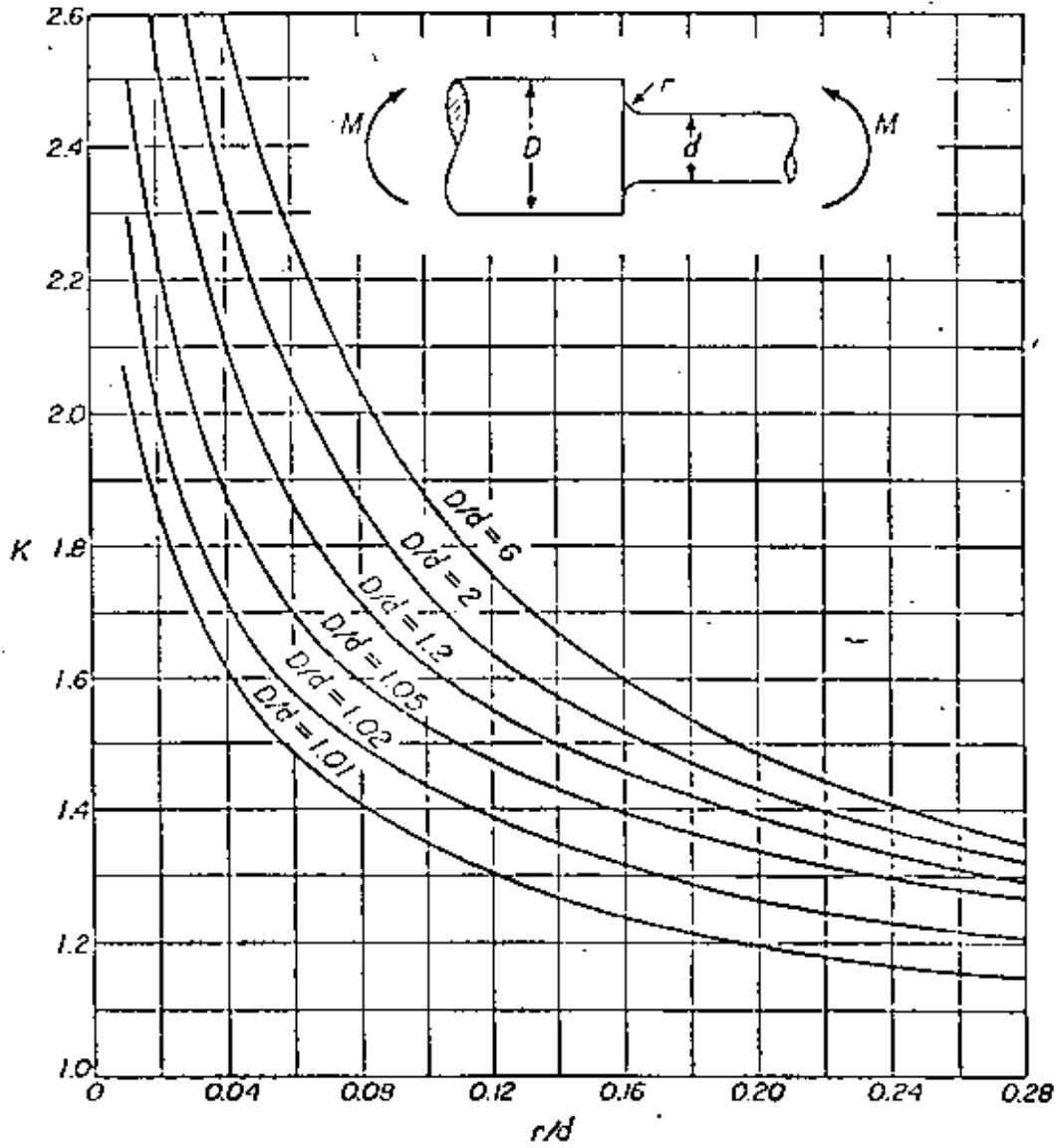
FIG. 10



Factors of stress concentration K for various sizes of fillets for flat bar in bending to be applied to the stress in the section of width d .

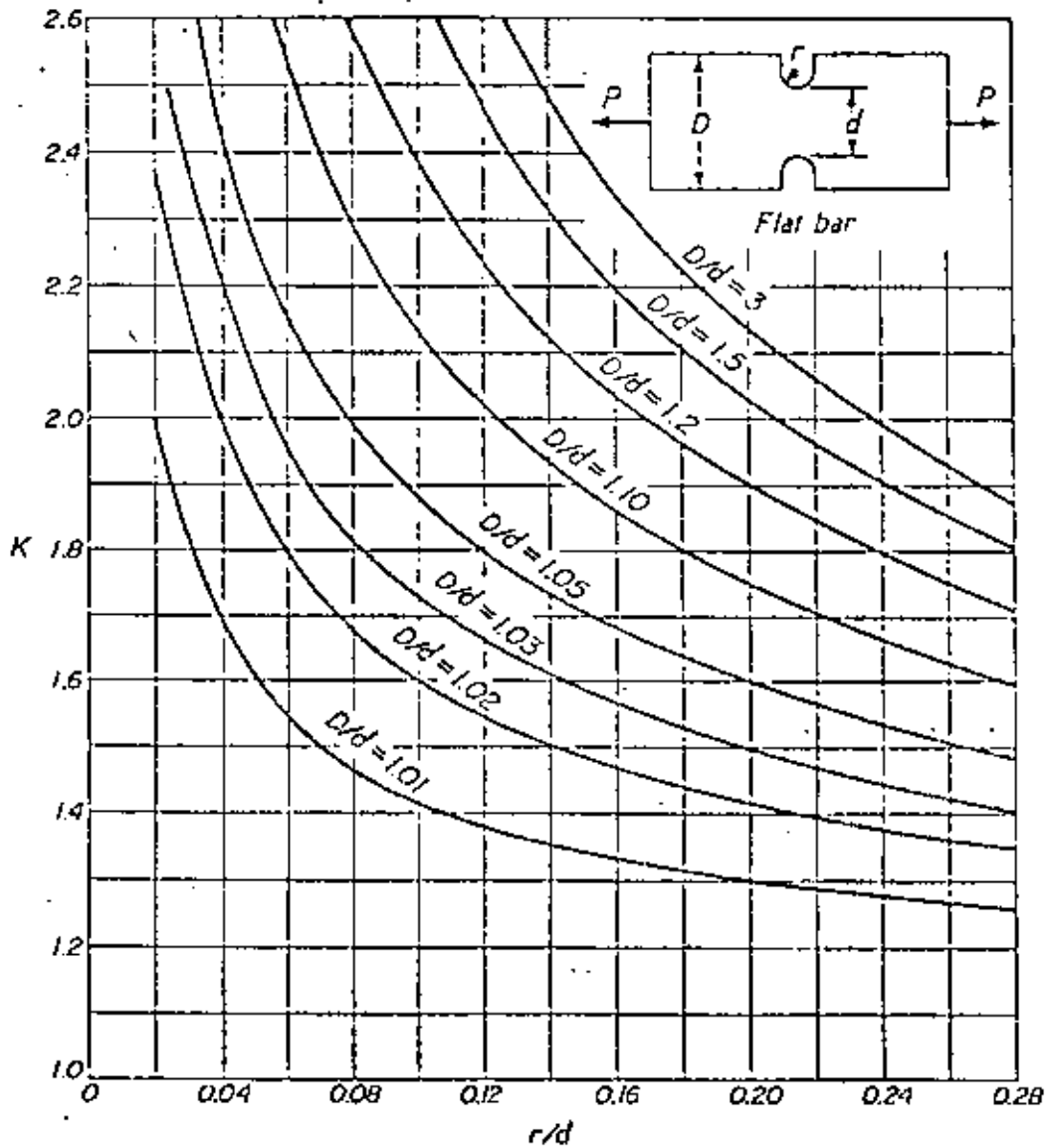
FIG. 11





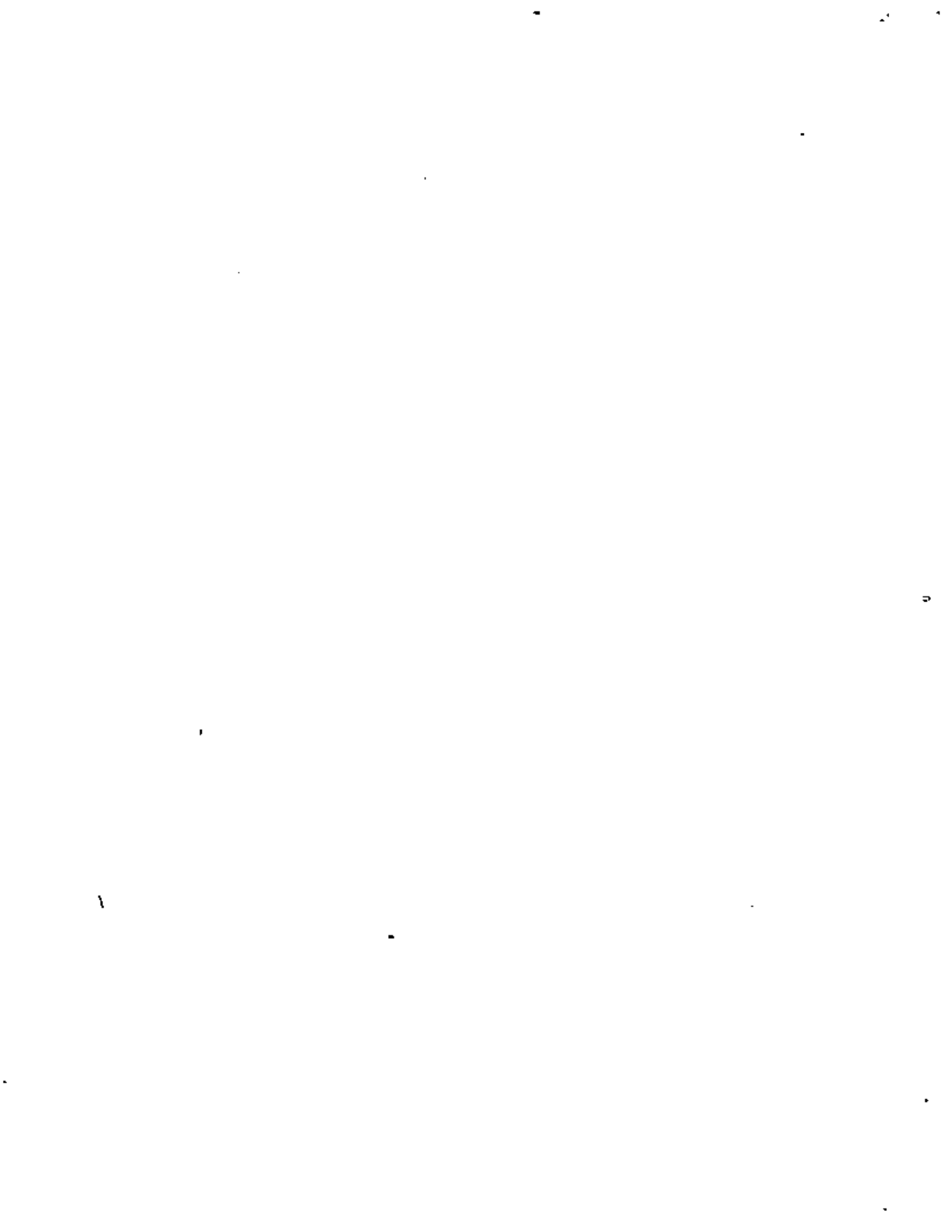
Factors of stress concentration K for various sizes of fillets for round bar in bending to be applied to the stress in the section of diameter d .

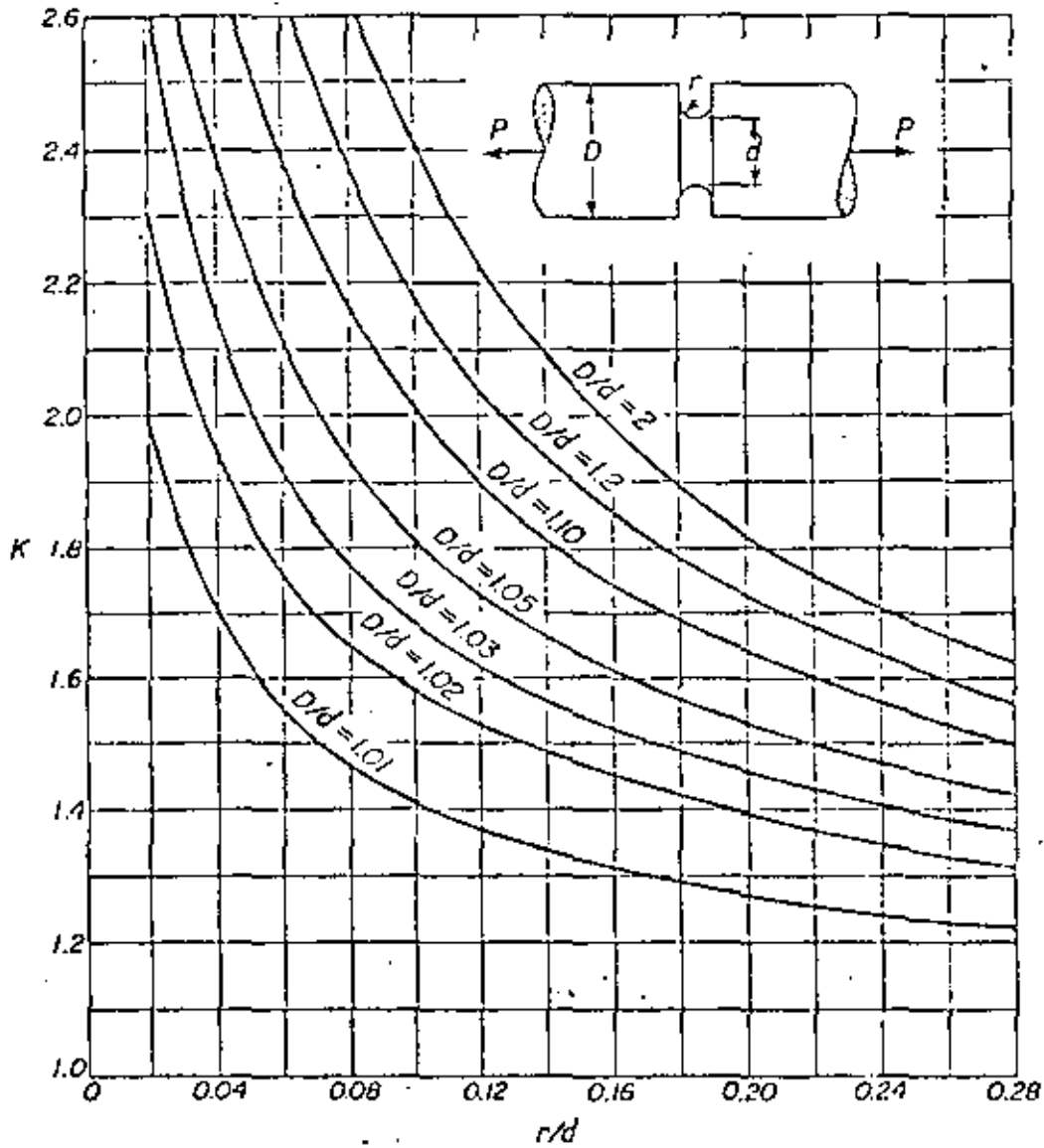
FIG. 12



Factors of stress concentration K for grooves of various depths in tension or compression to be applied to the stress in the section of the flat bar of width d .

FIG. 13

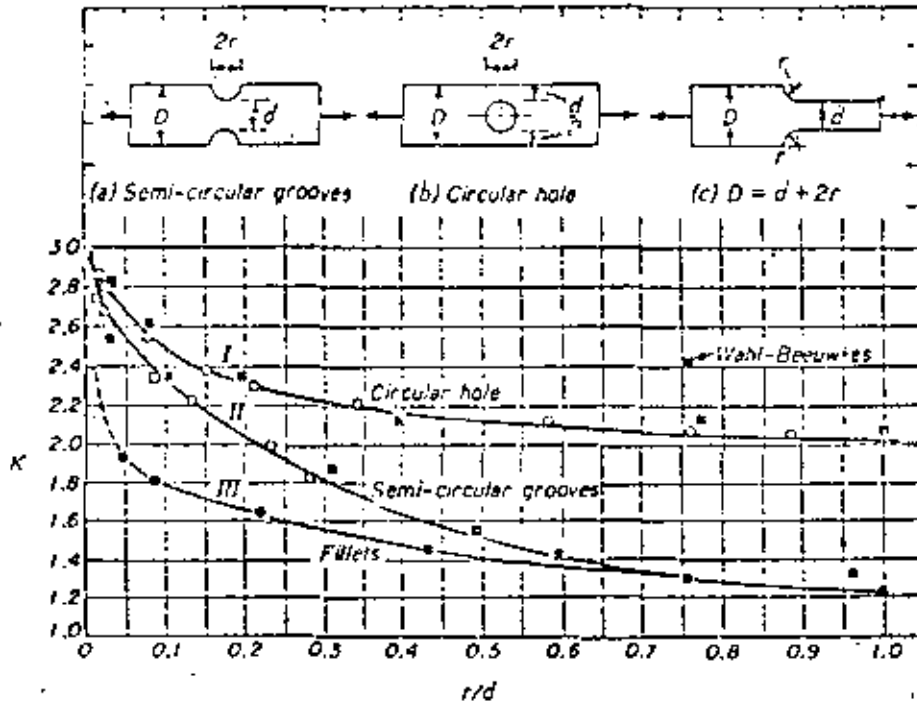




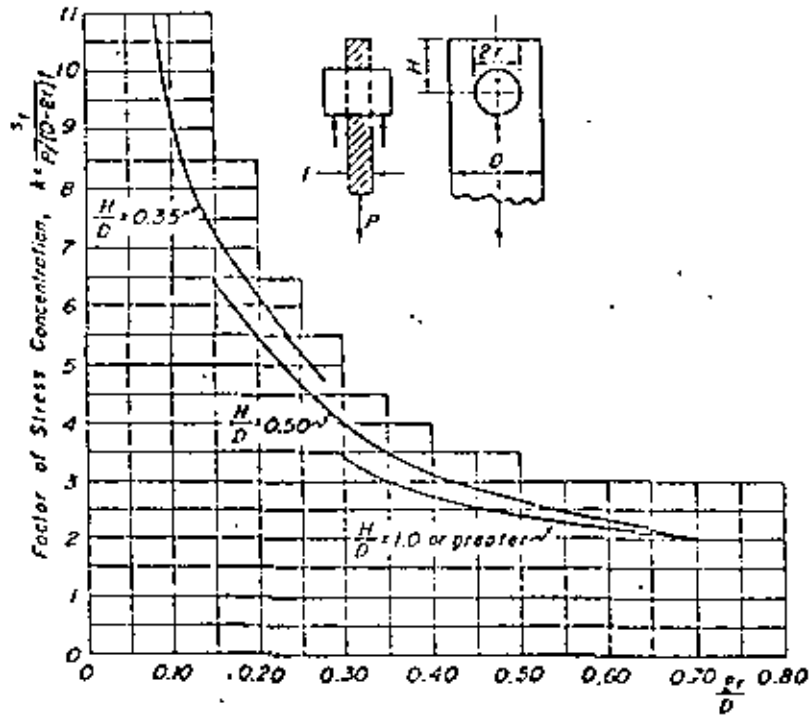
Factors of stress concentration K for grooves of various depths for round bar in tension or compression to be applied to the stress in the section of diameter d .

FIG. 14





Invariant cases in tension and compression.



Stress concentration factors around a central circular hole in a plate loaded through a pin in the hole.

FIGS. 15 y 16



DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS METALICAS

MECANICA DE FRACTURA

Ing. Alberto Camacho Sánchez

AGOSTO, 1981



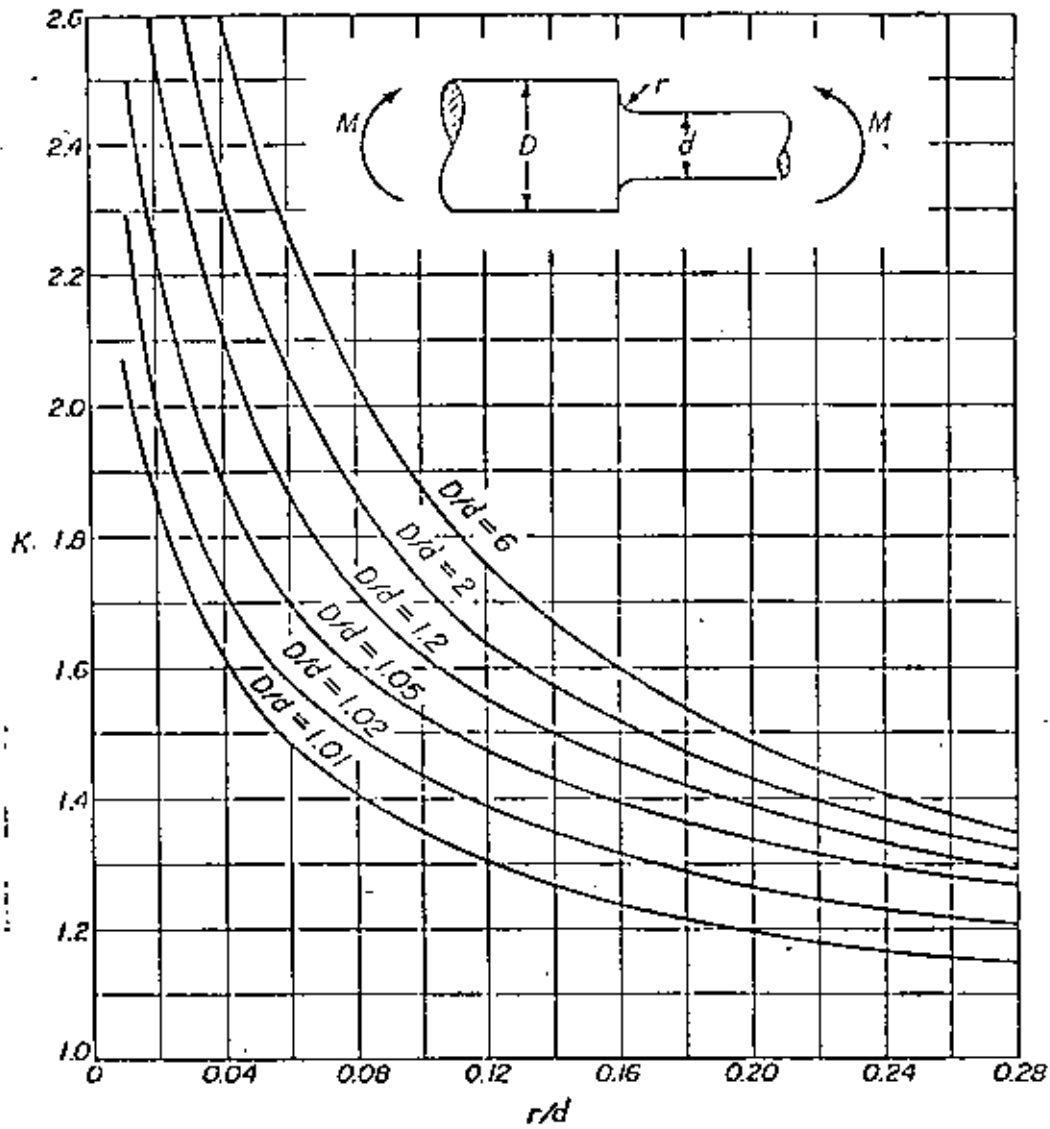


Figure 2-7 Factors of stress concentration K for various sizes of fillets for round bar in bending to be applied to the stress in the section of diameter d .



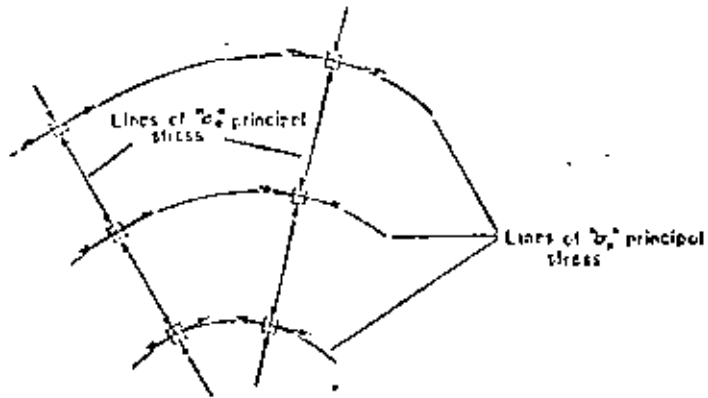


FIG. 1.9. Lines of principal stress.

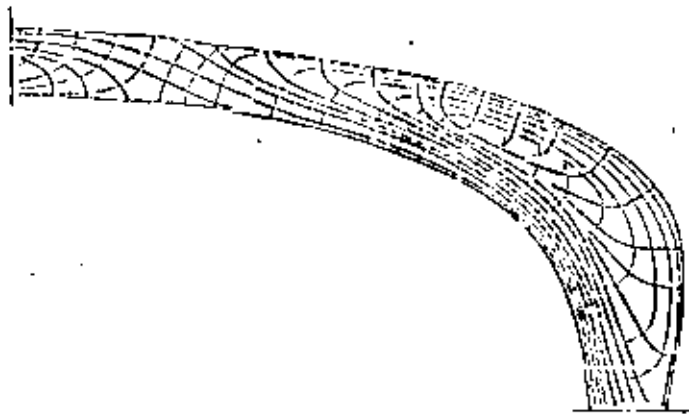


FIG. 1.10. Lines of principal stress in a portal frame model.



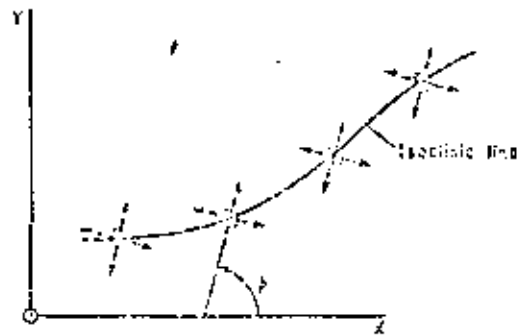


FIG. 1.11. Illustrating the definition of an isochromatic line.

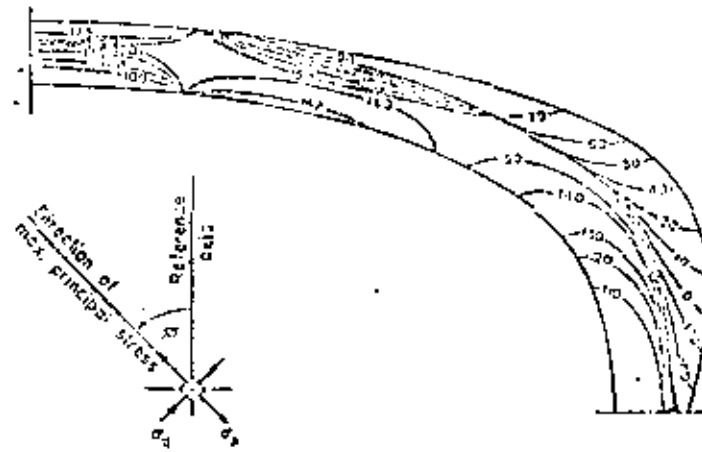


FIG. 1.12. Isochromic lines in the portal frame of Fig. 1.9.

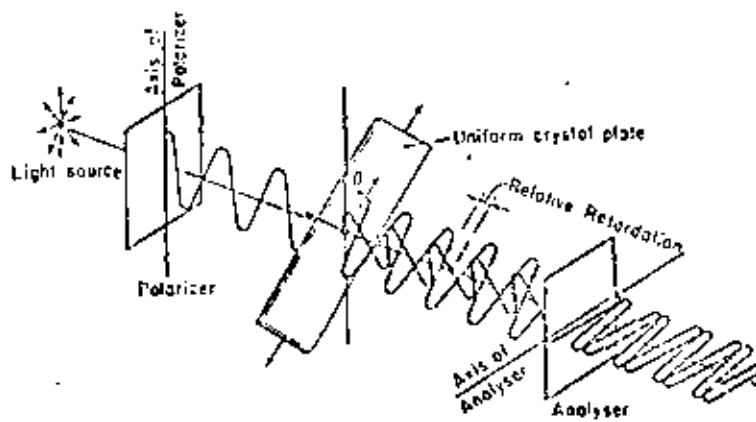


FIG. 2.9. Uniform crystal plate in the plane polariscope.



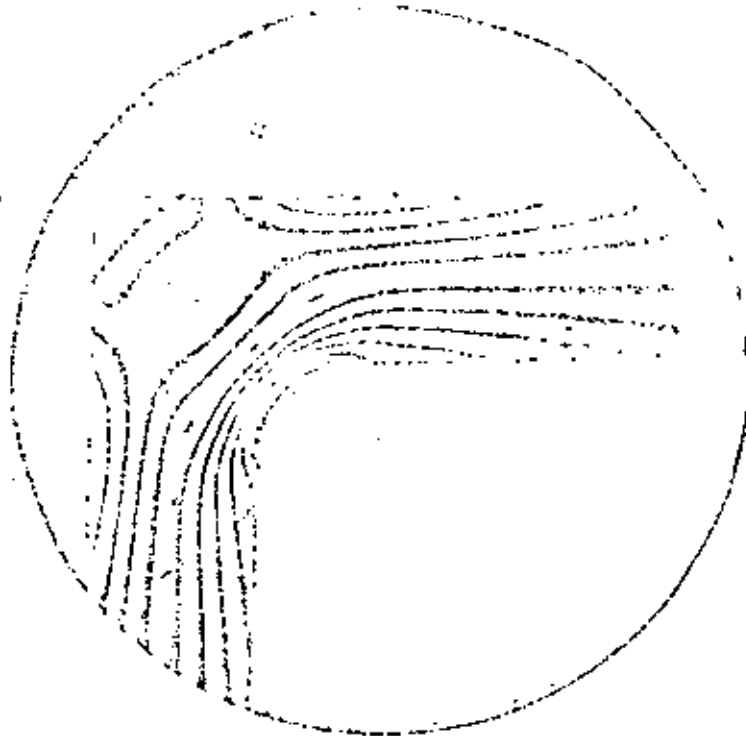


FIG. 3.4. Fringe pattern in a portal frame knee.



FIGURE 4.11 Stress Concentration at Re-entrant Corners. The stress distribution as indicated by the photoelastic method. The crowding together of the fringe lines at the ellipse shows a high stress concentration. The larger the fillet, the less the theoretical concentration. But see § 4.10. In terms of the dimensions in Fig. A19, $k = 2.91$ and $r/d = 0.0792$ in this picture (not all of k is shown). Observe the parallel fringe lines away from the vicinity of the discontinuity. (Courtesy M. M. Leven, Westinghouse Research Laboratories).

FIGURE 13.7 Stress Concentration in Gear Teeth. (Courtesy T. J. Dolan, Univ. of Ill.)



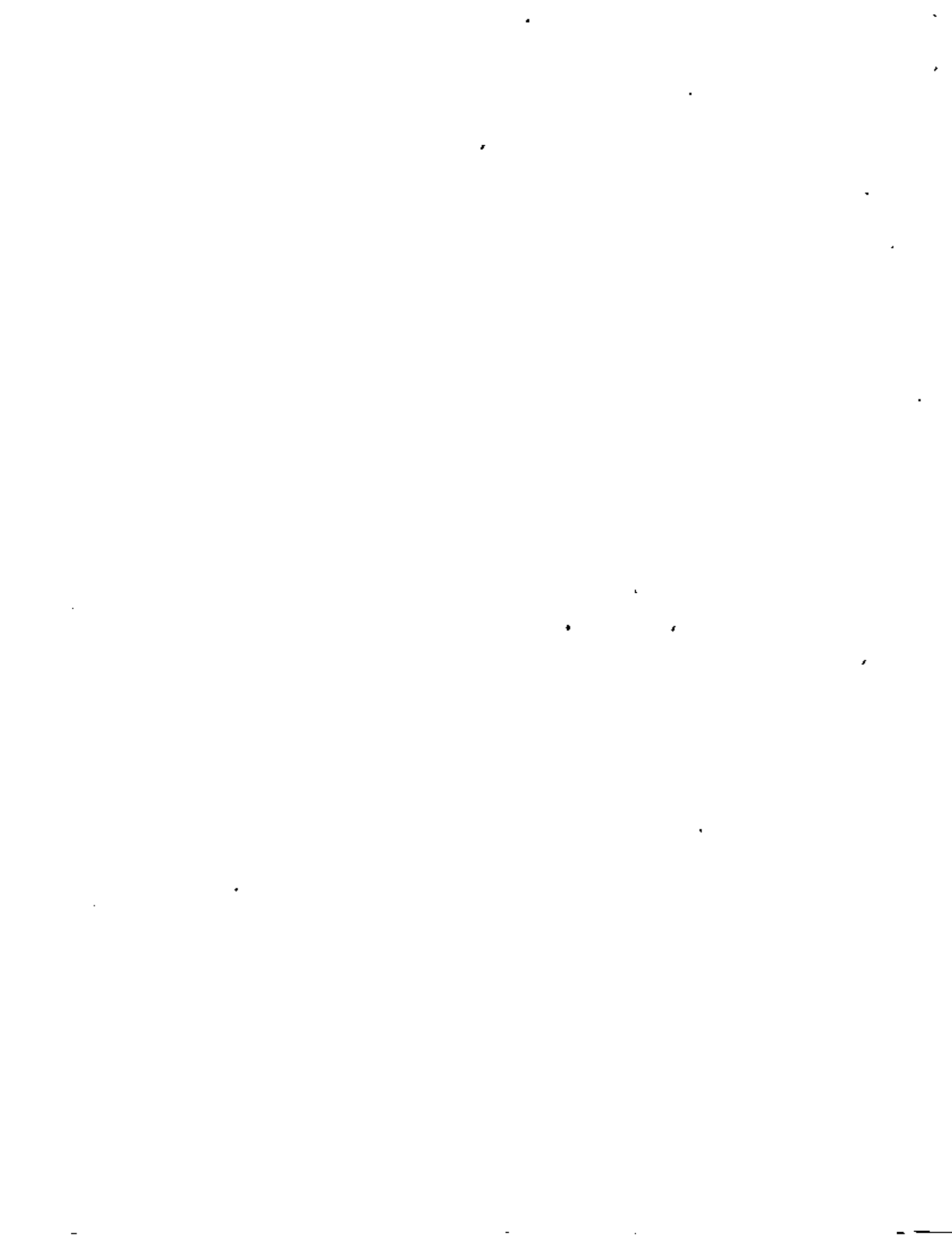


MECANICA DE LA FRACTURA

La mecánica de materiales tradicional estudia el comportamiento de los materiales considerando las relaciones que existen entre las cargas aplicadas, los esfuerzos generados y las dimensiones de la sección recta resistente. Los esfuerzos generados se comparan con los resultados de la prueba de tensión, generalmente el esfuerzo de cedencia, S_y , a fin de asegurarse que una pieza determinada no falla al deformarse plásticamente. Este método se aplica directamente cuando las cargas son estáticas, e indirectamente cuando son dinámicas. En el caso del diseño de partes de maquinaria o dispositivos mecánicos, se acepta inicialmente el esfuerzo de fluencia como punto de referencia.

La teoría tradicional toma en cuenta la concentración de esfuerzos en esquinas, ranuras y agujeros, e introduce en las ecuaciones básicas de diseño factores numéricos, experimentales. Sin embargo, tal como lo prueba el hecho de que ocurran fallas por fractura en piezas de materiales dúctiles trabajando a esfuerzos "seguros" es decir por debajo del esfuerzo de fluencia S_y , no es suficiente, en la generalidad de los casos, diseñar según el modelo tradicional de la mecánica de materiales.

Se ha desarrollado la disciplina llamada "Mecánica de la Fractura" que propone un modelo que considera que los materiales metálicos son discontinuos y heterogéneos y que contienen imperfecciones ó grietas. La presencia de una grieta en una pieza sometida a cargas, origina en los extremos de la fisura concentración de esfuerzos. Si el material tiene la capacidad para deformarse plásticamente en una zona contigua a la punta de la grieta, la deformación absorbe la solución local y la insuficiente, la sobrecarga hace crecer la grieta, hasta que ocurre la ruptura total llamada "fractura frágil".



Hay varios factores que intervienen en el fenómeno.

Los principales son:

- La capacidad de absorción de energía o "tenacidad" (toughness)
- El estado de esfuerzos
- El tamaño de las grietas
- La temperatura de servicio de la pieza
- El espesor de la pieza
- La velocidad de deformación

La mecánica de la fractura propone un método numérico para cuantificar los efectos de dichas fracturas y relacionarlas entre sí, a fin de prevenir la fractura frágil ó estimar la vida útil de una pieza.

El método consiste en:

- Encontrar un "factor de intensidad de esfuerzo" K_I
- Encontrar el "factor de intensidad de esfuerzo crítico" K_{Ic}
- A partir de los valores de K_I , K_{Ic} , encontrar
 - El "esfuerzo mínimo de una pieza"
 - El esfuerzo de diseño ó de trabajo del material de la pieza
 - La vida ó número de aplicaciones de la carga que puede soportar la pieza.

El factor de Intensidad de Esfuerzos K_I



se puede encontrar mediante el método de "campo de esfuerzo en la punta de la grieta". La forma más común de fractura es la apertura directa de una grieta, donde el movimiento de la grieta es normal al plano de la cara (Modo I) Fig. 1, en la cual el campo de esfuerzos se puede describir por la teoría de la elasticidad.

Mediante la teoría de la elasticidad se puede determinar un factor de intensidad de esfuerzos en la punta de una grieta K_I que depende básicamente de la configuración de la pieza, del modo de carga, del estado de esfuerzo y del tamaño y localización de la grieta. El factor K está dado en $\text{ksi} \cdot \text{pulg}^{1/2}$

Para la llamada "forma de Griffith" (una lámina infinita con una grieta en un filo es el eje x-x, extendiéndose $-a \leq x \leq a$, con esfuerzo biaxial uniforme), se tiene:

$$K_I = \sigma (\pi a)^{1/2} \text{ donde } a = 1/2 \text{ longitud de la grieta.}$$

Para una lámina infinita con una grieta central y esfuerzos iguales y opuestos en el centro de la grieta, tratando de abrirla, se tiene:

$$K_I = \frac{P}{(\pi a)^{1/2}} \text{ , donde } P = \text{ fuerza por unidad de espesor.}$$

Los campos de esfuerzos alrededor de las extremidades de diferentes grietas simples, tienen la misma distribución y difieren sólo en intensidad. Por lo tanto el crecimiento inestable de las grietas ocurre cuando la intensidad de esfuerzos K_I alcanza un valor crítico K_{Ic} . Esta es una propiedad del material y refleja su elasticidad, es decir su capacidad para contrarrestar los esfuerzos en la punta de la grieta. Ver la tabla I.

TABLA I.- Factores de intensidad de esfuerzo, en carga de tensión.

Ecuación básica: $K_I^2 = Q \cdot a$	
Grieta a través de una placa infinita	$Q = 1$
Grieta interna circular	$Q = \frac{4}{\pi^2}$
Grieta interna elíptica	$Q = \frac{1}{\phi^2}$
Grieta elíptica superficial	$Q = \frac{1.2}{\phi^2}$



donde Θ es la coordenada polar

Para grietas circulares	a = radio de la grieta
Para grietas elípticas	a = longitud del semieje menor
	c = longitud del semieje mayor

Factores que afectan a K

Los factores que influyen para determinar el valor de K para un material dado son:

Estado de esfuerzo en la punta de la grieta. Se llama "deformación plana" a un estado de esfuerzo característico de piezas masivas ó gruesas para las cuales hay tensión triaxial adyacente a la grieta, teoría que resulta de la restricción debida al espesor de la pieza ó a la fragilidad de esfuerzos es crítica y en grieta crece súbitamente y como a través de toda la sección de la pieza. Ver. Fig. 9.

Por otra parte, se llama "esfuerzo plano" a secciones delgadas ó "bidimensionales" en las cuales el estado de esfuerzo es biaxial ó uniaxial. En esta condición el aumento de los esfuerzos hace que la grieta crezca paulatinamente hasta que se llega a un nivel crítico en el que el crecimiento de la grieta se vuelve inestable y ocurre la fractura.

A la fractura por deformación plana se le llama fractura rápida y a la que ocurre por "esfuerzo plano" se le llama fractura lenta.

La medición de la intensidad de esfuerzo crítico K_{Ic} requiere un espesor mínimo de la placa dado por

$$B = 2.5 (K_{Ic} / \sigma_y)^2$$



Temperatura.

El efecto de la temperatura sobre la Intesidad Crítica de Esfuerzo K_{Ic} (a velocidad de deformación constante) se vé en la Fig. 15.

Carga cíclica.

En el diseño por fatiga es fundamental prevenir o detener el crecimiento de una grieta bajo carga cíclica.

Es importante la relación entre la velocidad de crecimiento de la grieta $\frac{da}{dn}$ y la variación en el factor de intensidad de esfuerzo $K_{Ic} - K_{Ii} = \Delta K$

$$\frac{da}{dn} = \frac{C (K)^m}{K_{Ic} (1-R) - K} \quad \text{en micropulg./ciclo}$$

- donde: R= resistencia al crecimiento de la grieta
- m= pendiente de la gráfica de la Fig. 14
- C= constante empírica
- N= número de ciclos.
- a= mitad de la longitud de la grieta.

La mayor limitación para aplicar la mecánica de fractura al diseño es la dificultad para describir el estado de esfuerzos de una pieza, a medida que cambia de "deformación plana" a "esfuerzo plano" cuando aumenta su espesor.

Estrictamente, el valor limitante de K_{Ic} sólo se de usar para piezas con "deformación plana" o sea con un espesor cuando menos $B = 2.5 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_y} \right)^2$, con esfuerzos triaxiales. Sin embargo, para piezas tan delgadas que no puedan considerarse en "deformación plana", así como para materiales de baja resistencia, el factor limitante es frecuentemente más alto que K_{Ic} . Por lo tanto el cálculo de la "vida esperada" N de una pieza delgada o de material dúctil con la gráfica $\frac{K_{Ii}}{K_{Ic}}$ versus N, dá resultados conservadores.



APLICACION DE LA MECANICA DE FRACTURA AL DISEÑO MECANICO.

Se requieren los siguientes datos:

- Resistencia a la fluencia o esfuerzo de fluencia, basaos en la temperatura de servicio y la velocidad de deformación.
- Tenacidad a la fractura, generalmente K_{Ic} . La relación $\frac{K_{Ic}}{\sigma_y}$ sirve para comparar materiales.
- Módulo de Young E y relación de Poisson
- Velocidad de crecimiento de grietas $\frac{da}{dn}$ en pulg/ciclo, como función de K_I (en la gráfica de $K_{Ii} - K_{Ic}$ versus N, Fig. 14. que se determina con carga cíclica sobre un espécimen en una máquina de fatiga .
- Para carga estática, la velocidad de crecimiento de la grieta en una gráfica $\frac{K_{Ii}}{K_{Ic}}$ versus tiempo.
- Para la condición de ruptura por esfuerzos de corrosión, se requiere K_{Icc}
- Tamaño mínimo de la grieta que pueda detectarse por un proceso No Destructivo de inspección.

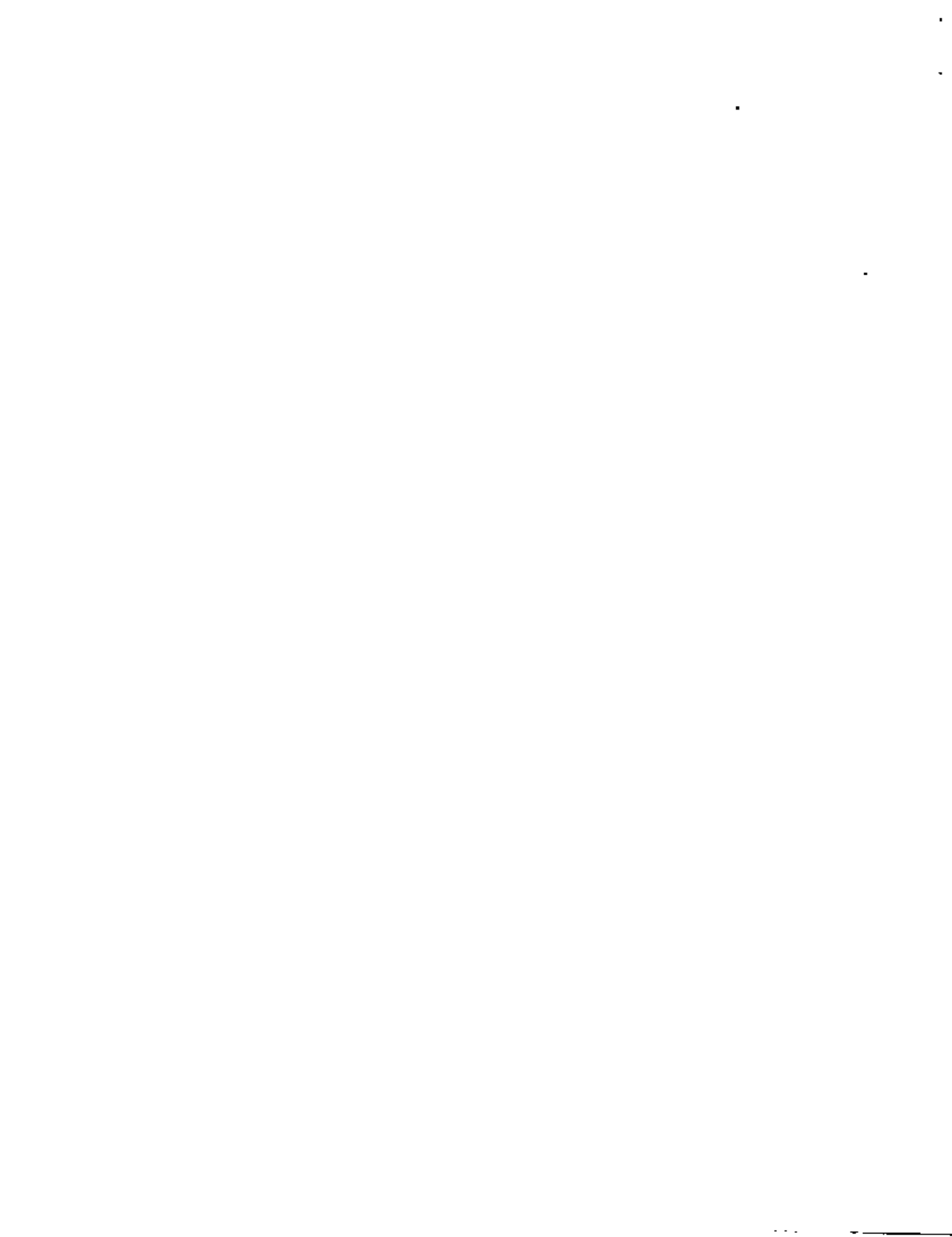
A continuación se presentan dos ejemplos típicos de diseño mediante mecánica de fractura:

CASO 1.- Resistencia máxima a la fractura bajo carga estática.

Se tiene una placa gruesa con carga de tensión, donde $\lambda = 0.5$. La placa tiene una grieta superficial semielíptica con una relación longitud-profundidad $\frac{a}{2c} = 0.2$

Se requiere un peso mínimo de la pieza, con resistencia máxima a la fractura.

Se consideran tres metales: acero, aluminio y titanio, debido a que tienen una relación $\frac{\sigma_{ys}}{\rho}$ muy parecida, según la tabla:



Aleación	Densidad ρ	σ_{ys}	$\frac{\sigma_{ys}}{\rho}$	$K_{Ic}^{K_{Ic}}$	τ	$(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{ys}})^2$
Acero ASTM A-538	0.284	250	880	100	125	0.160
Aluminio 7075-T6	0.098	85	870	30	42.5	0.125
Titanio 6Al-4V	0.163	140	860	80	70	0.327

Para determinar que material tiene la mayor resistencia a la fractura, se encuentra la longitud crítica de grieta a_c :

$$a_c = \frac{K_{Ic}^2 \left[\phi^2 - 0.212 \left(\frac{\sigma}{\sigma_{ys}} \right)^2 \right]}{1.21 \rho \sigma^2} \quad (A)$$

es la integral elíptica de la sección que se toma como modelo para la grieta. Los valores de ϕ se encuentran en tablas de integrales elípticas, como función de $\frac{a_0}{c_0}$

En éste caso $\frac{a_0}{c_0} = 0.4$ y $\phi = 1.3$

Resolviendo (A) para los tres materiales queda:

Aleación	Profundidad de media grieta a_c	Longitud de grieta $2c$
Acero ASTM A-538	0.212	1.06
Aluminio 7075-T6	0.165	0.83
Titanio 6Al-4V	0.432	2.16

La tabla muestra que el titanio tiene la mayor resistencia a la fatiga porque puede tolerar el mayor tamaño de grieta antes de fracturarse.

Los valores de a_c y de $2c$ dados están dentro de la capacidad de detección de las técnicas de Ensayos No Destructivos. Por lo tanto, suponiendo dimensiones iniciales de la grieta de 0.15 pulg. de profundidad y 0.75 pulg. de largo, se puede encontrar el



esfuerzo crítico.

Resolviendo (A) para σ_c , queda:

$$\text{acero} = 144 \text{ ksi}; \quad \tau_i = 122 \text{ ksi}; \quad \text{Al} = 43 \text{ ksi}.$$

El esfuerzo de fatiga es mayor para el acero y los factores de seguridad son:

Aleación	Fluencia σ_{ys}	Esfuerzo de diseño $0.5 \sigma_{ys}$	Esfuerzo de fractura σ_c	Factor de seguridad $\sigma_c / 0.5 \sigma_{ys}$
Acero ASTM A-538	250	125	144	1.15
Aluminio 7075-T6	85	42.5	43	1.01
Titanio 6Al-4V	140	70	112	1.60

CASO 2.- Esperanza de vida con resistencia a la fractura máxima. (carga cíclica).

Una placa similar a la del caso 1, con una grieta de 0.15 x 0.75 pulgadas recibe carga de tensión senoidal que varía de cero a máximo.

Considerar acero 9-4-0.25 y aluminio 7079-T6. Encontrar el que tenga más larga vida.

Se calcula K_{Ic} :

Para la geometría dada y las componentes de la grieta:

$$K_{Ic}^2 = 1.2 \pi a s^2 \left[\frac{1}{\phi^2 - 0.212 (\sigma/\sigma_{ys})^2} \right]$$

donde σ = esfuerzo de diseño (máximo) = $\frac{\sigma_{ys}}{2}$

$$\sigma = 88 \text{ ksi para acero}$$

$$\sigma_{ys} = 175 \text{ ksi para acero}$$

$$\sigma = 33 \text{ ksi para aluminio}$$

$$\sigma_{ys} = 65 \text{ ksi para aluminio}$$

$$\phi^2 = 1.3$$

Por lo tanto: $K_{Ii} = 59 \text{ ksi. pulg } \frac{1}{2}$ para acero.

$$K_{Ii} = 21.5 \text{ ksi para aluminio.}$$



De datos publicados, la velocidad de crecimiento de la grieta es de 0.035 mil/ciclo para acero y 0.030 mil/ciclo para aluminio. Sin embargo, la velocidad de crecimiento cambia con el tiempo, así como K_I . Tomando valores de K_{Ic} de pruebas estáticas de resistencia y tenacidad, la relación

$$\frac{K_{Ii}}{K_{Ic}} = 0.41 \text{ para acero y } \frac{K_{Ii}}{K_{Ic}} = 0.63 \text{ para aluminio}$$

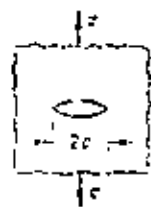
De las figuras 15 y 20, dichas relaciones corresponden a vidas de 1,800 y 400 ciclos, respectivamente. Por lo tanto, para el mismo defecto y la misma relación $\frac{\sigma}{\sigma_{ys}}$ el aluminio es más durable.

Para encontrar el tamaño máximo de defecto que puede ser tolerado por la placa para una vida 50,000 ciclos, hay que encontrar la relación $\frac{K_{Ii}}{K_{Ic}}$ a 50,000 ciclos. De las figuras 15 y 20, la relación es 0.25 para acero y 0.34 para aluminio. Conocidos los valores para K_{Ic} , se obtiene $K_{Ic} = 36 \text{ ksi. pulg}^{\frac{1}{2}}$ PARA acero y 11.5 para aluminio.

Cambiando a_i por a_c y K_{Ii} por K_{Ic} en la ecuación (A), el tamaño del defecto es 0.053 x 0.280 pulg. para acero y 0.043 x 0.215 pulg. para aluminio.



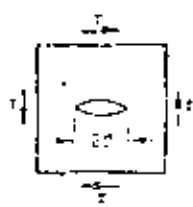
Table 4—Stress-Intensity Factors for Common Configurations



Case 1
Flat sheet of length $2c$, width and length much greater than thickness, subject to uniform tension stress at the ends

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$

$$K_{II} = K_{III} = 0$$



Case 2
Infinite cracked sheet with uniform in-plane shear at infinity

$$K_{II} = \tau \sqrt{\pi a}$$

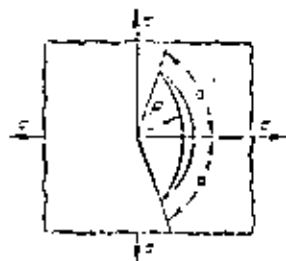
$$K_I = K_{III} = 0$$



Case 3
Infinite cracked sheet with uniform tension subject to uniaxial shear at infinity

$$K_{III} = \tau \sqrt{\pi a}$$

$$K_I = K_{II} = 0$$



Case 4
Curved crack in equal biaxial stress field

$$K_I = \frac{\sigma (\pi R)^{1/2}}{\left(1 + \sin^2 \frac{\alpha}{2}\right)} \left(\frac{\sin \alpha (1 + \cos \alpha)}{2}\right)^{1/2}$$

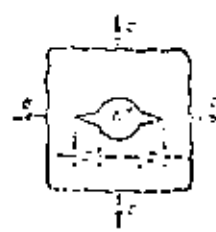
$$K_{II} = \frac{\sigma (\pi R)^{1/2}}{\left(1 + \sin^2 \frac{\alpha}{2}\right)} \left(\frac{\sin \alpha (1 - \cos \alpha)}{2}\right)^{1/2}$$

Case 5
Cracks from hole in infinite sheet

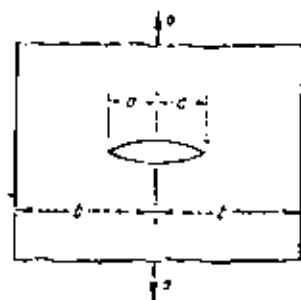
$$K_I = \sigma \sqrt{L \pi} f\left(\frac{c}{r}\right)$$

$$K_{II} = 0$$

L/r	One Crack f(L/r)		Two Cracks f(L/r)	
	Uniform Stress	Biaxial Stress	Uniform Stress	Biaxial Stress
0	0.88	0.98	0.88	0.98
0.1	0.92	1.05	0.92	1.05
0.2	0.96	1.12	0.96	1.12
0.3	0.99	1.17	0.99	1.17
0.4	1.02	1.22	1.02	1.22
0.5	1.05	1.26	1.05	1.26
0.6	1.08	1.30	1.08	1.30
0.7	1.11	1.34	1.11	1.34
0.8	1.14	1.37	1.14	1.37
0.9	1.17	1.40	1.17	1.40
1.0	1.20	1.43	1.20	1.43
1.5	1.28	1.50	1.28	1.50
2.0	1.35	1.56	1.35	1.56
3.0	1.42	1.62	1.42	1.62
5.0	1.49	1.67	1.49	1.67
10.0	1.55	1.71	1.55	1.71
∞	0.907	0.917	1.00	1.00



Case 6
Central crack in strip subject to tension (strip width)

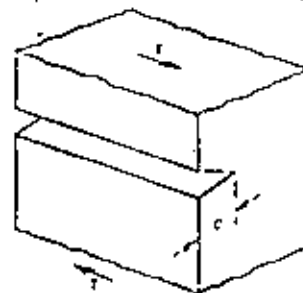


$$K_I = c \sqrt{\pi a} f(\lambda)$$

$$\lambda = a/b$$

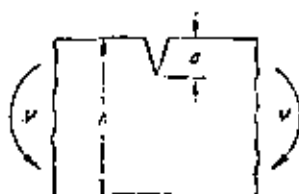
λ	f(λ)
0.024	1.00
0.097	1.02
0.275	1.05
0.537	1.09
0.810	1.13
0.986	1.18
1.335	1.25
0.992	1.33

Case 7
Edge crack in a semi-infinite body subject to shear



$$K_I = K_{II} = 0$$

$$K_{III} = \tau \sqrt{\pi a}$$



Case 8
Notched beam in bending

$$K_I = \frac{6M}{(h-a)^{3/2}} f(c/h)$$

$$K_{II} = K_{III} = 0$$

c/h	f(c/h)
0.05	0.98
0.1	0.99
0.2	1.00
0.3	1.01
0.4	1.02
0.5	1.03
0.6	1.04
>0.6	1.05



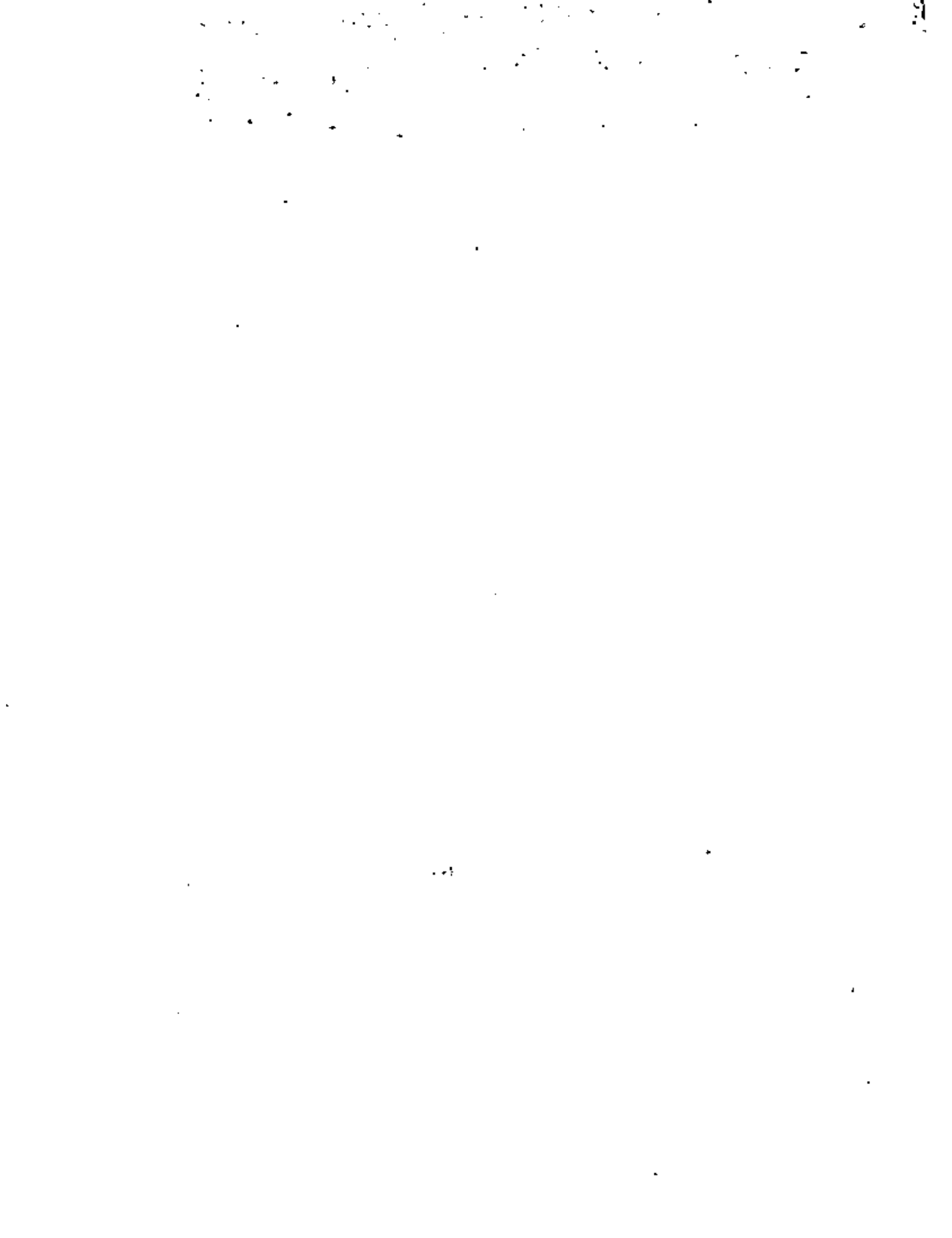
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS METALICAS

FALLAS TIPICAS COMUNES

Ing. José Pappaterra Caballero

JULIO, 1981

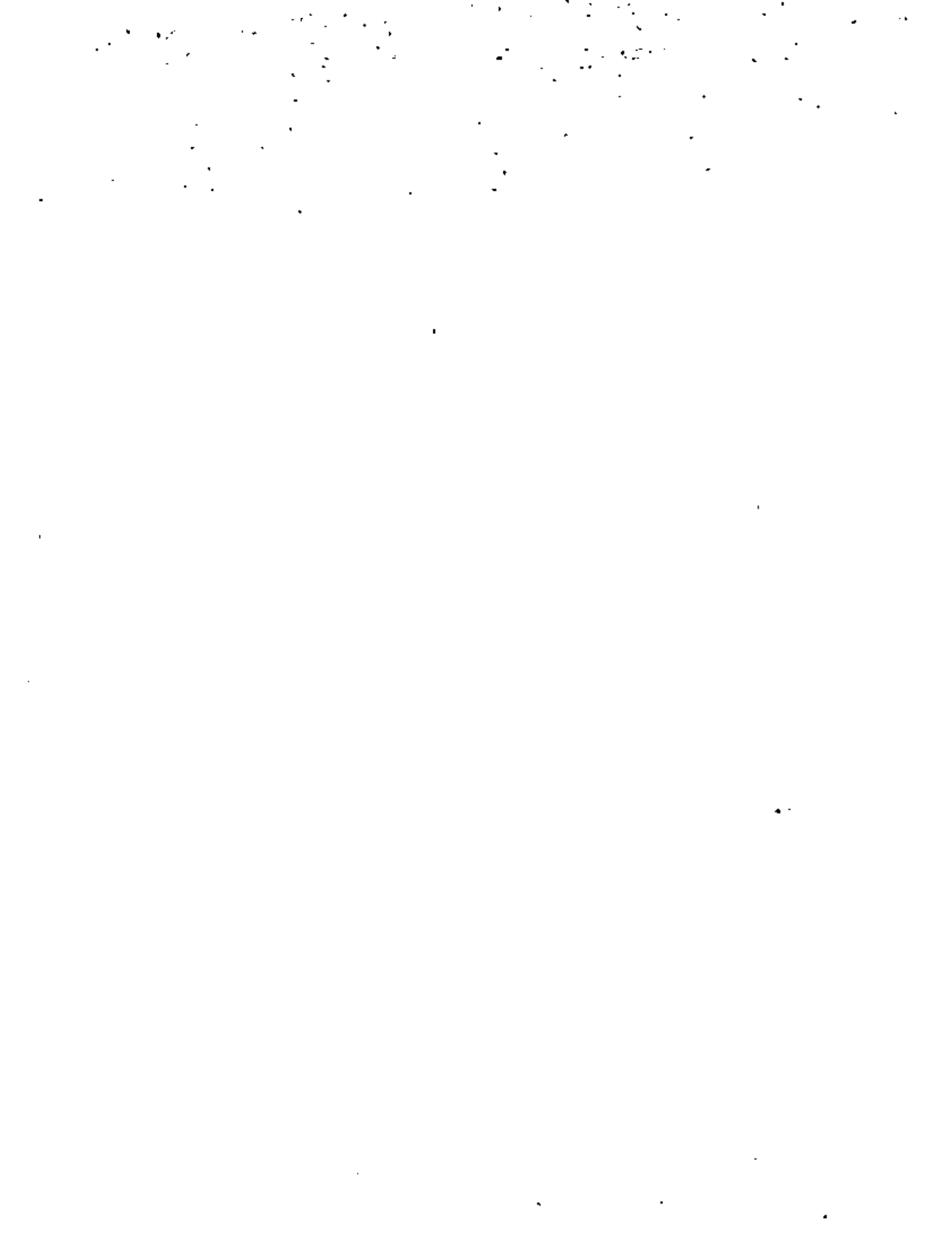


Los metales comunes comerciales no pueden estar exentos, por completo, de ciertos defectos comunes, aunque hayan sido fabricados por los mejores procedimientos debido a que:

- Los modernos procesos de reducción de la masa
 - Los tratamientos mecánicos y térmicos
- NO SON AUN PERFECTOS**

• Cualquier demanda de aumento de calidad supone mayor esfuerzo y por tanto precios más elevados.

• Para decidir entre las desviaciones permisibles entre las normales y aquellas que son indeseables deben consultarse las Normas en vigor publicadas por los organismos oficiales de los distintos países.



FALLAS TÍPICAS COMUNES

LAS SEGREGACIONES

LOS RECHUPES O CAVIDADES de CONTRAECION

LAS POROSIDADES

LAS GRIETAS

LAS INCLUSIONES

LOS COPOS

LAS TENSIONES RESIDUALES

LA DESCARBURACION del ACERO etc.

Son siempre indeseables y perjudiciales.



FALLAS

HETEROGENEIDAD
QUIMICA

- SEGREGACION
- LICUACION
- INCLUSIONES
- DESCARBURACION,
OXIDACION, CARBURACION
- ETC.

HETEROGENEIDAD
FISICA O ESTRUCTURAL

- EN EL TAMAÑO DE GRANO
- TEMPLE IMPERFECTO
- ETC

SOLUCION DE
CONTINUIDAD

- POROSIDADES
- TENSIONES INTERNAS
- GRIETAS
- COPOS



DIFERENTES TIPOS DE SEGREGACION

1) SEGREGACION

• INTRA CRISTALINA ó

MICROSCÓPICA

• MACROSCÓPICA

• NORMAL ó POSITIVA

CENTRÍPETA

• INVERSA ó NEGATIVA

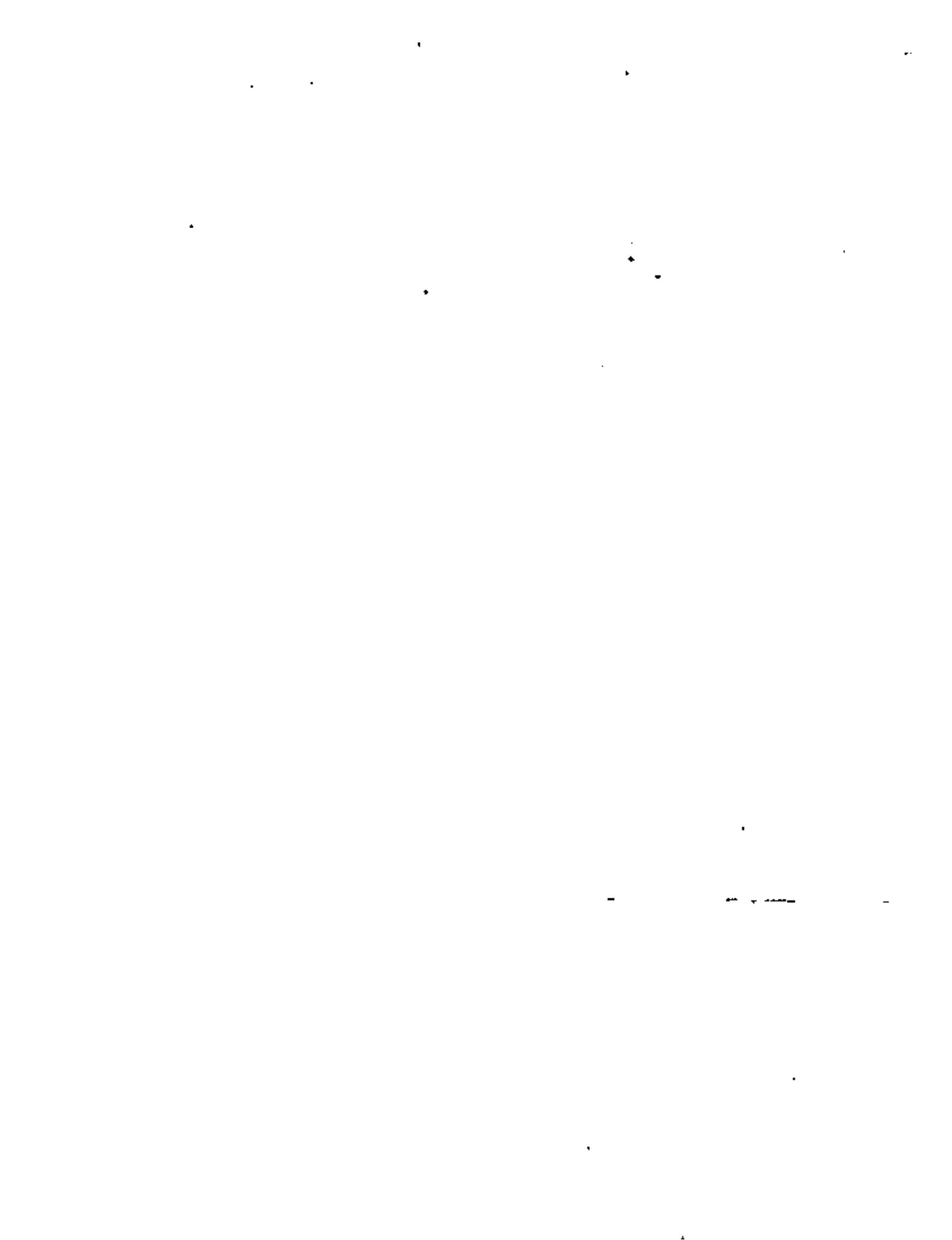
CENTRÍFUGA

• POR GRAVEDAD

Vertical

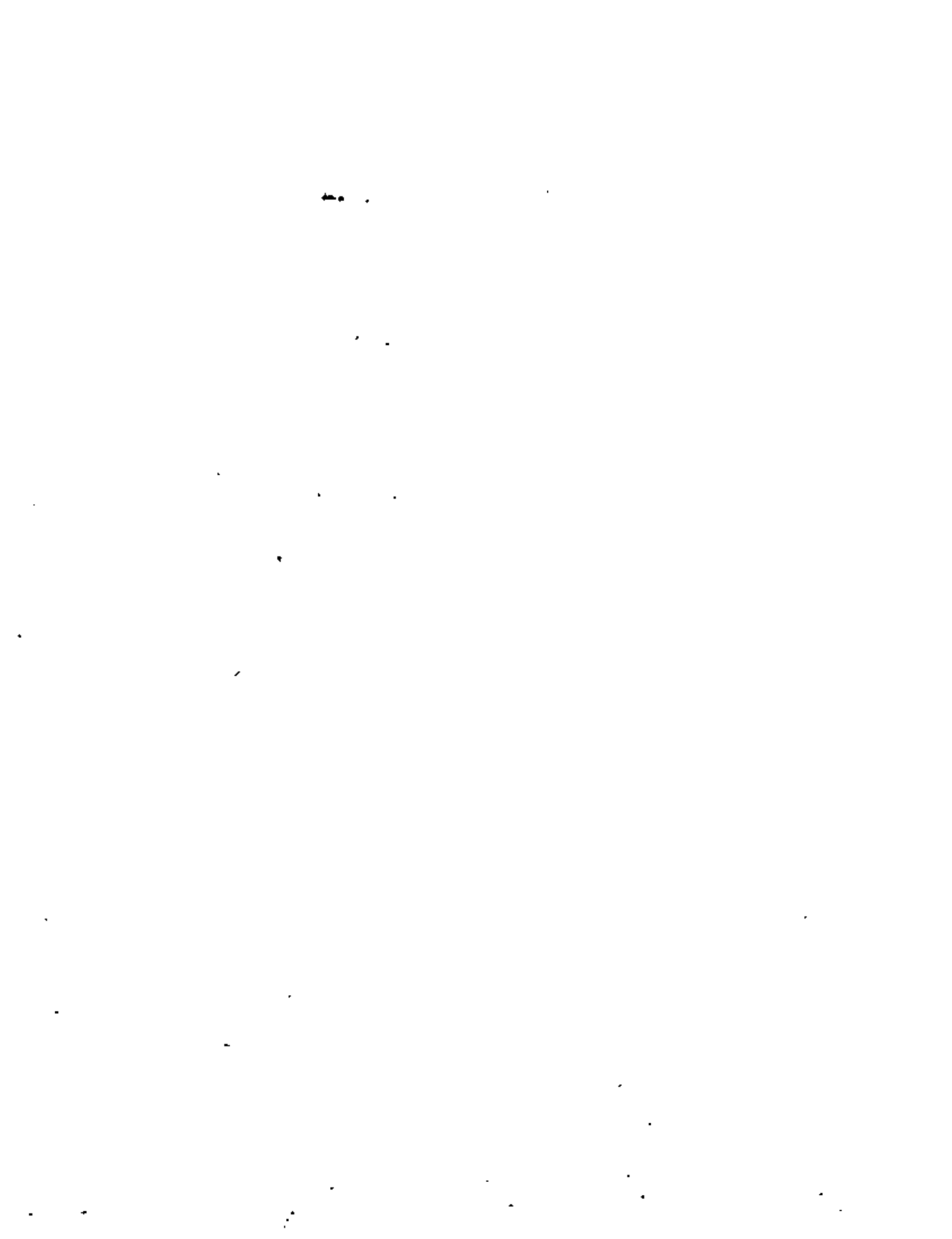
• EXUDADOS

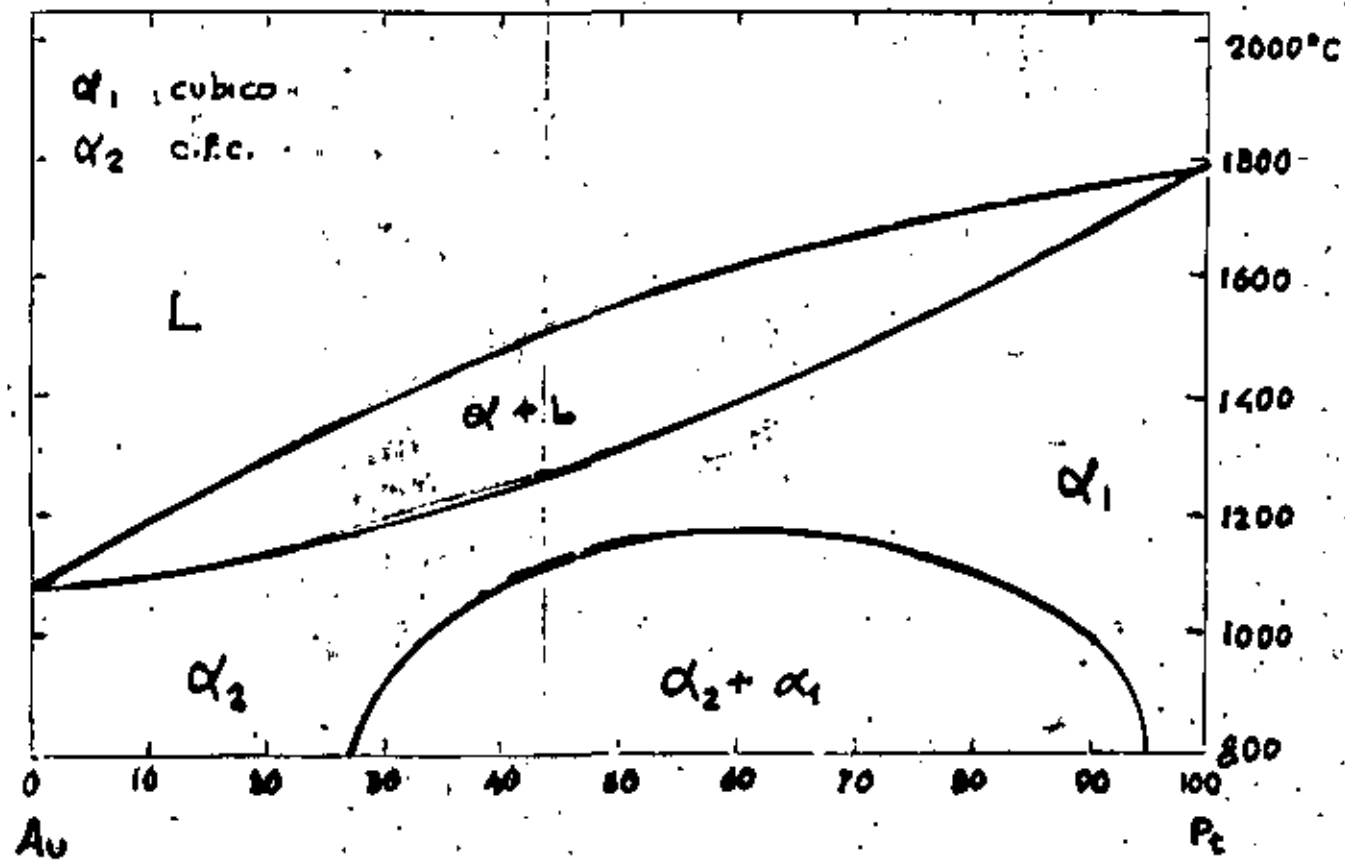
2) LICUACION



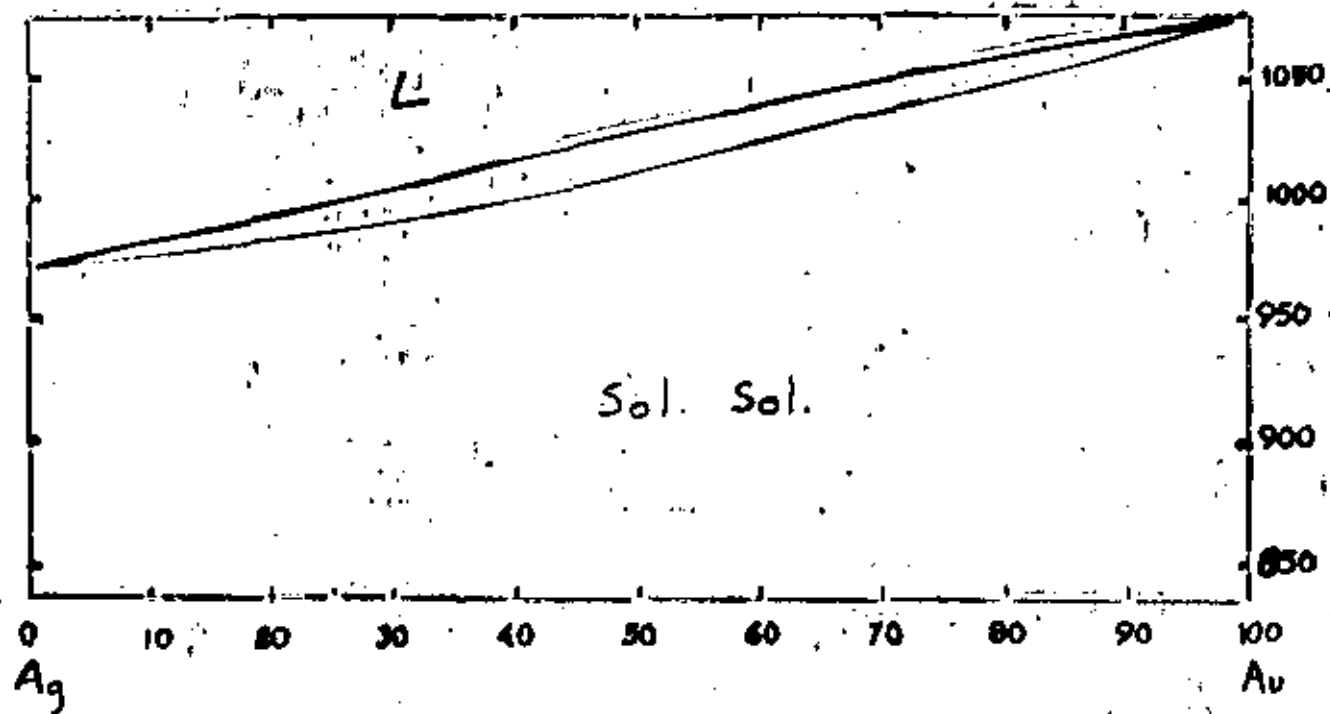
LA SEGREGACION DEPENDE DE LAS SIGUIENTES VARIABLES:

- 1. AFINIDAD QUIMICA O PODER DE RETENCION DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION QUE LOS MANTIENE JUNTOS EN UNA SOLUCION LIQUIDA.**
- 2. CAMBIOS DE SOLUBILIDAD QUE AFECTAN LA SEPARACION DE UNA FASE SOLIDA.**
- 3. GRADIENTES DE TEMPERATURA Y PRESION A TRAVES DE LA MASA EN SOLIDIFICACION**
- 4. DESPRENDIMIENTO GASEOSO**
- 5. CONTRACCION DE LOS CRISTALES PRIMARIOS**
- 6. EFECTO DE LA GRAVEDAD**
- 7. EFECTO DE DIFUSION DEBIDOS A DIFERENCIAS DE CONCENTRACION.**

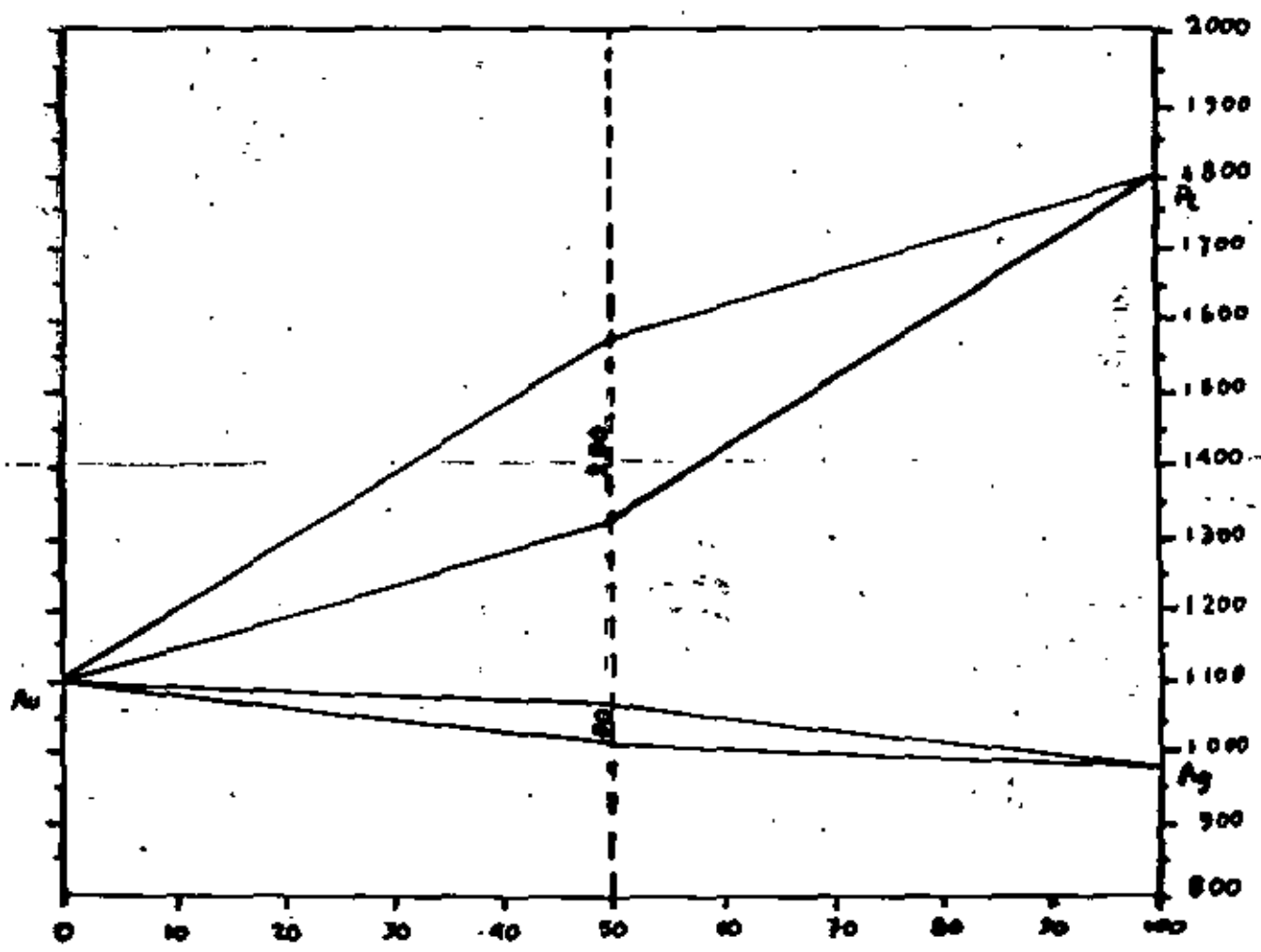












COMPARACION ENTRE LOS DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO $Ag-Pb$ y $Ag-Ag$



DEFINICION

LA SEGREGACION SE CARACTERIZA POR UNA HETEROGENEIDAD DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA ALEACION CONSTITUIDA POR IMPUREZAS QUE SE REUNEN EN DETERMINADOS LUGARES DE LA PIEZA.



FORMACION

- LA SEGREGACION ES DEBIDA A LAS CARACTERISTICAS PROPIAS DE LA CRISTALIZACION DE SER: PROGRESIVA Y SELECTIVA
- LOS DIFERENTES CRISTALES QUE SE DEPOSITAN SUCESIVAMENTE ESTAN CONSTITUIDOS POR ALEACIONES RELATIVAMENTE PURAS, LAS IMPUREZAS SON RECHAZADAS EN EL LIQUIDO RESTANTE Y SE ACUMULAN FINALMENTE EN BUENA PARTE EN LUGARES DE FIN DE SOLIFICACION.
- CUANDO LA SEGREGACION ES VISIBLE A SIMPLE VISTA SE LE LLAMA SEGREGACION MACROSCOPICA O MAYOR.
- LOS LINGOTES DE ACERO PRESENTAN CASOS TÍPICOS DE ESTE GENERO DE DEFECTOS.
- A TITULO DE EJEMPLO SE PUEDE CITAR:
 - LAS ACUMULACIONES DE SULFUROS
 - LOS EUTECTICOS FOSFOROSOS EN EL CORAZON DE LAS PIEZAS EN ACERO O FUNDICION
 - LA CONCENTRACION DE GRAFITO EN CIERTAS PIEZAS DE FUNDICION GRIS.



ELEMENTOS QUE SE SEGREGAN EN ALEACIONES FERROSAS

SOLIDOS

• EN ACEROS AL C

• segregan: S, C, P, O (como óxido de Fe)

• En menor grado: Mn y Si

1. ELEMENTOS QUE COMBINAN QUÍMICAMENTE CON EL Fe

C, P, S, O

gran tendencia a la segregación

2. ELEMENTOS QUE SE ALEAN CON EL Fe

Si, Ti, Al, Mn

se segregan relativamente poco

• EN ACEROS ALEADOS

• Segregan: Los de los al C más: Cr y Mo

• En menor grado: Ni y Si

GASEOSOS

H - se disuelve (más de 2 veces el vol.) No se combina

O - se disuelve y se combina (CO y CO₂)

Los gases tienen tendencia a segregarse hacia el centro más que hacia los lados.



ELEMENTOS QUE SE ^{LIQUAN O} SEGREGAN EN ALEACIONES NO FERROSAS

ALEACIONES	SE SEGREGA:
LATONES ALTO CONTENIDO Zn 15% Cu	Zn
DE Al	Cu
DE Mg	Mg
DE Pb	Pb
ANTIFRICCION	Cu
BRONCES	INVERSA
BINARIAS Y TERCIARIAS QUE SOLIDIFICAN COMO SOL. SOL	DENDRITICA

012

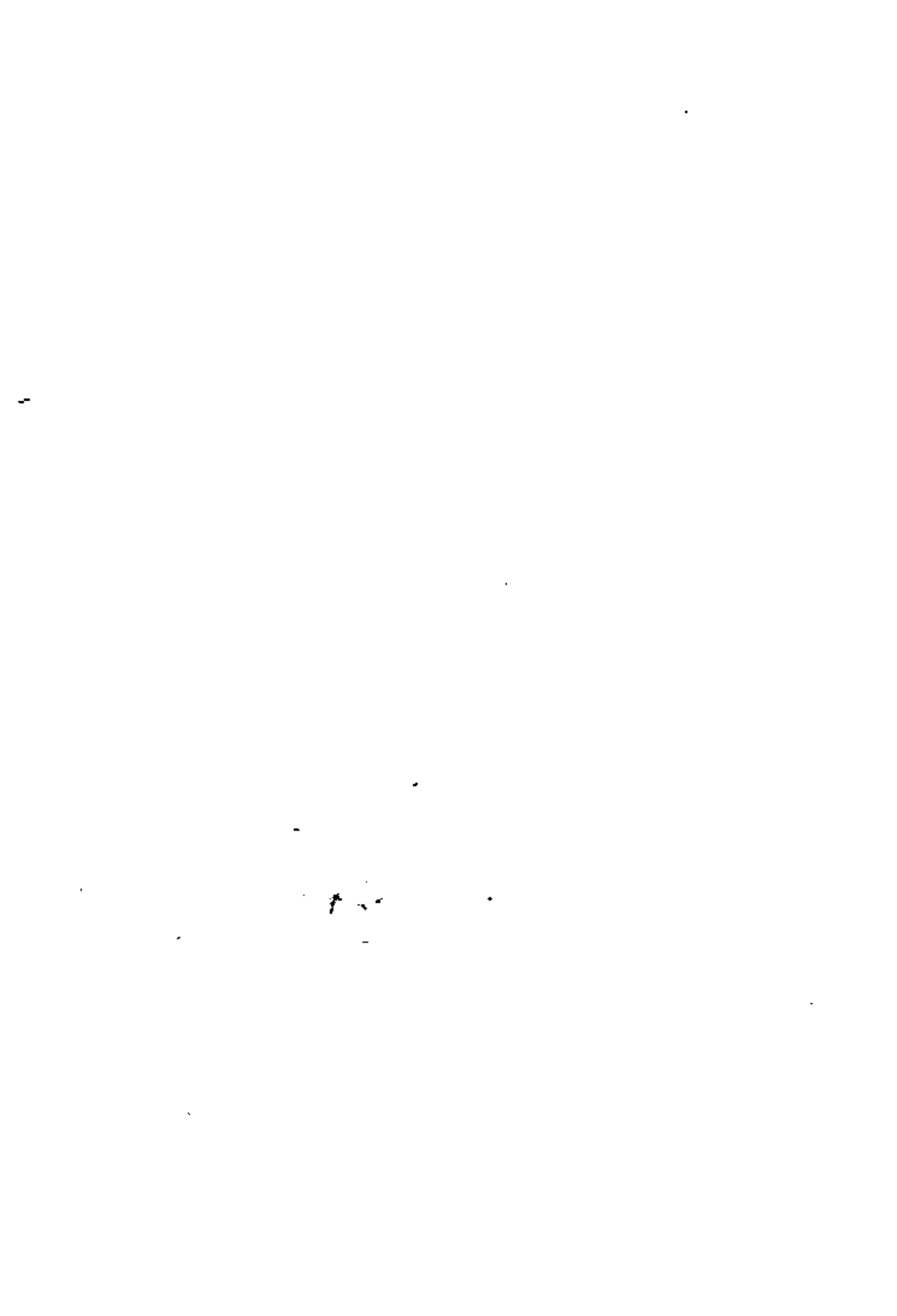
UBICACION Y ASPECTO

UBICACION:

EN LOS LUGARES DONDE LA SOLIDIFICACION SE PRODUCE EN ULTIMO LUGAR.

ASPECTO:

- SE PUEDE OBSERVAR UNA COLORACION DEL METAL DIFERENTE BASTANTE NETAMENTE QUE AQUELLAS QUE EXISTEN EN OTROS LUGARES
- ESTA DIFERENCIA DE COLORACION APARECE YA SEA POR SIMPLE EXAMEN, O SEA POR EL TRATAMIENTO DE LAS PROBETAS CON LOS REACTIVOS MAGNOGRAFICOS USUALES.



CAUSA

- EL DEFECTO SE DEBE A LA DISMINUCION DE LA SOLUBILIDAD DE CIERTOS ELEMENTOS EN LA ALEACION DURANTE EL CURSO DEL ENFRIAMIENTO.
- LOS ELEMENTOS QUE SE VUELVEN INSOLUBLES SON RECHAZADOS AL SENDO DEL LIQUIDO RESTANTE.



REMEDIOS

Se remedia la segregación macroscópica:

1- Buscando la disminución de los elementos susceptibles de separación.

En las fundiciones, por ejemplo, se reducirán los tenores en S y en P.

2 - Por adición de elementos especiales que aumentan las resistencias pasivas en el seno de la aleación.

Por ej. en las fundiciones pequeñas adiciones de níquel y de cromo afinan considerablemente el grano. En los latones y bronces al Pb el 1% de Ni permite obtener el Pb al estado finamente dividido.

- RESUMEN -

I - Disminuir los tenores en elementos peligrosos.

A - Azufre y fósforo en las fundiciones y aceros.

B - Carbono o elementos grafitizantes en las fundiciones.

II - Agregar elementos especiales que aumenten las resistencias pasivas.

A - Níquel y cromo en las fundiciones.

B - Níquel en los bronces y latones al Pb.



LICUACION

DEFINICION

LA LICUACION SE CARACTERIZA POR LA PRESENCIA EN LA PIEZA DE DOS ALEACIONES DE COMPOSICIONES DIFERENTES COMO CONSECUENCIA DE LA INSOLUBILIDAD TOTAL O PARCIAL DE LOS CONSTITUYENTES Y SE DEPOSITAN POR ORDEN DE DENSIDAD.

FORMACION

Para que haya licuación, es necesaria la presencia de una laguna de solubilidad al estado líquido, la cual prácticamente sólo se presenta en fundición de latones y bronceos al Pb .

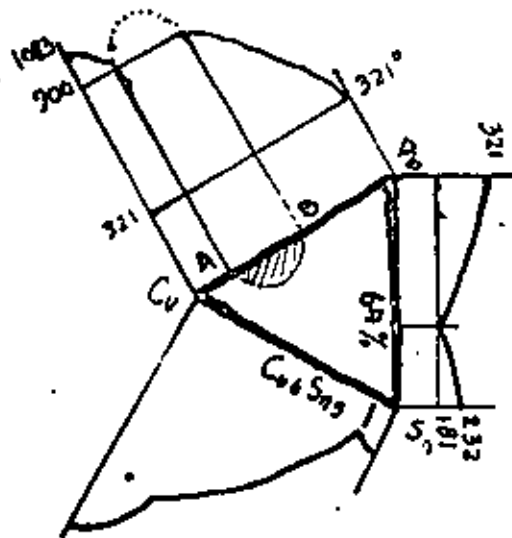
En el diagrama correspondiente a los bronceos al Pb el diagrama binario $Cu-Pb$ presenta la existencia de una "laguna" de solubilidad comprendida entre los puntos A y B.

En el diagrama ternario esta laguna se va contrayendo cuando el tenor de estaño crece.

Habrà pues, licuación para todas las aleaciones cuya composición está representada por uno de los puntos comprendidos en la zona hachurada y siempre que la aleación sea mantenida durante el tiempo suficiente para permitir a las partículas separadas unirse y colocarse según el orden de sus densidades.

Industrialmente, ^{para} ciertas aleaciones susceptibles de dar lugar a licuaciones se adoptan condiciones especiales de colado, debido a las ventajas particulares de estas estructuras cuando los dos líquidos quedan uniformemente repartidos en la masa.





Trazo punteado: laguna de solubilidad

- Diagrama de equilibrio Cu, Sn, Pb



ASPECTO

Para las piezas constituidas por dos aleaciones distintas presentan un plano de separación horizontal.

La aleación más densa se encontrará en la parte inferior.

CAUSAS

La aleación presenta una laguna de solubilidad al estado líquido y la diferencia entre las densidades de los líquidos favorece su separación.



REMEDIOS

I - MODIFICAR LA COMPOSICION QUIMICA DE LA ALEACION

A - Cambiar los tenores de dos constituyentes principales que son la causa de la presencia de la laguna de solubilidad.

B - Haciendo variar el tenor del tercer constituyente principal.

C - Reduciendo la laguna de solubilidad.
Por adición de elementos especiales (1% de Ni, por ejemplo, en los latones y bronces al Pb)

II - DIFICULTAR LA COALESCENCIA DE LAS PARTICULAS LIQUIDAS SEPARADAS DE LA SOLUCION DURANTE EL ENFRIAMIENTO

A - Acelerando el enfriamiento de la pieza.

B - Agregando elementos especiales.

METODOS PARA REVELAR LAS SEGREGACIONES.

1. ANALISIS QUIMICO

- Comparación de composiciones

2. MACROATAQUE.

3. IMPRESIONES:

- BAUMANN (AZUFRE)

- FOSFORO

- OXIDOS.

- POR CONTACTO

IMPRESIONES de FOSFORO

PROBETA.

- 1 - Desbaste hasta el papel esmeril 000.
- 2 - Lavado cuidadoso
- 3 - Secar.

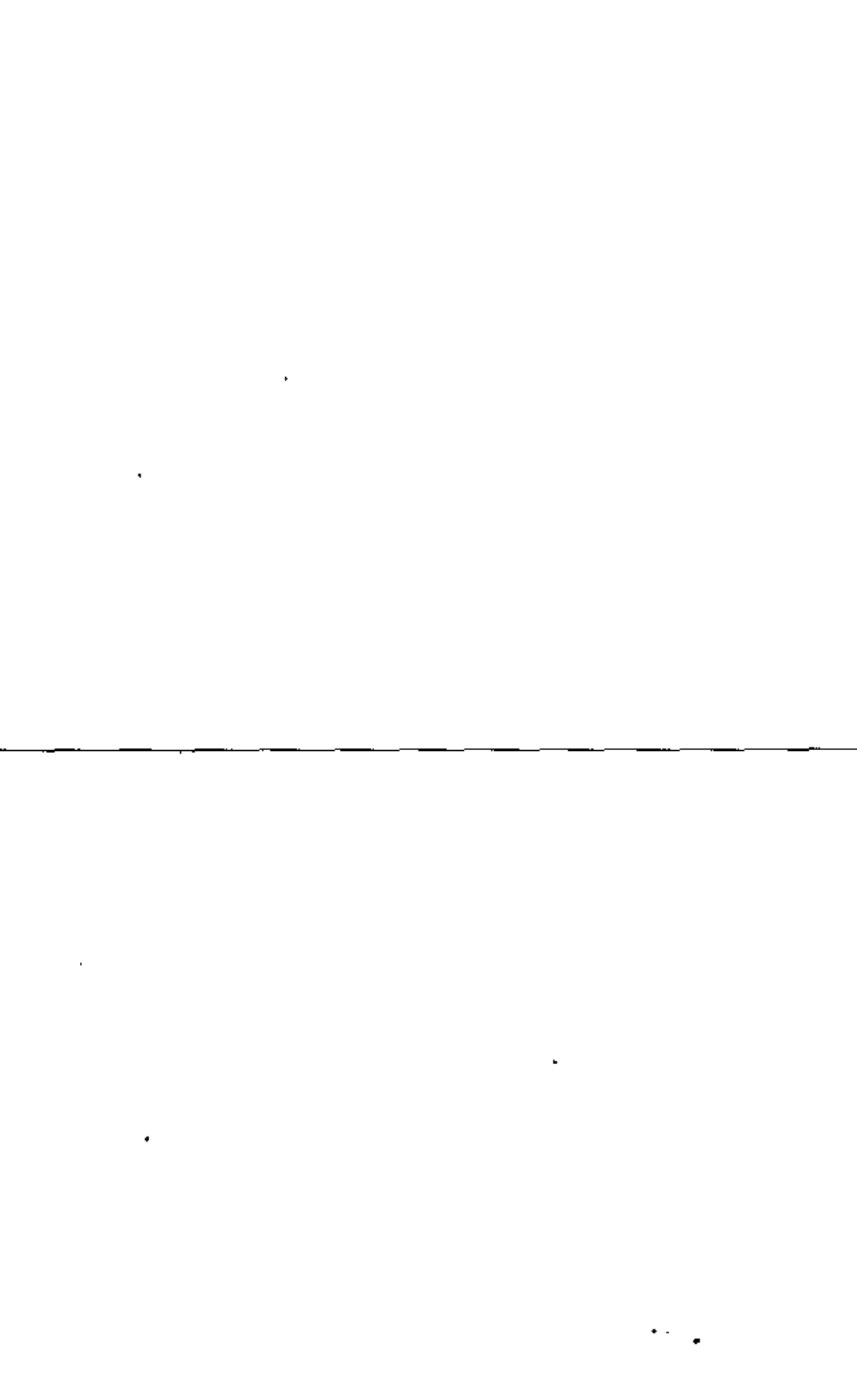
PAPEL de FILTRO • PAPEL FOTOGRAFICO

- 1 - Sumergir en una solución:

Molibdato Amónico 5g. en 100cc. de H₂O
 Acido Nítrico (densidad 1,2) 35 cc.

- 2 - Sacar el papel del baño y dejar escurrir hasta que casi no tenga exceso de solución.
- 3 - Aplicar directamente sobre la superficie del metal. (5 min)
- A - Revelar la impresión sumergiendo el papel (4 min.) en una solución acuosa 35% acido clorhídrico a la que se le añaden un poco de alumbre y 5 cc de solución saturada de cloruro estannoso.

La impresión presenta en las regiones más ricas en fósforo un color azul de molibdeno cuya intensidad varía proporcionalmente al contenido de P.



IMPRESION AZUFRE.

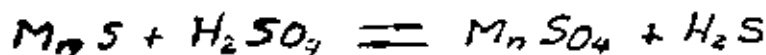
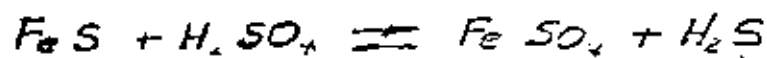
PROBETA:

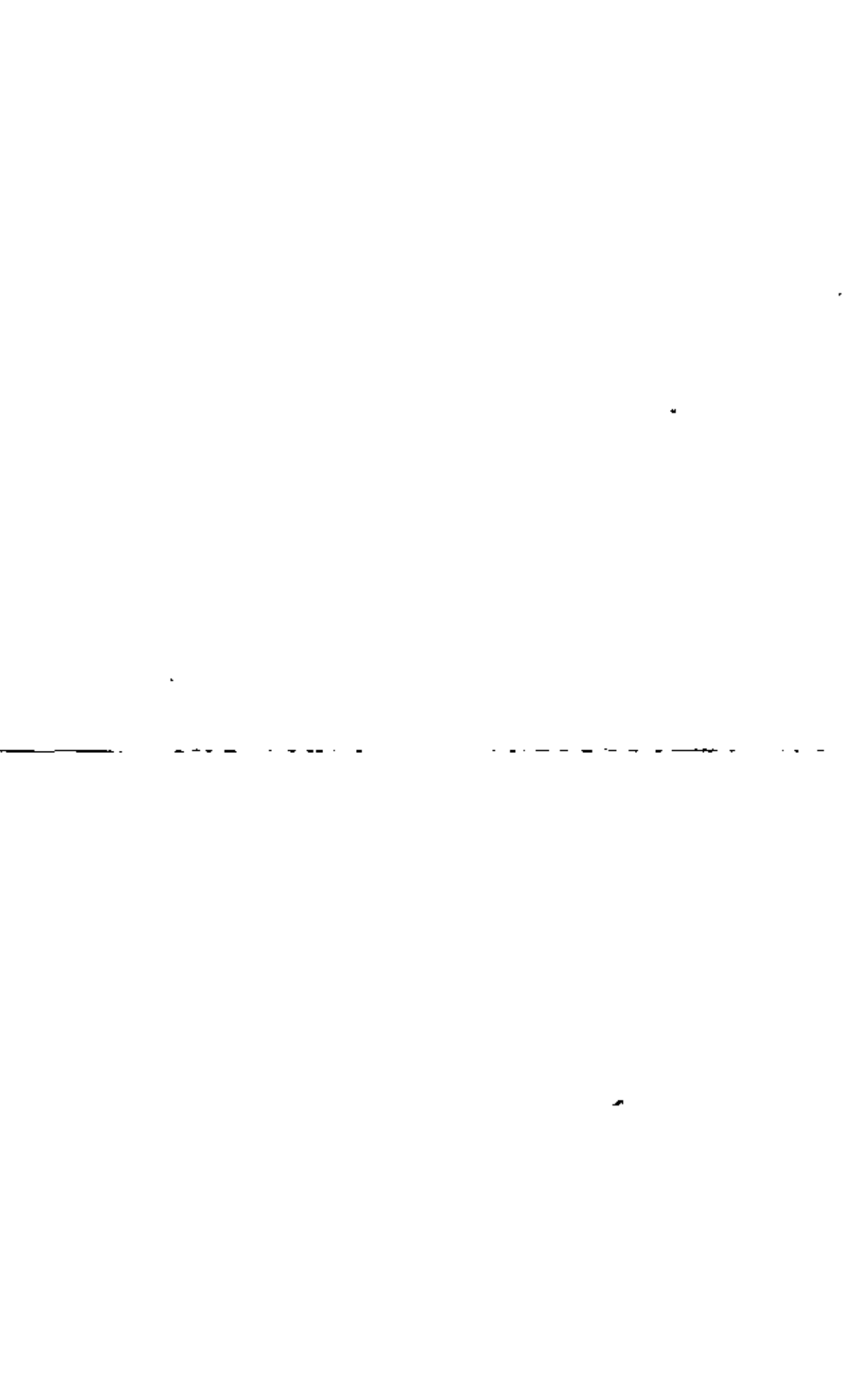
- 1 - Desbastar con papel esmeril 00 y 000.
- 2 - Lavado cuidadoso.

PAPEL FOTOGRAFICO AL BROMURO (semimate)

- 1 - Sumergir sol. acuosa acido sulfurico 2% (3 a 4 min)
- 2 - Mantener en contacto con la probeta 1 a 2 min.
- 3 - Lavar papel fotografico con agua corriente
- 4 - Baño fijador fotografico 15 min.
- 5 - Terminado el fijado se lava con agua corriente durante 30 min.
- 6 - Secado del papel.

REACCIONES





FORMAS DE SEGREGACION

1 - FORMA DENDRITICA. (fig. 35)

característica de las soluciones sólidas

2 - FORMA DE V. (fig. 38)

- 1 Presenta unos trazos curvos angulares en V producidas por segregación positiva, presumiblemente por corrientes existentes en un metal líquido que solidificó rápidamente.

3 - FORMA CONCENTRICA (fig. 39, 40)

Presenta varias líneas o zonas paralelas en secciones transversales.

Parecen representar sucesivos estados de solidificación probablemente separados por desprendimientos gaseosos

4 - FORMA DE PUNTOS DISPERSOS (fig. 42-43)

Frecuente en lingotes de acero que solidificaron en condiciones turbulentas.



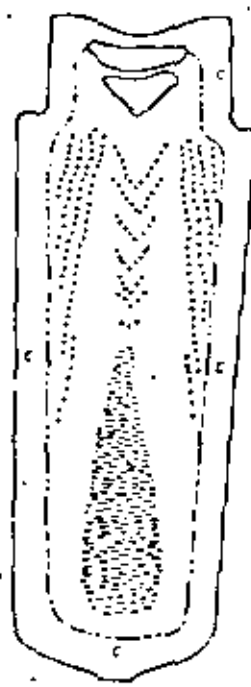
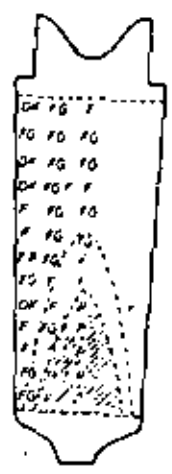


FIG. 36.

Como la segregación interna — en el fondo del lingote (Por cortesia de B. M. Lascchi).



OK limpio
 FG bastante limpio
 F regular
 P pobre

FIG. 37.





Fig. 38

Segregación en V en un lingote de acero.

(Tomada del primer informe sobre heterogeneidad de los lingotes de acero. Iron and Steel Institute, London).



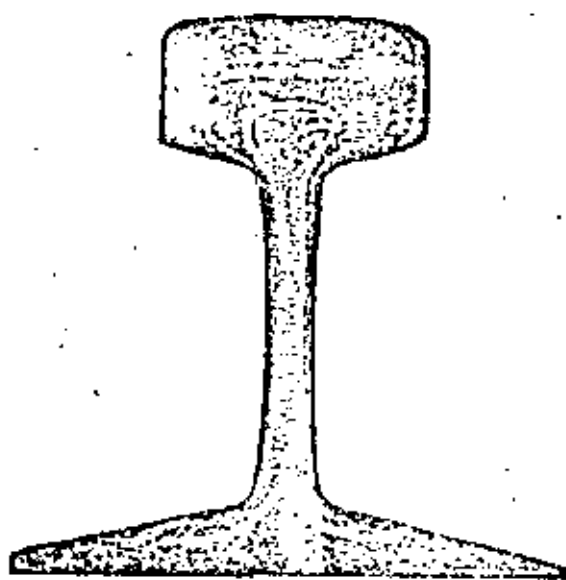


Fig. 39
 Segregación en forma
 concéntrica
 (Por cortesía de Ti-
 tantum Alloy Manu-
 facturing Co.)

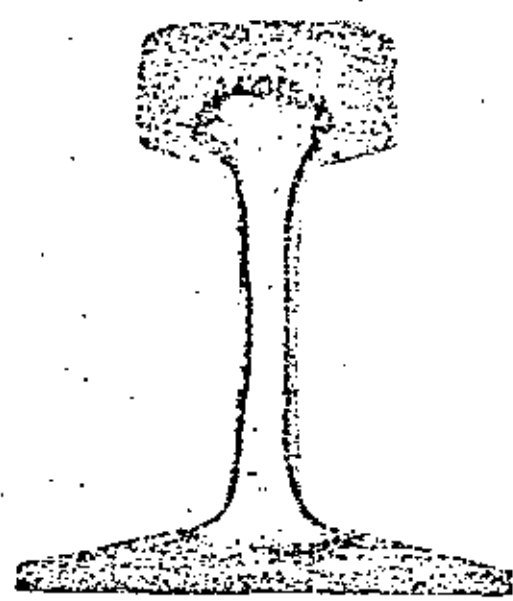


Fig. 40 x 1/2
 Segregación en forma con-
 céntrica.
 De un trabajo de A. He-
 rero y M. de Zubiría
 Journ. Iron & Steel Inst.
 Vol. CXVII p. 2, 1928.

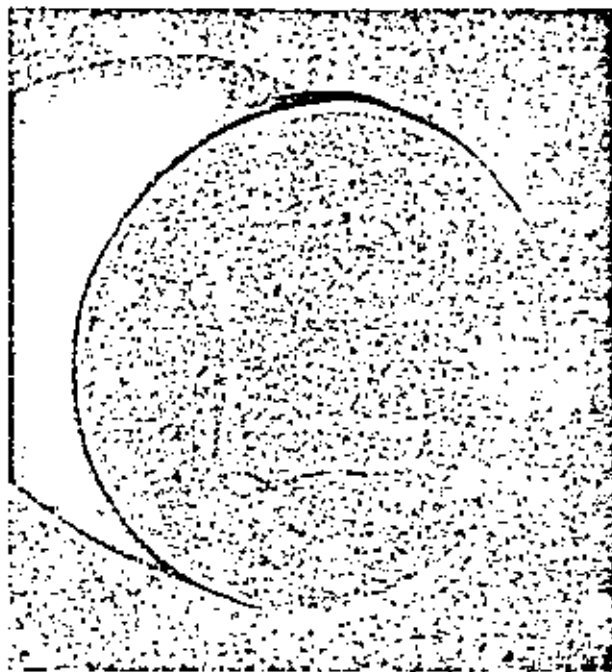


Fig. 41

Tipo de segregación rectangular correspondiente al
primitiva lingote.



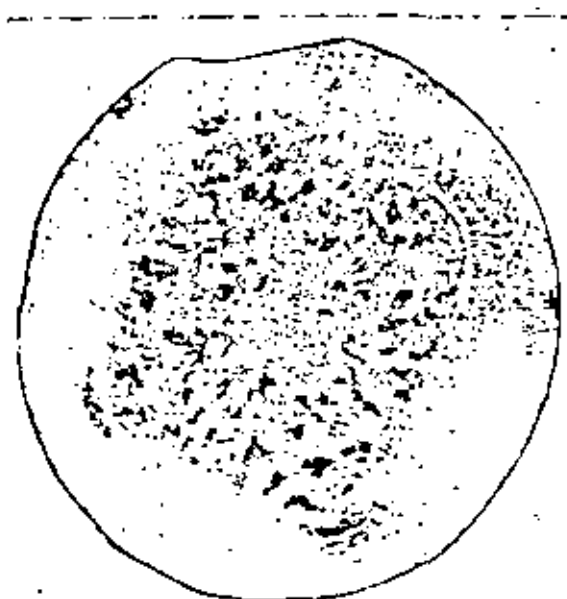
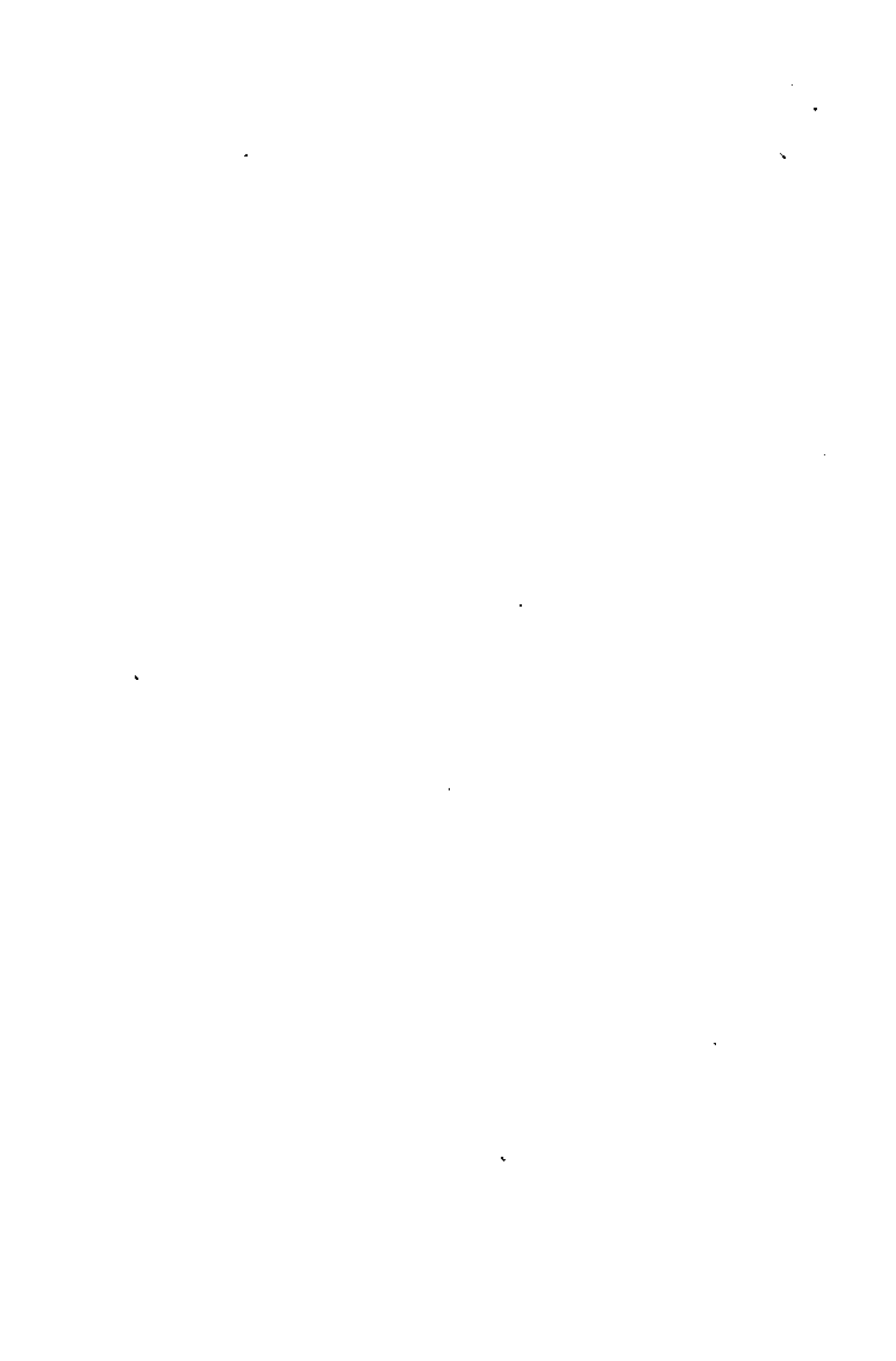


Fig. 43

x 1

Segregación en puntos dispersos.

(Por cortesía de E. Heyn «Physikal Metallographie».)



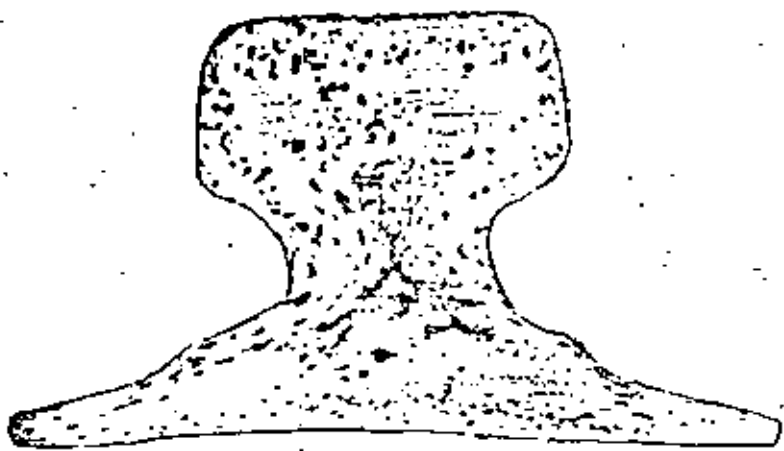


Fig. 43

1/3

Segregación en puntos de hierro después de una pasada de desbaste.
Informe sobre ensayos de metales. 1909. Watertown Arsenal.

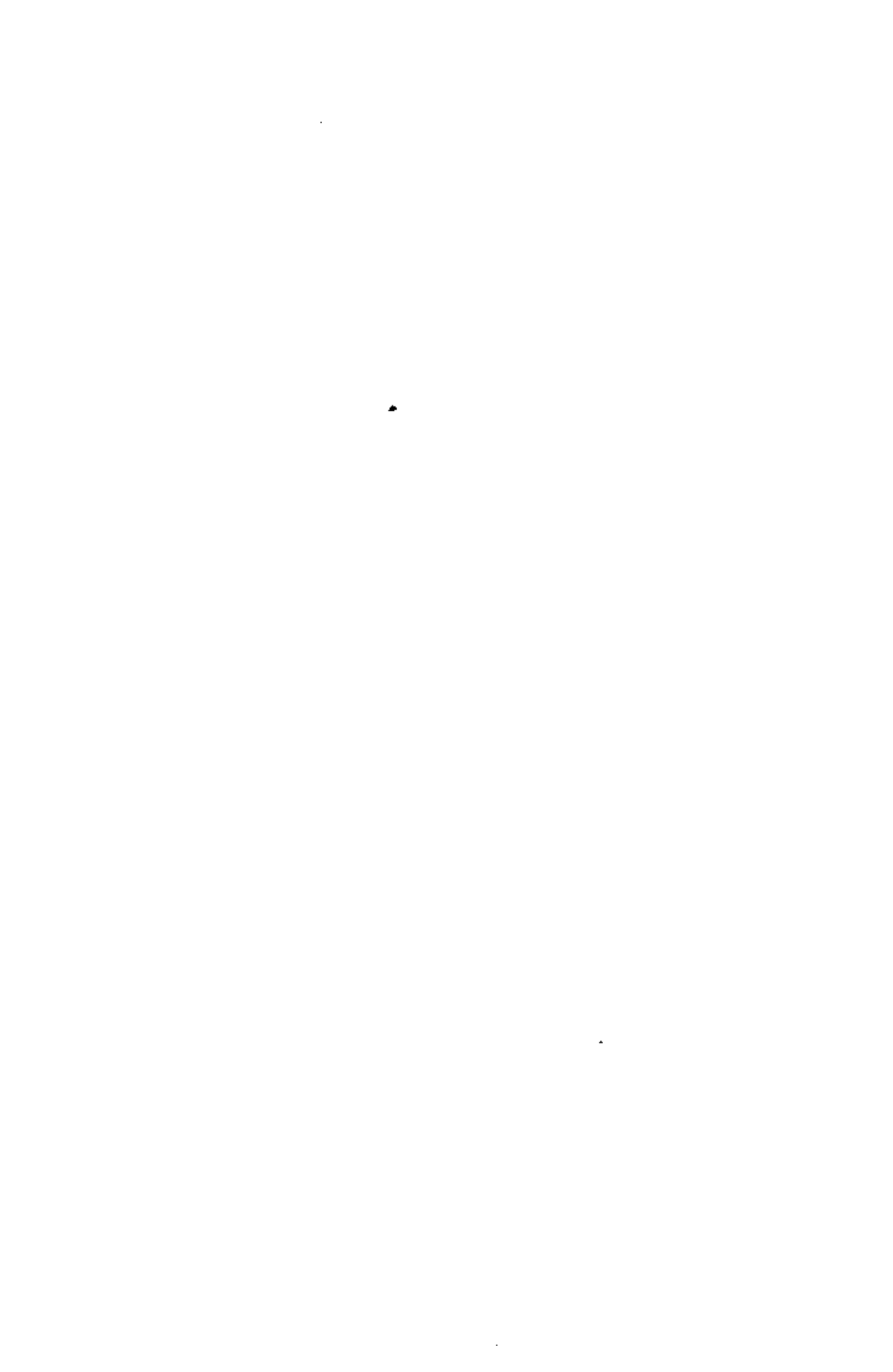




Fig. 44
Ataque.



Fig. 45
Impresión de acútre

Diferencias entre los métodos de ataque.

Por cortesía del Iron and Steel Institute. 2º Informe sobre heterogeneidad de los lingotes de acero.



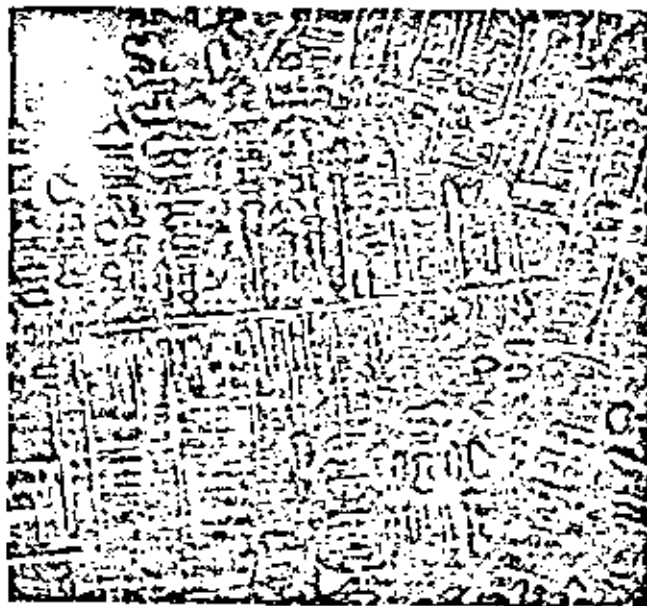


Fig. 55

x 100

Structure dendritica en un bronze de zinc.



Fig. 48

x 90

acero hipereutectoide en el centro de una cabeza de carril.

(Por cortesía de M. J. R. Morrill).



III. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SEGREGACION

Según se ha explicado antes, la causa básica de la microsegregación se atribuye a la solidificación diferencial de las aleaciones, mientras que la macrosegregación está originada principalmente por movimientos relativos de las fases sólida y líquida durante la solidificación. En todo caso a los fenómenos de segregación se oponen los de difusión que, como consecuencia, los modifican.

A continuación se da una descripción detallada de los factores que influyen sobre la segregación:

a) *Pendiente de las líneas «liquidus» y «solidus» y distancia entre las mismas en los diagramas de equilibrio.*—Aquellas aleaciones en las que estas líneas están ampliamente separadas presentan una gran gama de concentraciones difíciles de homogeneizar. Las aleaciones Pt-Au son un ejemplo notable, puesto que la diferencia entre el «liquidus» y el «solidus» para ciertas composiciones alcanza los 250° C.

b) *El subenfriamiento es otro factor esencial.* Para reducir la segregación las aleaciones deben colarse a la temperatura más baja posible.

c) *Tiempo de solidificación.*—La segregación en el acero aumenta con todos los factores que alargan el periodo de solidificación. Un metal antifricción en pieza gruesa, enfriará lentamente, causando considerable segregación. La segregación aumenta en el acero con la temperatura de colada (18).

d) *Temperatura en el interior del lingote al final de la colada.* La colada en caliente es causa de una segregación en V más pronunciada. Northcott afirma que un gradiente de temperatura pronunciado es un requisito previo para la presencia de segregaciones (12). L. N. Nelson recomienda el empleo de temperaturas normales de colada como la mejor manera de evitar una segregación excesiva.

e) *El desprendimiento de gases reduce la segregación por su efecto de agitación.*

f) *La diferencia en peso específico entre la aleación líquida y los cristales sólidos es la causa del depósito de éstos en la parte más baja de la zona de segregación negativa en los lingotes de acero (15).*

g) *La solidificación rápida atenua, según H. M. Howe, las segregaciones dendrítica y axiales en los lingotes de acero.* Todos los factores que conducen a una rápida solidificación, como por ejemplo la baja temperatura de colada, los moldes tríos y de gran masa, los lingotes estrechos, el pronto desmolde y la desoxidación completa para inducir subenfriamientos, reducirán la segregación.

h) *Conicidad del lingote.*—Puesto que la tendencia a la segregación es principalmente una función de la amplitud de la zona de solidificación, los aceros de distintas composiciones requieren diferentes concididades (4).

i) Ya se han indicado las causas inmediatas de la segregación inversa, como por ejemplo, gases ocultos a presión, contracción de las dendritas durante la solidificación y formación de conductos de penetración del líquido, así como el sedimentado de cristales en la parte inferior del lingote.

j) *La presencia de grandes proporciones de elementos segregables, especialmente P y S, aumenta, naturalmente, su segregación.*

k) La concentración de C en el acero puede elevarse a veces en la base del lingote, junto a la placa de fondo de la lingotera (21) (fig. 46).

IV. ALEACIONES INDUSTRIALES QUE PUEDEN PRESENTAR SEGREGACIONES

Todas las aleaciones que forman soluciones sólidas en la cristalización primaria, presentan segregación dendrítica en las piezas moldeadas. Algunas veces esta estructura no se revela por los métodos de ataque que se han citado o bien puede ser desfigurada por cambios subsiguientes durante el enfriamiento. Allí donde la proporción de elementos segregables es muy pequeña, la estructura dendrítica no se revela con claridad e incluso desaparece completamente.

A. Sauveur, que estudió durante mucho tiempo la estructura dendrítica en el acero, escribe: «Todos los aceros, independientemente de su composición, temperatura de colada y velocidad de enfriamiento, solidifican como una masa de cristales dendríticos». (70).

Los aceros de elevado contenido en C presentan mayor tendencia a la estructura dendrítica que los de bajo contenido en ese elemento; análogamente los aceros Cr-Ni la presentan también mayor que los C-Cr. En la fundición centrifugada los productos más pesados se concentran en la periferia y los más ligeros en el interior. Esta forma de separación por gravedad no se produce en la segregación normal por gravedad fundada en una solidificación diferencial con todos los fenómenos a ella asociados surgiendo espontáneamente en el acero durante su solidificación. La separación centrífuga es más efectiva, de tal manera que las aleaciones que no segregan en una colada ordinaria, pueden segregar en una colada centrifugada. Esto tiene muchas aplicaciones prácticas (67).

En los lingotes de acero efervescente la segregación es más compleja que en los lingotes de acero calmado o semicalmado. J. W. Halley y T. S. Washburn han proporcionado interesantes datos sobre la segregación en tres niveles de un lingote normal efervescente:

a) *En la parte superior*, el contenido en C disminuye hacia el interior del cerco, aumenta rápidamente en la parte que contiene las venteaduras secundarias y sigue aumentando hacia el centro del lingote.

b) *En su parte media* el carbono disminuye ligeramente en el cerco del lingote, aumenta en la región de las venteaduras secundarias, y es prácticamente constante en su parte central.

c) *En su parte inferior* el contenido en C es prácticamente uni-

torme en toda la sección. El Mn. disminuye en el cerco hacia el interior en toda su sección. El contenido en S es prácticamente constante en el cerco, mostrando un rápido aumento en la zona de las venteaduras secundarias. (37).

En los aceros calmados se han encontrado pocos casos de lingotes exudados. (10).

La segregación de carburos en los aceros extrarrápidos puede ser causa de serias dificultades. Como J. P. Gill señaló en su Campbell Lecture, la segregación viene inflada por muchos factores tales como el tamaño del lingote, la forma del molde, la temperatura de colada, la velocidad de enfriamiento y el trabajo mecánico a que se someta. W. H. Willis sostiene que cuando se incrementa el tamaño de las barretas de acero se hace difícil el problema de la distribución uniforme de los carburos; cree que puede obtenerse una distribución más homogénea por forja de estos aceros rápidos.

En la mayor parte de las aleaciones comerciales no férreas, se encuentran segregaciones de tipo inverso. (49).

En las aleaciones a base de Cu, el Sn y el Pb segregan considerablemente, mientras que el Zn, el Al y el Ni están uniformemente distribuidos.

En las aleaciones a base de Zn (con un 15% de Cu) tiene lugar una segregación negativa, de tal manera que la superficie de las piezas moldeadas tiene más Zn que el interior (40).

Los metales antifricción a base de Sn tienen reducida segregación, pero los de base Pb presentan alguna hacia el centro (Eagan, discusión en (13)).

En las aleaciones sintetizadas y en las de composición eutéctica no tiene lugar segregación alguna.



V. EFECTOS PERJUDICIALES DE LAS SEGREGACIONES

Las propiedades deseables en las aleaciones comerciales sólo pueden alcanzarse por una distribución uniforme de todos los constituyentes. Esta condición no la cumplen las aleaciones que presentan segregaciones: algunas partes de las piezas fabricadas con estas aleaciones presentan concentraciones demasiado elevadas o demasiado bajas en ciertos elementos. Las propiedades físicas en estas partes diferirán considerablemente de las normales del metal de composición media.

Son especialmente peligrosas excesivas cantidades de elementos perjudiciales tales como P y S en el acero. Su contenido máximo está estrictamente limitado por ciertas especificaciones y, aunque estas limitaciones pueden ser satisfechas por el análisis de una muestra media del material, su concentración puede localmente ser mucho mayor y exceder con mucho los límites permisibles.

C. E. Stromeyer reunió muchos informes de fallos en piezas de acero causados por un elevado contenido local en P. Entre ellos menciona una rotura de la plancha de una caldera con un 0.161 % de P en la zona afectada por la rotura. No puede pensarse que todo el acero de esa colada tuviese tan alto contenido en P.

Durante la primera guerra mundial los detonadores se hicieron de barras de acero destinadas en un principio a la fabricación de tornillos, con un contenido en S que oscilaba entre 0.08 y 0.14 %. Estos tubos se abrían en el ensayo del fulminato de mercurio a lo largo de líneas paralelas donde había segregación de azufre y donde la resistencia a la explosión era mucho menor. Es bien conocido que un elevado contenido de S en el acero le da fragilidad en caliente y determina serias dificultades en su fabricación.

La no homogénea distribución de los elementos de aleación en general, se debe objetar más en las aleaciones tratadas térmicamente porque puede conducir a la formación de fisuras de origen térmico, debida a una desigual contracción o expansión al enfriar o calentar.

La corrosión también se acelera por diferencias locales en la composición química.



VI. PREVENCIÓN Y ELIMINACIÓN DE LAS SEGREGACIONES

a) La segregación en el acero se restringe generalmente colando a la temperatura más baja posible y en lingoteras pequeñas (35). Larsen y Dudley recomiendan también el uso de moldes pequeños (21).

b) Es esencial para reducir la segregación llevar a cabo una desoxidación cuidadosa del acero en el horno. Todas las posibles reacciones deben terminarse en el baño fundido.

c) Para evitar una segregación excesiva, el acero calmado se debe colar a temperaturas normales (41).

d) Por la misma razón, el volumen de metal en la mazarota caliente debe de ser el correcto. Si fuese demasiado pequeño, el lingote presentaría segregación y rechupé; si fuese demasiado grande se malgastaría acero (41).

e) Para localizar la segregación en la parte del lingote que se desecha, se recomienda el uso de lingoteras con el extremo de mayor sección hacia arriba y mazarota caliente.

f) Larsen considera a la colada continua de tochos o palanquillas como de probable importancia comercial.

g) Para reducir al mínimo la segregación en los aceros efervescentes, Emerick recomienda una interrupción brusca de la efervescencia por tapado. Para esto se viene haciendo amplio uso de tapaderas de fundición muy pesadas, (21, discusión).

h) La segregación inversa disminuye, pudiendo llegar a ser de tipo normal, si se modifica la velocidad de solidificación en todas las direcciones. Una solidificación más lenta aumentará la difusión, disminuirá la tendencia a formar núcleos, y también enriquecerá el líquido en elementos disueltos. Una solidificación más rápida obstruye los conductos internos y bloquea el flujo interdendrítico.

i) La compresión de los lingotes de acero por el procedimiento Harnet evita la segregación.

j) Los lingotes de acero calmado no deben moverse antes de que hayan solidificado por completo.

k) La segregación en el acero rápido se puede reducir colando lingoteras pequeñas por su enfriamiento rápido. Si se aumenta el tamaño del lingote, los carburos que constituyen la red en las áreas segregadas, pueden precipitar en forma gruesa y deben romperse por forja o laminado.

l) Para regular la segregación en los metales antifricción, se recomienda (44): el uso de chapas soporte delgadas y de espesor uniforme; bajas temperaturas de colada y enfriamiento rápido y uniforme en toda la longitud del soporte; pocas revoluciones por minuto, solamente las suficientes para mantener el metal contra la pared del molde e inocular el metal fundido.

m) La adición de un 0,10% de Te contribuye a regular la segregación en los antifricción de base Sn. (44).

n) La agitación se usa generalmente para distribuir con más uniformidad los elementos segregables, especialmente en las aleaciones de bajo punto de fusión, se suelen agitar los baños fundidos.

o) Regulación de la segregación por agitación violenta del metal durante su solidificación. Hultgren ha descrito experimentos con moldes oscilantes que hacen prometedora su aplicación práctica (3).





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS MECANICAS METALICAS

FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LAS INCLUSIONES

Ing. José Pappaterra Caballero

JULIO, 1981



FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LAS INCLUSIONES

I - PROCESO DE FABRICACION

Tipo de horno, marcha, ferroaleaciones, combustible, etc.

II - CONDICION Y FORMA EN QUE SE REALIZA LA SOLIDIFICACION

Tiempo en que mantiene liquido, condiciones de enfriamiento, sistema de colada, dimensiones de la pieza, etc.

III - TRATAMIENTOS DE DEFORMACION PLASTICA

Los que sufre antes de su utilizacion final.

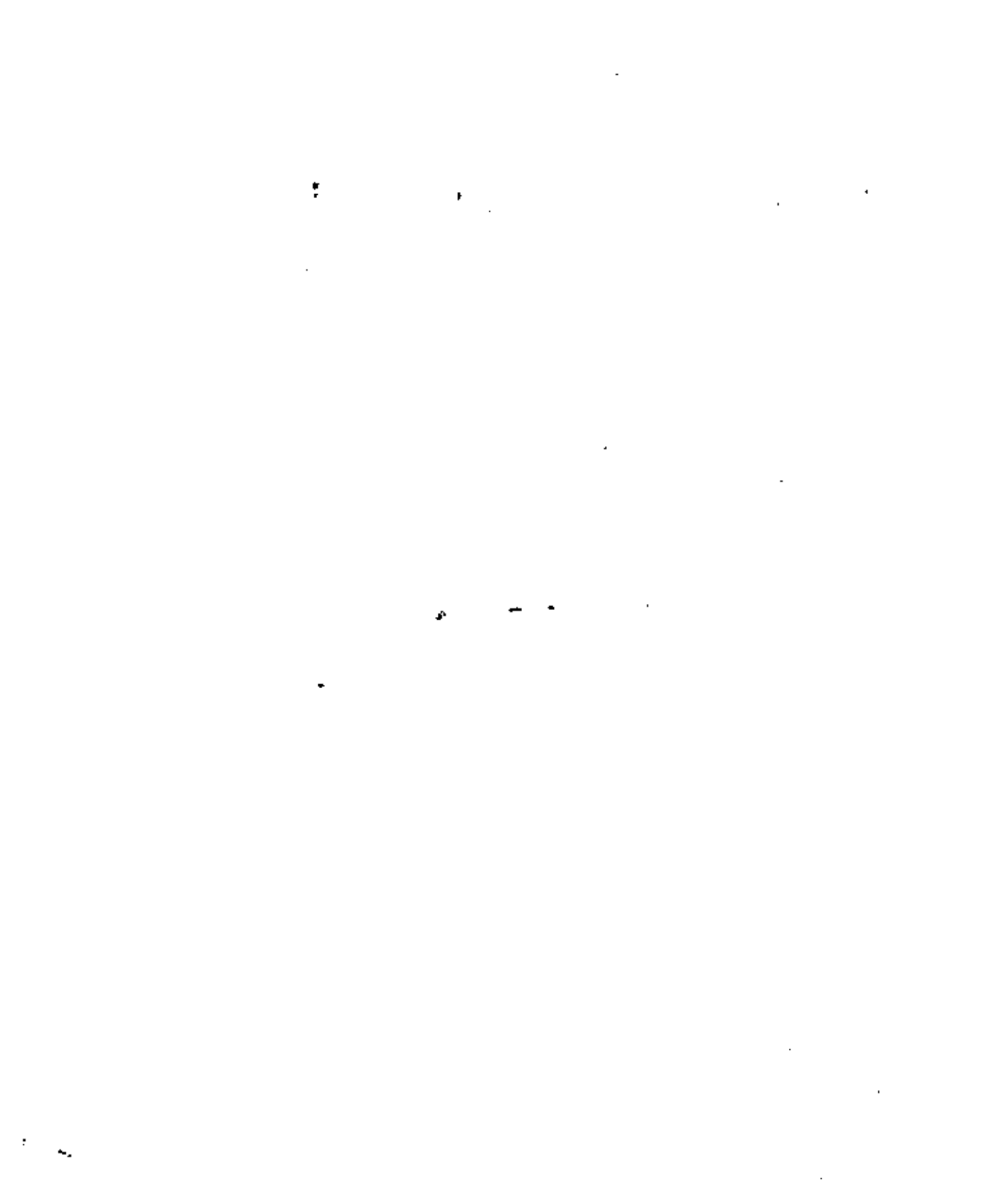
- INCLUSIONES -

A - CONGENITAS { Inherentes a la
aleación misma. } Inclusiones congenitas.

B - ACCIDENTALES { Inherentes a la
colada } Inclusiones de escoria.
suciedad.
Inclusiones metalicas
gotas frias

{ Inherentes al
moldeo } Inclusiones de arena
Inclusiones de negro

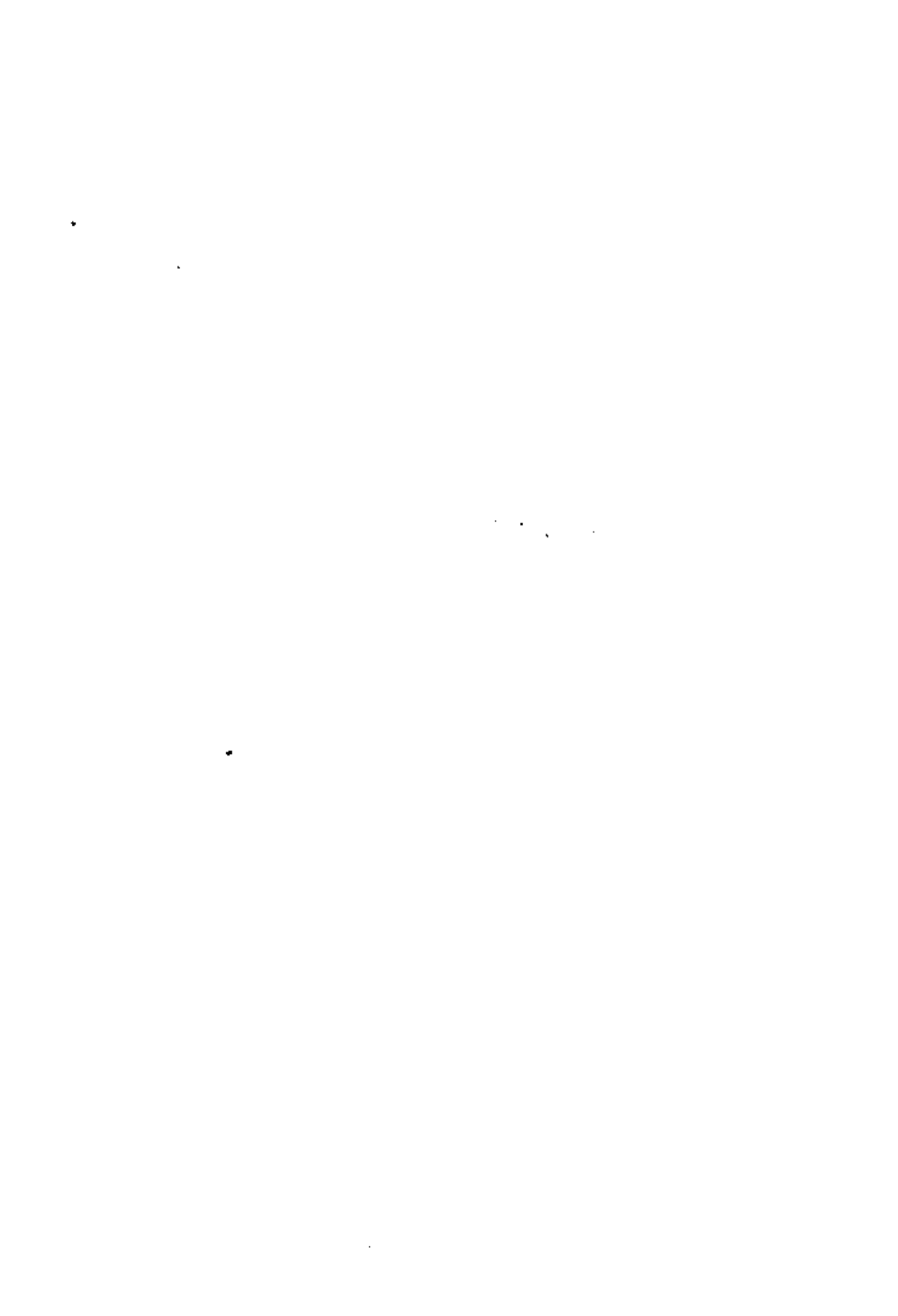
vacios.



INCLUSIONES CONGENITAS

DEFINICION

ES EL DEFECTO CARACTERIZADO POR EL APRISIONAMIENTO EN LAS PIEZAS DE PARTICULAS NO METALICAS RESULTANTES DE REACCIONES QUIMICAS EN EL SEÑO DE LA ALEACION.



FORMACION

7-4

A. INCLUSIONES OXIDADAS.

- son las más comunes.
- son particularmente nefastas para las propiedades mecánicas y la soldabilidad.
- Se eliminan por la adición de elementos capaces de reaccionar químicamente con ellos.
- Si los óxidos formados se disuelven en la aleación líquida sólo se eliminarán transformándolos previamente en otros óxidos o compuestos químicos insolubles que se podrán separar debido a su baja densidad.

La desoxidación en aleaciones ferrosas se hace por medio de:

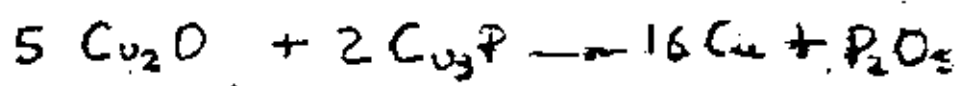
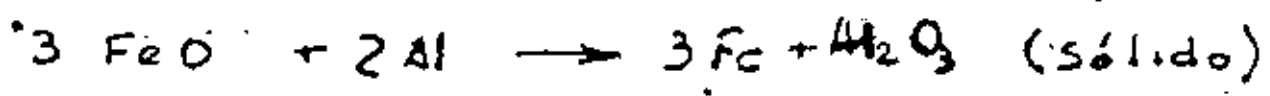
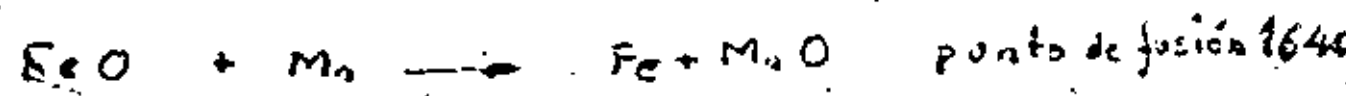
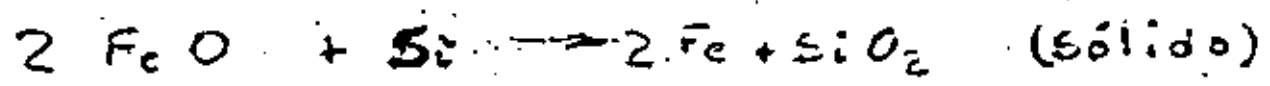
Silicio - Manganeso - Aluminio

En aleaciones cuprosas:

Fosforo de cobre.



LAS REACCIONES SON:

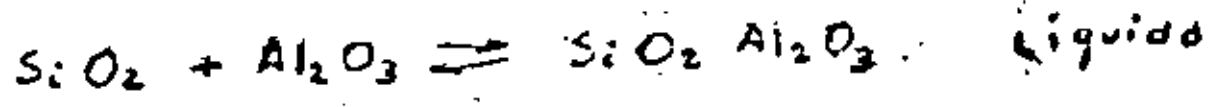
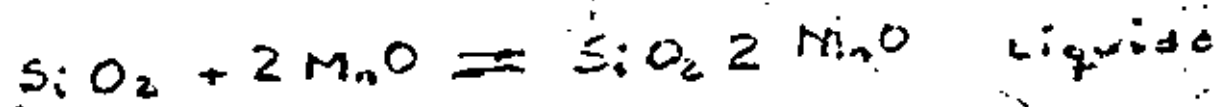


EN LOS METALES FERROSOS LOS PRODUCTOS DE LAS REACCIONES, OBTENIDOS AL ESTADO SÓLIDO

PUEBEN ELIMINARSE POR:

1- DIFERENCIA DE DENSIDAD

2- POR COMBINARSE NUEVAMENTE SEGUN:



LA ELIMINACION SE COMPLETA DESPUES

DE UN TIEMPO BASTANTE LARGO



FORMULA DE STOKES

La velocidad de ascenso de partículas de pequeñas en el seno de un líquido está dada por la fórmula de STOKES:

$$V = \frac{2}{9} g \cdot R^2 \frac{d_m + d_p}{\eta}$$

Siendo:

V = Velocidad de ascenso de las partículas en cm/seg .

R = Radio de la partícula en cm .

d_m = Densidad de la aleación.

d_p = Densidad de la partícula.

g = Aceleración de gravedad en cm/seg^2

η = Coeficiente de viscosidad en unidades CGS

ESTA FORMULA SOLO ES APLICABLE CON TODO RIGOR A PARTICULAS ESFERICAS.

EN EL CASO PRESENTE UNICAMENTE LAS PARTICULAS LIQUIDAS SATISFACEN ESTA CONDICION.

LAS PARTICULAS SOLIDAS CON ARISTAS VIVAS SE FRENAN DURANTE SU ASCENSO Y TIENEN POR CONSECUENCIA UNA VELOCIDAD INFERIOR.



- EJEMPLO NUMÉRICO -

Sea una partícula de 0,02 mm de diámetro contenida en acero líquido a 1500°C cuyo coeficiente de viscosidad es según SCHENCK, de la misma magnitud que el del agua a la temperatura ambiente: $\eta \cong 0,01$ unidades CGS. Supongamos que la densidad del metal sea 7 (acero a 12% de C a 1600°C) y la de las partículas sea 4 (aluminio). El cálculo da:

$$V = \frac{2}{9} \cdot 981 \cdot 0,001^2 \frac{(7-4)}{0,01} = 0,0654 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

Para que esta partícula ascienda un metro necesitará:

$$\frac{100}{0,0654} = 1,529 \text{ seg} \text{ ó } 25,5 \text{ min}$$

Los mismos cálculos aplicados a partículas de 0,2 mm y 0,002 mm de ϕ dan:

ϕ de la partícula: 0,2 mm 0,02 mm 0,002 mm

tiempo de ascenso por metro: 15,29 seg 25,5 min. 42 h.

Luego: La eliminación de los pequeños portículos es muy lenta.

Las gotas cuando forman gotas mayores son más fácilmente eliminables.

B. INCLUSIONES SULFURADAS

El S se combina con el Fe dando FeS soluble en todas las proporciones, en las aleaciones al estado líquido. Al estado sólido, por el contrario, el FeS es totalmente insoluble.

Durante la solidificación el FeS es progresivamente rechazado al líquido restante y al fin de la solidificación formará con el Fe un eutéctico $Fe - FeS$ que contiene el 3% de S que se solidifica a $985^{\circ}C$ y se deposita alrededor de los granos.

Cuando hay presencia simultánea de FeO en la aleación el eutéctico formado será ternario. Es un eutéctico ternario $Fe - FeS - FeO$ tiene una temperatura de solidificación aún más baja.

Si la segregación es importante se constata acumulaciones locales de estos eutécticos sulfurados. Estos son muy frágiles y perjudican considerablemente las propiedades mecánicas de la aleación.



Para eliminar el FeS se utiliza el Mn que posee una afinidad con el S superior a la del Fe

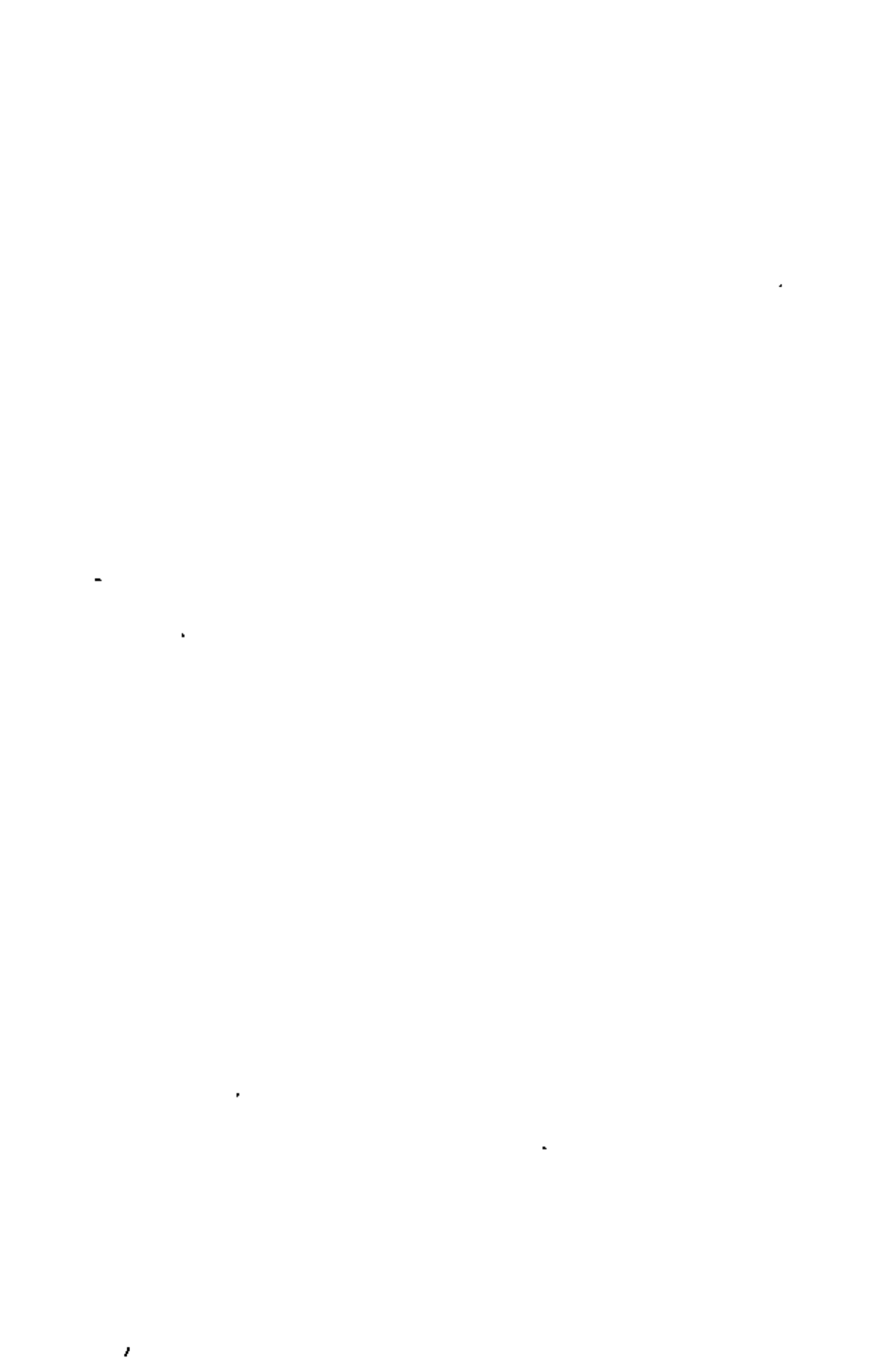


El MnS puro es casi insoluble en los metales ferrosos, pero lleva con él una cantidad variable de FeS con el cual es miscible. Luego:

- El S puede ser parcialmente eliminado bajo la forma de partículas sulfuradas sólidas compuestas



Estas partículas están sometidas a la ley de Stokes como las partículas oxidadas.



INCLUSIONES

CONGENITAS

OXIDADOS

OXIDOS

MnO con FeO disuelto

Al_2O_3

SiO_2

Cu_2O

SILICATOS

$SiO_2 \cdot 2FeO$

$SiO_2 \cdot FeO$

$SiO_2 \cdot 2MnO$

$SiO_2 \cdot MnO$

$SiO_2 \cdot Al_2O_3$

SULFURADOS | SOLUCIONES SOLIDAS x MnS , FeS

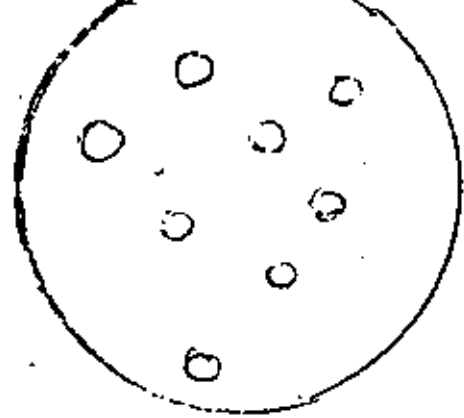
ASPECTO

son observables a simple vista y al microscopio.

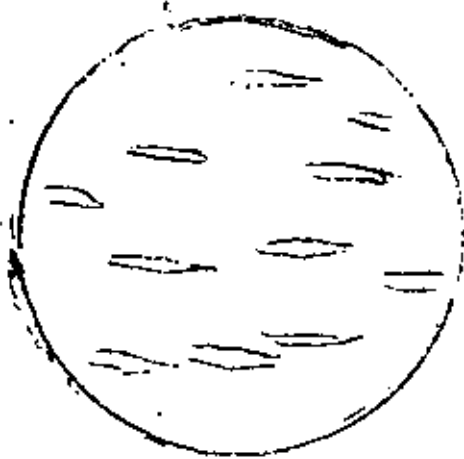
Los óxidos tienen alto punto de fusión y se separan como partículas sólidas de peg. dimensión y de forma generalmente irregular.

Los silicatos tienen punto de fusión bajo. Al parecer en estado líquido se aglomeran en gotas relativamente grandes cuyo contorno son más o menos arredondado.

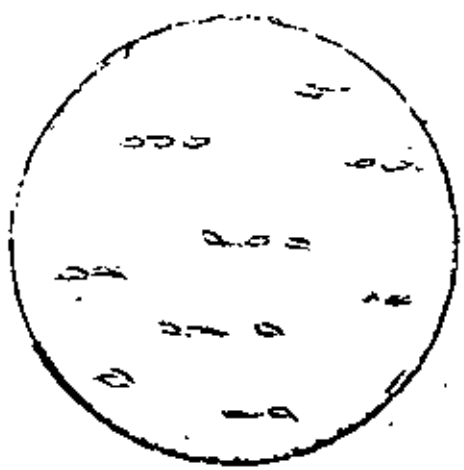
Las inclusiones sulfuradas se encuentran bajo forma de peg. cristales de MnS sumergidos en la ferrita.



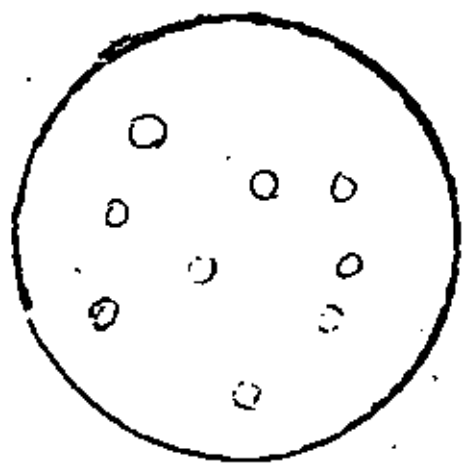
I NO ALTERADAS



II DUCTILES Y BLENDED



III FRAGILES Y ROTAS



IV RESISTENTES
NO AFECTADAS

CLASIFICACION DE LAS INCLUSIONES SEGUN NORMAS ASTM

(Adaptada de la ASS - Asociacion Svecos)

Las inclusiones se dividen en 4 clases:

- 1 - A - (Tipo sulfuros)
- 2 - B - (Tipo alumina)
- 3 - C - (Tipo silicatos)
- 4 - D - (Tipo Oxidos globulares)

La clase se divide en cinco grupos:

del 1 al 5

que corresponde a la cantidad

de cada grupo ad. 2 modalidades:

FINAS > GRUESAS

AVALIAÇÃO DA QUANTIDADE DE INCLUSÕES NOS AÇOS

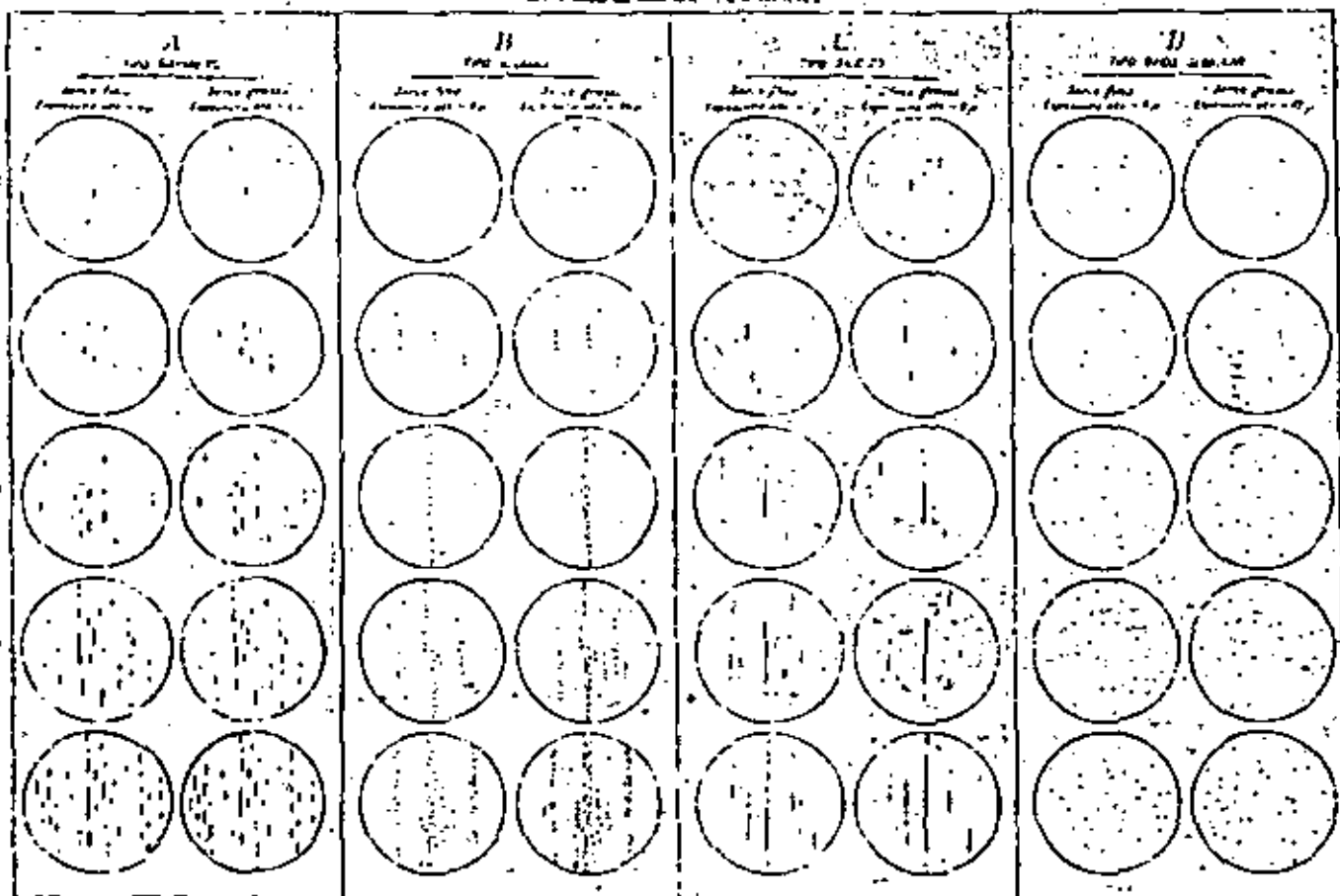


Fig. 307 - Classificação para avaliação microscópica das inclusões nos aços adotada pela Associação dos Siderúrgicos Suecos (Jernkontoret) de Estocolmo, de acordo com a norma SFS 43, versão revisada de que esta figura.



CAUSAS

Son debidas a la presencia de óxidos y de S que por reacciones químicas con otros componentes dan productos insolubles en la aleación.

Éstos últimos no han podido ascender a la superficie del baño porque no posee la fluidez requerida, y no ha transcurrido el tiempo requerido.

CAUSAS

Son debidas a la presencia de óxidos y de S que por reacciones químicas con otros componentes dan productos insolubles en la aleación.

Éstos últimos no han podido ascender a la superficie del baño porque no posee la fluidez requerida, no ha transcurrido el tiempo requerido

EFECTO

1 - Deformación plástica en caliente

- bajo punto de fusión

2 - Deformación en frío

- inclusiones duras obstaculizan considerablemente estos trabajos.

3 - Características mecánicas

- Estructura fibrosa, propiedades unidireccionales
- Reduce tenacidad.
- Fatiga
- Red de inclusiones dirige la formación de la ferrita.
- La propagación de las fisuras.

4 - Grado de terminación superficial

- Afecta al corte
- Efecto abrasivo, desgaste
- Terminación deficiente
- Corte por golpe, desgaste prematuro matrices y punz
- La presencia de inclusiones reduce considerablemente el rendimiento de los cojinetes a ballesta.

5 - Tratamientos Térmicos

- Retardo del crecimiento de grano.

REMEDIOS (RESUMEN)

9.17

I - Reducir los tenores en oxido y en azufre

A - Oxidos

1º Cargas :

- a - Evitar los materiales oxidados;
- b - Evitar el empleo los materiales muy fraccionados

2º Marcha de la fusión

- a - Regular la atmósfera del horno
- b - Controlar la composición de los materiales empleadas

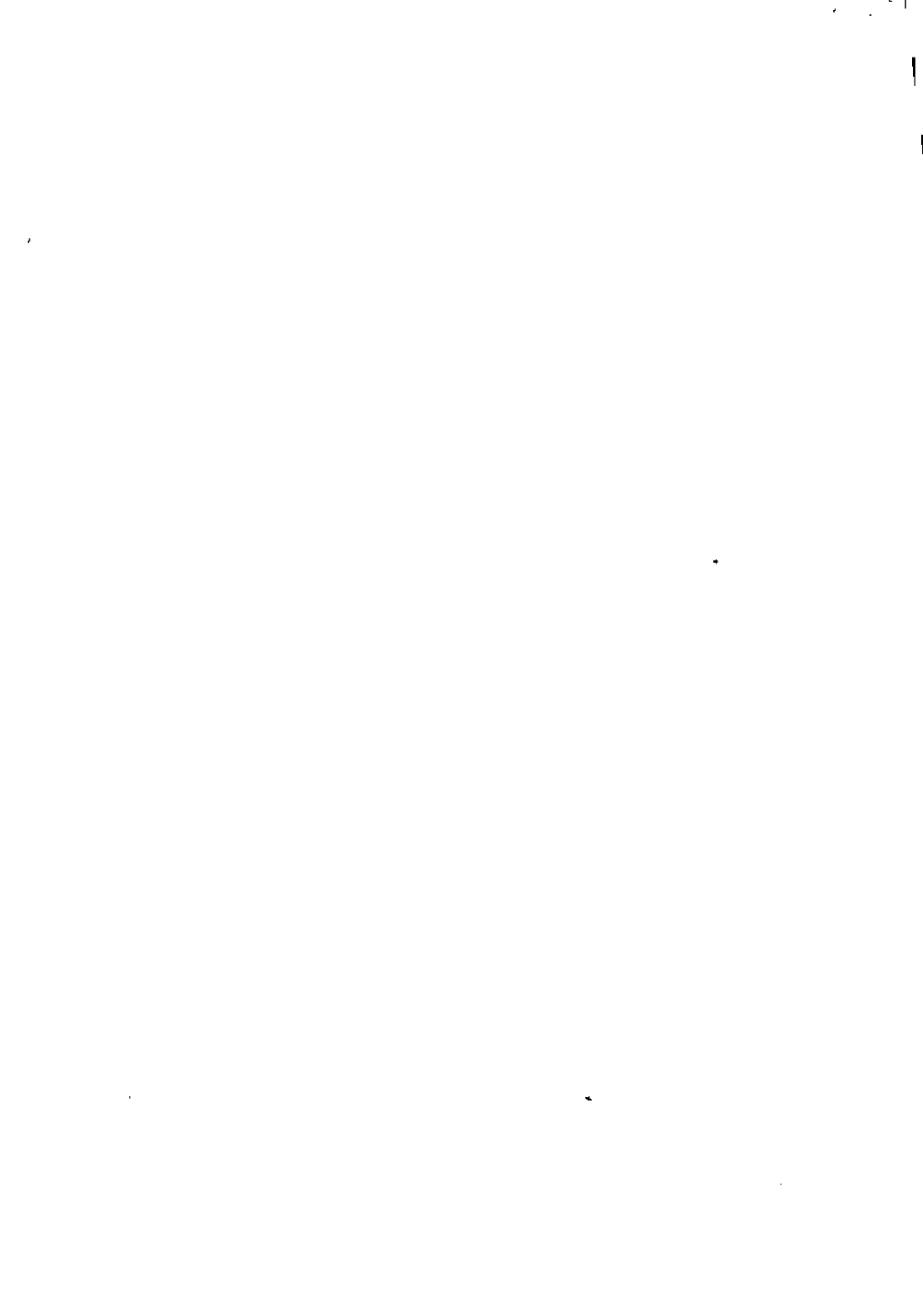
B - Azufre

- 1º Eliminar las materias primas muy sulfuradas
- 2º - Reducir al mínimo las materias primas que absorben fuertemente el S. (aceros en el cubilote)
- 3º Reducir eventualmente la proporción de chisarra en la carga.
- 4º Utilizar un combustible poco sulfurado

II - Eliminar óxidos y sulfuros por reacciones químicas

III - Eliminar los productos de estas reacciones.

- A - Formar de preferencia productos líquidos (silicatos duros)
- B - Mantener la aleación durante un tiempo suficiente a fin de permitir el escape de los productos de reacción
- C - Utilizar procedimientos mecánicos que faciliten la eliminación de partículas



LAS INCLUSIONES

SON

¿BUENAS O MALAS ?





Fig. 73 x 350

Cristales de sulfuro de manganeso en la fundición gris



Fig. 74 x 130

Acero con impureza distribuida en forma reticular.



Fig. 75 x 137

Cobre moldeado reducido con bario.

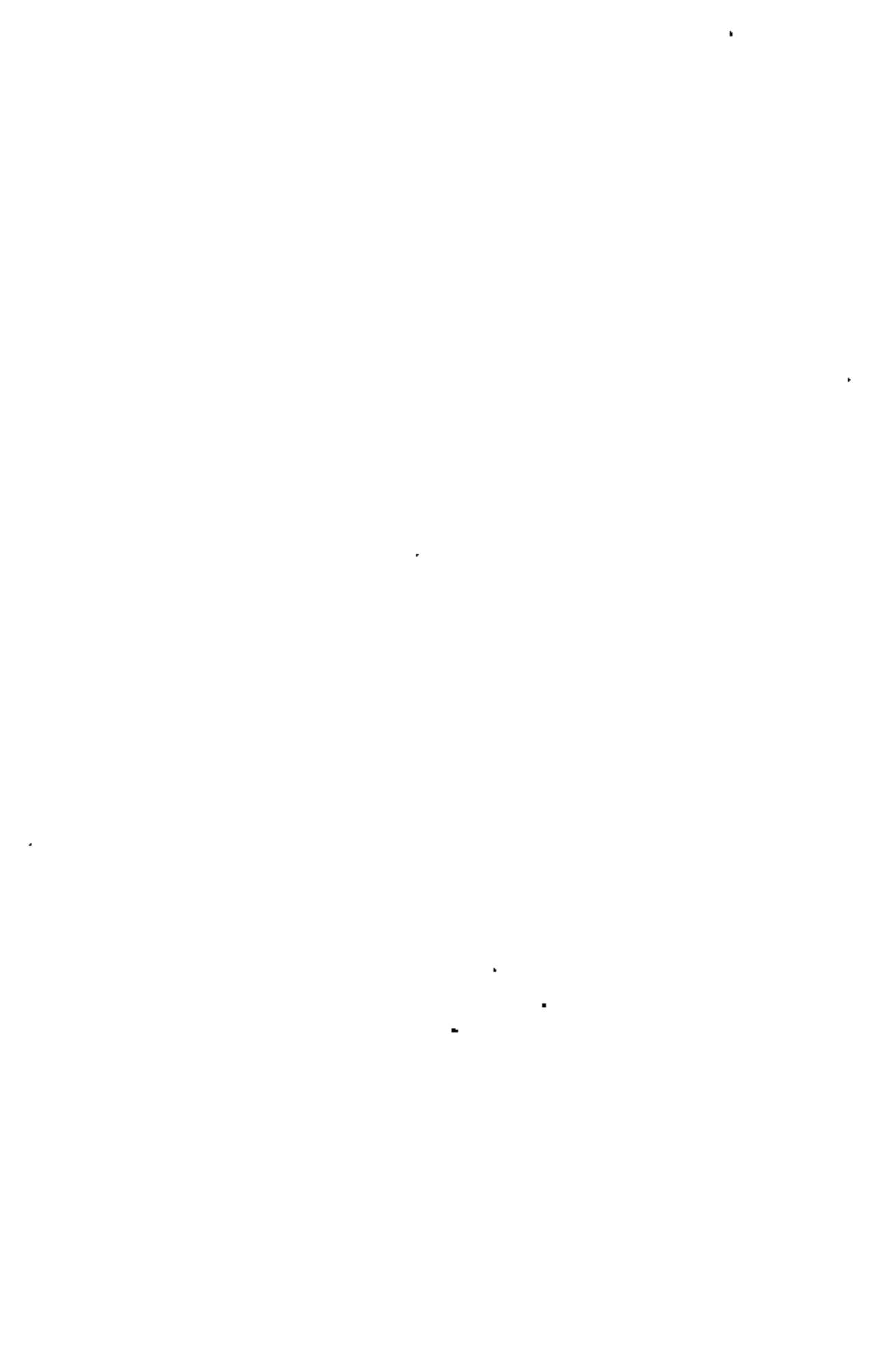




FIG. 78 x 350

Eutectico en forma de azúcar (blanco) en la fundición gris.



FIG. 79 x 320

Eutectico en la fundición gris.



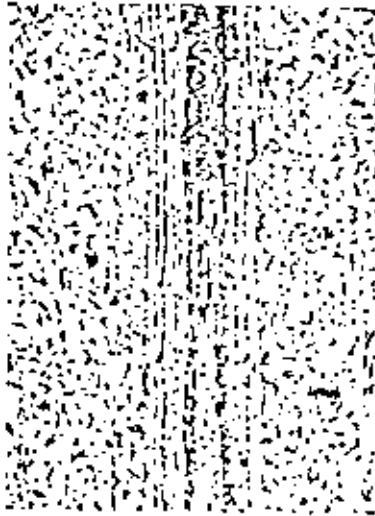


Fig. 60 x 35
Acero estructural. Banda de segregación.

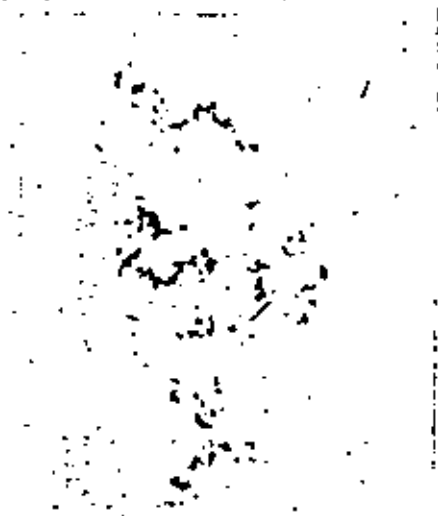


Fig. 61 x 200
Alúmina en acero.



Fig. 62 x 150
Hierro pudelado.



Fig. 63 x 200
Hierro colado nitrurado.





FIG. 87 x 130
 Hierro maleable.

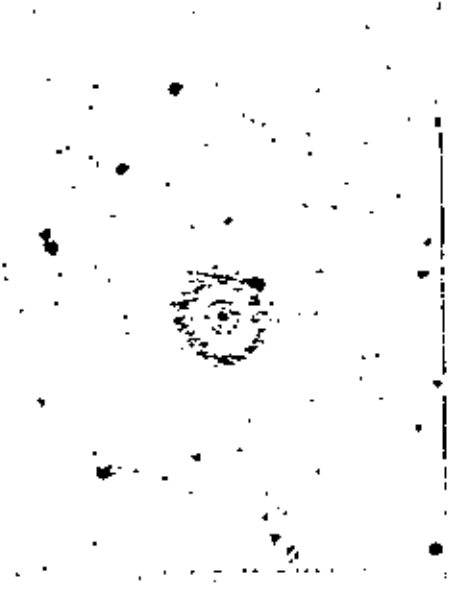


FIG. 88 x 20
 Acero.—Sin ataque.



FIG. 89 x 130
 Acero al silicio (1% Si)





FIG. 90 x 565
Eutectico Cu-O-Cu.



FIG. 91 x 330
Cobre trabajado en frio recrystalizado durante el secado

Oxido cuproso en cobre



FIG. 92 x 130
Fundición de cobre fosforado. Profundamente atacado con persulfato amónico.

Impurezas en solución en el cobre.

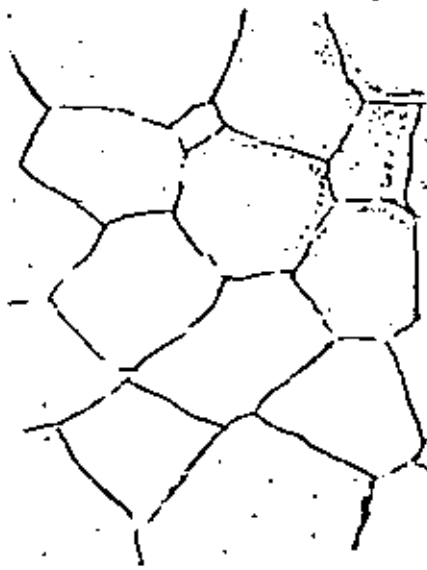


FIG. 93 x 35
Fundición de cobre refundido al fuego





FIG. 94 x 150

Alineación producido por trabajo en frío en cobre electroлитico.

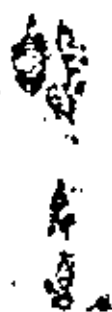


FIG. 95 x 200

Inclusiones en arena laminado.



FIG. 96 x 50

Estrofinación de los granos en una fundición de cobre.
 (Obtenido por el procedimiento Electrolytic.)





FIG. 97

25

Sección profundamente atacada de un perno de acero con estructura fibrosa producida por segregación de azufre (acero de fácil metalización).





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS
METALICAS**

**METODO PARA LA SELECCION Y DETERMINACION DE MEDIDAS
CORRECTIVAS EN DEFECTOS DE FUNDICION**

Ing. José Pappaterra Caballero

Junio, 1981

METODO PARA LA SELECCION Y DETERMINACION DE MEDIDAS CORRECTIVAS EN DEFECTOS DE FUNDICION

JOSÉ PAPPATERIA

1 — OBJETO

La motivación de este trabajo es desarrollar un procedimiento racional y metódico que dentro de ciertos límites, haga posible la selección de la acción correctiva más conveniente para aplicar en los distintos casos o situaciones que suelen presentarse.

Los fines esenciales enunciados sólo se satisfacen empleando procedimientos que se basan en reglas generales, así como en principios de orden superior aplicados según un riguroso razonamiento.

La palabra "principio" se usa aquí para significar: "Ley o regla general adoptada para servir como guía de una acción; una base establecida de conducta, o práctica".

Precisamente, la razón de este trabajo es la de establecer el camino a seguir para alcanzar el objetivo propuesto.

PARTE I

ENUNCIADO Y DESARROLLO DEL METODO

1 — INTRODUCCION.

Producir con la calidad adecuada en fundiciones, consiste en ajustar la calidad al cumplimiento de exigencias normalizadas óptimas, sin sobrepasarlas ni quedar por debajo de las normas y especificaciones, puesto que de producirse alguna de estas circunstancias, supone un encarecimiento o una inadecuación del producto.

Para mantenerse dentro de la calidad óptima se requiere un eficiente control sistemático, desde las materias primas hasta la pieza terminada.

Considerarse como defectos las fallas que se presentan por incumplimiento de las especificaciones y normas aceptadas.

Por lo general los defectos aparecen en piezas terminadas y el control de las mismas permite detectar en definitiva las causas de las anomalías que éstas presentan, porque es posible, por este medio, la obtención del diagnóstico del defecto.

Para conocer qué sucede y obtener una información útil con respecto a los defectos, es necesario llevar un registro de los acontecimientos suficientemente importantes para obtener conclusiones que nos sirvan de guía para las futuras acciones.

De estos registros se puede deducir que podemos encontrarnos frente a cualquiera de las cuatro siguientes situaciones:

Caso A — Determinar las medidas correctivas óptimas para un defecto que aparece en una determinada pieza.

Caso B — Determinar las medidas correctivas óptimas para un defecto que aparece en distintas piezas.

Caso C — Determinar las medidas correctivas óptimas para distintos defectos que aparecen en una misma pieza.

Caso D — Determinar las medidas correctivas óptimas para distintos defectos que aparecen en distintas piezas.

Para el desarrollo del método sólo se tendrá en cuenta el "Caso-A", debido a que los otros casos son similares, y que presentan variantes que serán establecidas más adelante.

2 — ENUNCIADO

El método a desarrollar consiste en adoptar rigurosamente el siguiente proceso o marcha:

1º — Identificar lo más fehacientemente posible, con la debida distinción, el defecto en cuestión.

2º — Establecer ordenadamente todas las acciones que tiendan a evitar el defecto.

3º — Determinar los factores restrictivos que influyen en las acciones.

4º — Confrontar, uno con uno, cada factor restrictivo con cada acción. Aquellas acciones no compatibles serán consideradas no posibles para nuestro caso.

5º — Establecer los datos correspondientes a las acciones restantes.

6º — Confrontar nuevamente, una con una, las acciones restantes con los datos, eliminando las acciones restantes no compatibles con los mismos. Las acciones que quedan son las soluciones posibles.

7º — Distinguir las soluciones posibles para establecer la conveniencia y el orden de aplicación de las mismas.

Continuamos, pues, con un análisis de los pasos enunciados.

3 — LA IDENTIFICACION

Mediante la identificación se establecen, para cada defecto, ciertos atributos que los hacen reconocibles, precisándolos de manera constante. Se trata, pues, de un procedimiento generador de orden.

La falta de identificación acarrea consecuencias que conducen a un estado de desorden y confusión, mientras que los procedimientos adecuados de identificación permiten eliminar riesgos de errores perjudiciales, malos entendidos, discusiones y pérdidas de tiempo.

Existen diversos procedimientos para la identificación. Son mejores los que dejan establecida, con plena evidencia, la identidad y la clara correspondencia entre el defecto y su denominación.

Esencialmente, la identificación se basa en:

1º — Adoptar una clasificación correcta que establezca las pautas de ordenamiento.

2º — Adoptar una nomenclatura y denominación adecuadas para la mejor distinción y fijación de las variantes.

3º — Establecer una correcta descripción para las variantes de los defectos.

a) Clasificación de los defectos de fundición

Los defectos de fundición pueden clasificarse en base a efectuar una división aplicando: un solo criterio o fundamento, o varios criterios combinados.

Los fundamentos de mayor empleo son:

1º — Según la naturaleza del defecto.

2º — Según el origen del defecto.

3º — Según las causas del defecto.

Se infiere que es posible establecer varias clasificaciones.

Clasificación según la naturaleza del defecto.

En primera instancia es posible agruparlos en:

1º — Defectos con manifestaciones exteriores.

2º — Defectos ocultos.

Corresponden al grupo 1º:

A — Excelsos.

B — Cavidades al exterior.

C — Piezas incompletas.

D — Solución de continuidad.

E — Dimensiones o formas incorrectas.

F — Otros.

Corresponden al grupo 2º:

H — Cavidades en el interior.

I — Heterogeneidades o inclusiones.

J — Defectos detectables por ensayos.

K — Otros.

Esta clasificación permite determinar mejor que defectos presentan las piezas producidas, por establecer una fácil identificación de los mismos y de allí la conveniencia para su aplicación en este trabajo.

La clasificación adoptada es similar en ciertos aspectos a la Clasificación Internacional de Defectos de Fundición.

Clasificación según su origen.

Está basada en las operaciones y medios empleados en la producción, por los cuales se pueden originar defectos:

Se suele agrupar según:

1º — *Discño*

A — Diseñar

B — Modelo

2º — *Fusión*

A — Composición

B — Fundir

3º — *Moldeo*

A — Cajas y aparejos

B — Arena de moldeo

C — Machos

D — Moldear

4º — *Cólado*

5º — *Varios*

Esta clasificación es la establecida por la AFS y facilita la localización

por la det. ^{ca} nización de donde se origina el defecto, con el fin de evitar la repetición de los mismos.

Clasificación según las causas de los defectos

Ciertas propiedades físicas, químicas y estructurales de los elementos en juego, cuando no cumplen con lo requerido para la obtención de la pieza sana, son las causantes de los defectos de fundición.

Pueden agruparse en: propiedades correspondientes al contenido (metal); las correspondientes al contenedor (molde), y las derivadas de la acción molde-metal.

1º — Metal

Defectos debidos a:

- A — La contracción (líquida y sólida)
- B — La solubilidad
- C — Los gases del metal líquido
- D — Propiedades físicas, químicas y estructurales no acordes.
- E — Presión
- F — Otros.

2º — Molde

Defectos debidos a:

- A — La permeabilidad
- B — La resistencia
- C — La colapsabilidad
- D — La refractariedad
- E — Las dimensiones no acordes
- F — Otros

3º — Acción molde-metal

Defectos debidos a:

- A — Las reacciones molde-metal (carbono y óxido de hierro etc.)
- B — El pintado
- C — Los gases
- D — Otros.

La clasificación según las causas es adecuada para su aplicación a los estudios de orden teórico, ya que permite un agrupamiento lógico en cuanto a los fenómenos generadores de defectos se refiera.

Además existen otras clasificaciones base de estrilios los defectos de fundición.

b) Nomenclatura, denominación y descripción

La nomenclatura y denominación adecuadas son las que permiten una correcta distinción y fijación de las variantes significativas.

Existen indicios tales como: la forma, aspecto, orientación, cantidad, tamaño, extensión, ubicación, que caracterizan a cada defecto y que establecen la distinción que existe entre ellos; para lo cual es necesario describirlos claramente y con cierto grado de precisión.

Cada uno de los indicios importantes que caracteriza al defecto, debe ser descripto, y resulta de más valor si se emplea sólo una determinada terminología en base a adoptar términos y la definición de los mismos; pues de este modo proporciona siempre la misma información y no está sujeta a interpretaciones erróneas.

Por otra parte, es conveniente reunir ordenadamente las descripciones de los indicios correspondientes a un determinado defecto, acompañadas de las correspondientes figuras, fotografías, etc., a fin de establecer la identificación del defecto.

Agrupando estas descripciones de los defectos con denominación numérica, se obtiene un clasificador que tiene la ventaja de orientar rápidamente, por cuanto presenta ordenadamente, para cada tipo de defecto, las variantes correspondientes.

En cuanto a la denominación numérica es posible asignar un número que corresponda a cada indicio o característica, obteniéndose de este modo una cifra propia para cada defecto, y además permiten reproducirlas invariablemente siempre que intervienen tales características.

Constituye el procedimiento más adecuado por las siguientes ventajas:

- Por la elasticidad para alcanzar el grado de detalle necesario.
- Por su uso en series continuas, prácticamente sin límites.
- Por ocupar su anotación espacio reducido.
- Por la claridad y facilidad en la lectura.
- Por la rapidez en la registración, enunciación y transcripción, además de la sencillez en la confrontación.
- Por facilitar la agrupación por características similares y por ende, la investigación y detección de determinados aspectos, circunstancias, etc.
- Por la facilidad mnemotécnica.
- Por la facilidad en controles estadísticos.

La experiencia y la investigación han establecido las causas que originan los defectos y las acciones que permiten contrarrestarlas.

1º — Acciones que disminuyen o eliminan las causas que originan los defectos.

Por ejemplo:

— Si el defecto se debe a la contracción del metal, la acción puede ser: emplear otra aleación que contraiga menos.

— Si el defecto se debe a la falta de colabilidad del metal, la acción puede ser: emplear otra aleación que cuele mejor o aumentar la temperatura.

2º — Acciones que facilitan la eliminación de los factores que se oponen a las causas.

Por ejemplo:

— Si el defecto se debe a la contracción del metal, la acción puede ser: aumentar la compresibilidad del molde o macho moldeando en verde, introducir huecos, atacar menos duro, incorporar a la arena materias q' compresibles, etc.

— Si el defecto se debe a la falta de colabilidad, la acción puede ser: calentar el molde, etc.

3º — Acciones para reforzar las zonas débiles.

Por ejemplo:

— Si el defecto se debe a la contracción del metal y presenta fractura irregular en zonas sometidas a esfuerzos por esta causa, la acción puede ser: introducir nervaduras, acuerdos progresivos entre distintos espesores, etc.

— Si el defecto se debe al desplazamiento de machos, la acción puede ser: colocar soportes, etc.

4º — Acciones en base a modificar métodos, sistemas y otras.

— Por cambio a molde o macho cáscara.

— Por empleo de inoculantes.

— Otras.

5 — RESTRICCIONES.

Designaremos "restricciones" a las condiciones limitativas en que se desenvuelven acciones y que por lo general no están al alcance del

que las ejecuta o modificarlas. Como guía para la posible detección de las restricciones se agrega la siguiente lista y el examen de la misma puede sugerir las correspondientes o propias del caso que se estudia.

1 — Piezas por encargo y en las cuales no es posible introducir modificaciones a las especificaciones de las mismas.

▪ En la composición.

▪ En la geometría de la pieza por introducción de nervaduras, acuerdos progresivos, etc.

2 — Limitaciones del equipo existente y/o empleo de medios no disponibles que tienen relación con el caso tratado.

3 — Limitaciones en cuanto a los procedimientos.

4 — Limitaciones de orden económico.

5 — Limitaciones de orden financiero.

6 — Limitaciones de orden técnico.

7 — Limitaciones de tiempo.

8 — Cantidad de piezas.

9 — Otras.

6 — LOS DATOS.

Llamaremos datos a las acciones (o sus resultados) realizados para la obtención de la pieza de fundición.

Los datos a consignar en la aplicación del método deben ser solamente los necesarios y suficientes.

Para evitar los gastos innecesarios es conveniente obtener solamente aquellos referentes a las acciones restantes, al confrontamiento entre las acciones y las restricciones, de modo tal que si una de las acciones restantes consiste en elevar la temperatura del metal a colar, el dato deberá ser la temperatura a que se cuele éste. Si dicha temperatura ya es elevada, la acción de elevar la temperatura no es posible.

Si por ejemplo la acción consiste en inclinar el molde, el dato es la posición del molde, y además, según el caso, puede ser necesaria también, la geometría de la pieza.

7 — DISCUSION DE RESULTADOS.

El número de acciones posibles está relacionado con el número de acciones que tienden a evitar el defecto, compatibles con las restricciones y las acciones ya adoptadas (datos).

De la aplicación de esta confrontación puede resultar que son aplicables: ninguna, una, dos, o más acciones posibles.

— Si ninguna acción es posible, significa: que es necesario modificar o revisar las restricciones.

- Si una acción es posible, significa que la acción es única, salvo que se modifiquen las restricciones.
- Si dos o más acciones son posibles, significa, según el caso:
 - Que deben aplicarse simultáneamente todas las acciones, o,
 - Que deben aplicarse simultáneamente parte de las acciones, para lo cual hay que determinar y aplicar la, o las soluciones óptimas.

A - PROCEDIMIENTO.

Para seguir el método ya enunciado es conveniente, sobre todo en los casos complicados, proceder de la siguiente manera:

- 1º - Disponer la identificación, acciones, restricciones y datos como lo indica la Figura 1.
- 2º - Identificado el defecto XXXX, establecer el listado de acciones: A 1, A 2, ..., A n (consultando antecedentes).
- 3º - Determinar las restricciones convenientes (consultando el listado correspondiente).
- 4º - Confrontar cada restricción R 1, R 2, ..., R n con cada acción A 1, A 2, ..., A n anulando aquellas que no son posibles, por ejemplo la A 2.

IDENTIFICACION:		RESTRICCIONES:	
X -	1	R 1	3
X -		R 2	
X -		-	
X -		R n	
DATOS		ACCIONES	NO por
D 1	4	A 1	
D 2		A 2	R 1
D 3		A 3	
-		A 4	D 3
D n		A n	

- 5º - Establecer los datos D 1, D 2, ..., D n, correspondientes a las acciones A 1, A 3, A 4, etc.
- 6º - Confrontar cada dato D 1, D 2, ..., D n con cada acción A 1, A 3, A 4, etc., anulando aquellas que ahora no son posibles, por ejemplo la A 4.
- 7º - Discutir las soluciones posibles A 1, A 3, A n.

9 - GENERALIZACION DEL CASO A.

- Caso B** - El tratamiento es similar al Caso A, salvo que en el rubro "datos" deberán consignarse los correspondientes a las distintas piezas.
- Caso C** - Deberá procederse con cada uno de los distintos defectos como en el caso A. Para la discusión de resultados única, se deberán tener en cuenta los comunes.
- Caso D** - Deberá dividirse en tantos casos (A, B y C) como convenga, y se debe adoptar la discusión de resultados que corresponda.

PORTE II

APLICACION

1 - PLANTEO.

Con el fin de establecer la acción correctiva más conveniente aplicamos el método propuesto en la Parte I, Caso A, para una pieza que presenta una fractura en caliente. No se describen detalles y circunstancias en que se produce el defecto con el fin de evitar la repetición del enunciado de los mismos, de modo que los iremos incorporando a medida que sea necesario.

Se presenta un ejemplo poco complejo que permite mostrar un esquema simple del método.

La aplicación del método se justifica para una producción de cierto volumen y variedad; se supone estar comprendido en tal situación.

2 - IDENTIFICACION.

A los fines de la identificación, previamente se realizan los siguientes pasos:

- 1º - Describir los mecanismos de formación del grupo de defectos; solución de continuidad.

- 2º — Establecer el significado de ciertas palabras y frases claves para la correcta descripción.
- 3º — Estructurar el clasificador:
- adoptando una clasificación de los defectos;
 - estableciendo los factores que los definen;
 - describiendo los factores;
 - asignando un número característico a cada clase y factor;
 - reuniendo en la especificación correspondiente a cada defecto, la descripción de los factores, para establecer la denominación numérica.
- 4º — Por último, por medio de un cotejo entre los defectos con las especificaciones, se identifican los defectos.

A continuación y como ejemplo, se realizan los pasos necesarios para la correcta identificación.

a) *Mecanismos de formación del defecto.*

Solución de continuidad

- 1º — Las roturas se producen porque los esfuerzos han vencido la resistencia del material, y pueden ocurrir a distintas temperaturas (alta, mediana o baja).
- Los esfuerzos pueden generarse por dificultades a la libre contracción durante la solidificación y enfriamiento de la pieza, o por mal trato (choque).
- Las dificultades pueden originarse por la excesiva rigidez del molde, del macho, o por diferencias de enfriamiento debidas a la forma, espesor, etc.
- 2º — Las separaciones por falta de unión se deben a la acción de los óxidos superficiales de las corrientes de alimentación o por corte de la misma.

b) *Terminología adoptada:*

- A los efectos de la confección de las descripciones del clasificador, emplearemos las palabras con el sentido que se establece a continuación:
- *Hendidura:* Abertura prolongada (alargada) en un cuerpo sólido (pieza).
 - *Grieta:* Hendidura poco profunda que se forma en la superficie (piel).
 - *Fractura:* Hendidura (rotura) producida por esfuerzos.
 - *Abertura:* hendidura, grieta, fractura.

- *Pieza fragmentada:* Cuando presenta hendiduras que la dividen en partes separadas.
- *Pieza unida con hendiduras:* Cuando las hendiduras no alcanzan a separar la pieza en partes.
- *Muy caliente:* Temperatura un poco por debajo de la temperatura de solidificación del metal.
- *Mediamente caliente:* (o temperaturas intermedias) es la temperatura a la cual la aleación puede soportar esfuerzos más o menos elevados.
- *Temperatura baja:* vecina a la temperatura ambiente.

c) *Clasificación numérica.*

1º — *Clasificación adoptada:*

Fundamento de la división	DENOMINACION GENERICA DEL DEFECTO	Cifra clave
Defectos con manifestaciones externas en la pieza	Excesencias	1000
	Cavidades externas	2000
	Piezas Incompletas	3000
	Solución de continuidad	4000
	Dimensiones o formas incorrectas	5000
	Otros	8000
Defectos con manifestaciones internas o intrínsecas en la pieza	Cavidades Internas	0000
	Heterogeneidades	7000
	Propiedades mecánicas, físicas, etc. no conformes	6000
	Otros	9000

2º — *Agrupamiento.*

Contenido del grupo 4000

En este grupo se incluyen los defectos en piezas aunque bien constituidas, están caracterizadas por la falta de unión del metal en un cuerpo a pieza.

DESCRIPCION DEL FACTOR ASPECTO DEL DEFECTO

Corresponde al tercer lugar de la denominación numérica: 4...X.

ASPECTO DE LA SECCION DE LA ABERTURA	
1	Granuloso, grueso, algunos granos arrancados, coloreados (azulados) por la oxidación en caliente (muy caliente).
2	Granuloso, granos algo arrancados, coloreados por la oxidación en caliente (azulados), (muy caliente).
3	Granuloso, rotura neta, coloreados por la oxidación en caliente. (mucho más pronunciado).
4	Granuloso, rotura neta, de aspecto metálico sin colorear. (Temperatura baja).
5	Liso, neta, de la misma coloración que la piel de la pieza.

DESCRIPCION DEL FACTOR UBICACION DEL DEFECTO

Corresponde al cuarto lugar de la denominación numérica: 4...X

LUGAR		Localización, y/o posición
1	En la zona de enfriamiento más lento que el resto de la pieza, en las mancuernas o equivalentes de masa local, en los espaldones entre partes de la pieza (profundos).	Perpendicular al sentido de los esfuerzos de contracción
2	En la zona donde interacciona sollicitaciones internas sobrepasan a la resistencia del material (toda la sección)	La sección más débil perpendicular a los esfuerzos de contracción
3	En la superficie (superficiales)	Perpendicular al sentido de los esfuerzos de contracción
4	En la confluencia o unión de corrientes de metal que forma el metal al llenar el molde	Generalmente en un plano vertical con respecto a la posición de llenado

DESCRIPCION DEL FACTOR ESTRUCTURA DEL DEFECTO

Corresponde al segundo lugar de la denominación numérica: 4...X...

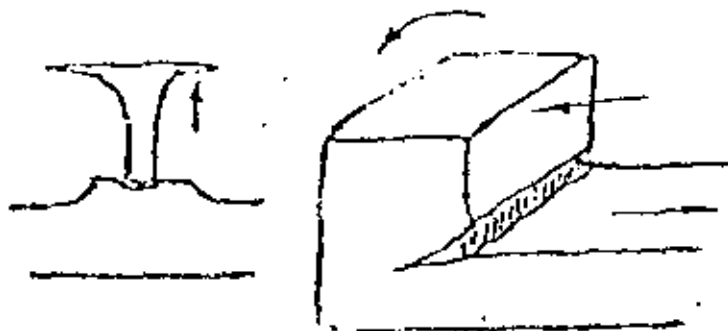
SI

	FORMA	TAMANO	CANTIDAD
1	Fractura, según los granos. Con bordes o labios; algo deformados no redondeados y por lo general sensiblemente separados.	De cierta magnitud y profundo	Por lo general único o en reducido número
2	Fractura irregular, según los granos. Con borde o labios coincidentes, no redondeados, por lo general sección separada.	En una sección de la pieza	Por lo general único
3	Grietas irregulares, según los granos. Con bordes o labios algo deformados, no redondeados y por lo general sensiblemente separados.	Relativamente pequeñas	Múltiples
4	Grietas irregulares por falta de unión (o arrugas). Con bordes o labios; más o menos redondeados, por lo general acompañados de espas de óxido.	Relativamente pequeñas y de mediana	De múltiples a reducido número
5	Hendidura pasante por falta de unión. Con bordes o labios; redondeados, coincidentes y juntos.	Toda una sección	Única

42.— Especificaciones.

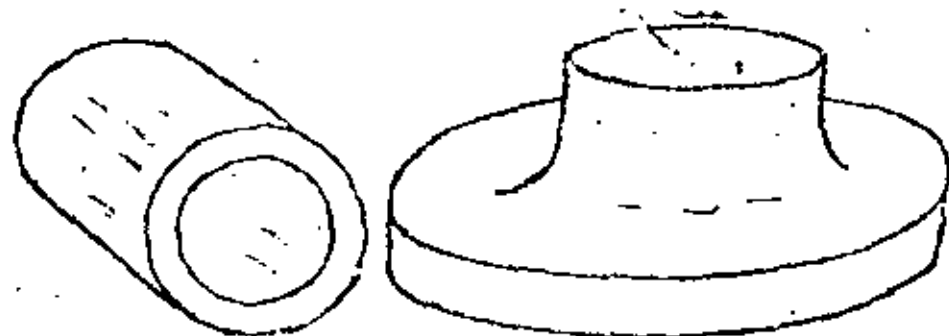
Especificación del defecto: 4111

- 1) Estructura: fractura irregular según los granos. Con bordes o labios: algo deformados, no redondeados, y por lo general sensiblemente separados.
- 2) Tamaño: de cierta magnitud y profundo.
- 3) Cantidad: por lo general único, o en reducido número.
- 4) Aspecto de la sección de la abertura: granulosa, gruesa, granos arrancados, coloreados por la oxidación en caliente (azulados) (muy caliente).
- 5) Lugar: en la zona de enfriamiento más lento que el resto de la pieza, en las masividades o equivalencias de masividad locales, en los enlces entre partes de la pieza (profundas).
- 6) Localización y/o posición: perpendicular al sentido de los esfuerzos de contracción.



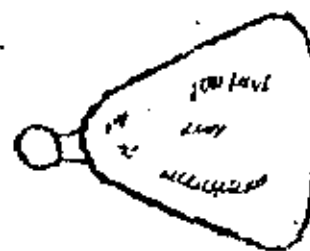
Especificación del defecto: 4123

- 1) Estructura: grietas irregulares según los granos. Con bordes o labios: algo deformados, no redondeados y por lo general sensiblemente separados.
- 2) Tamaño: Relativamente pequeños.
- 3) Cantidad: múltiples.
- 4) Aspecto de la sección de la abertura: granulosa, granos algo arrancados, coloreados por la oxidación en caliente (azulados) (muy caliente).
- 5) Lugar: en la superficie (superficiales).
- 6) Localización y/o posición: perpendicular al sentido de los esfuerzos de contracción.



Especificación del defecto: 4451

- 1) Estructura: grietas por falta de unión (o atugas). Con bordes o labios más o menos redondeados, por lo general acompañado con capas de óxido.
- 2) Tamaño: relativamente pequeñas y de mediana longitud.
- 3) Cantidad: de múltiples a reducido número.
- 4) Aspecto de la sección de la abertura: lisa, neta, de la misma coloración que la piel de la pieza.
- 5) Lugar: en la superficie (superficiales), a lo largo de la confluencia o unión de corrientes líquidas que forma el metal al llenar el molde.
- 6) Localización y/o posición: generalmente en una plano vertical con respecto a la posición de llenado.



Especificación de los defectos: 4554 y 4555

- 1) Estructura: hendidura pasante por falta de unión. Con bordes o labios: redondeados y por lo general coincidentes y juntos.
- 2) Tamaño: toda una sección.
- 3) Cantidad: única.
- 4) Aspecto de la sección de la abertura: lisa, neta, de la misma coloración que la piel de la pieza.
- 5) Lugar.

Para 4555: en la confluencia o unión de corrientes líquidas que forma el metal al llenar el molde.

Para 4555: cualquiera.

6) Localización y/o posición:

Para 4554: generalmente en un plano vertical con respecto a la posición de llenado.

Para 4555: según un plano horizontal con respecto a la posición de llenado.



Especificación de los defectos: 4232 y 4242

- 1) Estructura: fractura irregular según los granos.
Con bordes o labios: coincidentes, no redondeados, por lo general sección separada.
- 2) Tamaño: una sección de la pieza.
- 3) Cantidad: por lo general único.
- 4) Aspecto de la sección de la abertura:
Para 4232: granulosa, rotura neta, coloreados por la oxidación en caliente (medianamente caliente) azulado poco pronunciado.
Para 4242: granulosa, rotura neta, de aspecto metálico sin colorear (temperatura baja).
- 5) Lugar: en la zona donde intensas sollicitaciones internas sobrepasan la resistencia del material (toda la sección).
- 6) Localización y/o posición: la sección más débil perpendicular a los esfuerzos de contracción.

3— APLICACION (ver cuadro N° 1)

Establecida la identificación del defecto por medio del código del especificador con aquél, y que determine que el defecto es el defecto 4111.

En la bibliografía (1), se pueden determinar las acciones correctivas A 1, ... A 28 correspondientes.

Se consignan las restricciones R 1, ... R 5.

Luego se deduce:

IDENTIFICACION

- 4 - Solución de continuidad.
- 1 - Fractura irregular.
- 1 - Granulosa azulada.
- 1 - Perpendicular a los esfuerzos de contracción.

RESTRICCIONES

- R 1 - Piezas por encargo (sin posibilidad de modificar especificaciones).
- R 2 - Cantidad restringida de piezas.
- R 3 - Plazo perentorio de entrega.
- R 4 - Procedimiento único.
- R 5 - No pueden tomarse medidas que afecten otras piezas.

CUADRO N° 1

DATOS	ACCIONES	NO por	OBSERVACIONES
D 1 - (A 2) - Atacado normal.	A 1 - Modificar la composición química menos contracción.	R 1	Las acciones correctivas se agrupan de la siguiente manera: 1 - La acción A 1 tiene por objeto disminuir la contracción lineal de la aleación. 2 - Las acciones A 2 a A 12 tienen por objeto reducir la oposición ejercida por los moldes y machos a la contracción. - De la A 2 a la A 8 por aumento de la compresibilidad de la arena. - De la A 9 a la A 12 por desprendimiento parcial después del colado de la arena que rodea a la pieza.
D 2 - (A 4) - Moldeo en verde.	A 2 - Atacar menos duro.	D 1	
D 3 - (A 5) - Pequeño espesor entre travesaño y zona de rotura.	A 3 - Utilizar arena magra que endurezca menos al secar.	R 4	
D 4 - (A 6) - No hay problemas por los machos.	A 4 - Moldear de preferencia en verde.	D 2	
D 5 - (A 7) - El diseño de la pieza no permite la provisión de espacios huecos en el molde.	A 5 - Aumentar el espesor de la capa de arena entre partes peligrosas y los travesaños de cajas, armaduras, linterna, etc.	D 4	
D 6 - (A 10 - A 11 - A 12) - No hay problemas por las coladas.	A 6 - Rodear los machos de materias compresibles.	D 5	
D 7 - (A 14) - No se emplean coquillas.	A 7 - Prever espacios huecos en los moldes y machos.	R 3	
D 8 - (A 17) - Los canales de colada se hallan distantes de la zona de rotura.	A 8 - Prever conductos de agua en los moldes.	D 6	
D 9 - (A 21) - Los canales de colada se hallan cerca de las partes delgadas.	A 9 - Retirar la arena que se opone a la contracción de la pieza en la proximidad de los lugares peligrosos de la pieza.	D 6	
D 10 - (A 22) - Se cuele por parte delgada.	A 10 - Retirar la arena que rodea las coladas susceptibles de crear oposición a la contracción de la pieza.	D 6	
D 11 - (A 23) - Única pieza en el molde.	A 11 - Romper las coladas que crean oposición a la contracción.	R 1	3 - Las acciones A 13 a la A 23, tienen por objeto aumentar la resistencia de las zonas débiles: - De la A 13 a la A 23, reduciendo la anisotermia en la pieza durante el enfriamiento. - De la A 24 a la A 26, mejorando la resistencia propia de la aleación a alta temperatura. - De la A 27 a la A 28 reducir las sollicitaciones internas por una mayor sección.
D 12 - (A 24) - Buena desoxidación.	A 12 - Retirar el metal sobrante de las coladas y que se estapa sobre el molde.	D 7	
D 13 - (A 26) - Tenores de S y P reducidos.	A 13 - Modificar composición química (mayor conductibilidad).	R 4	
	A 14 - Calentando las coquillas.	R 4	
	A 15 - Estufando los moldes de arena.	D 6	
	A 16 - Colar en moldes calientes.	R 3	
	A 17 - Distanciar de la zona los canales de colado.	D 9	
	A 18 - Colocar enfriadores.	D 10	
	A 19 - Retirar inmediatamente después del colado la arena que rodea la zona.	D 11	
	A 20 - Enfriar por medio de conductores de agua.	D 12	
	A 21 - Acercar los canales de colado a las zonas delgadas.	R 5	
	A 22 - Colar por las partes delgadas.	D 13	
	A 23 - Colocar las masas calientes en la proximidad de zonas delgadas.	R 1	
	A 24 - Purificar perfectamente la aleación (desox.)	R 1	
	A 25 - Agregar elementos especiales.	R 1	
	A 26 - Reducir los tenores de fósforo y azufre.	R 1	
	A 27 - Prever nervaduras y refuerzos (modif. diseño).	R 1	
	A 28 - Utilizar acuerdos progresivos (modif. diseño).	R 1	

Que A 1 (modificar la composición química) no es aplicable por H 1 que establece la imposibilidad de modificar especificaciones.

Que A 2 (atacar menos duro) si bien no está afectado por las restricciones, no es posible realizar, por cuanto el atacado es normal.

Y así sucesivamente.

Resultado

De este análisis se deduce que sólo A 5 (aumentar espesor...), A 9 (retirar arena que se opone a la contracción...), A 15 (colocar enfriadores), y A 19 (retirar la arena que rodea la zona, inmediatamente después del colado) son posibles. Las acciones A 9 y A 19 son una misma cosa.

4-- CONCLUSIONES.

- 1º -- Que es necesario y conveniente desarrollar un sistema de identificación más adecuado en base a los ya existentes, y si fuera posible, es deseable que tuviera alcance internacional.
- 2º -- Que siguiendo el método propuesto, es posible detectar racionalmente las acciones correctivas óptimas.

BIBLIOGRAFIA

1. F. Bouvard - Défauts de Fonderie - E. Dunod.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

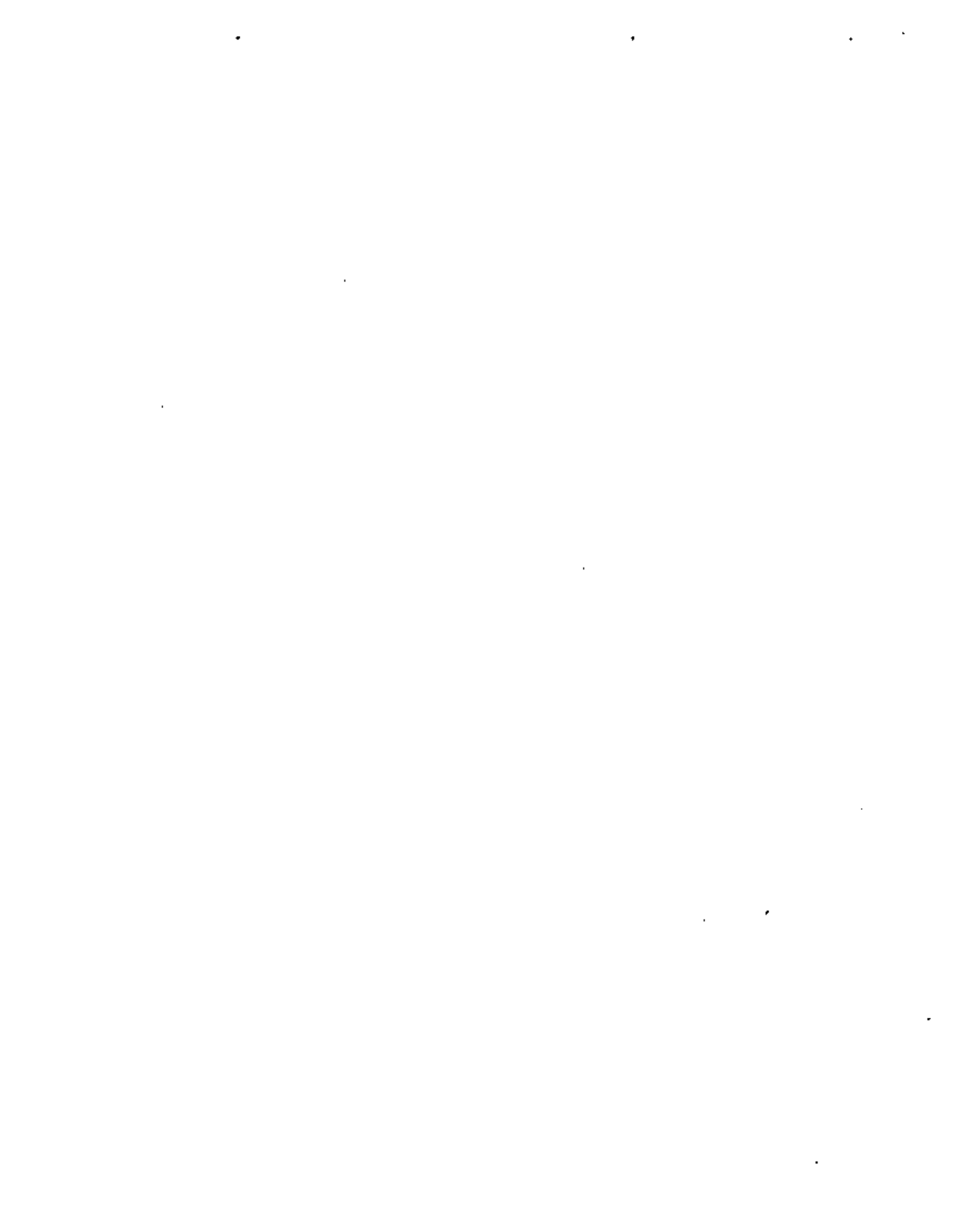
**DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS
METALICAS**

NATURALEZA DE LAS AVERIAS, DEFECTOS Y FALLAS

-Introducción-

Ing José Pappaterra Caballero

Junio, 1981



2.1 SERVICIO DEFECTUOSO DE UN EQUIPO O MAQUINA

2.1.1 ORIGEN

Un equipo o máquina puede quedar fuera de servicio o prestar un servicio ineficiente debido a:

- Desperfectos por averías y defectos
- No utilización

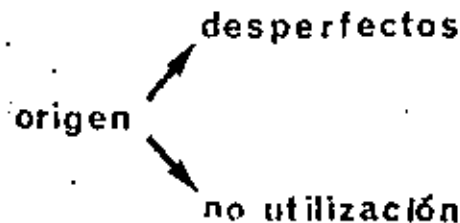


Fig. 1. Origen

El mal funcionamiento, la disparidad o incompatibilidad del equipo con respecto a uno o varios requisitos que deben satisfacer en cuanto a los parámetros y características fundamentales de trabajo, aún en el aspecto exterior o comodidad de explotación, se consideran como manifestaciones de un desperfecto. Los desperfectos que no motivan necesariamente un daño en el equipo, aunque sí en el producto, en el trabajo, al medio ambiente, se denominan defectos. Los defectos se corrigen con las puestas a punto, reglajes, limpiezas, etc. Los defectos pueden originar repercusiones en los operadores, en el ambiente, en los mecanismos o aparatos pudiendo producir averías en el equipo y en el producto.

La avería es una alteración de la capacidad de trabajo o modificación de las propiedades de las máquinas o equipos o en alguna de sus partes, por la cual deja de cumplir total o parcialmente sus funciones.

Los términos defecto y fallas, aplicados a las piezas mecánicas, tienen a veces un significado parecido y se usan indistintamente; hay sin embargo, una clara diferencia entre ellos.

El diccionario de Webster define defecto como "la falta o ausencia de algo necesario para ser completo o perfecto", mientras que falla la define como "omisión en el servicios o falta de éxito". La Real Academia Española, por su parte, define defecto como "la carencia o falta de las cualidades propias y naturales de una cosa", y fallar como "perder una cosa su resistencia rompiéndose o dejando de servir", de donde se ha substantivado falla, de uso muy amplio en nuestro idioma con esa acepción, aunque no la reconoce la Real Academia.

Por supuesto, también un buen material puede fallar cuando se usa impropia, y tales fallas ocurren con frecuencia debido a un error de proyecto, ausencia de cambio gradual de espesores, sobre carga o condiciones anormales de servicio.

Por otra parte, las segregaciones, los rechupes o cavidades de contracción, la porosidad, las grietas y las inclusiones, son siempre perjudiciales e indeseables, siendo todos ellos ejemplos de defectos típicos.

Debe subrayarse que los metales comerciales no pueden estar exentos, por completo, de ciertos defectos comunes, aunque hayan sido fabricados por los mejores procedimientos. El grado de pureza, la precisión en la forma, la ausencia de defectos superficiales, etc., solo pueden ser relativos, porque los modernos procesos de reducción de las menas metálicas y los tratamientos mecánicos y térmicos de los metales obtenidos, no son aún perfectos. Cualquier demanda de superior calidad supone mayor esfuerzo y, por lo tanto, precios más elevados. Naturalmente, la calidad de los aceros para herramientas o para la construcción de elementos de máquinas que han de girar a grandes velocidades, debe ser mayor que la de los aceros corrientes de construcción. Es muy importante conocer con exactitud las condiciones de servicio.

Para decidir entre las desviaciones permisibles entre las normales y aquellas que son indeseables, deben consultarse las Normas en rigor publicadas por Organismos solventes de los distintos países.

Cuadro 1 : Clasificación de las averías

FUNDAMENTOS	DESIGNACION
Según el grado de influencia en la capacidad de trabajo	Avería total (o completa) Avería parcial (o incompleta)
Según el carácter de la influencia en la capacidad de trabajo	Avería catastrófica Avería paramétrica
Según la relación con otras averías	Avería independiente Avería dependiente
Según la forma de aparición	Avería repentina Avería gradual
Según la permanencia de la avería	Avería estable Avería temporaria Avería repetitiva

3.1.2 CLASIFICACION DE LAS AVERIAS

Las averías se corrigen por medio de las reparaciones y se clasifican según:

- A - El grado o carácter de la influencia en la capacidad de trabajo.
- B - La forma de aparición.
- C - La relación con otras averías.
- D - La permanencia.

A - SEGUN EL GRADO O CARACTER DE LA INFLUENCIA EN LA CAPACIDAD DE TRABAJO.

Son averías totales, completas o catastróficas, cuando el equipo o parte, queda totalmente fuera de servicio, con alteración completa de sus cualidades de utilización o capacidad de trabajo y no puede trabajar sin previa reparación, a veces, requiere cambios y en ciertos casos son irreparables.

Le corresponden las: roturas, explosiones, corto-circuitos, fracturas, deformaciones, atascamientos, engranamientos de las piezas mecánicas, el fundido o combustión de las piezas de construcción o componentes del circuito, o simplemente el desgaste natural, como en instrumentos de medidas muy precisas: calas y por envejecimiento de ciertos materiales.

Son averías parciales, incompletas o paramétricas, cuando se manifiestan en el trabajo u operación o se efectúa de un modo distinto al requerido por las condiciones tecnológicas o se manifiesta en un empeoramiento del funcionamiento, ruidos, vibraciones, etc. Este empeoramiento puede ser estable o temporal. También se les suelen llamar incompletas, graduales, temporales, convencionales, etc., tratando de discriminar con cierta exactitud el carácter y motivos de la aparición del defecto o avería. Pero con el fin de evitar confusiones se las engloba llamándolas averías paramétricas.

B. SEGUN LA FORMA DE APARICION

Son averías repentinas y por lo tanto, inesperadas si producen una variación brusca, a salto, de las propiedades o parámetros fundamentales y si se destruyen, catastróficas. Estas averías pueden deberse a:

- Desperfectos internos o externos de los elementos.
- Errores en la utilización, como regímenes y condiciones de trabajo inadecuados o a los derivados de las equivocaciones del personal.

Son averías graduales, si se observa variación suave y progresiva de las propiedades o parámetros; pueden deberse al envejecimiento y al desgaste o fallas de los elementos en particular o de todo el sistema.

Esta división es convencional, pues generalmente las averías repentinas se deben a variaciones latentes o no detectadas a tiempo.

C. SEGUN LA RELACION CON OTRAS AVERIAS:

La avería es un hecho dependiente, si la aparición o probabilidad de aparición de la avería en un elemento, se debe a la de otros.

Por el contrario, es un hecho o acontecimiento independiente, cuando la avería de un elemento cualquiera del sistema, no motiva la de otros elementos.

D. SEGUN LA PERMANENCIA DE LA AVERIA

Las averías estables, solo se eliminan con la reparación, regulación, reglaje o bien sustituyendo el equipo o parte correspondiente. Las averías temporarias pueden desaparecer espontáneamente, sin ninguna intervención, debido a que las causas que las motivaron dejaron de actuar. Pueden ser causas de averías temporarias: regímenes y condiciones de trabajo anormales, tales como grandes desviaciones de temperatura o humedad o presión, la aceleración, vibraciones en magnitudes anormales, resonancias, etc.

Las averías o defectos temporales y que se repiten muchas veces, se denominan alternantes o intermitentes. Por lo general, suelen ser difícil de detectar las causas que producen estas averías, ya que afebligan la existencia de anomalías en la calidad del equipo, en sus regímenes o en sus condiciones de trabajo.

También existen defectos o averías de corta duración que se autoeliminan y que pueden estar causadas por variaciones efímeras, de acciones de entrada aplicadas al equipo, por acción de perturbaciones externas o bien originadas a consecuencia de variaciones efímeras de los parámetros internos, de las propiedades del equipo o parte, etc.

2.1.3 TIPOS DE AVERIAS

Teniendo en cuenta la clasificación anterior, se pueden establecer en relación a la complejidad de las averías en los siguientes tipos:

- Averías importantes.
- Averías sencillas.

Las averías importantes se presentan preferentemente en piezas también importantes y tienen carácter:

- Total o parcial.
- Destructivo, catastrófico.
- Dependiente.
- Repentino.
- Estable, permanente.

Mientras que las averías sencillas, preferentemente tienen carácter:

- Parcial, incompleto.
- Paramétrico.
- Independiente.
- Temporario.

2.1.4. CONCLUSIONES

1. La "fuera de servicio" de una máquina o equipo puede deberse o no a desperfectos de la misma o a obsolescencia, cambios de procesos, etc., respectivamente.
2. La alteración de la capacidad de trabajo o modificación de las propiedades de las máquinas o equipos o partes de ella, cuando deja de cumplir totalmente o parcialmente sus funciones, significa una avería.
3. Las averías tienen distintas características y se clasifican según: su importancia, la relación con otras averías, la forma de aparición y la permanencia.
4. Las averías se pueden agrupar en dos tipos: importantes y sencillas.

2.1.5 PREGUNTAS CONTROL

- Un servicio defectuoso o nulo de un equipo o máquina ¿a qué se debe?
- ¿Qué es un defecto?
- ¿Qué es una avería?
- ¿En base a qué se clasifican las averías?
- Cada clase de avería ¿cómo se manifiesta?
- En relación a su complejidad ¿cómo se tipifican las averías?

2.2 CAUSAS DE AVERIAS

Las averías y defectos que se producen, de acuerdo a un estudio realizado en los aparatos radioeléctricos, indica que del total provienen:

- El 40% al 45% de los errores cometidos al diseñar.
- El 20% de los errores cometidos en la fabricación de los aparatos.
- El 30% de las condiciones de explotación y regímenes incorrectos de utilización o del servicio incorrecto.
- El 5% del desgaste natural o envejecimiento.

Si bien estos porcentajes son distintos para los otros rubros (automóviles, rodamientos, etc) las causas de las averías y defectos son siempre las mismas: diseño, fabricación explotación, desgaste natural y envejecimiento. (ver Fig. 2).

2.2.1 DISEÑO Y FABRICACION DEL SISTEMA TECNICO

Al diseñarse el sistema técnico se deben tomar en cuenta, los principios relativos a la calidad y a la construcción, especialmente en los sistemas complejos, para asegurar y conservar su capacidad de trabajo.

La fabricación de un sistema técnico está ligada al concepto de calidad, abarcando tanto a las fallas de fabricación como a las de inspección, aun que en rigor, los dos tipos de fallas son de inspección.

Para evitarlas hay que cumplir rigurosamente con los procesos y las correspondientes inspecciones. Estas fallas disminuyen sistemáticamente en las grandes series y son más difíciles de evitar en las pequeñas.

El diseño debe reunir los requisitos de: calidad y estructuración correctas a fin de asegurar la integrabilidad, confiabilidad y duración necesarias.

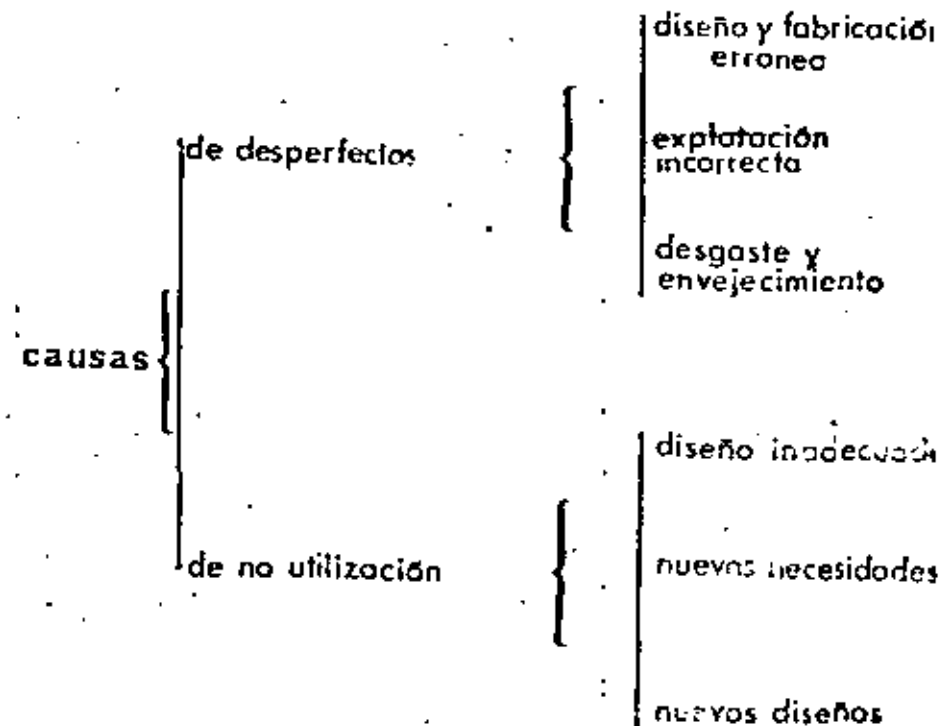


Fig. 2 - Causas de fuera de gal servir

2.2.1.1 LA CALIDAD

La calidad de los elementos empleados está vinculada con todas las etapas desde la concepción, el diseño, la fabricación, comprendiendo aún todo el período de empleo.

La adecuada calidad

- Se determina: con el diseño
- Se concreta: mediante el empleo de materiales y tecnología de elaboración correcta.
- Se asegura: Aplicando acertados controles de la calidad de los materiales, materias primas, productos semiacabados y producto terminado, como también control a los regímenes y a las condiciones de elaboración.
- Se conserva: Utilizando métodos a propósito de almacenaje, instalación, ubicación, lubricación, regulación, reglaje, reparación, etc.
- Se mantiene: Con su correcta explotación, el mantenimiento sistemático preventivo y correctivo.

En la elección de la calidad de los elementos y componentes a utilizar debe tenerse en cuenta:

- Las condiciones de trabajo (climáticas, de producción, etc.).
- Los requisitos deben satisfacer, según sus propiedades funcionales y características.
- Las resistencias mecánicas y térmicas; la rigidez eléctrica y la precisión necesarias, así como responder en condiciones dadas las necesidades de explotación.
- La experiencia, previendo el empleo de aquellos elementos componentes que han demostrado en casos análogos los mejores resultados. Esto es especialmente importante en los casos que cumplen funciones de responsabilidad y en ciertos casos muy exigidos.

2.2.1.2 LA ESTRUCTURA

Toda máquina o equipo grande, pequeño, complejo, consta de varios grupos, aparatos, conjuntos, órganos, mecanismos, piezas y elementos.

La pieza es: la unidad estructural elemental de la máquina o equipo.

El conjunto o bloque es: la unidad de montaje y comprende la unión de varias piezas vinculadas, que pueden ser inseparables (fijas) o separables (desmontables).

El grupo es: una de las partes principales e integrante de las máquinas o equipos; se compone de la reunión de conjuntos u órganos y piezas acopladas para desempeñar funciones comunes de trabajo.

Los elementos que componen una máquina se dividen en:

- Elementos o partes de aplicación especial, que sólo se acoplan a unos tipos determinados de máquinas: máquinas agrícolas, máquinas de cortar metales, etc. Estos elementos son, por ejemplo, los émbolos, las válvulas, los husillos porta herramientas, las rejas de arado, etc.
- Elementos o partes de aplicación general que comprenden en los elementos de las uniones inseparables y separables; partes de las transmisiones de fricción y embrague; árboles y ejes, acoplamientos, cojinetes, resortes, piezas de armazón. Comprende también una infinidad de elementos de máquina que siendo de un mismo tipo, van acoplados a una gran diversidad de máquinas o equipos y desempeñan iguales funciones.
- Piezas propiamente dichas, los elementos de unión, así como los grupos o conjuntos que desempeñan simples funciones en la máquina o equipo.

En el diseño se debe estructurar el sistema, máquina o equipo, teniendo en cuenta el siguiente principio constructivo:

La máquina debe estar dividida en partes definidas, según un determinado seccionamiento, para reunirlos o agruparlos para que formen una unidad integral, que reuna las condiciones óptimas, para cumplir con el fin a que está destinada.

Las condiciones son pues:

- Seccionamiento.
- Agrupamiento.
- Integralidad.

A - SECCIONAMIENTO

El seccionamiento de las máquinas por partes, se realiza con el fin de facilitar e incluso posibilitar en ciertos casos, su fabricación, montaje, transporte y manutención.

La construcción de máquinas constituidas por conjuntos, se les suele denominar construcción por grupos, por ejemplo: construcción de máquinas herramientas o de aviones o construcción por bloques, por ejemplo: construcción de grúas.

El seccionamiento de las máquinas en conjuntos (grupos, bloques) tiene las siguientes ventajas:

- La división en conjuntos reduce el ciclo de los trabajos de montaje, ya que todos los conjuntos se pueden montar y ensayar al mismo tiempo, como unidad separada y una vez terminados, ejecutar su montaje general.
- La construcción por conjuntos hace más fácil la reparación de las máquinas, la cual puede consistir en cambiar unos conjuntos por otros nuevos o reparados.
- La máquina al estar compuesta por conjuntos independientes, facilita la creación de máquinas de distintas aplicaciones, si se agrupan de distintas maneras, también facilita el proceso de su modernización, pues es más fácil remozar por partes.
- Permite el empleo preferente de elementos de aplicación general, como: tornillos, etc.
- Permite realizar construcciones basadas en el principio de unidad, en las que es posible el cambio independiente de los elementos de desgaste, para lo cual es necesario crear bases indestructibles de los elementos desgastables.

B - AGRUPAMIENTO

Se debe realizar reuniendo en partes, claramente definidas para constituir los órganos, grupos y subgrupos. Cuando es posible y aconsejable, es conveniente, formar conjuntos, grupos, etc., según módulos bloques, sustituyibles, para constituir elementos individuales, fácilmente reemplazables en caso necesario. Además el agrupamiento debe realizarse de modo que contribuya a la adecuada accesibilidad de todos los componentes. Los aparatos, a las piezas, unidades, partes y elementos que integran el conjunto, con el fin de examinarlo inspeccionar o controlar, reparar, reglar o sustituir. Esta cualidad constituye una condición muy importante para la operación durante la explotación. El fácil acceso facilita la explotación, el mantenimiento y asegura y simplifica la restitución de su capacidad de trabajo después de una avería.

C - INTEGRABILIDAD

La máquina o equipo o sistema, debe constituir como dijimos, una unidad integral, que debe posibilitar el funcionamiento y debe ser completa en sí, para lo cual, además de las partes fundamentales a la máquina, se debe dotar de los dispositivos necesarios de control, protección y de las partes de reserva correspondientes.

Los dispositivos de control, por lo general, son aparatos de medida que se utilizan para verificar el buen estado del sistema, a la iniciación o durante el trabajo, que actúan en forma automática o simplemente dan indicaciones que facultan el juzgamiento de la capacidad de trabajo del sistema y en otros casos dan avisos que permiten evitar descuidos groseros que pueden llevar al equipo a una catástrofe.

Los dispositivos de protección o de seguridad, son elementos o partes que sirven para evitar que la avería de uno de los elementos o descuidos en la operación del equipo, den lugar a una avería mayor en toda la instalación o también para salvaguardar la seguridad de las personas. Tales por ejemplo, el freno automático de los ascensores, para el caso de descuelgue del mismo; los fusibles de protección para corto-circuitos en las instalaciones eléctricas; tapones fusibles para calderas, etc. Las partes de reserva aunque participan del sistema de protección del equipo, se dirigen más bien a asegurar la continuidad de la marcha que a evitar una avería mayor. Consiste por ejemplo: en dotar al cubilote un motor de explosión de reserva y un ventilador, para reemplazar a un motor eléctrico en caso de corte de electricidad; o dotar de un motor y bomba en paralelo a otros, para permitir la sustitución inmediata en caso de avería de uno de ellos.

2.2.2 LA EXPLOTACION DEL EQUIPO

Para obtener en una empresa, el funcionamiento rítmico y productivo, además de un buen equipamiento, se requiere la organización necesaria para la explotación de las instalaciones. La explotación correcta, está basada, en la obtención del equipo de mayor rendimiento y productividad, asegurando a la vez su: duración, conservación y calidad. Así por ejemplo, en la explotación de máquinas herramientas, se obtiene el mayor efecto económico, con correctos reglajes y puesta a punto empleando herramientas de calidad y regímenes de corte más ventajosos. Además se debe asegurar que durante todo el tiempo de explotación (duración del equipo) el funcionamiento, sea estable y de alto rendimiento. Comprende también medidas para limpieza y engrase; la elección de líquidos lubricantes, enfriadores (de corte) restablecimiento de los materiales de engrase, iluminación, protectores, etc. Las máquinas antiguas deben ser modernizadas, a fin de aumentar su tiempo de explotación, hasta su obsolescencia. Siendo una de las condiciones más importantes para el efecto económico, el conservar el nivel adecuado de la calidad de la máquina en base al mantenimiento correcto y a las reparaciones oportunas.

Luego, la correcta explotación significa utilización racional, cumpliendo los siguientes pasos:

- Embalaje con la calidad correspondiente.
- Transporte cuidadoso.
- Emplazamiento y sujeción correctos.
- Ensayo de comprobación iniciales.
- Puesta a punto, regulación y reglaje.
- Régimen de trabajo adecuado (utilización racional).
- Mantenimiento: conservación, reparación y conservaciones parciales del equipo.
- Si es necesario y conveniente: modernización del equipo hasta su obsolescencia.

Por otra parte el factor humano es de trascendental importancia y requiere utilizar:

- Personal operador con adecuada capacitación.
- Personal técnico que sistematice los procedimientos.

Además durante la producción se deben cumplir con ciertas condiciones vinculadas a la disciplina tecnológica que consiste fundamentalmente en la constancia de los procesos en base a:

- Adecuado control de calidad: de los materiales, de los productos semi-acabados, partes, piezas, etc. que integran el conjunto.
- Control por operaciones, del producto.
- Mantener el equipo en óptimas condiciones de trabajo.
- Cuidado metódico de la limpieza; de la instalación; del lugar de trabajo y de la aplicación de las normas sanitarias necesarias.
- Sustentar y evitar la alteración de los pasos y regímenes de los procesos.
- Sustentar y evitar la alteración de los ensamblajes y las reglas del montaje.
- Control del producto final acabado.

2.2.2.1 LOS REGIMENES DE TRABAJO

El empleo de componentes y piezas o aparatos en regímenes no previstos para su uso, es una de las fuentes más comunes de las averías, por lo tanto no se debe permitir los regímenes más pesados que los indicados en la documentación técnica correspondiente.

La elección incorrecta de los regímenes de funcionamiento se debe por lo general a causas circunstanciales en algunos casos inevitables. En otros, se debe al desconocimiento del constructor o del usuario de las propiedades de los elementos o equipos, sus características y así como la acción de los distintos factores y su repercusión en las particularidades del funcionamiento.

En cuanto a la producción es necesario aplicar controles adecuados y estrictos en:

- Calidad de materiales.
- Calidad del producto.
- Uso del método tecnológico establecido.
- Operación tecnológica aplicada.
- Orden, limpieza y confort en los locales.
- Correcto almacenaje y transporte.

En cuanto a la explotación es necesario:

- El empleo de instrucciones y método de explotación minuciosamente elaborados y fundamentados.
- Correcto mantenimiento del equipo.
- Preparar (instruir) adecuadamente al personal.
- Revisar permanentemente datos, métodos, recomendaciones, perfeccionamientos y tecnología.
- Organizar estableciendo claramente las atribuciones, obligaciones y responsabilidades del personal.

2.2.3 RESISTENCIA AL DESGASTE

La duración de servicio de muchas piezas está limitada por el desgaste de sus superficies útiles. El desgaste es el resultado de un proceso producido por el rozamiento o por la corrosión, el cual destruye gradualmente las superficies útiles de la pieza (deterioro) y modifica las dimensiones y la forma de ésta. A consecuencia del desgaste varía el carácter de la conjugación de las piezas en el conjunto debido a que disminuye la exactitud (la transmisión por engranajes, trabaja irregularmente, se altera la exactitud del movimiento de las piezas); baja la resistencia mecánica de las piezas, debido a la disminución de la sección de éstas y al aumento de las cargas dinámicas; disminuye el rendimiento de la máquina a consecuencia de empeorar las condiciones de lubricación en los cojinetes, de alterar la hermeticidad de los acoplamientos y de aumentar las fugas; la máquina hace más ruido al trabajar, etc.

El rozamiento que causa el desgaste, puede ser ocasionado por la superficie de la pieza acoplada, la cual con esto se desgasta o bien por las partículas duras (abrasivas) que componen el medio en el cual funcionan las piezas. En este último caso el desgaste se llama abrasivo.

El desgaste abrasivo acompaña al trabajo de la mayoría de las piezas de las máquinas de la construcción, de perforación, agrícolas: las vertederos de los arados, las piezas de las niveladoras, empujadoras, bulldozer, los cucharones de las excavadoras, los trépanos de las perforadoras, las boquillas de las arenadoras, etc.

La naturaleza del rozamiento recíproco y del desgaste por escoriación de dos superficies acopladas, se distingue algo de la del rozamiento y del desgaste de una superficie por abrasión. En el primer caso actúan dos causas: la adherencia mecánica de la rugosidad de las crestas (irregularidades o asperezas microscópicas en las superficies) y la molecular de las partículas de las superficies conjugadas. En el caso del desgaste abrasivo, la adherencia molecular y el desgaste se pueden representar como resultado de múltiples rasguños y cortes de metal ocasionados por las partículas más duras del abrasivo. Si el abrasivo entra en la holgura entre las piezas flotantes, por ejemplo: junto con el aceite sucio. El desgaste recíproco de las superficies conjugadas se complementa con el desgaste abrasivo.

2.2.3.1 DETERMINACION DEL DESGASTE

Una máquina o equipo no representa solamente un juego simple de piezas, sino un juego de piezas racionalmente montadas, de conjugaciones respectivamente reguladas, de conjuntos y grupos lubricados, con terminaciones adecuadas y en interacción. En la máquina en funcionamiento se desgastan no sólo todas las piezas que físicamente existen por separado, sino también los elementos que no se separan y que están esparcidos por toda la máquina, como la lubricación, pintura, regulación, etc. Por consiguiente, para juzgar sobre el desgaste de toda la máquina, hay que investigar el desgaste de todas sus piezas, saber las leyes del empeoramiento de la lubricación y acabados, de la alteración de todas las regulaciones y saber sumar todos estos datos de todos los elementos de la máquina con el fin de obtener un índice único.

Se recomiendan varios métodos para la determinación del desgaste de las máquinas y de otros elementos complejos; los principales son:

- Método de apreciación del desgaste de la máquina, por su estado técnico en conjunto.
- Método de apreciación del desgaste de la máquina por el estado técnico de los elementos constructivos más importantes.
- Método de apreciación del desgaste de una máquina por el plazo de servicio (o volumen de trabajo ejecutado).

Por principio se puede aceptar como método de apreciación de desgaste de la máquina por su estado técnico en conjunto, ya que existe cierta probabilidad de que los inspectores al revisar la máquina y al conocer prácticamente las leyes de la variación de la utilidad de ésta y de sus elementos, puedan apreciar correctamente su desgaste.

Pero esta probabilidad es extremadamente pequeña, al determinar el desgaste de la mayoría de las máquinas complejas modernas, debido a la comprensión subjetiva y arbitraria de su estado técnico que se toma en consideración aplicando este método. El método de apreciación del desgaste de las máquinas por su plazo de servicio (o volumen de trabajo ejecutado) también puede hallar aplicación limitada debido a la gran inexactitud que acompaña frecuentemente a la determinación de los plazos mencionados. Sin embargo este método es, en principio, correcto también si se emplea para determinar el desgaste de las máquinas con carga uniforme en el tiempo y en condiciones estables de funcionamiento. El método de determinación de desgaste de máquinas y de otros objetos complejos por el estado técnico de los elementos constructivos, se considera fundamental y se recomienda generalmente, para apreciar el desgaste de las máquinas complejas, equipos, material móvil, construcciones, así como también los edificios que tienen un plazo prolongado de explotación, etc.

2.2.4 CONCLUSIONES

1. Los defectos y averías de las máquinas o equipos son originados por las mismas causas: diseño, fabricación errónea, explotación incorrecta, desgaste y envejecimiento.
2. El diseño debe ajustarse a un seccionamiento, agrupamiento e integralidad correcto.
3. La explotación debe ajustarse a la disciplina tecnológica correspondiente.
4. Se debe apreciar el desgaste por el método más adecuada.

2.2.5 PREGUNTAS CONTROL

- ¿Cuáles son las causas de averías?
- ¿Cuáles son las causas más frecuentes?
- ¿Qué principios deben tomarse en cuenta al diseñar un sistema técnico?
- La fabricación de un sistema técnico ¿a qué está ligado?
- ¿Qué requisitos debe reunir el diseño?
- La calidad: se determina, se concreta, se asegura, se conserva, se mantiene.
- ¿Qué se debe tener en cuenta en la elección de la calidad de los elementos y qué componentes se deben utilizar?
- ¿Cuál es la unidad estructural de una máquina?
- ¿Cuál es la unidad de montaje?
- ¿Qué es el grupo y de qué se compone?
- ¿Cómo se dividen los elementos que componen una máquina?
- Enunciar el principio constructivo de seccionamiento, agrupamiento, e integrabilidad.
- ¿Con qué fin y qué ventajas se obtienen del agrupamiento?
- ¿Porqué el equipo debe constituir un conjunto integral?
- Una buena explotación: ¿con qué fin se realiza?, ¿qué requiere?, ¿en qué se basa?, ¿qué se asegura?, ¿qué se obtiene?, ¿qué significa?
- La disciplina tecnológica ¿en qué consiste?
- ¿Cuál es una de las fuentes más comunes de avería?
- ¿A qué se debe la elección incorrecta de los regímenes de funcionamiento?
- El desgaste ¿de qué es resultado?, ¿cómo se origina?, ¿qué origina?
- ¿Cuáles son los métodos de determinación del desgaste?
- ¿Cuándo conviene emplear cada método?

2.3 CAUSAS DE INUTILIZACIÓN

Las máquinas y equipos no se utilizan a veces por algunas de las siguientes causas: (ver Fig. 2).

- Diseño inadecuado
- Nuevas necesidades
- Nuevos diseños

Las máquinas o equipos de diseño inadecuado para las necesidades o empleo puede deberse a tamaño inadecuado para el uso previsto, por demasiado grande, sin la suficiente maniobrabilidad o por demasiado pequeño, sin la suficiente robustez.

Las nuevas necesidades de los planes de producción, pueden hacer que ciertas máquinas queden sin utilización.

Los nuevos diseños y el progreso pueden crear posibilidades y mejoras en el rendimiento, haciendo que máquinas y equipos existentes queden obsoletos y no rentable su utilización. Puede convenir, por otra parte, la modernización de los mismos.

2.3.1 LA REPARACION

Cuando una máquina o equipo no es apto para cumplir con sus funciones, o no las cumple dentro de las tolerancias o de las condiciones requeridas o cuando los costos de mantenimiento son prohibitivos, es necesario efectuar una reparación. Según su importancia y objeto las reparaciones se pueden dividir en:

Reparaciones	} Propiamente dichas	} Sencillas Pequeñas Medianas Generales

La reparación sencilla consiste en: cambiar elementos accesorios, tales como: lámparas, bujías, correas, etc.

La reparación pequeña consiste en: cambiar o reparar piezas por separado, sin efectuar su desmontaje total.

La reparación media consiste en: efectuar trabajos similares a los que comprende la reparación pequeña, más la reparación de todas o ciertas piezas básicas y el restablecimiento total de las coordenadas principales.

La reparación general, consiste en: efectuar el cambio total o reparación de todas las piezas básicas y el restablecimiento total de las coordenadas y precisión requerida de la máquina.

La reposición consiste en: cambiar en bloque las partes de mayor desgaste.

Las renovaciones consisten en: cambiar las partes que se envejecen por otras nuevas, tales como el cableado, partes de hule, etc.

Las mejoras consisten en: introducir modificaciones con el objeto de producir un efecto económico más elevado del que ya se tiene, efectuando cambios favorables en cuanto al rendimiento, precisión, claridad, confiabilidad, posibilidades de explotación, seguridad, etc., en ciertos casos consiste en universalizar o en especializar las máquinas para mejorar sus posibilidades o facilitar su operación.

La reconstrucción tiene por objeto: dejar al equipo en condiciones similares al estado original, con sensible aumento de vida útil y se puede realizar cuando significa un ahorro sustancial respecto a la adquisición de una máquina nueva equivalente.

Cuando la reconstrucción entraña una modificación tal en el diseño que permita "modernizarla técnicamente", la reconstrucción en este caso se llama modernización.

2.3.2 MODERNIZACIÓN

El medio más importante del aumento de la productividad del trabajo es el progreso técnico, con la implantación de las novedades tecnológicas en cuanto a: la mecanización y la automatización, para lo cual se requiere efectuar la modernización permanente de las instalaciones utilizadas.

Por otra parte, el objeto de la modernización es evitar la obsolescencia de la máquina introduciendo mejoramientos en el empleo como:

- Aceleración de las operaciones: carga, reglaje, etc.
- Automatización parcial, o incluso total.
- Conseguir que varias máquinas sean operadas por un sólo individuo.
- Tendencia al aumento del rendimiento, la precisión, la calidad, etc.

Las mejoras pueden consistir en:

- Mejoras en el diseño.
- Mejoras en las condiciones de explotación.

De acuerdo a las siguientes modificaciones básicas:

- Elevar la velocidad y/o la potencia.
- Reforzar los elementos débiles.
- Automatizar y simplificar.
- Agregar dispositivos.

La elevación de la velocidad y/o potencia, puede presentarse según los siguientes casos:

- Aumento de velocidad, quedando invariable la potencia. La modificación consiste esencialmente, en un simple cambio de poleas y en comprobar si los rodamientos y lubricación, permiten la realización de la modificación, en caso contrario tomar las medidas adecuadas a tal fin.
- Aumento de la potencia, manteniendo velocidades; en tal caso las piezas de la cadena cinemática deben calcularse de nuevo y en caso de necesidad, reforzar las partes débiles.
- Aumento de la velocidad y potencia: se elevan dejando invariables los momentos de torsión. En este caso el aumento de velocidad de rotación (del husillo) se realiza con un incremento proporcional de la potencia. Primero se determina el aumento tolerable de la velocidad con respecto a la estructura de la máquina y los elementos de la cadena cinemática. Luego se calcula el aumento tolerable de la potencia del motor.

El refuerzo de los elementos débiles con el fin de satisfacer la necesidad de mejorar los elementos que no cumplen con las condiciones de resistencia, dureza, etc., necesarias. Se suele proceder adoptando cualquiera o varias de las siguientes medidas, en las piezas de reposición.

- Cambiar el material.
- Cambiar el tratamiento térmico.
- Variar las dimensiones.
- Variar la forma.

Según el siguiente cuadro 2:

E L E M E N T O	MEDIDAS POSIBLES
Transmisiones por correa	Aumentar anchura de polea y correas. Aumentar ángulo de contacto. Aumentar coeficiente de fricción: cambiando correas planas por trapeciales o dentadas, etc.
Transmisiones por cadena	Aumentar el número de cadenas. Aumentar el paso, etc.
Embragues a fricción	Aumentar superficie de rozamiento. Aumentar el coeficiente de fricción. Aumentar el número de láminas.
Engranajes	Sustituyendo material acero al C por acero al cromo-níquel tratado. Sustituyendo engranajes de dientes rectos por los de dien- tes oblicuos. Aumentar anchura.
Cojinetes, rodamientos	Sustituyendo materiales, mejorando lu- bricación, reemplazando por rodamientos más resistentes o aumentándolos, etc.
Piezas en general	Aumentando diámetros, superficies de roce, etc., sustituyendo materiales y/o tratamientos térmicos.

Quadro 2 : Refuerzo de los elementos débiles.

La automatización y simplificación, consiste principalmente en introducir las siguientes modificaciones, según el tipo de máquina y aplicación que se le dará:

- Disminuir los tiempos de aproximación.
- Disminuir los tiempos de toma de la pieza.
- Disminuir los tiempos de marcha en vacío.
- Elevar la precisión.
- Mejorar las condiciones de trabajo del operador.

El agregado de dispositivos:

- De seguridad.
- De alimentación automática.
- De extracción de piezas.
- Copiadoras (de perfiles, de roscas, etc.).

2.3.3 CONCLUSIONES

1. El equipo puede inutilizarse o quedar fuera de uso aún estando en buenas condiciones de utilización.
2. Se suelen "mantener" las máquinas en condiciones de uso por medio:
 - de la reparación, las averías.
 - de las modificaciones básicas, las que necesiten una modernización técnica.
3. Las reparaciones se clasifican según la importancia y el objeto.
4. Se introducen modificaciones con el objeto de:
 - Mejorar las características.
 - Reforzar los elementos débiles (aumentando la durabilidad).
 - Automatizar y/o amplificar.
 - Ampliar posibilidades, etc.

2.3.4 PREGUNTAS CONTROL

- ¿ Cuáles son las causas de inutilización de una máquina o equipo?
- ¿ Cómo se dividen las reparaciones ?
- ¿ En qué consiste cada tipo de reparación ?
- ¿ Cuál es el objeto de la modernización y en qué consiste ?
- ¿ Cuáles son las modificaciones básicas y en qué consisten ?
- ¿ En qué consisten la automatización y la simplificación ?
- ¿ Qué dispositivos se agregan generalmente ?

2.4 LOS PROCEDIMIENTOS

2.4.1 GENERALIDADES

Constituye uno de los factores determinantes de la actividad industrial producir en calidad, oportunidad, cantidad, regularidad y puntualidad requeridas, para lo cual es imprescindible alcanzar cierto grado de seguridad funcional. Uno de los requisitos primordiales para obtener la seguridad satisfactoria es realizar el mantenimiento adecuado de máquinas, equipos e instalaciones, con el fin de establecer la continuidad operativa integral de la planta industrial que permita alcanzar el nivel de eficacia necesario. Es conveniente pues, ajustar los procedimientos de entretenimiento en relación al equipamiento, sus características, estado y al tipo de averías que pueden presentar en especial al grado de seguridad requerido.

Las medidas se aplican para establecer:

- La detección precoz y prevención correctiva: se basa en una inspección previa y adopción de medidas para evitar averías.
- La prevención correctiva: se basa en la adopción de medidas para evitar averías.
- La corrección preventiva: se basa en trabajos de corrección precoz.
- La corrección: se basa en la ejecución de trabajos para eliminar averías.

Las medidas se pueden aplicar en forma:

- Crítica: cuando la necesidad es inaplazable, urgente.
- Periódica: cuando se aplica a lapsos determinados.
- Cíclica: cuando se establece una sucesión de operaciones.
- Programada: cuando se determina y establece el momento oportuno.

De acuerdo al modo de actuar, ya sea después de producida la avería o anticipadamente; el mantenimiento se divide en: (ver Fig. 3).

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.

2.4.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo, consiste en la reparación de las averías que se presentan sin previo aviso: imprevistamente. Estas averías pueden estar originadas por: explotación inadecuada, mal entento, negligencia, mal funcionamiento, fallas: en calidad, en el diseño de las máquinas y equipos.

El mantenimiento correctivo se aplica a un hecho consumado, ya que se realiza para superar una situación creada bajo la influencia de varios factores. Por lo tanto, se impone la necesidad de efectuar las reparaciones necesarias de la manera más conveniente de acuerdo a las circunstancias y puede ocurrir, que apremiado por razones de urgencia, se realice una reparación provisoria hasta obtener repuestos, por ejemplo, efectuar la reparación con soldadura a una pieza para después reemplazarla por una pieza nueva. Entre los factores que se toman más en cuenta, se destaca el grado de influencia que tiene la avería en la marcha del proceso y de la posibilidad de reemplazo del equipo, imponiendo una determinada urgencia en la eliminación de la avería.

En función de la urgencia, se divide el mantenimiento correctivo en:

- Correctivo crítico.
- Correctivo programado.

Por lo general tanto el mantenimiento correctivo crítico, como el programado no están separados y están atendidos por un equipo de operarios especializados que cuentan con los medios para cumplir con su cometido.

Se efectúa el mantenimiento "correctivo crítico" cuando la avería es urgente: de la manera más directa, en el menor tiempo posible y con la mejor preparación que permitan las circunstancias; y el mantenimiento "correctivo programado" cuando la avería no es urgente, difiriendo la ejecución para el momento más oportuno y con la preparación más adecuada. El carácter de no urgente, puede deberse a que es posible utilizar otro equipo en reemplazo al averiado o a no necesitarse el equipo por cambio momentáneo de producción y a otras circunstancias como el estado de cumplimiento del plan, si está terminado o avanzado, por lo cual, es permisible distribuir o diferir la ejecución de la reparación a una oportunidad en que no perturbe o perturbe menos las exigencias de producción, dentro de las posibilidades del mantenimiento. Por tal razón debe coordinarse la reparación con Producción y Planificación.

Al mantenimiento correctivo se le llama:

- De mejoras, cuando se introducen pequeñas mejoras que tienen una acción de corrección y prevención, que según el grado de urgencia se efectúan como trabajos críticos o programados.
- De emergencia, cuando deben efectuarse de inmediato las reparaciones porque la avería o defecto grave, pone fuera de operación económica aceptable a máquina, equipo o servicios críticos para la producción y claves para la economía empresarial.
- Común, cuando la avería permite ser reparada según programa acorde con la urgencia.

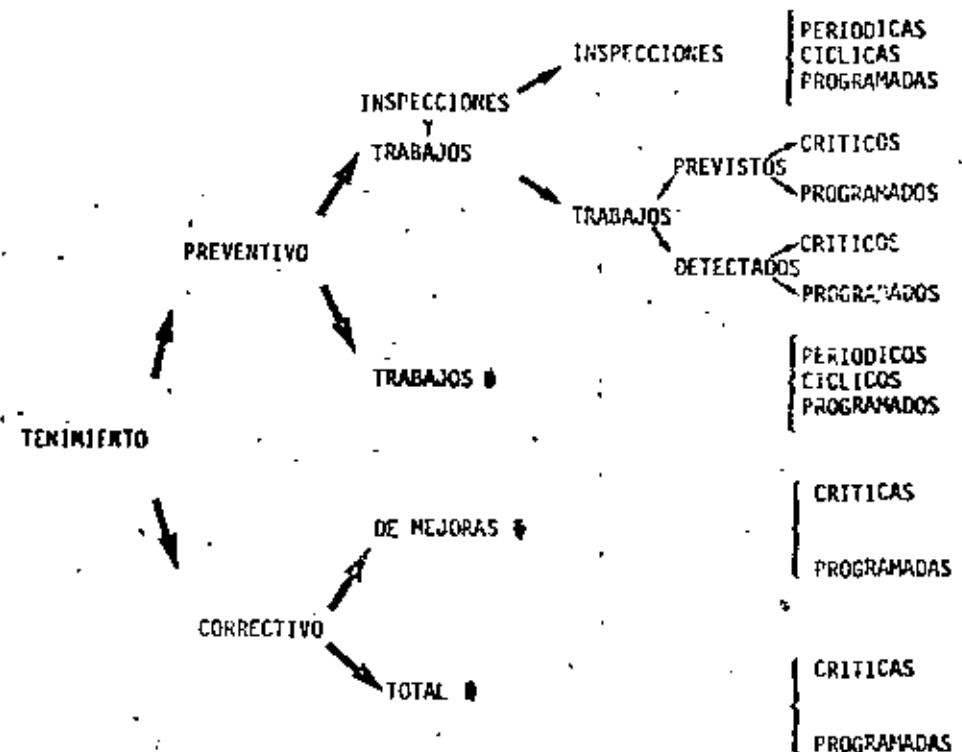


Fig. 3 - Los Procedimientos.

2.4.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo consiste en esencia, en detectar con la anticipación requerida, la posible avería y adoptar las disposiciones necesarias, para evitar que éstas se produzcan. Se fundamenta principalmente en la correcta apreciación de la confiabilidad (llamándose confiabilidad a la probabilidad de trabajo en buen estado de un equipo, máquina, elemento, etc.) de cada uno de los elementos o piezas y de la interrelación entre ellas, así como en la aplicación de las medidas necesarias para mantener la confiabilidad del conjunto, a un nivel adecuado a las necesidades de la explotación del equipo.

En algunos casos es necesario aumentar la confiabilidad y se alcanza introduciendo mejoras en el diseño, en la fabricación y en la utilización de los elementos, mecanismos y aparatos.

No se requiere que la confiabilidad de las partes exceda demasiado de la durabilidad del conjunto.

En cuanto al diseño corresponde conocer:

- El funcionamiento.
- Las causas y circunstancias de la avería.
- Los materiales.
- Las posibles alternativas adaptables.

En la fabricación corresponde aplicar:

- La disciplina tecnológica correspondiente.

En general, la detección de la probable o posible avería se fundamenta principalmente en la prevención y la predicción necesarias para que el equipo continúe funcionando en óptimas condiciones. Mientras que la prevención está determinada por el grado de seguridad óptimo en relación a la explotación, la predicción suele, generalmente, estar basada en la realización de inspecciones y verificaciones que determinan:

- El límite de la vida útil, que es el tiempo estimado de operación, de un elemento o conjunto de elementos previsto y cercano al óptimo, sin desperfectos, cumpliendo su cometido funcional.

A través del seguimiento de los parámetros de performance: la evolución y tendencia de parámetros que "informan" sobre el desarrollo de anomalías internas.

El mantenimiento preventivo es la resultante de un conjunto complejo de acciones tales como:

- el mantenimiento predictivo
- el mantenimiento previsivo
- las modificaciones técnicas
- las medidas complementarias

Se ha dado en llamar:

Mantenimiento predictivo a aquellos aspectos del mantenimiento preventivo cuya necesidad de realización se puede prever y programar por medio del seguimiento de parámetros de performance o mecánicos, cuya tendencia de deterioro constituye un índice que permite predecir en qué oportunidad, desde el punto de vista técnico económico, será conveniente realizar.

Mantenimiento previsivo a aquellos aspectos del mantenimiento preventivo relacionados al asesoramiento técnico de mantenimiento que involucran: las acciones, recomendaciones, informes, etc. para la adquisición de nuevo equipamiento de producción con el fin de reducir los inconvenientes de mantenimiento.

Modificaciones técnicas a aquellos aspectos del mantenimiento preventivo que tienden a eliminar o a reducir las fallas, a mejorar el rendimiento productivo y a mejorar la confiabilidad de la máquina o equipo. Para tal fin, realiza modificaciones de diseño, de material, etc. y aún propone normas operativas, boletines técnicos de modificación, de utilización, etc.

Medidas complementarias a aquellos aspectos del mantenimiento preventivo que completan el tema. Para tal fin se desarrollan los aspectos organizativos, de equipamiento de los talleres de mantenimiento, las medidas precautorias como normas de seguridad y se efectúan los controles administrativos, técnicos, de higiene, etc.

2.4.3.1. INSPECCIONES Y TRABAJOS

Cuando se efectúa el mantenimiento preventivo por detección precoz la prevención correctiva se efectúa por medio de: inspecciones y trabajos, (ver Fig. 3).

La inspección puede realizarse de manera periódica, cíclica o programada.

Los resultados de las inspecciones y verificaciones, permiten efectuar las certificaciones periódicas correspondientes.

En base a las certificaciones periódicas se determinan los "periodos de habilitación en servicio seguro" dado por el tiempo durante el cual son válidas las certificaciones periódicas otorgadas por las inspecciones.

En las inspecciones periódicas y las programadas, si al ejecutarlas resulta que la máquina o equipo puede seguir trabajando sin reparación se la "habilita" hasta el siguiente plazo de revisión o inspección. En el caso de las inspecciones programadas se determina un nuevo plazo y en el caso de las inspecciones cíclicas se efectúan un cierto número de inspecciones menores; otras, de inspecciones medias y de revisiones técnicas, hasta un nuevo ciclo después de efectuadas las reparaciones o recorridos mayores. En general, con las inspecciones, se puede evitar el desarreglo inesperado de la máquina o equipo. Con el resultado de las inspecciones, se determina si las anomalías detectadas están todavía en estado de "incubación". Se prevé la avería o se detecta el comienzo de la misma.

Como resultado de la inspección o control técnico puede detectarse la necesidad de realizar trabajos o simplemente la previsión de la realización de los mismos. Según el grado de urgencia que requieran los trabajos, pueden realizarse en forma crítica o programada. En este caso se planifican las inspecciones y revisiones técnicas periódicas en lugar de las reparaciones. El lapso entre dos revisiones se asigna teniendo en cuenta las características propias de la máquina o equipo y la confiabilidad de las piezas de desgaste rápido.

Con los trabajos se procederá, según el grado de urgencia a realizar trabajos críticos o programados.

Cuando se efectúan directamente (sin previa inspección) estos trabajos tienen carácter preventivo y correctivo, ya sea en forma periódica, cíclica o programada. Se imponen reparaciones (reposiciones, renovaciones, etc.) obligatorias, por lo general, después de una determinada cantidad de trabajo o de funcionamiento.

Este procedimiento, se emplea, por lo común, cuando las reparaciones no son muy costosas y también cuando razones de seguridad lo imponen. Para disminuir su costo y evitar errores, estas reparaciones obligatorias es conveniente estandarizarlas.

2.4.3.2 LA SISTEMATIZACIÓN

De acuerdo a las características del equipamiento, del grado de seguridad y de las necesidades de explotación del mismo, se adoptan distintos criterios, por los cuales se realizan revisiones, renovaciones, reposiciones o ciclos de reparaciones que comprenden ensayos, mediciones, muestreos, etc. y que se efectúan siguiendo un ciclo, un plan, un recorrido, un determinado número de horas de funcionamiento, una producción, etc.

La combinación de estos criterios da por resultado varios procedimientos que se deben seleccionar y aplicar aún simultáneamente, eligiendo procedimientos que más se adapten a las necesidades propias de las distintas partes del equipamiento, constituyendo en conjunto un "sistema" basado en las necesidades propias a cada empresa o de cada dependencia, laboratorio, talleres mecánicos, talleres de fusión, talleres de forja, etc.

La sistematización de los trabajos realizados con el fin de efectuar un mantenimiento, está constituida por un conjunto de medidas destinadas al entretenimiento (conservación) inspecciones, verificaciones, constataciones, revisiones técnicas, sustituciones y reparaciones, con el objeto de determinar la confiabilidad, prever desgastes, asegurar la continuidad en el funcionamiento, evitar averías, con el fin de tener disponible el equipo en óptimas condiciones de uso.

Los procedimientos se basan en aplicar medidas que permitan detectar y corregir las causas de las fallas técnicas que se producen o que son factibles de producirse.

Cada uno de los medios existentes en la empresa requieren un oportuno cuidado, en un determinado momento, los cuales deben realizarse de manera tal, que se logre el óptimo consistente en desperfectos mínimos para que la seguridad, economía y eficiencia sean máximas.

La realización del mantenimiento debe en lo posible efectuarse según el óptimo técnico que consiste en:

- Minimizar el tiempo de avería de las máquinas y equipos y con preferencia las máquinas críticas.
- La conservación oportuna.

2.4.4 CONCLUSIONES

1. El mantenimiento se aplica para establecer:
 - La detección precoz y la prevención correctiva.
 - La prevención correctiva.
 - La corrección preventiva.
 - La corrección.
2. Según el concepto aplicado el mantenimiento es preventivo o correctivo en mayor o menor grado.
3. El mantenimiento preventivo se fundamenta principalmente en la prevención y la predicción basados en inspecciones y trabajos sistemáticos.
4. El mantenimiento constituye un sistema resultante del conjunto de acciones destinadas a tal fin y comprende
 - el mantenimiento predictivo
 - el mantenimiento previsorio
 - las modificaciones técnicas
 - las medidas complementarias

2.4.5 PREGUNTAS CONTROL

- ¿Cuáles son los factores determinantes de la actividad industrial?
- ¿Cuál es el requisito primordial para obtener una seguridad satisfactoria? y con qué fin se la establece?
- ¿Cuáles son las medidas que se aplican? y en qué forma se aplican?
- ¿Cómo se divide el mantenimiento?
- ¿En qué consiste el mantenimiento correctivo?
- En función de la urgencia cómo se divide el mantenimiento correctivo? y cuándo se efectúa?
- En función a la corrección y prevención cómo se llama el mantenimiento correctivo?
- ¿En qué consiste el mantenimiento preventivo? y en qué se fundamenta?
- ¿Cómo se aumenta la confiabilidad? y hasta dónde?
- ¿En qué se basan la prevención y la predicción?
- ¿Cómo se realiza la prevención correctiva?
- ¿Las inspecciones de qué manera se realizan?
- ¿Qué son las certificaciones periódicas? ¿qué son las habilitaciones?
- ¿Los trabajos a efectuar en qué forma suelen realizarse?
- ¿Cuándo se realizan directa y sistemáticamente trabajos de mantenimiento sin previa inspección?
- ¿Porqué y en base a qué se adoptan distintos criterios para el mantenimiento del equipamiento?
- ¿Qué resulta de la combinación de los criterios?
- ¿Qué aspectos comprende el mantenimiento preventivo?
- ¿Qué es el mantenimiento predictivo?
- ¿Qué es el mantenimiento previsorio?
- ¿En qué consisten las modificaciones técnicas y las medidas complementarias?
- ¿Cómo se realiza la prevención correctiva?



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS
METALICAS**

ESTADO FRAGIL DE LOS METALES

Ing José Pappaterra Caballero

Agosto, 1981

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that this is crucial for ensuring transparency and accountability in the organization's operations.

2. The second part of the document outlines the various methods and tools used to collect and analyze data. It highlights the need for consistent and reliable data collection processes to ensure the validity of the findings.

3. The third part of the document describes the results of the data analysis and the key findings. It identifies the main trends and patterns observed in the data, as well as the implications for the organization's strategy and operations.

4. The fourth part of the document provides a detailed discussion of the challenges and limitations encountered during the research process. It acknowledges the potential biases and limitations of the data and the methods used, and discusses ways to mitigate these issues.

5. The fifth part of the document offers conclusions and recommendations based on the findings. It provides a clear and concise summary of the key points and offers practical suggestions for how the organization can improve its performance and achieve its goals.

6. The sixth part of the document includes a list of references and a bibliography. It provides a comprehensive list of the sources used in the research, ensuring that the work is properly cited and that credit is given to the original authors.

7. The seventh part of the document contains a list of appendices and supplementary materials. These include additional data, charts, and tables that provide further detail and support for the findings and conclusions presented in the main text.

8. The eighth part of the document is a concluding statement that summarizes the overall purpose and significance of the research. It reiterates the key findings and the importance of the work, and expresses the hope that the research will contribute to the field and provide valuable insights for the organization.

ESTADO FRAGIL DE LOS METALES

1

se define la FRAGILIDAD como el comportamiento de un metal en el que una ligera deformación o cambio repentino de temperatura produce su rotura en forma quebradiza.

Invariablymente asociada con:

- BAJA RESISTENCIA AL CHOQUE
- BAJA DUCTILIDAD
- FALTA DE ESTRICCIÓN (en el ensayo de tracción)

Se encuentra en: ACEROS ENDURECIDOS, METALES QUE CONTIENEN MEMBRANAS FRAGILES EN LOS LIMITES DE GRANO

A la expresión CONDICIÓN FRAGIL se la define como: un descenso en la ductilidad de un metal después de un cierto tratamiento térmico o mecánico o en servicio. Incluso una ligera disminución del alargamiento, se considera suficiente para aplicarle esta denominación.

La fragilidad es lo opuesto a tenacidad que se caracteriza por su alta resistencia asociada a cierta plasticidad.

En algunos metales, la fragilidad sólo se pone de manifiesto sólo en el límite de granos, mientras el propio grano se mantiene dúctil. (A)

La baja ductilidad y el estado fragil pueden ser propiedades inherentes o estar producidos por el tratamiento térmico o por condiciones desfavorables de servicio.

DIFERENTES TIPOS DE FRAGILIDAD

- 1 - Fragilidad INHERENTE de los metales o de sus microconstituyentes tales como: carburos, martensita, compuestos intermetálicos, etc.
- 2 - Fragilización y falta de ductilidad asociada con tamaño de grano grande.
- 3 - Fragilidad de Stead.
- 4 - Fragilización o falta de ductilidad inducida por el endurecimiento por deformación.
- 5 - Fragilización originada por impurezas en solución en el metal. (P)
- 6 - Fragilización producida por tensiones residuales.
- 7 - Fragilidad resultante de la precipitación de partículas duras de la solución sólida (frag. de revenido, frag. azul, falta de duct. por envejecimiento excesivo.
- 8 - Fragilidad atribuida a la presencia de gases fragilización por: Hidrogeno; galvanizado; ácido; nitrógeno, oxígeno.
- 9 - Fragilidad cóstica.
- 10 - Fragilidad al rojo producida por la presencia de puntos de fusión bajos.
- 11 - Fragilidad producida por la presencia de películas frágiles en el límite de los granos.
- 12 - Falta de ductilidad producida por discontinuidades en los límites de granos.

FRAGILIDAD INHERENTE

Propia de los carburos.

El grado de fragilidad depende de la forma estructural.

Es máximo cuando presentan forma de placas o filamentos

se reduce y aún desaparece cuando presenta forma globular.

La dureza de los glóbulos se neutraliza por el ablandamiento de la matriz en que se encuentran embebidos.

Los carburos esferoidales no producen fragilidad en tanto que la matriz permanezca plástica.

En trabajo en frío esta condición puede susistir hasta que la matriz se hace demasiado dura.

- La fragilidad inherente de la martensita puede estar producida por: alto carbono, gran tamaño de grano y textura martensítica gruesa. a veces a causa de altas temperaturas de temple y velocidades. La presencia de "grietas" de temple microscópicas.

Otros numerosos constituyentes son frágiles por naturaleza:

- la fase β de los latones.
- el eutectoite del bronce.

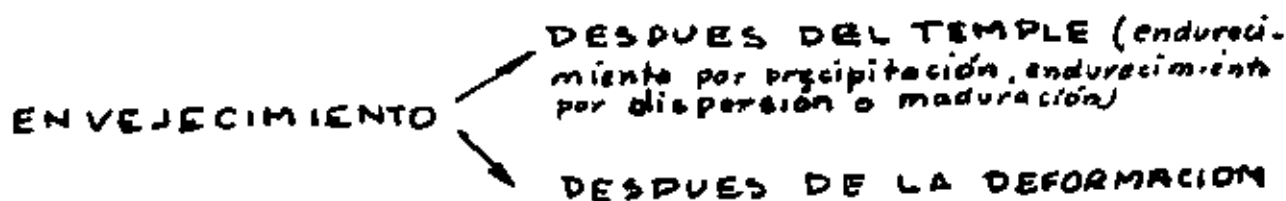
FRAGILIDAD PRODUCIDA POR IMPUREZAS EN SOLUCION

UN EJEMPLO ES EL EFECTO DEL FOSFORD
EN EL ACERO CUANDO EXCEDE EL LIMI
TE ADMISIBLE (0.05% O MENOS) HACIENDOLO
FRAGIL. EL EFECTO NOCIDO SE AGRAVA POR SU
TENDENCIA A LA SEGREGACION; TAMBIEN AV.
MENTA CON LA PRESENCIA DE CARBONO.

ENVEJECIMIENTO

7

- ES UN CAMBIO ESPONTANEO DE PROPIEDADES QUE SE PRODUCEN EN EL ACERO E HIERRO A TEMPERATURA AMBIENTE O MODERADAMENTE ELEVADA, DESPUES DE UN TRATAMIENTO TERMICO FINAL O UNA OPERACION FINAL DE TRABAJO EN FRIO
- ESTOS CAMBIOS SE REALIZAN CON RELATIVA LENTITUD A LA TEMPERATURA AMBIENTE PERO SE ACELERAN CON LA ELEVACION DE TEMPERATURA.



EL CAMBIO DE PROPIEDADES DEL DURALUMINIO SE DEBE A LA PRECIPITACION DE PARTICULAS DURAS DE $Cu Al_2$ EN LA MATRIZ DE ALUMINIO.

ES LA MANIFESTACION DE UNA TENDENCIA HACIA EL EQUILIBRIO

FRAGILIDAD DE REVENIDO

SE PRESENTA: EN CIERTOS ACEROS QUE SON MANTENIDOS O ENFRIADOS LENTAMENTE A TRAVÉS DE UN INTERVALO DETERMINADO DE TEMPERATURA POR DEBAJO DEL DE TRANSFORMACION. (desde $450 \approx 590^{\circ}\text{C}$)

SE PONE DE MANIFIESTO: EN EL ENSAYO DE RESILIENCIA A TEMPERATURA AMBIENTE O INFERIORES. Y ATAQUES CONSISTE EN: PERDIDA DE GRAN PARTE DE SU PLASTICIDAD

TEORIAS QUE EXPLICAN LA CAUSA DE LA FRAGILIDAD

1- POR LA PRECIPITACION DE CARBUROS DE LA FERRITA EN EL LIMITE DE LOS GRANOS ALFA.
(con contenido de oxígeno)

2- POR LA PRESENCIA DE NITRURROS (F. 189-190)

SON SUSCEPTIBLES: LOS ACEROS Cr-Ni Y LOS DE $0,50\%$ Mo
LOS ACEROS SEMICALMADOS MAS QUE LOS CALMADOS
LOS ACEROS AUSTENITICOS SON INMUNES.

FRAGILIDAD AL AZUL

ES UNA REDUCCION DE DUCTILIDAD CONSECUENCIA DEL ENVEJECIMIENTO CON DEFORMACION CUANDO CIERTAS ALEACIONES FERREAS TRABAJAN ENTRE 150°C Y 370°C.

ALGUNOS CASOS:

- EN UN ENSAYO DE TRACCION REALIZADO DENTRO DEL INTERVALO AZUL DE TEMPERATURA.
- DESPUES DE CUALQUIER DEFORMACION PRODUCIDA DENTRO DE ESTE INTERVALO.
- EN EL CALENTAMIENTO HASTA EL INTERVALO AZUL DESPUES DE UNA DEFORMACION A TEMP. AMBIENTE
- PARA LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS SE RECOMIENDA NO APLICAR OPERACIONES MECANICAS COMO: MARTILLADO, ESTAMPADO, ABLANADO A LA TEMPERATURA DEL AZUL PORQUE PUEDEN APARECER GRIETAS.

LA FRACTURA POR FRAGILIDAD AZUL TIENE ASPECTO CRISTALINO

FRAGILIDAD DEBIDA A LOS GASES ¹³⁻¹⁰

SE ENCUENTRAN:

10

ADSORBIDOS - DISUELTOS - FORMANDO COMPUESTOS QUIMICOS CON EL METAL - OCLUIDOS EN VENTRADURAS Y CAVIDADES.

EL H PENETRA EN EL ACERO DURANTE EL ELBC, TRODEPOSITO PRODUCIENDO FRAGILIDAD EN EL METAL, SE ELIMINA CON UN RECOCIDO A BAJA TEMPERATURA.

- difunde a lo largo de los límites de grano

EL H - disminuye el alargamiento (ac. suave) pero no su resistencia a la tracción o a esfuerzos rep. x

EL O - PRODUCE UNA MARCADA DISMINUCION DE LA DUCTILIDAD.

EL N. - SE ATRIBUYE UNA RELACION CON LA FRAGILIDAD AZUL

II

FRAGILIDAD AL ROJO

ES PRODUCIDA POR LAS IMPUREZAS DE BAJO PUNTO DE FUSION.

ES CAUSA DE PROBLEMAS EN LAMINADO Y FORJA.

A LA TEMPERATURA REQUERIDA PARA ESTAS OPERACIONES LAS IMPUREZAS FUNDEN O SE REBLANDECEN ORIGINANDO GRIETAS. (EL S EN Fe)

FENOMENO SEMEJANTE: Pb PRESENTE EN EL Cu ELECTROLITICO. CUANDO LA PROPORCION DE Cu₂O ES DEMASIADO BAJA.

FRAGILIDAD DEBIDA A LA
PRESENCIA DE MEMBRANAS FRAGILES
EN LOS LIMITES DE GRANO

CASO TIPICO: LA PRESENCIA DE PEQUEÑAS CANTIDA-
DES DE Bi.

Los dos metales forma un eutéctico que es
expelido hacia los bordes del grano.

Este es muy frágil e imparte la misma pro-
piedad al oro.

Los granos permanecen dúctiles pero el metal
como un todo, puede romperse en pequeños
trozos.



Fig. 174

x 100

Grata de estampado en una zona de grano grueso de una barra de wolframio recocida.

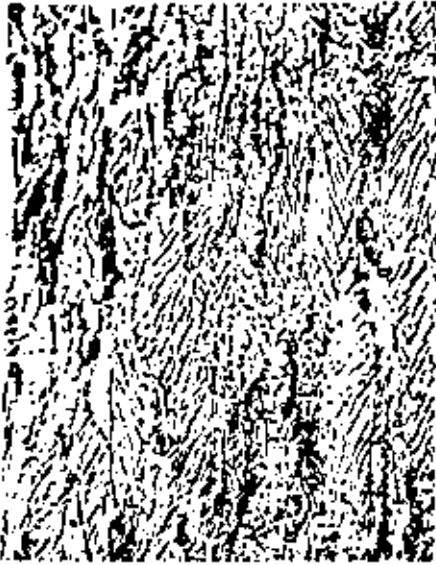


Fig. 177 x300

Sección longitudinal de un tubo de acero
trabajado en carbono. Trabajo en frío.
Bandas de deslizamiento muy marcadas.

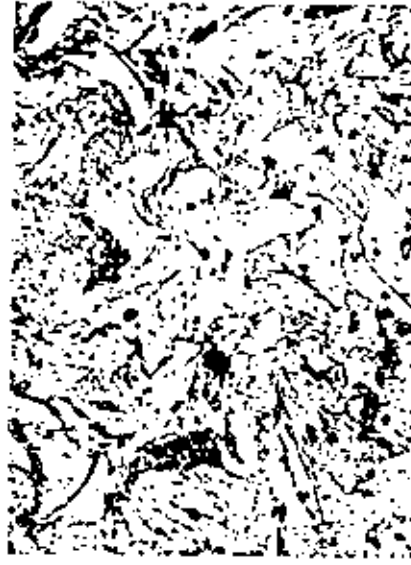


Fig. 178 x300

Sección transversal de un tubo de
acero bajo en carbono trabajado en
frío.

Endurecimiento de los metales por deformación.



Fig. 179
Fibra de cobre

Las fibras de cobre se ven en esta imagen, pero no se ven los detalles de la estructura de la fibra.



Fig. 180 x 170
Fibra de bronce de aluminio

Las fibras de bronce de aluminio se ven en esta imagen, pero no se ven los detalles de la estructura de la fibra.



Fig. 181 x 180
Fibra de litio

Las fibras de litio se ven en esta imagen, pero no se ven los detalles de la estructura de la fibra.



Fig. 196 x 15

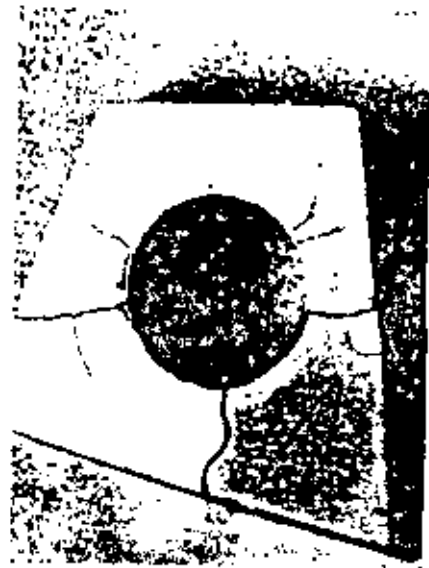


Fig. 197 x 1

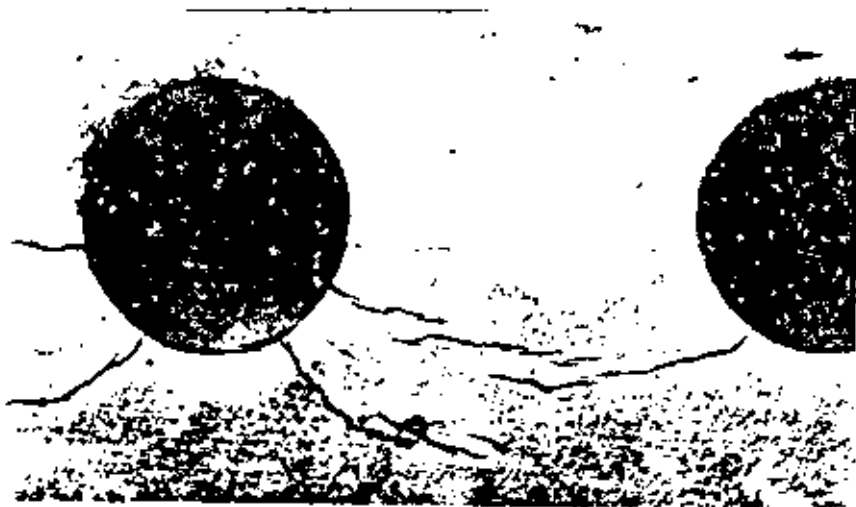


Fig. 198

Fracturas similares producidas en laminas de esmalte



Fig. 182 - 663

Sección longitudinal de un tubo de acero bajo en carbono, después de una reducción de 24 veces en el proceso Rockrite (sin recocido).



Fig. 183 - 1330

Sección longitudinal de un tubo bajo en carbono, después de una reducción de 55 veces con el proceso Rockrite (sin recocido).

Formación de estructura fibrosa



Fig. 184 - 1000
Grieta producida en un diámetro de acero tratado con Rockrite.



Fig. 185 - 100
Grietas en un diámetro de acero tratado con el proceso Rockrite.

Rotura de fibras en los metales tratados con Rockrite



Fig. 186 170
Papel tratado en Fe.



Fig. 187 x 63
Cobre desoxidado tratado en Fe y parcialmente recocido.



Fig. 188 170
*Superficie de sulfuro rojo (Fe₂S₃) recocido.
 Pliegues en metales tratados en Fe.*

200

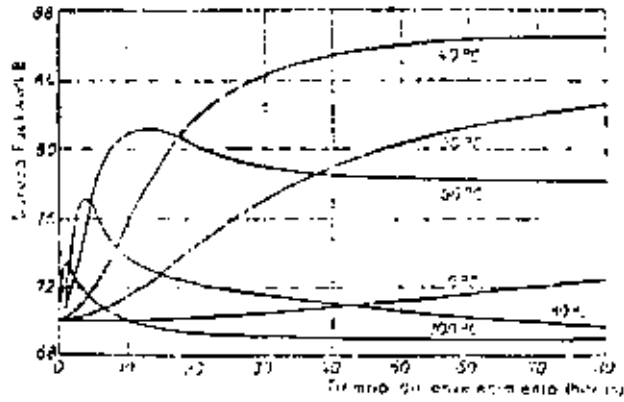


Fig. 191

Cambio de tamaño por envejecimiento de una aleación a diferentes temperaturas

(Por cortesía de Lavenant y Davis)



Fig. 192

Temperatura 410°C, tiempo de envejecimiento 112 h

Fig. 193

Fig. 193

Temperatura 250°C

(Por cortesía de Paul Smith y Willy, "Acta Metallurgica", vol. 10, no. 2, pp. 155-157)



FIG. 181
 Nucleus of a cell in the
 tissue of the
 Siphon. (Ehrlich, 1911)

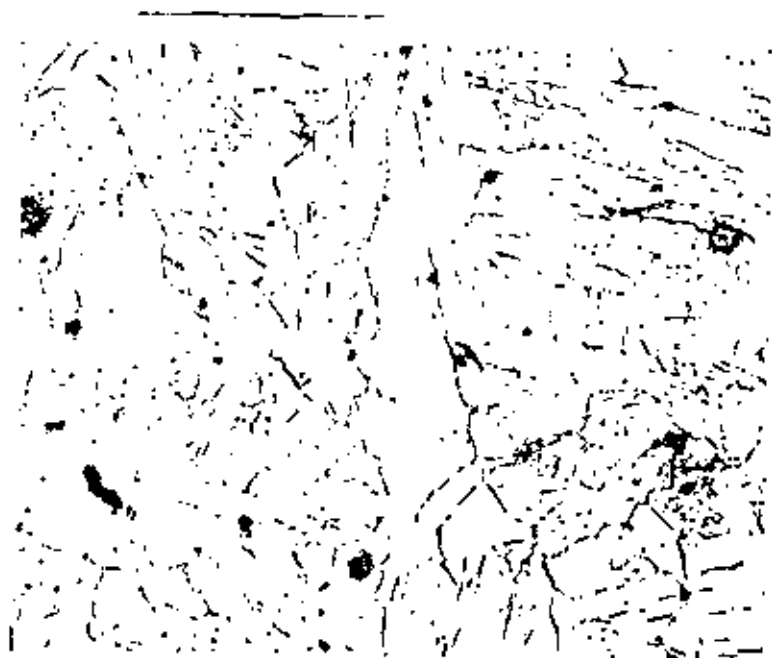


FIG. 182
 Nucleus of a cell in the
 connective tissue of the
 Siphon. (Ehrlich, 1911)

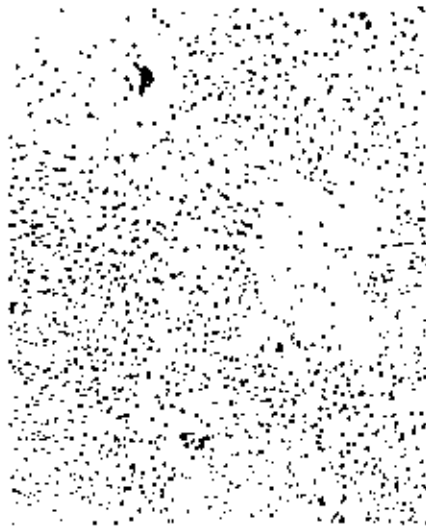


Fig. 194

750

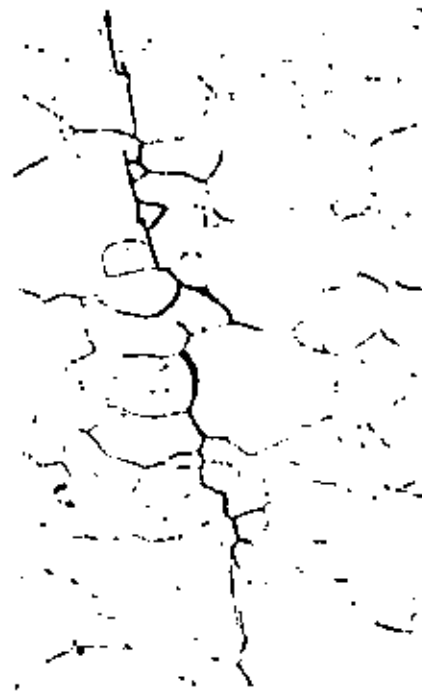
Aloque muy ligero

Fig. 195

Grato intercristalina

Fragilidad por hidrogeno

Alambre fragilizado de nitrógeno expuesto como elemento de
calibración de un horno

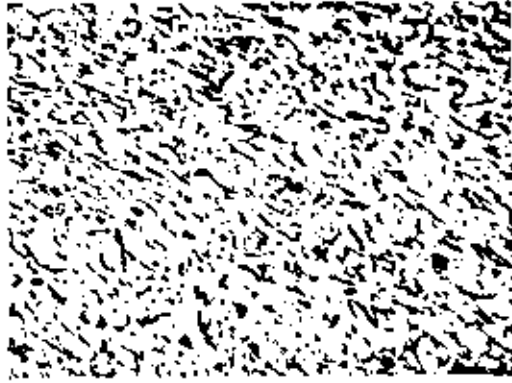


Fig. 189
Distribución de los granos orgánicos en el hongo de cultivo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.



Fig. 200
Estructura de *Saccharomyces cerevisiae* en cultivo.



Fig. 91

1000

Granja en plancha de caldera atribuida a fragilidad rústica.

TABLA 7-1

Propiedad	Austenita de grano	
	Fino	Grande
1. Al calentarse ligeramente sobre la temperatura crítica	Se mantiene el grano fino.	Tiende a engrosarse.
2. Templabilidad	Menor.	Mayor.
3. Austenita retenida	Menos.	Más.
4. Distorsión en el temple	Menos.	Más.
5. Tendencia a agrietarse en el temple	Menos.	Más.
6. Tensiones internas después del temple	Más bajas.	Más altas.
7. Tendencia a huellas blandas después del temple	Mayor.	Menor.
8. Comportamiento en la cementación	Capa menos profunda.	Capa más profunda.
9. Maquinabilidad después de normalizado	Inferior.	Mejor.
10. Fragilización por la deformación en frío	Menor.	Mayor.
11. Tenacidad	Mayor.	Menor.

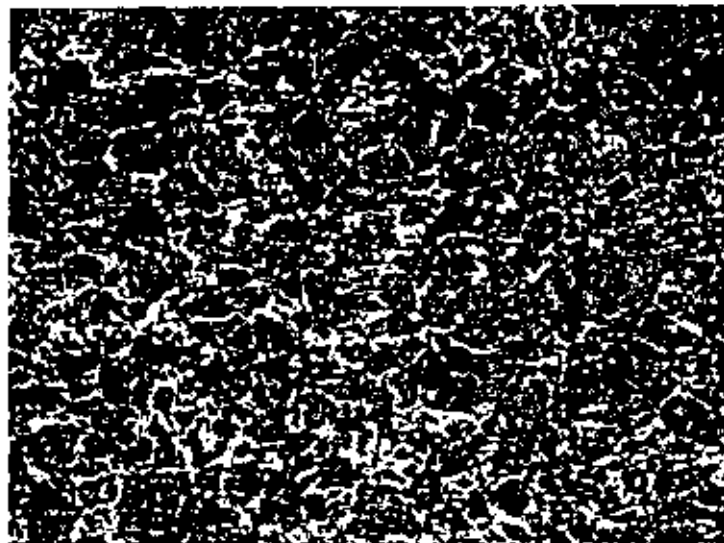


FIG. 7-1. Tamaño de grano austenítico en un acero ordinario con 0,50% de carbono, purificado por una red de ferrita, 100 aumentos. (Por cortesía de U.S. Steel Corp. Research Laboratory)

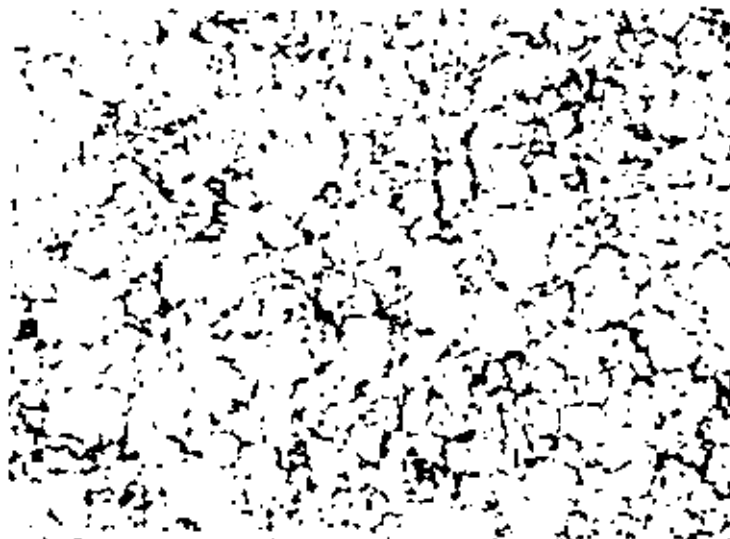
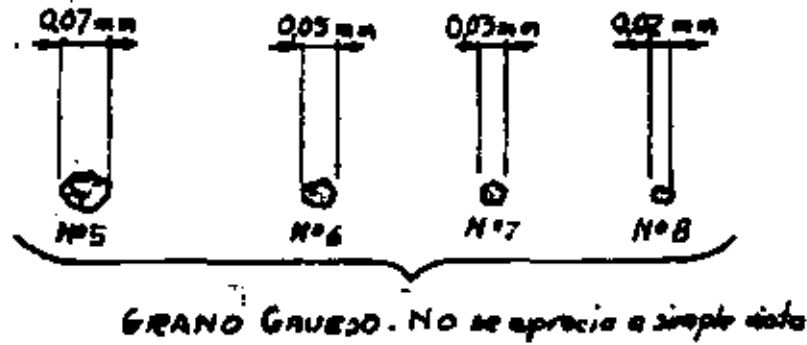
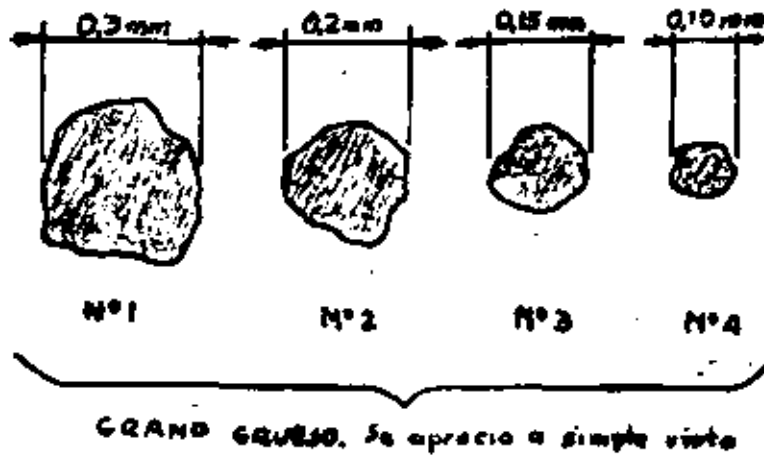
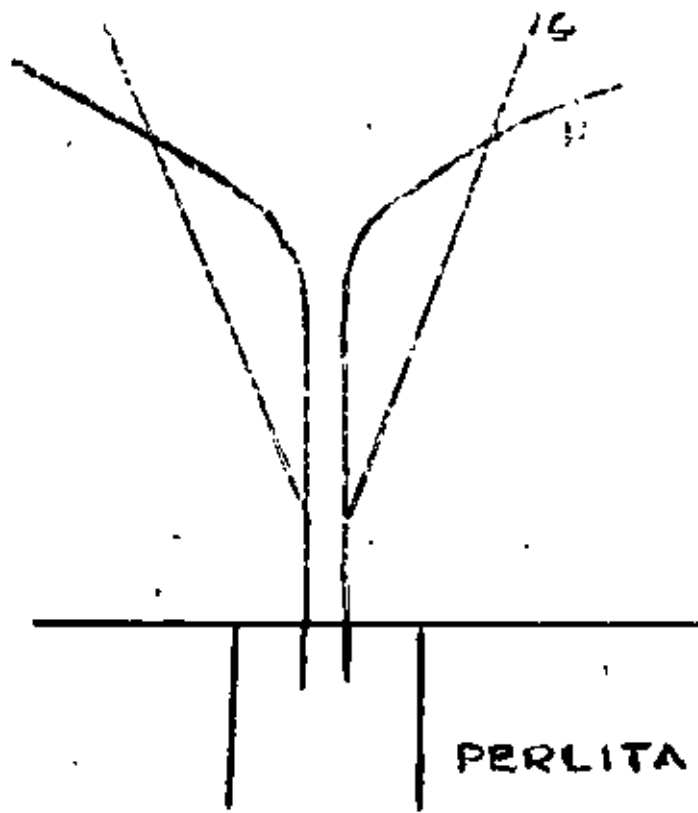
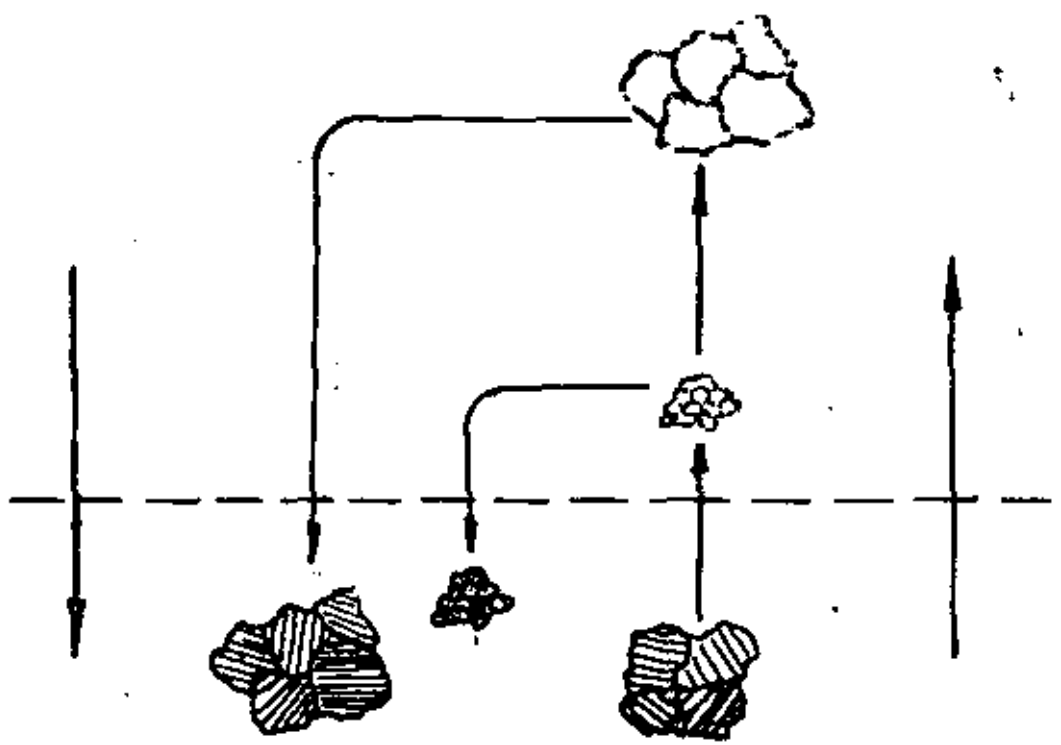


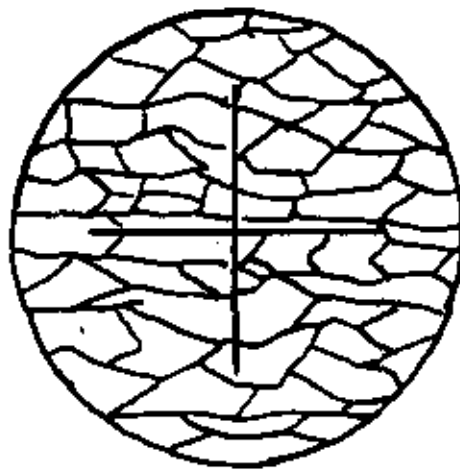
FIG. 7-2. Tamaño de grano austenítico en un acero ordinario con 0,50% de carbono, purificado por una red de ferrita, 100 aumentos. (Por cortesía de U.S. Steel Corp. Research Laboratory)



TAMAÑO DE GRANO a 100 aumentos
ESCALA ASTM







*Granos alargados y medida
de la relación de forja.*

EFECTOS	CAUSAS Y/O EFECTOS	REMEDIOS
CALENTAMIENTO INSUFICIENTE	Calentar a una temperatura inferior a la temperatura de temple	Recocer normal de nuevo, enfriar lentamente, temple nuevamente con temperatura y tiempos correctos.
SOBRECALENTAMIENTO	Calentar a temperatura tan superior a la que aunque se respete el tiempo, se obtiene un notable engrosamiento del grano.	Piezas forjadas: eventualmente forjar a fondo y recocer normalmente.
TIEMPO EXCESIVO de CALENTAMIENTO	Mantener la temperatura de temple durante un tiempo muy prolongado provocando un grano grueso	①
QUEMADO	Calentar a una temperatura muy por sobre el punto de transformación superior que se produjo un deterioro permanente de la estructura.	Irreparable con pérdida de la pieza ②
FRAGILIDAD	<ol style="list-style-type: none"> 1- Por sobrecalentamiento, tiempo muy largo. 2- Acero mal seleccionado 3- Revenido insuficiente 4- Para piezas con estado: Carbonización muy profunda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Como en ① - Reemplazar temple al agua fría temple al aceite. - Revenir más tiempo y a temperatura más elevada. - Cementar menos profundamente
GRAN GRUESO	<ol style="list-style-type: none"> 1- Sobrecalentamiento tiempo muy largo 2- Para piezas forjadas: forja insuficiente 	- Como en ① ④
DEFORMACIONES Y FISURAS	<ol style="list-style-type: none"> 1- Temple muy fuerte 2- Acero inadecuado 3- La modificación de la estructura no se extiende a toda la sección 4- Agua en el aceite de temple. 5- para los aceros de herramientas revenido insuficiente. 6- Para los aceros rápidos: mal precalentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar medios de temple más suaves, eventualmente, temple escalonado o temple por baño caliente. - Reemplazar aceros que temple al agua por aceros que temple al aire. - Mantener durante más tiempo a la temperatura de temple, en particular los aceros rápidos (arros al agua). - Hervir el aceite (si el calentamiento es excesivamente rápido puede retener el recipiente.) - Reemplazo arros del aceite por un baño caliente. - Revenir mayor tiempo y a temperatura más elevada. - Precalentar en dos etapas <p>⑤</p>

DEFECTOS	CAUSAS Y EFECTOS	REMEDIOS
TEMPLE INSUFICIENTE	1- Enfriar insuficientemente. 2- El calentamiento o la modificación de la estructura no se extiende por toda la sección. 3- Temple muy suave 4- Austenita residual (en particular, con los aceros fuertemente aleados) 5- Zonas blandas 6- Errores en la medida de la dureza 7- Baño manchado de barro	- Enfriar mejor - Como en (3) - Utilizar un medio de temple más energético. - Efectuar varios revenidos, recocidos intermedios, enfriar a baja temperatura. - Como en (7) - Verificar el aparato de medida de dureza, colocar correcciones al aparato y utilizar una carga adecuada. - Hacer desaparecer el barro (6)
SUPERFICIE BLANDA	1- Temperatura de temple muy baja 2- Decarburación 3- Austenita residual	- Calentar más alto, e incluso mayor tiempo. - Hornos: Atmósfera protectora Baños de sales: Aumentar el % de carbono en el baño - Como en (4) (7)
LUGARES NO TEMPLADOS	1- Enfriamiento insuficiente 2- Temple muy suave 3- Burbujas de vapor 4- Baño caliente	- Como en (1) - Como en (3) - Utilizar una solución del 5 al 10% de sal, agitar las piezas durante el temple - Limpiar el baño (8)



Fig. 146 $\times 150$
 Sección ionocámbria: 2/3 mm de la
 fig. 145

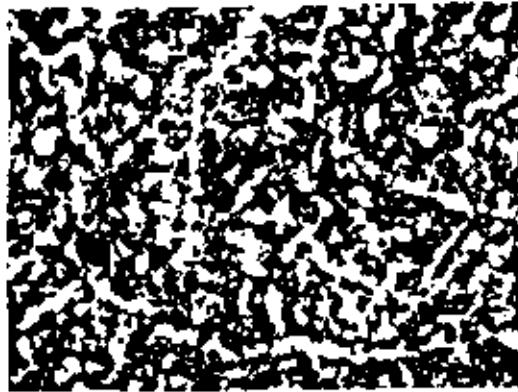


Fig. 145 $\times 75$
 Sección transversal de un eje de acero
 roto por fatiga. Nótese el gran tamaño
 de los granos austeníticos

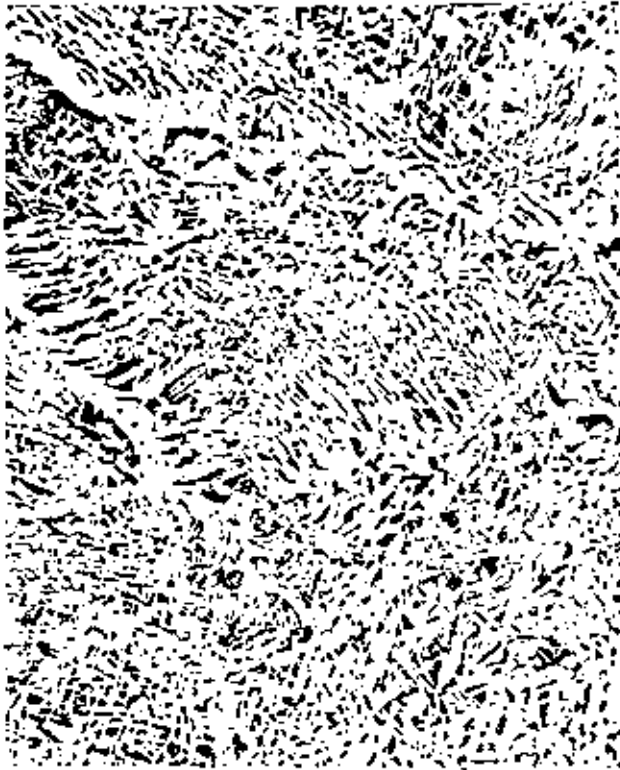


Fig. 147

x 30

Estructura Walmensklaffen der acera



Fig. 148

(Por contextu de N. T. Bolnwa)

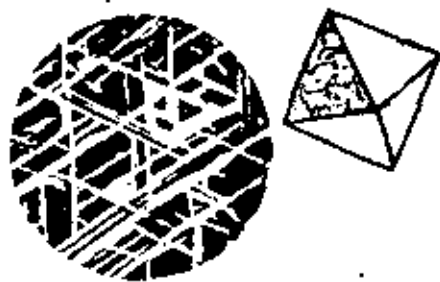


Fig. 149

(Por contextu de N. T. Bolnwa)

Estructura Walmensklaffen.



Fig. 150 x 200
 1%. Carbono.
 Estructura Widmanstätten de un acero no templado.

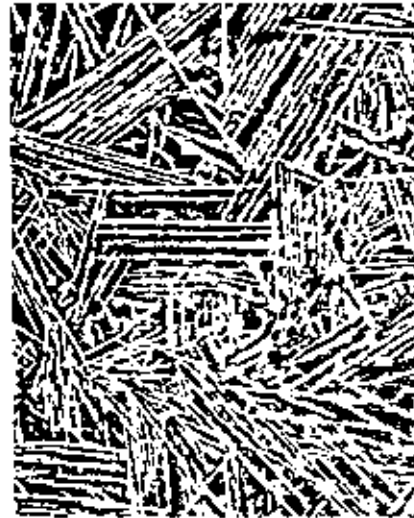


Fig. 151 x 65
 Cementita de acero de herramientas.



Fig. 152 x 330
 Estructura martensítica propia de una
 aleación hierro-níquel.

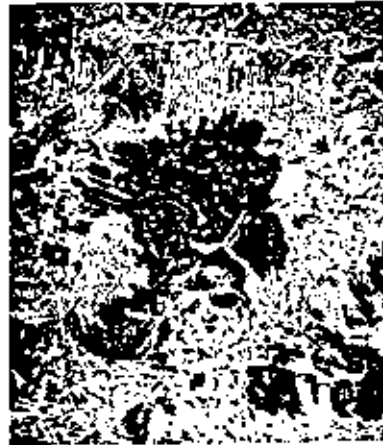


Fig. 153 x 65



Fig. 154 x 30
Estructura Widmanstätten de ferrita



Fig. 155 x 75
Estado múltiple.
Estructura Widmanstätten de metales y aleaciones no férricas



Fig. 156 x 75
Metal Múltiple



Fig. 157 $\times 600$
Acero quemado



Fig. 158 $\times 50$
Superficie de acero quemado, mostrando retículo de óxido.

(Por cortesía de J. L. Burns y V. Brown. Metal Progress, 1937).



Fig. 159 $\times 150$

Placa de hierro que se quemó, en donde penetró el óxido y se estructuró así.

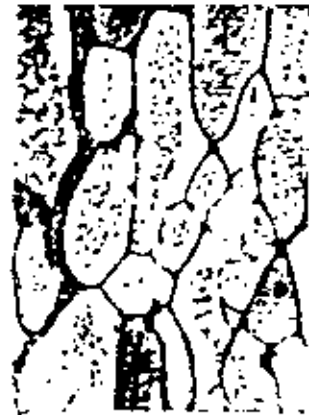


Fig. 160 $\times 400$

Placa de hierro que se quemó.

(De Practical Metallurgy, por Guo Siens y Kián-tí Van Hsün.)



Fig. 161

Grietas incipientes por temple en acero.

(Por cortesía de Davenport, Roll y Bate, 93).



Fig. 162

x 50

Grietas de temple en un acero de herramienta sobrecalentado.



Fig. 163

213

Grieta de temple próxima a la superficie del acero.



Fig. 164

x 1330

Grieta incipiente en martensita de acero.

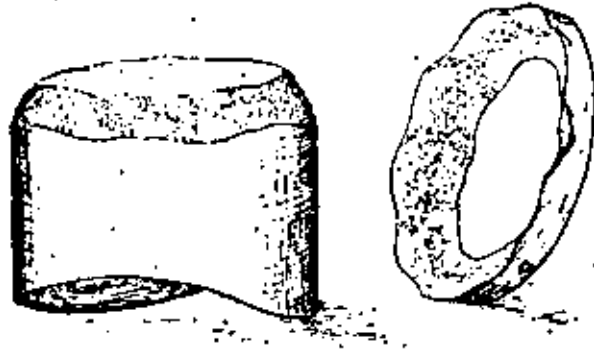


Fig. 165

Cracka curvada de enfriamiento, en hierro apado, producida por enfrío en las direcciones perpendiculares.
(Por cortesía de Harry Brearley).



Fig. 166

Cracka producida por enfriamiento en las aristas.



Fig. 167

Deformación producida por enfriamiento.

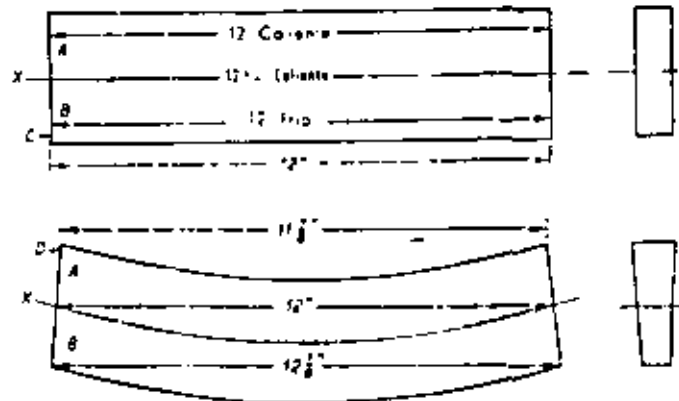


FIG. 168

Alabeo producido por calentamiento local.
(Por cortesía de John F. Keller).

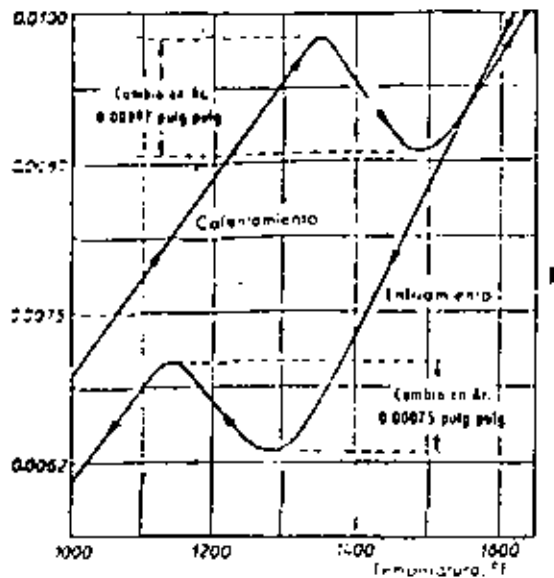


Fig. 169

Cambios de volumen por calentamiento y enfriamiento. Curva dilatación para demostrarla de que el cambio en las partes críticas del acero medio en carburos es de aproximadamente 0.001 in por in en todas direcciones (Por cortesía de A. W. Dainoff)

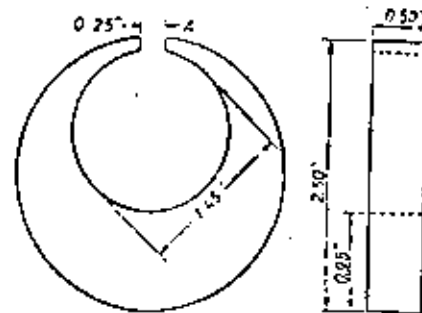


Fig. 170

Cambios dimensionales por calentamiento. Probeta empleada por la U. S. Navy. (De «The Quenching of Steel» por H. J. French.)

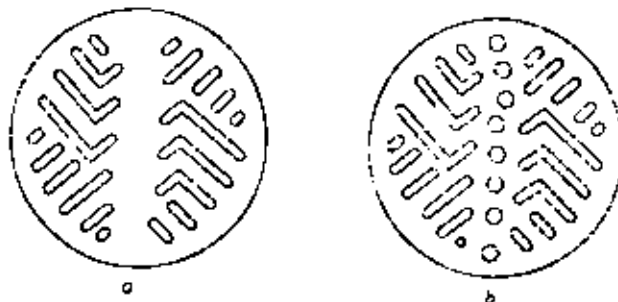


FIG 171

Eliminación de exceso de metal para igualar la distribución de masa en disco torneado, con anchura fija en el centro en su eje.
 a) Taladro en la zona central para quitar la cantidad de metal y nivelar el fondo.
 (Por cortesía de Frank B. Palmer en «Tool Steel Simplified»)

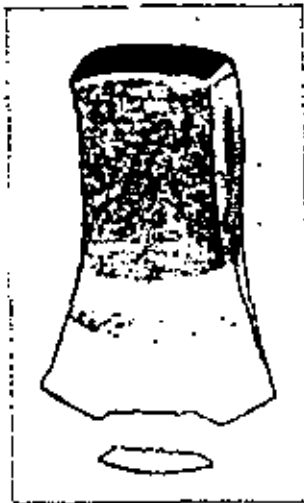


Fig. 171

Grietas en media luna en un
hacha. Las grietas en las he-
rramientas pueden tener ori-
gen en los puntos débiles.

De «The Heat Treatment of
Tool Steels», por Henry Buckley.

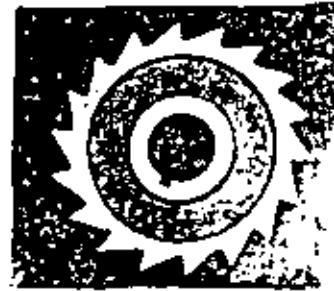


Fig. 173 a



Fig. 173 b

Defecto superficial producido por endurecimiento de herramientas de
alta velocidad de corte.

a) Endurecida en atmósfera reductora.

b) Endurecida en atmósfera oxidante.

«Por cortesía de F. E. Palmer»



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS
METALICAS**

TENSIONES INTERNAS

Ing José Pappatorra Caballero

Agosto, 1981

TENSIONES INTERNAS

000 1

- DEFINICION -

ES EL DEFECTO DE FUNDICION POR EL CUAL LAS PIEZAS
 PRESENTAN SOLICITACIONES INTERNAS. ESTAS ULTIMAS
 HAN NACIDO EN EL CURSO DEL ENFRIAMIENTO COMO
 CONSECUENCIA DE OPOSICIONES A LA CONTRACCION.

FORMACION

2

COMO LAS SOLICITACIONES INTERNAS NACEN EN EL METAL COMO CONSECUENCIA DE OPOSICIONES A LA CONTRACCION, PARA QUE ELLAS PERSISTAN EN LA PIEZA, SERA NECESARIO QUE ESTAS OPOSICIONES NO DESAPAREZCAN DESPUES DEL ENFRIAMIENTO. ASI LAS OPOSICIONES PROVENIENTES DE LOS MOLDES Y CORAZONES NO SE TENDRAN EN CUENTA PUES ELLAS SE ANULARAN DURANTE EL DESMOLDEO.

LAS TENSIONES INTERNAS TIENEN COMO ORIGEN EN OPOSICIONES A LA CONTRACCION PROVENIENTES DE LA PIEZA MISMA Y SON DEBIDAS A LA HETEROGENEIDAD DEL ENFRIAMIENTO.

3

ASPECTO

- LAS TENSIONES INTERNAS PUEDEN EXISTIR SIN QUE EL ASPECTO EXTERIOR DE LA PIEZAS SE AFECTE
- ENSAYOS ESPECIALES POR MEDIO DE LOS RAYOS X PERMITEN DETECTARLAS SIN AFECTAR LA PIEZA.
- OTROS ENSAYOS CONSISTENTES EN SECCIONAR LAS PIEZAS EN LUGARES ELEGIDOS PERMITEN GRACIAS A LA DEFORMACION QUE PRESENTA, PONER EN EVIDENCIA TENSIONES INTERNAS LOCALES. LA MEDIDA DEL DESPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS DE REFERENCIA SITUADOS ANTES DEL CORTE DAN UNA IDEA DEL SENTIDO Y DE LA IMPORTANCIA DE LAS TENSIONES INTERNAS.

CAUSAS

LAS TENSIONES INTERNAS SON DEBIDAS
 A LA APARICION, EN EL METAL DE LA
 PIEZA, DE OPOSICIONES A LA CONTRACCION
 DEBIDAS A LA HETEROGENEIDAD DEL EN
 FRIAMIENTO.

REMEDIOS

5

I. REDUCIR LA HETEROGENEIDAD DE LA CONTRACCION DE LA PIEZA

A. DIMINUYENDO LA CONTRACCION DE LA ALEACION

- Modificando la composición química

B. REDUCIENDO LA ANISOTERMIA.

- Dejando enfriar los piezas en el molde.
- Evitar corrientes de aire sobre los piezas de moldes calientes.
- Modificando la forma de la pieza.

II - DIFICULTAR LAS SOLICITACIONES INTERNAS

- Modificando la forma de ciertas partes de la pieza.

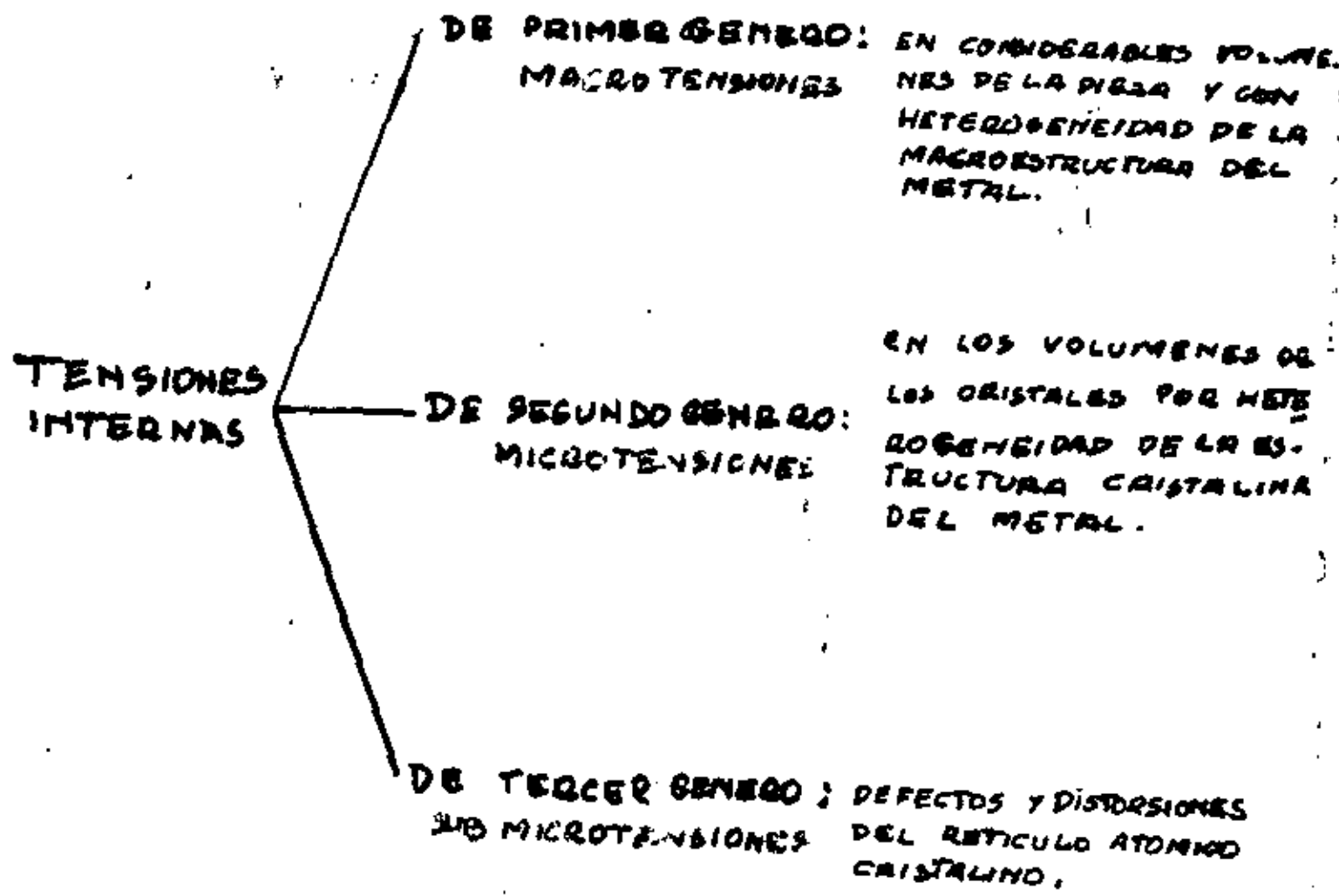
III - ELIMINAR LAS TENSIONES INTERNAS

- Por recocido efectuado en condiciones bien estudiadas.

Las tensiones que quedan en los metales después de una deformación en frío o un enfriamiento rápido se llaman: **tensiones residuales o internas.**

Cuando afectan una porción relativamente grande del metal: **macrotensiones**

y cuando se ubican en los granos individuales: **microtensiones**



DESCRIPCION GENERAL DE LAS GRIETAS O FISURAS:

1) segun su trayectoria: pueden ser:

- 1 - TRANSCRISTALINAS
- 2 - INTERGRANULARES
- 3 - PARCIALMENTE TRANSCRIS. E INTERG.

2. Segun la DIRACCION y LOCALIZACION pueden ser:

- 1 - PERPENDICULAR A LA PIEZA ROTA . 141
- 2 - PARALELA A LA SUPERFICIE DE LAMINACION. 184, 185
- 3 - FORMANDO ANGULO AGUDO CON LA SUPERFICIE. 184
- 4 - LOCALIZADAS EN LA SUPERFICIE.
- 5 - COMPLETAMENTE INTERNAS. 146
- 6 - INTERNAS PERO ABIERTAS A LA SUPERFICIE. 203



FIG. 202 x 150
*Grieta transcristalina en un acero
 al Cr-Ni 118-8 + 3% 500s despues
 de 14 dias en cloruro de etilo*
 (Por cortesía de Hodze y Miller)



FIG. 203 x 55
Grieta en chapa de cobre



FIG. 204 x 400
*Acero aleado para tratamiento térmico
 Cr 225% - Cr*



FIG. 205 x 665
Alambre de wolframio

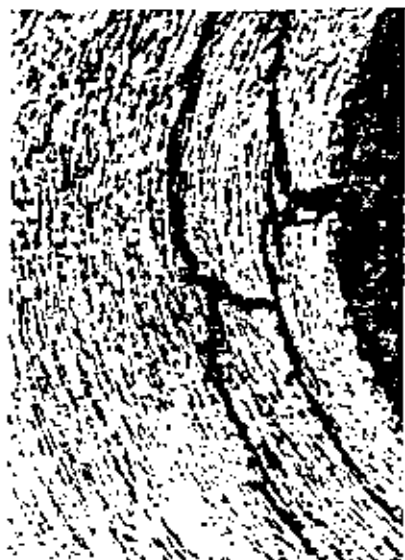


Fig. 206 x 65
Alambes de cobra.



Fig. 207 x 65
Crotas de sarpa.



Fig. 208 x 65
Crotas de naja.

2. Según la Trayectoria de las Líneas pueden ser:

- 1 - EN LINEA RECTA. 165
2. EN FORMA DE ZIG-ZAG - 204
- 3 - RAMIFICADA. 205
4. EN LINEA CURVA - 206
5. EN FORMA DE ABANICO - 207 - 208
- 6 - CIRCULAR - 209
- 7 - ESPIRAL - 11
- 8 - CONCENTRICA
- 9 - DOBLE - 20



Fig. 209 x 1
Oryctes pichinatus en un
 estado.



Fig. 210
Acro sordida



Fig. 211 x 100
Oryctes de la zona en estado de
acero.



FIG. 212
Crack en forma de diamante



FIG. 213 x 13
Crack en forma de diamante (agrietamiento central) en una barra de acero.



FIG. 214
*Crack por torsión en un acero su-
 cido*



FIG. 215
Crack longitudinal en acero



Fig. 215 263

Grieta en chapa de caldera, rota en servicio por fragilidad elástica.

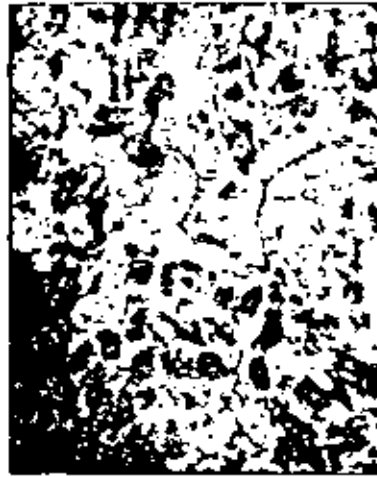


Fig. 216 75

Grieta en acero.—Nótese la descombinación.



FIG. 217 x 265

Crack produced by deformation
of metal during the work in life.



FIG. 218 x 150

Crack produced by work in life.
The metal shows the structure of metal.

4- Según la SECCION TRANSVERSAL de las grietas: pueden ser:

- 1- DE PAREDES PARALELAS. 211 15
- 2- DE PAREDES CONVERGENTES. 220
- 3- EN FORMA DE MEDIA LUNA O EN ANGULO. 212-108
- 4- DE FORMA ROMBICA. - 213

5- Según el ESPACIO INTERIOR de las grietas que puede ser:

- 1- VACIO. 204
- 2- LLENOS CON PRODUCTOS DE OXIDACION. 214
- 3- LLENOS CON MATERIAL EXTRAÑO - 215

6- Según los CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL METAL
ADYACENTE PUEDE SER:

- 1- POR DESCARBURACION. 216
- 2- POR DEBECINADO.
- 3- POR PRESENCIA DE LINEAS DE DEFORMACION. 217
- 4- POR GLOBULOS DUREOS. 218

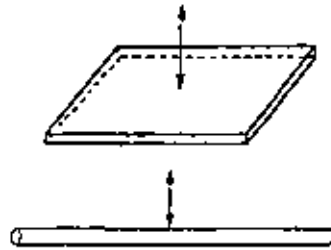


FIG. 219

Las flechas señalan la dirección de la máxima expansión por enfriamiento, en el caso de un metal de acero.



FIG. 220

x 750

Estado de resistencia de un frasco de vidrio a lo largo de las fibras.

Por las características estructurales de los granos es posible descubrir la causa y el mecanismo de rotura:

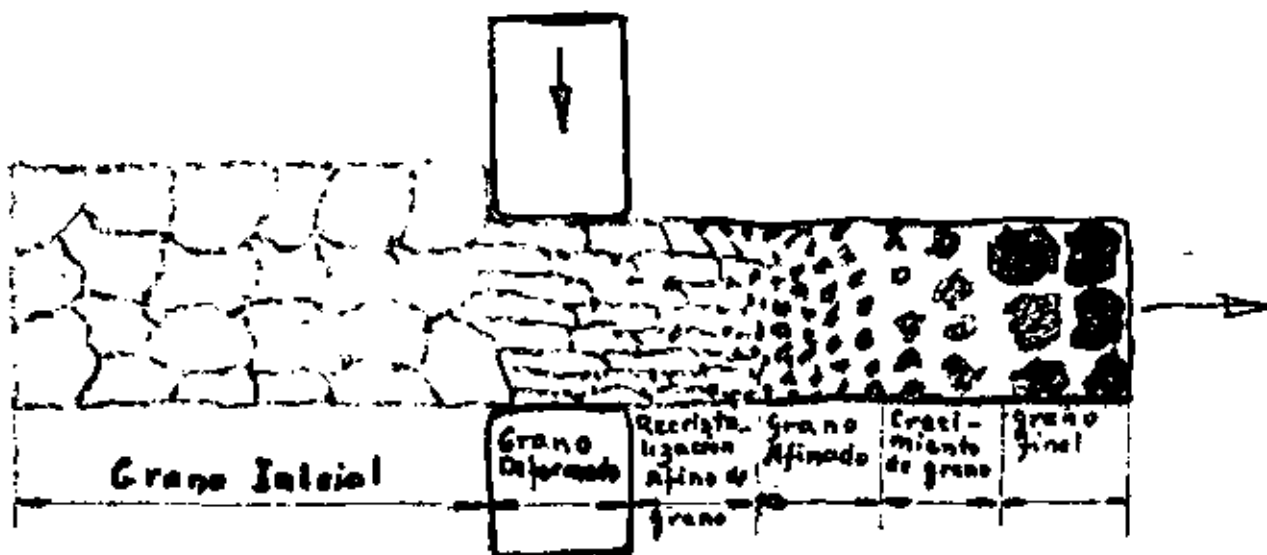
Las grietas de temple son la mayoría de los casos intergranulares pero en aceros aleados pueden ser tanto transcristalinas como intergranular. (234) y aun con límites dobles.

La razón de estas variaciones debe buscarse en la textura de la martensita.

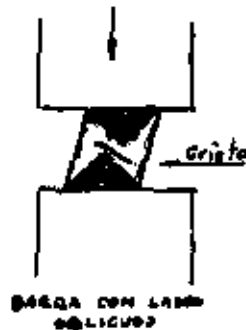
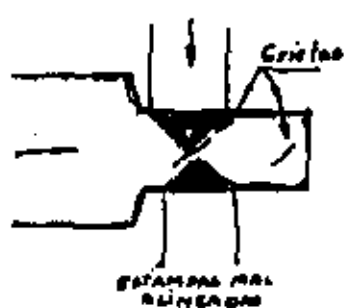
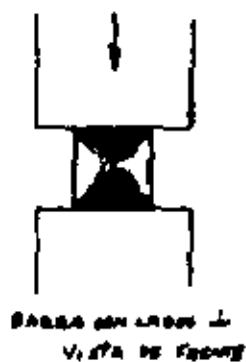
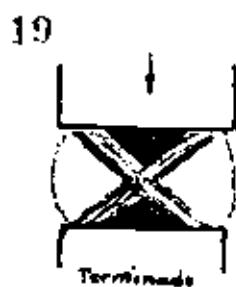
Se considera que las grietas intercristalinas son las patológicas y las transcristalinas son las normales

- A temperatura normal (ordinaria) los límites de granos son más resistentes que los granos, pero a temperatura elevada el estado se invierte y la adherencia se debilita y las grietas siguen los límites.

A la temperatura equicohesiva ambas tendencias se equilibran.



PROCESO DE RECARGADO



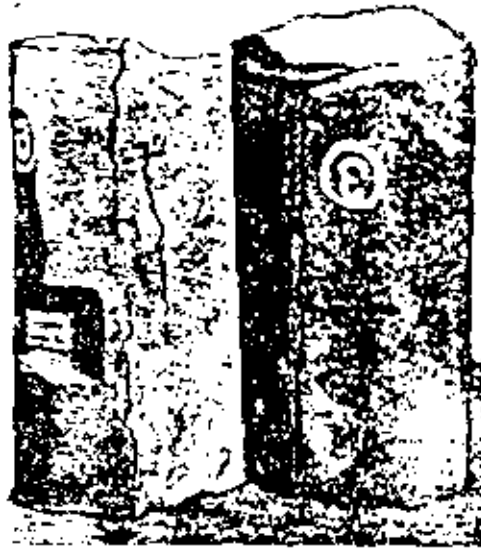


Fig. 221
Ingota en caliente de lingotes de acero.
(Por cortesía de W. J. Priestley)



Fig. 222
Líneas de debilidad

Contorno no moldeado
de acero

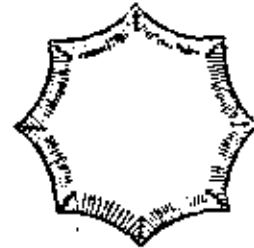
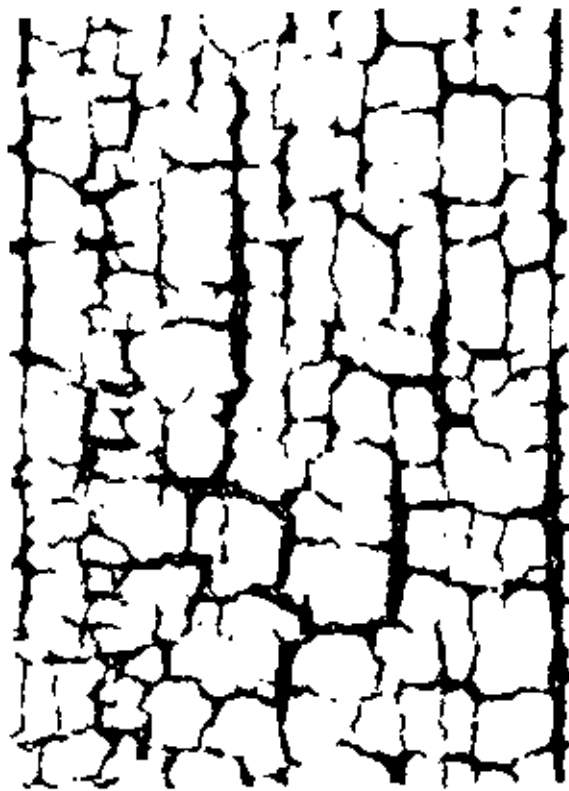


Fig. 223
Líneas de debilidad



Fig. 224
Sin líneas de debilidad
(Por cortesía de W. J. Priestley)



229

50

Fig. 1. Vascular bundle.

(De 4 The Emission of Gases from Leaves, Adams & Lewis)

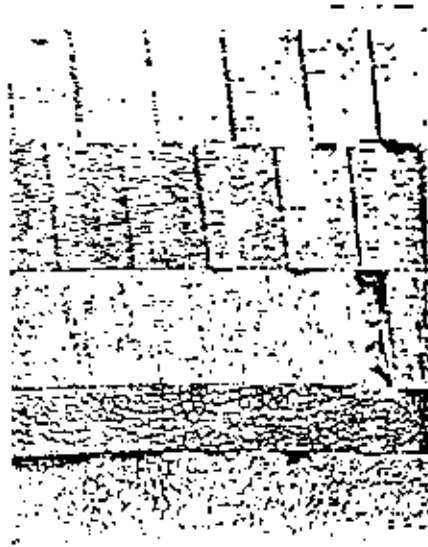


FIG. 227 • 23
 (Para su explicación véase fig. 225).



FIG. 228
 Grana, en abscisos simétricos, producidos por aplastamiento entre las células.
 (Por cortesía de H. Bouché)



Fig. 129
 Cobro de cobre de un
 tipo de bronce

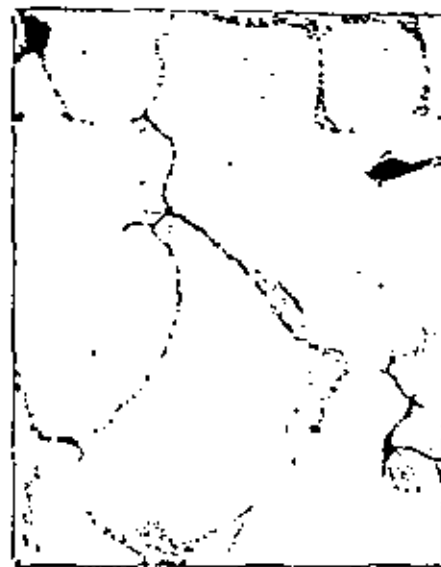


Fig. 130
 Cobro de cobre normal, estructura
 normal por causa de soldadura.

Fig. 233. Grupos de granulación de tipo - Gravela producida por el agua con arena.

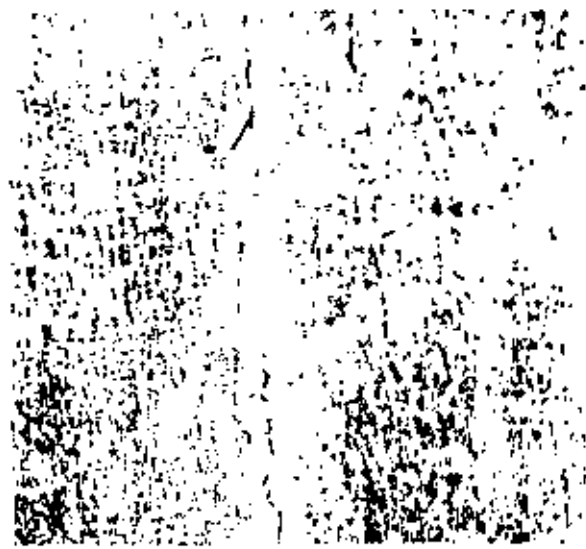


Fig. 234. Gravela producida al moverse con arena.

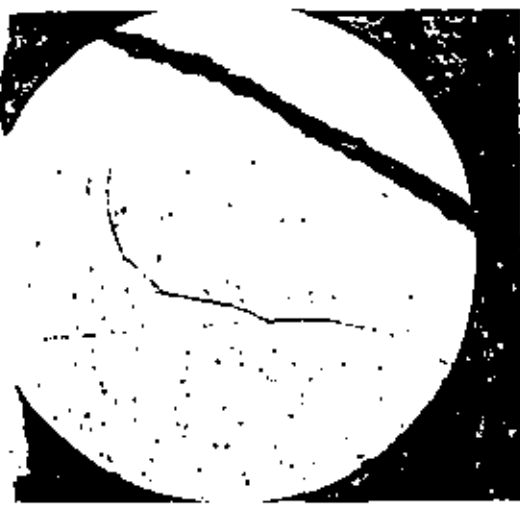


Fig. 235. Muestra de arena.





FIG. 210

65

Glypta desarticulata en zona libre de una base de trofano.



Fig. 224 x 400

Corte de tallo en corte oblicuo



Fig. 225 x 200

Corte de tallo de Infus. Corte en
longitudinal entre dos brazos de la yema

PUNTOS DEBILES

Se entiende por PUNTOS DEBILES los lugares de la pieza en el cual las sollicitaciones internas pueden manifestar sus efectos como consecuencia de una disminucion local de resistencia del metal. Esta disminucion de resistencia es debida sobre todo a la heterogeneidad de la temperatura por la forma de la pieza y por las condiciones locales de enfriamiento del metal.

FORMA DE LA PIEZA. - En la práctica, las piezas presentan sobre espesores, ángulos, cambios bruscos de sección que provocan automáticamente acumulaciones de metal en ciertos puntos. Se designan estas acumulaciones "MASIVIDADES LOCALS" las cuales quedan caliente un tiempo mayor que las otras partes más delgadas.

Las partes que se enfrían posteriormente adquieren su resistencia con un cierto retardo.



Fig. 108

Tensiones residuales en una la-
 rilla estrecha en 1130
 De «The Heat Treatment of
 Tool Steels» por HARRY BREWSTER.

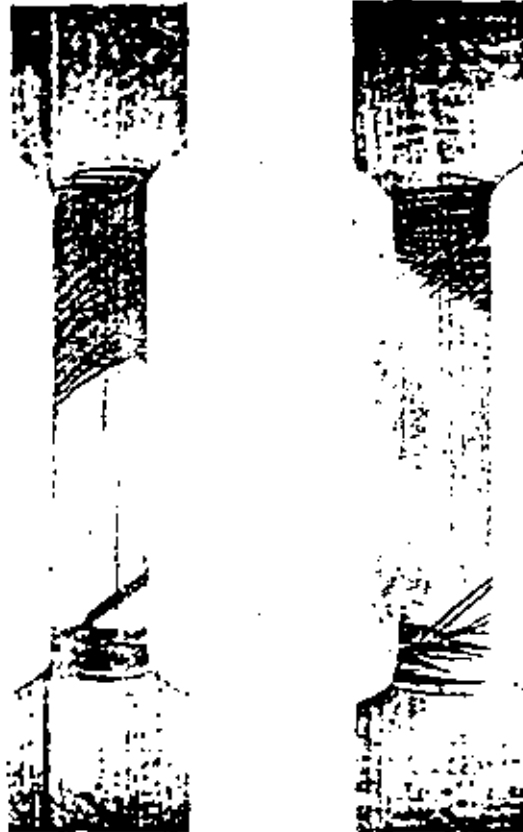


Fig. 109

Tensiones residuales.

De J. Dudley Jevons: «Stress Detection in Mild Steel by Suscept Etching» 1911

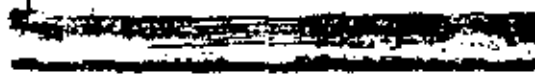


FIG. 110

Barra de acero sometida a esfuerzos de tracción con tensiones superiores al límite elástico. La superficie presenta las zonas con tensiones longitudinales distribuidas en forma radial. (Por cortesía de W. J. Beale, 1900)



FIG. 111

Esfuerzos de tracción obtenidos con el tratamiento de 300 en una muestra de caldera.



FIG. 112

Alambres de bronce justitos después de inmersión en solución de nitrato de mercurio. Vista de los extremos y según su longitud.
 (Por cortesía de J. N. Arnold, 1931.)

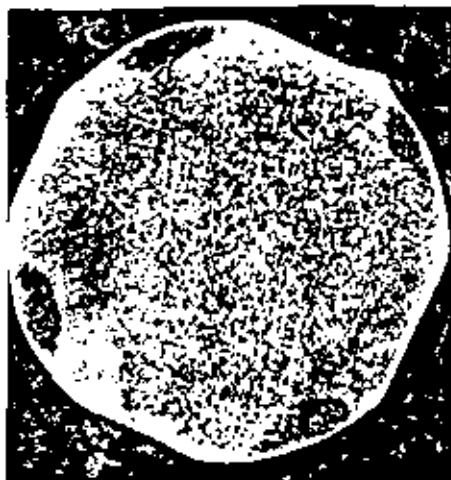


FIG. 113

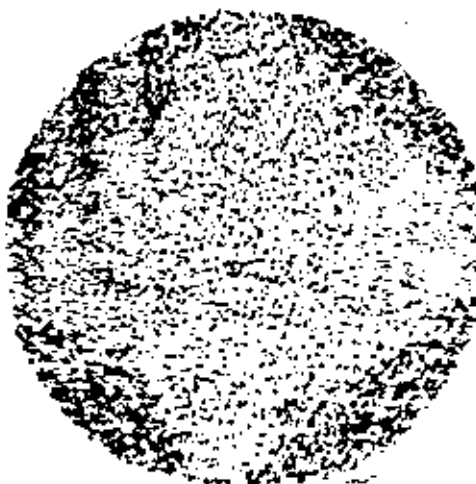


FIG. 114

Secciones residuales, introducidas por estampado en varillas de wolframio produciendo aumento del tamaño del alambre. Véase a los lados oscuras en las secciones tras el día de ambos ligeros.

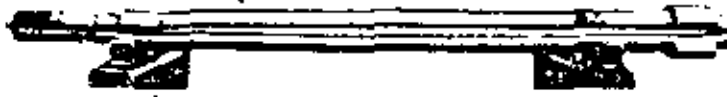


Fig. 115

Válvula de pistón de un motor diesel antiguo que desdobló a la larga del eje a hierro por tensiones residuales. (Los *«Practical Metallurgy»*, por Geo. Sachs y Kent R. van Horn).

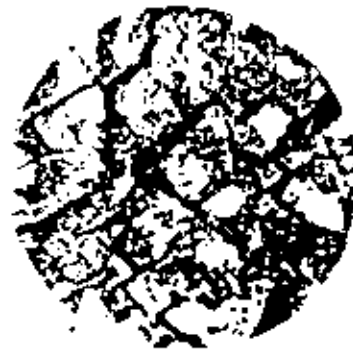


Fig. 116

Rotura del hierro al probarse de un cubo hecho con el vapor eléctrico.
(Por courtesy de L. Appelbault Co.)



Fig 98
Alambre x 130



Fig 99
Alambre x 130



Fig 100
Alambre sobre un al estremo.

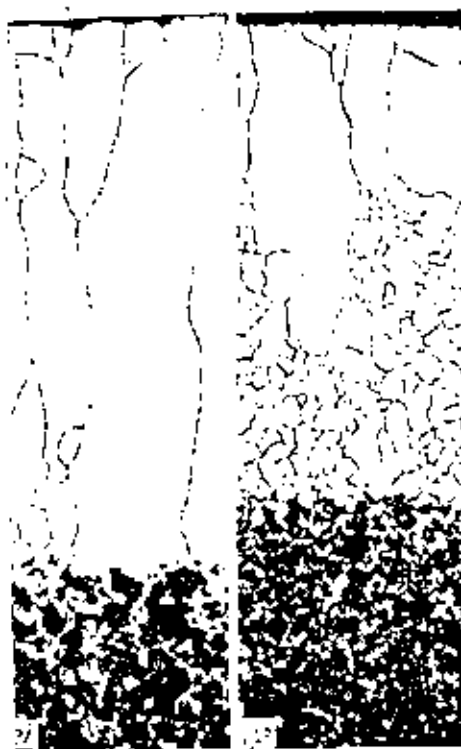


Fig. 101

100

Grupos exocitomas de *Artemisia biennis* por descubrimiento. Acero de argon-bromo durante 30 horas a 732 G en atmósfera de hidrógeno saturado con vapor de agua. (Por cortesía de Rosal y Hoffmann).



FIG. 102 x 1

Forma de tinte colorada por el pro-
ceso natural de la vida celular
en presencia de la actividad orga-
nizada.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS METALICAS

Casos cuya presencia se observa en la piezas

Ing. José Pappaterra Caballero

Agosto, 1981



GASES CUYA PRESENCIA SE OBSERVA EN LAS PIEZAS

1º AIRE

- Aire contenido en el molde.
- Aire introducido en el molde por el chorro de colada.
- Aire de los poros de los moldes y corazones.

2º - GASES PROVENIENTES DE LOS MOLDES Y CORAZONES.

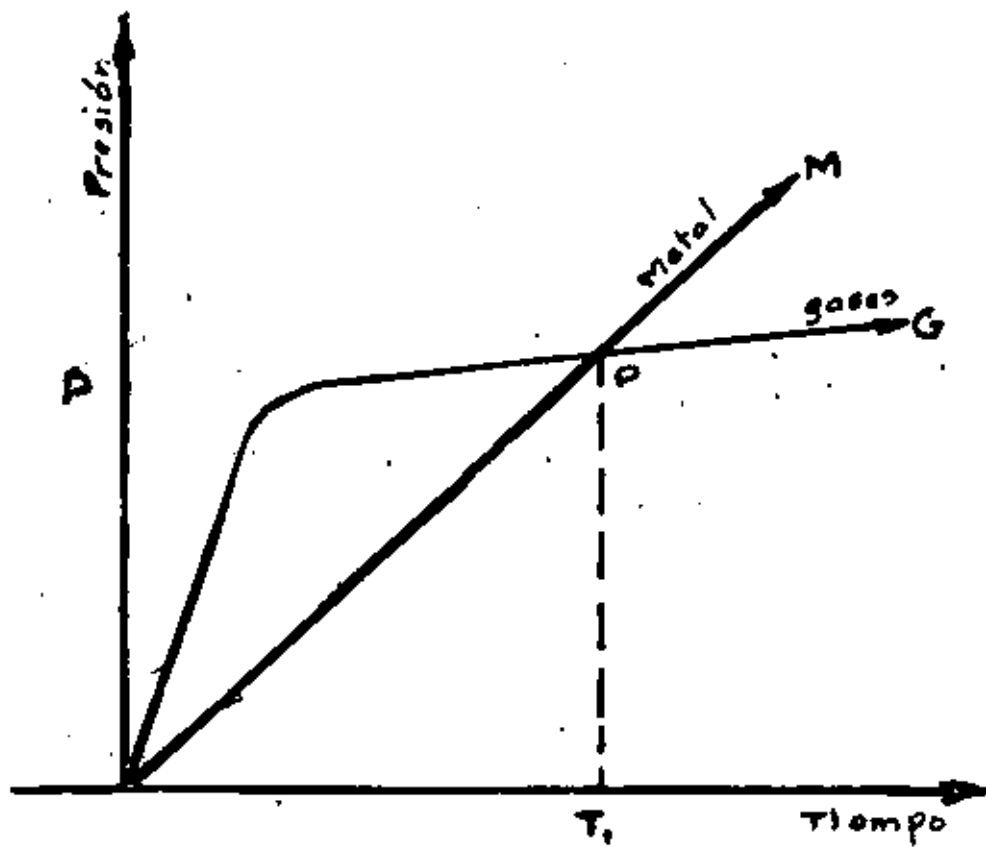
- Vapor de agua proveniente de la humedad de la arena.
- Materias volátiles provenientes de ciertos constituyentes de las arenas y aglomerantes.
- Productos de combustión de los untabos y materias diversas contenidas en las arenas.

3º GASES DIVERSOS

- Gases provenientes de las reacciones del metal con ciertos cuerpos tales como corazones, enfriadores soportes etc.
- Gases debidos a cuerpos extraños cuya presencia en los moldes es accidental.

4º - GASES DESPRENDIDOS POR LA ALEACION

- Gases disueltos en el metal y que se desprenden durante el curso del enfriamiento y de la solidificación
- Gases provenientes de las reacciones químicas que se producen en el seno del metal colado.



Presión de los gases y presión ferrústica
en función del tiempo

DEFINICION

Sopladura es el defecto de fundición caracterizado por una cavidad interna, lisa oxidada y que está provocada por el aprisionamiento de aire o de gases en el seno del metal de la pieza.

1- SOPLADURAS DE PIEL:

Se presentan en la parte superior de la pieza en una capa situada inmediatamente debajo de la costra del metal ya solidificado. La pared inferior de la cavidad es lisa y oxidada, mientras que la pared superior contiene algunas pequeñas asperezas puntuales que son las trazas de la cristalización progresiva interrumpida en este lugar por el desplazamiento del metal líquido por los gases bajo presión.

**2º SOPLADURAS INTERNAS:**

Las burbujas de gas han sido detenidas durante su ascensión a través del metal por la solidificación que las ha sorprendido en cualquier lugar.

Estas sopladuras son de paredes lisas y oxidadas, tienen la forma de burbuja y sus dimensiones son variables.



3º Cuando el desprendimiento de gas es particularmente intenso, ya no son simples burbujas sino verdaderas corrientes gaseosas que penetran en el metal.

Las sopladuras pueden entonces tomar la forma de canales con paredes oxidadas y cuyas dimensiones son a veces importantes.

Estos canales coinciden a menudo con las líneas isotermicas de fin de solidificación sobre una parte de su recorrido en este último caso, las paredes pueden estar tapizadas de metal dendrítico.



RESUMEN

5

I - REDUCIR LA PRESION DE LOS GASES

A - Disminuyendo la cantidad de gases proveniente de la arena

- 1º Reducir la humedad de la arena
- 2º Reducir la cantidad de materias volátiles y de gases de combustión desprendidos.
- 3º Reducir la cantidad de aire de los poros.
- 4º Evitar la entrada de aire durante la colada.

B. Facilitando la evacuación de los gases

- 1º Aumentar la permeabilidad de la arena
- 2º multiplicar los caminos de salida de los gases

II - AUMENTAR LA PRESION FERROSTATICA

A - Utilizando cajas de mayor altura de manera de poder incrementar la altura de metal.

B - Disponer de realces alrededor de los canales de colada

III MANTENER LA PRESION FERROSTATICA HASTA LA SOLIDIFICACION DE UNA PARED DE ESPESOR SUFICIENTE

A. Aumentando las secciones de colada y de los montantes

IV - AUMENTAR LA VELOCIDAD DE SOLIDIFICACION DE LA PARED.

- A - Coquillando los lugares peligrosos desde el punto de vista de la penetración de los gases en el metal.
- B - Previendo enfriadores en estos mismos lugares.

RECHAZO

DEFINICION

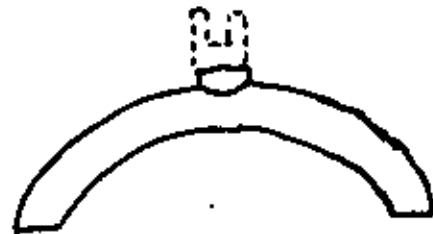
ES UN DEFECTO, CARACTERIZADO POR UNA CAVIDAD LISA Y OXIDADA SITUADA, A MENUDO, EN LA PARTE SUPERIOR DE LA PIEZA Y ES PROVOCCADA POR EL APRISIONAMIENTO DE AIRE ENTRE METAL Y MOLDE.

EN CIERTOS CASOS PARTICULARES, EL AIRE APRISIONADO PUEDE LLENAR UNA PORCION DE LA PIEZA Y DIFICULTAR SU FORMACION.

ASPECTO

EL DEFECTO SE PRESENTA GENERALMENTE BAJO EL ASPECTO DE UNA CAVIDAD EXTERIOR, LISA Y ONDADA, DE FORMA PLANA Y DE CONTORNOS REDONDEADOS.

LA PIEZA ES INCOMPLETA Y PRESENTA EN LA ZONA DEL DEFECTO UN ASPECTO LISO Y OXIDADO DEBIDO A LA SOLIDIFICACION DE LA PIEZA EN PRESENCIA DE AIRE.



- PICADURAS -

DEFINICION: se caracteriza por la presencia en la superficie de la pieza de peq. cavidades en forma de embudos cuyas paredes son lisas y oxidadas. Estas cavidades son resultado del aprisionamiento de aire o gases entre el metal y el molde en casos de enfriamiento superficial rápido del metal.



ASPECTO: Pequeñas cavidades superficiales lisas y oxidadas en forma de embudo.

CAUSA: - Solidificación rápida de la capa de metal en contacto con el molde retiene el aire de los poros del molde y los gases desprendidos por la arena en el momento en que ésta penetra en el metal.

REMEDIOS:

- I - Disminuir la cantidad de aire o de gases susceptibles de desprenderse de los moldes o cerazones.
 - A - Moldes metálicos:
 - Evitar toda traza de humedad - usar coquillas en buen estado
 - Eliminar toda traza de óxidos - Calentar las coquillas
 - Revestir las coquillas con pintura -
 - B - Moldes de arena: secar adecuadamente - Recubrir con pintura
- II - Retardar la solidificación de la capa superficial
 - A - Colar el metal a alta temperatura
 - B - Calentar el molde antes de colar.
 - C - Evitar colar un metal oxidado

SOPLADURAS CONGENITAS

DEFINICION - Caracterizada por cavidades internas NO OXIDADAS que resultan de el apisonamiento en el seno del metal de gases rechazados por el metal en el curso del enfriamiento -

FORMACION - Desprendimiento de CO, ... -

- Disminución de solubilidad.
- Reacciones de reducción ..
- etc. -

ASPECTO

Segun la intensidad las sopladuras congénitas adquieren formas variables como:

- "Sopladuras congénitas de piel"
- "Sopladuras congénitas internas"
- o la forma de verdaderas canales en el interior presentando una cristalización gruesa"

Cuando se desprenden a temperaturas proximas a temperatura de solidificación se presentan pequeñas sopladuras congénitas -

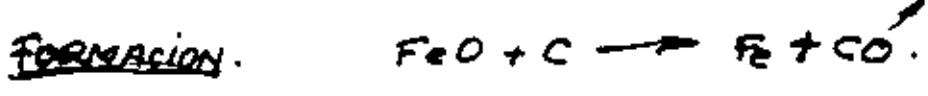
siempre con aspecto metálico NO OXIDADO -

REMEDIOS:

- I. Gases disueltos en la aleación
 - A- Reducción de la absorción de gases por el metal
 - B - Desgaseado de la aleación antes de colar
- II - Gases provenientes de las reacciones químicas
 - A- MATERIAS PRIMAS
 - B - OXIDACION DEL BAÑO
 - C - DESOXIDACION DEL BAÑO

SOPLADURA POR OXIDOS 10

DEFINICION | ESTA CARACTERIZADA POR UNA CAVIDAD INTERNA O EXTERNA DE PAREDES LISAS Y NO OXIDADAS. ESTA PROVOCADA POR EL ATRAPAMIENTO DE GASES QUE RESULTAN DE LA REDUCCION DE OXIDOS QUE RECUBREN CIERTOS CUERPOS METALICOS UTILIZADOS EN EL MOLDE, POR UNO DE LOS CONSTITUYENTES (CARBONO EN LOS ACEROS Y FUNDICIONES).



ASPECTO. EL MISMO QUE LAS SOPLADURAS ORDINARIAS PERO NO OXIDADAS -

CAUSA. - LA OXIDACION DE LOS CUERPOS EN CONTACTO CON LA FUNDICION

REMEDIOS. - ELIMINAR LA CAUSA.

OBSERVACION. -

LAS COQUILLAS PUEDEN PRODUCIR A LA VEZ "PICADURAS" Y "SOPLADURAS".

- CAUSA -

PENETRACION EN EL METAL LIQUIDO, DE GASES PROVENIENTES DEL MOLDE O DE LOS CORAZONES O ENTRADA DE AIRE DURANTE LA COLADA.

- REMEDIOS -

SE DISMINUYE LA PENETRACION DE LOS GASES MEDIANTE

- 1 - LA DISMINUCION DE LA PRESION.
- 2 - EL AUMENTO DE LA PRESION FERROSTATICA.
- 3 - MANTENIENDO LA PRESION FERROSTATICA HASTA QUE SOLIDIFIQUE UNA PARED DE ESPESOR SUFICIENTE.
- 4 - AUMENTANDO LA VELOCIDAD DE SOLIDIFICACION DE LA PARED (COSTRAS, CORTEZA, ...)

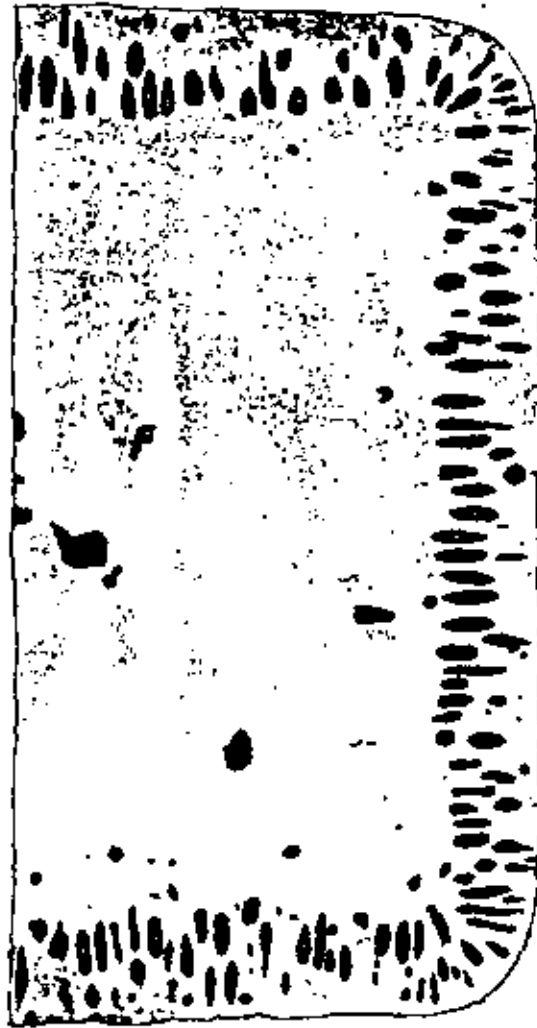


Fig. 47

Ventriculos en un higado de arara.

(Informe sobre ensayos de Metalfen 1962, Walter
Lohn, Arsenoi)



FIG. 48

x 174

*Venturiacum en un lingote de acero**Informe sobre Ensayos de Metales. 1909. WILLOW'S ARSENAL*



Fig. 49 2 60
Pared porosa en una pieza
de oro unido para proté-
sis dental.

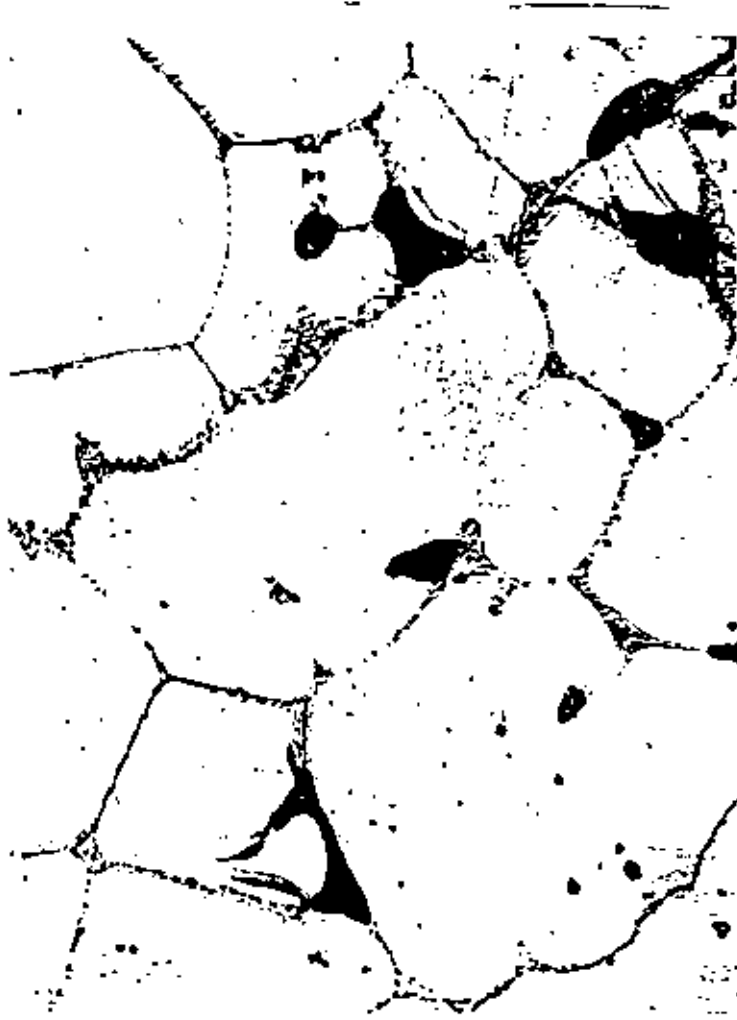


FIG. 51

x 200

Microgametes en cubo (Setulites maldensis)



Fig. 51 x 330 Fig. 52 x 330
 Ataque: $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$ Ataque: $\text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}_2$
Poros rellenos en cobre disordinado moldeado (O. F. H. C.)



Fig. 53 x 330
Poros rellenos en cobre desordenado moldeado (O. F. H. C.)
 Ataques con HNO_3 conc. durante unos segundos.

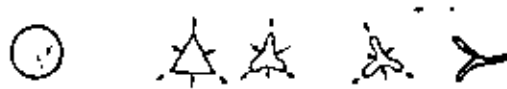


Fig. 54

Formas de contracción de las cavidades al enfriar,
en cobre de oxígeno (OFHC) moldeado.



FIG. 55 x 130



FIG. 56 x 130

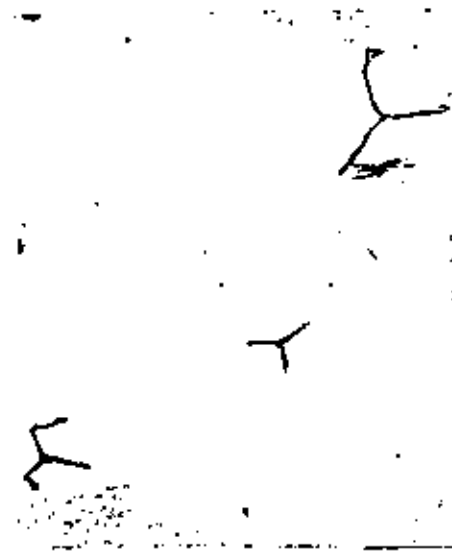


FIG. 57 x 200

Curvaditas contraindas en cobre deoxidado
(OFH) moldurado

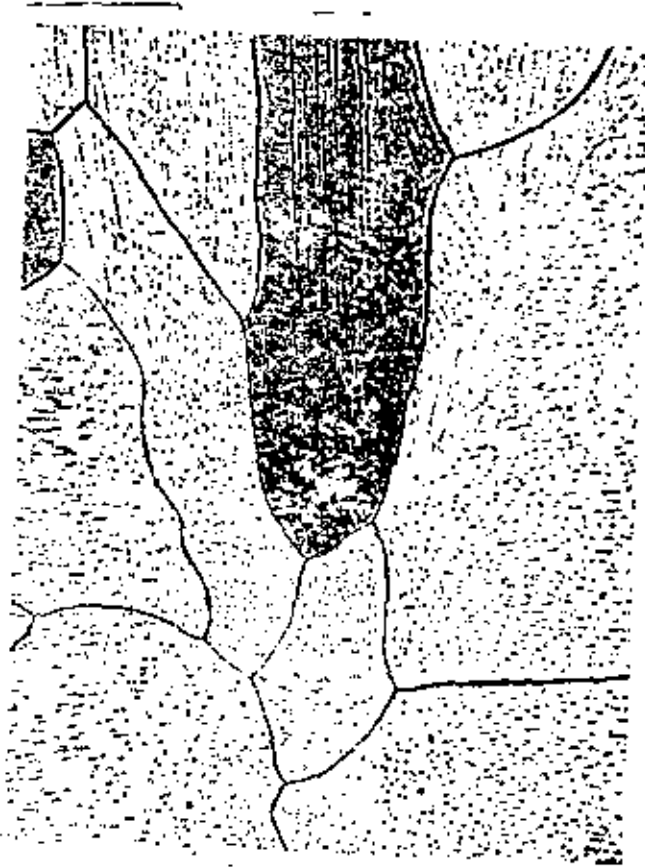


FIG. 21 C 100
Microspora salubris (Cobbe) Desv. (Liliaceae) *Microspora*

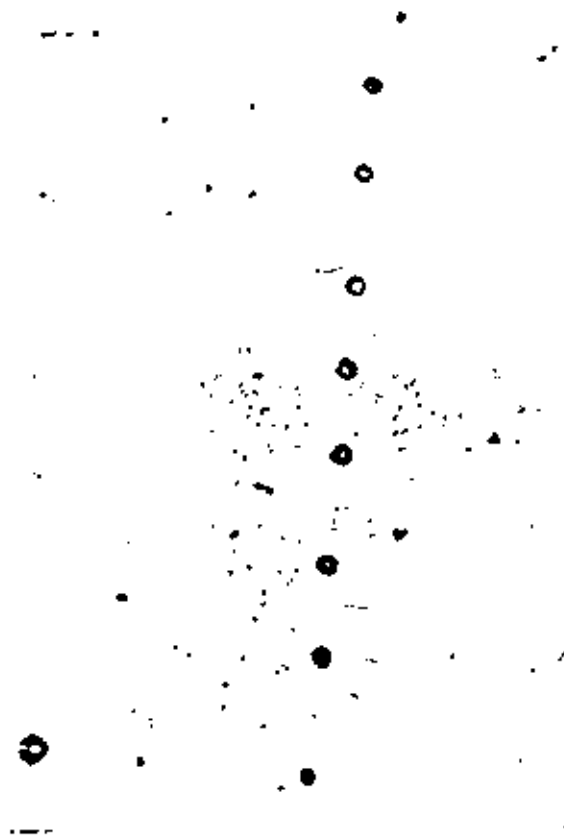


Fig. 41
Microhardness vs. dislocation density in copper



Fig. 81

Radiografía de probetas de fatiga moldeadas en una dirección de alumina mostrando porosidad en núcleo.

(Por cortesía de G. Lachs y Kent H. van Horn. «Practical Metallurgy».)



Fig. 82

Ventadura en un rancho para carga de velocidad, fabricada en hierro maleable, foto en microscopio.

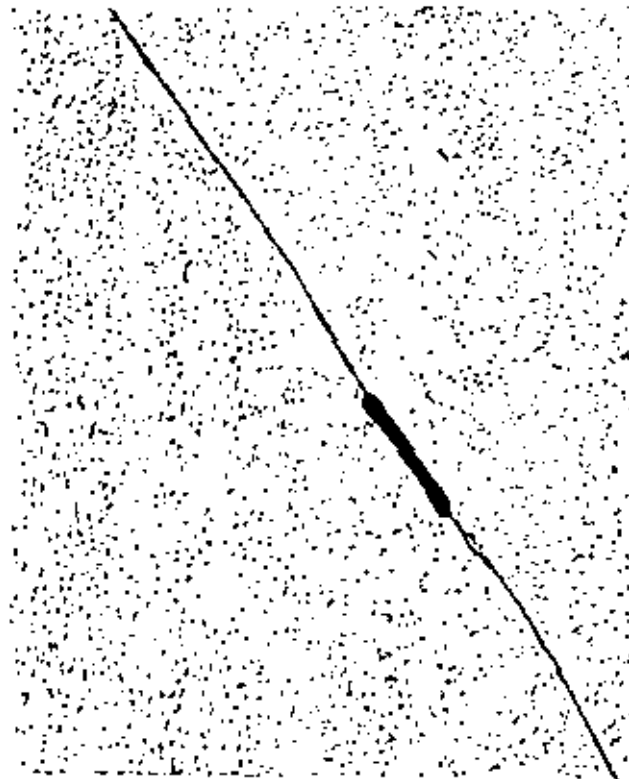


FIG. 58

/ 1000

Macropora contracta en la línea del arroyo, en un grupo
destruido (CCHC) mantenido

III. ENSAYOS

(a) Elmer A. Sperry desarrolló un método no destructivo para la inspección de carriles, con objeto de descubrir copos en su seno, por un procedimiento eléctrico (28). Si se hace pasar una corriente continua de gran intensidad a través del carril, cualquier pequeña fisura o inclusión produce una desviación del flujo de la corriente; esta desviación se detecta y amplifica. La máquina se monta en un vagón que se mueve a lo largo de la vía. W. C. Barnes, Ingeniero de ensayos del Rail Committee de la Amer. Rail. Engin. Assoc. encamina el método Sperry como muy valioso: «Durante los primeros ocho meses de trabajo con el vagón Sperry, se ensayaron 1.800 millas de vía (unos 2.880 km.) en 17 líneas férreas y se localizaron 145 fisuras transversales y combinadas, además de muchas cabezas astilladas, carriles con cavidades de rechupado, bases rotas, almas astilladas, fisuras horizontales, etc.» (Discusión, 28). Sin embargo, cuando el núcleo es muy pequeño, sólo pueden detectarse con un tipo extremadamente sensible del método Sperry (28).

(b) Para revelar las fisuras en el acero subyacente al copo, Cramer y Bast (69) emplearon CIH al 50 por 100 en caliente. Como este ataque es demasiado profundo, puede destruir detalles de la microestructura que podrían dar una información adicional sobre las fisuras; por ello, sería deseable estudiar primero la estructura con un ataque más suave.

(c) La inspección de la superficie interna de un tubo de cañón, o de un taladro axial en una pieza de forja, se hace con periscopio. Con objeto de poder observar las grietas, la superficie del taladro debe ser lisa (26).

(d) El contenido en hidrógeno del acero fundido puede medirse por un nuevo método ideado por Hare, Peterson y Soler (53).

(e) Ignatov (17) ha descrito diversos métodos de ensayo relacionados con este tema.

IV. APARICIÓN DE LOS COPOS

(a) La situación de los copos, en las secciones transversales de las piezas de acero, es de considerable interés porque puede arrojar nueva luz sobre su origen.

En las barras laminadas y forjadas, los copos se encuentran entre la superficie y el centro de las barras. La razón de esta localización, según Musatti y Reggiori (36), está en el rápido enfriamiento de la región superficial de la que el hidrógeno puede escapar, mientras permanece aún en el centro.

En los carriles, los copos se presentan en la cabeza, junto a la superficie superior, y generalmente descentrados. Esta posición excéntrica debe tener alguna razón, aun cuando hasta ahora es desconocida.

F. B. Foley indicó que «a pesar del hecho, de que raramente o nunca se encuentran fisuras por enfriamiento en las partes donde éste ha sido más rápido, un rápido enfriamiento indudablemente las desarrolla y uno lento, después de la forja y el laminado, previene su aparición» (discusión, 69). En los lingotes, los copos se encuentran situados a lo largo de sus diagonales (15).

(b) Los copos, rara vez se presentan en barras laminadas a partir de tochos recalentados.

(c) Delbart (76), ha publicado una lista de aceros susceptibles de formar copos. H. H. Ashdown (26) cree que «todos los aceros forjados en piezas de un cierto peso y con secciones transversales superiores a 75 mm, son susceptibles de esta tara». De acuerdo con este autor, todo forjado hueco, con grueso de pared superior a 75 mm, (cañones forjados), está expuesto a este peligro.

Los aceros aleados para herramientas tampoco están exentos de este defecto.

(d) En la revista Metal Progress (62) se ha aludido a las grandes pérdidas que los copos producen en los aceros al cromo para rodamientos a bolas (S. A. E-52.100). En 2.000 coladas de este acero, el 20 por 100 volvieron a la chatarra.

(e) R. E. Cramer (52) da cuenta de una pérdida de un 25 por 100

en 173 coladas de acero en horno de solera, con un contenido en C comprendido entre 0,69 y 0,81 por 100, y 0,51 a 0,99 por 100 de Mn.

(f) Los aceros al cromo, cromo-níquel y cromo-níquel-molibdenuo (en general), muy sensibles al tratamiento térmico y a menudo producen copos.

(g) Según Howe y Rawdon, los copos se producen en los lingotes de aceros aleados sensibles a este defecto (5), y C. S. Crouse, los encontró, de hecho, en algunos.

(h) No hay pruebas de que los copos se hayan encontrado en aceros bajos en carbono.

V. EFECTOS PERJUDICIALES

Estos efectos son evidentes. Grandes cantidades de acero de carriles, aceros forjados y aceros empleados en otros fines han tenido que ser descartados por la presencia de este defecto. En la práctica si se encuentra que cinco carriles de una misma colada presentan fisuras, todos los carriles pertenecientes a la misma deben substituirse (46).

F. B. Foley indica que en el ensayo de tracción, las barras que contienen copos desarrollan toda la resistencia y límite elástico, pero presentan una disminución en la ductilidad y en la estricción (Discusión, 69).

VI. ELIMINACION

(a) Generalmente se reconoce que el enfriamiento regulado es el método más efectivo para la prevención de los copos. Sandberg aplicó por primera vez este método en la fabricación de carriles, después de desarrollarlo para la Cargo Fleet Iron and Steel Works en Inglaterra. Más tarde, la Bethlehem Steel Co. empleó un método similar. Sandberg pensó que la tendencia a romper por fisuración era mayor entre 450 y 345°C, mientras Gerhardt de la Bethlehem Steel creyó que estaba por debajo de los 345°C (60). Años después se confirmó la opinión de Gerhardt por muchos investigadores.

J. C. Mackle desarrolló un procedimiento en el que los carriles se dejan enfriar sobre un lecho caliente hasta que el tono rojizo visible en la oscuridad desaparece, y entonces se colocan en la nave de enfriamiento (60). En la discusión del trabajo de Cramer y Bast (69), Gerhardt declaró que «en la práctica industrial del enfriamiento retardado, lo normal es apilar los carriles calientes en grandes compartimientos, cada uno de los cuales puede contener hasta 200 carriles».

Las fisuras internas sólo pueden presentarse en carriles enfriados al aire que no han sido mantenidas un tiempo suficientemente largo, entre temperaturas de 650 a 250°C, para eliminar la sensibilidad a la rotura (24).

En las experiencias de Cramer y Bast, para prevenir la formación de copos en carriles de 130 libras (50 kg. aprox.), se adoptó el siguiente ciclo: 3 h. a 595°C, 4 h. entre 480 y 370°C, y 5 h. a 260°C. Estos autores indican que en los últimos cuatro años (1935-1939) se han llegado a eliminar los copos en los carriles.

(b) Con respecto a las piezas forjadas pueden citarse las siguientes recomendaciones de H. H. Ashdown (26): «Las piezas forjadas en una sola caída pueden llevarse directamente a un horno de precalentamiento y homogeneizarla, a 870°C, dejándolas enfriar lentamente a continuación hasta 260°C en horno cerrado; se las recalienta después a 870-900°C para afinar el grano, y de nuevo se las deja enfriar lentamente hasta la temperatura ambiente».

(c) Como las fisuras internas producidas por enfriamiento no se oxidan, se soldarán durante la forja en caliente y, como consecuencia las piezas de forja que se sabe contienen copos no se desecharán ya que pueden ser recalentadas y forjadas de nuevo.

(d) Con respecto al enderezado de carriles, el Dr. Dudley recomienda el uso de una enderezadora con mayor vano, de forma que se reduzca la presión local.

(e) Para reducir la tendencia a la formación de copos deberá disminuirse el contenido en hidrógeno. Esto se puede hacer con hornos adecuados y baja temperatura de colada.

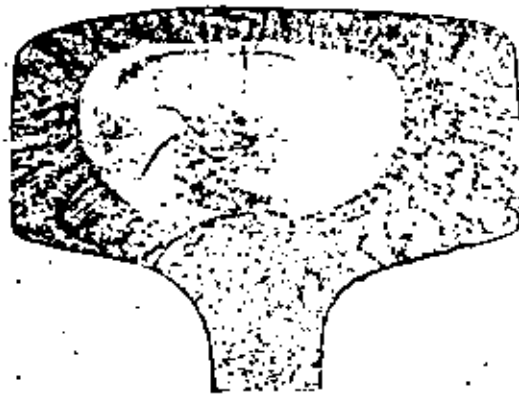


FIG. 136

Caja en la cabeza de un carril.

(Por cortesía de Iron Age.)



FIG. 137

Fisura en la cabeza de carril,
rota en servicio.

(Por cortesía de Battelle Memo-
rial Institute.)

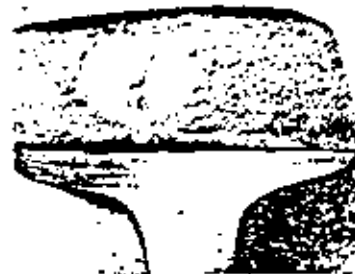


FIG. 138

Pequeña fisura descubierta en
un carril con el "detector cur".

(Por cortesía de Battelle Memo-
rial Institute.)



Fig. 139

x 50

Grietas en la superficie subyacente de las fibras transversales en un rail viejo. Ataque con 9 p. HCl, 3 p. H₂SO₄, 1 p. H₂O a 95°C (Por cortesía de Waring and Hofmann).

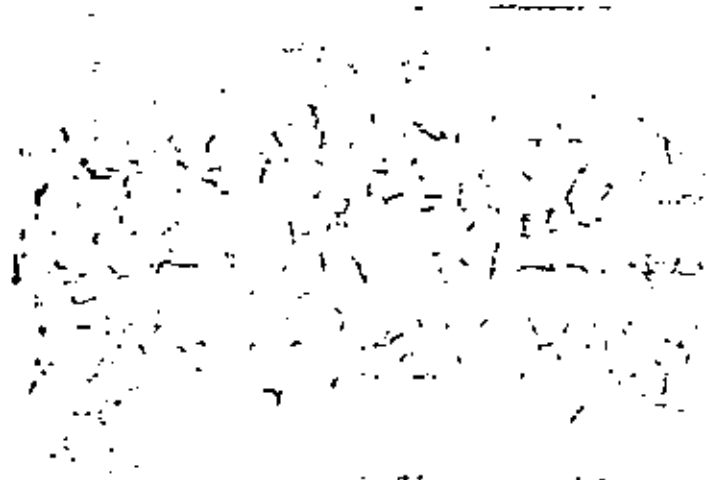


Fig. 140

x 1

Grietas en una barra de acero.—Ataque con HCl 50% en caliente. (Por cortesía de R. E. Crumey.)

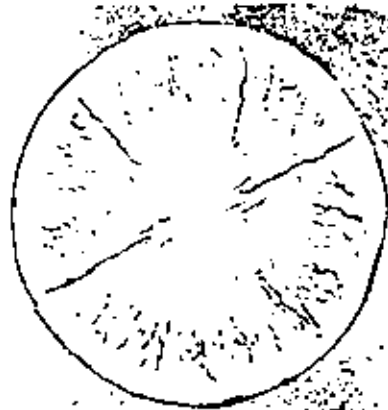


Fig. 11

Grietas radiales en un acero al Ni-Cr-Mn producidas por la presencia de hidrógeno en el acero.

(Por cortesía de Musatti y Hegdorn (26), Metal Progress, julio 1910.)



Fig. 142
Superficie de rotura de un eje en un
acero dúctil.
Por cortesía de Axel Hallerén.



Fig. 143
Contorno de conos en la superficie de
rotura por tracción de un acero dúctil.
Por cortesía de C. A. Zupit &
C. E. Smith.

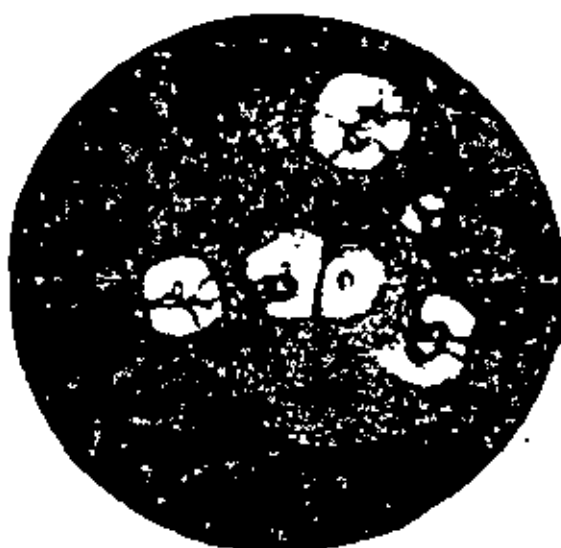


Fig. 144
"Ojos de pez" en la superficie de rotura por tracción
de un acero dúctil.



.

.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

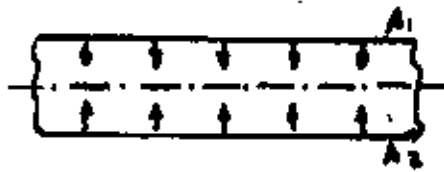
DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS METALICAS

R E C H U P E

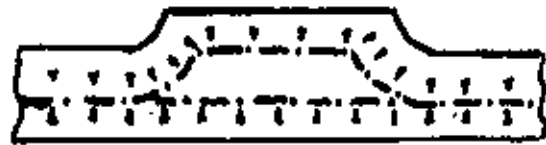
Ing José Pappaterra Caballero

Agosto, 1981

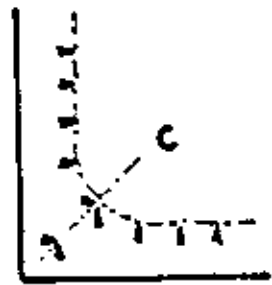
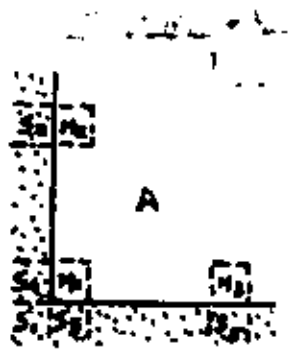




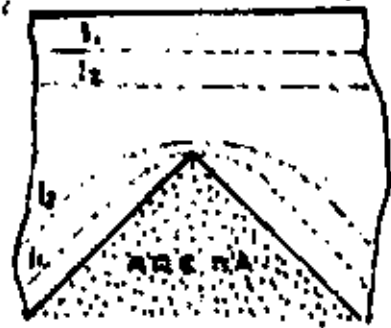
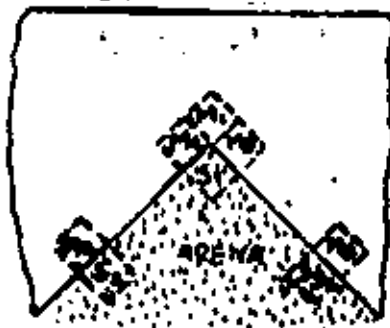
PIEZA PLANA DE
ESPEZOR UNIFORME



PIEZA QUE PRESENTA UN SOBRESPEZOR

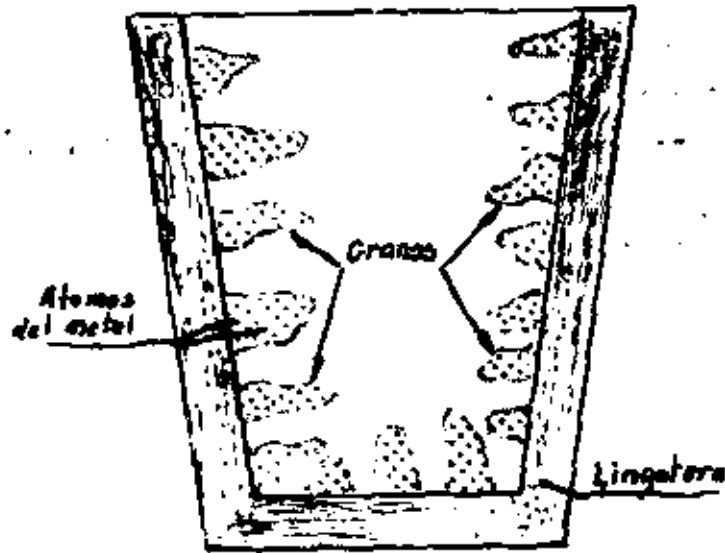


PIEZA QUE PRESENTA UN ANGULO EXTERIOR

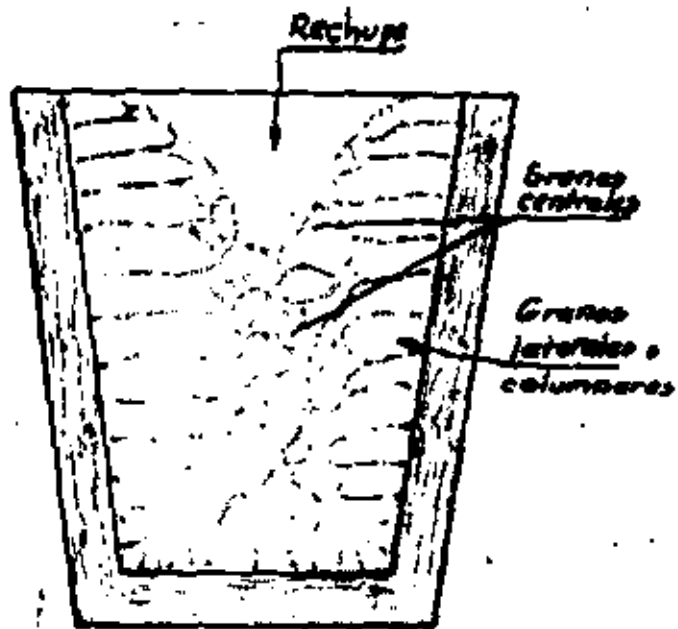


PIEZA QUE PRESENTA UN ANGULO INTERIOR

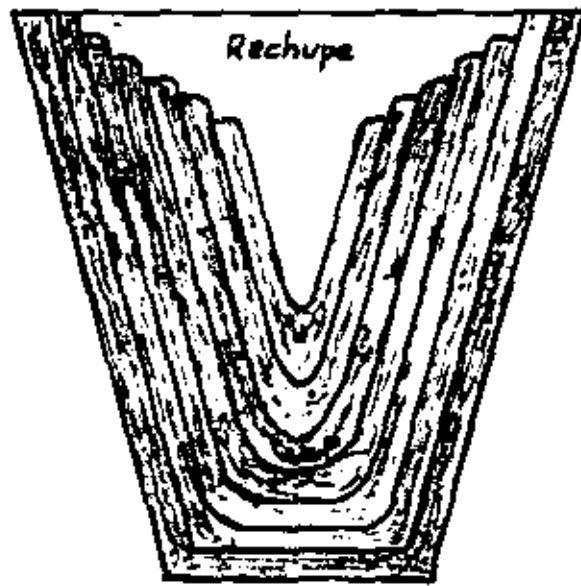
metal líquido



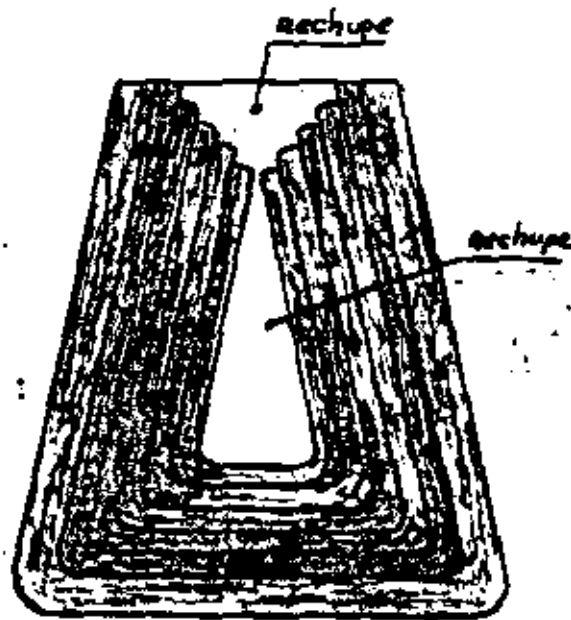
Comienzo de la solidificación



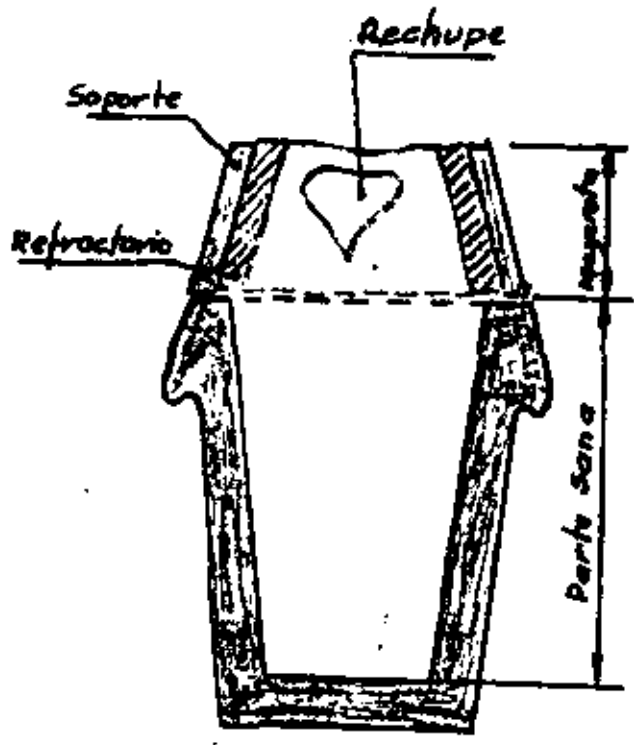
Fin de la solidificación



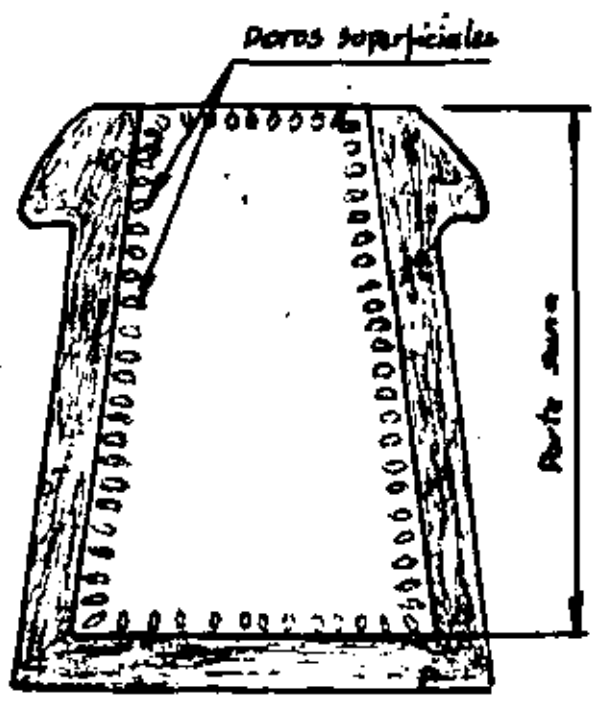
Posición del rechupe en una lingotera
de cabeza ancha.



Posición del rechupe en lingotera
de cabeza estrecha



Eliminación de rechupe en aceros, Colmadas y lingotera de cabeza ancha

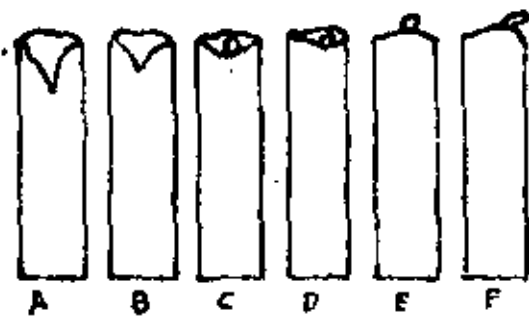
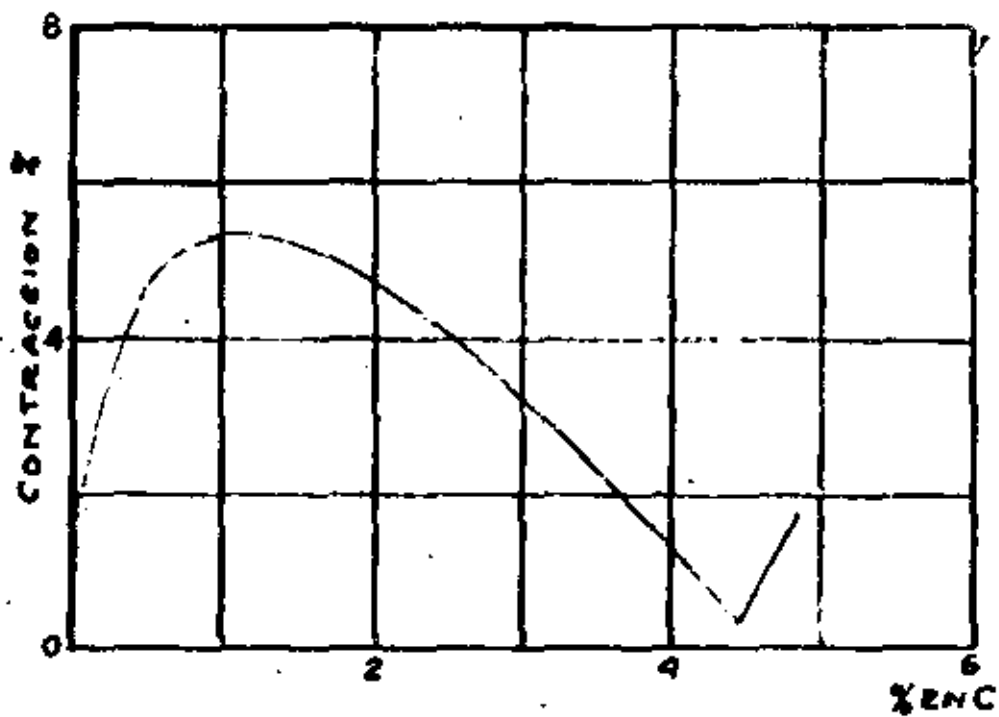


Eliminación del rechupe en aceros efervescentes y lingotera de cabeza estrecha

Nº	S ₁	M ₁	P	S	C ₁	G ₁	Volumen específico de los líquidos	Densidad a T° ambiente	Contracción líquida por 100°	Contracción total por 100°
1	0.84	0.70	0.13	0.06	2.02	0	0.144	7.72	1.1	4.10
2	1.24	0.35	0.27	0.04	2.25	0.42	0.1433	7.677	1.1	4.25
3	1.55	0.44	0.35	0.04	3.08	2.23	0.1443	7.507	1.1	1.50
4	2.38	0.44	0.46	0.03	2.89	2.63	0.1449	7.128	1.1	0.07
5	2.86	0.58	0.67	0.03	3.60	3.40	0.1452	7.039	1.1	-0.10
6	2.87	0.52	0.57	0.03	3.27	2.70	0.1445	7.082	1.1	-1.31

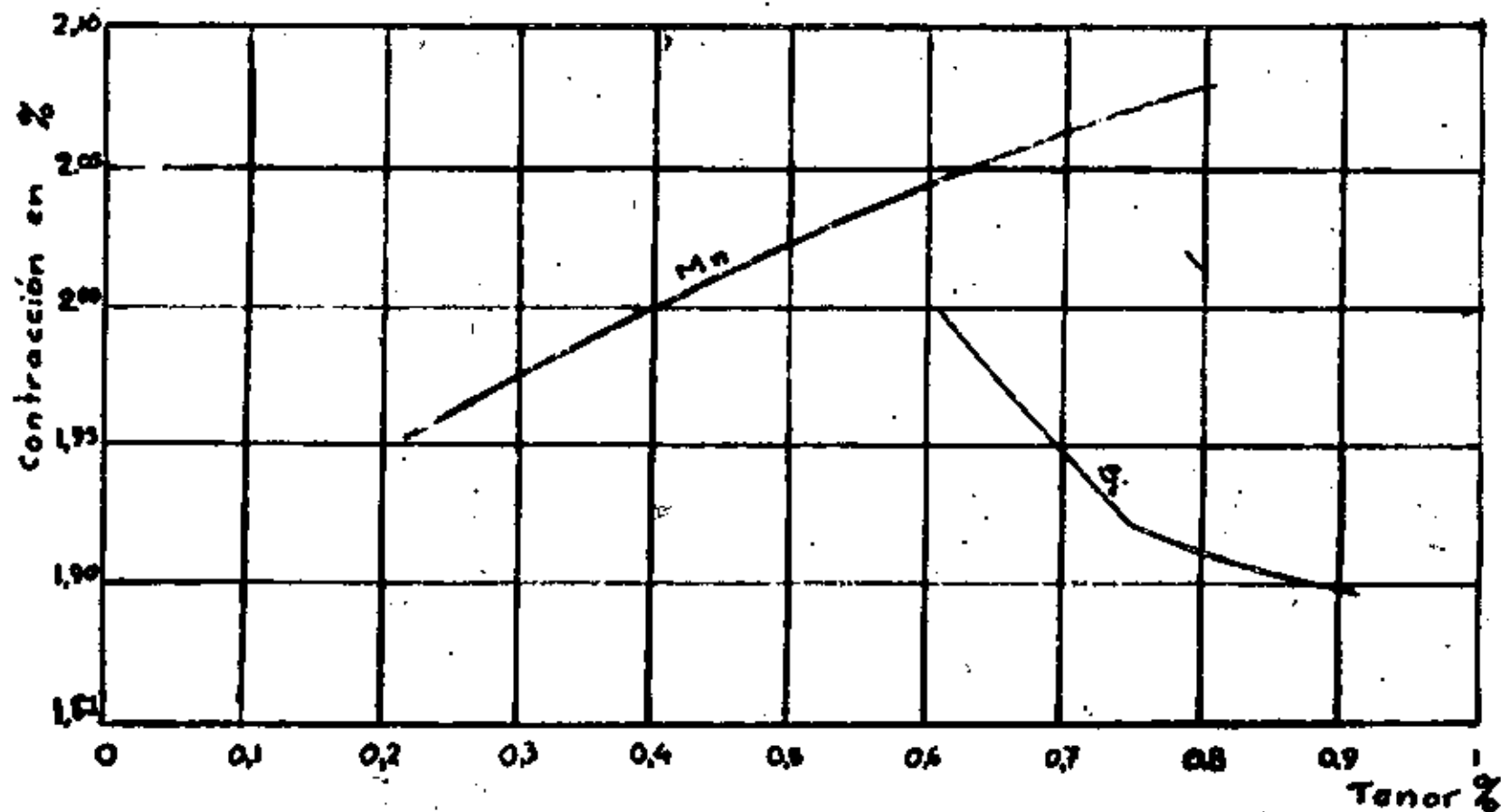
VALOR DE LA CONTRACCION ANTES DEL FIN DE SOLIDIFICACION

5



Contracción e inflamiento de fundiciones

A.-B. Fond. blanca C.-D. Fond. gris F. Fond. muy grafitada.

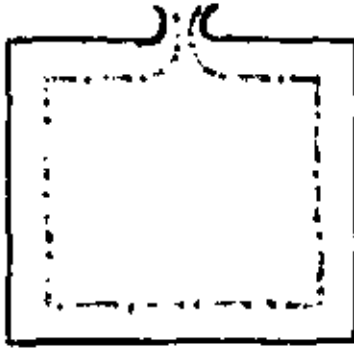


INFLUENCIA DE LOS TENORES EN Mn Y EN Si SOBRE EL VALOR DE LA CONTRACCION DE LAS FUNDICIONES PASTABLES

DEFINICION

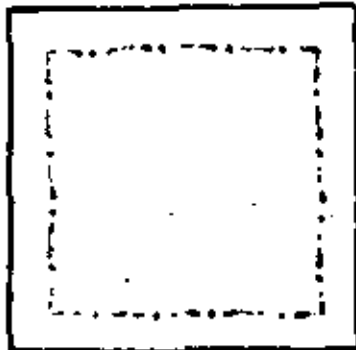
ES UN DEFECTO DE FUNDICION DEBIDO A LA CONTRACCION DEL METAL DURANTE SU SOLIDIFICACION. SE CARACTERIZA POR UNA CAVIDAD INTERNA TAPIZADA DE CRISTALES DENDRITICOS

FORMACION RECHUPE



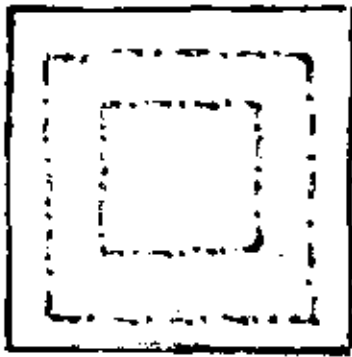
A

LA PRIMER FASE CONSISTE EN LA CONTRACCION SOLIDA DE LA CORREA CON POSIBILIDAD DE RECHAZO DE METAL LIQUIDO EN LA COLADA Y MAZA ROTAS.

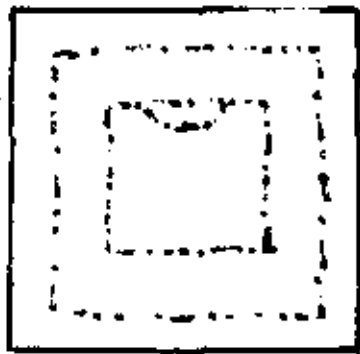


B

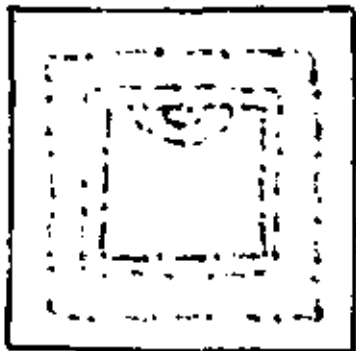
CIERRE SOBRE SI MISMO DE LAS SUPERFICIES ISOTERMAS DE SOLIDIFICACION, COMPRESION DEL LIQUIDO A PRISIONADO Y EXTENSION DE LA CAPA EXTERIOR ANULANDO UNA PARTE DE LA CONTRACCION DE ESTA CAPA.



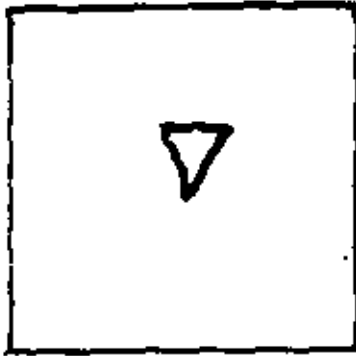
C DEPOSITO DE LA SEGUNDA CAPA ACOM. PARADA DE CONTRACCION LIQUIDA Y DE SOLIDIFICACION. ESTO HACE CESAR LA EXTENSION EN LA CAPA EXTERIOR CUYO ENCOMIENENTO COMPENSA LAS CONTRACCIONES QUE SE PRODUCEN EN LA SEGUNDA CAPA



- D**
- LA CONTRACCION DE LA CAPA EXTERIOR YA NO ES MAS SUFICIENTE PARA COMPENSAR LAS CONTRACCIONES LIQUIDAS Y DE SOLIDIFICACION
 - LA CAPA EXTERIOR ENFRIADA POR EL MOLDE Y RECALENTADA POR EL INTERIOR QUEDA A TEMPERATURA CONSTANTE.
 - EL VACIO CENTRAL SE INSINUA.

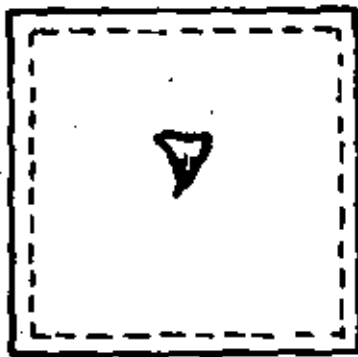


E LA CONTRACCION SOLIDA DE LA SEGUNDA CAPA (EN PUNTOS) SE TRADUCE POR UNA DISMINUCION DE SU ESPESOR. AUMENTO DEL VOLUMEN DEL VACIO CENTRAL



DEPOSITO DE LAS CAPAS SIGUIENTES.

F PROSIGUE LA FORMACION DEL VACIO CENTRAL



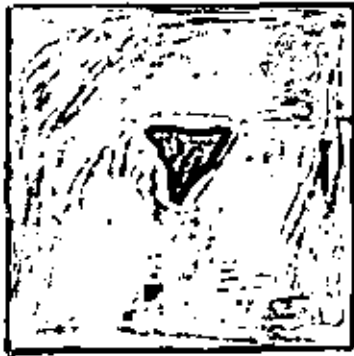
LA ULTIMA FASE DE LA CONTRACCION SOLIDA DE LA CAPA EXTERIOR Y TODAS LAS

G OTRAS CAPAS INTERNAS (EN PUNTOS)

DE BIL DIMINUCION DEL VOLUMEN DEL VACIO

ASPECTO

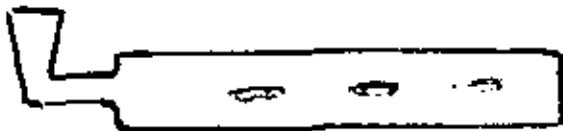
12



EN PIEZAS MASIVAS SE PRESENTA LA CAVIDAD INTERNA COMO YA SE INDICO.



EN PIEZAS LARGAS Y DELGADAS LA CAVIDAD INTERNA SE REPARTE A TODO LO ALTO DESDIO A QUE LA SOLIDIFICACION SE REALIZA A UNA MARCHA TAN RAPIDA QUE EL METAL NO TIENE TIEMPO A DESCENDER AL INTERIOR DE LA PIEZA Y DESPLAZAR ASI LA CAVIDAD A LA PARTE SUPERIOR



UNA BARRA CILINDRICA COLADA HORIZONTALMENTE ATACADA POR UN EXTREMO SOLAMENTE PODRA PRESENTAR MANCHAS NEGRAS QUE SON PEQUEÑAS CAVIDADES

EXISTE UNA RELACION e/h MINIMA O GRADO DE MASIVIDAD LIMITE A RESPETAR PARA OBTENER LA CAVIDAD BIEN COLOCADA.

LA IMPORTANCIA DE LA CAVIDAD DEPENDE:

1. DE LA IMPORTANCIA DE LA CANTIDAD DE METAL LIQUIDO APRISIONADO EN EL MOMENTO EN QUE LAS SUPERFICIES ISOTERMAS DE SOLIDIFICACION SE CIERRAN SOBRE SI MISMAS
2. DE LA DIFERENCIA, EN ESE MOMENTO, ENTRE LAS TEMPERATURAS DE LA COSTA SOLIDIFICADA Y LA DEL LIQUIDO APRISIONADO
3. DE LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES DE CONTRACCION DE LA ALEACION EMPLEADA

LA CAVIDAD PUEDE SEGUN LA IMPORTANCIA DEL FENOMENO PRESENTAR TODA UNA GAMA DE ASPECTOS DESDE UNA SIMPLE MANCHA NEGRA HASTA UN HUECO DE DIMENSIONES APRECIABLES.

EL HUECO ESTA TAPIZADO DE DENDRITAS DE SOLIDIFICACION VISIBLES A SIMPLE VISTA EN CIERTOS CASOS Y EN LAS MANCHAS NEGRAS POR MEDIO DEL MICROSCOPIO.

SI EL HUECO SE COMUNICA CON LA ATMOSFERA LAS PAREDES PUEDEN ESTAR ONDADAS. EN CASO CONTRARIO SU ASPECTO SERA METALICO

CAUSAS

LA CONTRACCION LIQUIDA, LA CONTRACCION DE SOLIDIFICACION Y LA SOLIDIFICACION POR CAPAS SUCESIVAS SON LAS CAUSAS DE LA APARICION DEL HUECO.

I. DISMINUCION DE LA CONTAMINACION EN EL METAL.

A. MEDIOS QUIMICOS.

- 1º Modificación de la composición de la aleación.
- 2º Producción de pequeñas sopladuras.

B. MEDIOS TERMICOS.

- 1º Colar a temperatura más baja posible.
- 2º Utilizar una colada lenta.
- 3º Disponer las coladas por las partes delgadas.



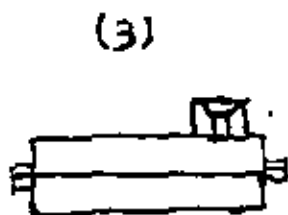
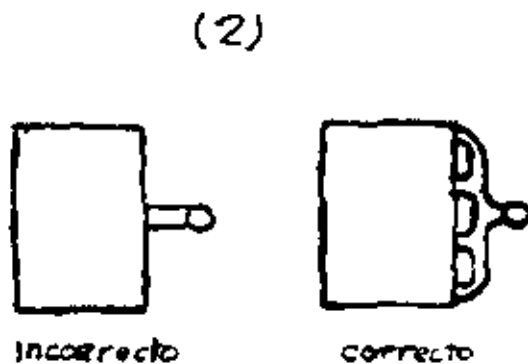
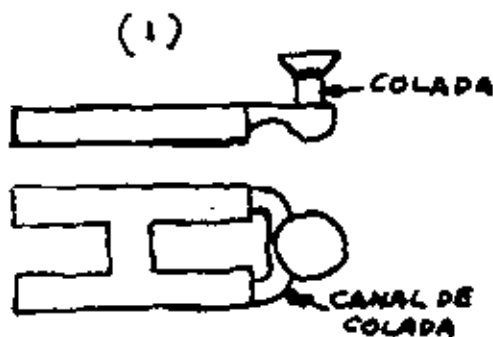
COLADA FILTRO)

II ALIMENTACION DE LA PIEZA CON METAL LIQUIDO DUBANTE LA SOLDIFICACION

16

A- ALIMENTACION POR LAS COLADAS.

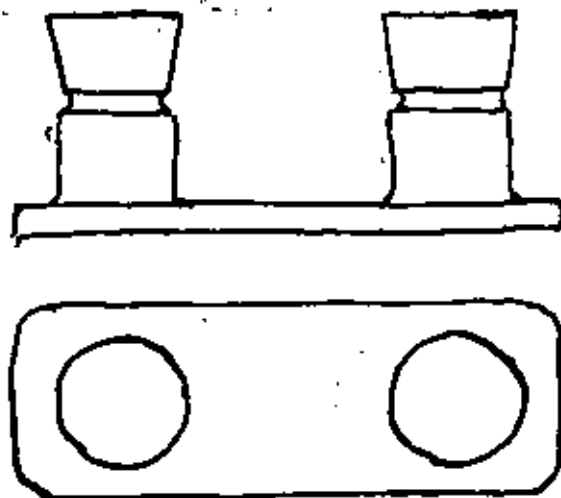
- 1º Aumentar la sección de las coladas, canales, etc. (1)
- 2º Reducir la longitud de los canales.
- 3º Disponer las coladas alrededor de las partes masivas.
- 4º Adoptar una repartición que evite "equivalencias masivas" (2)
- 5º Aumentar la presión ferrosfática. (3)
- 6º Colar a bajo presión

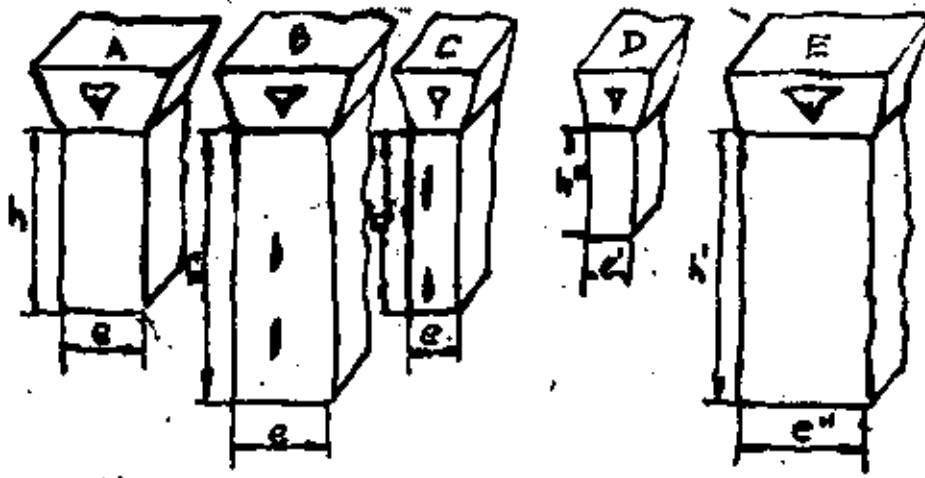


RECOR: LA SOLIDIFICACION DEBE ESTAR DIRIGIDA EN EL CONJUNTO DE MANERA DE TERMINAR EN LA MAZAROTA.

- 1º. Dar a la mazarota un volumen suficiente
- 2º. Relacionar las mazarotas a la pieza segun secciones suficientes
- 3º. Disponer las mazarotas lo más inmediatamente posible sobre las partes masivas (1)
- 4º. Prever las mazarotas en número tal que su acción se sienta (2)
- 5º. Aumentar la presión ferrostática. (3)
- 6º. Colar la pieza en una posición racional. (4)
- 7º. Demorar el enfriamiento de las mazarotas
- 8 - Facilitar la alimentación aumentando la fluidez de la aleación (5)

(1)

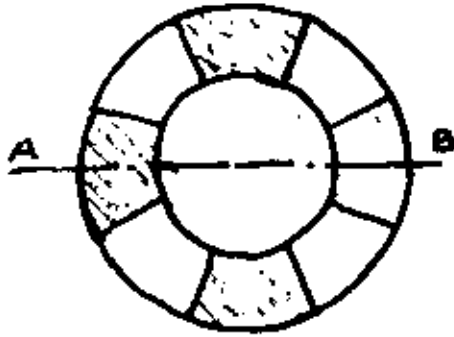
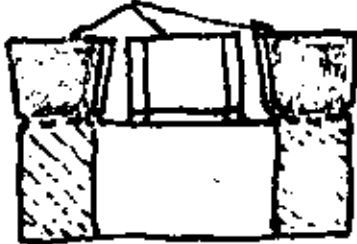




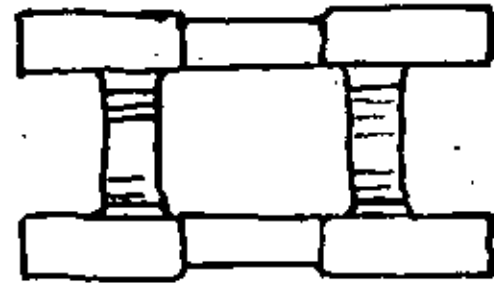
influencia del grado de masividad sobre la posición del hueco

(3)

MASADOTAS

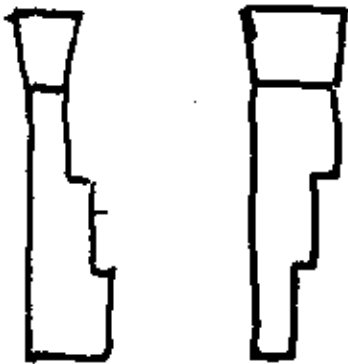


(5)

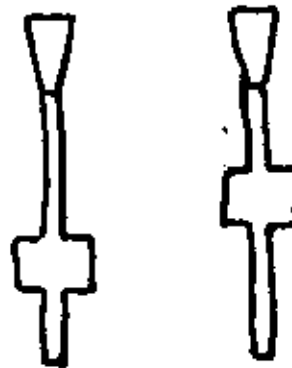


Probeta de tracción para fundición maleable

(4)



incorrecto correcto



incorrecto



correcto

(1)



incorrecta



correcta

19

(2)

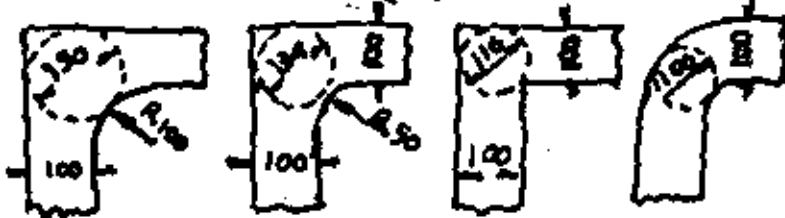


incorrecta



correcta

(3)



(5)



III REDUCCION DE LA ANISOTERMIA EN LA PIEZA DURANTE EL ENFRIAMIENTO

20

A. REDUCCION DE LA ANISOTROPIA EN LA PIEZA SIN MODIFICACION DE LA FORMA.

1º Mejorar la conductibilidad calorífica de la aleación.

2º Retardar la solidificación del conjunto de la pieza.

- Calentamiento previo de coquillas.
- Estupado de moldes.
- Calentamiento de moldes inmediatamente antes de la colada.

3º Acelerar el enfriamiento de las partes masivas

- Alejando las entradas de colada de estas partes.
- Empleando coquillas
- Empleando enfriadores
- Descubriendo

4º Atrasar el enfriamiento de las partes delgadas.

- Aproximando las entradas de colada a estas partes
- Colando en las partes delgadas.
- Colocando las masas calientes en su cercanía.

B. REDUCCION DE LA ANISOTROPIA POR MODIFICACION DE LA FORMA.

1º - Regularización de las espesores. (1)

2º - Reemplazo de una parte de la pieza por un corazón? (2)

3º Adopción de acuerdos (3)

4º Reemplazo de partes masivas por otras de perfiles más ligeros y de la misma rigidez. (5)

III. CAUSAS

Ya ha quedado establecido que la causa directa del rechupe es la contracción del metal durante la solidificación. En último extremo debe recordarse que la diferencia en los volúmenes de un metal en estado líquido y sólido depende de su composición química y de las condiciones de colada.

a) Como se ha dicho en el Capítulo anterior, si la proporción de Mn y Si en el acero no está bien ajustada, el lingote presentará rechupe. La aparición de rechupe en los lingotes de acero puede predecirse por la fórmula de Brinell:

$$T = Mn + 5.2 Si \pm 90 Al$$

siempre que las condiciones de fabricación sean similares a las del experimento de Brinell. Cuando el valor T sea mayor de 1.66 se formará rechupe; con valores más bajos no se presentará, pero en su lugar aparecerán venteaduras. La mayor contracción que se produce por colada caliente del acero da lugar a la formación de rechupes de gran volumen (18).

b) En la Sección VI se discutirán los importantes efectos que sobre el rechupado producen las condiciones de colada así como los medios de corregirlos.

c) Las fisuras internas del bronce se atribuyen a la presencia de un gas (12).

V. EFECTOS

a) El efecto perjudicial del rechupado es por sí mismo evidente cuando la superficie del rechupe está oxidada por el aire, no pudiendo soldarse por laminado. El rechupado profundo con paredes limpias se puede cerrar bajo la presión de los rodillos. En este último caso también puede impedirse una soldadura satisfactoria, por la presencia de escoria en el rechupe.

b) El rechupado supone una gran pérdida de metal ya que ha de descartarse una considerable porción del lingote.

c) Los rechupes son también causa de accidentes durante el laminado.

d) El hundimiento de la cabeza de los carriles se atribuye a la presencia de rechupe en el tocho que sirvió de partida para su laminado (fig. 70). Por supuesto que al primer signo de agrietamiento se debe suspender el laminado de estos perfiles.

e) El rechupado produce la exfoliación de las planchas de hierro en el laminado en caliente (71).

f) Las grietas pueden iniciarse a partir de derivaciones profundas del rechupe que quedaron mal soldadas. De esta forma se pueden originar pequeñas grietas aisladas constituyendo lo que Gullet y sus colaboradores (19) llamaron rechupes capilares.

VI. ELIMINACION

Se han ideado varios artificios para eliminar el rechupado o disminuir su tamaño en los lingotes y en las piezas moldeadas:

a) Uno de los métodos más importantes, comúnmente practicado en la industria del acero, es el empleo de lingoteras con mazarota caliente. El fundamento de este método es mantener una reserva de metal líquido en la parte superior del lingote que prolongue su periodo de solidificación de modo que cuando se forme una cavidad en el lingote solidificado, el metal líquido la rellene. Con el mismo fin se aumenta la sección del molde cónico en el tipo de lingotera con el extremo de mayor sección hacia arriba. La mazarota caliente es una pieza independiente que se ajusta al molde; tiene un revestimiento interior de refractario para reducir las pérdidas de calor; de esta forma se mantiene una columna de metal líquido entre el molde y la mazarota que incrementa la presión hidrostática dentro del molde. Por el revestimiento de la mazarota el lingote saca una cabeza defectuosa que se corta después (fig. 72).

b) En el molde ideado por E. Gathmann, el enfriamiento retardado de la mazarota se consigue por una variación gradual del espesor de su pared, más gruesa en la base y más delgada en la parte superior (fig. 72). Como los metales son buenos conductores del calor la base se enfría más rápidamente que la parte superior.

c) En las coladas en arena se elimina el rechupado manteniendo un nivel alto del metal líquido en los bebederos, de esta manera se dispone además de un exceso de metal líquido que aumenta la presión.

d) H. M. Howe, resumiendo los efectos de las condiciones de colada en el rechupado de los lingotes de acero manifiesta: «Se disminuye el rechupado y aumenta la segregación:

1. Por colada por arriba en vez de por el fondo.
2. Por colada lenta.
3. Por colada con la masa mayor en la parte superior.
4. Por enfriamiento retardado del extremo superior del lingote por medio de la mazarota caliente u otros artificios.
5. Por colada a presión.
6. Permitiendo venteaduras profundas ajustando la cantidad de Si y Mn, o de sus equivalentes.
7. Por colada en lingotes anchos (de gran sección transversal).
8. Usando moldes de baja conductividad, esto es, recubiertos interiormente con arena o arcilla.
9. Con el empleo de moldes previamente tratados (1).

En los casos indicados en los números 7, 8 y 9, el aumento de la segregación es solo probable.

P. H. Dudley confirmó las observaciones de Howe (2).

e) La eliminación del rechupado por compresión del acero líquido se hace por uno de los dos métodos siguientes: El de Whitworth o el de Harmet. En el primer método el acero líquido se echa en una lingotera vertical y por la parte superior se introduce en ella un pistón hidráulico; en el segundo proceso un pistón empuja a un lingote cónico contra un molde también cónico que ejerce una presión lateral sobre el lingote.

f) La formación del rechupado se puede también prevenir por agitación constante del metal líquido con una varilla de hierro.



Fig. 151

Bechaps a ventulum en
un *Diante de queto*

Una parte de del *Wapovvwa*
aparece al *admirable* sobre el
sobre de los *py. lates* 1909a.



Fig. 64 x 1



Fig. 65 x 25

Corrosión intergranular en los metales moldeados. Hierro maleable.



Fig. 66
Hierro maleable.

x 100

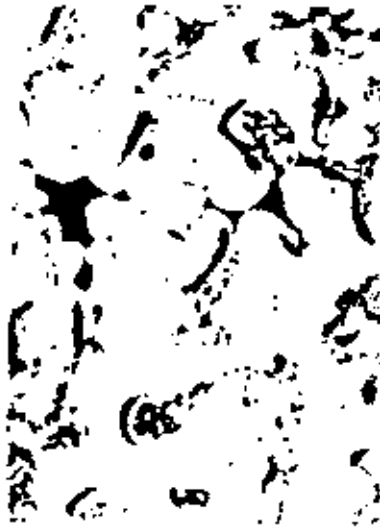


Fig. 67 x 75
Caculus caryoscleratus en bronze
re-médiate.



Fig. 68
Rostium en platine aluminée oxygénée.

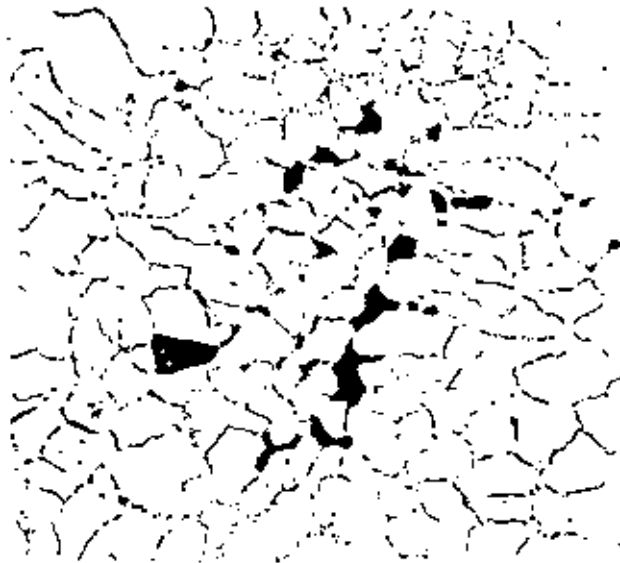


Fig. 69
Porus alui en bronze médiate.

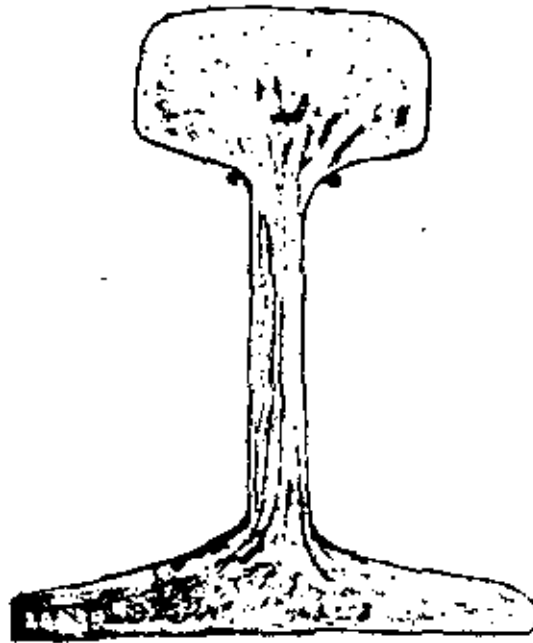


FIG. 20 1 2 su tamaño
 Sección de rail mostrando rechazo.
 Ataque: ácido nítrico + reactivo Meyer.

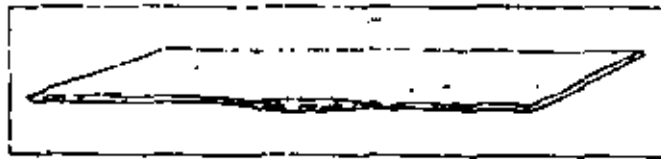


FIG. 21
 Efecto de rechazo en una chapa de acero endurecido.
 (The Heat Treatment of Rail Steels by Henry Brathwaite)

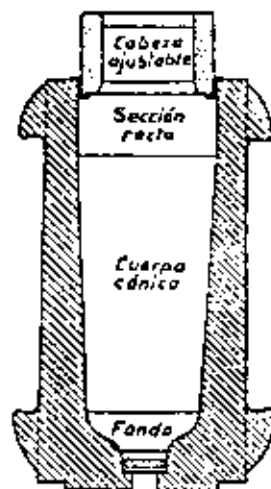


Fig. 73

Lingotera tipo Gethmann.

Patented Contour and its Relation to Sound Steel. Gethmann Engineering
Co. Baltimore Md.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS

DETERMINACION DE CAUSAS DE FRACTURA DE UN CORTANTE
PARA TOCHOS

Ing José Pappaterra Caballero

Agosto, 1981



1.- ANTECEDENTES

Una cortante (cuchilla) perteneciente a la tronzadora se fracturó en seis partes y se proyectó un trozo para que se determinara la causa de rotura.

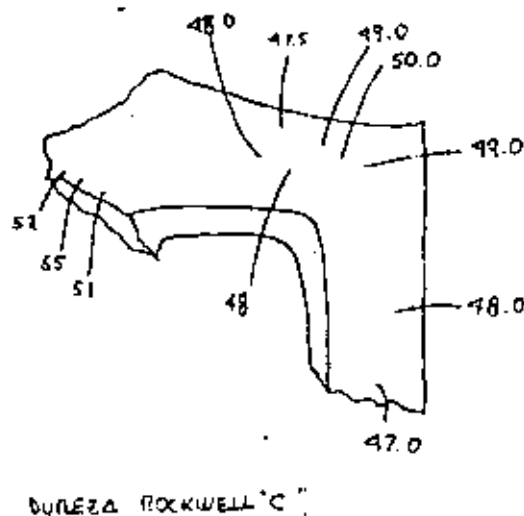
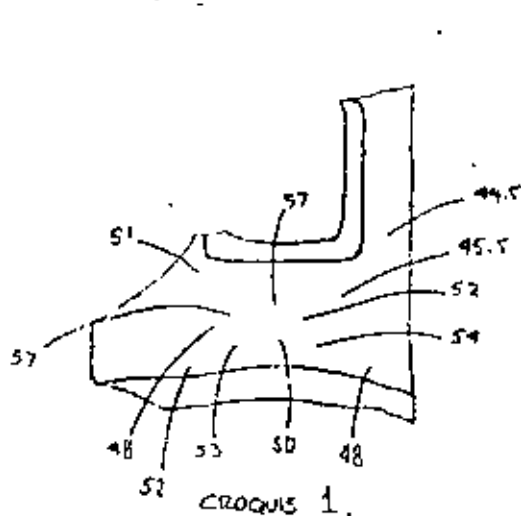
Con este objeto se realizaron: tomas de dureza y preparación de probeta para observación microscópica.

2.- RESULTADOS DEL ANÁLISIS EFECTUADO.

2.1.- De la toma de dureza:

Se tomaron 23 durezas Rockwell C en distintos lugares y en ambos caras. Se observó: (croquis un.)

- Dureza baja.
- Mucha heterogeneidad.
- Valores muy dispares y arbitrarios.



2.2.-Observación metalográfica.

a) Se realizó observación sin ataque (fotos 1 a 6). Se observó:

El material es suficientemente limpio, pues no presenta inclusiones fuera de lo normal.

b) Se atacó con reactivo Vilella (foto 7 a 15). Se observó:

1) El material presenta carburos muy grandes -- con cierta orientación (fotos 7, 8 y 9).

2) Se encontró una fibra la cual se ha resquebrajado a través de los carburos (fotos 10, 11 y 12).

3.-CONCLUSIONES.

3.1.- La orientación de los carburos y el gran tamaño de los mismos, indican:

- a) Mal amado del forjado previo.
- b) Recocido inadecuado del material antes del temple.

3.2.- La dispersidad y baja dureza concuerdan con la conclusión anterior.

3.3.- Todo lo anterior hace que el material sea frágil y presente baja dureza y heterogeneidad.

A t e n t a m e n t e .

Ing. Jorge Larillo Arce.

B MET
B MEC

BUREAU METAL-MECANICO S.C.

3

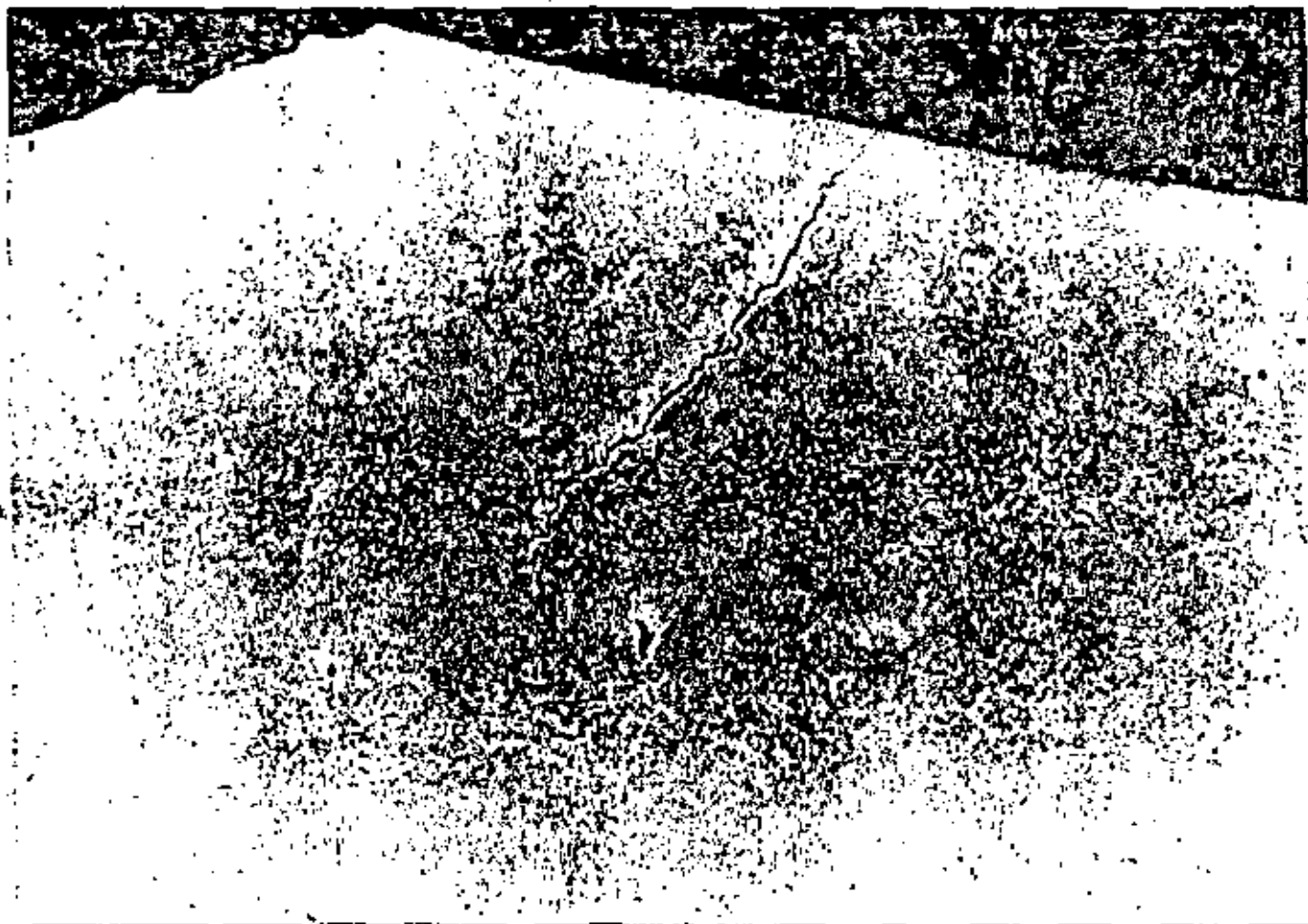


Foto 1

SIN ATAQUE
108 AUMENTOS

B MET
B MEC

BUFFETE METAL-MECANICO S.C.

4.



Foto 2

SIN ATAQUE
108 AUMENTOS

B MET
B MEC

5

DUPRE METAL-MECANICO S.S.

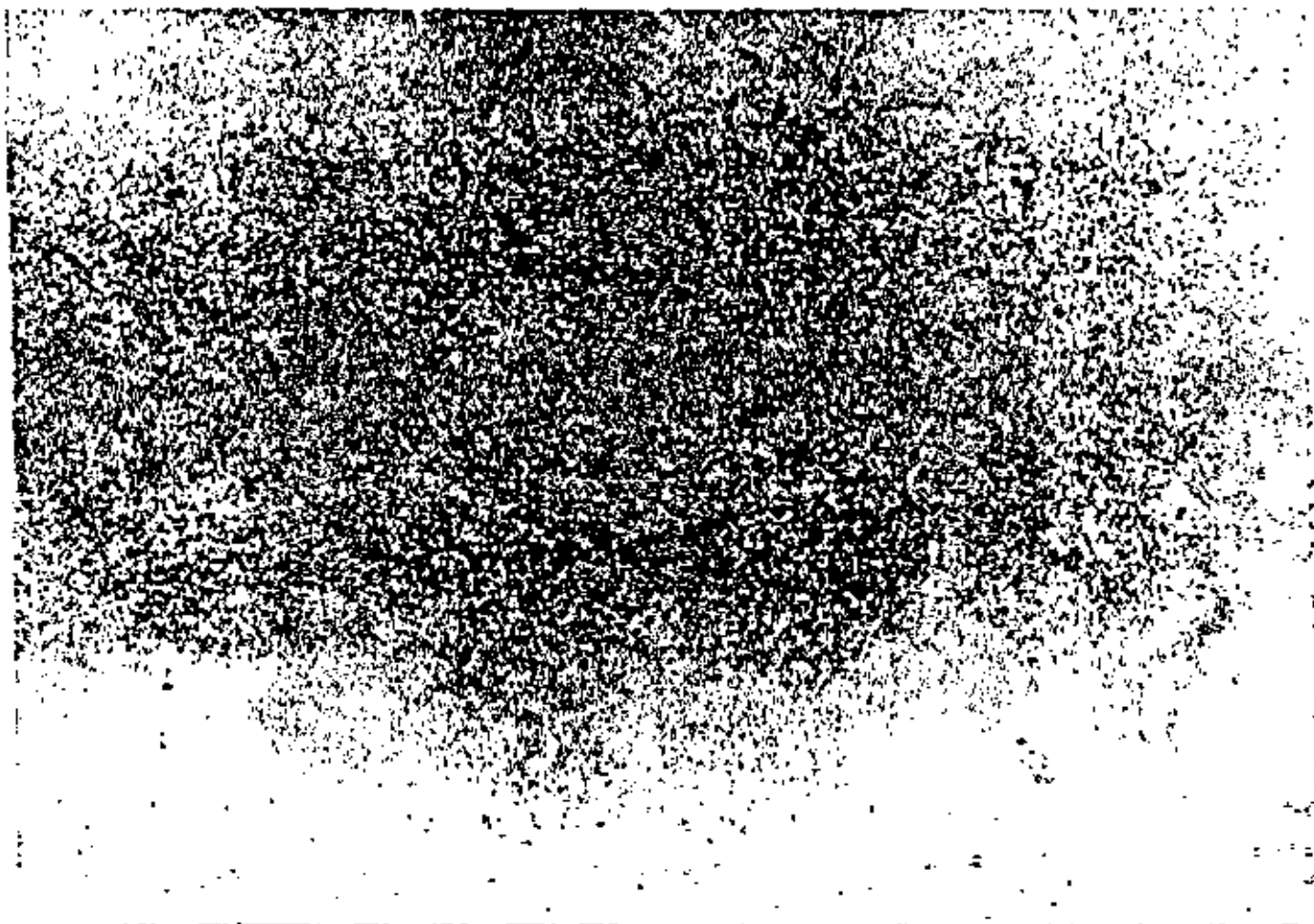


Foto 3.

SIN ATAQUE
108 AUMENTOS.

B MET
B MEC

BOYISI NEVAL-MEKANISO S.C.

6

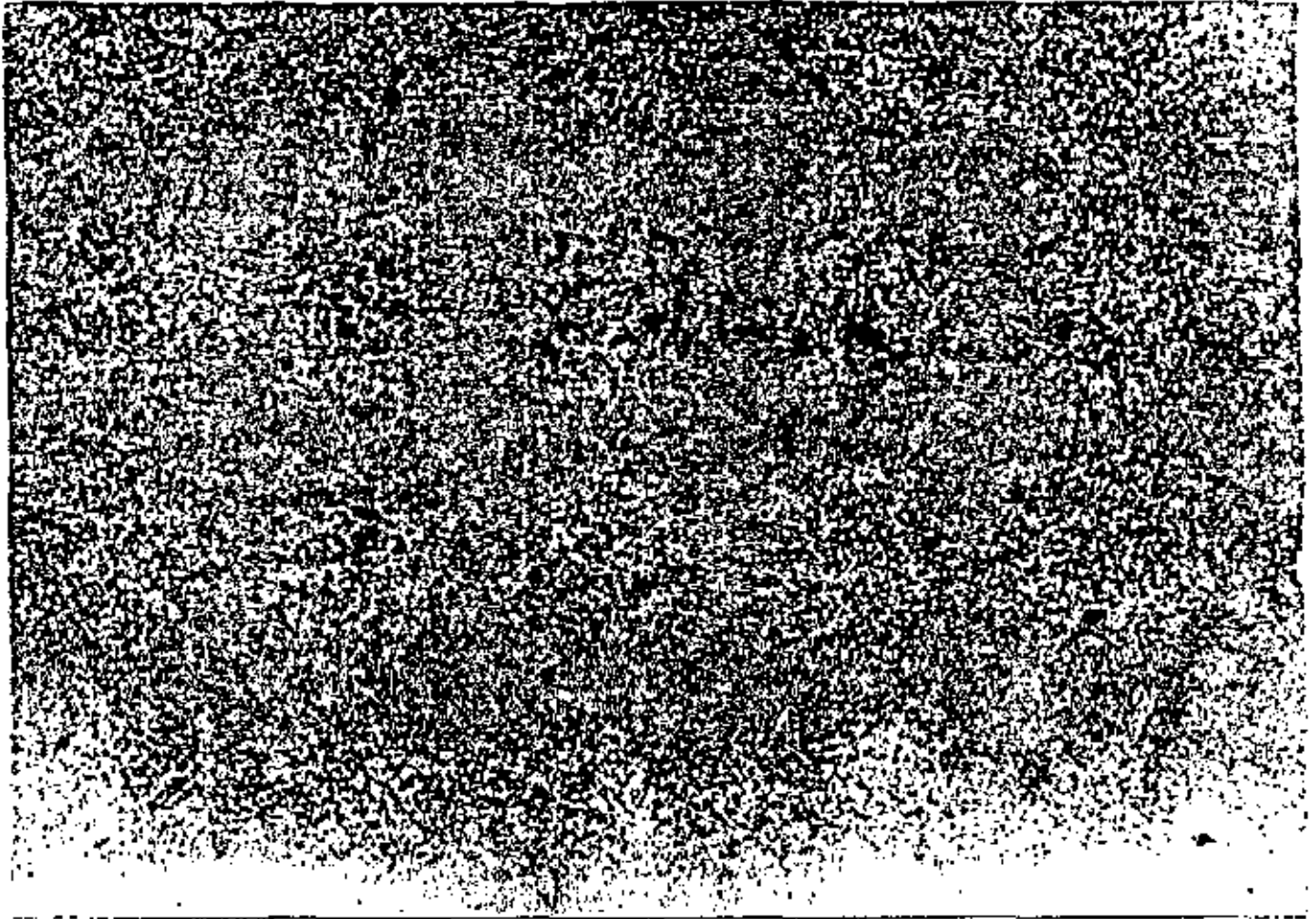


Foto 4

SIN ATAQUE
216 AUMENTOS.

**B MET
B MEC**

BUFFE METAL-MECANICO S.C.

7

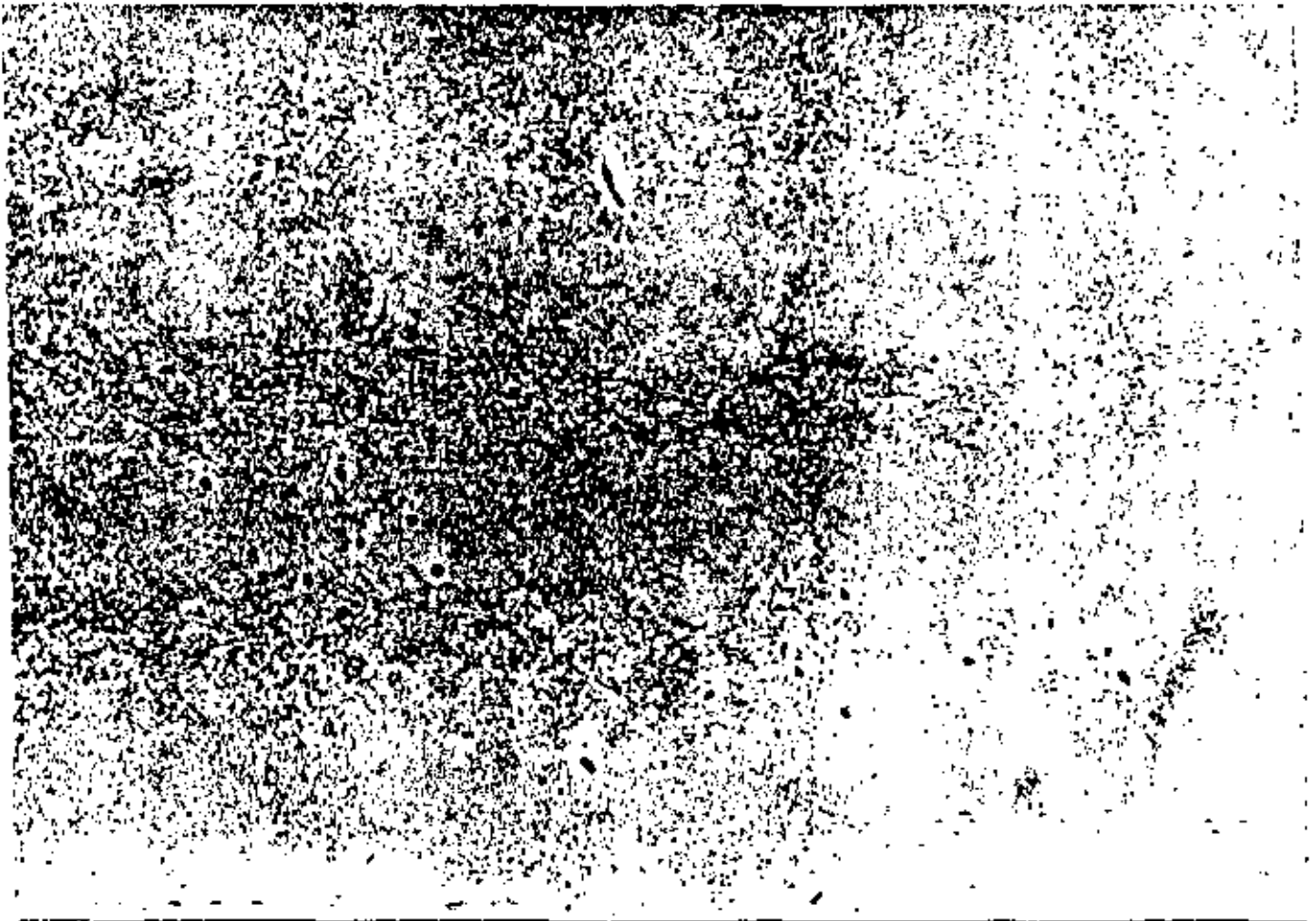


Foto 5

SIN ATAQUE
432 AUMENTOS.

B MET
B MEC

BUREAU METAL-MECANICO S.C.

8

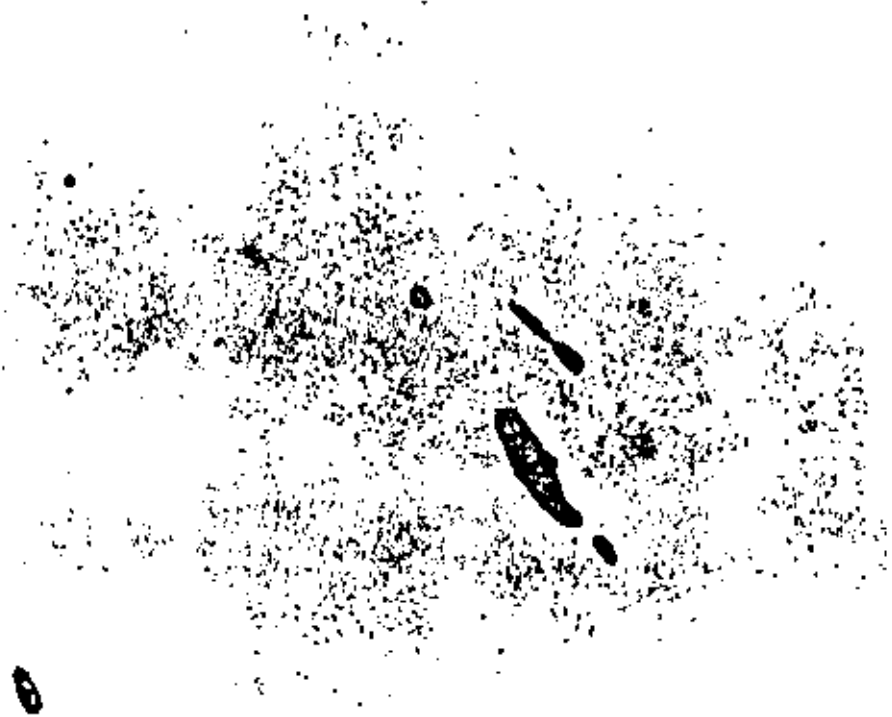


Foto 6

SIN ATAQUE
1080 AUMENTOS.

**B MET
B MEC**

BURETO METAL-MECANICO S.C.

9

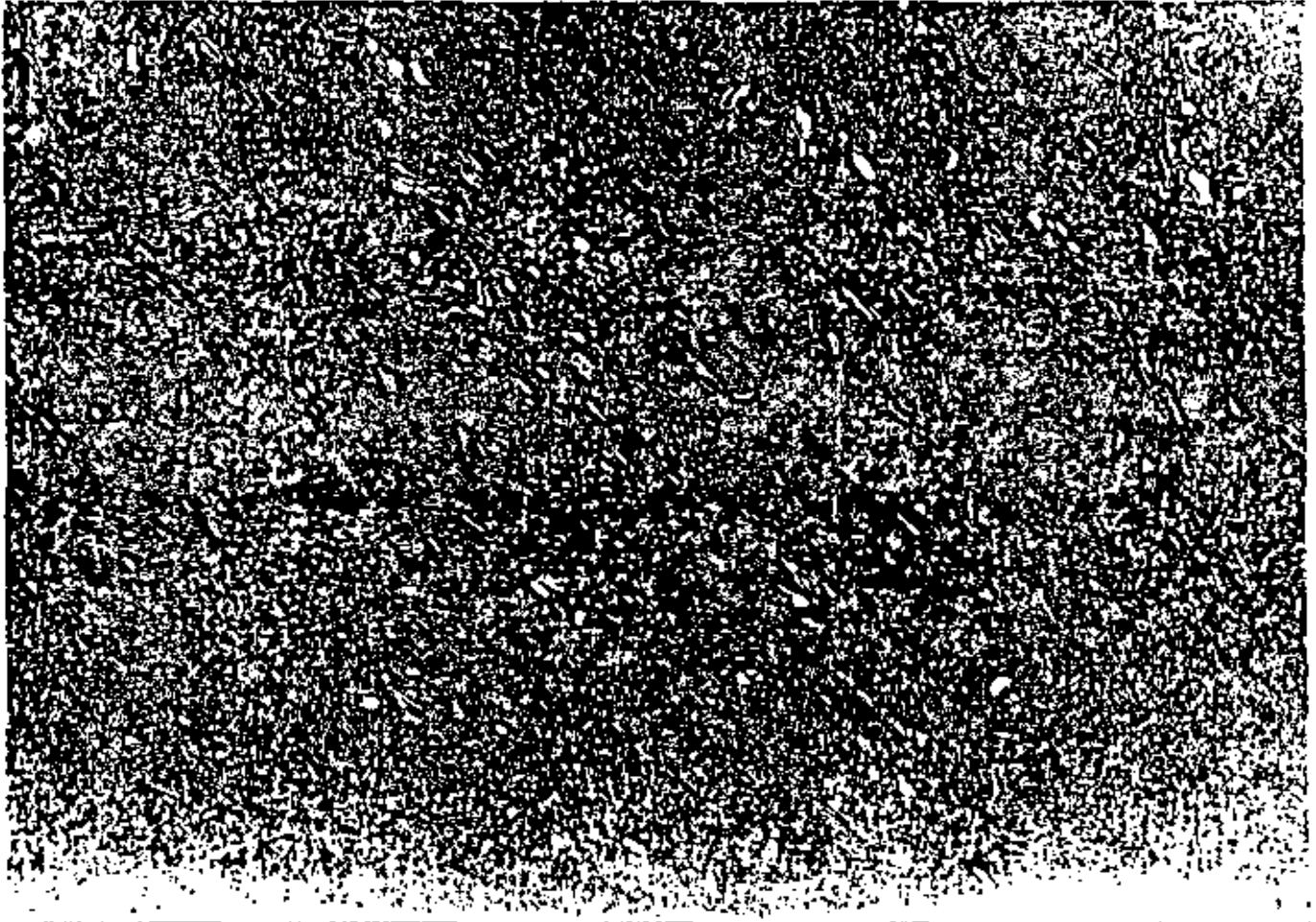


FOTO 7

ATAQUE VILBILA
108 AUMENTOS.

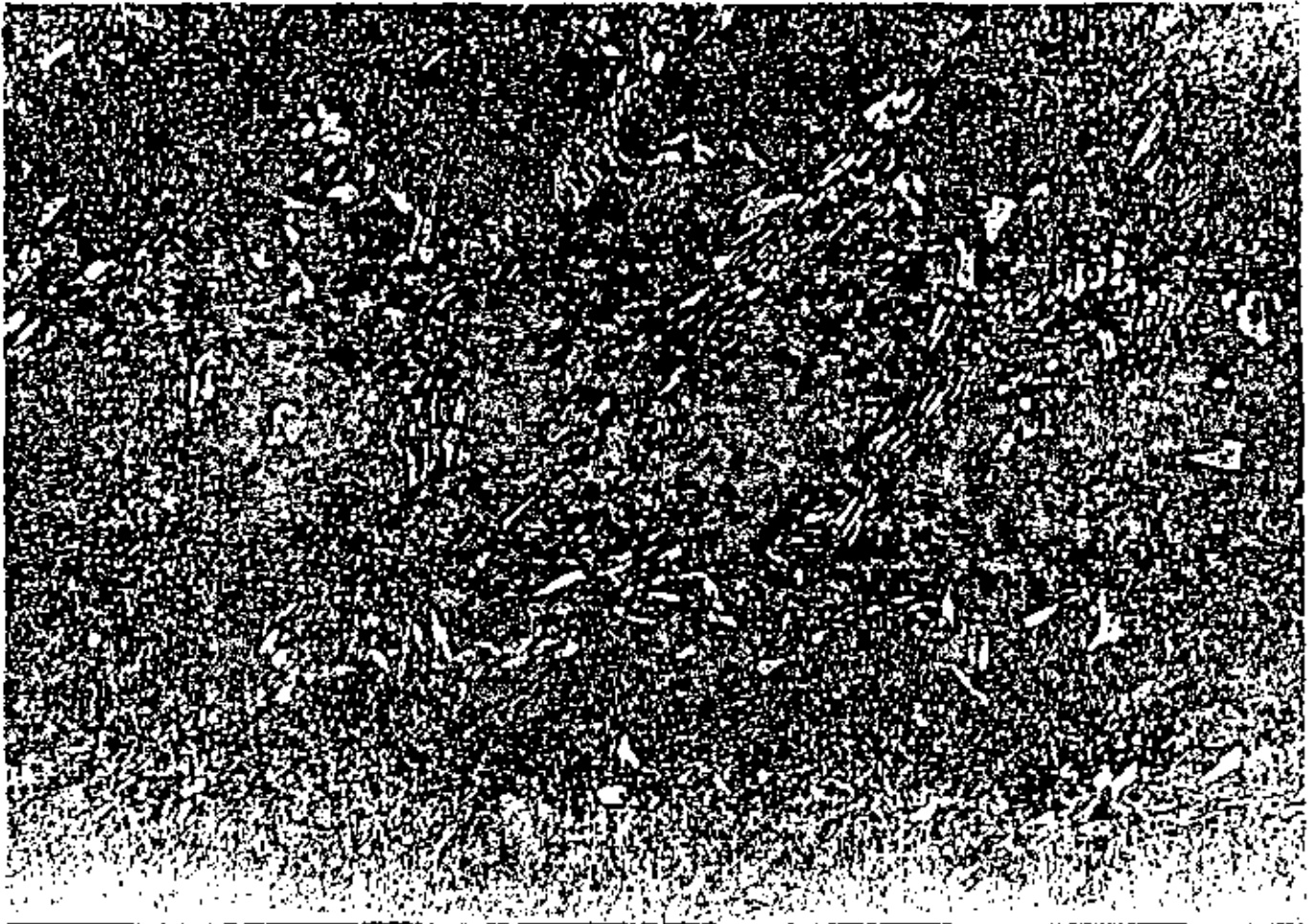


Foto 8

ADQUE: VIELLO
216 AUMENTOS.

B MET
B MEC

INDUSTRIAL METAL - MACHINERY S.A.

11

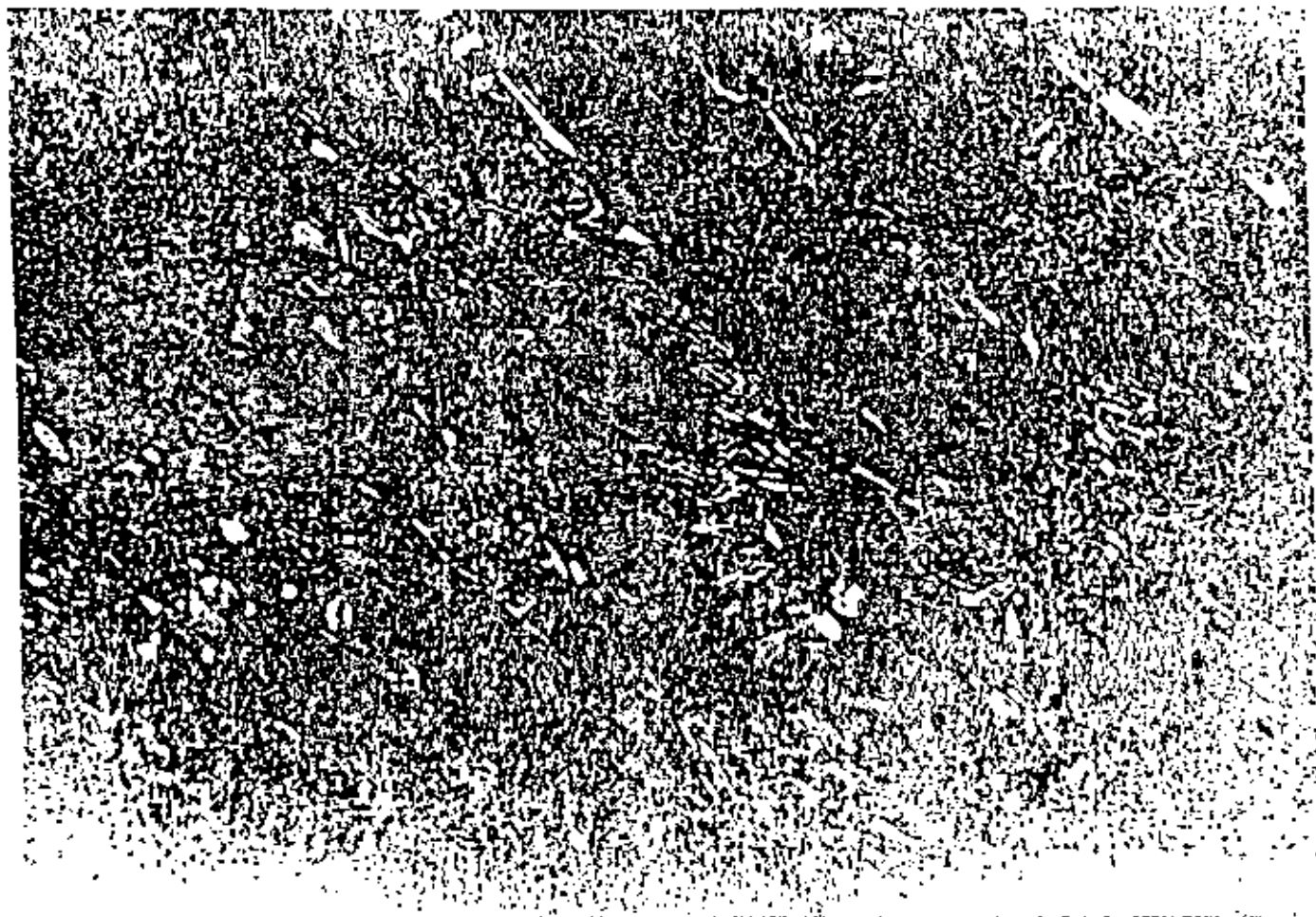


FOTO 9

ATAQUE VIELLA
216 AJUNTOS.

**BMET
BMEC**

12

BUFFETE METAL-MECANICO S.S.



Foto 10

ATAQUE - VILELLA
216 AUMENTOS.

**B MET
B MEC**

BUFETE METAL-MECANICO S.C.

13

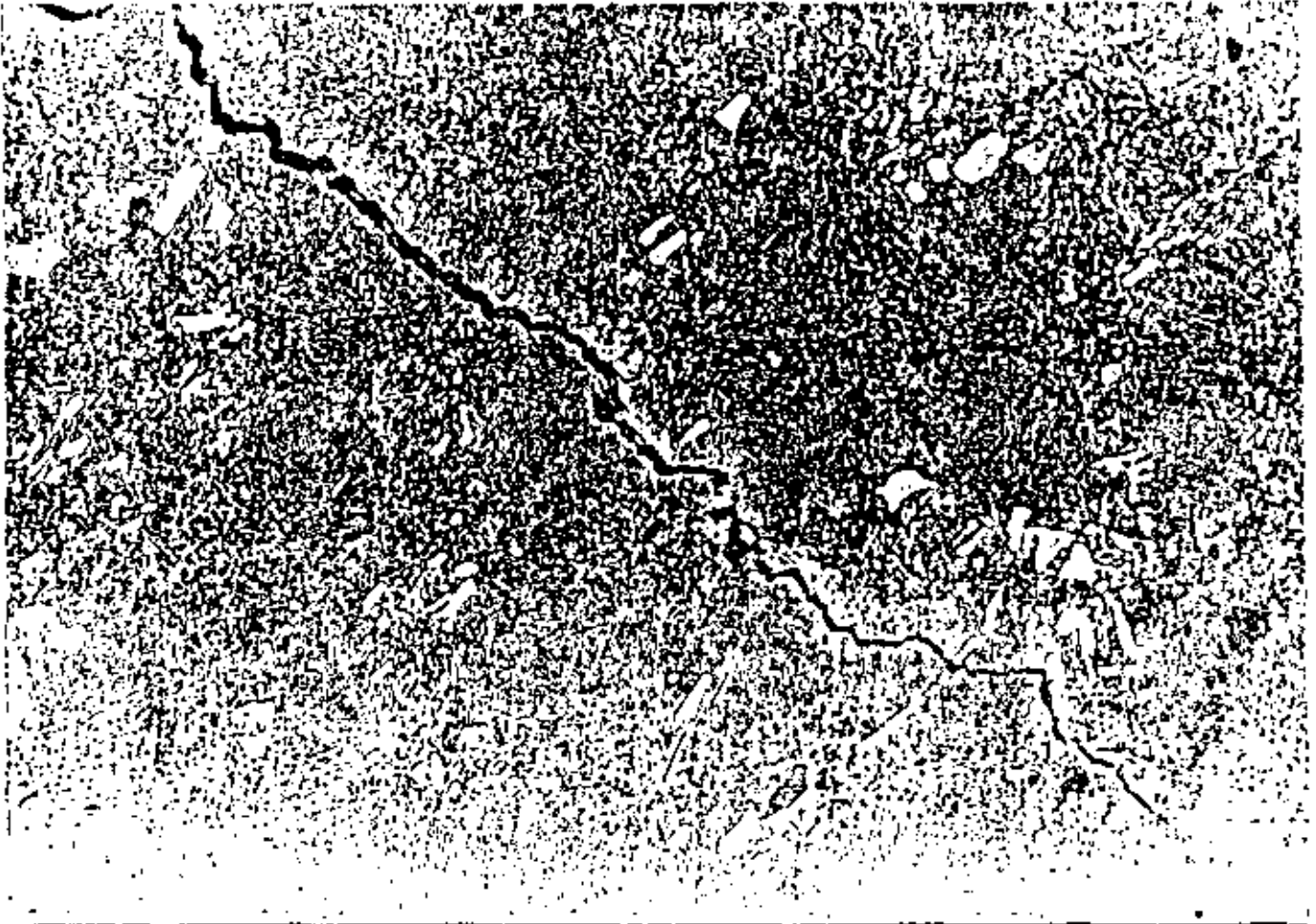


Foto 11

ATAQUE VILELLA
432 AUMENTOS.

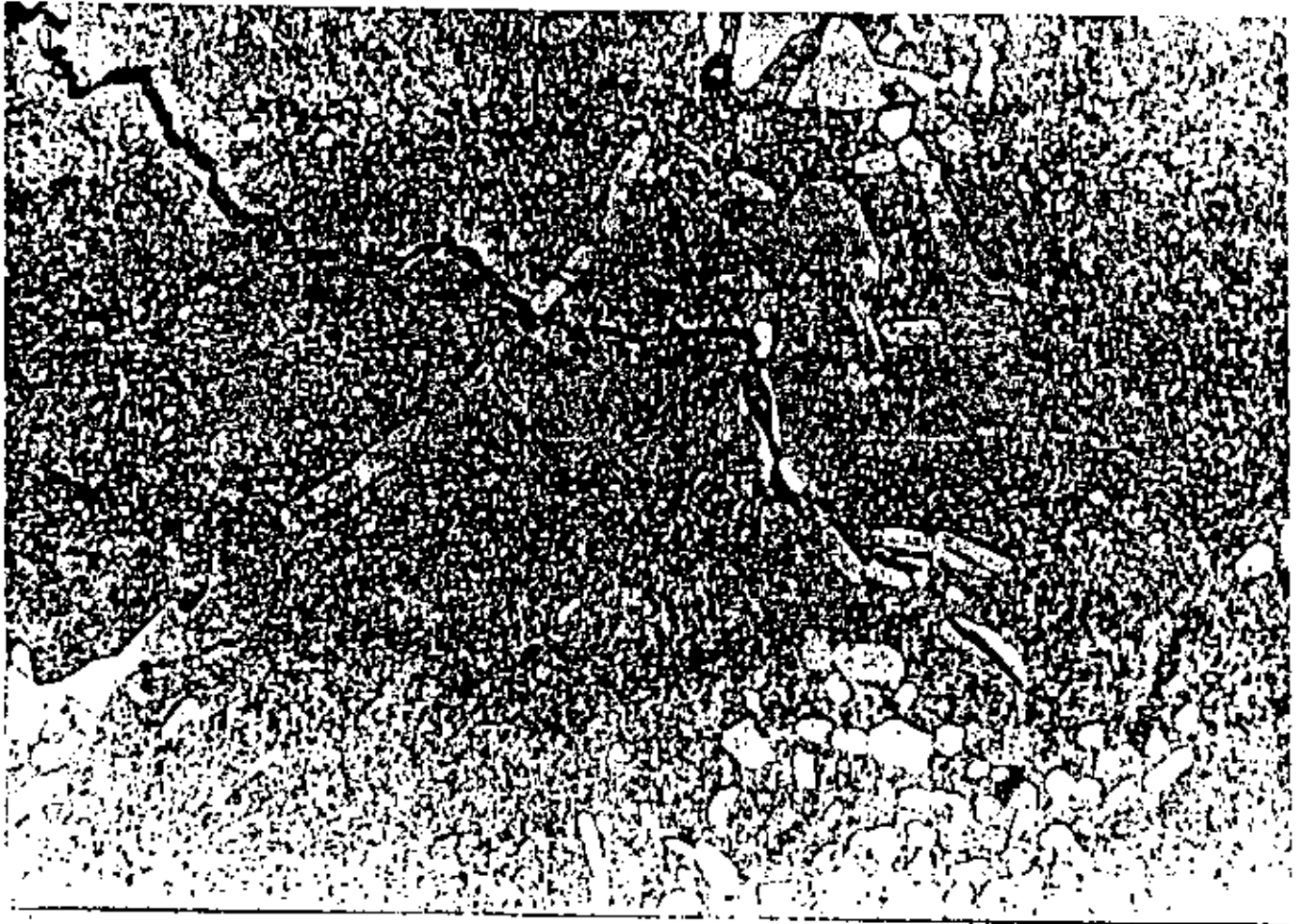


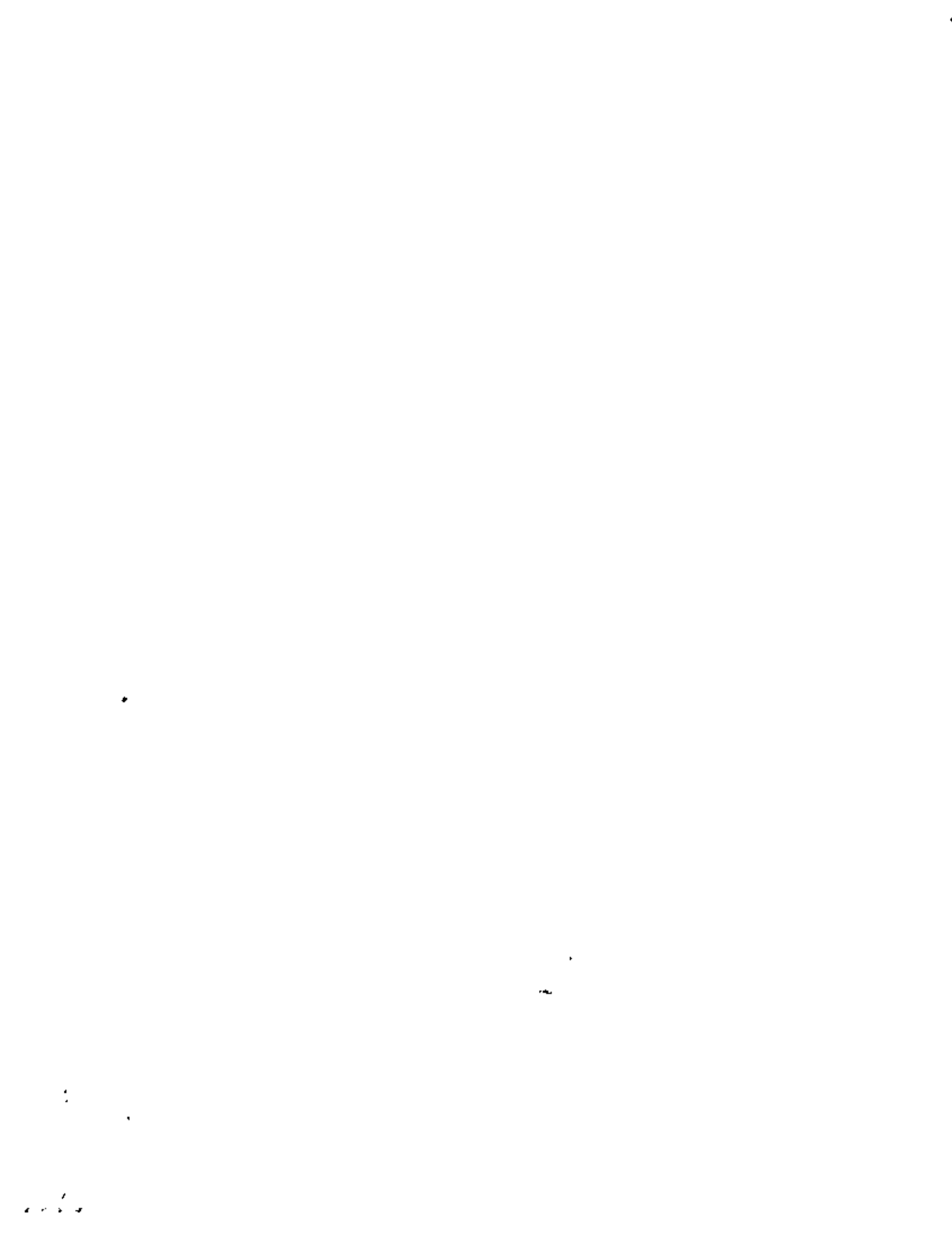
Foto 12

ATAQUE VIELLO
1080 AUMENTOS



Foto 13

ATAQUE VIRELLA
1080 AUMENTOS.





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

**DIAGNOSTICO DE FALLAS Y ROTURAS DE PIEZAS MECANICAS
METALICAS**

FALLAS POR MALA FABRICACION

- anexos -

Ing José Pappaterra Caballero

Julio, 1981



DEFECTO:

- Falta o ausencia de algo necesario para ser completo o perfecto.
- Carencia o falta de las cualidades propias y naturales de una cosa.

FALLA:

- Omisión en el servicio o falta de éxito.
- La pérdida de la resistencia, la rotura o el dejar de servir.
- Falta de calidad adecuada



6. LA NATURALEZA DE LOS MEDIOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ESTABLECE:

LA NECESIDAD DE MANTENIMIENTO DE LOS MISMOS

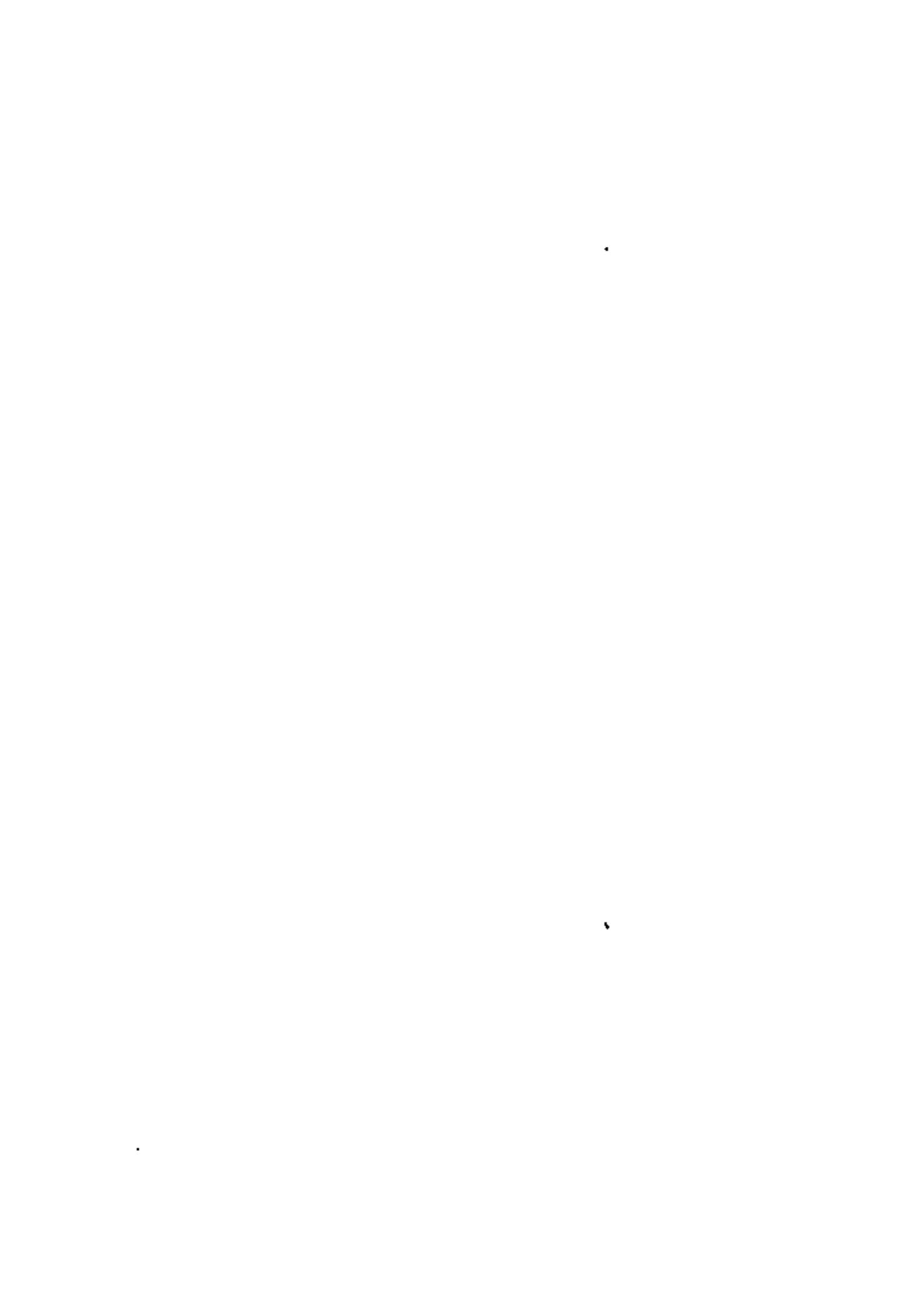
8. LA SEGURIDAD Y LA ECONOMIA IMPLICAN:

LA NECESIDAD DE SISTEMATIZAR EL MANTENIMIENTO



3 TIPOS DE PROBLEMAS

- ① Los propios al nacimiento
Diseño, fabricación.
- ② Los propios a la vida:
funcionamiento, mantenimiento.
- ③ Los propios de la muerte:
Almacenaje, eliminación.
AUTOPSIA

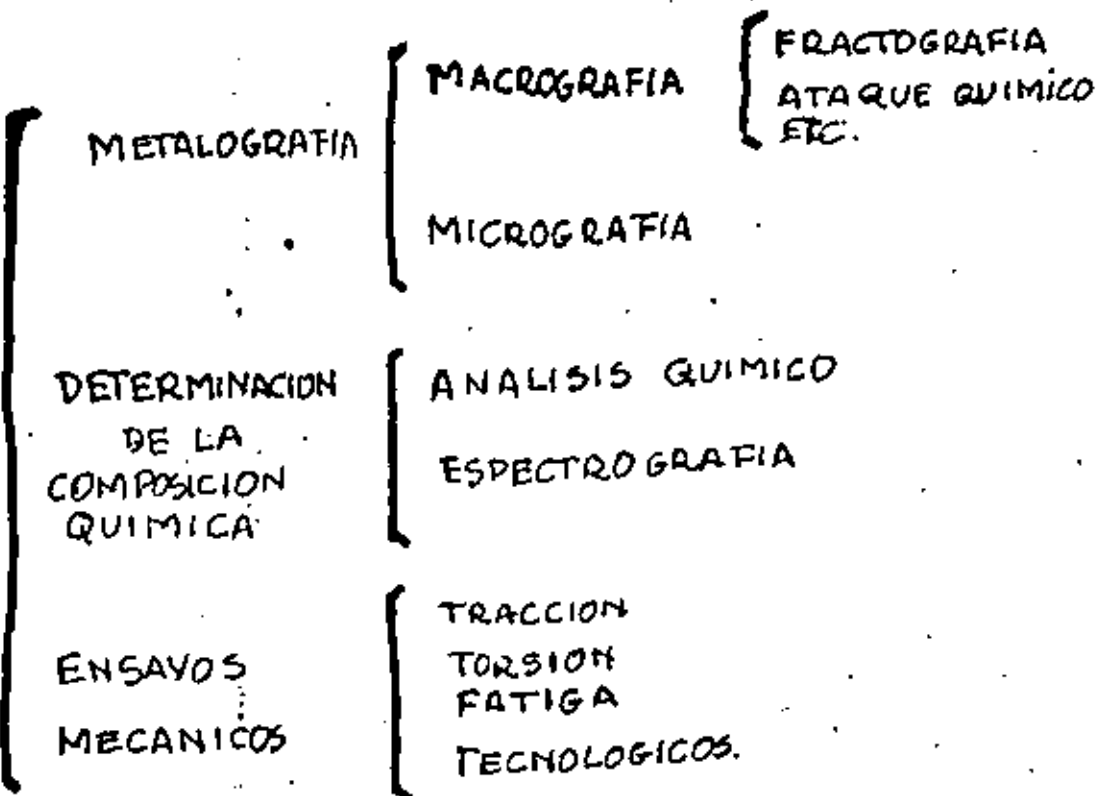


PROFILAXIS: Es la parte de la HIGIENE que dicta normas y procedimientos para prevención de enfermedades.

DIAGNOSIS: Determinar las enfermedades por los síntomas de las mismas.

TRATAMIENTO: Son las acciones necesarias para efectuar las reparaciones.

ENSAYOS
FISICOS
Y
QUIMICOS



PROFILAXIS

DIAGNOSIS



1 - APTO



INFERIOR AL MAXIMO PERMITIDO

2 - APTO



MAXIMO PERMITIDO

3 - APTO SEGUN USO



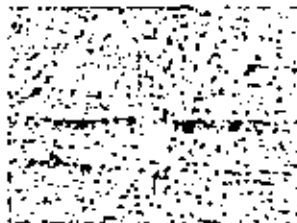
LEGERAMENTE SUPERIOR AL MAXIMO PERMITIDO

4 NO APTO

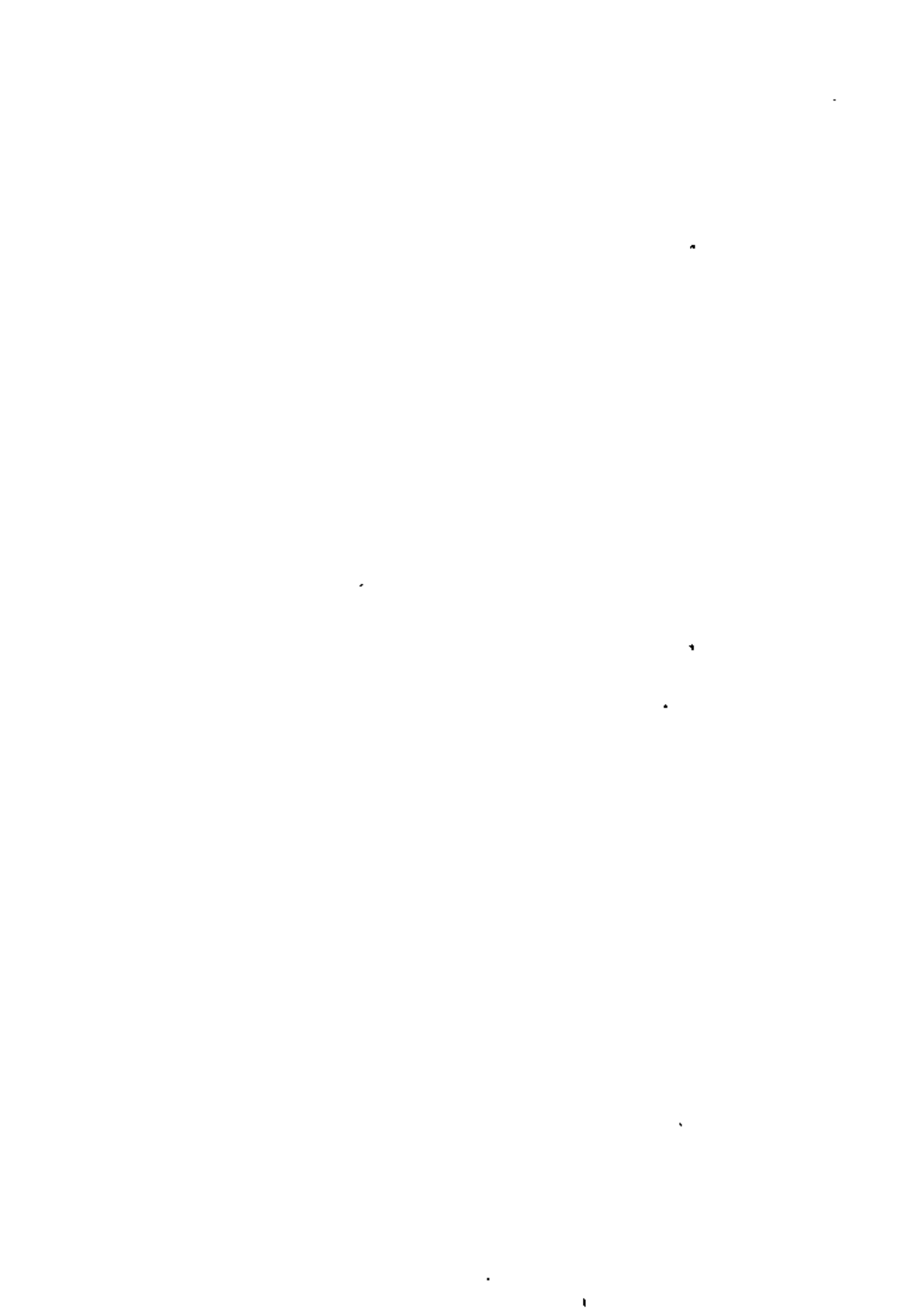


SUPERIOR AL MAXIMO PERMITIDO

5 - NO APTO



CONCENTRADO



7 -

DETERMINACION de la CALIDAD de un ACERO AL CARBONO PARA HERRAMIENTAS

Se debe efectuar:

- 1 - Análisis químico
- 2 - Contenido y distribución de P y S.
- 3 - Grado de limpieza del acero:
- 4 - Ensayo de tamaño de grano y penetración de temple
- 5 - Ensayos complementarios.

Comportamiento:

Se caracterizan por no agrietarse en el temple por quedar con un grano muy fino, muy duros; relativamente tenaces y capacidad de resistir, dentro de ciertos límites y sin romperse, el trabajo continuo y choques repetidos.

En el examen microscópico sólo podemos observar secciones planas

A partir de éstas debemos imaginarnos una visión estereométrica de su microestructura.

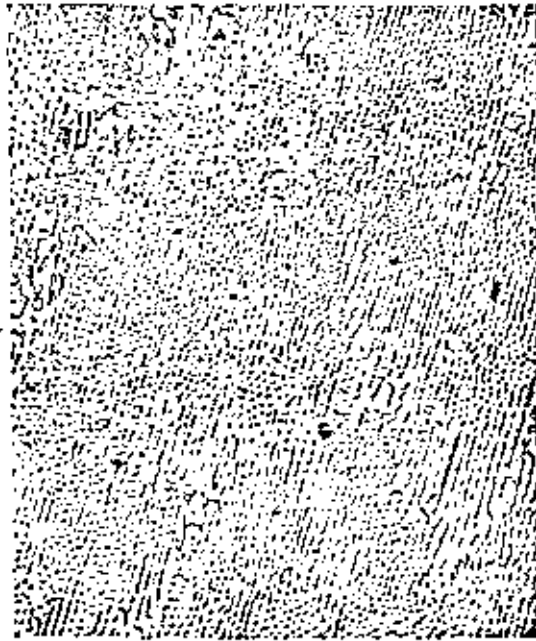


Fig. 23 x 100

Deducción de la esteometría de las estructuras
a partir de sus secciones. Estructura de un hierro.



Fig. 21 x 1000



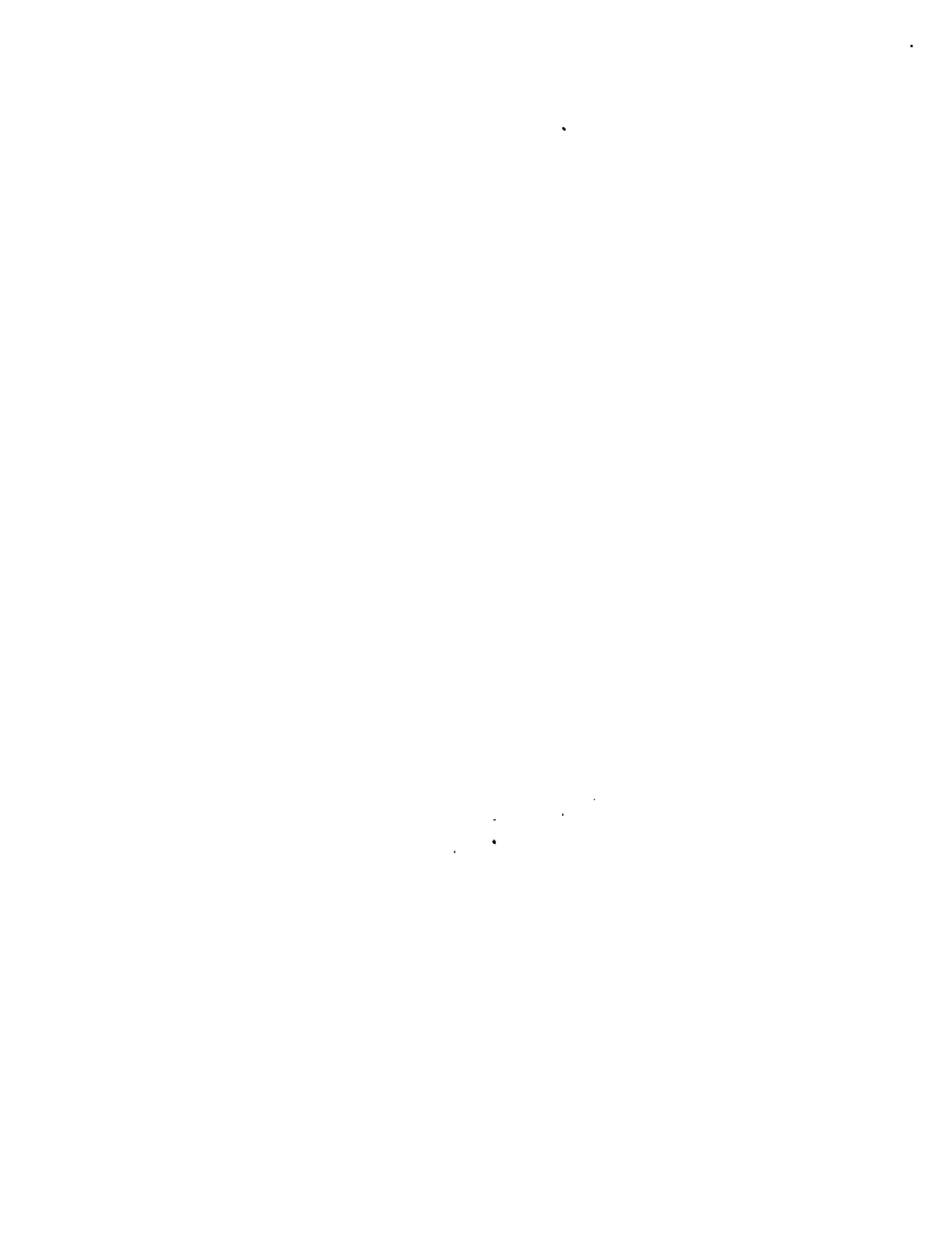
Fig. 35 x 1000



Fig. 26 x 1000

Estructura laminar de la perlita.

Aspecto segun tres secciones en un acero hipereutectoide.



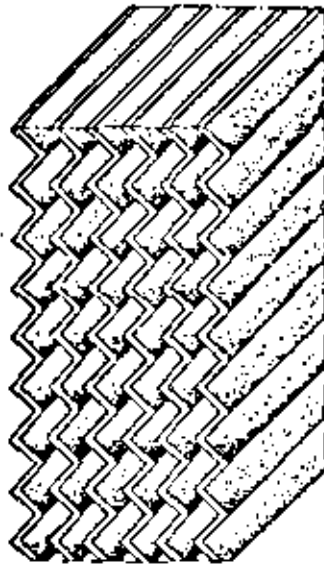


Fig. 27

Esquema de la disposición de las laminas en la perilla.

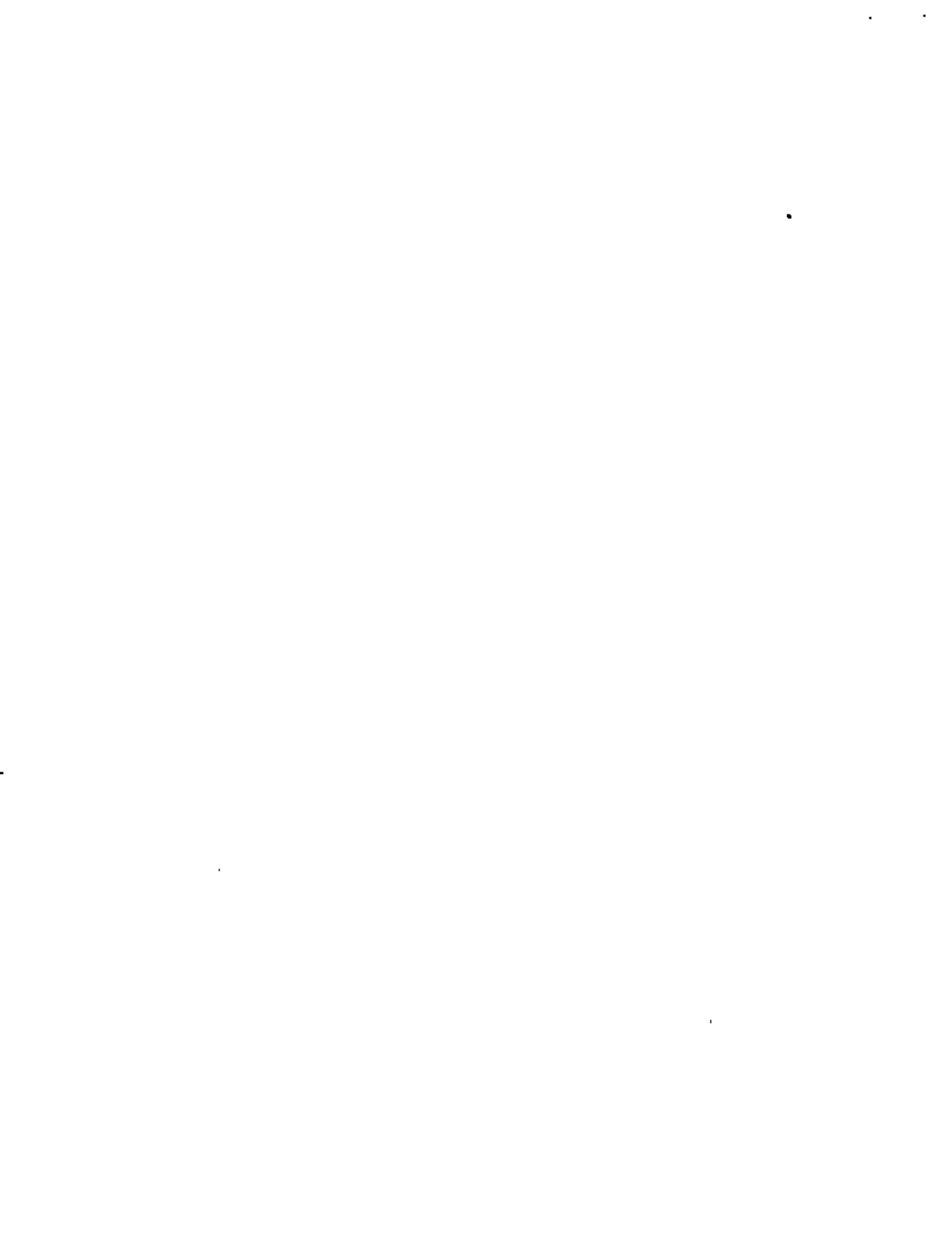




Fig. 28 x 65



Fig. 29 x 400



Fig. 30 x 1320

Formas del arafito en la junta: Después de pulido y ataque normal. (Fig. 28).
y después de cuidadoso pulido sin ataque. (Figs. 29 y 30)



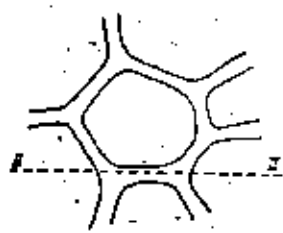
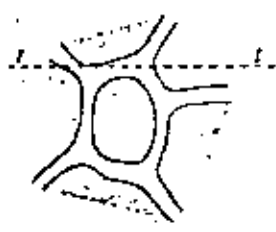


Fig. 31

Esquema de estructura celular.

El espesor del componente envolvente aparecerá mayor que en la figura, en las secciones contenidas en los planos I y II perpendiculares al de esta.





FIG. 32

x 150

Hierro arnico.





Fig. 32 x 860

Sección transversal de un tubo de acero suabe fabricado por el procedimiento Rockite.



Fig. 34 x 335

Sección tangencial de una plancha de acero suabe fabricada por el procedimiento Steckel laminada por estirado entre rodillos.

Aspecto típico de distintas secciones en aceros suabes trabajados en frío (Verse también de 177, Cap. XII).



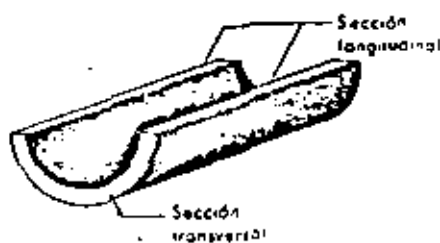
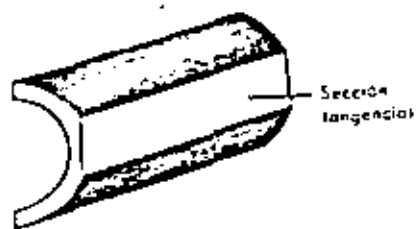


Fig. 19

Secciones características en tubos.



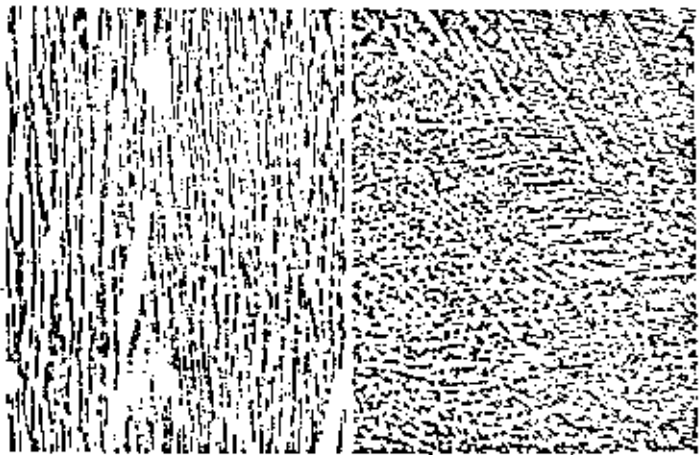


Fig. 19 x 100

Fig. 20 x 100

Sección longitudinal

Sección tangencial

Cupro-níquel

Diferente aspecto de la microestructura en las secciones longitudinal y tangencial.





Fig. 21 x 75

Sección longitudinal.



Fig. 22 x 75

Sección tangencial.

Diferente aspecto de la microestructura de un acero estructural frágil en sus secciones longitudinal y transversal.



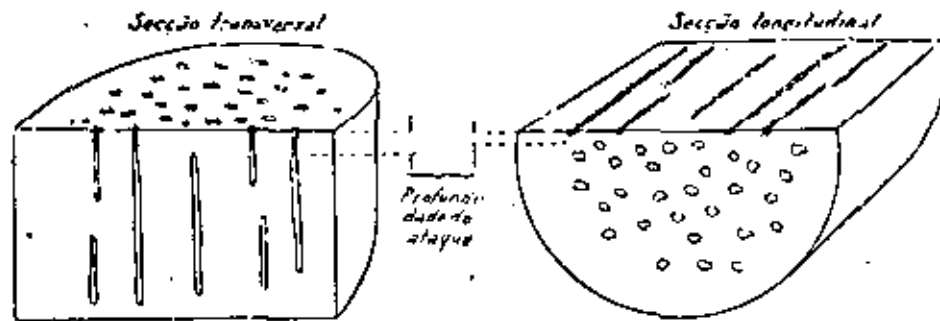


Fig. 42 — Influência da posição da secção (transversal ou longitudinal) feita em peças laminadas, sobre a profundidade do ataque. No caso de impressões de Baumann com diferença de profundidade produz diferenças na intensidade dos detalhes da imagem.



FASES PARA LA PRUEBA MACROGRAFICA

- 1 - ESCOGER Y LOCALIZAR LA SECCION A SER ESTUDIADA.

- 2 - REALIZAR UNA SUPERFICIE PLANA Y ADECUADAMENTE PULIDA EN EL LUGAR ESCOGIDO.

- 3 - ATACAR ESTA SUPERFICIE CON REACTIVOS A TEMPERATURAS Y TIEMPOS ADECUADOS.

Se prefiere el corte longitudinal para verificar:

- Si una pieza es fundida, forjada o laminada
- Si una pieza fue estampada o torneada
- La soldadura de barras
- Cómo se procesó un caldeamiento a tope.
- Eventuales defectos en las proximidades de las fracturas.
- Extensión de los tratamientos térmicos superficiales, etc.

Se prefiere el corte transversal para verificar:

- La naturaleza del material: acero, etc.
- Si la sección es o no enteramente homogénea
- La forma e intensidad de las segregaciones
- La posición, forma y dimensiones de fisuras, inclusiones, picaduras, etc.
- La forma y dimensiones de las dendritas.
- Si la pieza ha sido cementada: la profundidad y regularidad de ésta.
- La profundidad del temple.
- Si un tubo es sin costura, caldeado o soldado
- Ciertos detalles de las soldaduras.
- En el caso de herramientas de corte calzados el espesor y la regularidad
- La regularidad y profundidad de partes coquilladas de fundición. etc.



7-23



Fig. 2

x 2

Rotura por juntas.



Fig. 3 x 25

Fractura porosa en un bronce
moldado



Fig. 4 x 2
Fractura fibrosa en un acero al carbono.



x 1 Fig. 5
Fractura fibrosa en un acero al Gr-V.

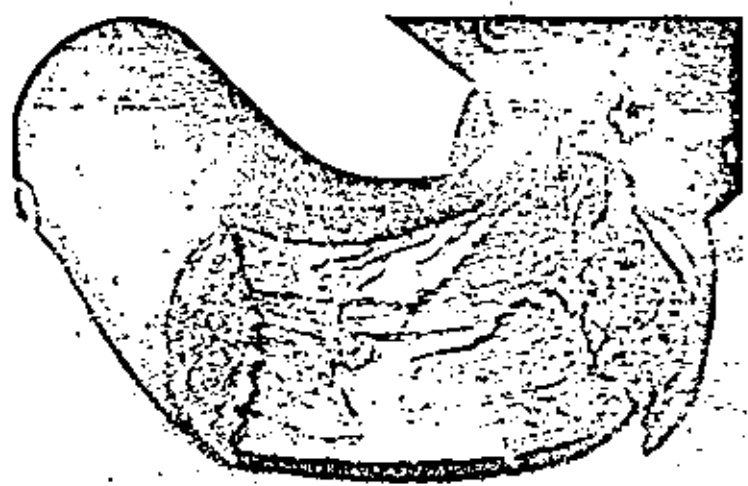


Fig. 7 x 1
Fractura fibrosa en hierro forjado.
(Por cortes de George U. Egan «Visual Examination of Steels».)



7-26

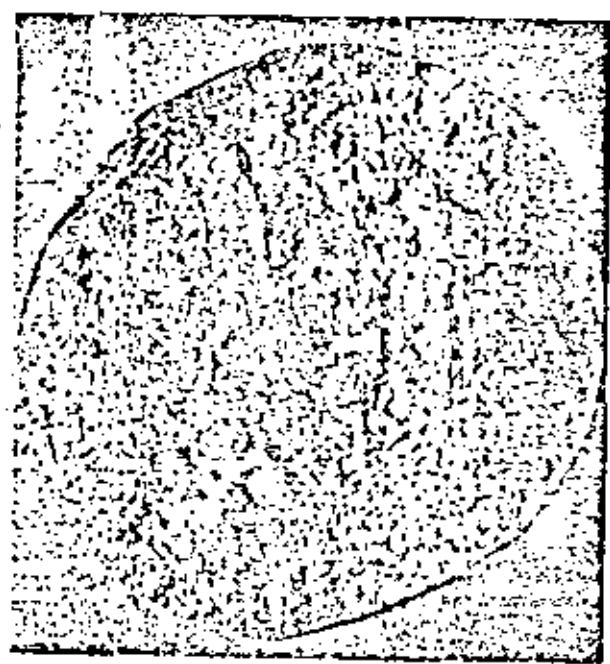


Fig. 6
Fractura de gra-
no obtenida en una
cabeza de hierro
torcido.

7-27



Fig. 9 x2

Fractura por cristalización en un bronce al Mn.

Límite de fluencia: 40 kg/mm².
 Carga de rotura: 56 kg/mm².
 Alargamiento en 50 mm: 37.5%



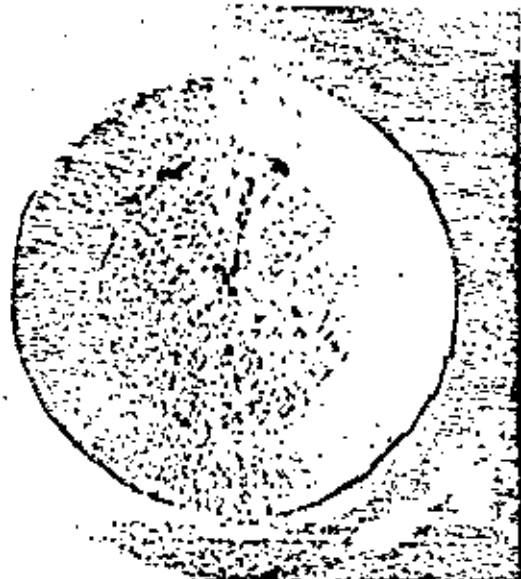


Fig. 9 $\times 11/2$
 Fractura en copa de
 un bronce al Mn.
 Límite de fluencia: 43 kg/mm². Carga de rotura: 54 kg/mm².
 Alargamiento en 50 mm: 21.5 %.

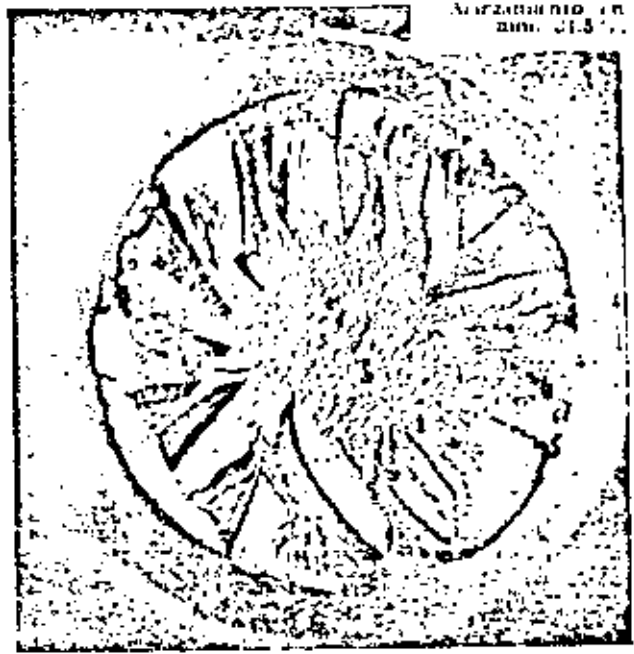


Fig. 10 $\times 21/2$
 Fractura en rosca en un acero aleado.

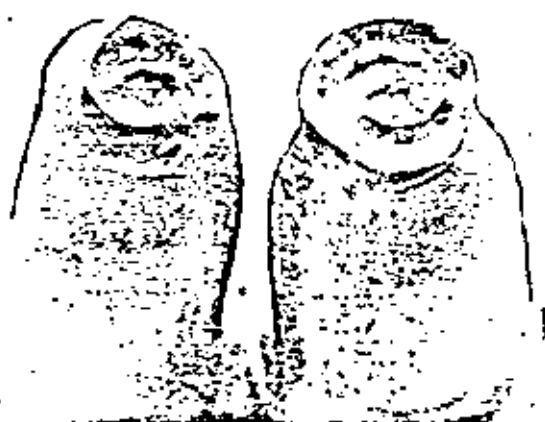


Fig. 11 $\times 2$
 Fractura en espiral en un bronce templado.
 Límite de fluencia: 54 kg/mm². Carga de rotura 63 kg/mm². Alargamiento en 50 mm: 19 %.



7-26

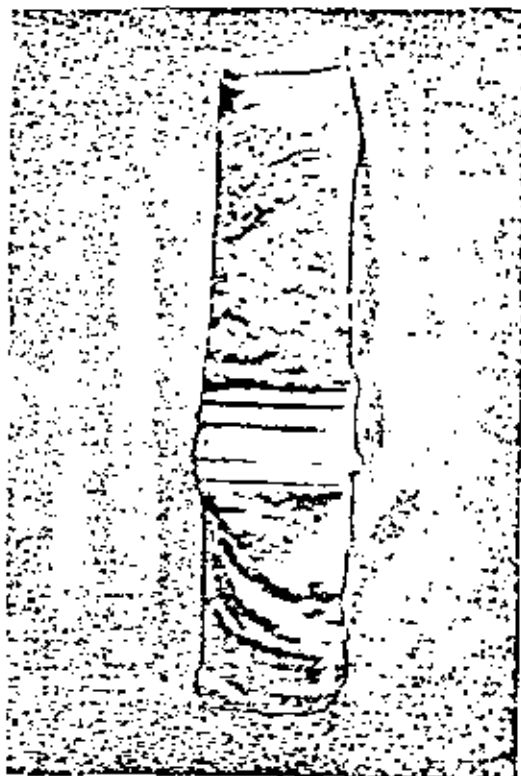


FIG. 12

Dues de acero con fractura parcialmente laminar.



7-2-20



Fig. 13 x 1
 Fractura concéntrica en anti-
 monio moldeado.



Fig. 14 x 1
 Fractura en servicio parcialmente
 manchada.



7-31

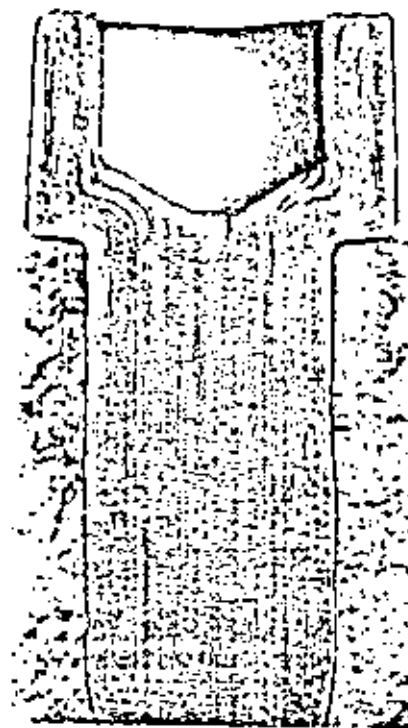


Fig. 15 x 3 1/2
Distribución conveniente.

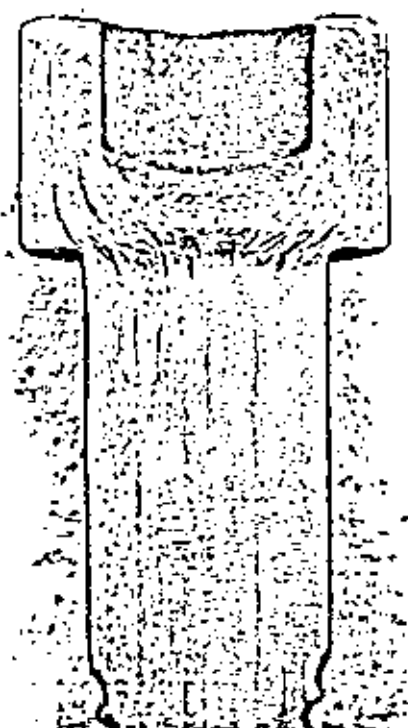


Fig. 16 x 3 1/2
Concentración del grano en la sección crítica.

Líneas de fluencia en tornillos de cabeza hueca.



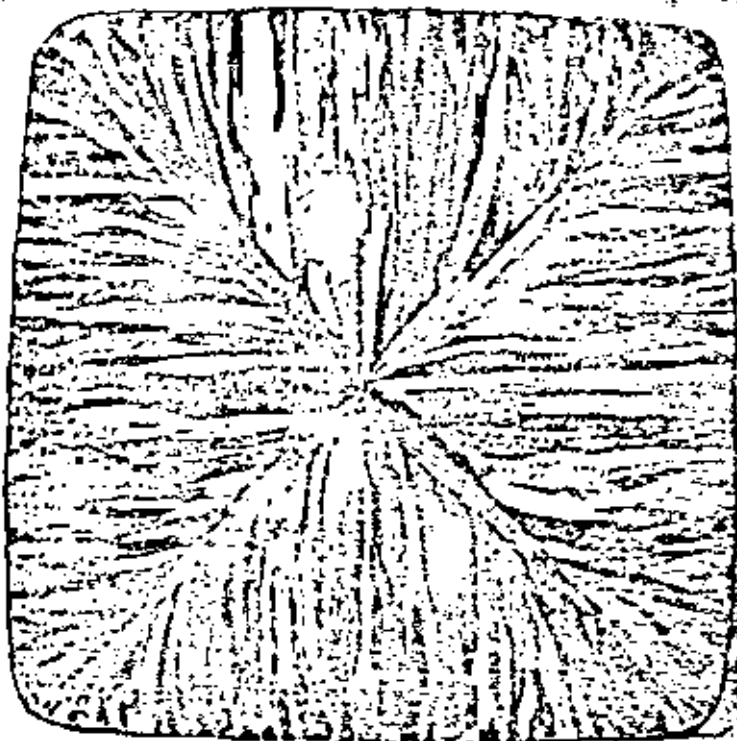


Fig. 17

x 1

Plaque de cuivre desuadado. Tipo O. F. H. C.
(Oxygen Free High Conductivity)





**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DE TERMINACION DE LAS CAUSAS

DE LA ROTURA DE UN EJE DE BOMBA



I N D I C E

1. Ubicación del problema
2. Macrografía de la fractura
 - 2.1. aspecto general
 - 2.2. detalle de la iniciación de la fractura
 - 2.3. detalle de la fractura final
 - 2.4. detalle de porosidad interior
3. Macrografía del recubrimiento
 - 3.1. detalle de sobresoldadura
 - 3.2. detalle de sobresoldadura muy porosa
 - 3.3. detalle de falla de alineamiento
 - 3.4. detalle de falla de alineamiento y sobresoldadura porosa
4. Plan de toma de muestras
 - 4.1. Seccionamiento del material
 - 4.2. Muestras para análisis químico
5. Resultado del análisis químico
 - 5.1. Material de base
 - 5.2. Recubrimiento
6. Perfiles de dureza
 - 6.1. Perfil longitudinal de dureza superficial
 - 6.2. Perfiles radiales de dureza
 - 6.3. Resultado complementario
7. Medición del espesor del recubrimiento
8. ensayo Bauman para distribución del azufre
 - 8.1. Transversal
 - 8.2. Longitudinal

**BMET
BMEC****BUFFETE METAL-MECANICO S.A.S****9. Macroataque**

9.1. Pieza B1

9.2. Pieza B2

10. Metalografía

10.1. Inclusiones

10.2. Recubrimiento

10.3. Metal de base

10.4. Unión recubrimiento - metal de base

11. Informe final

11.1. Conclusiones

11.2. Recomendaciones

1. Ubicación del problema

En el presente trabajo se determina la causa de la rotura del eje de una unidad motor-bomba. La falla ocurrió después de año y medio de uso continuo como bomba de alimentación de una caldera

Se trata de una bomba múltiple;

Co. de México, con seis impulsores, caudal $613 \text{ m}^3/\text{h}$, presión 225 kg/cm^2 , revoluciones 5600 rpm, potencia del motor 6200 HP (?).

El eje es de acero 410 HP, diámetro $3 \frac{3}{4}$ ", largo $88 \frac{3}{4}$ ", con un recubrimiento por soldadura, efectuado según las instrucciones 11-5404-S con acero al manganeso, correspondiendo a la zona en contacto con el metal Babbitt de la chumacera.

La muestra provista (ver croquis no. 1) es un tramo con longitud de aproximadamente 200 mm, que incluye la zona de recubrimiento y la fractura. El otro extremo del eje fracturado no ha sido provisto:

2. Macrografía de la fractura

2.1. Aspecto general de la fractura

1. Descripción y planteo del problema

1.1 Descripción del equipo y del problema estudiado

Determinar la causa de rotura de un eje de una unidad motor-bomba. Corresponde a una bomba múltiple fabricada por Byron-Jackson Co. de México, con seis impulsores y las siguientes condiciones de operación :

potencia del motor	: 5800 HP
gasto	: 2750 gal/min
presión de succión	: 110 lb/plg ²
presión de descarga	: 2930 lb/plg ²
revoluciones	: 5700 rpm

El eje es de acero 410 HT, cuyo diámetro es de 3 3/4" y largo de 88 3/4". Correspondiendo a la zona de contacto con el metal Babbitt de
 presenta un recubrimiento por soldadura de acero al manganeso según las instrucciones IT-3104 : "Procedure for
 Weld-Overlays of Pump Shaft Journals", de la Byron Jackson Pump Division.

1.2 Ubicación de la muestra

- La figura número 1 muestra esquemáticamente la ubicación de la fractura. Se observa que la ruptura ocurrió casi en el límite del recubrimiento de acero al manganeso. La muestra que se nos suministró fue cortada con sierra del extremo del eje, según se indica en la figura 1. La parte situada a la derecha de la fractura quedó en poder de la compañía compradora de la bomba.
- Nota : debido a la ubicación del recubrimiento con respecto a la fractura y debido a la ubicación del elemento que nos fue suministrado, tenemos poco material de recubrimiento a nuestra disposición para llevar a cabo el estudio de la fractura.

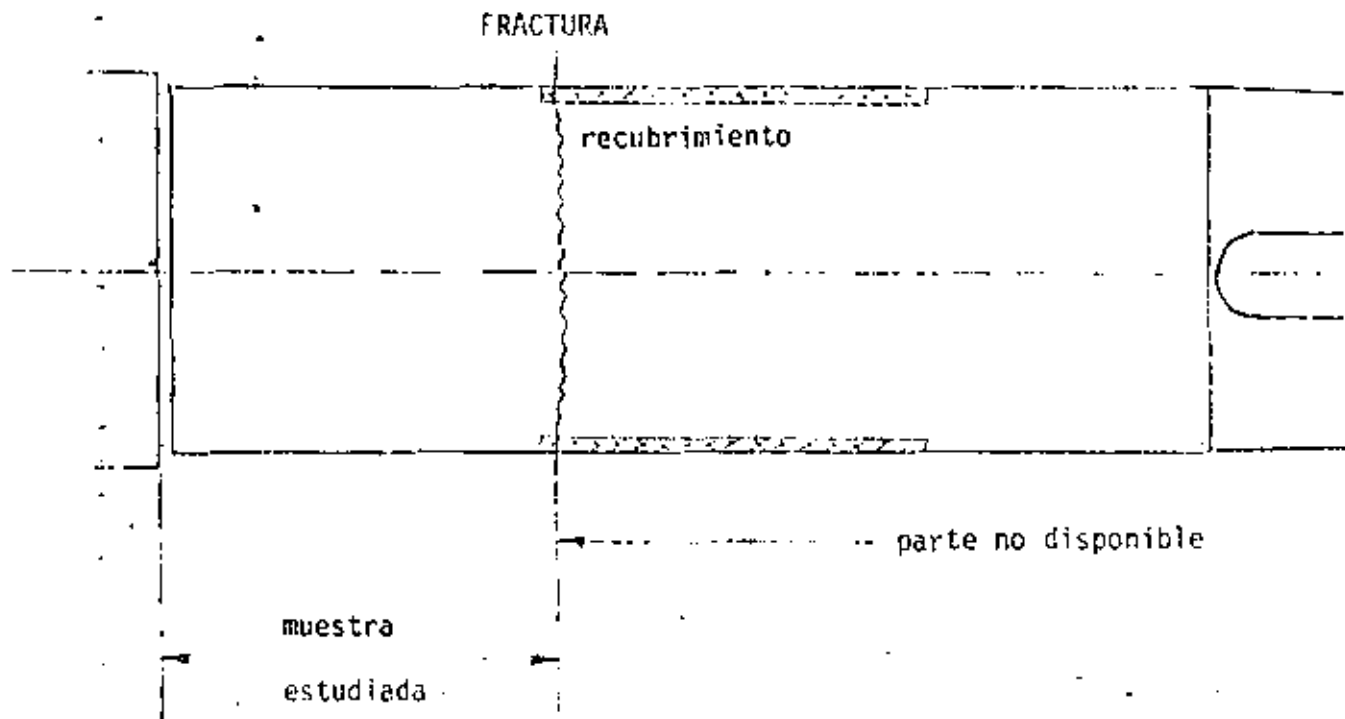


Figura 1 : Representación esquemática de la ubicación de la fractura

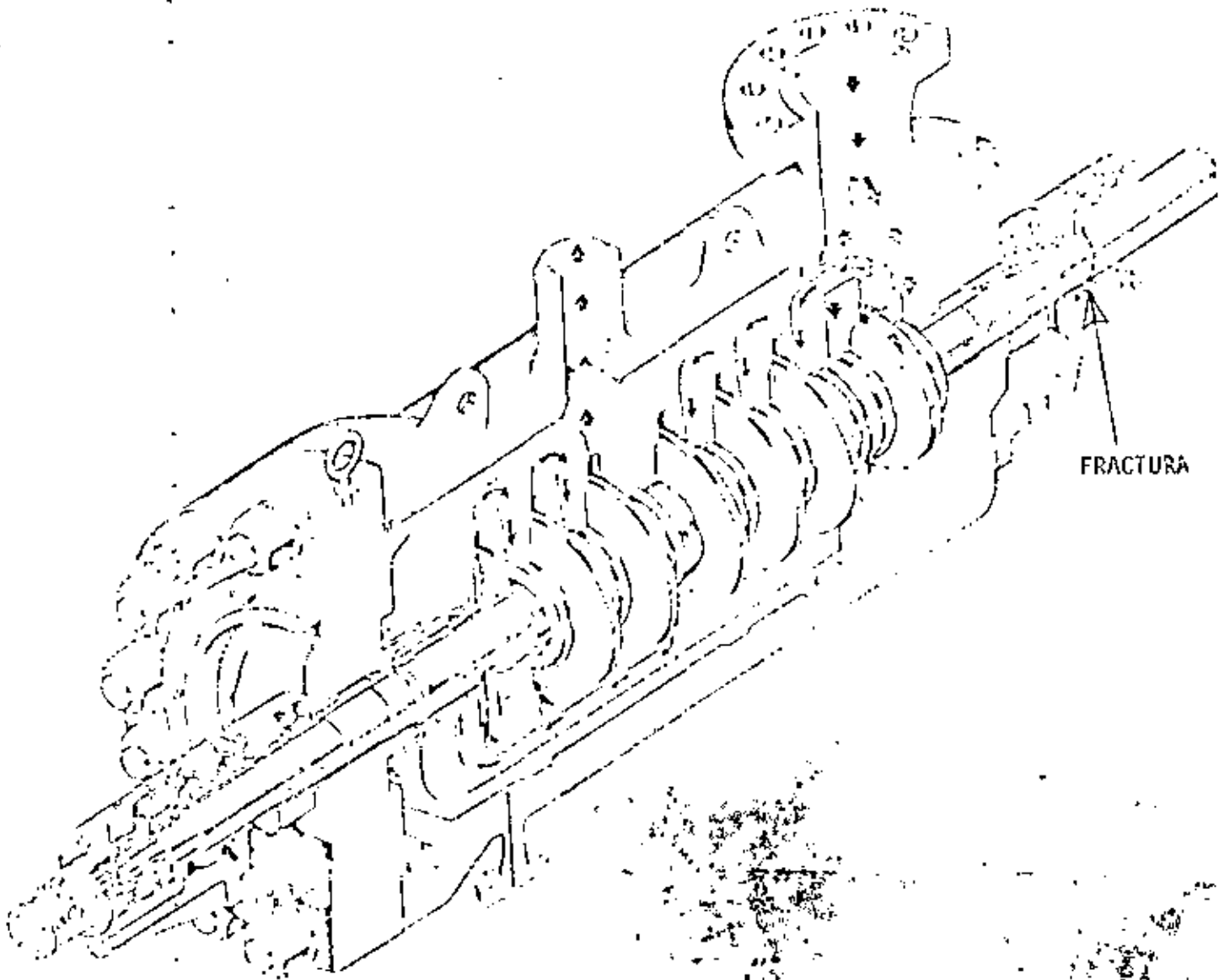
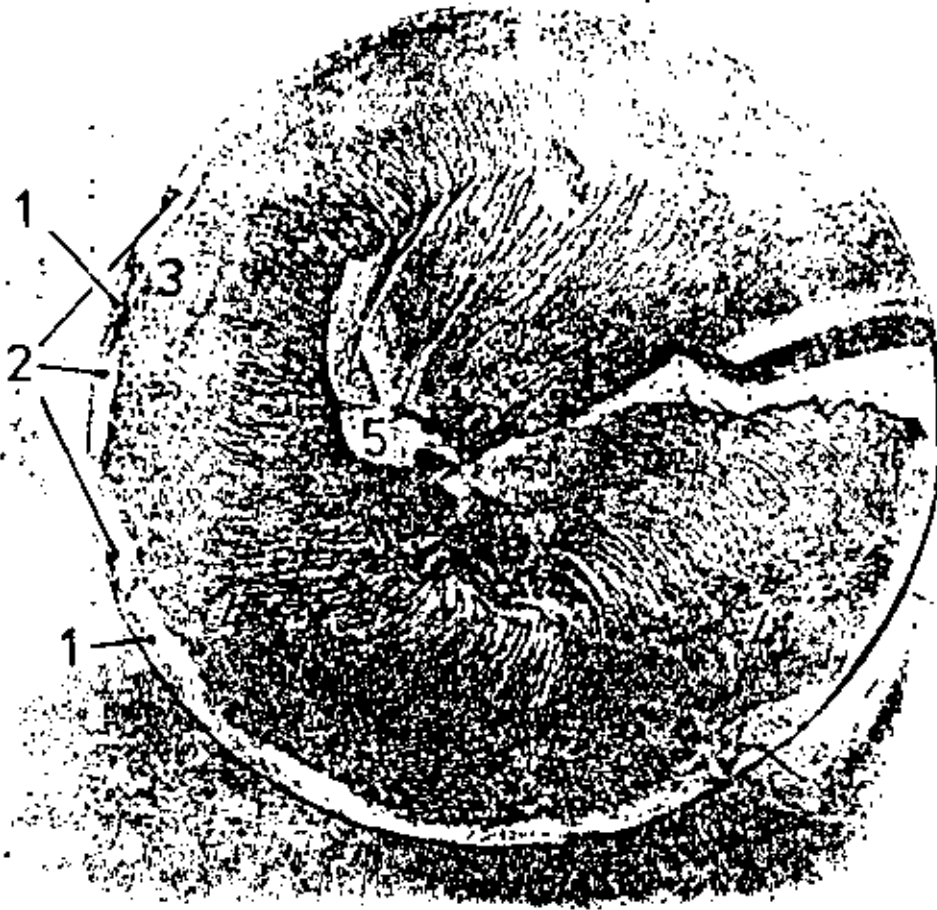


Figura 1': Ubicación de la fractura en la unidad motor-bomba

2. Observación directa de la superficie fracturada

2.1 Aspecto de la fractura en detalle



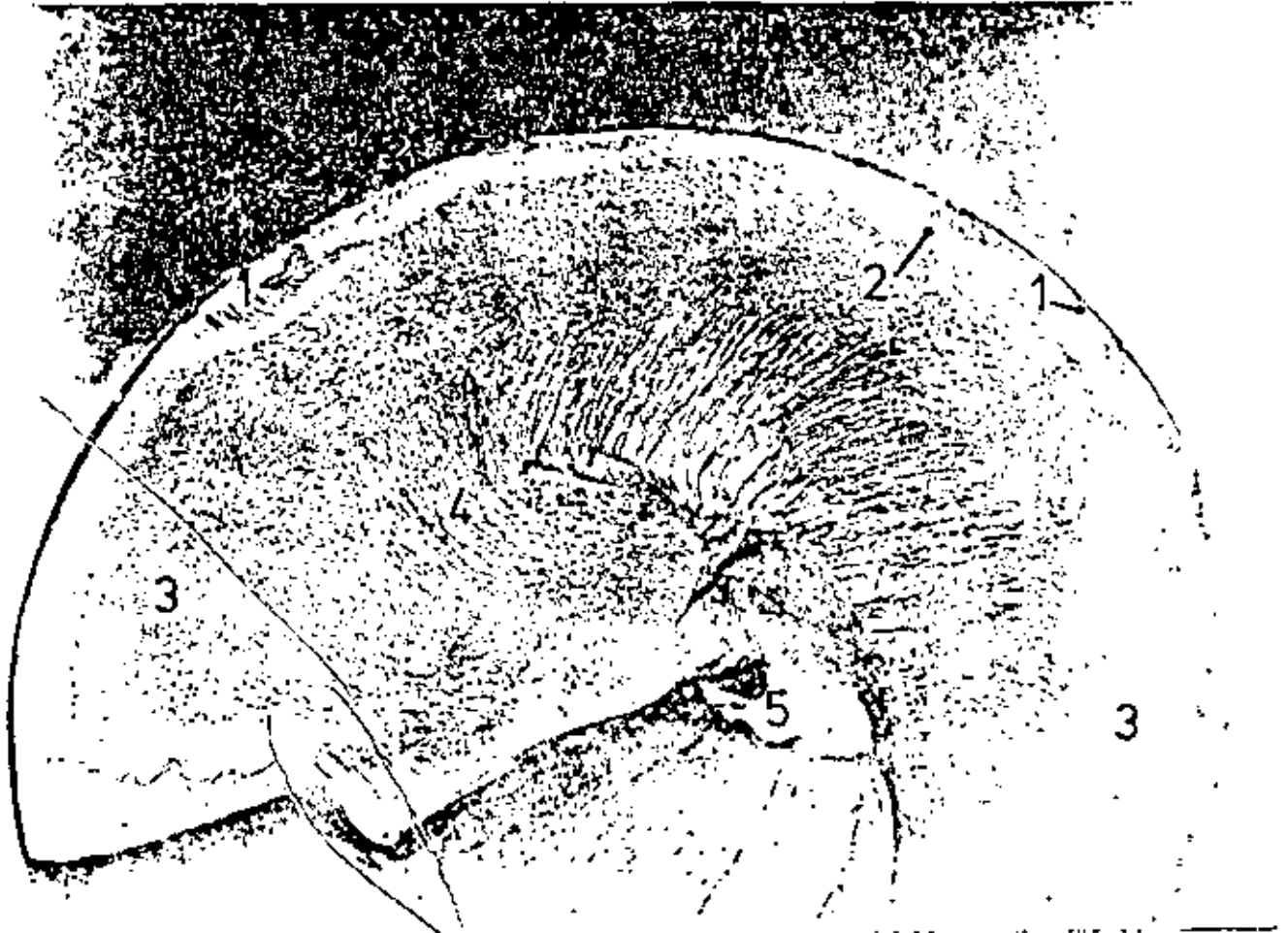
Fotografía 1 (de frente)

Aumento : x 1.16

En la fotografía 1 se observan las siguientes zonas :

1. zonas brillantes correspondiendo al recubrimiento por soldadura de acero al manganeso
2. zona más clara en forma de anillo que rebordea la muestra correspondiendo a la zona afectada por el calor de la soldadura y de difusión de cromo (propósito de la aplicación repetida del recubrimiento)
3. zona de probable inicio de la fractura
4. zona de crecimiento de la grieta de fatiga (aspecto liso y sedoso)
5. zona de rotura brusca, en el interior de la zona 4, deformada por

- arrastre de material, en el momento de rotura, la cual suele presentar
- una fractura gruesa e irregular (de la sección debilitada, pequeña en este caso)



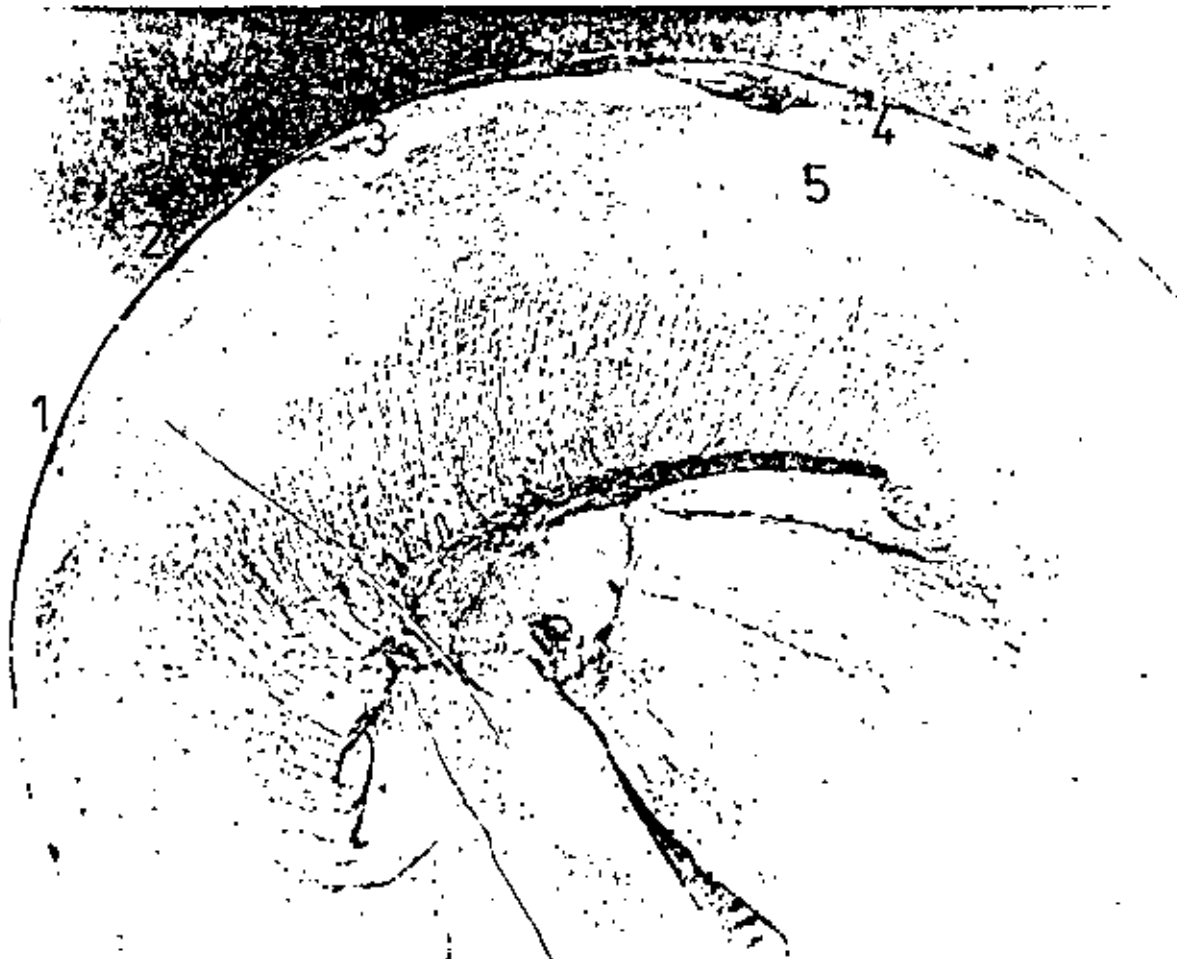
Fotografía 2 (de frente)

Aumento : x 1,7

Con ampliación se distingue

- zona 1 : resto de material de soldadura con acero al manganeso (nótese que no se encuentra este material repartido sobre toda la periferia)
- zona 2 : zona afectada por el calor del trabajo de soldadura y de difusión de cromo, con afino de grano y endurecimiento local (ver determinación de perfiles de dureza más adelante), introduciendo así una

- falla en cuanto a homogeneidad
- zona 3 : fractura progresiva y lenta en el material de base debido al crecimiento de grieta, con alisamiento debido al rozamiento persistente entre partes
- zona 4 : de fractura escalonada
- zona 5 : despegue final



Fotografía 3 (de frente)

Aumento : x 1.7

Se observa en :

- 1,2 y 3 restos de soldadura
- 4 probable comienzo de la fractura de fatiga
- 5 una zona en que se propagó al inicio del proceso de rotura la grieta inicial de fatiga (ver micrografías más adelante)



Fotografía 4 (de frente)

Aumento : x 1.7

Además de los fenómenos descritos referente a las fotografías anteriores, se observa :


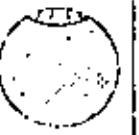

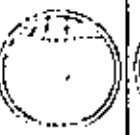

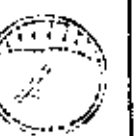
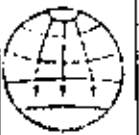


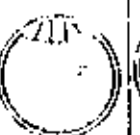
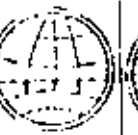
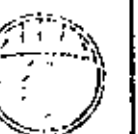




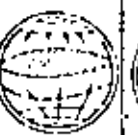
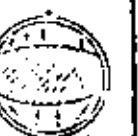






1 : zonas de fuerte rozamiento posteriores a la rotura final

2.2 Clasificación según el tipo de fractura

T A B L A 1

Esquemas de principio de las fracturas por fatiga

Tabla 1

Tipo de carga		Concentrador débil local		Concentrador débil por la periferia		Concentrador fuerte por la periferia	
		a moderada sobrecarga cíclica 1	a considerable sobrecarga cíclica 2	a moderada sobrecarga cíclica 3	a considerable sobrecarga cíclica 4	a moderada sobrecarga cíclica 5	a considerable sobrecarga cíclica 6
Tracción y compresión cíclica	A						
Flexión unilateral cíclica	B						
Flexión bilateral cíclica	C						
Flexión simétrica a la rotación	D						

De acuerdo al " Esquema de Principio de Fractura por Fatiga " representado en la página anterior, la fractura que presenta la muestra se puede clasificar como :

1. Fractura por fatiga
2. Por flexión simétrica a la rotación
3. Con concentrador fuerte por la periferia
4. Con moderada sobrecarga cíclica

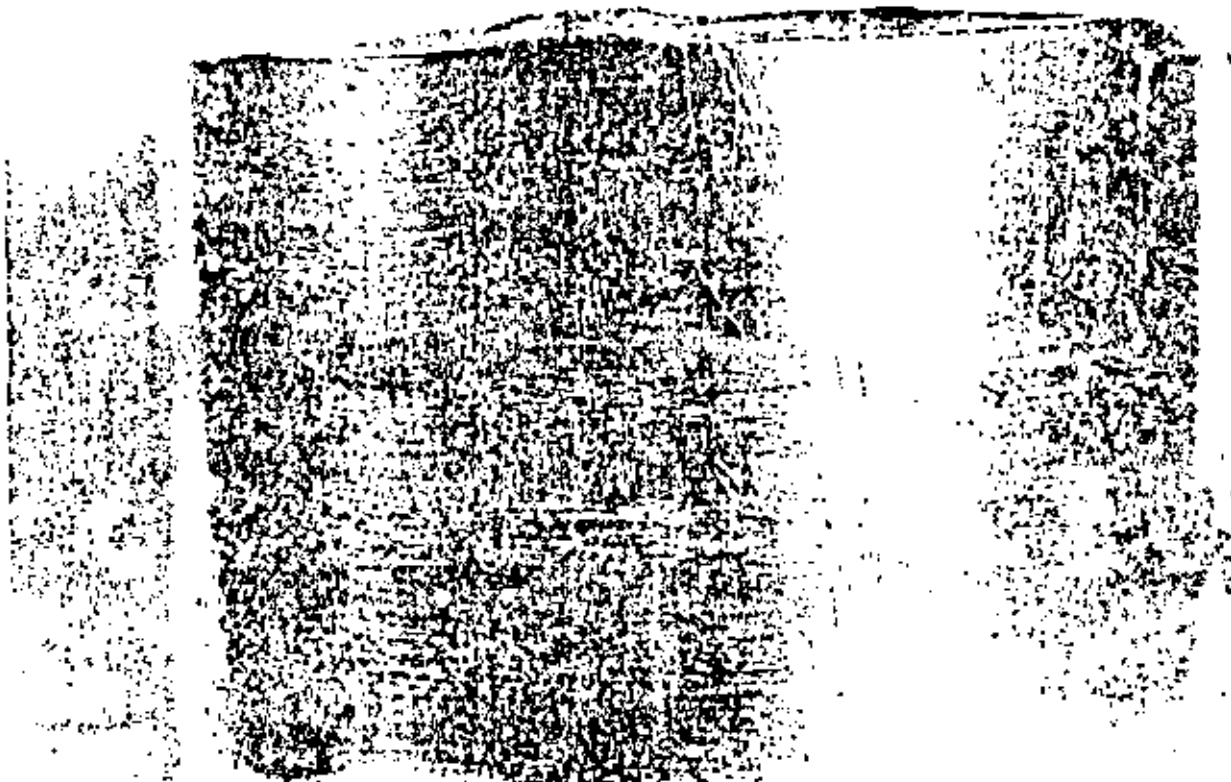
(Correspondiendo al tipo D 5 de la tabla 1).

3. Observación directa del recubrimiento

3.1- Restricción

Debido a que el trozo suministrado no corresponde a la zona de recubrimiento, sólo es posible estudiar el recubrimiento en pequeñas zonas en las que está presente como exceso de soldadura.

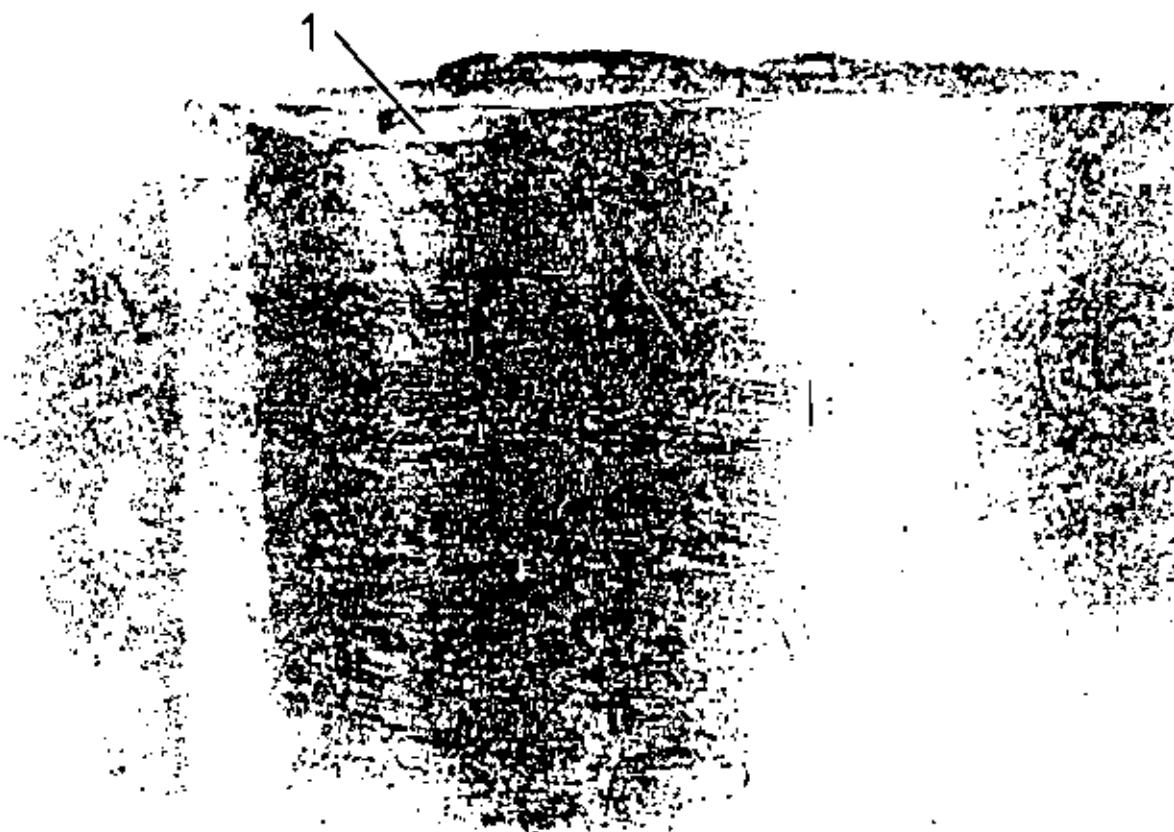
3.2 Observación directa de la superficie del recubrimiento



Fotografía 5 (de costado)

Aumento : 1.15 x

Observada de costado, la fractura se presenta en general en forma plana, salvo en ciertos lugares como el punto 4 de la fotografía 3 que corresponde a un exceso de soldadura.

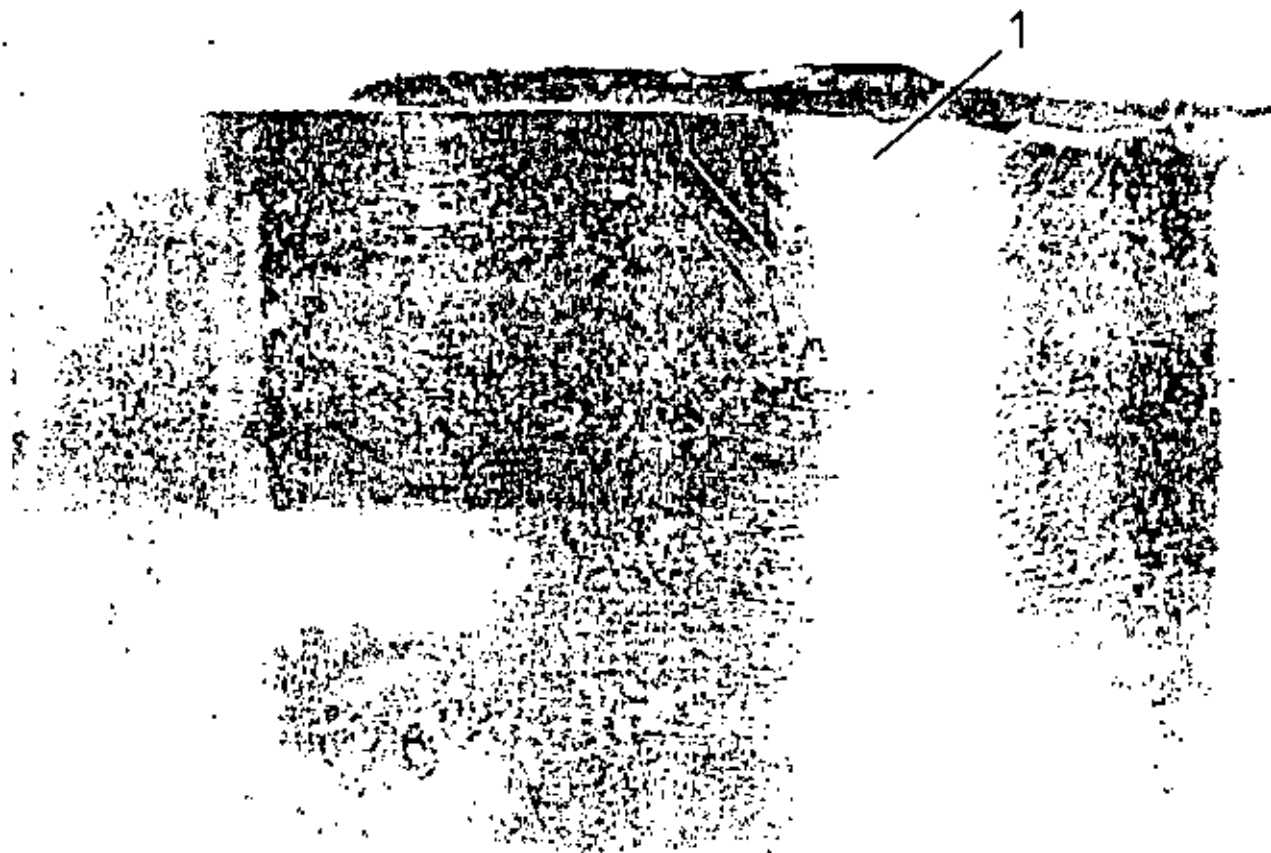


Fotografía 6 (de costado)

Aumento : x 1.15

Se observa en :

1 : tramo de fractura concoidal



Fotografía 7 (de costado)

Aumento : x 1.15

Se observa en :

1 : soldadura sobrante fuera de la zona correspondiente

4. Plan de toma de muestras

4.1- Seccionamiento del material

El trozo del eje fracturado que nos fue suministrado tenía una longitud de aproximadamente 100 mm. Antes de proceder a seccionar esta pieza, se sacaron las macrografías descritas en los párrafos 2 y 3 del presente estudio.

La figura 2 de la página siguiente indica los diferentes cortes que efectuaron sobre el material, utilizando sierra horizontal, cortadora horizontal, cepillo, torno y fresadora con el fin de obtener superficies suficientemente lisas para efectuar las macroataques plancados.

El elemento B de la figura 2 se cortó en dos medio cilindros para el ensayo Baumann de distribución de azufre.

El elemento A se cortó en una mitad (A6) y en cinco partes más pequeñas (de A1 a A5) para examen metalográfico y perfil de microdureza (ver más adelante) según indicado en la fotografía 8.

La toma de viruta para el análisis químico se efectuó sobre la parte inferior del elemento C por medio de un torno.

No fue posible obtener viruta del recubrimiento, debido a su ubicación referente a la fractura.

4.2 Pruebas efectuadas sobre los diferentes elementos :

- A1 a A5 : metalografía
- A1, A3 y A5 : perfiles de microdureza sobre la soldadura y zona afectada por el calor
- B1 y B2 : ensayo Baumann longitudinal
- A y C (caras interiores) : ensayo Baumann transversal
- B2 : macroataque para distribución de inclusiones
- C : toma de virutas para análisis químico

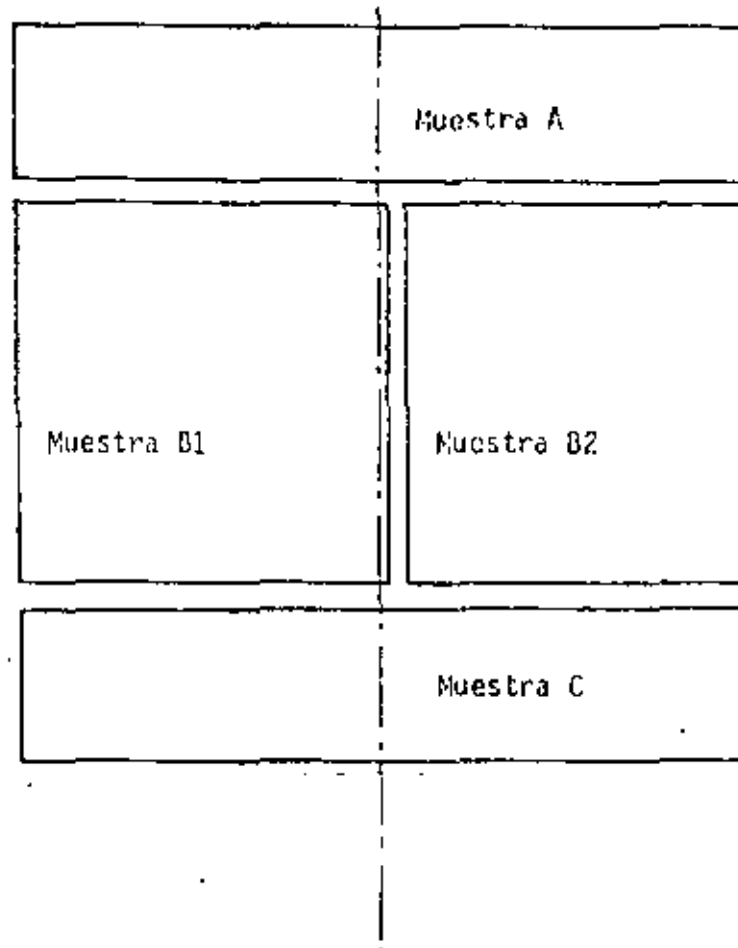
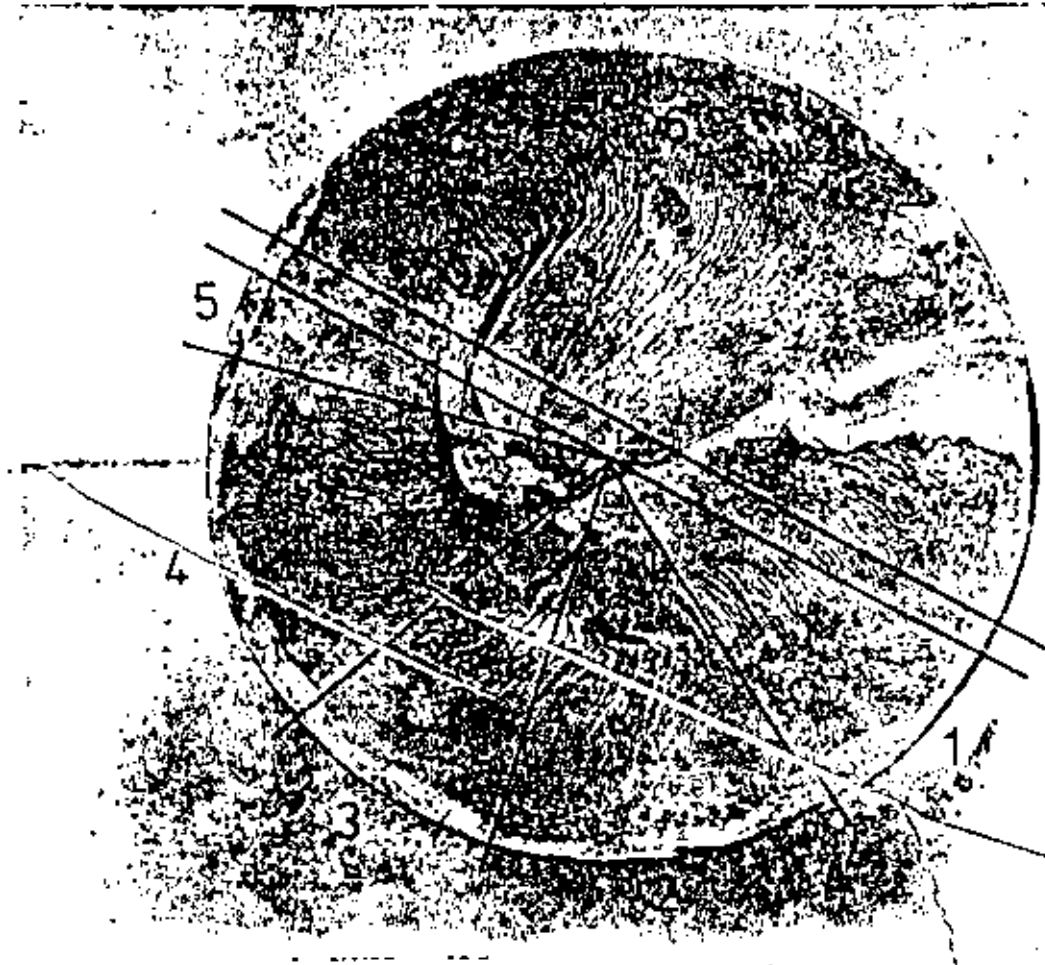


Figura 2 : Plan de toma de muestras



Fotografía 8 (de frente)

Asiento : :: 1.16

Se indicó en la fotografía la ubicación de las muestras A1 a A6.

0

5. Resultado del análisis químico

Como se mencionó anteriormente, no ha sido posible realizar el análisis correspondiente del material de recubrimiento por no permitirlo la muestra suministrada.

En el párrafo 4 se menciona la ubicación de la toma de viruta para análisis químico.

Se determinaron los siguientes elementos en el material de base :

- Mn, Si y Cr por absorción atómica
- C y S por combustión.

Se obtuvieron los siguientes resultados :

C	Mn	Si	Cr	S
0.169	0.815	0.671	11.59	0.013

Según la norma AISI 1959 debe ser :

C	Mn	Si	Cr	S
0.18 máx.	1.00 máx.	1.00 máx.	11.50 a 13.50	0.030 máx.

Se observa un ligero exceso de carbono que consideramos no afectar los resultados.

6. Perfiles de dureza

Se determinaron los perfiles de dureza sobre tres muestras (A1, A3 y A5). Se utilizó un Medidor de Microdureza Durimet de la marca Leitz. La carga aplicada fue de 100 gramos y el espaciamiento entre mediciones de 0.30 mm. El perfil de dureza corresponde en parte a la soldadura y en parte al metal de base, abarcando así la zona afectada por el calor.

6.1 Perfil de dureza de la muestra A1

Observación referente a la gráfica de la página :

- el recubrimiento presenta mayor dureza que el metal de base no afectado por el calor (valores de la derecha de la curva)
- el material de base se endureció notablemente cerca de la unión con el recubrimiento

6.2 Perfil de dureza de la muestra A3

Se incluye una microfotografía (Fotografía 9) en la cual se aprecian las huellas de penetración de la medición de microdureza y una gráfica dureza-distancia en la página .

Se observan las mismas características como en la muestra A1.

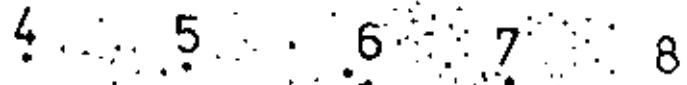
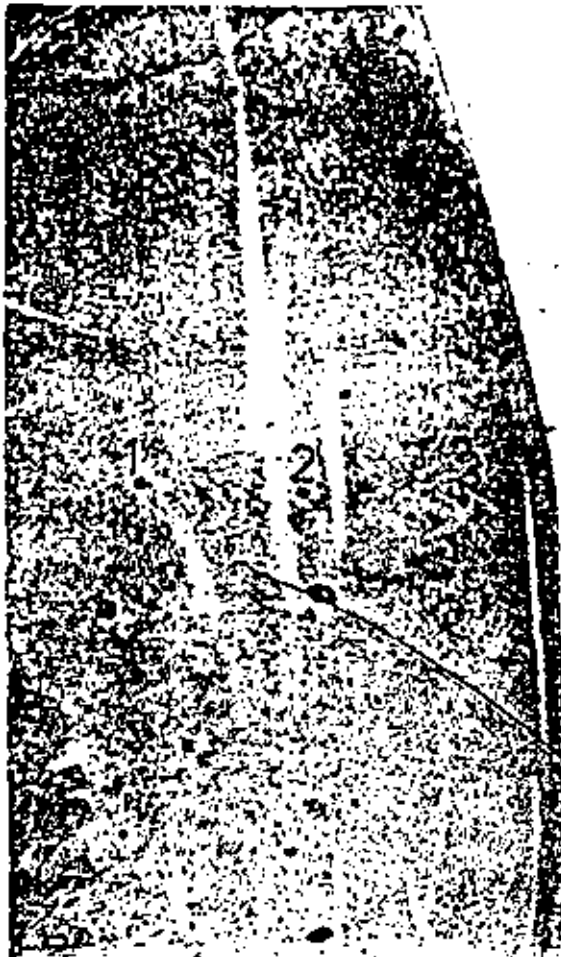
6.3 Perfil de dureza de la muestra A5

- Se incluye microfotografía (foto 10) y una gráfica dureza-distancia.
- Se observan las mismas características como en las muestras anteriores.

6.4 Conclusiones para las tres pruebas :

Se observa que en promedio :

- la soldadura tiene aproximadamente la misma dureza promedio que el metal de base no afectado por el calor
- ocurre un endurecimiento en la zona de contacto soldadura-metal de base
- se endurece tanto el metal de base como la soldadura



Fotografía 9

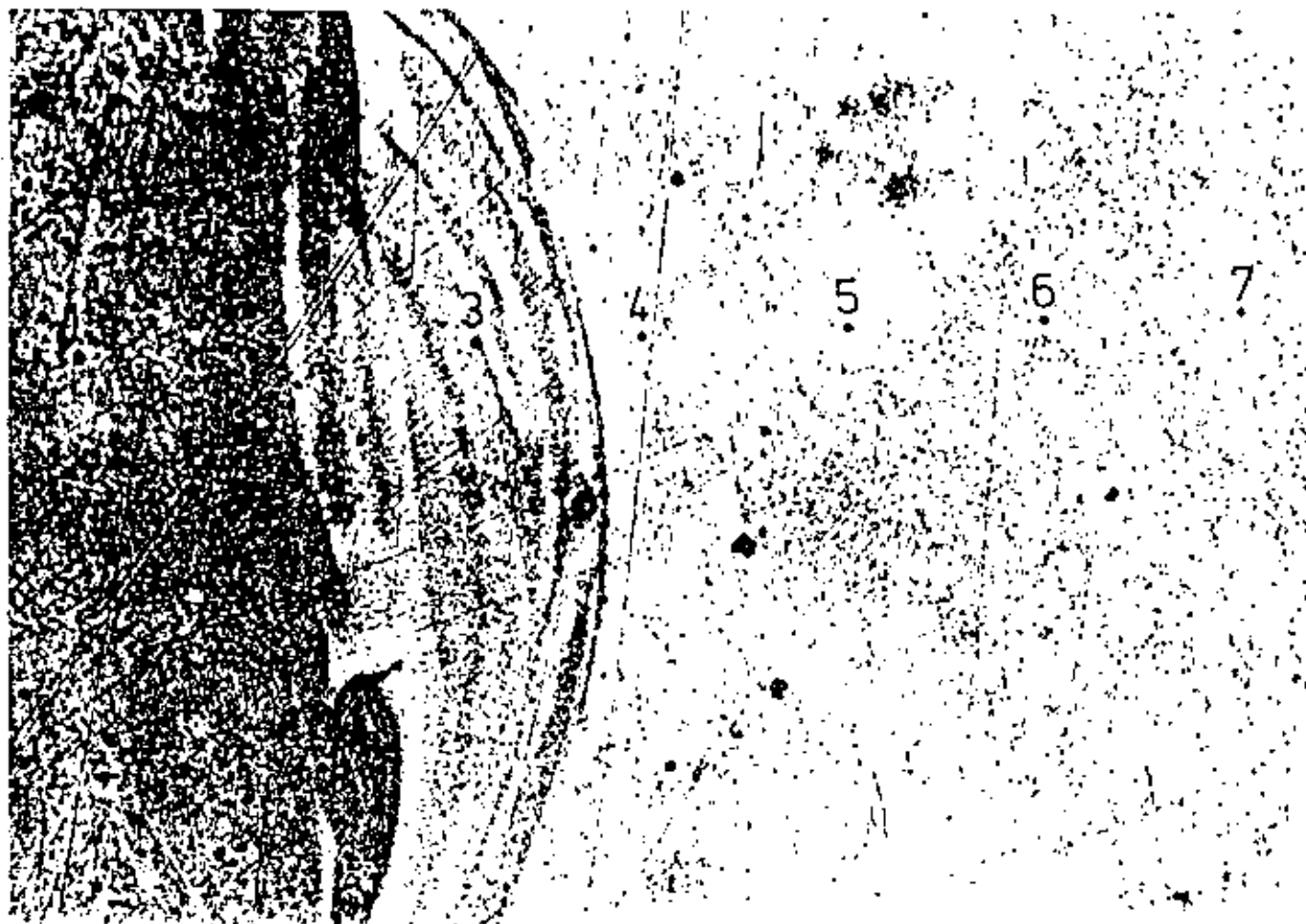
Ataque nital 2%

Aumento: 85 x

Muestra A3

Perfil de microdureza

Nota: los números indicados en la micrografía corresponden, con los de la gráfica dureza-distancia de la página



fotografía 10

Ataque nital 2 %

Aumento : 106 x

Muestra A5

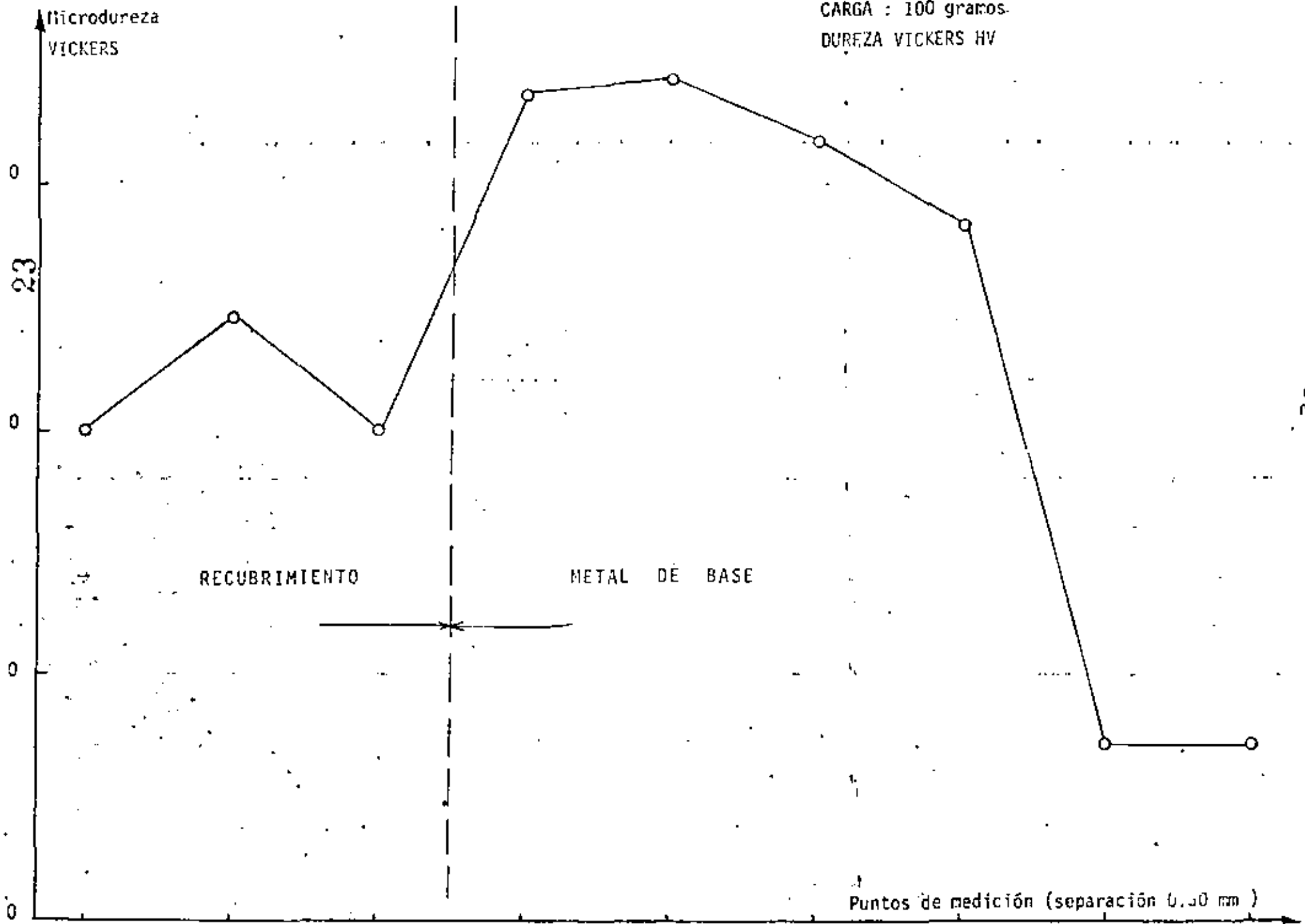
Perfil de microdureza

Nota : los números de la fotografía corresponden con los de la gráfica dureza-distancia de la página

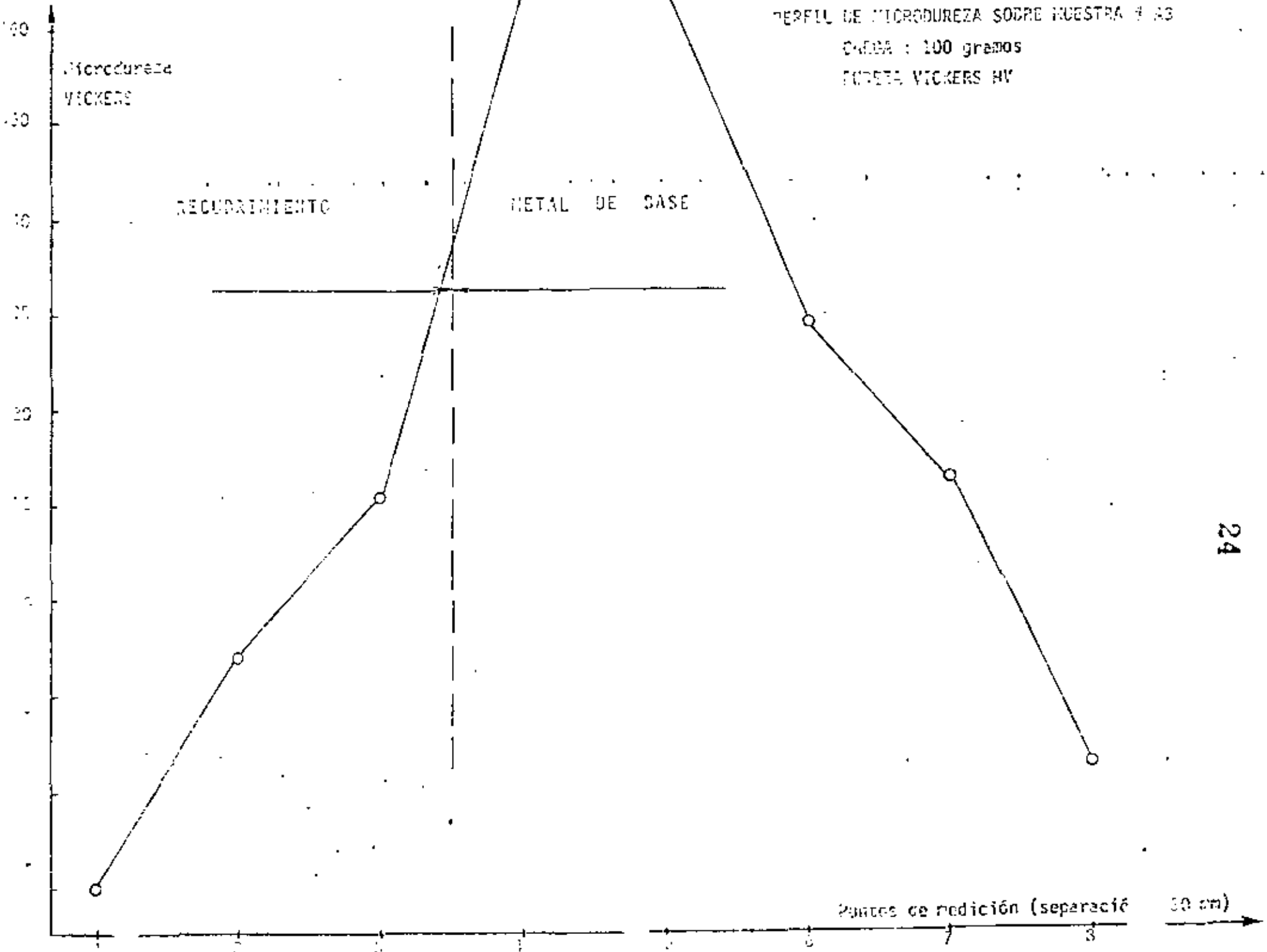
PERFIL DE MICRODUREZA SOBRE MUESTRA # A1

CARGA : 100 gramos.

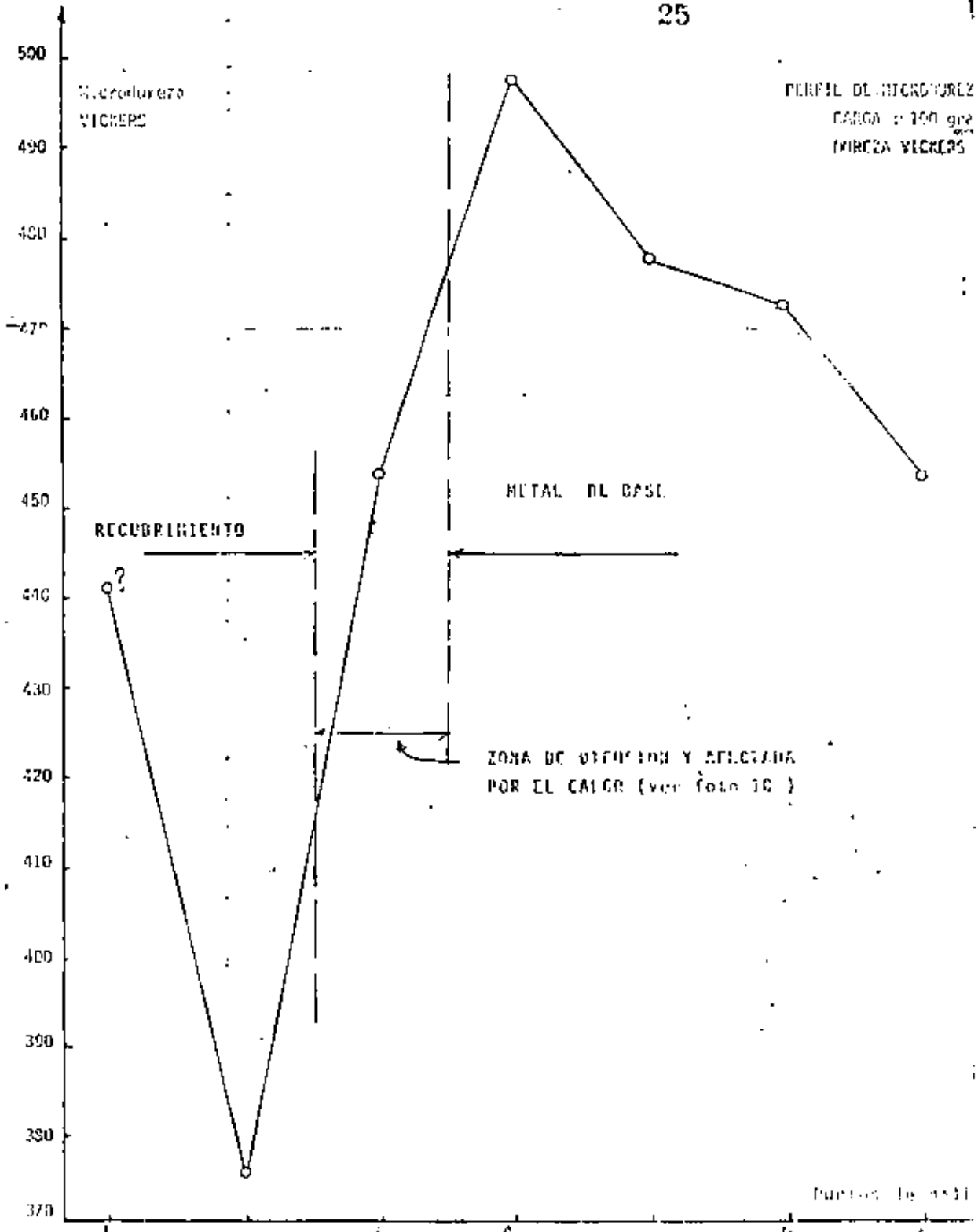
DUREZA VICKERS HV



PERFIL DE MICRODUREZA SOBRE NUESTRA # 23
CARGA : 100 gramos
ESCALA VICKERS HV



Puntos de medición (separación) 30 cm



7. Medición del espesor del recubrimiento

Se efectuaron mediciones de espesor de recubrimiento en las muestras preparadas para metalografía (A1 a A5), obteniéndose los siguientes espesores :

A1	:	0.7 mm
A2	:	1.4 mm
A3	:	2.1 mm
A4	:	0.9 mm
A5	:	1.2 mm

Observación : Según las especificaciones del recubrimiento, su espesor debe ser 1/16" (aprox. 1.6 mm). Las importantes variaciones observadas en la muestra indican irregularidad en la aplicación del recubrimiento con algunos lugares de mayor penetración.

8. Ensayo Baumann para determinación de la distribución de:**8.1 Según sección transversal**

Fotografía 11
Muestra A

Aumento : 1 x
Baumann transversal

Fotografía 12
Muestra C

Aumento : x 1
Baumann transversal

La muestra presenta concentraciones leves de azufre en la parte central.

8.2 Según sección longitudinal

Fotografía 13

Muestra B1

Aumento : x 1

Baumann longitudinal

Fotografía 14

Muestra B2

Aumento : x 1

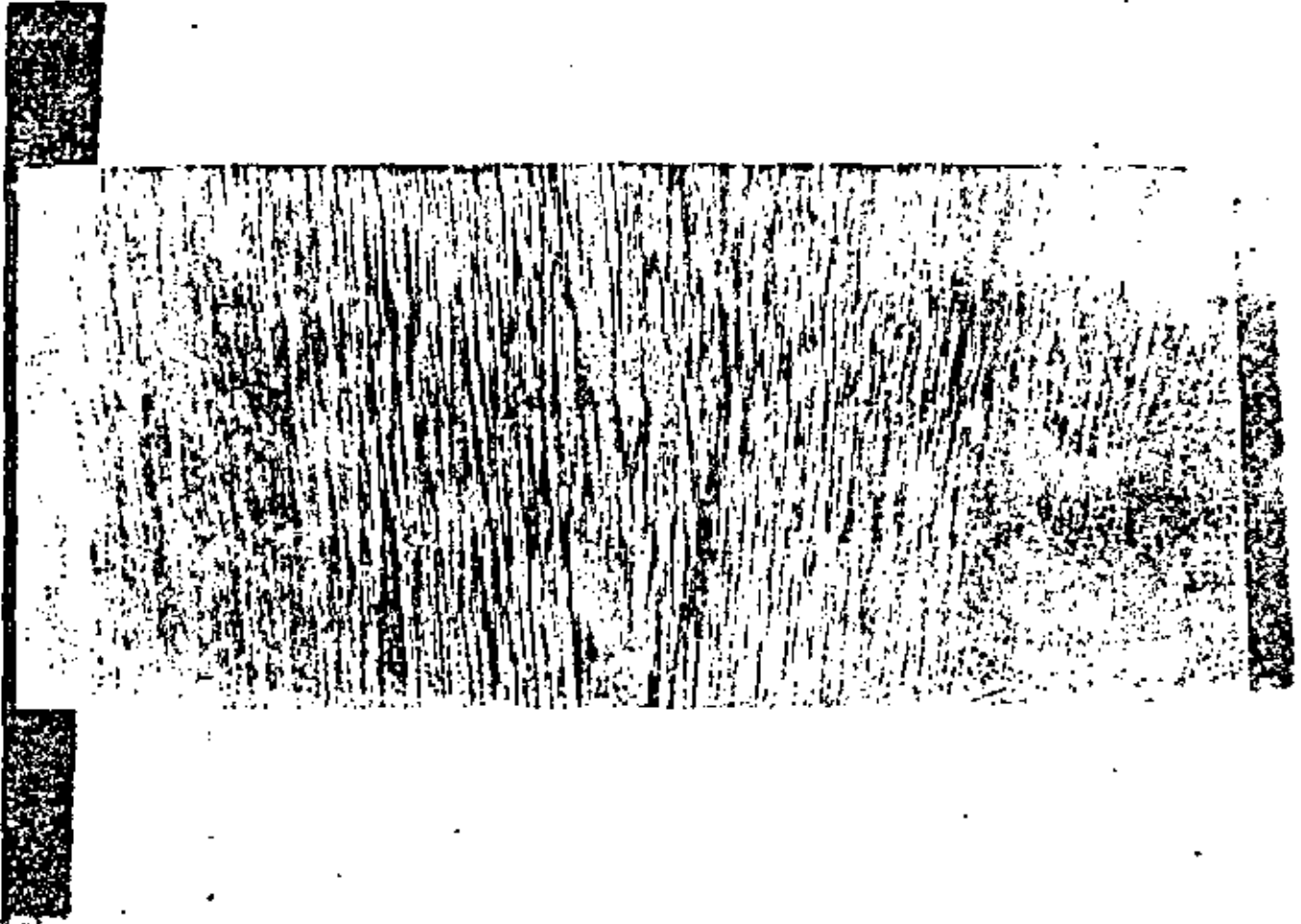
Baumann longitudinal

Las muestras presentan concentraciones leves de azufre en la parte central.

Resultado : la presencia aunque leve de concentraciones de azufre afecta sensiblemente la calidad del acero del eje .

9. Macroataque

9.1 Macroataque de la pieza



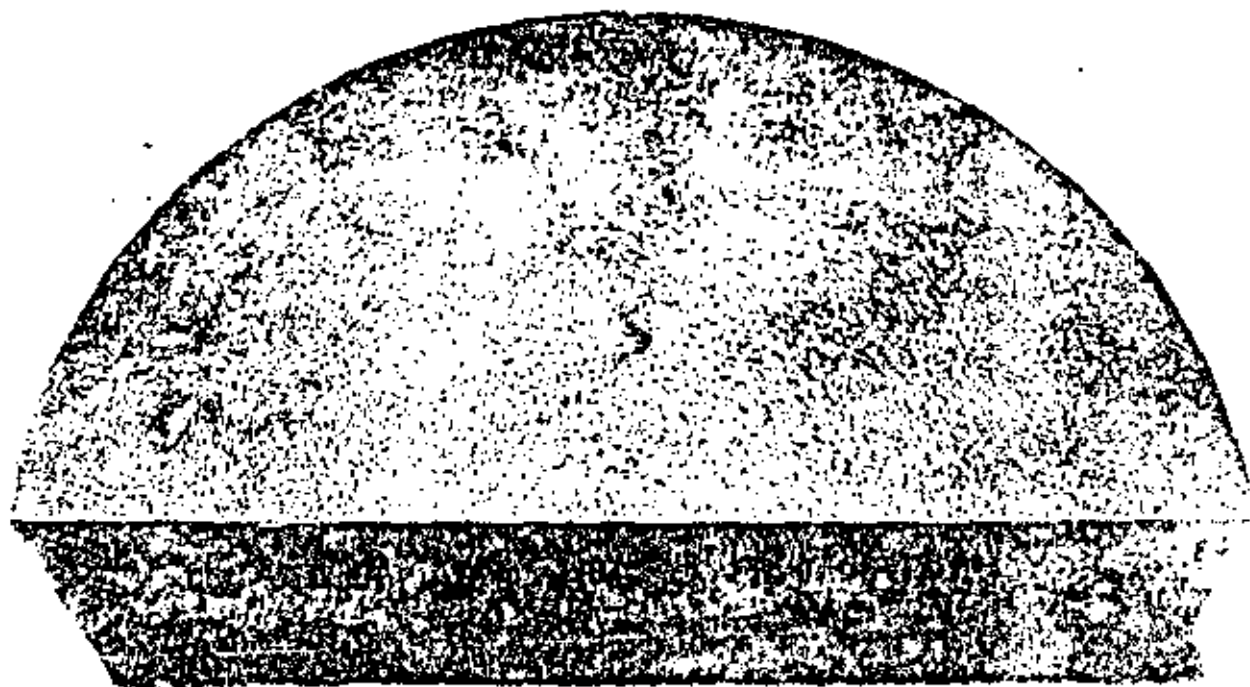
Fotografía 15

Muestra B2

Aumento : x 1.7

Macroataque (longitudinal)

Vista longitudinal destacando las "fibras" (granos alargados separados por impurezas)



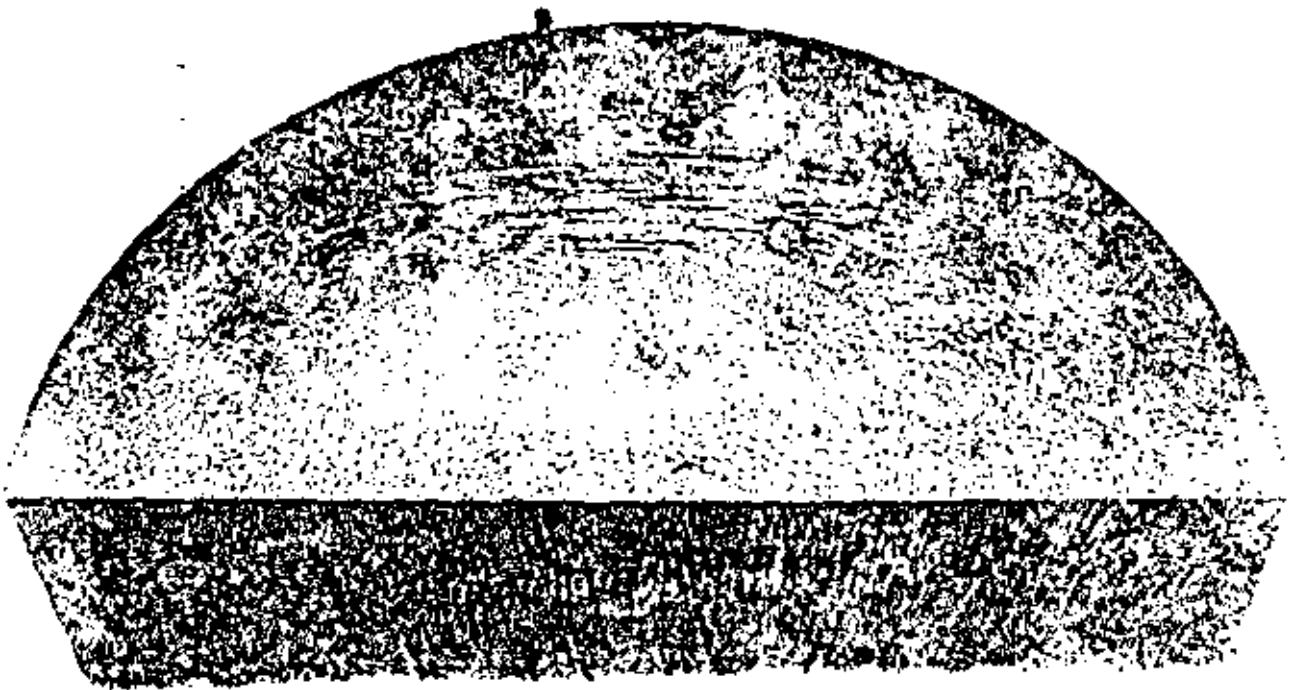
Fotografía 16

Muestra B2

Aumento : x 1.6

Macroataque (transversal)

En la vista transversal se destacan las concentraciones de impurezas.



Fotografía 17
Muestra B2

Aumento : x 1.6
Macroataque (transversal)

Vista transversal de la otra cara con características similares.

9.2 Resultado del macroataque :

Se trata de un material que tiene inclusiones (sucio)

10. Estudio metalográfico

- Las muestras A1 a A5 se montaron en plástico para permitir la observación de los bordes. Se prepararon para examen metalográfico por desbastado y pulido con alúmina. El ataque del material de base se hizo con el reactivo Vilella y del recubrimiento con Nital al 2 %.

10.1 Inclusiones

10.1.1 Ubicación y características

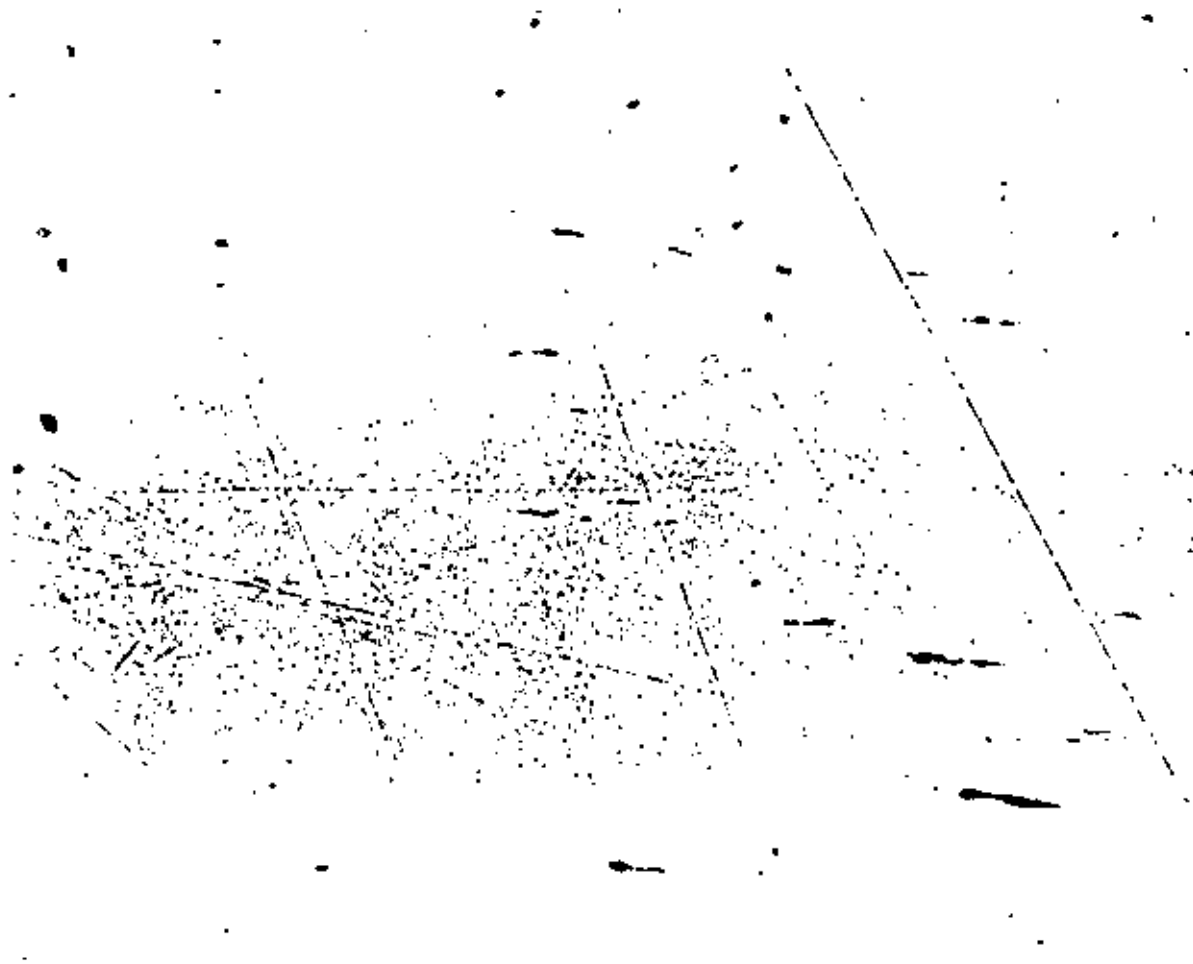
Las inclusiones se presentan en el seno del metal de base, algunas de forma alargada según el eje de la pieza y otras redondeadas y que se pueden clasificar de acuerdo a la siguiente escala de inclusiones :

TIPO	TAMAÑO	CANTIDAD
A	4 um	no. 2
D	8 um	no. 3

10.1.2 Observación metalográfica

Se observan en general :

1. inclusiones alargadas
2. inclusiones redondeadas
3. La clasificación corresponde a lo ya indicado



Fotografía 18
Muestra A3

Sin ataque

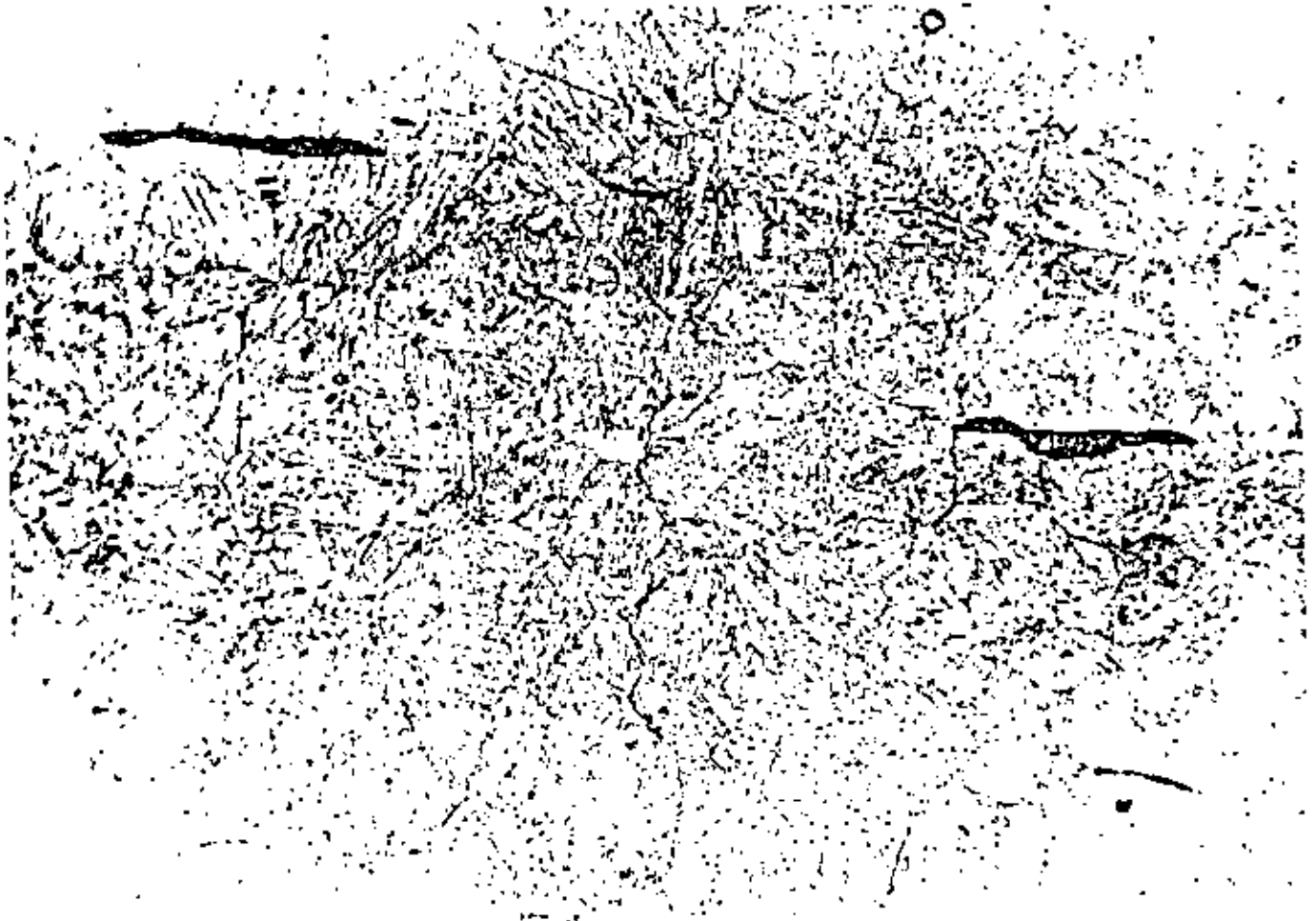
Aumento : 170 x

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

Integración de
Muestra A3

sin ataque

Aumento : 340 x

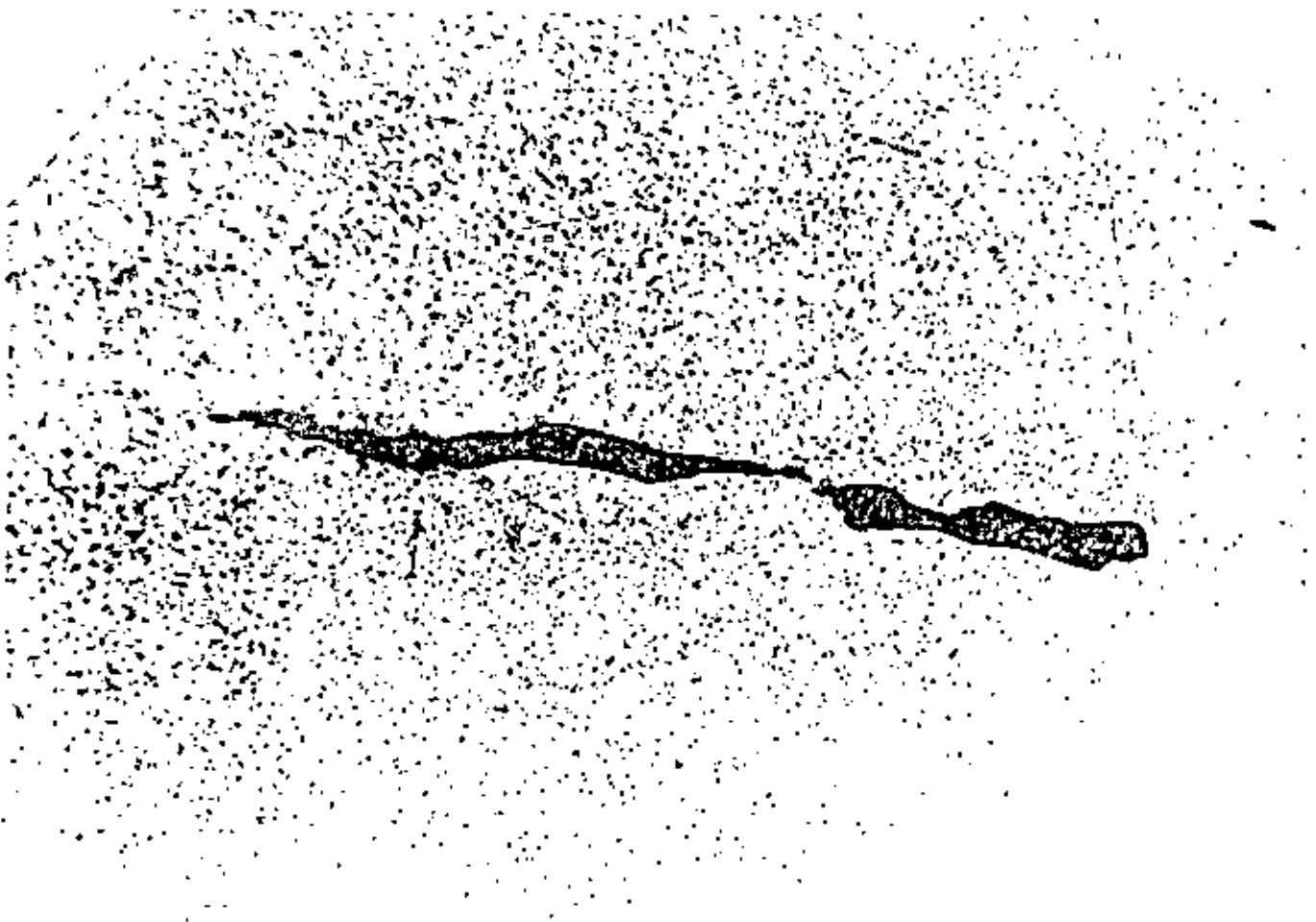


Fotografia 20
Muestra A3

Ataque Vilella

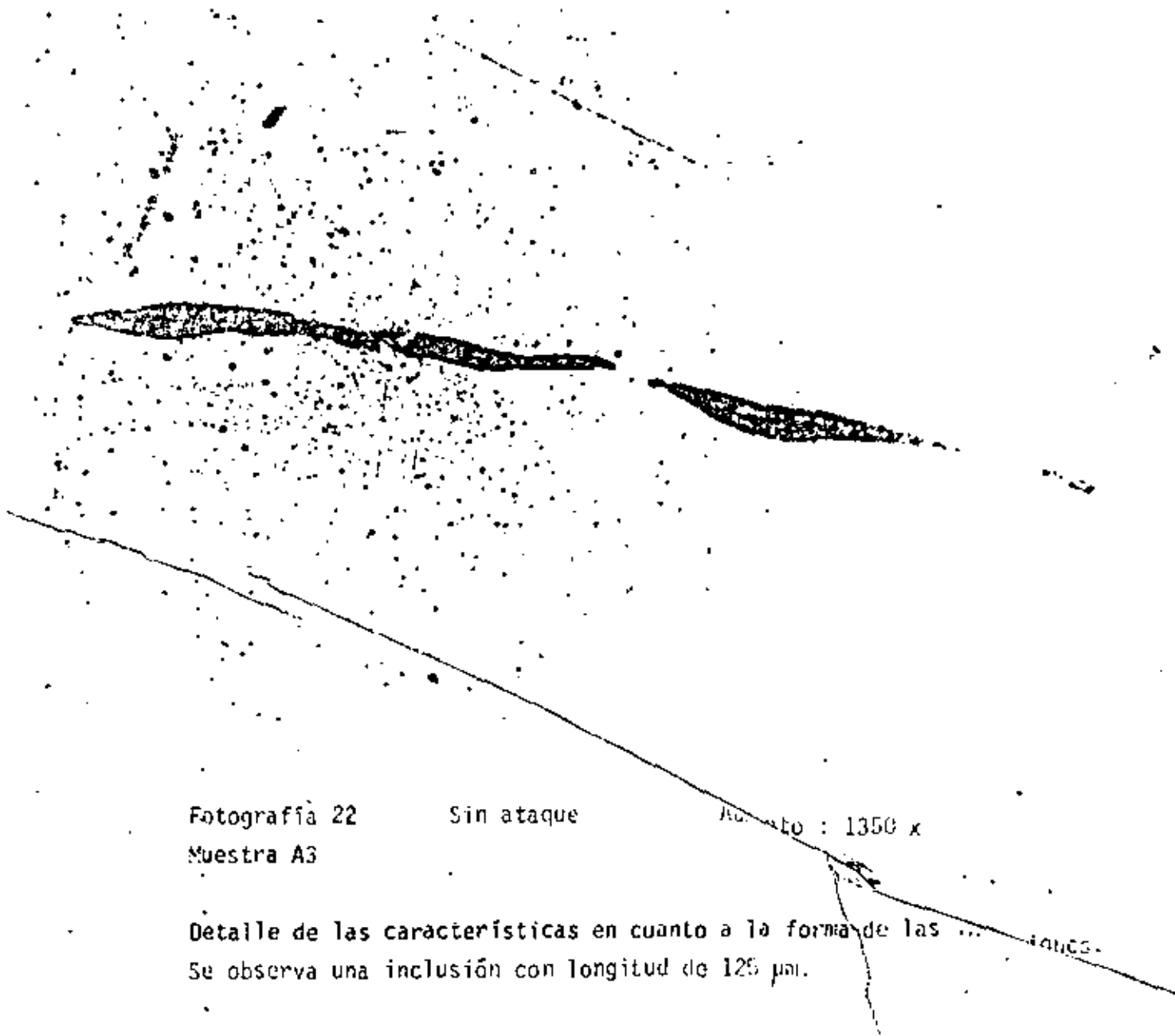
Aumento : 425 x

Se observa el tamaño de grano con relación al tamaño de las inclusiones



Fotografía 21 Sin ataque Aumento : 540 x
Muestra A3

Detalle de las características en cuanto a la forma de las inclusiones. Se observa una inclusión con longitud de 240 μ m.



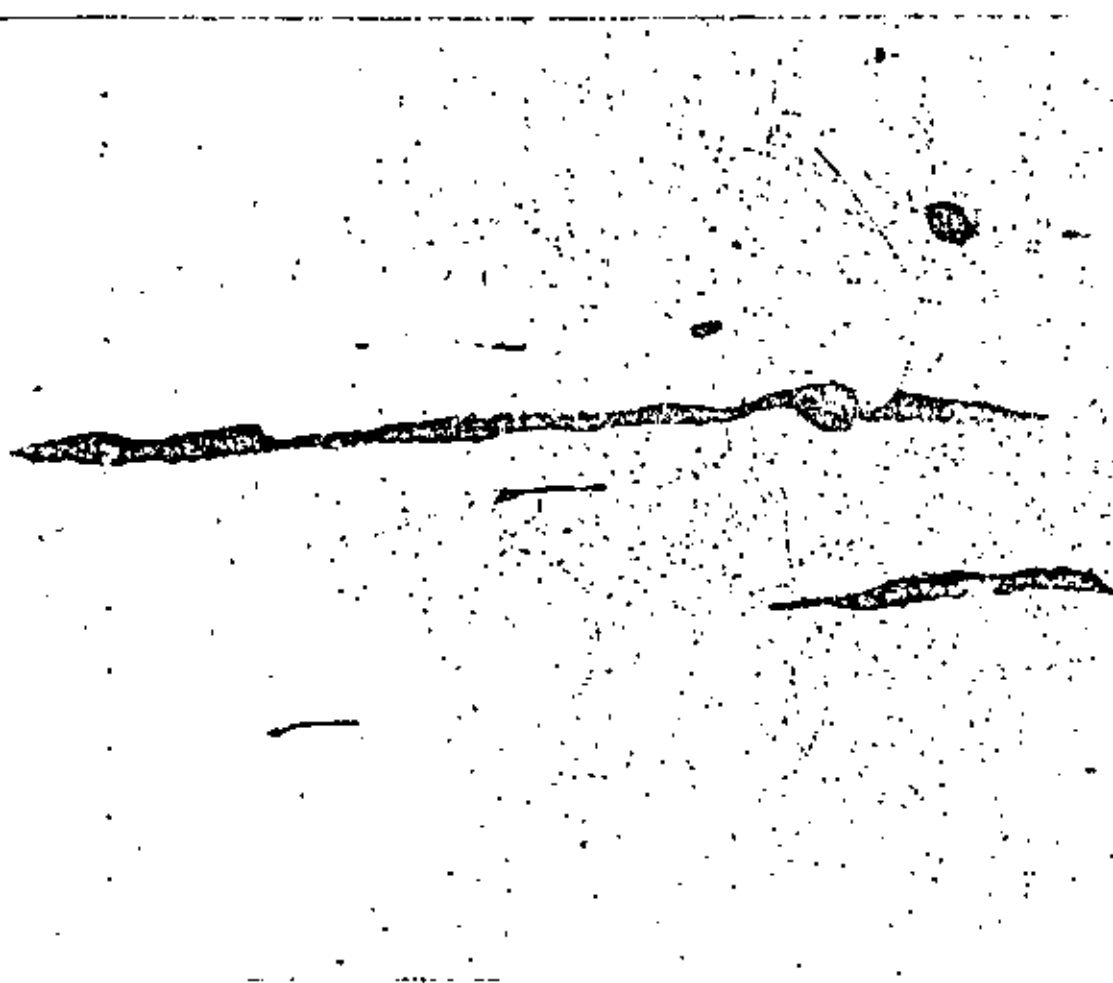
Fotografía 22

Sin ataque

Aumento : 1350 x

Muestra A3

Detalle de las características en cuanto a la forma de las inclusiones.
Se observa una inclusión con longitud de 125 μ m.



Fotografía 23
Muestra A5

Ataque Vilella

Aumento : 1300 X

10.2 Estudio metalográfico del recubrimiento



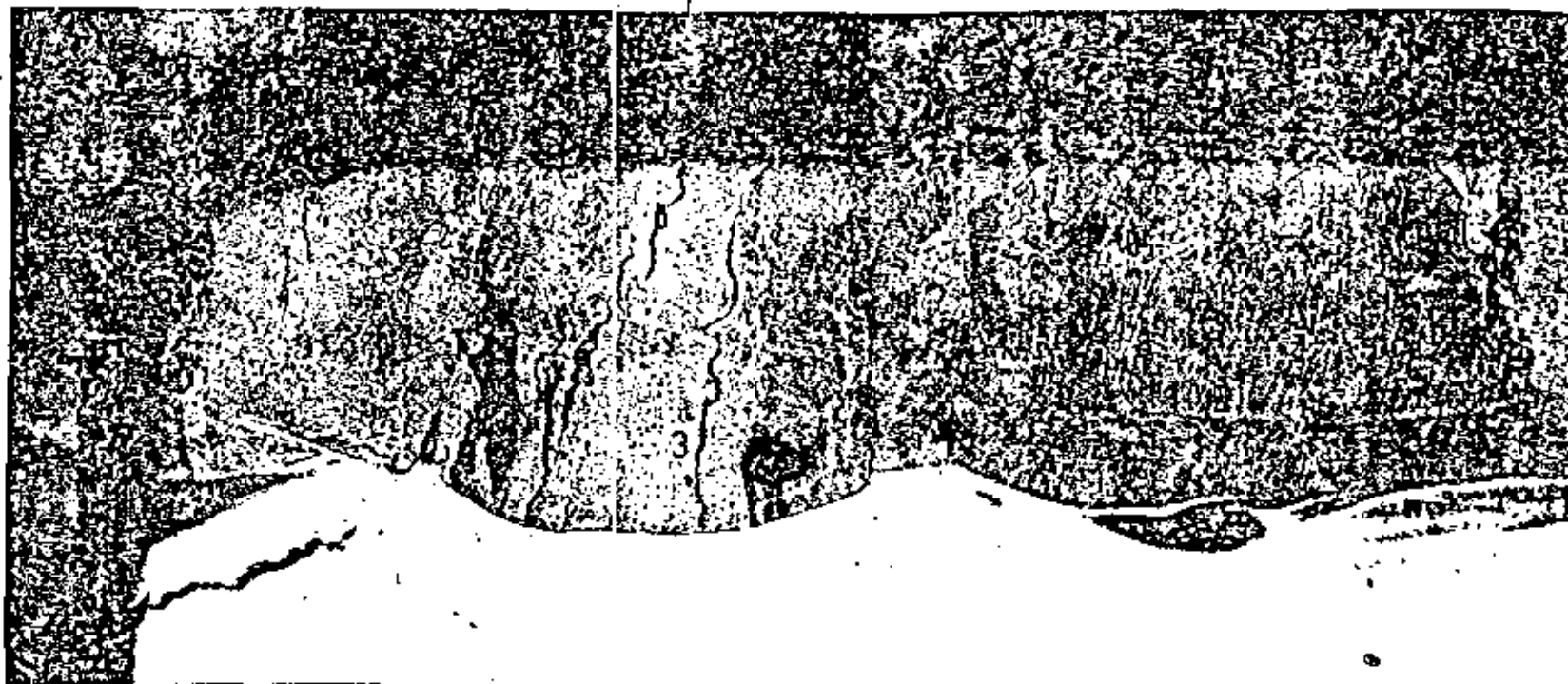
Fotografía 24 Ataque Vilella Aumento : 540 x

Muestra A3

Se observe :

- a. dos zonas A y B, la zona A corresponde al recubrimiento y la zona B al metal de base (eje)
- b. se presenta una separación neta entre el metal de base y el recubrimiento
- c. el metal de base presenta un tamaño de grano menor que el correspondiente a otras zonas (ver más adelante)

Secuencia de fotos del recubrimiento



Muestra 23

Fotografía 25

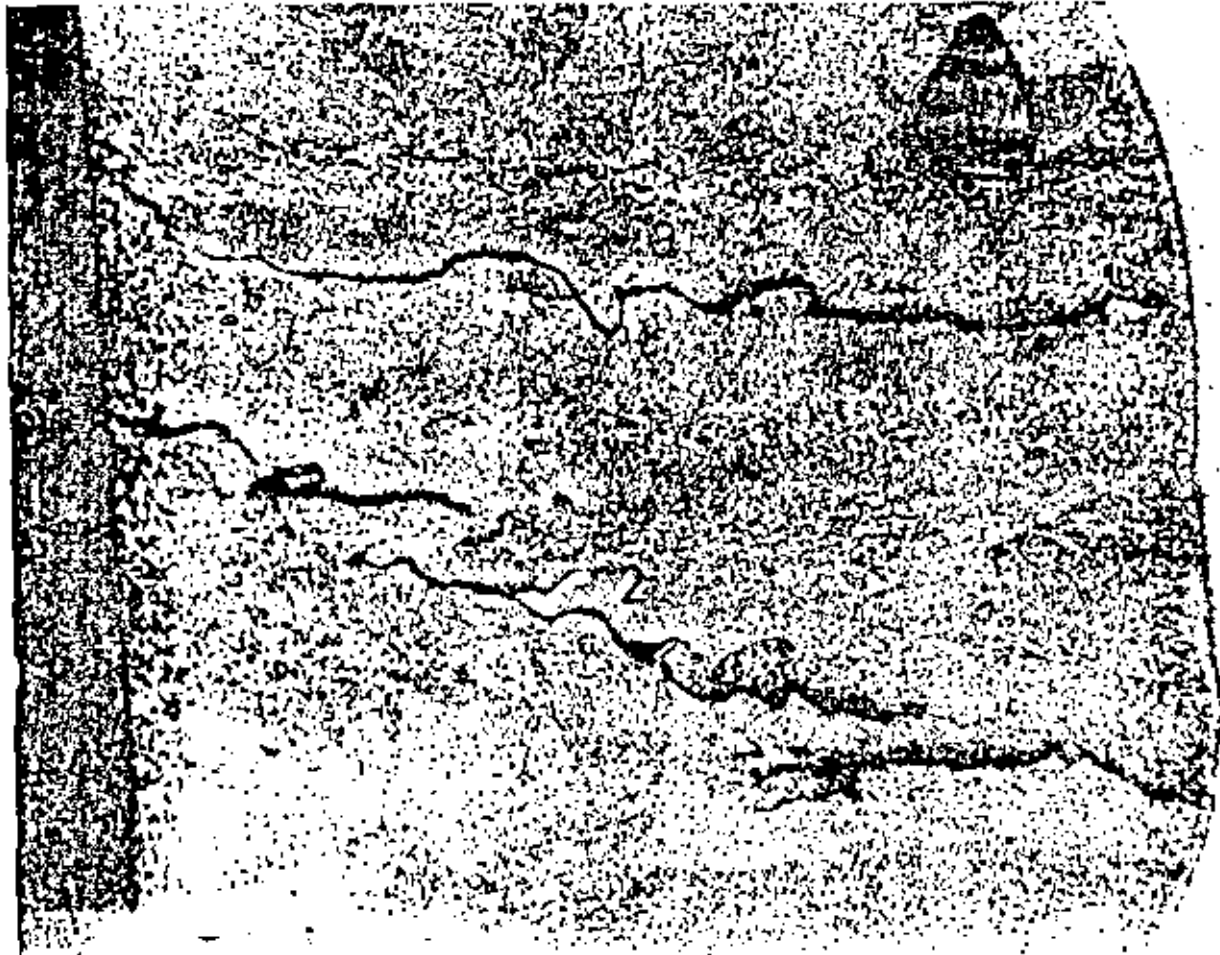
Ataque Nital 2 %

Aumento : 85 x

41

1. la presencia de múltiples fisuras en el recubrimiento. Estas fisuras llegan, por lo general, hasta el metal de base, pero no continúan en el mismo, salvo en unos pocos casos.
2. la presencia de las fisuras número 1,2,3,4 y 5





26

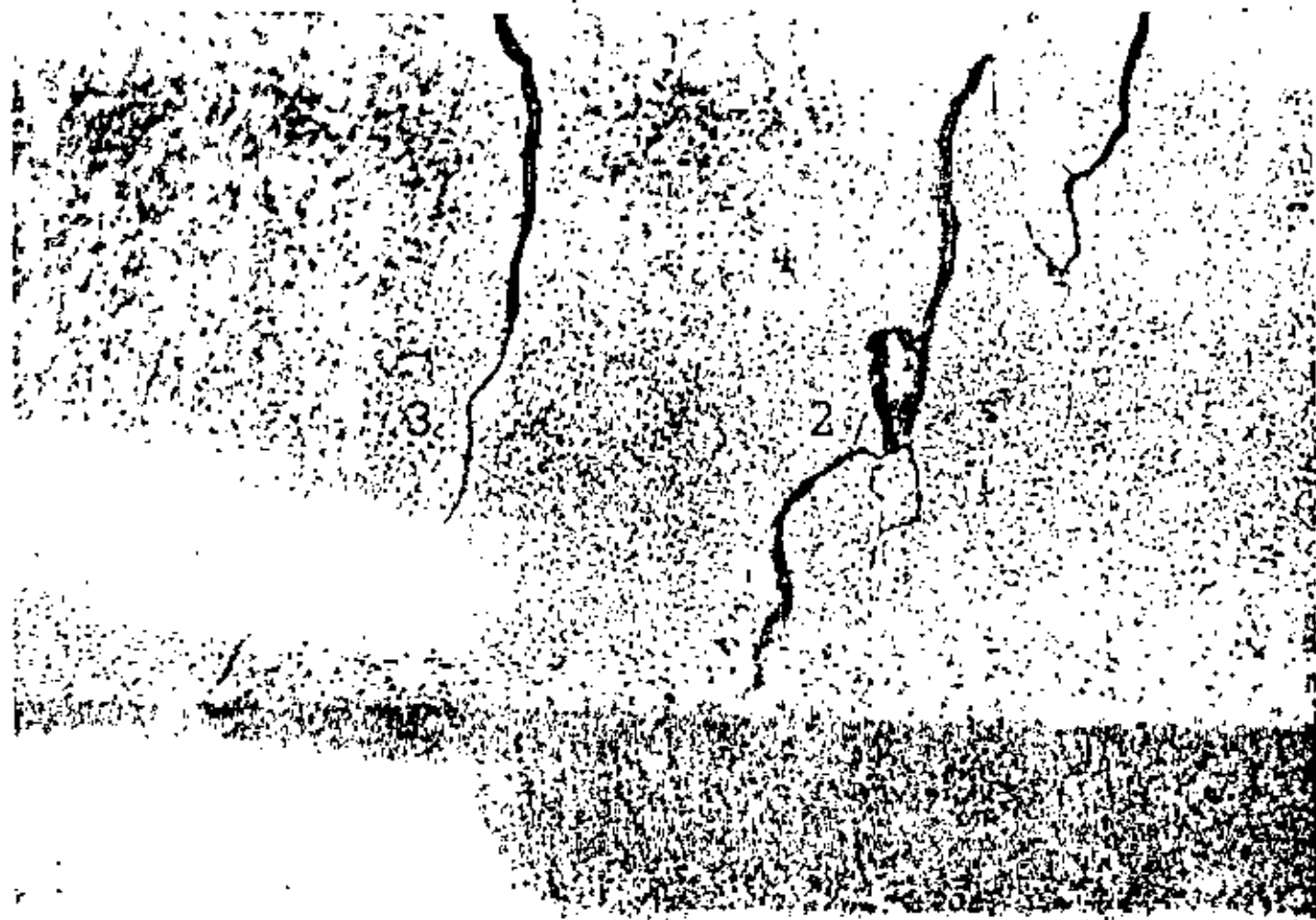
Ataque Nital 2 %

Aumento : 170 x

Muestra A5

- Se observa : - que en la fisura no. 2 la penetración en el metal de base alcanza a $\approx 20 \mu\text{m}$
- que la fisura no. 2 es discontinua

Detalle de las fisuras 2 y 3

Fig. 10
Muestra A3

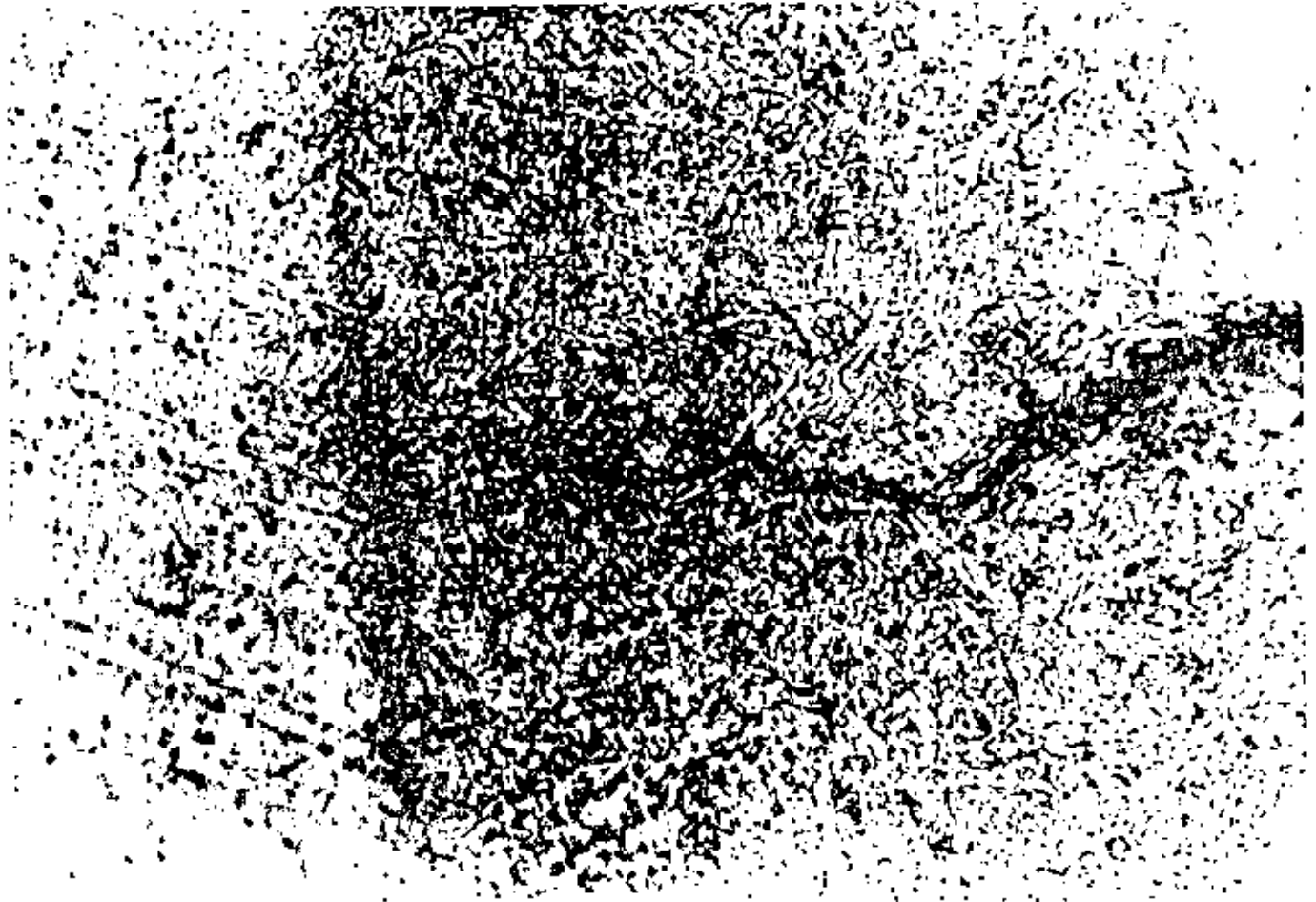
Ataque Nital

Aumento : 340 x.

ve que las fisuras han sido generadas por esfuerzos de tensión a
del recubrimiento y que probablemente sea de origen térmico.
(debido a la diferencia de coeficiente de dilatación entre metal de base y recubrimiento).



Detalle de la fisura no. 3



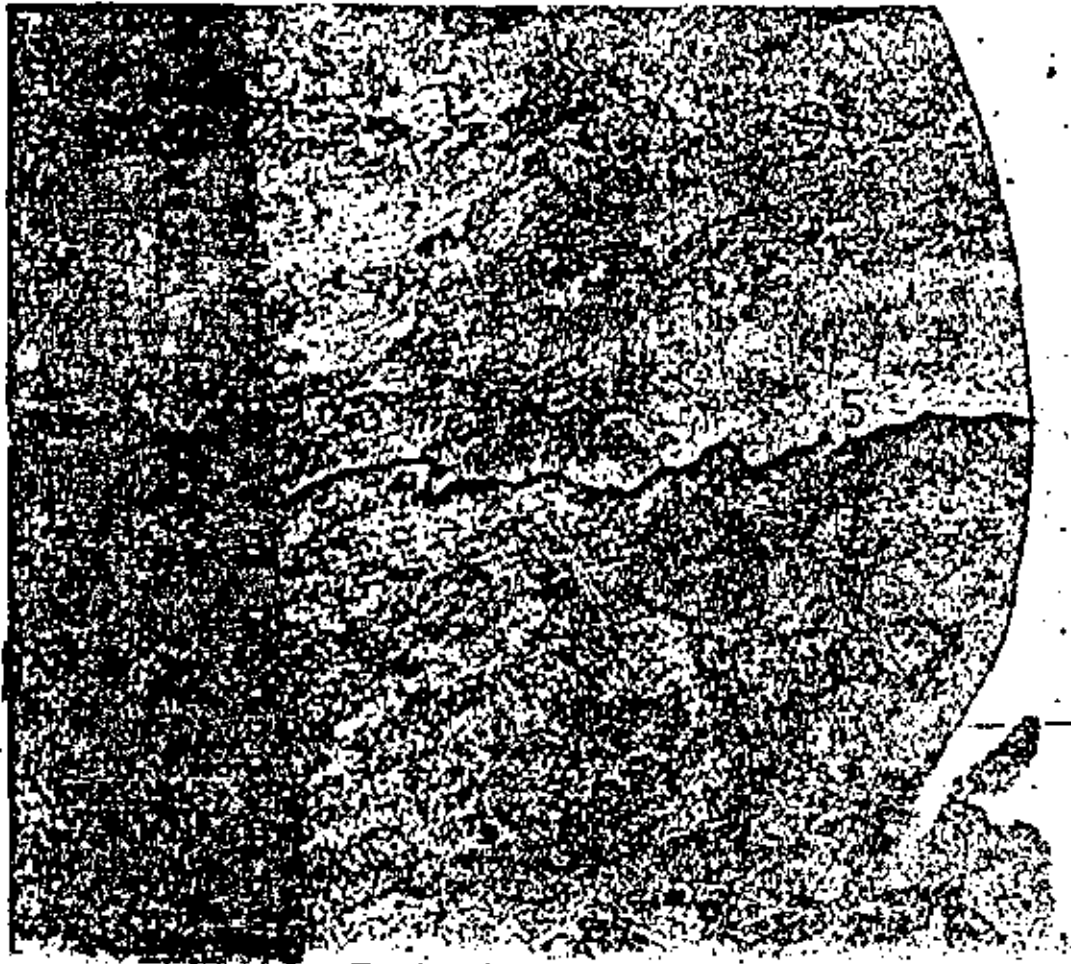
Fotografía 28
Muestra A5

Ataque Nital 2 %

Aumento : 1360 x

Se nota que la fisura no. 3 no ha penetrado en el metal de base.

Figura no. 5 en muestra A3



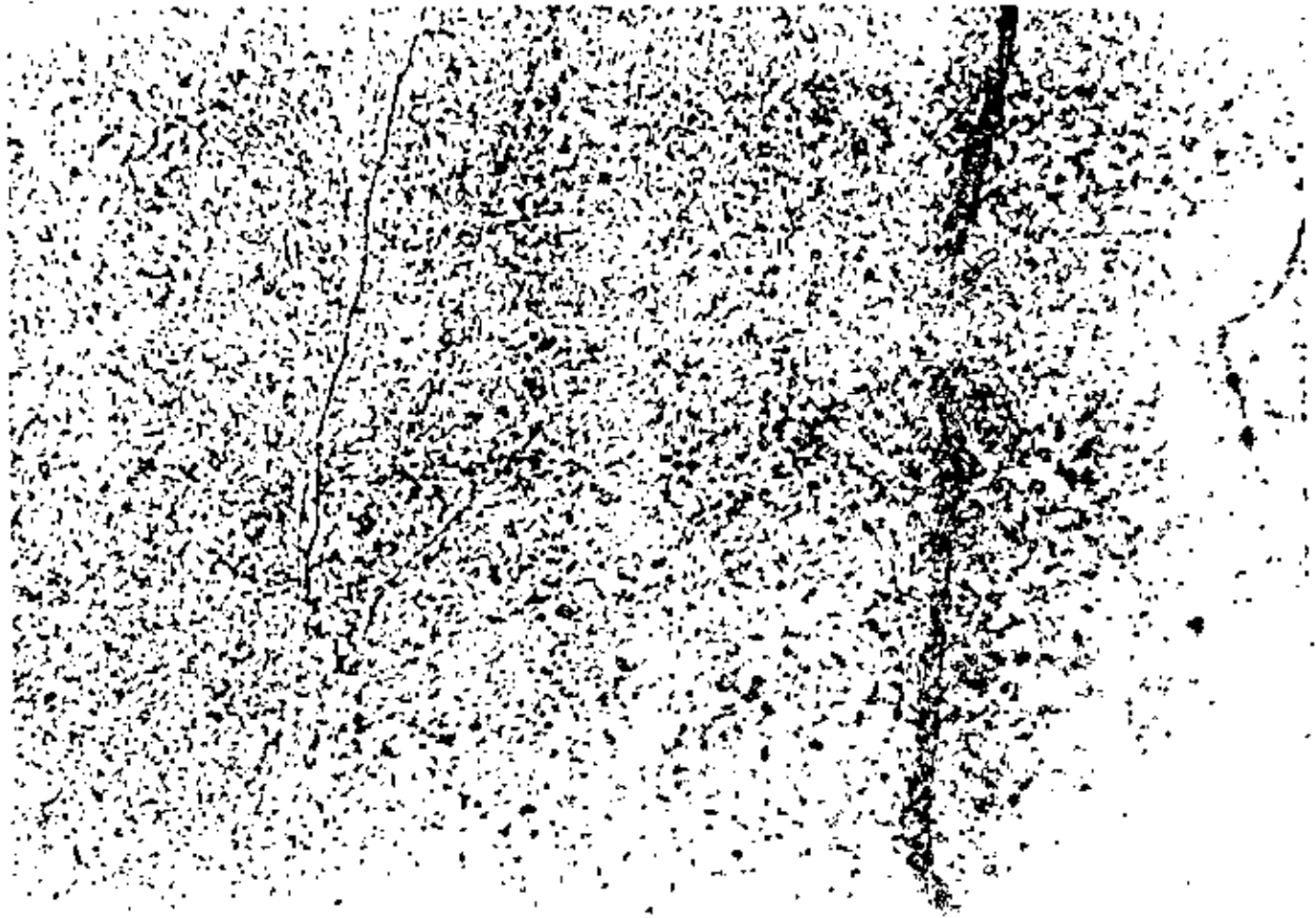
Fotografía 29
Muestra A3

Ataque Nital 2 %

Aumento : 136 x

Se observa que la grieta ha penetrado en el metal de base \approx 35 μ m.

■ Detalle de la fisura no. 5 de la muestra A3



Fotografía 30
Muestra A3

Ataque Nital 2 %

Aumento : 1360 x

Se observa la presencia de dos fisuras leves a ambos costados de la grieta principal.

Detalle de la fisura no. 4

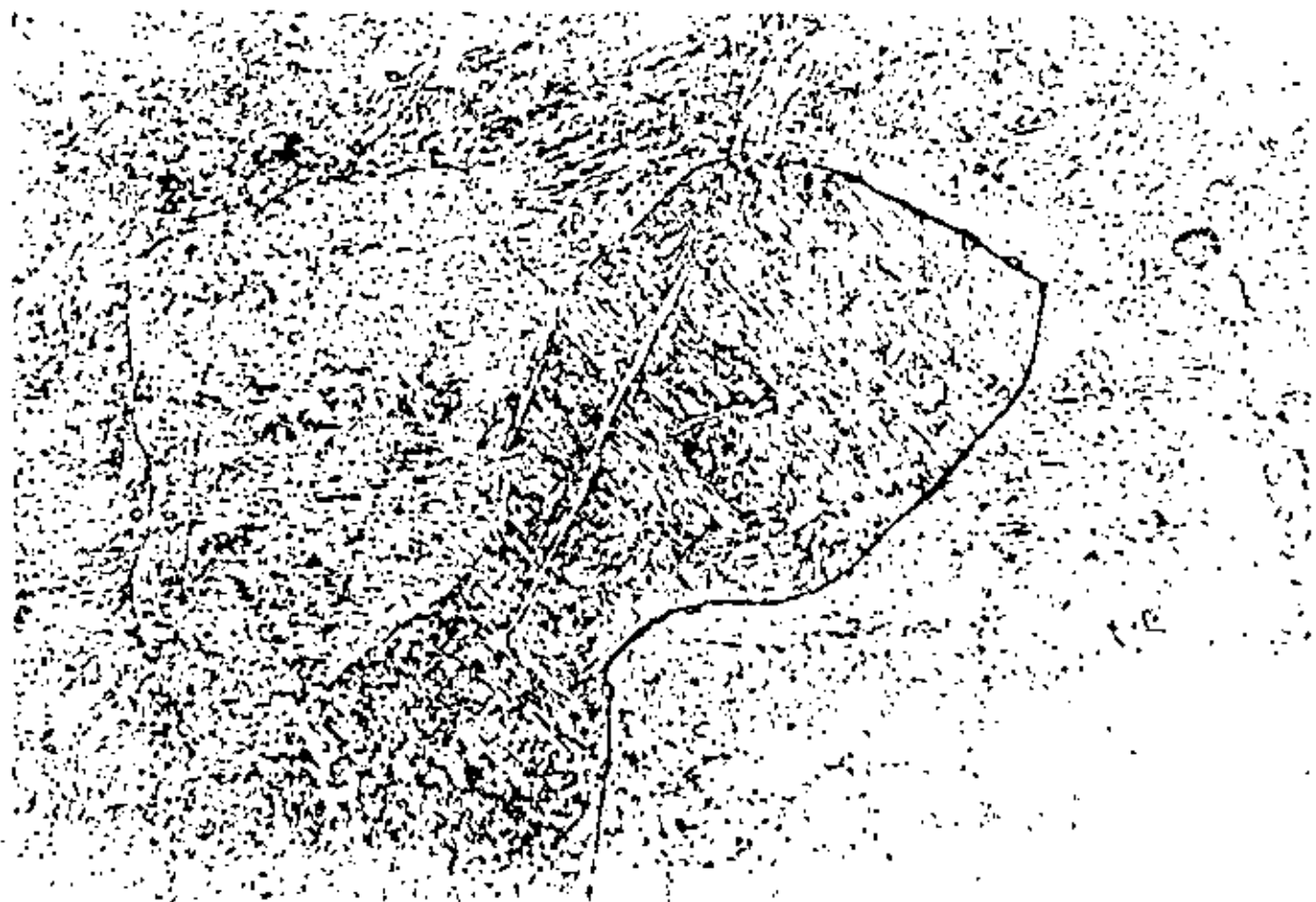
Fotografía 31
Muestra A3

Ataque Nital 2 %

Aumento : 271 x

Se observa que la fractura es intercrystalina

Detalle de una fisura secundaria



Fotografía 32

Ataque Nital 2 %

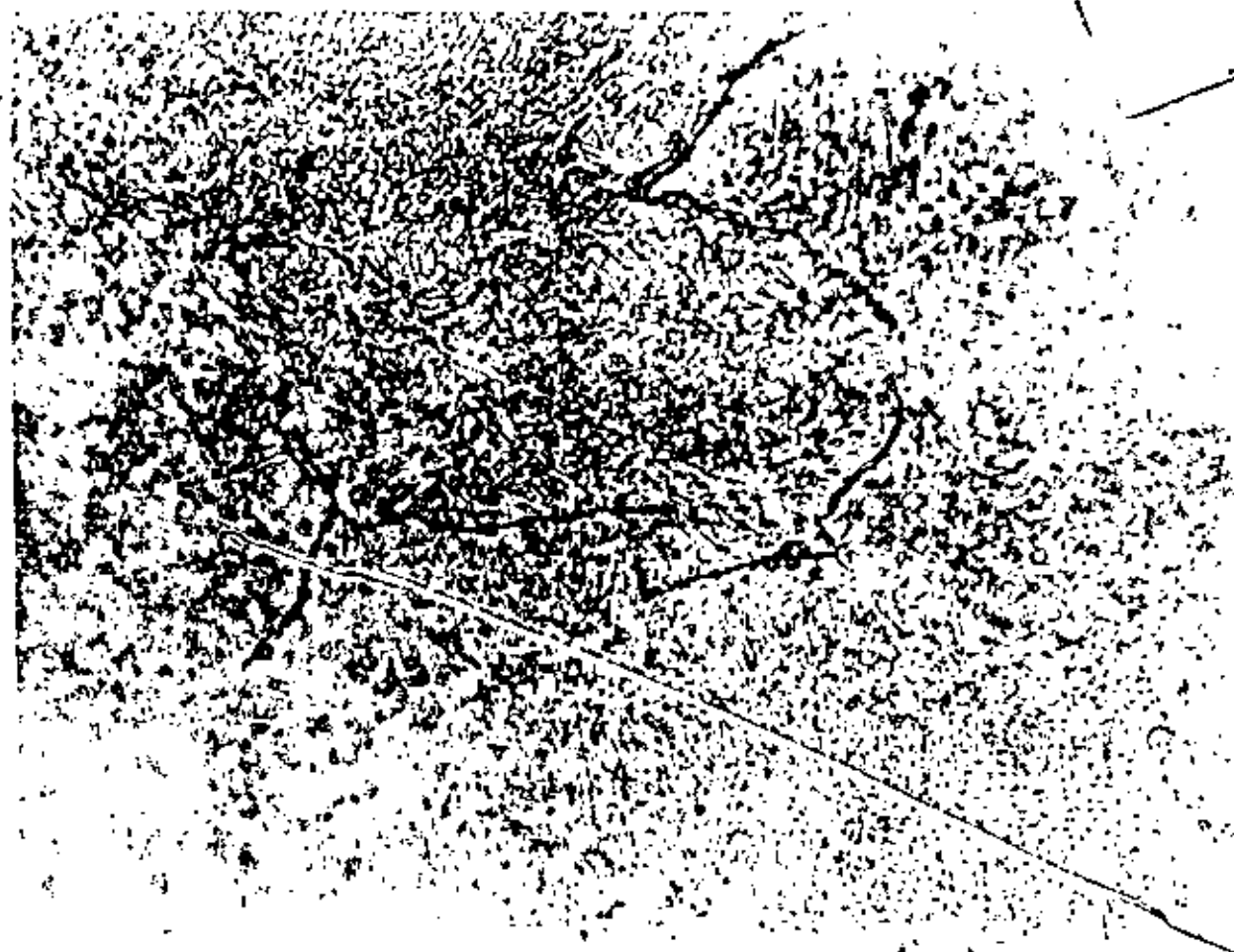
Aumento : 1360 x

Muestra A3

Se observa que la fisura es intercrystalina

SOLUCIONES METAL-MECANICO S.R.L.

Detalle de una fisura secundaria



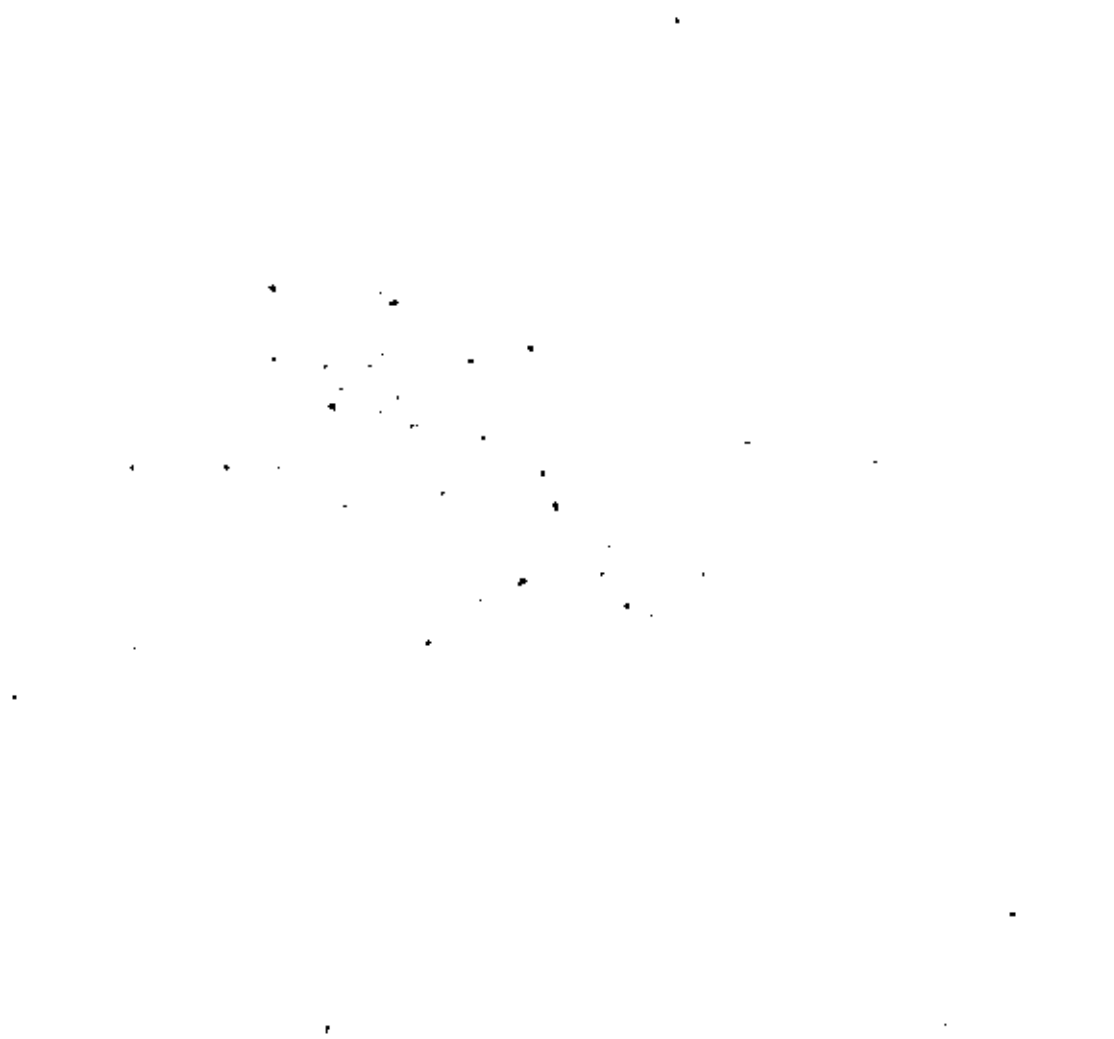
Fotografía 33

Ataque Nital 2 %

Aumento : 1360

Muestra A3

Se observa que la fisura es intercrystalina





Fotografía 34
Muestra A3

Sin ataque

Aumento : 170 x

- Se observa : - que la grieta tiene carácter intercrystalino y es de aproximadamente 0.1mm de ancho en la zona observada
- que presenta también inclusiones en su cercanía



Fotografía 35

Ataque Vilella

Objeto : 170 x

Muestra A3

Se presentan las observaciones anteriores (foto 34) pero con matriz atacada.



Fotografía 36

Ataque Vilella

Aumento : 270 x

Muestra A3

Detalle de la grieta en la cual se observa arranque de granos y fractura intercrystalina.

Secuencia del fin de la grieta que presenta la muestra A3



Fotografía 37

Sin ataque

Aumento : 340 x

Muestra A3

Se observa : - el carácter intercrystalino de la fisura



Fotografía 38

Ataque Vilella

Aumento : 340 x

Muestra A3

Detalle de la observación de la grieta que presenta la muestra A3 .

Se observa que el grano corresponde al tamaño no. 6 (algo grande).

En la siguiente serie de tres fotografías (39, 40 y 41) se observa en las 3 el carácter intercrystalino de la fractura y además que es de estructura de martensita revenida. Por otra parte se confirma el grano no. 6.

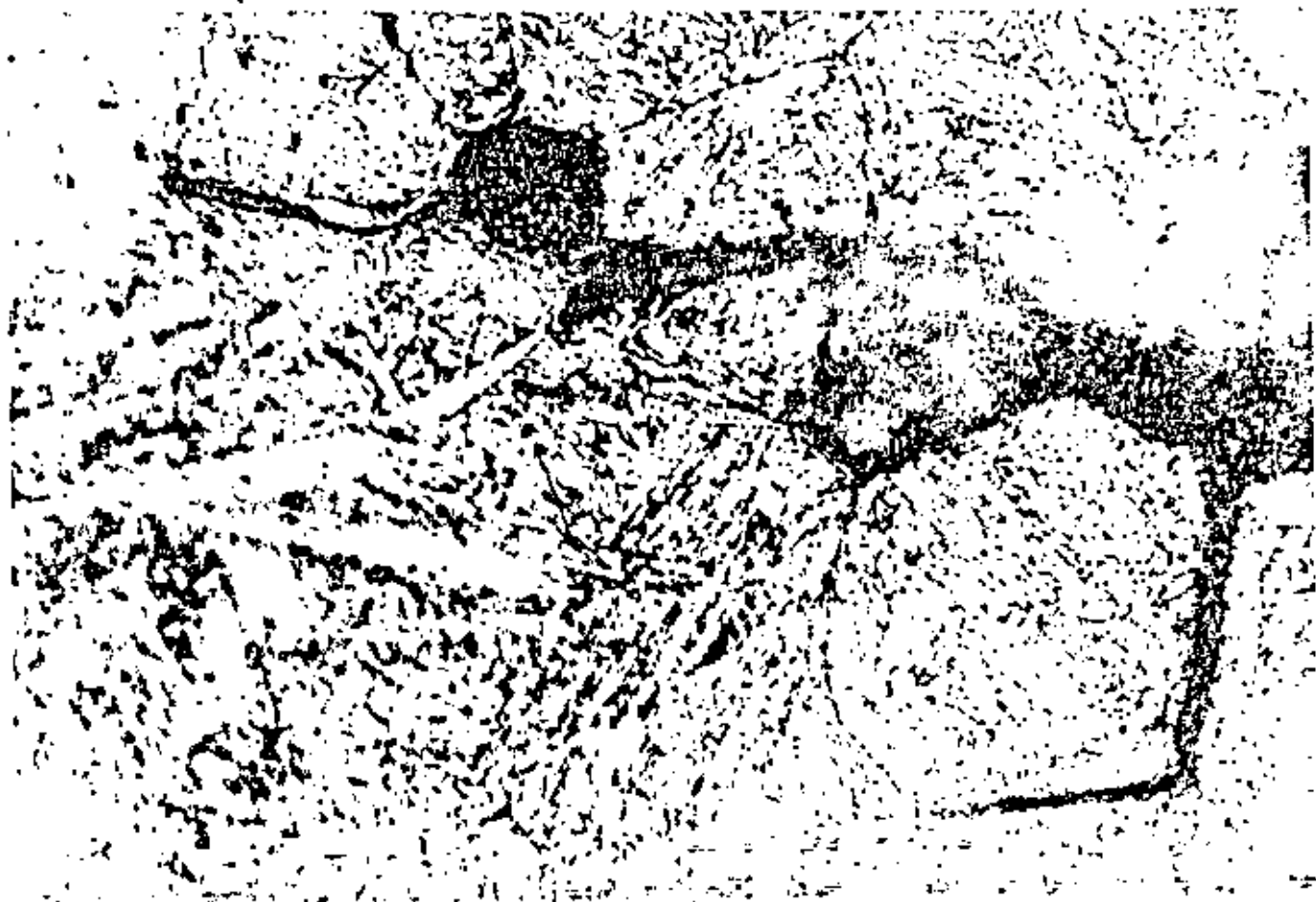


Fotografía 39

Ataque Vilella

Aumento : 850 x

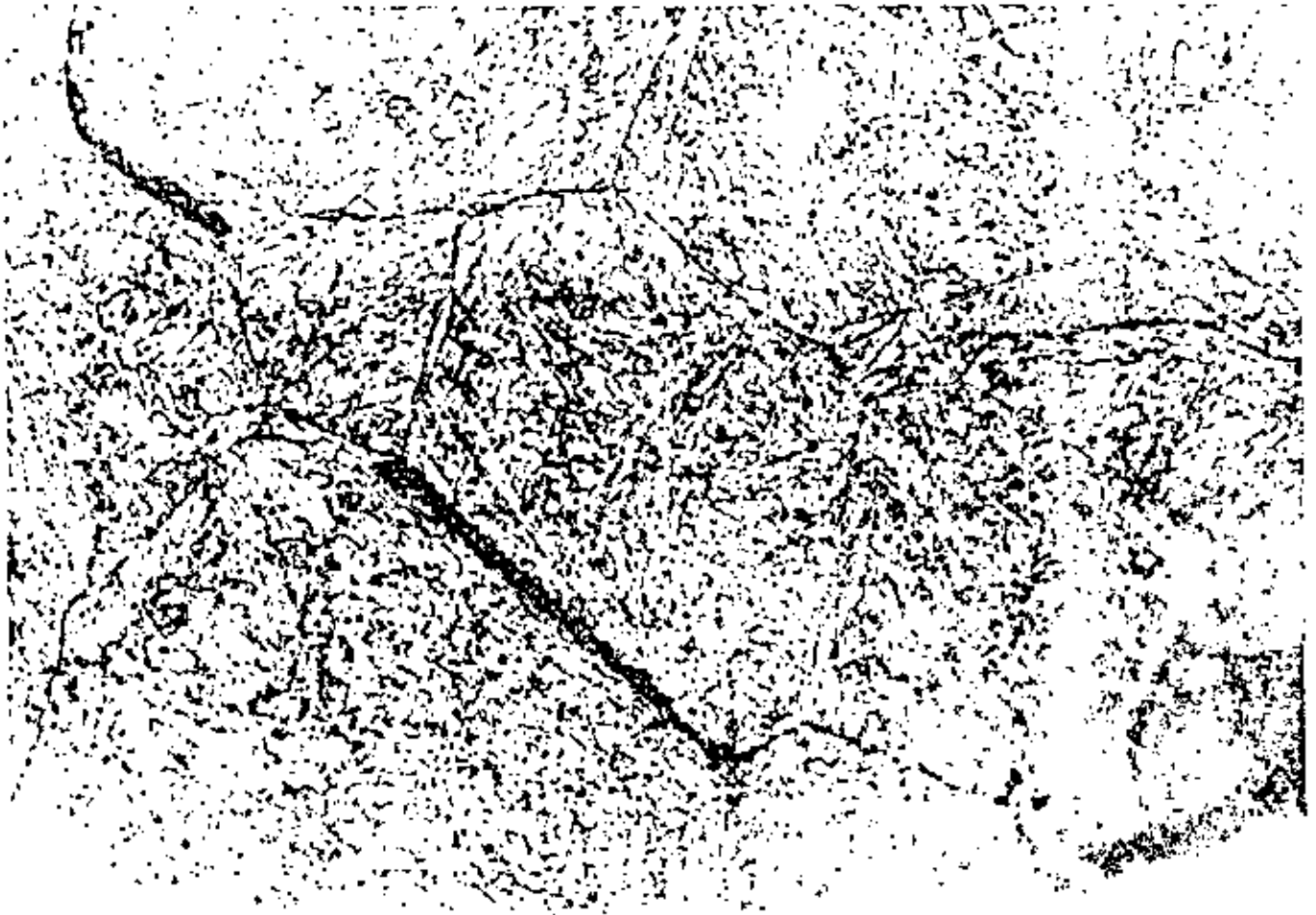
Muestra A3



Fotografía 40
Muestra A3

Ataque Vilolla

Aumento : 1360 x

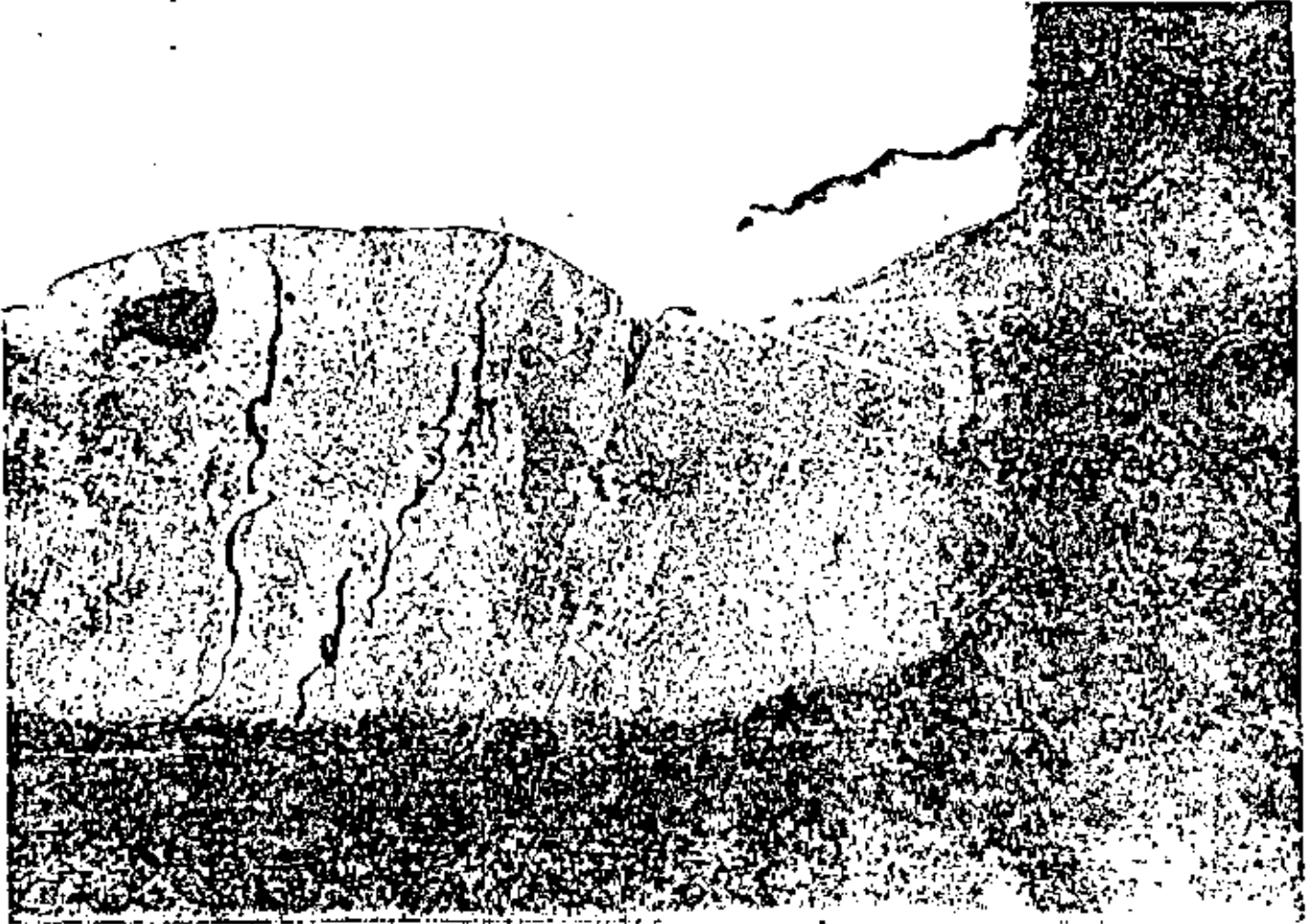


Fotografía 41
Muestra A3

Ataque Vilella

Aumento : 1360 x

Grieta que aparece en la muestra A5

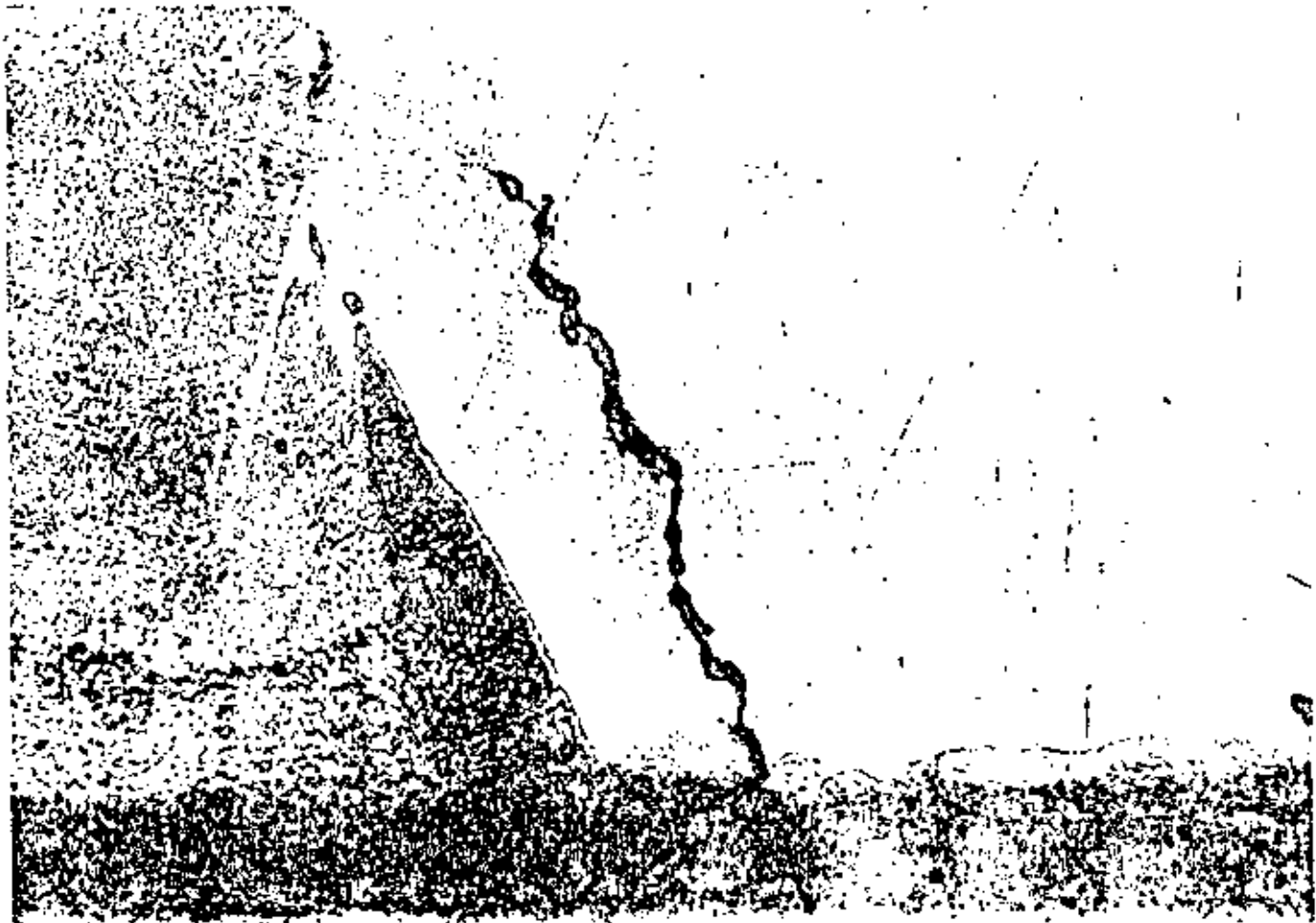


Fotografía 42
Muestra A5

Ataque Nital 2 %

Aumento : 85 x

: Se observa una grieta en el metal de base perpendicular a la fractura
(paralela a la superficie).



- Fotografía 43
- Muestra A5

Ataque Nital 2 %

Ampliación : 170 x

Se observa un "triángulo" más oscuro que presumiblemente corresponde a una soldadura previa que no fue eliminada completamente.

11. Informe final

11.1 Conclusiones

De la observación a simple vista de la fractura se deduce que la falla se produjo por fatiga en forma progresiva, del exterior hacia el interior, tal como se puede observar por la presencia de las zonas típicas que presenta la fractura del eje.

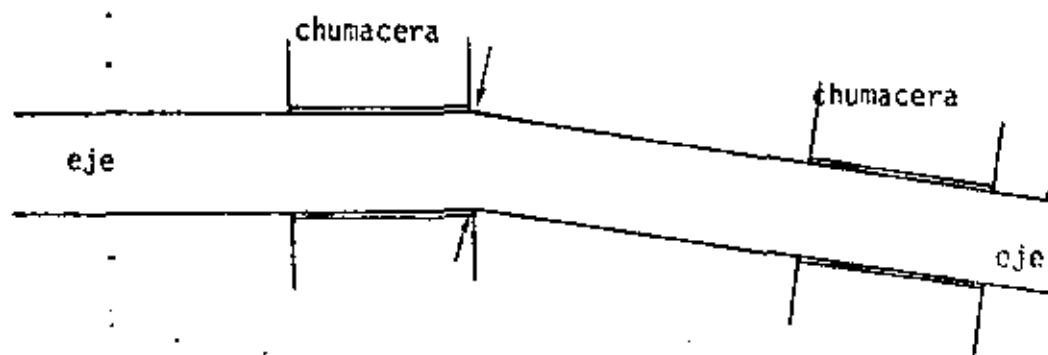
La misma también indica que hubo fuerte concentrador de esfuerzo en la periferia, los cuales pueden ser :

1. grietas en el recubrimiento, como se observó en este estudio
2. porosidades e irregularidades que no hemos detectado por no tener la zona con recubrimiento

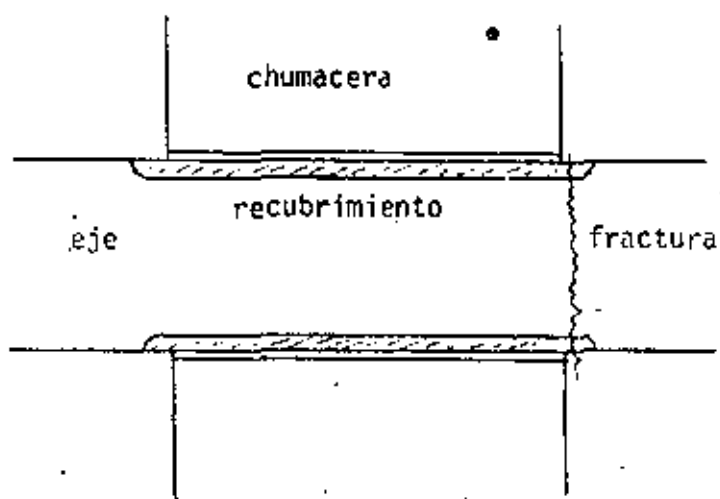
Por otra parte, el metal de base al ser "sucio" favorece la propagación de la fractura y además el grano basto no le proporciona la suficiente ductilidad para detener la propagación de la grieta superficial.

11.2 Recomendaciones

1. Se estima que el material a utilizar en ejes que trabajan en condiciones severas (como en el presente caso), además del análisis químico, se deben realizar ensayos que aseguren la limpieza necesaria para evitar fracturas por fatiga.
2. Ajustar el tratamiento superficial a las instrucciones
3. Debido a la presencia de esfuerzos mecánicos críticos en la zona próxima al cojinete, provocados por un ligero error de alineación (ver figura siguiente), zona que todavía abarca al recubrimiento, se considera de gran importancia controlar especialmente la calidad del recubrimiento en esta zona.



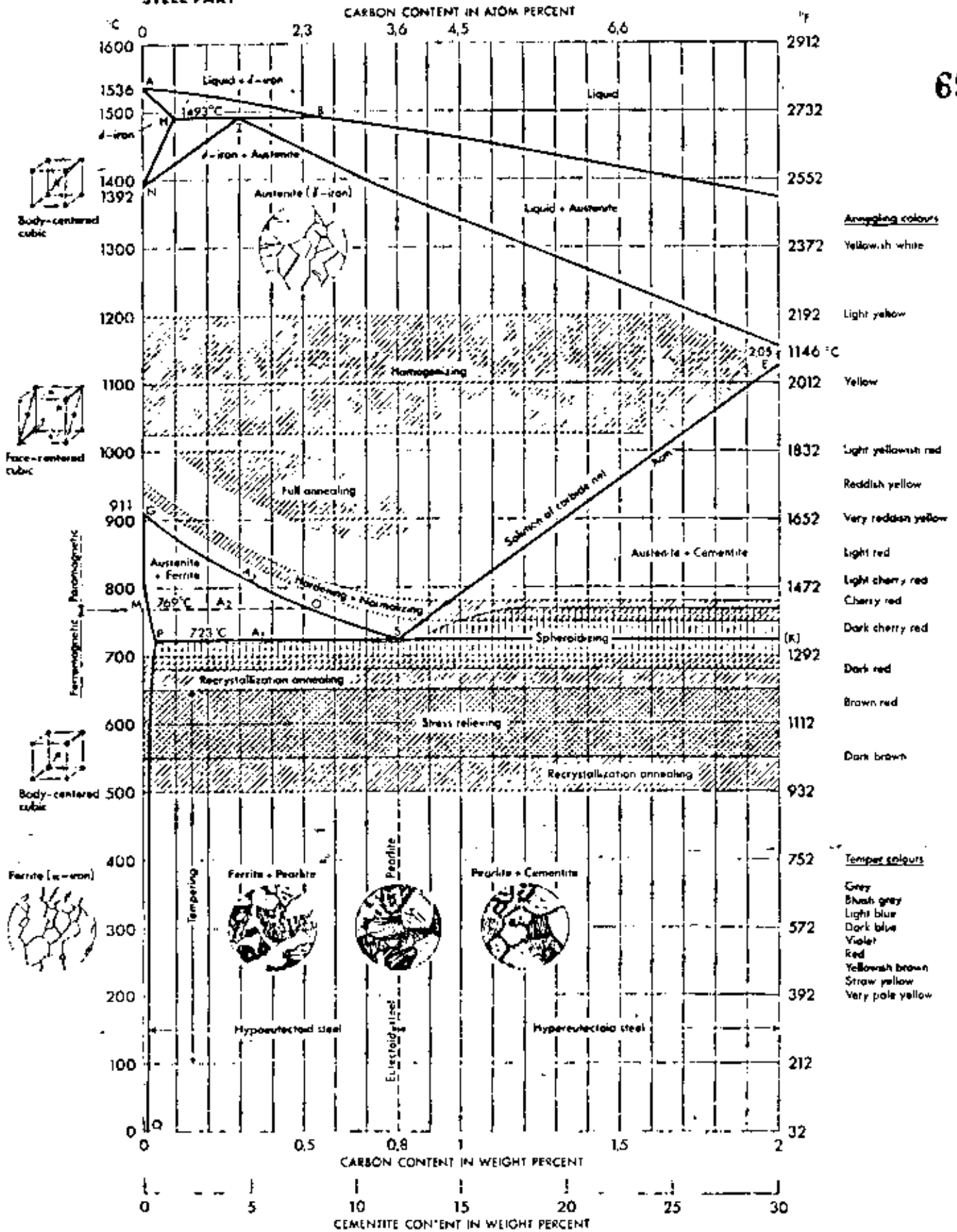
Las flechas indican donde se producen los máximos esfuerzos flexionantes como consecuencia del alineamiento



La fractura se presenta en el extremo del recubrimiento

IRON-CARBON EQUILIBRIUM DIAGRAM

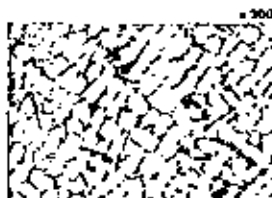
STEEL PART



Aluminium-Silicon Casting Alloys

Preparation

Low alloying (1 to 2.50 wt-%) good casting properties, used for pistons and pistons rings should contain. May be cast in complicated, thin-walled pressure-tight shapes. Tensile strength 15-25 kg/cm², Brinell hardness 35-55 kg/cm², good machinability, suitable by adding Cu or Mg as alloying elements, tensile strength and hardness may be increased by age hardening.



Aluminium-silicon casting alloy (10 wt-% Si) Primary solid solution (light) surrounded by eutectic (α + Si)



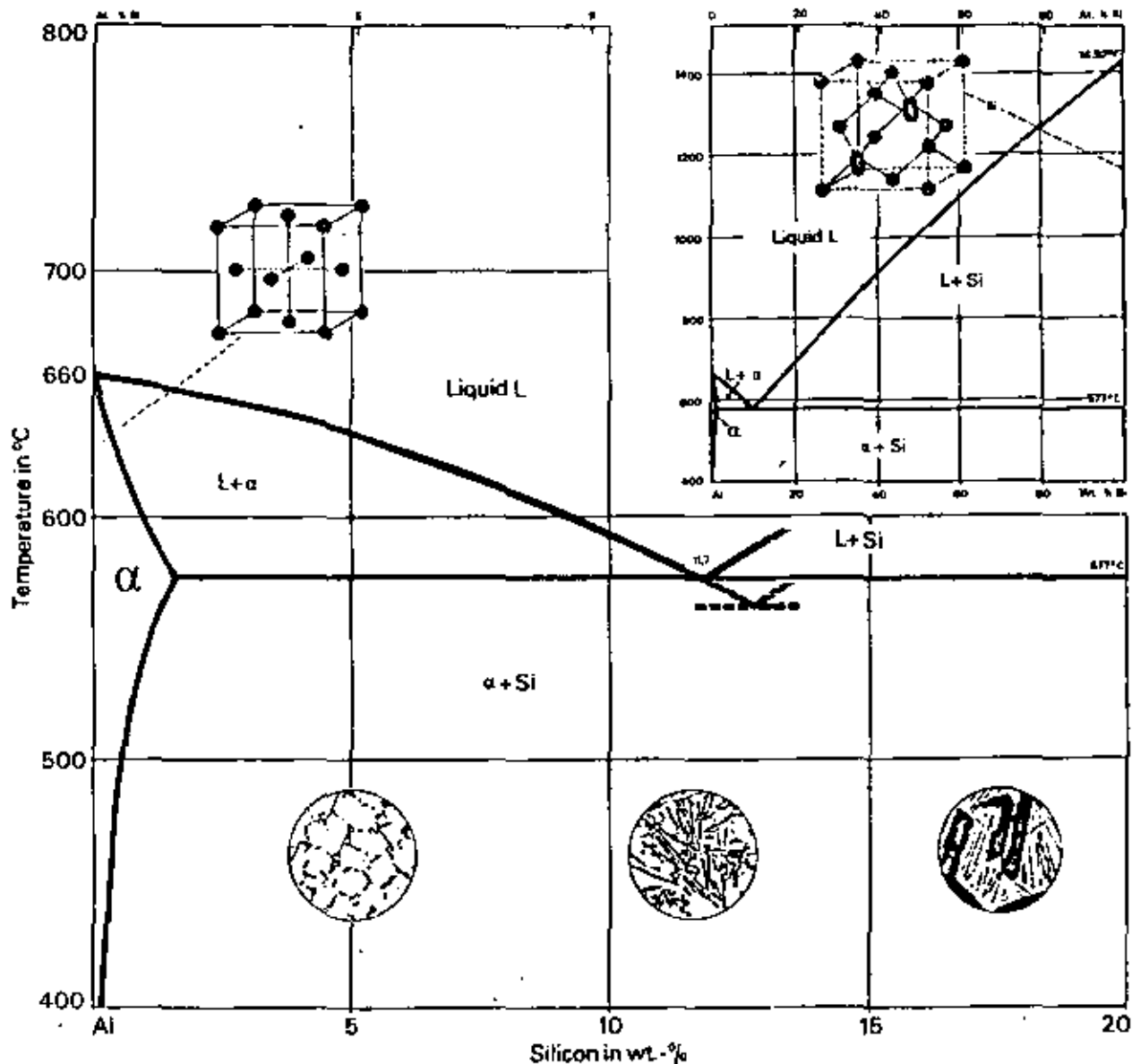
Aluminium-silicon casting alloy (11.7 wt-% Si) β phase with coarse particles of α + Si and β phase

Heat Treatment

By adding 0.05-0.1% Cu or 0.4-0.6% Mg to the alloy, the mechanical properties increase and the chemical properties improve accordingly. The melting point is depressed to 590°C at 1% Si and a lower temperature.



Aluminium-silicon casting alloy (12 wt-% Si) Primary α solid solution in fine grained eutectic refined by addition of Mg



Aluminium-silicon casting alloy (15.0 wt-% Si) Large primary β crystals in eutectic of α + Si

Aluminum-silicon Alloys

Eutectic and hypereutectic aluminum-silicon alloys (15-25 wt-%) with addition of Cu, Mg, Mn, Co and Cr 10-3.0% intermetallic phases have good wear resistance, high strength and good heat resistance.

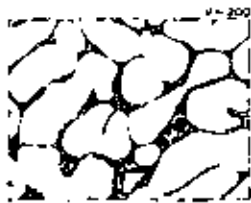


AlSi9Cu1 aluminum-silicon alloy - coarse primary β crystals (light) surrounded by α + Si



AlSi10Cu aluminum-silicon alloy - primary α solid solution (light) surrounded by β phase

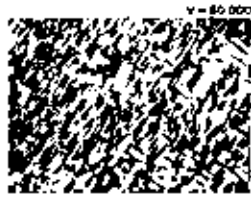
Aushärtung von Aluminium-Legierungen



Al-Cu (4,8 Gew.-% Cu): Sekundäre Primär- + Hauptphase umgeben von Versetzungen (→ Al₂Cu)



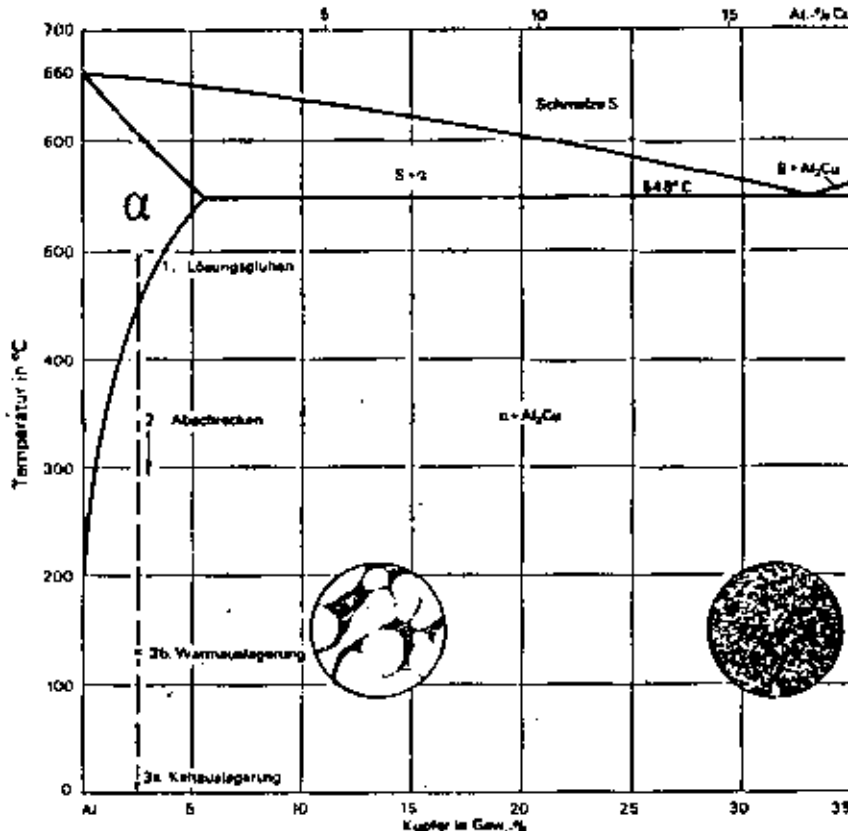
Al-Cu (4,8 Gew.-% Cu, 2,0 Gew.-% Ni): Sekundärphase in Matrixphase (Al₂Cu, Al₃Ni, Al₃Fe)



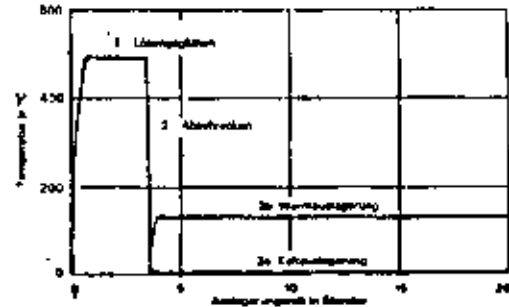
Al-Cu (4,8 Gew.-% Cu, 0,01 Gew.-% Cr): Sekundärphase in Matrixphase (Al₂Cu, Al₃Cr)



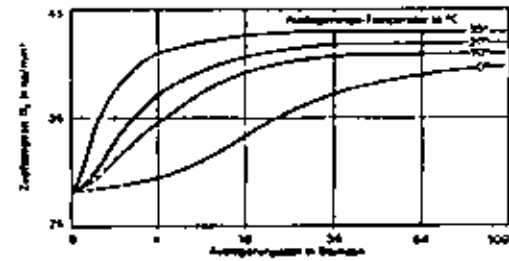
Al-Cu (4,8 Gew.-% Cu, 0,01 Gew.-% Cr): Sekundärphase in Matrixphase (Al₂Cu, Al₃Cr)



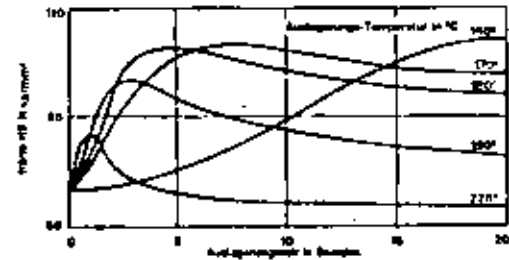
| Voraussetzung für die Aushärtung ist die geringe Löslichkeit des in Mischungslage für Legierungselemente aus Al, Cu, Si, Mg oder Zn bei niedrigen Temperaturen. | | | |
|---|---|--|--|
| Wärmebehandlung | | | |
| 1. Lösungsglühen (bei 450-550°C) | Die Legierung wird in Mischungslage erwärmt. Die Legierungselemente gehen in Lösung. | | |
| 2. Abschrecken | Die durch Glühen erhaltene Gefügestruktur wird eingefroren. Dadurch ist eine Raumtemperatur bei Cu, Si, Mg oder Zn übermäßig. | | |
| 3a. Warmauslagerung (bei Raumtemperatur) | Die Entmischung beginnt. Die Cu-, Si-, Mg- und Zn-Atome sammeln sich in Form von im Kristallgitter eingebetteten, kleinsten Versetzungen, die zu hoher Zähigkeit durch die Erweichung und Zähigkeit führen. Die Dichtung bleibt unverändert oder ändert geringfügig ab. | Durch kurze Wärmebehandlung wird ebenfalls Raumtemperatur erreicht. Eine vollständige Entmischung erfolgt. | Beispiele: Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg-Si, Al-Si-Cu |
| 3b. Warmauslagerung (bei 80-230°C) | Zu langer Glühen führt zur Überalterung. Al ₂ Cu scheidet sich aus. | | Beispiele: Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si, Al-Si-Cu, Al-Cu-Mg-Si |



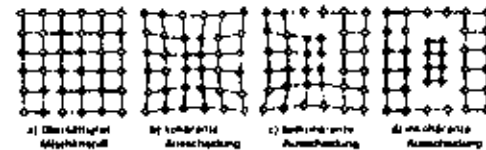
Verfahren der Wärmebehandlung



Kaltauslagerung von Al-Cu-Mg

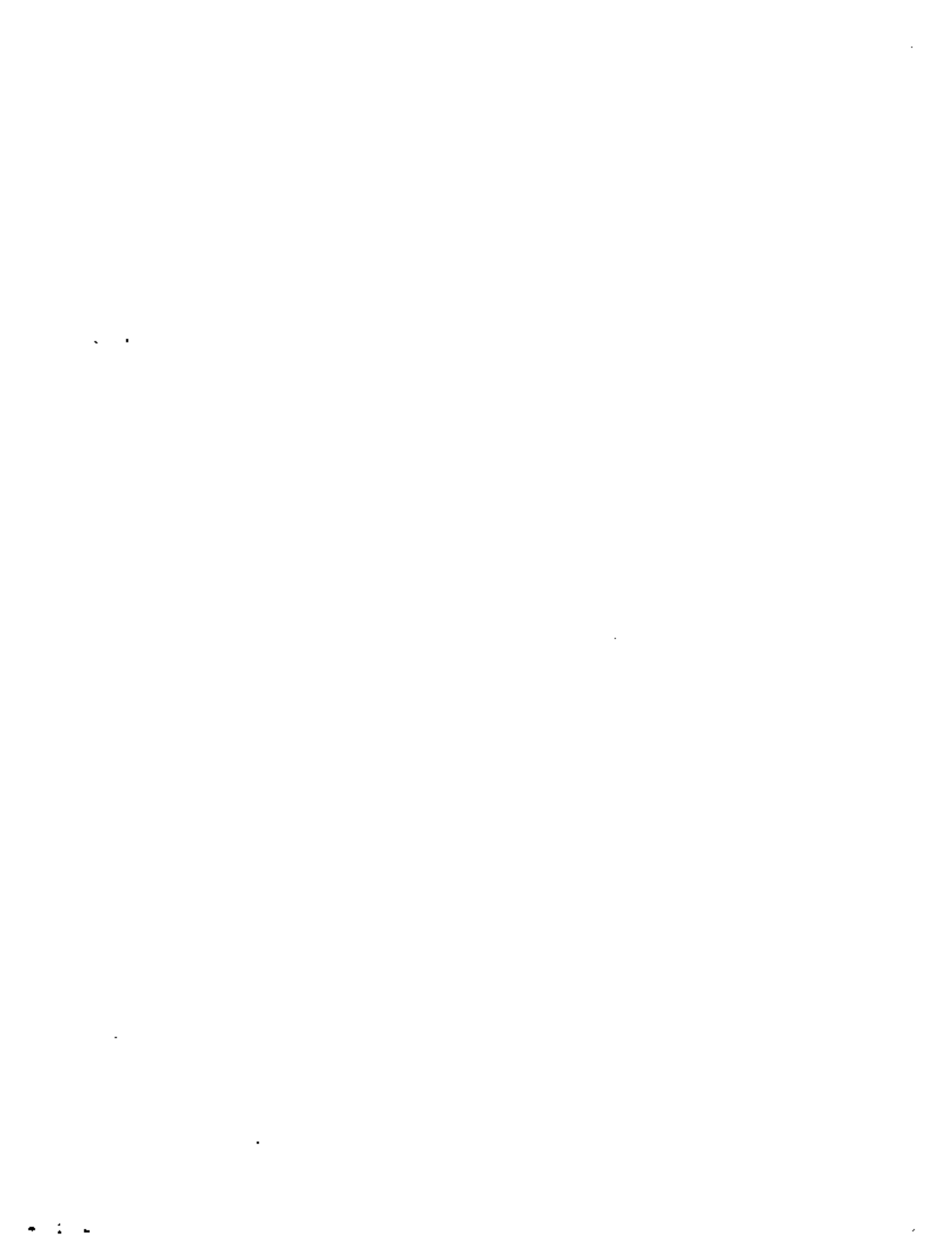


Warmauslagerung von Al-Si-Mg



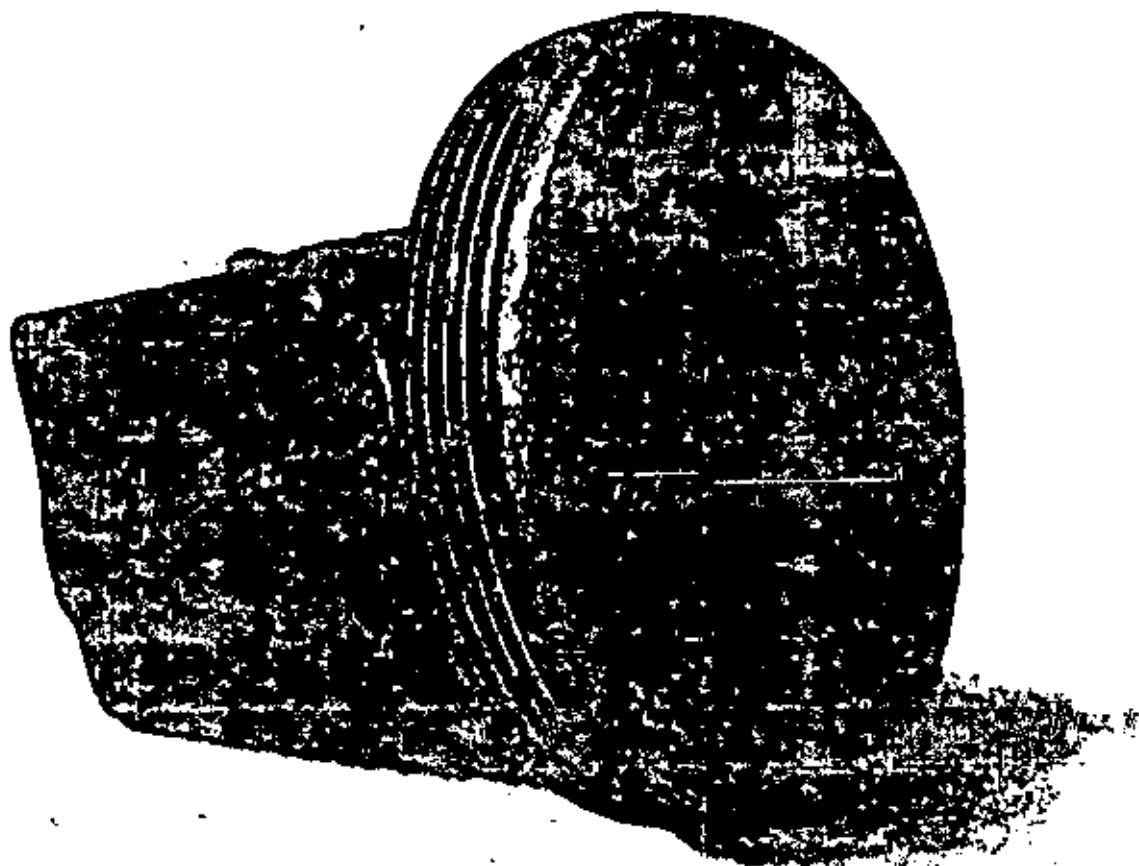
Entmischung und Ausscheidung gelber Legierungsbestandteile

67





DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.



DETERMINACION DE LA CAUSA DE DEGRADO
DE UN ENVASE
PARA ACETILENO



1. Descripción y planteo del problema

A pedido de .. se realiza un estudio para determinar la causa de degüello de la tapa de un cilindro para acetileno.

Se entregó un cilindro con la tapa con su respectiva válvula separadas. Las fotos 1 y 2 muestran las piezas con sus respectivas fracturas.

Se solicita : determinar la causa de la averfa y si el envase presenta alguna anomalía.

Foto 1 : cilindro

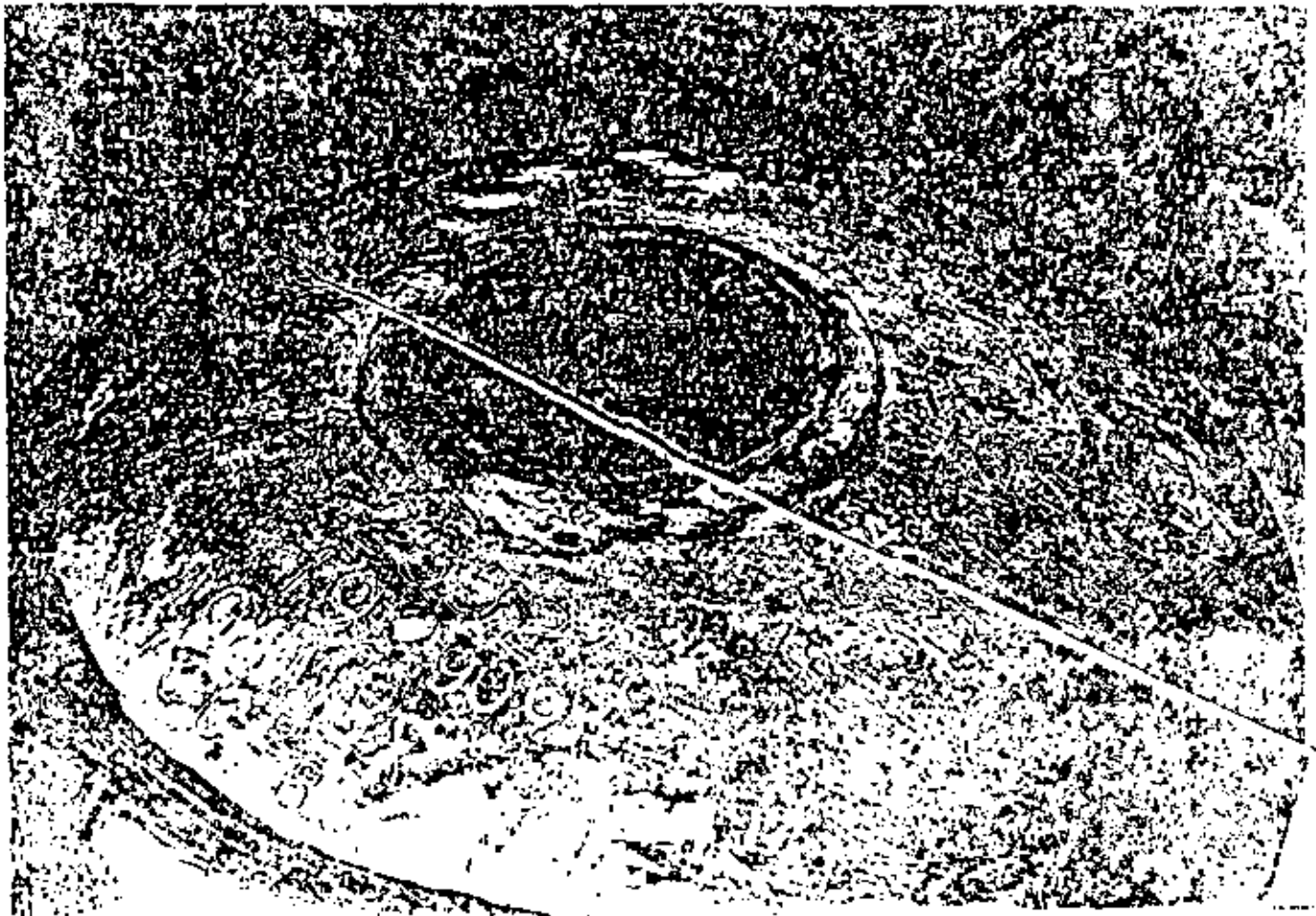


Foto 2 : Tapa con válvula

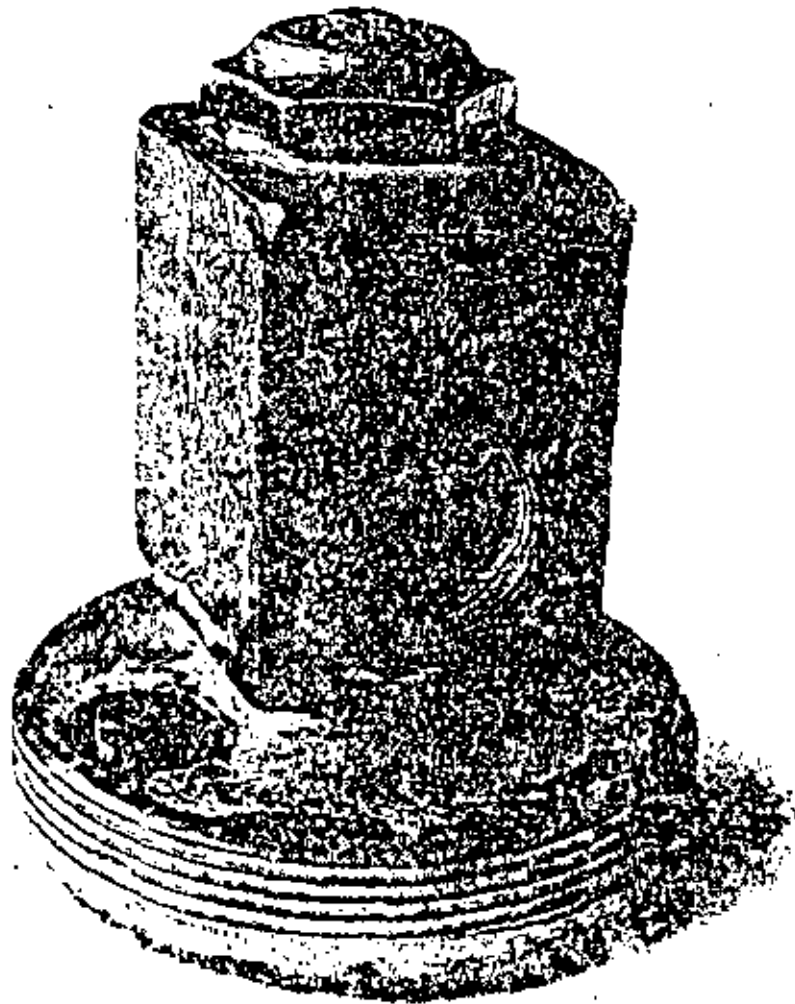
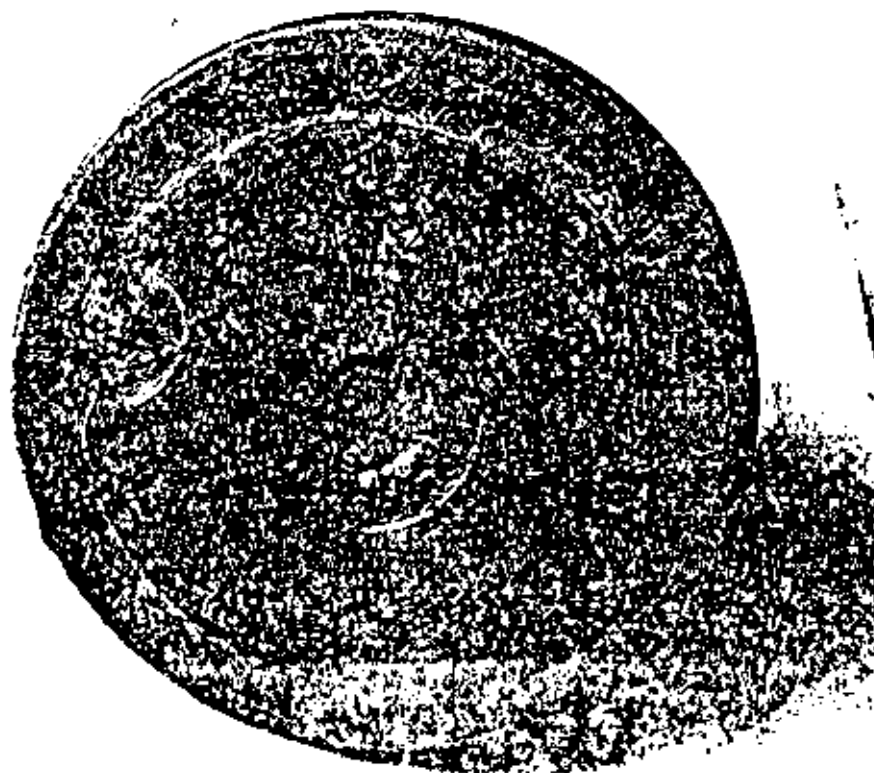


Foto 3 : Tapa sin válvula, fracturada



I N D I C E

1. Definición y planteo del problema
2. Plan de ejecución
3. Macrografías
 - 3.1 Aspecto general
 - 3.2 Detalles constructivos
 - 3.3 Ensayo Baumann
 - 3.4 Extracción de muestras
 - 3.5 Durezas
 - 3.6 Aspectos tecnológicos
4. Micrografías
 - 4.1 Zonas a observar
 - 4.2 Material del cilindro
 - 4.3 Material de base de la tapa
 - 4.4 Soldadura con zonas afectadas por el calor
 - 4.5 Estudio micrográfico del metal adyacente a la fractura
5. Conclusiones

2. Plan de ejecución

1. inspección visual (aspecto general)
2. extracción de muestras para efectuar las pruebas necesarias
3. trozar adecuadamente y efectuar las pruebas

3. Macrografia

3.1 Aspecto general

De la inspección visual se determinó que :

1. el cilindro presenta golpes de importancia
2. la válvula presenta también golpes de cierta importancia
(foto 2)
3. la fractura es muy neta e indica fragilidad del material
(fotos 4,5,6,7)
4. los labios de la fractura están oxidados presentando dos zonas:
 - a. una zona oxidada más clara (hacia adentro del tubo)
 - b. una zona oxidada más oscura (hacia fuera del tubo)(fotos 4 y 5)

Foto 4

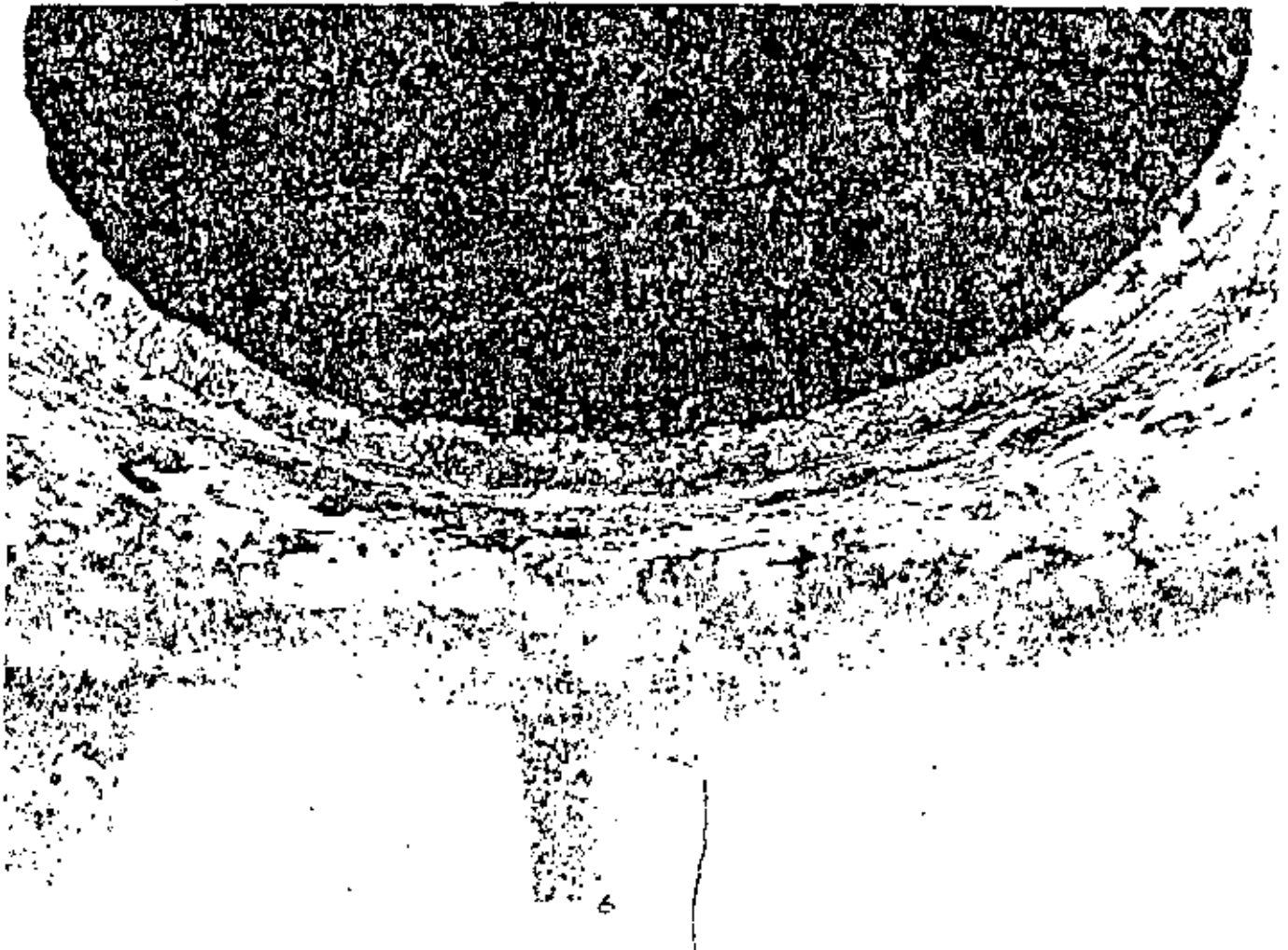


Foto 5

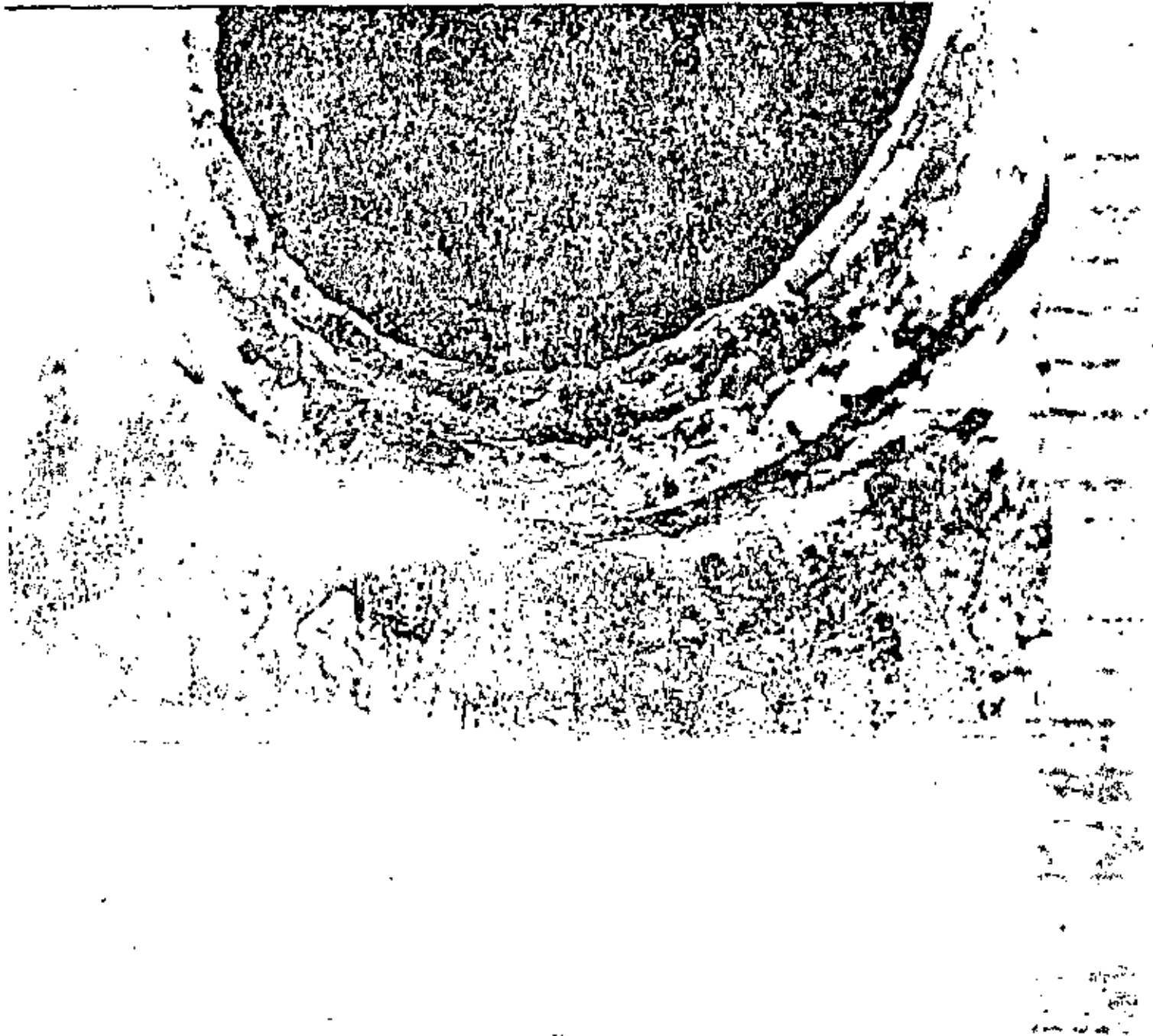


Foto 6

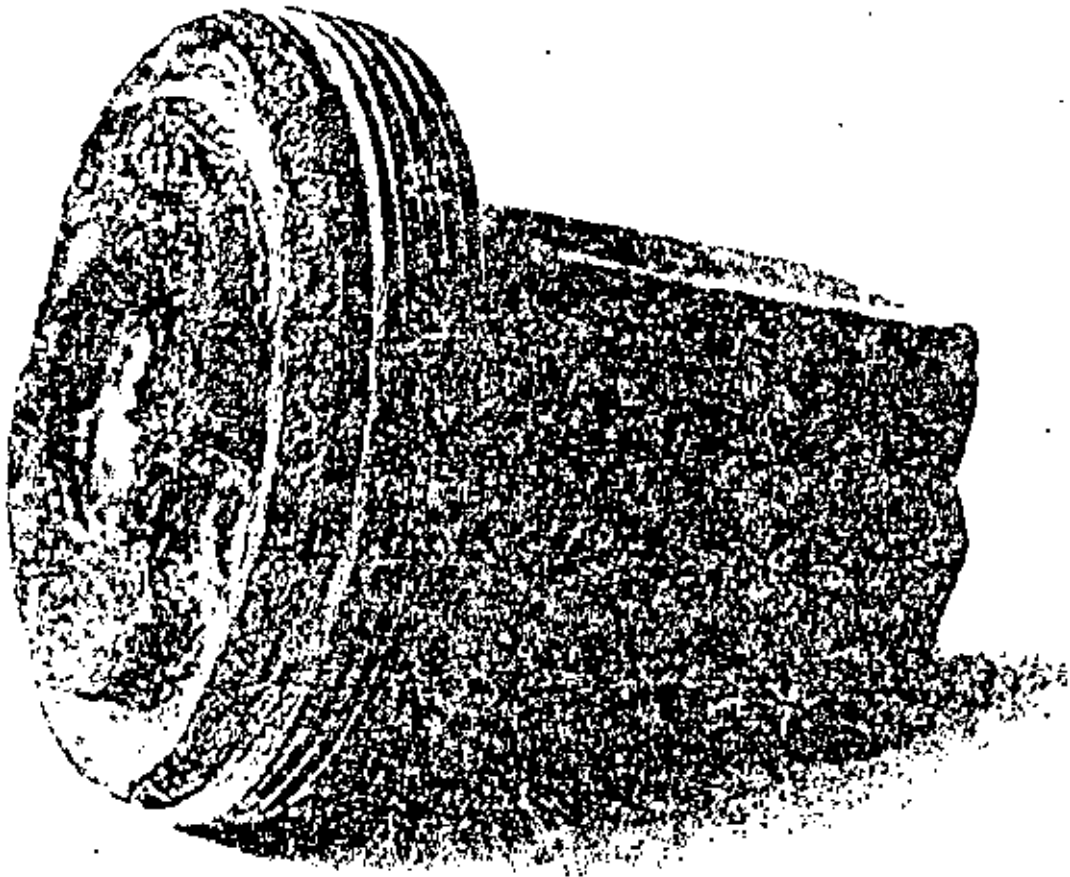
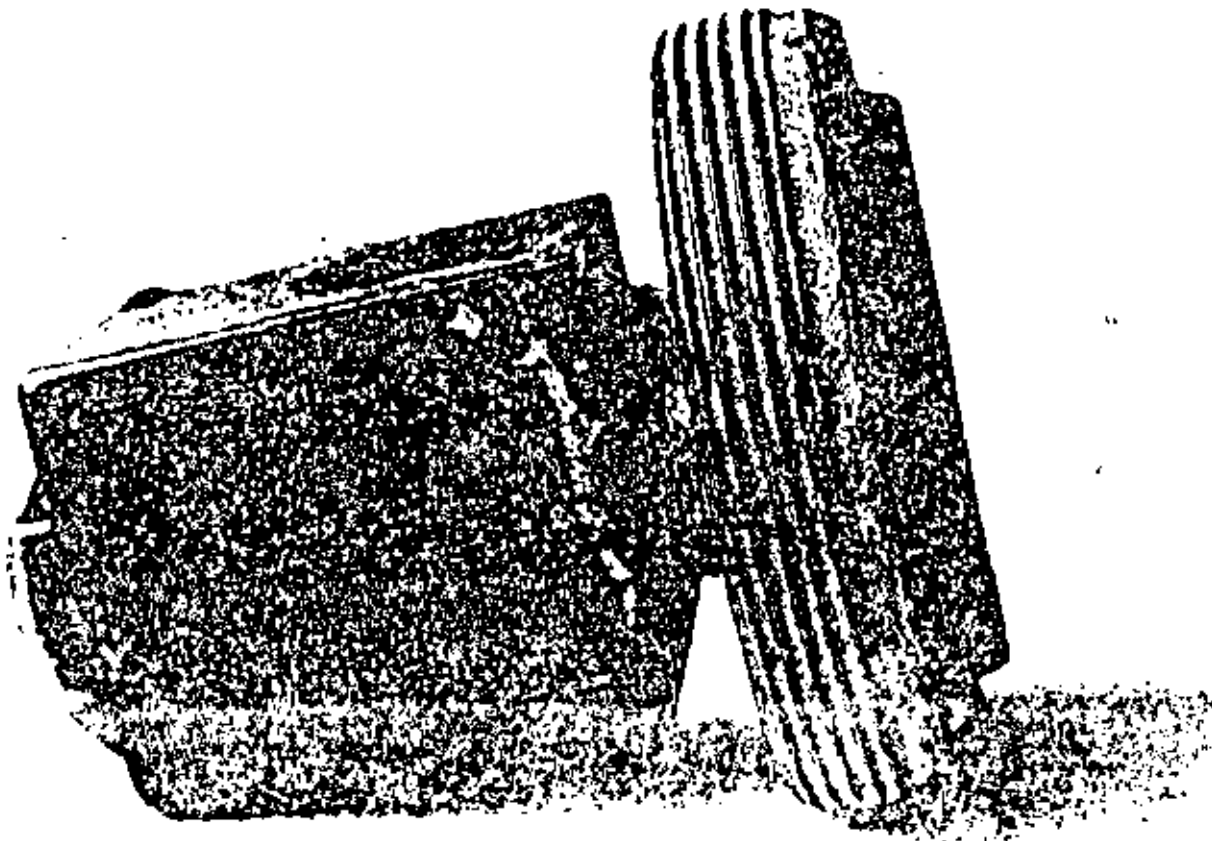


Foto 7



3.2 Detalles constructivos

Foto 8



- Trozo A : A-1 : Toma de dureza
 A-2 : Para micrografia
 A-3 : Para tratar
 A-4 : Reserva
 A-5 : Para tratar
- Trozo B : B-1 : Para micrografia
 B-2 : Para toma de dureza
 B-3 : Para ensayo Baumann

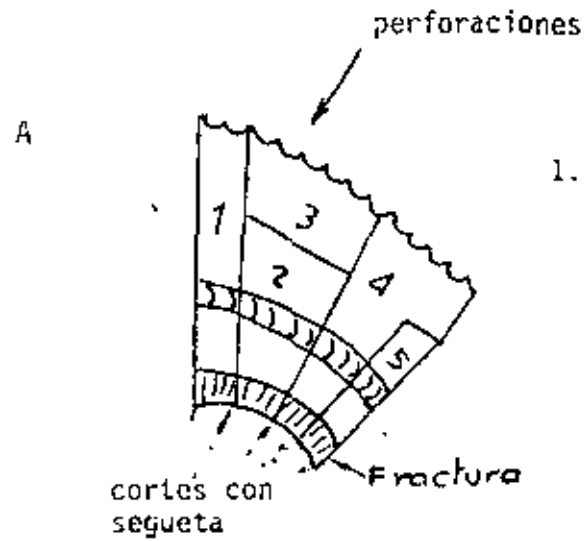
3.3 Ensayo Baumann

No presenta concentraciones de azufre.

Además permite observar que la pieza ha sido forjada.

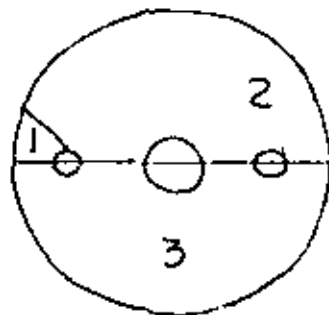


3.4 Extracción de muestras



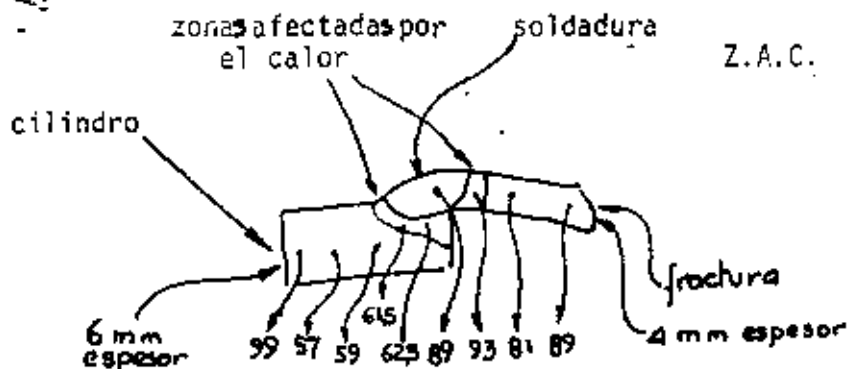
B ver foto 3

2. Trozo desprendido (tapa)



3.5 Durezas

Toma de durezas del trozo A-1



Toma de durezas del trozo B-2



Se observa

1. que la tapa presenta una dureza superior al cilindro
2. que la zona de fractura presenta una dureza elevada (fragilidad)

3.6 Aspectos tecnológicos

La tapa soldada es una pieza circular que ha sido forjada y que presenta una parte central roscada de espesor de 25 mm (ver figura abajo), con una aleta más fina de 4 mm de espesor. El ángulo A ha sido torneado con un radio excesivamente pequeño.



Las observaciones micrográficas indican que el material de la tapa es un acero 1035 y que el material del cilindro es un acero 1010.

4. Micrografías**4.1 Zonas a observar**

Se observó la soldadura con sus zonas afectadas por el calor, la fractura y el material en la cercanía de la fractura, tanto en la parte adyacente a la válvula, como en la parte perteneciendo al cilindro.

4.2 Material del cilindro

Se trata de un acero 1010 con inclusiones de sulfuros alargados (fotos 10 y 11)

Foto 10 Ataque nital 170 x

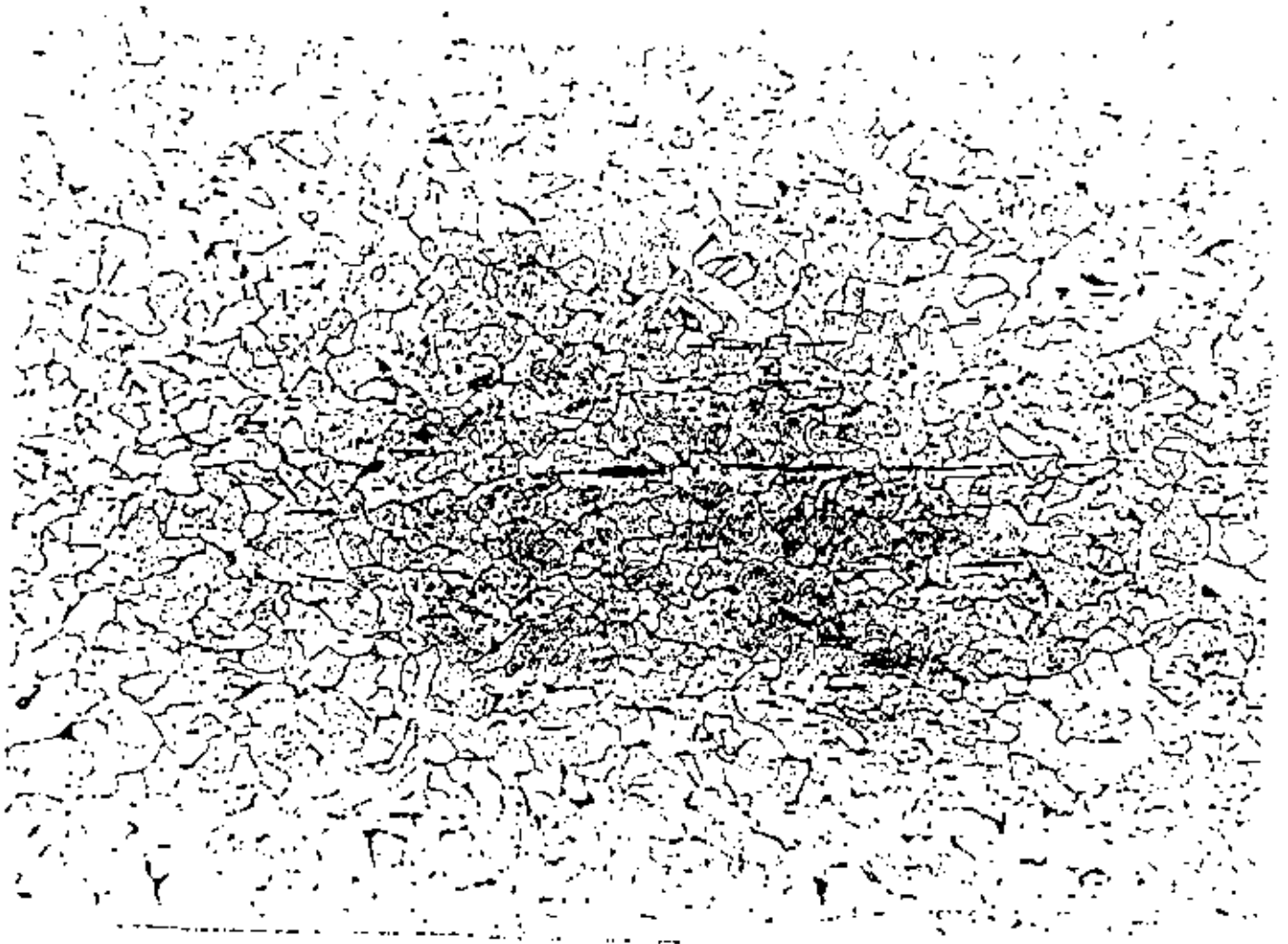


Foto 11

Ataque rital

340 x



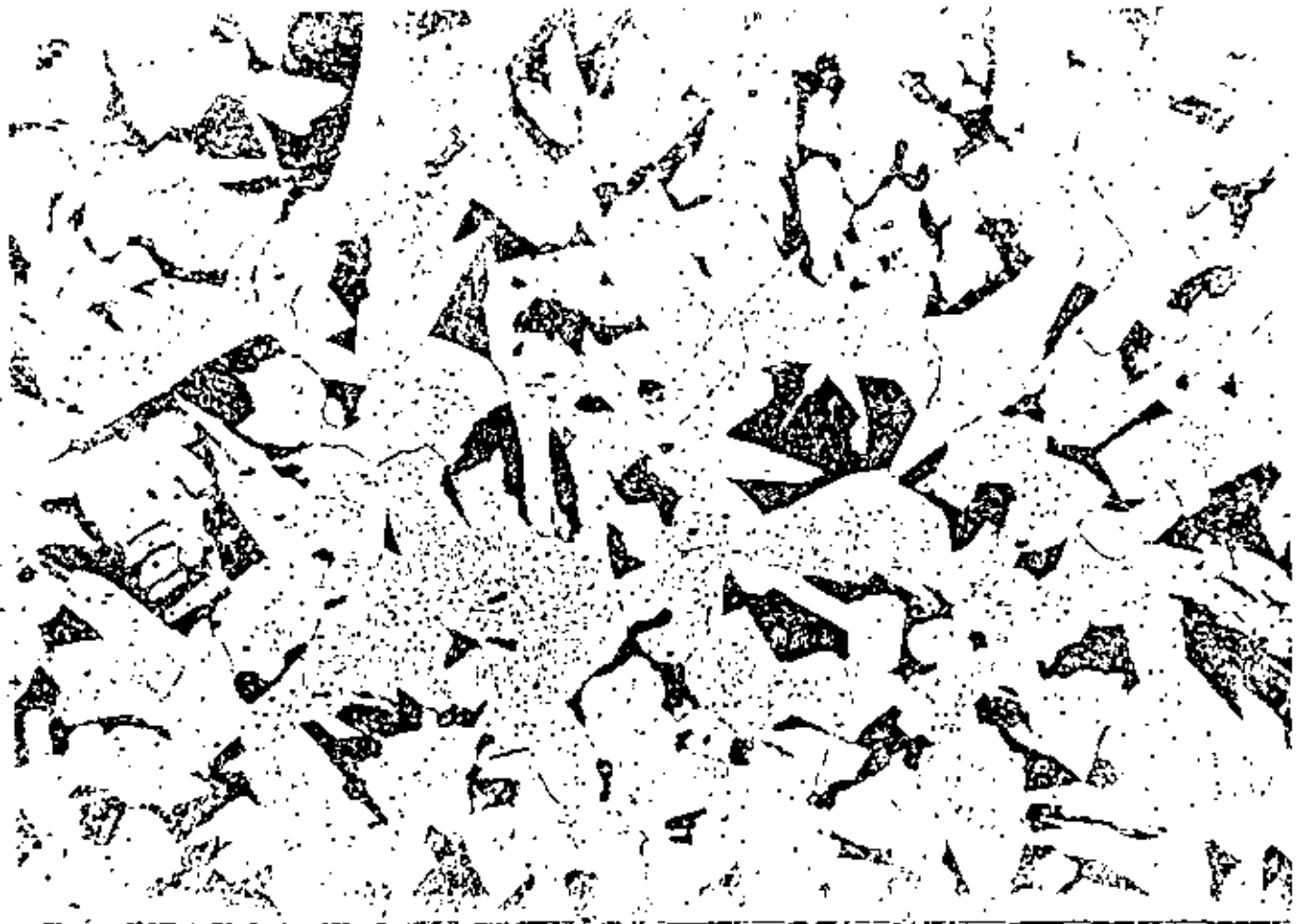
4.3 Material de base de la tapa

Se trata de un acero 1035 con estructura normal (foto 12)

Foto 12

Ataque nital

340 x



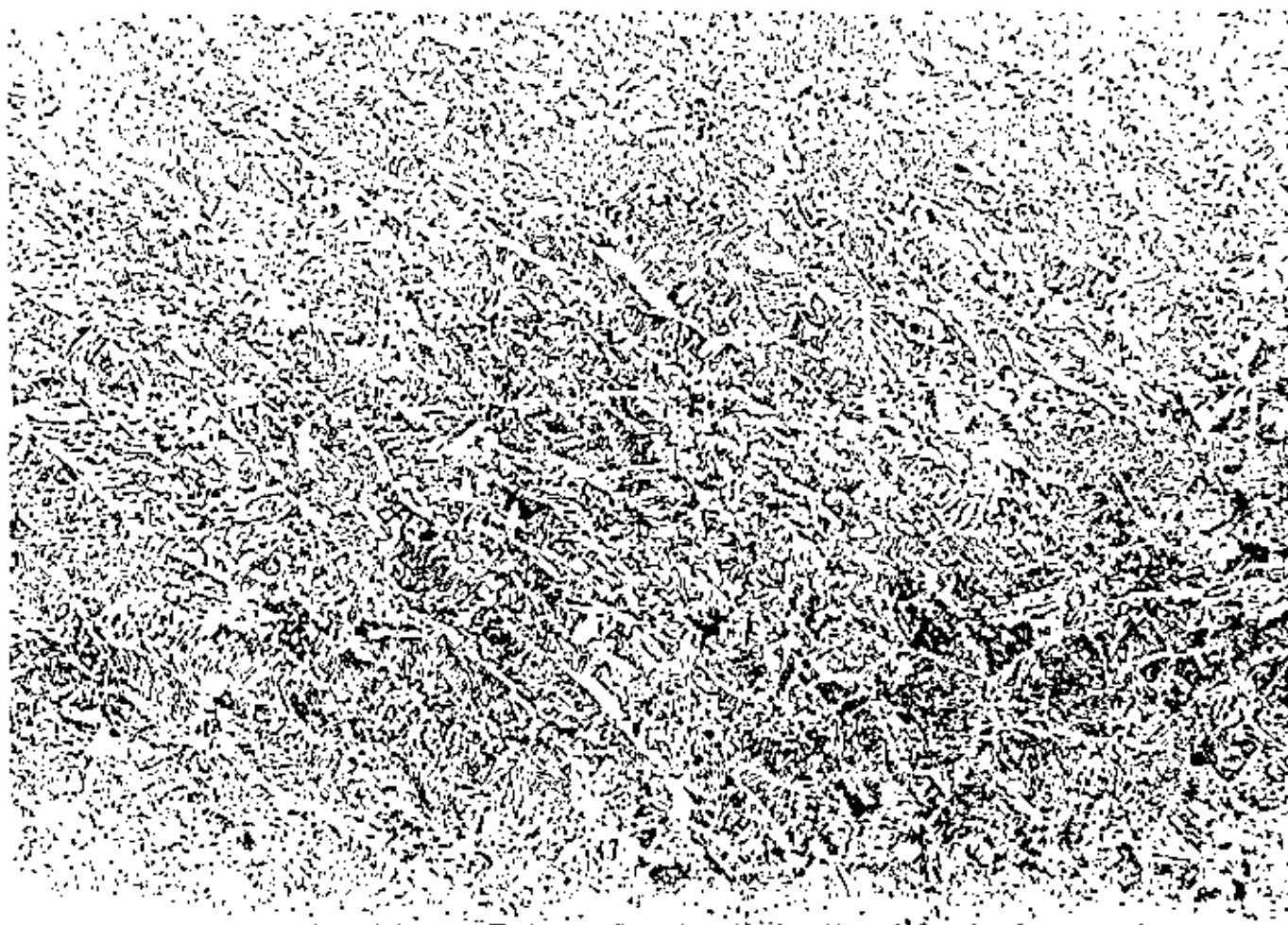
4.4 Soldadura con zonas afectadas por el calor

La foto 13 muestra el material de aporte con su solidificación dirigida clásica. En la esquina se nota una zona con estructura Widmannstaetten de ferrita acicular en el acero 1035 de la tapa.

Foto 13

Ataque nital

170 x



La secuencia foto 13 representa la soldadura, con el cilindro de acero 1010 a la izquierda y la tapa de acero 1035 a la derecha. Se observan las clásicas estructuras de transición.

Detalles de las microestructuras en las zonas de transición :
Foto 14 : estructura Widmannstaetten de ferrita acicular en el
acero de la tapa (1035).

Foto 14 .

Ataque Nital

170 x

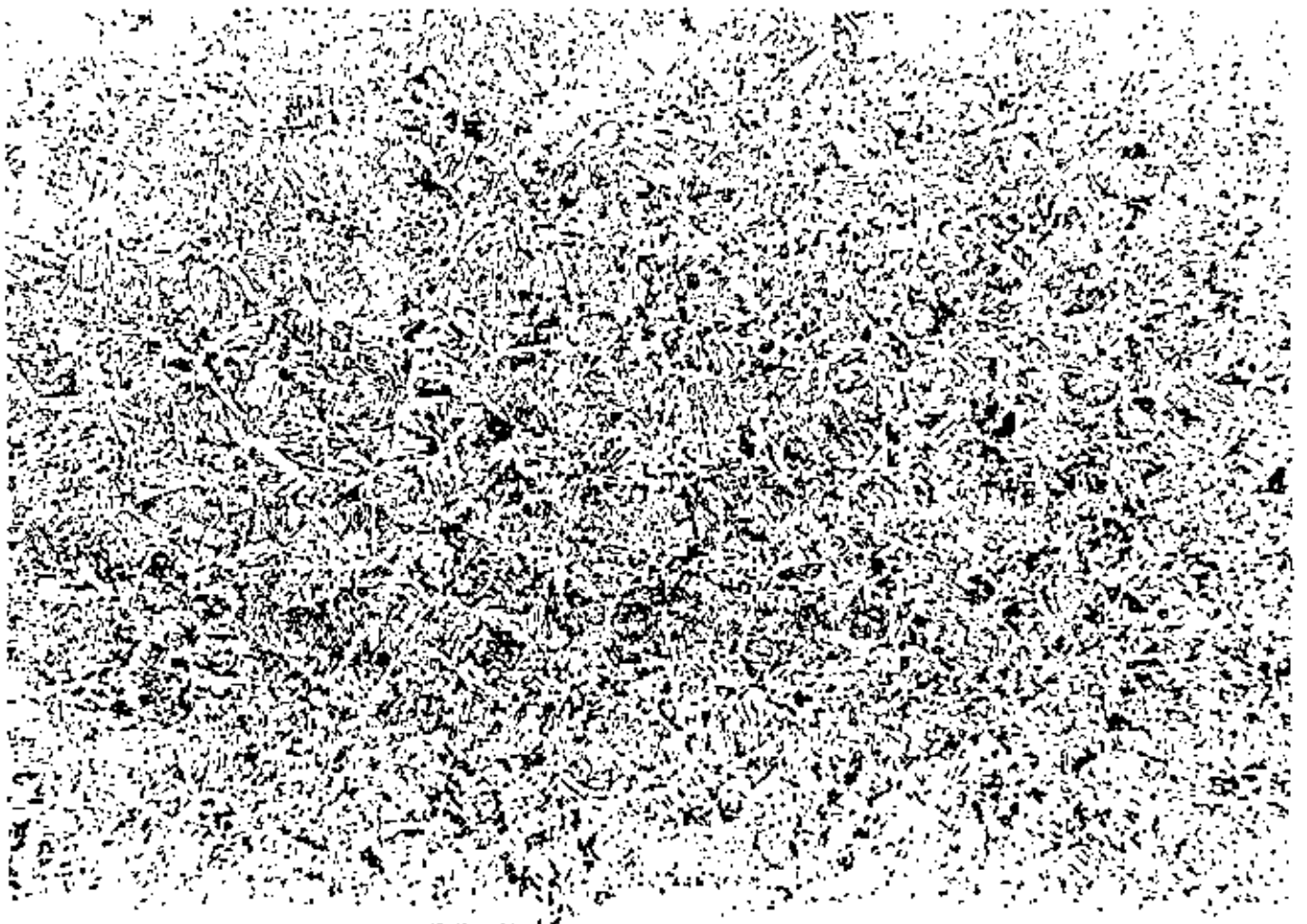


Foto 15 : detalle de la estructura de la micrografia anterior

Foto 15

Ataque nítal

340 x

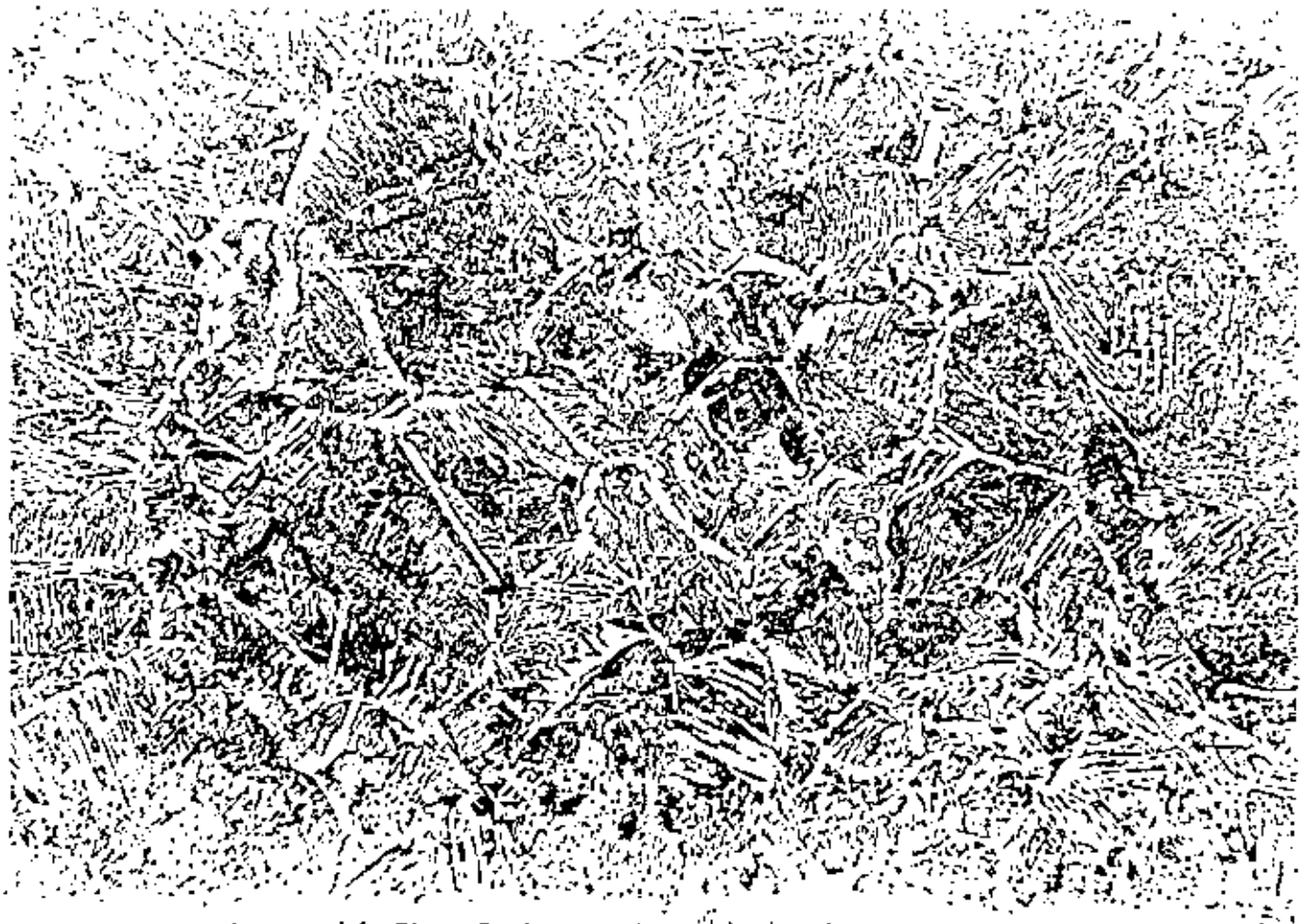


Foto 16 : Zona afectada por el calor en la cual la perlita se globulizó.

Foto 16

Ataque nital

170 x

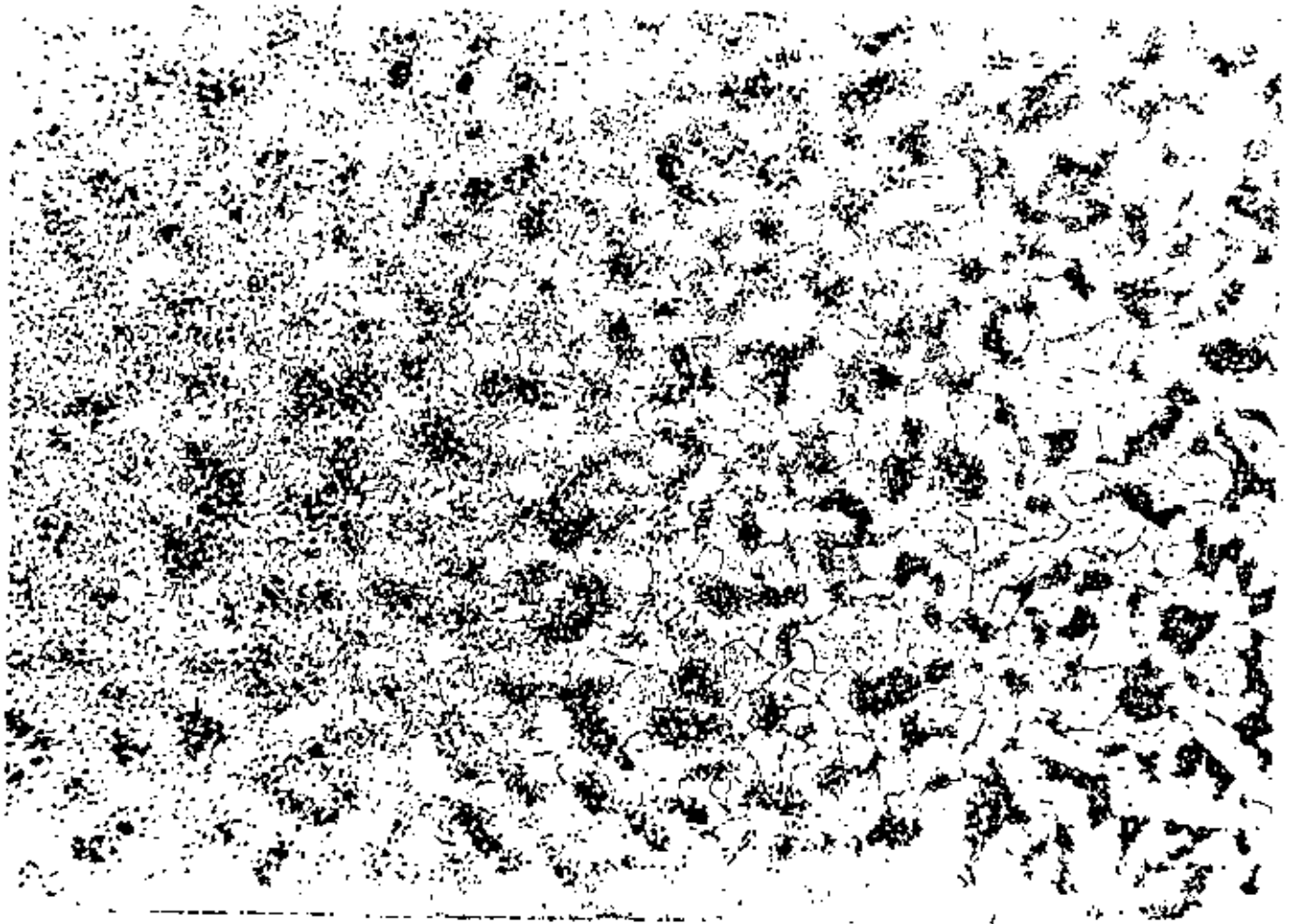
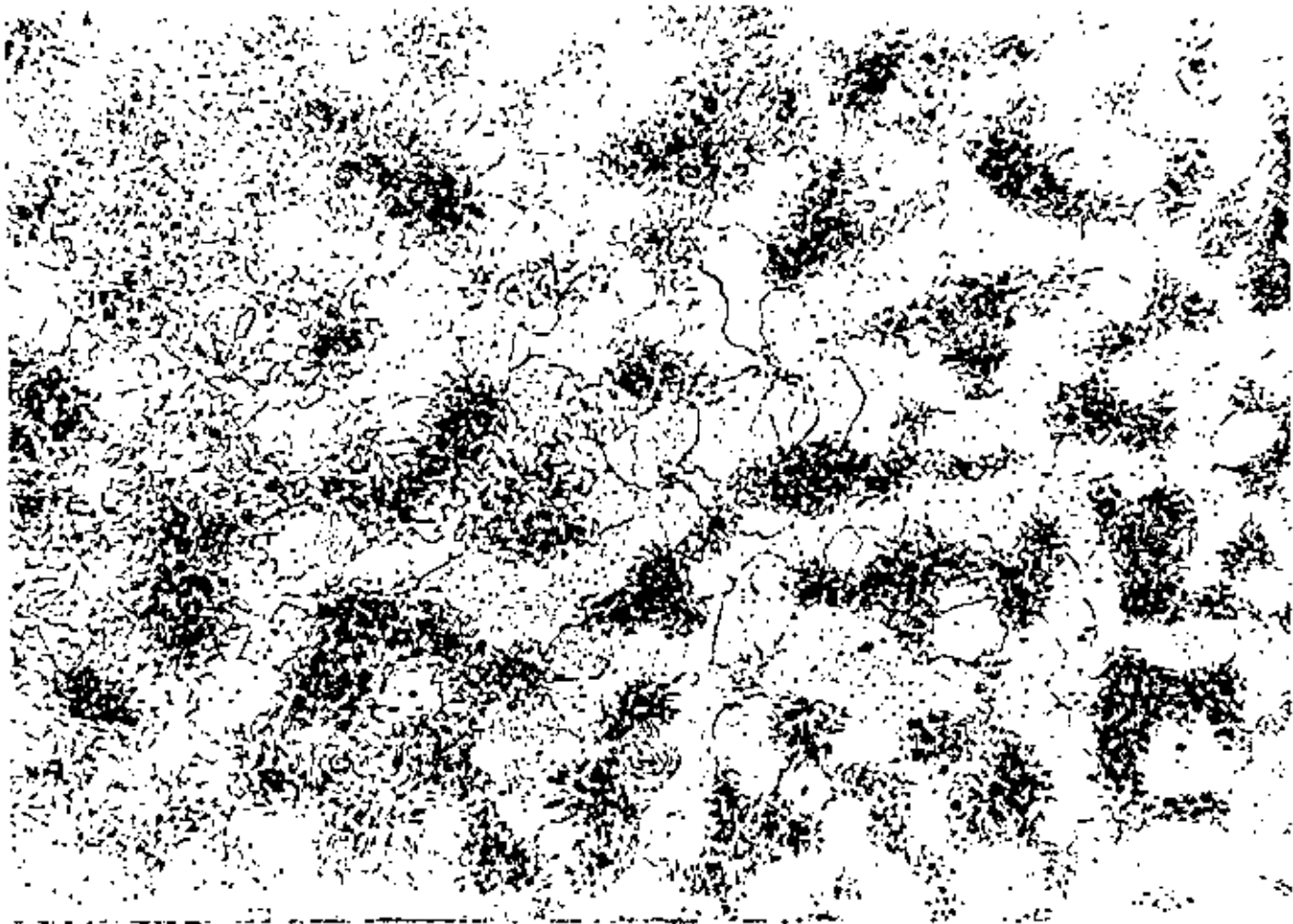


Foto 17 : detalle de la zona con perlita globulizada

Foto 17

Ataque nital

340 x



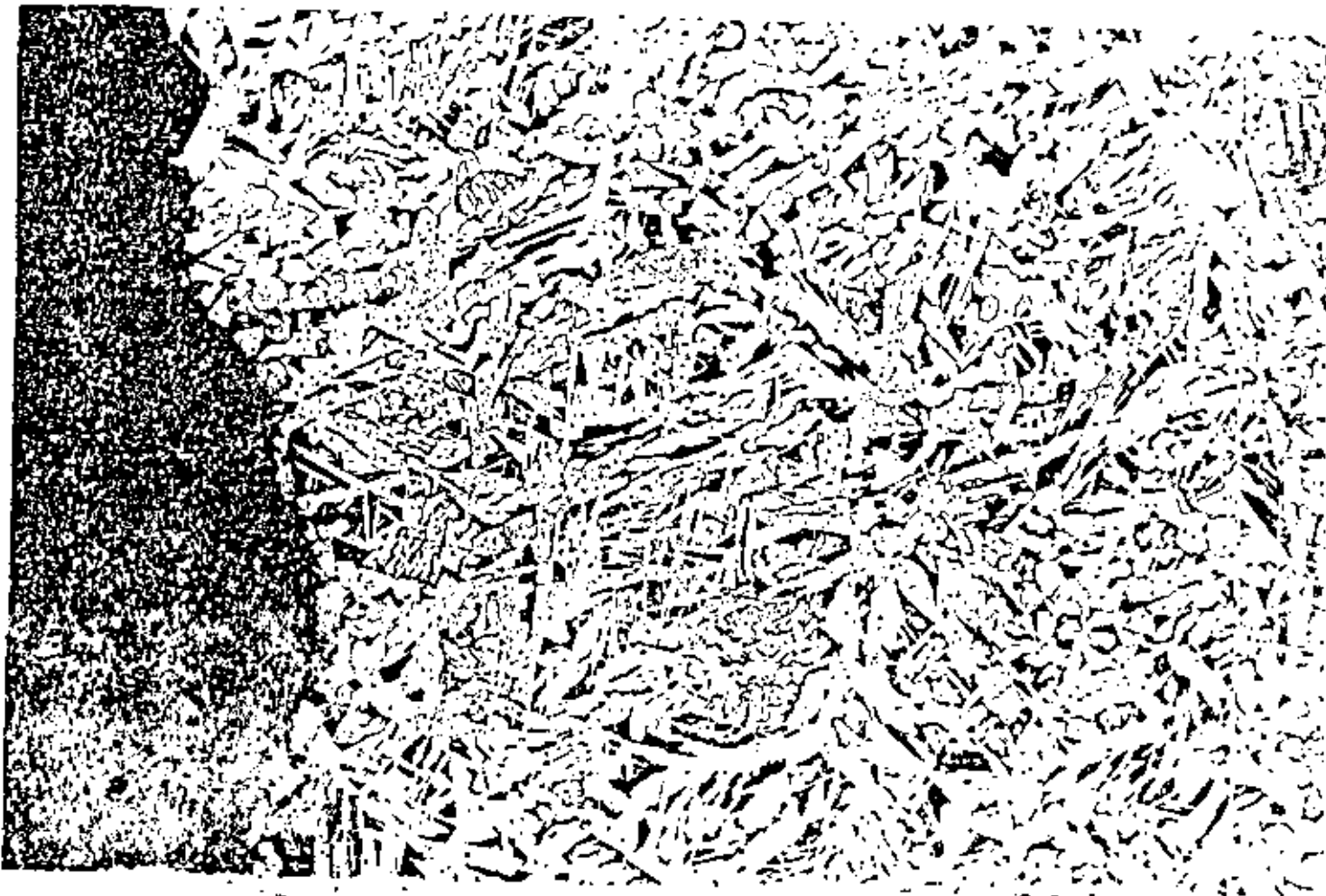
4.5 Estudio micrográfico del metal adyacente a la fractura

La serie de fotos 18 muestra una marcada presencia de estructura de ferrita acicular en la aleta de la tapa, provocado probablemente por un enfriamiento demasiado rápida después de la forja.

Foto 18

Ataque nital

85 x



La serie 19 presenta a la izquierda el aspecto micrográfico del material adyacente a la fractura en la tapa, la parte de la derecha corresponde a la parte inferior de la zona inferior roscada de la tapa. Hay que observar que sólo la zona fracturada presenta estructura de ferrita acicular.

Foto 19

Ataque nital

85 x

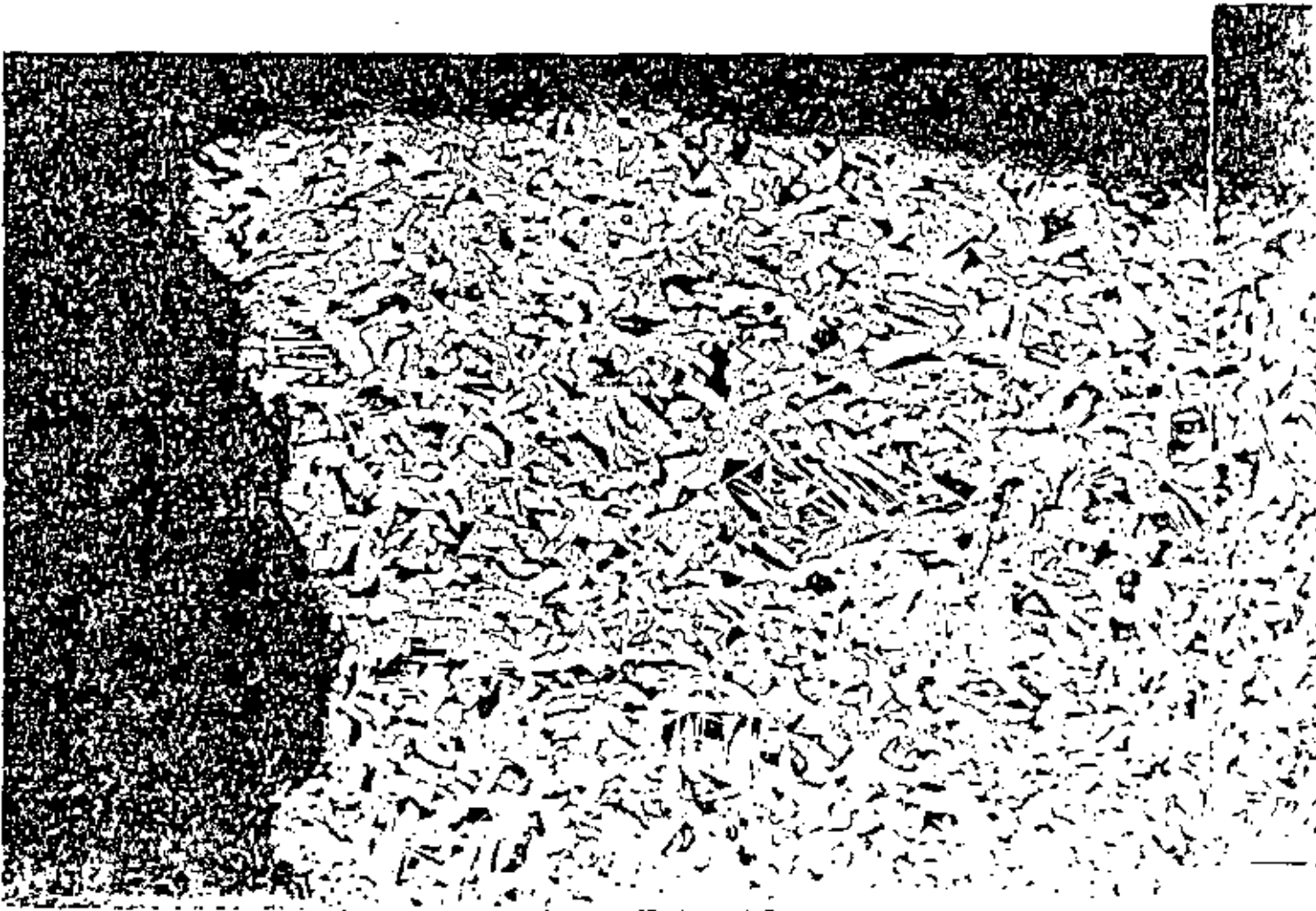


La foto 20 representa la cercanía de la fractura en la parte del cilindro. También en esta muestra se aprecia la presencia de ferrita acicular.

Foto 20

Ataque nital

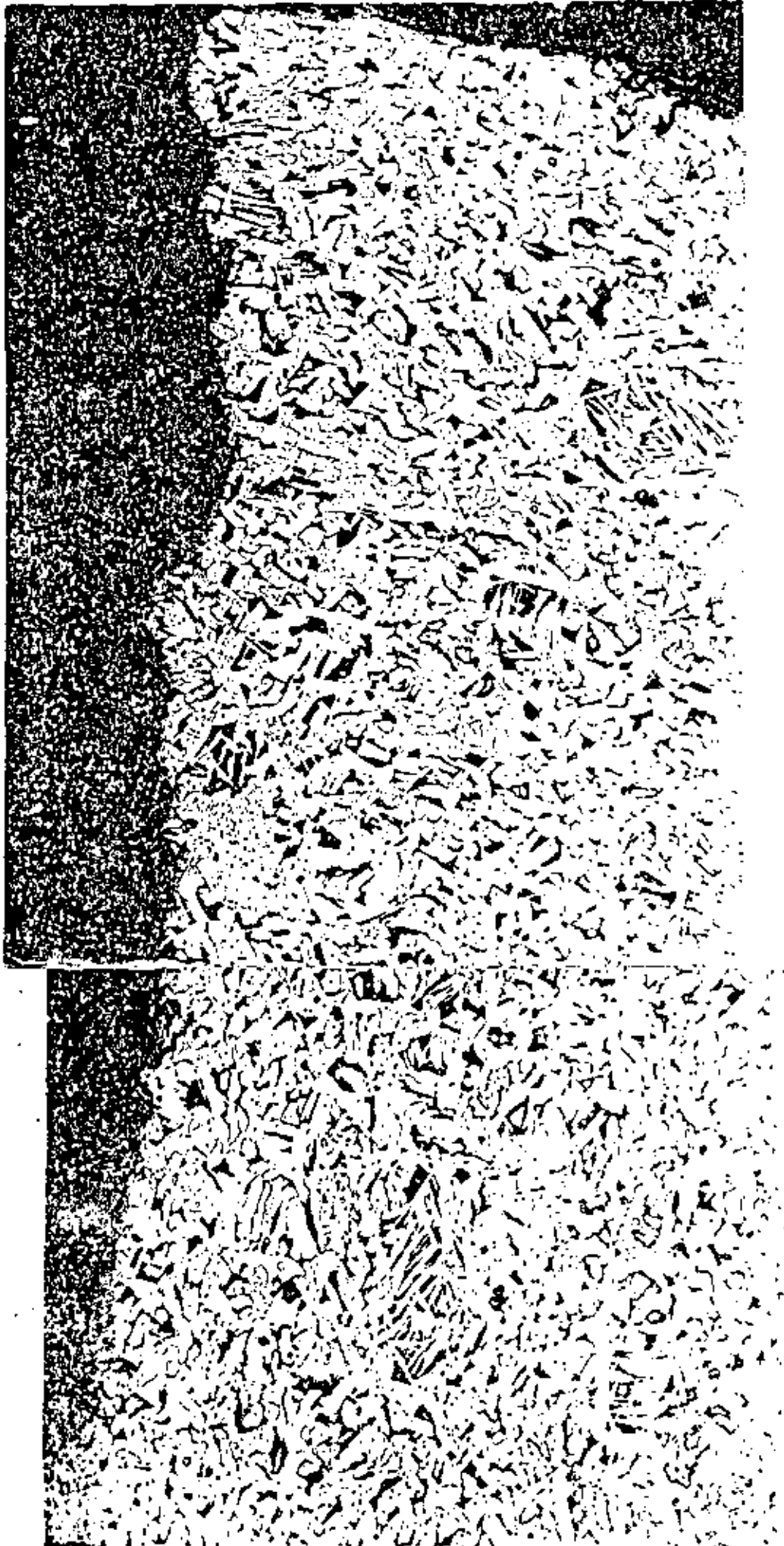
85 x

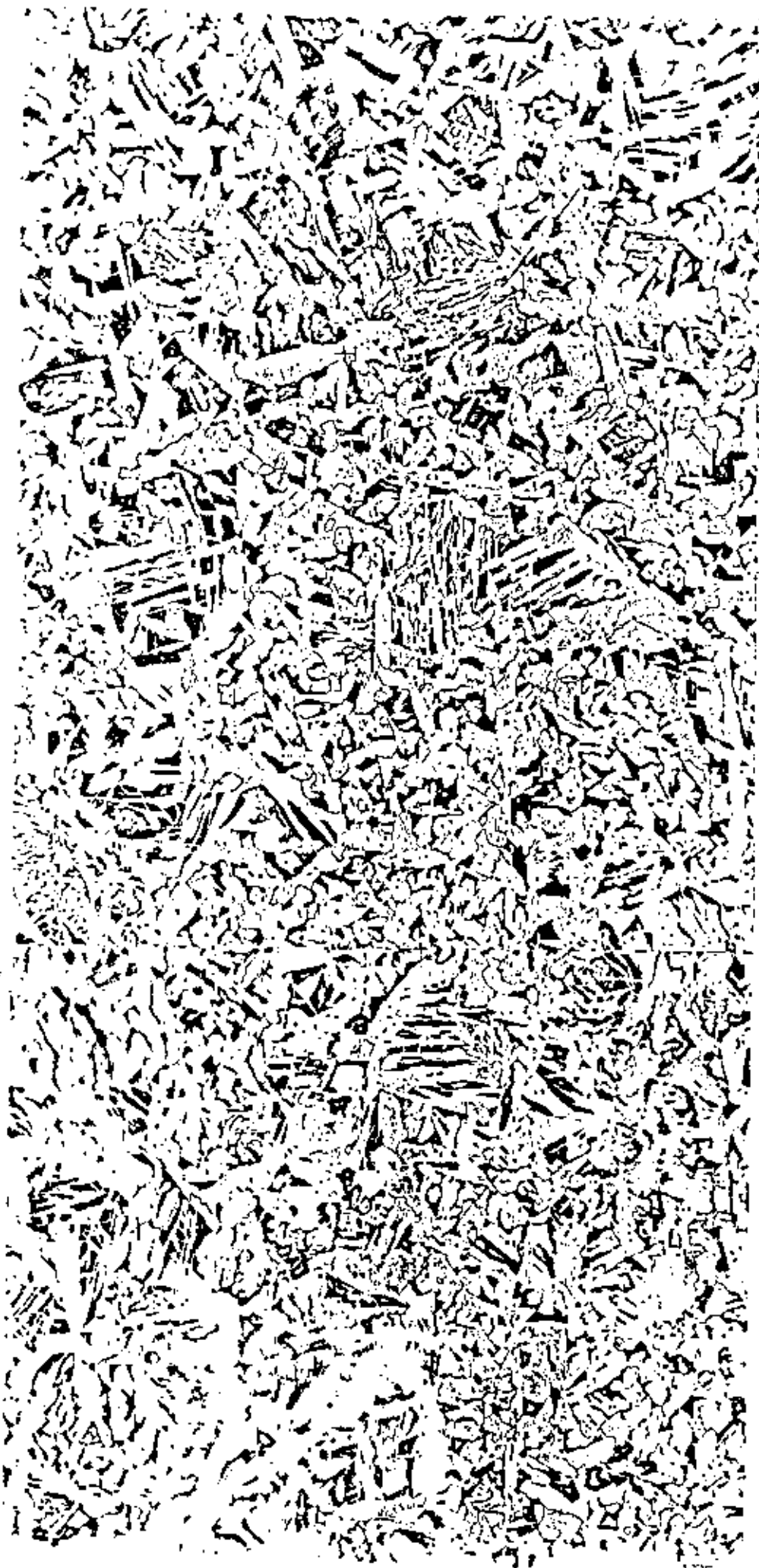


57-20

85 x

nitral



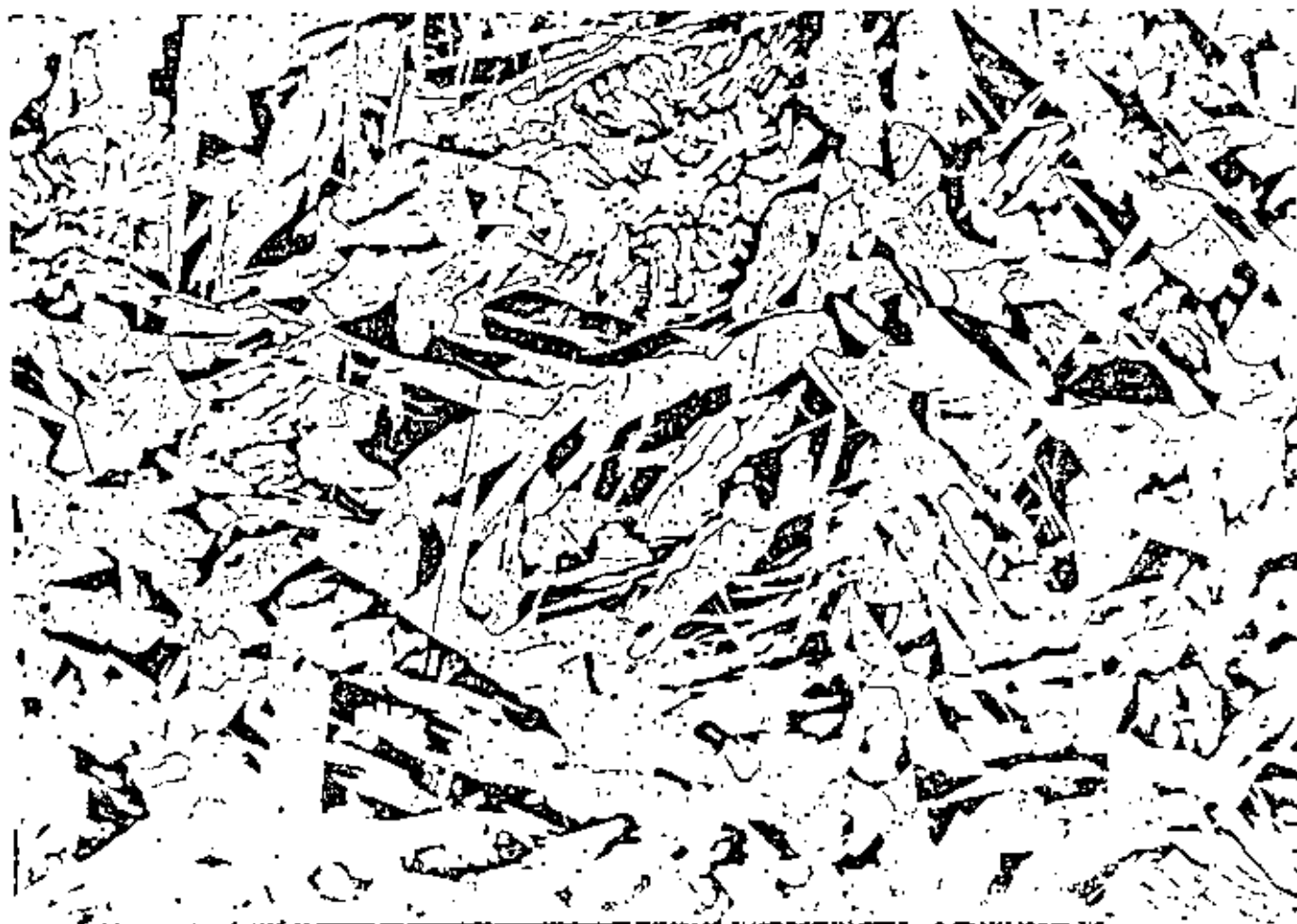


La foto 21 muestra un detalle de la estructura de ferrita acicular observada en la cercanía de la fractura.

Foto 21

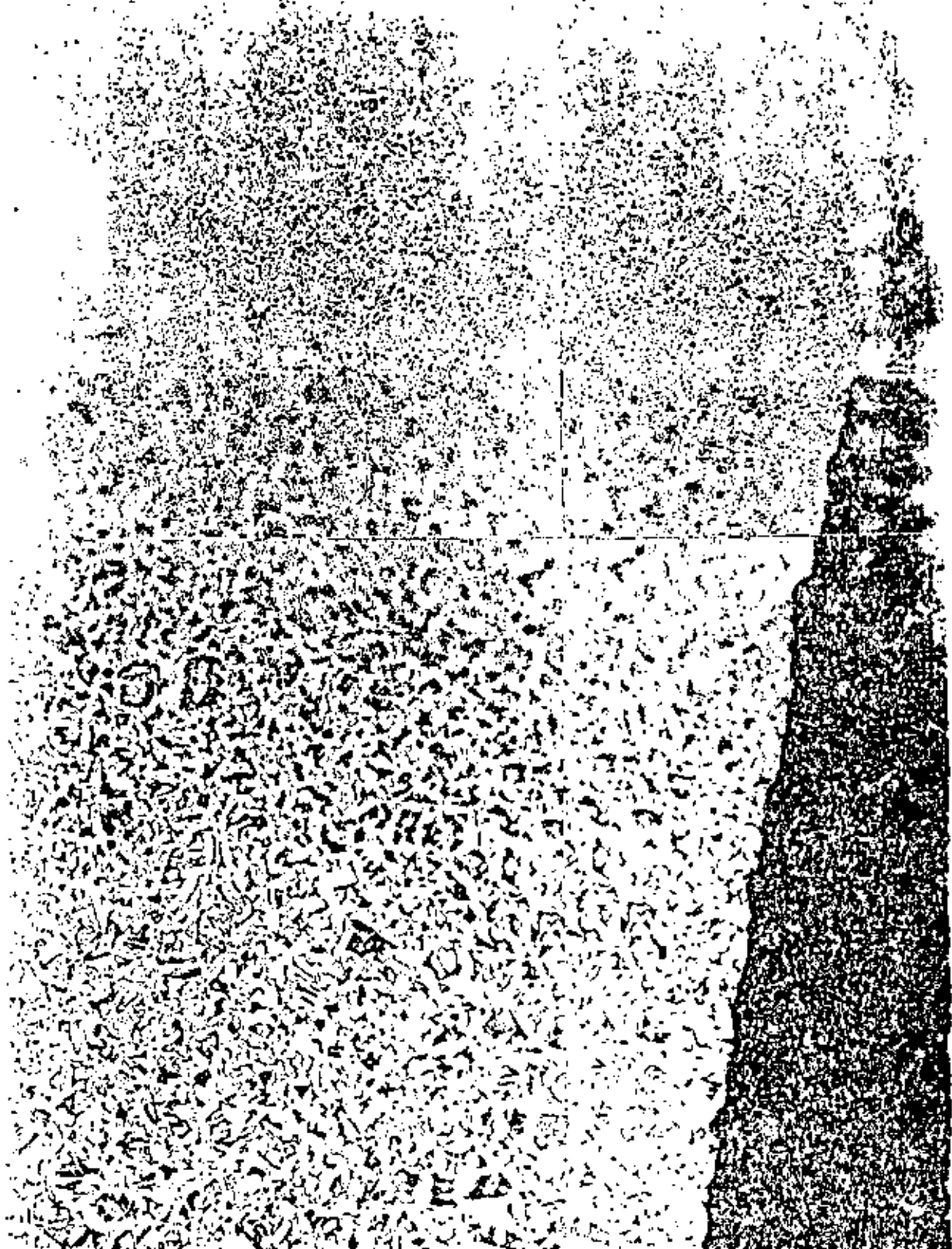
Ataque nital

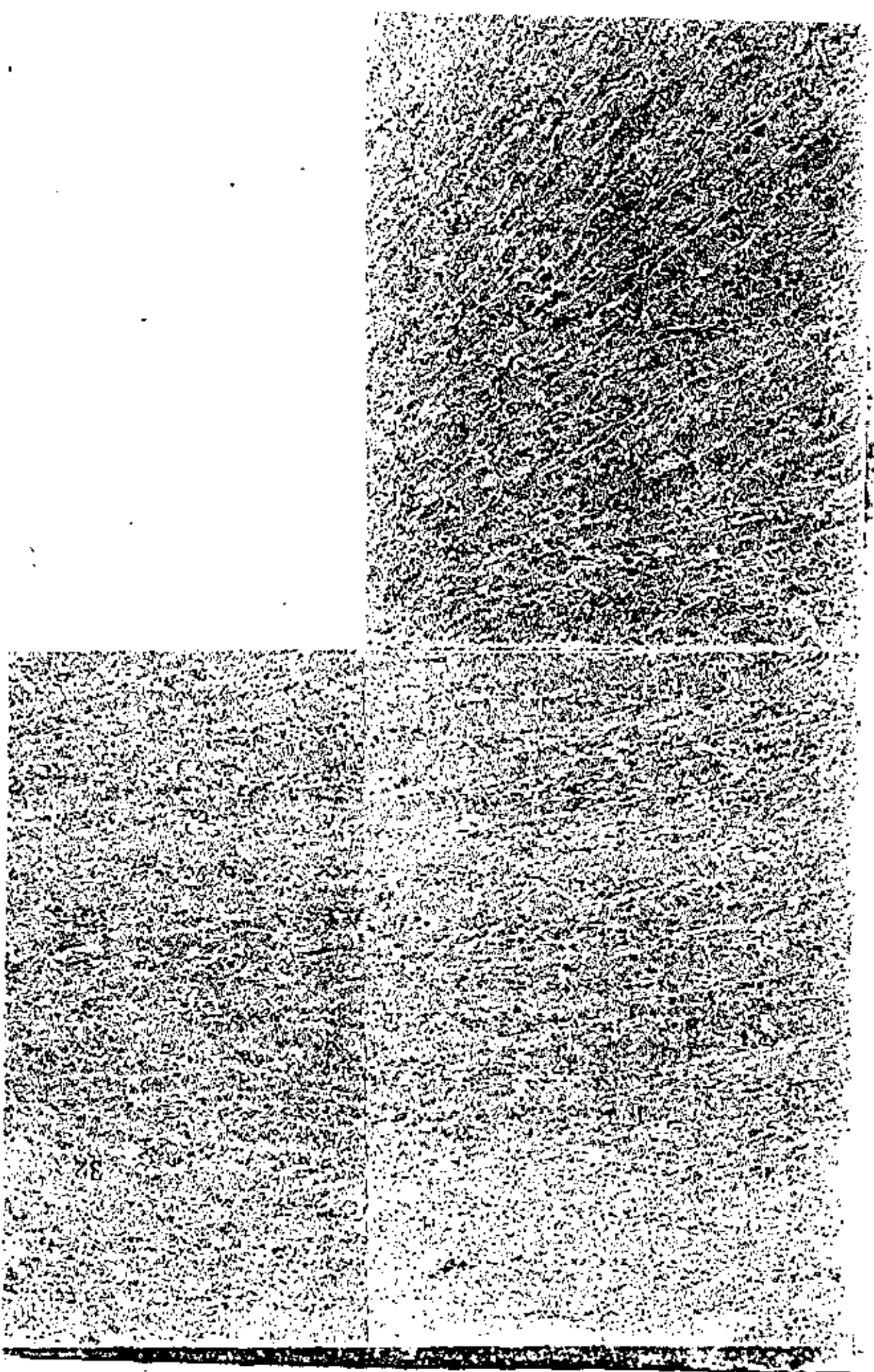
170 x

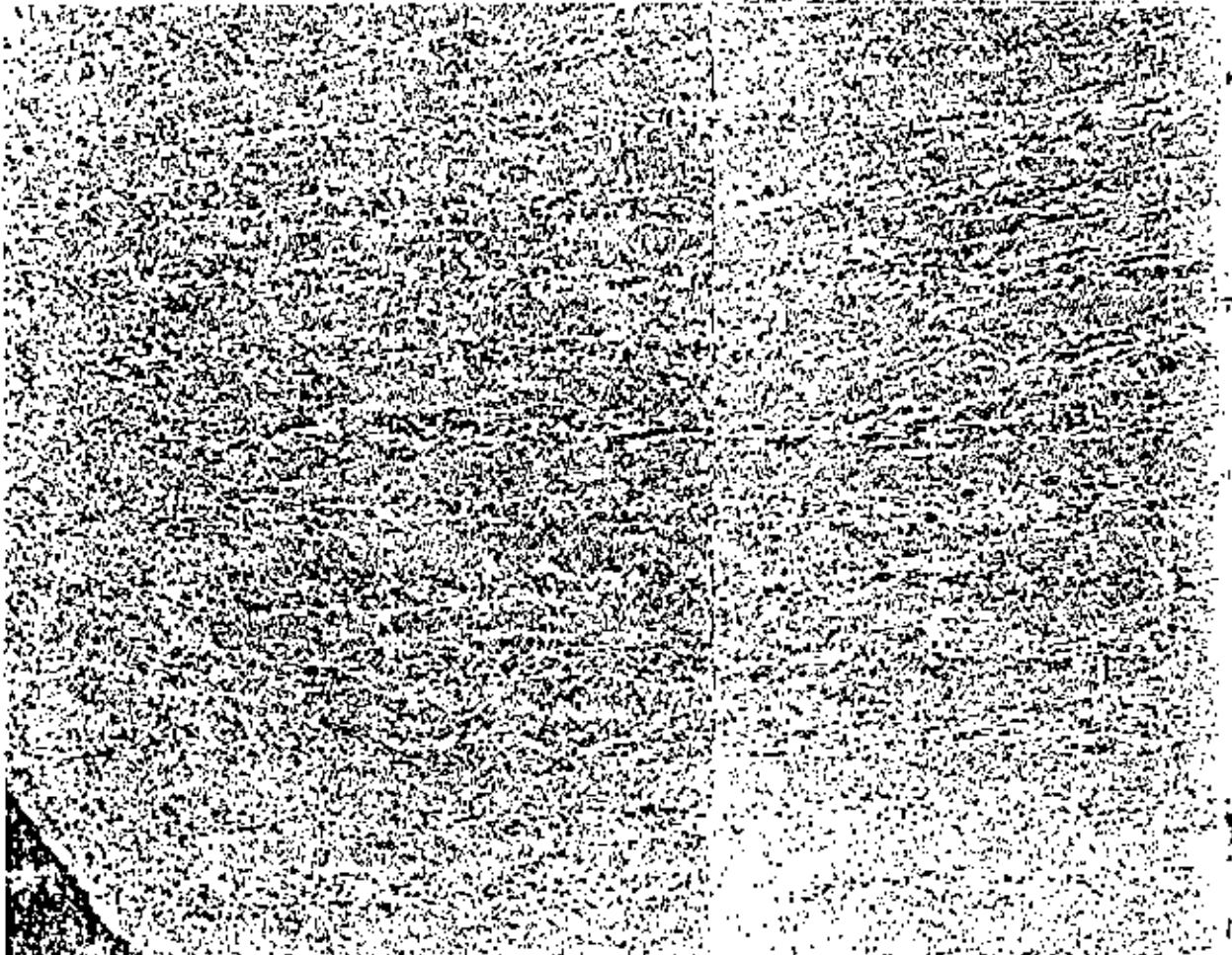


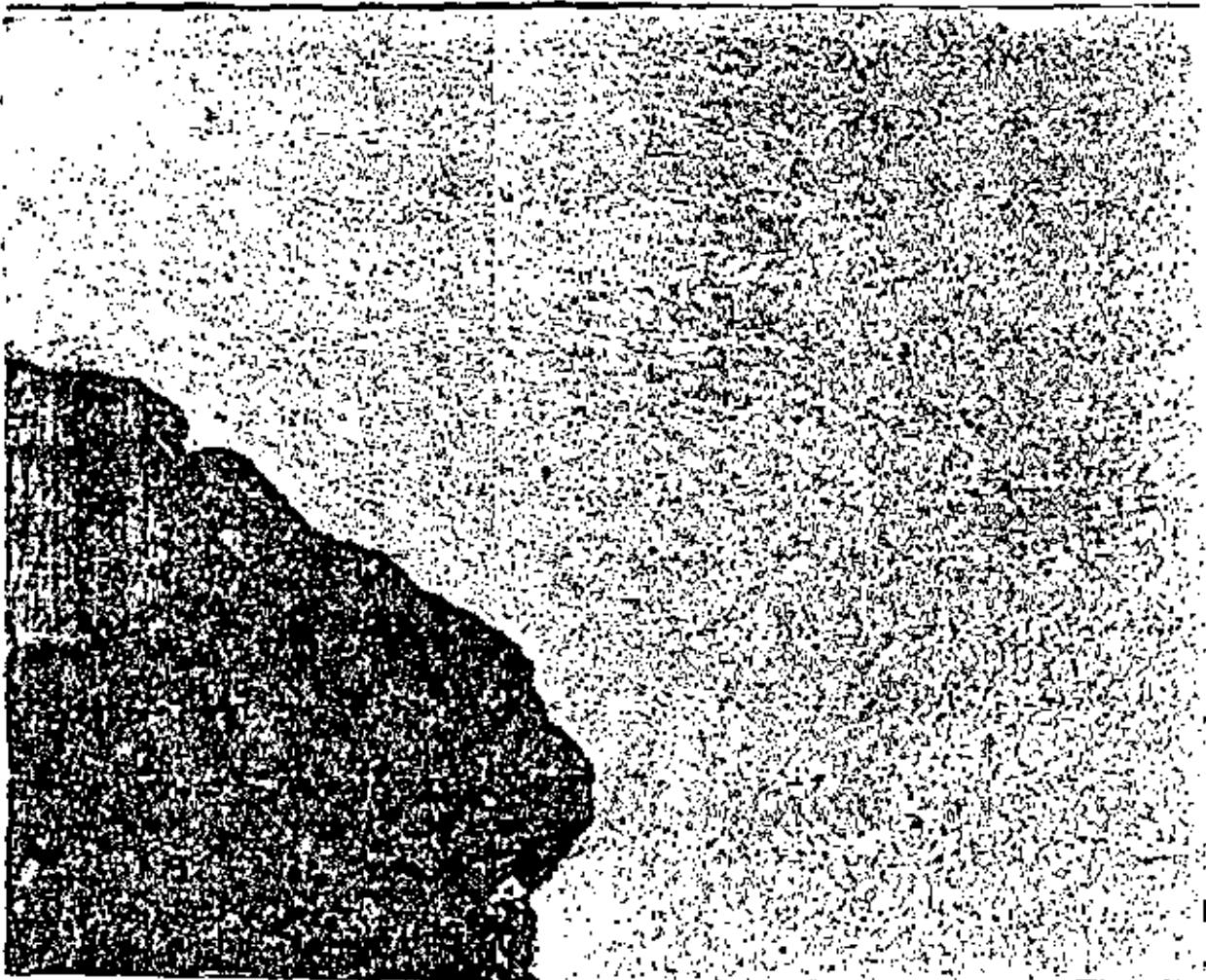




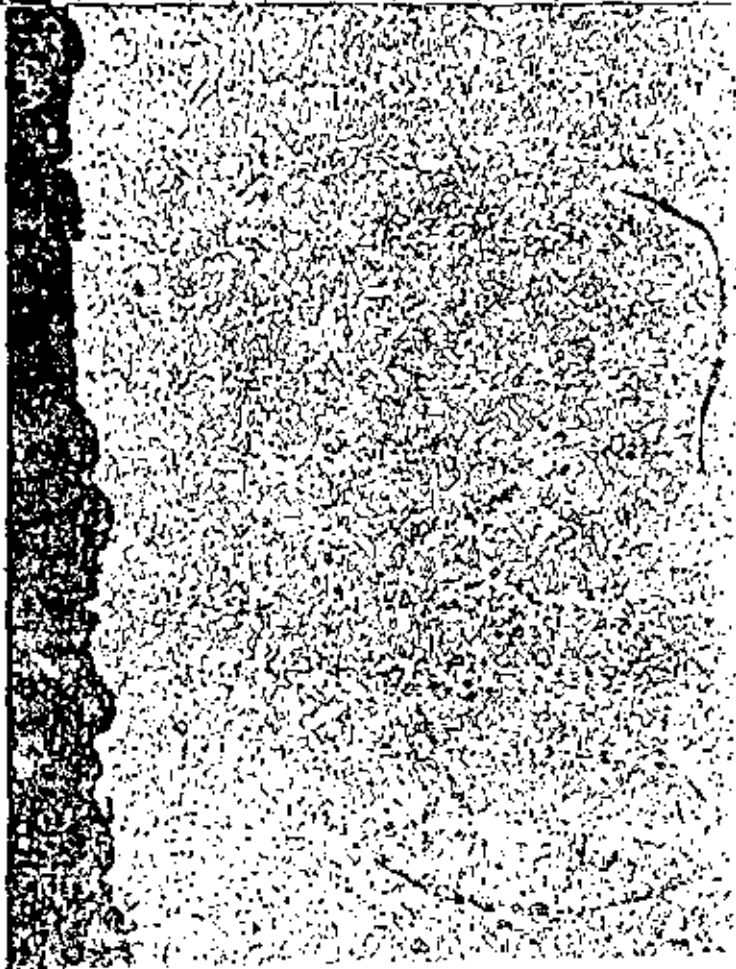








34



6. Conclusiones :

Del estudio efectuado se concluye que :

1. la fractura ocurrida no se debe al proceso de soldadura efectuado para fijar la tapa roscada sobre el cilindro. Esta conclusión se apoya en las siguientes observaciones :
 - a. la fractura ocurrió en el acero 1035, a distancia de la zona afectada por el calor que ya no tiene influencia del proceso térmico efectuado
 - b. el metal del cilindro 1010 sólo experimentó un liger afinó de grano en la zona afectada por el calor
 - c. el metal de la tapa 1035 experimentó una serie de transformaciones metalúrgicas, las cuales llevan a un endurecimiento y fragilización de este material de baja soldabilidad. Sin embargo, la fractura no ocurrió en esta zona fragilizada.
2. la fractura ocurrió en la unión entre la aleta y el cuerpo de la tapa porta-válvula, zona que presenta una estructura Widmannstaetten de ferrita acicular, de alta fragilidad
3. la estructura de ferrita acicular en la aleta de la tapa se debe a un enfriamiento excesivamente rápido después del proceso de forja, principalmente por la sección reducida de la mencionada aleta
4. hubo presencia de concentración de esfuerzos en la zona de fractura debido a radio de maquinado en la parte inferior de la zona roscada excesivamente agudo. La fractura ocurrida posiblemente se realizó en varias etapas debido a golpes sobre la válvula, de acuerdo a los diferentes grados de oxidación observados sobre la superficie fracturada.





DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

DETECCION DE LA CALIDAD

DE UN ESPARRAGO





BOMETE METAL - FERRACARIO S.A.S.

1

ANALISIS QUIMICO:

Resultados obtenidos:

| | |
|----------------------|--------------------|
| C = 0.11 % | (0.15 %)* |
| S = 0.29 % | (0.03 %)* |
| Cr = 12.55 - 12.59 % | (11.50 - 13.50 %)* |

Resultado:

- Carbono: algo bajo.
- Azufre: excesivo (diez veces mayor que el permitido)
- Cromo: correcto

* Las cantidades ebtre paréntesis son las correspondientes según la norma A479 de la ASTM.

DUREZA:

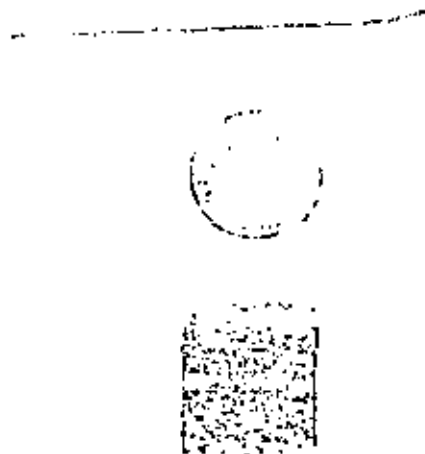
- 1.-Durezas pedidas: 26-34 Rc
- 2.-Durezas tomadas (alrededor del birlo):
44, 44.5, 44.5, 44, 44, Rc
- 3.-Durezas tomadas (en el núcleo):
21, 23, 25, Rc
- 4.-Se observa una neya diferencia de dureza entre el núcleo y la periferia. Las durezas del núcleo son levemente inferiores, mientras que en la periferia la dureza es muy superior a la dureza máxima establecida.

B MET
B MEC

BURETE METAL-MECHANICO S.A.

3

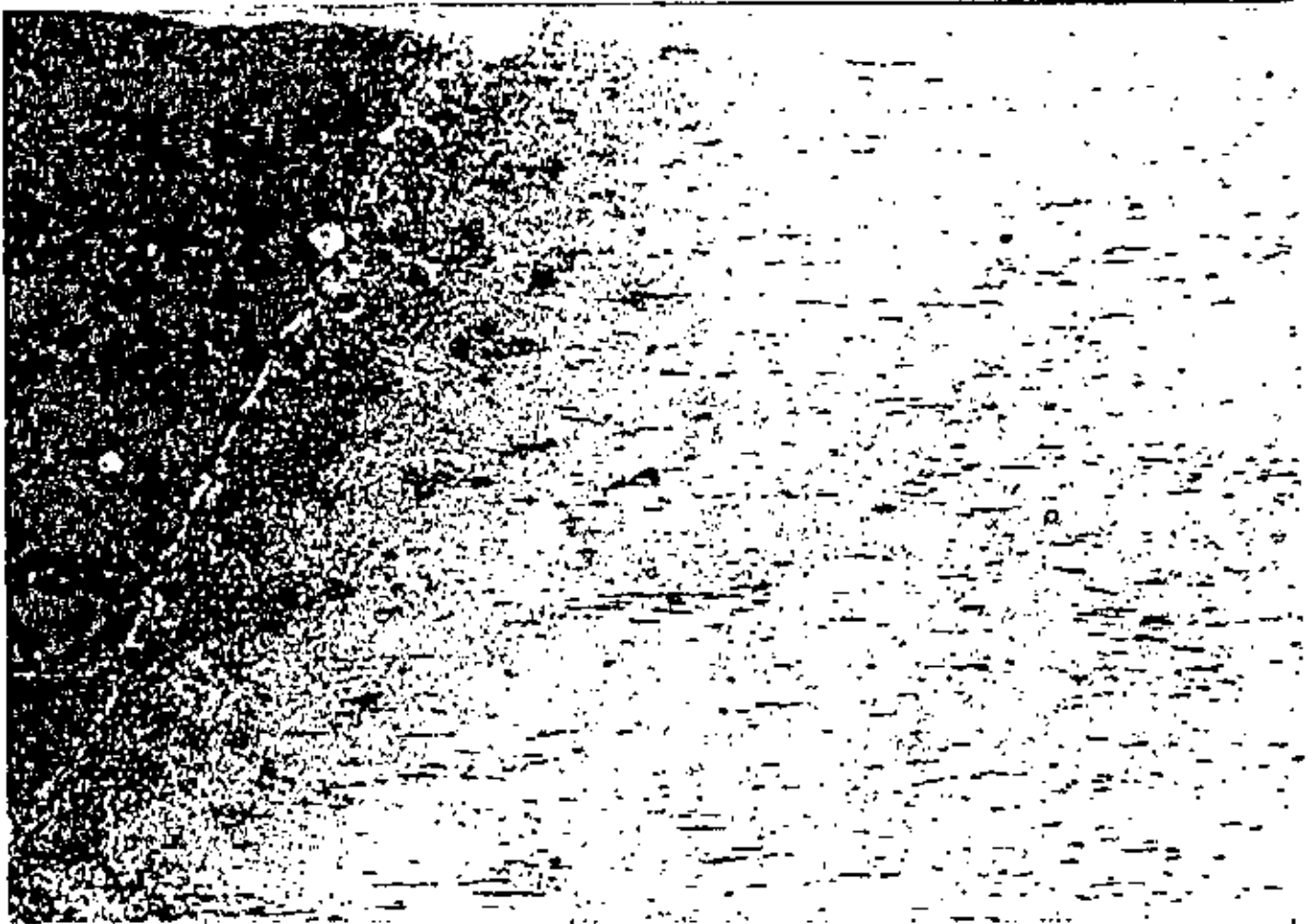
DISTRIBUCION DEL AZUFRE:



Se observan:

Concentraciones de azufre con distribución no uniforme.

BAUMANN

INCLUSIONES:

Abundantes inclusiones que corresponden a la serie gruesa nivel 4 a 5 tipo A de la escala JK.

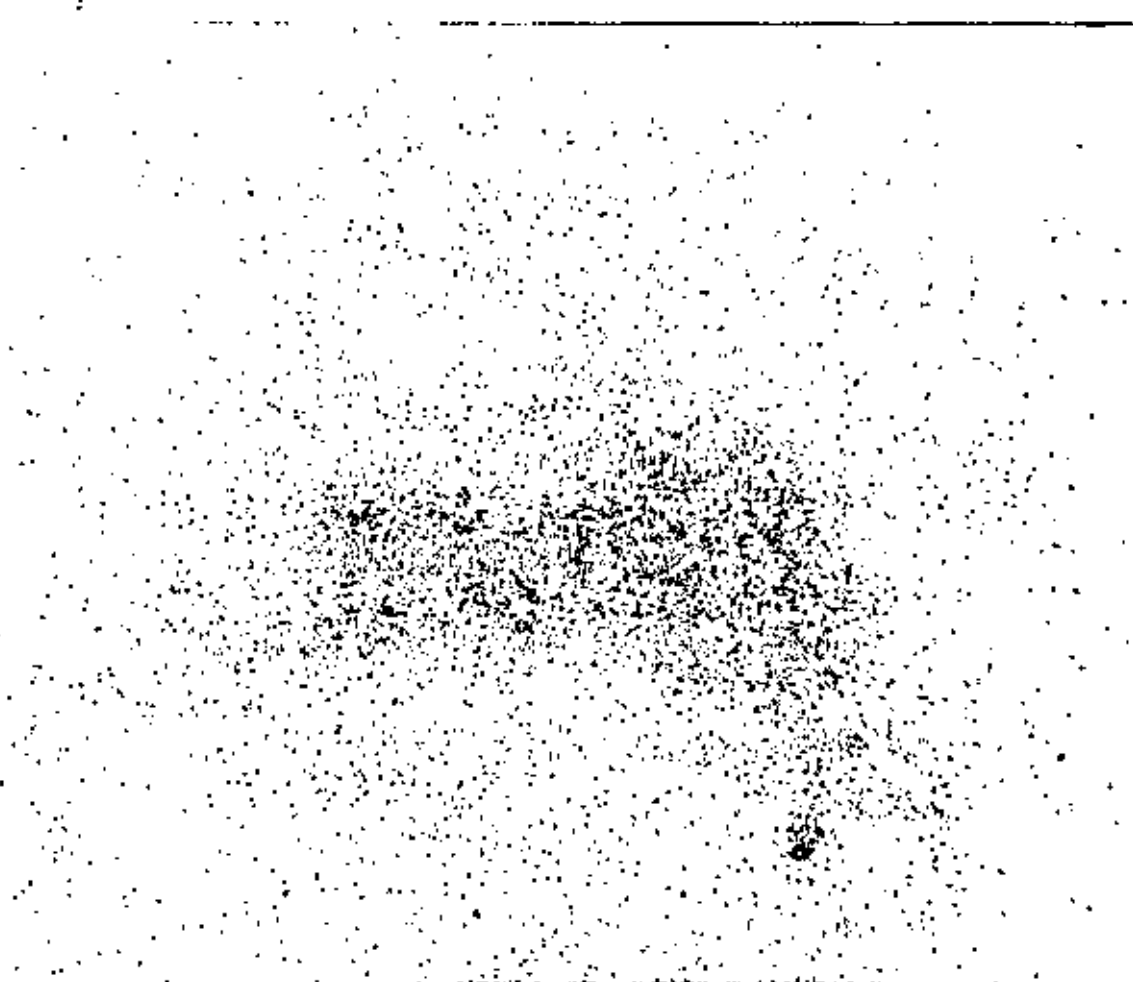
B MET
B MEC

5

8106

Quinta
Fuerza

BUSSE METAL MECANICO S.R.



B MET
B MEC

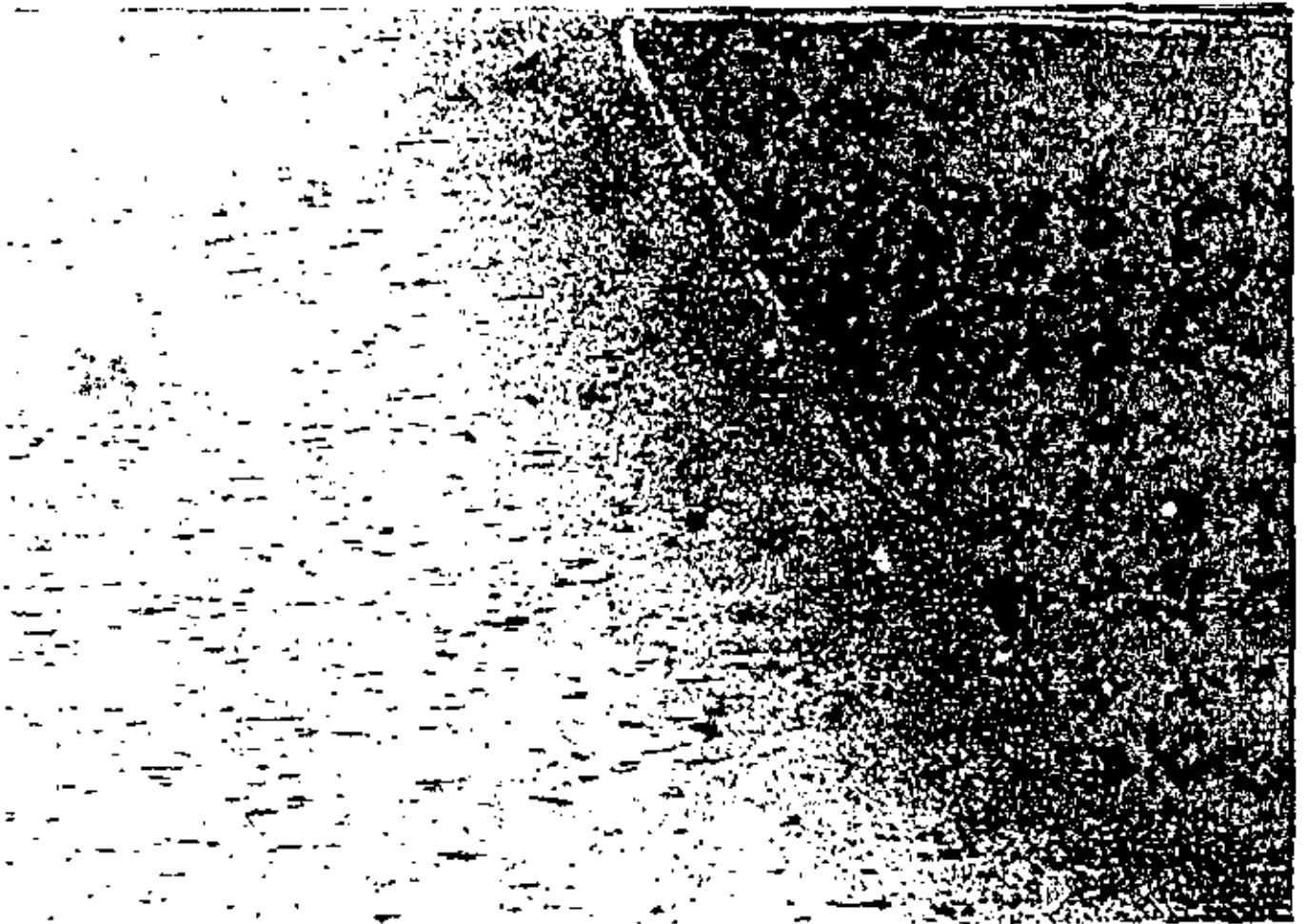
BUSQUETE METAL-MECANICO S.R.L.



B MET
B MEC

7

BOULEVE METAL-MECHANICO S.R.L.



B MET
B MEC

MUSEYO METAL - MECANICO S.C.

8



CEMENTACION:

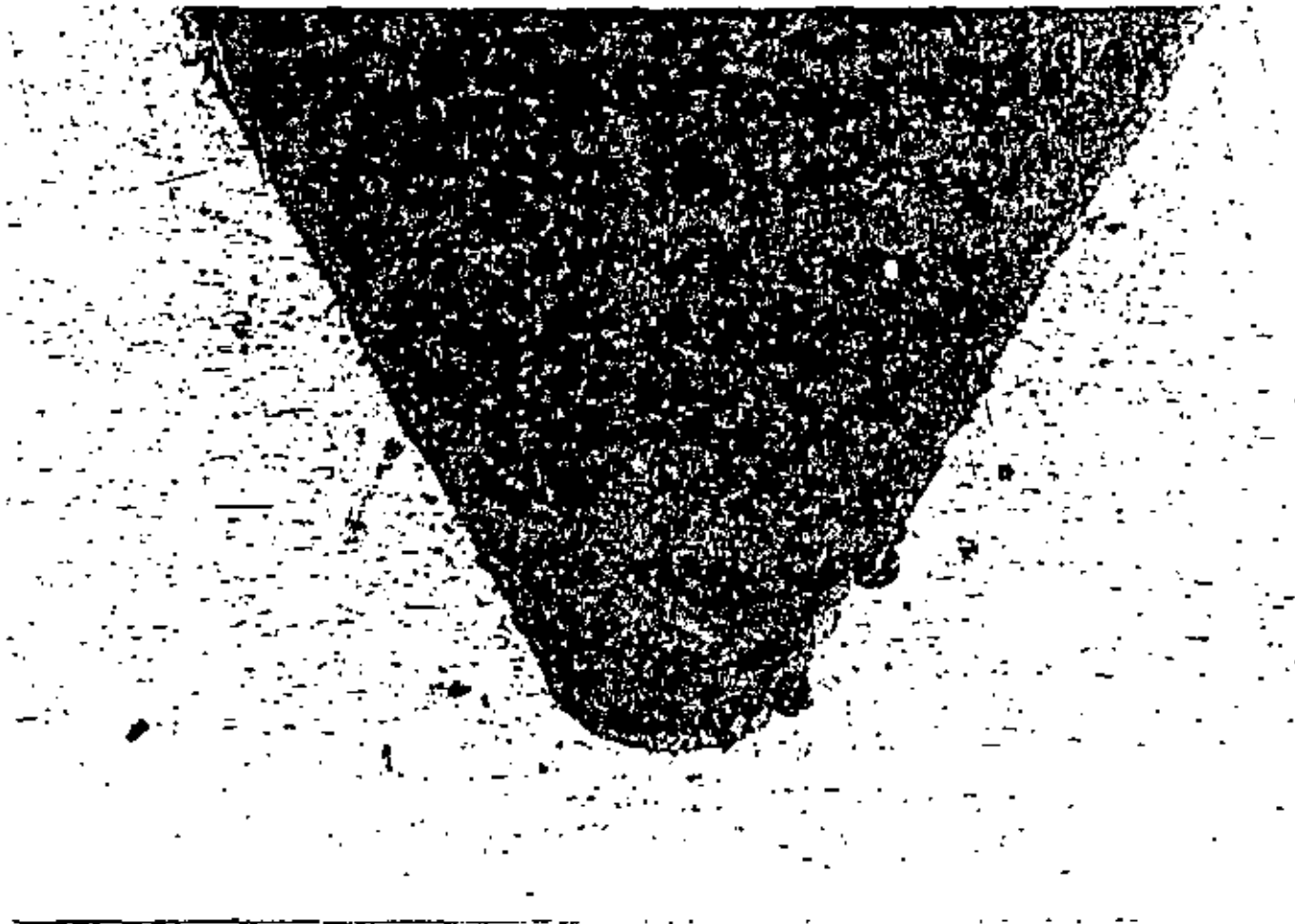
Presenta una cementación de 0.035mm de profundidad en toda la periferia, como puede observarse en las figuras.

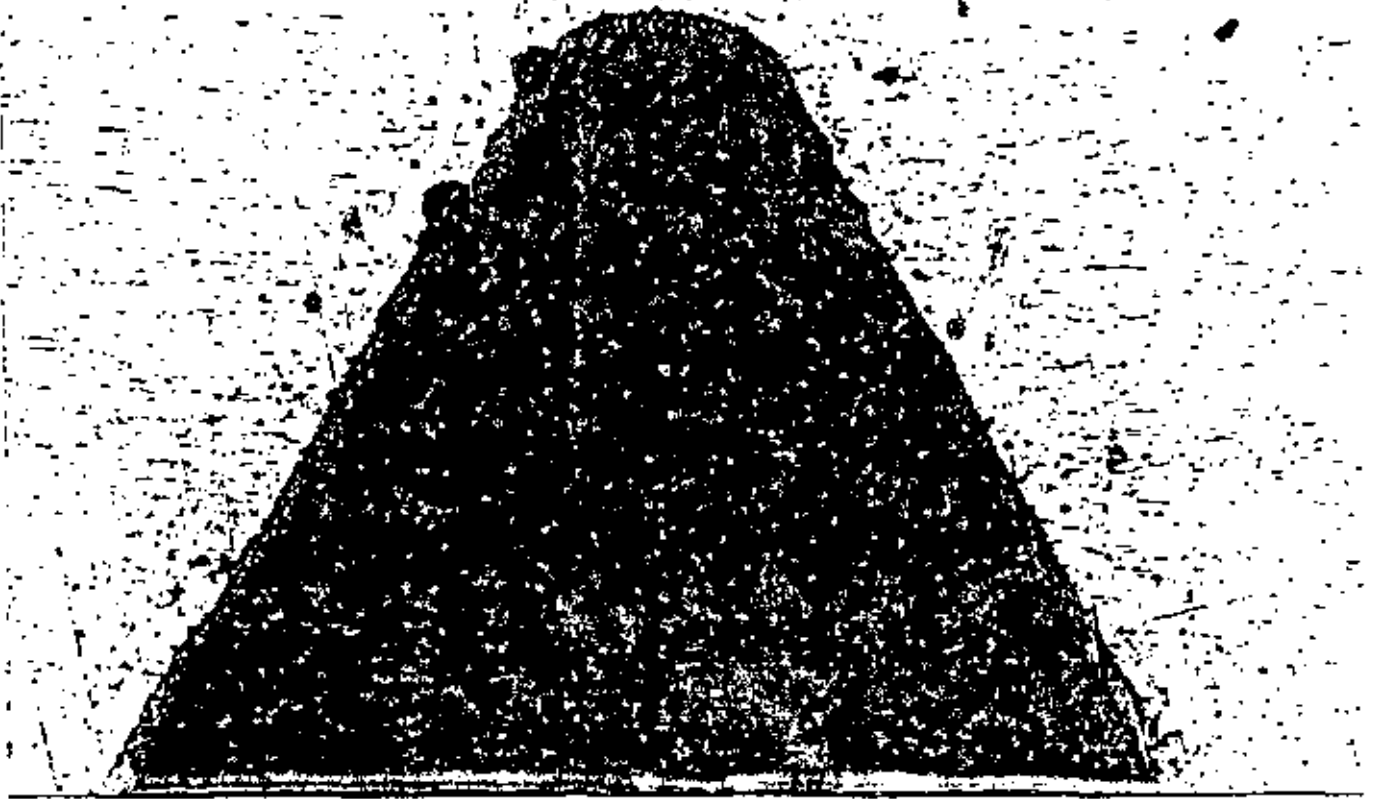


B MET
B MEC

10

BOFETE LEVAL - MECANICO S.C.



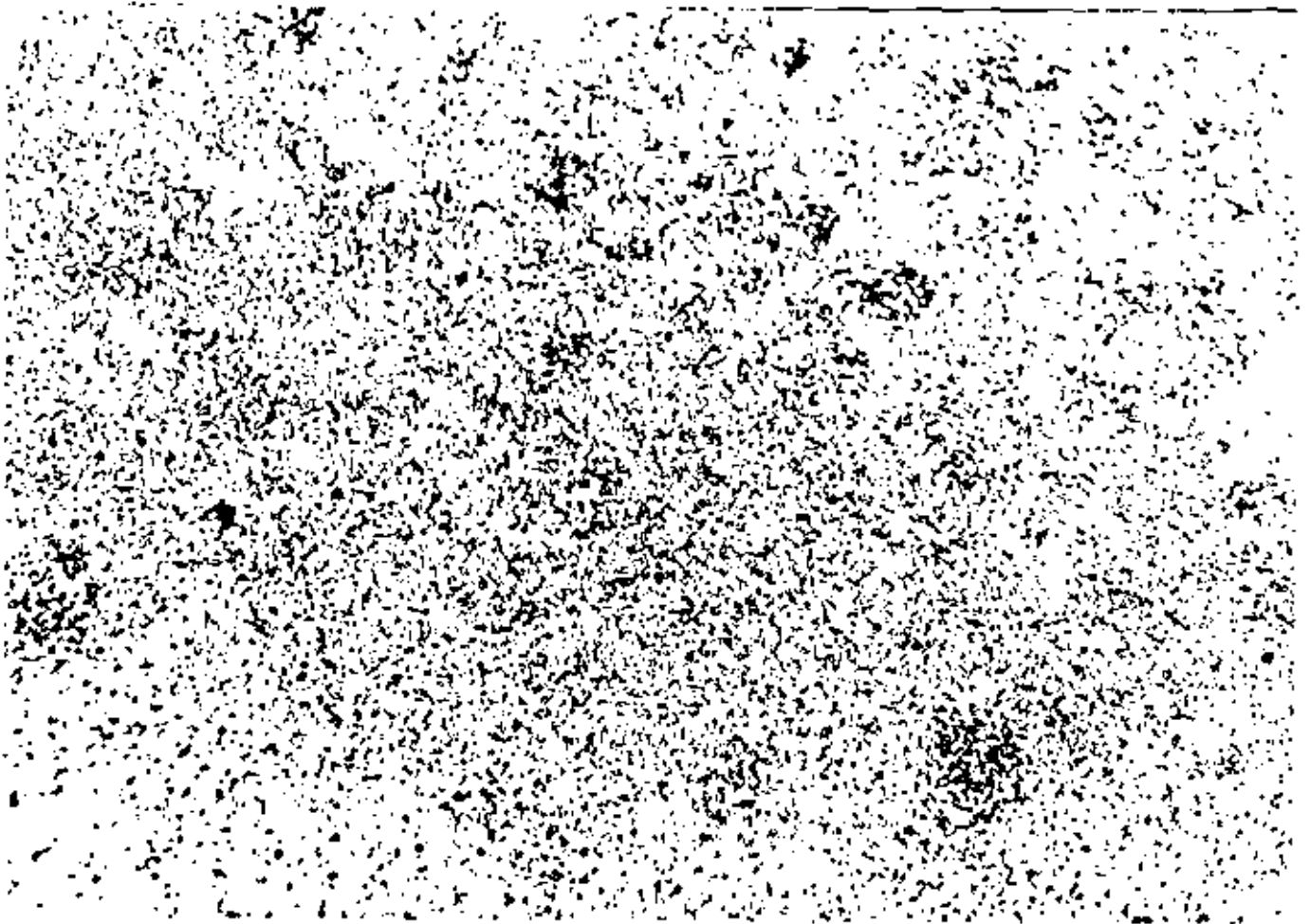


**B MET
B MEC**

BUFETE METAL - PEGANTICO S.R.L.

12

1000
1000
1000



1000

PERFIL DEL DIENTE:

De las observaciones , mediciones y cálculos se deduce que:

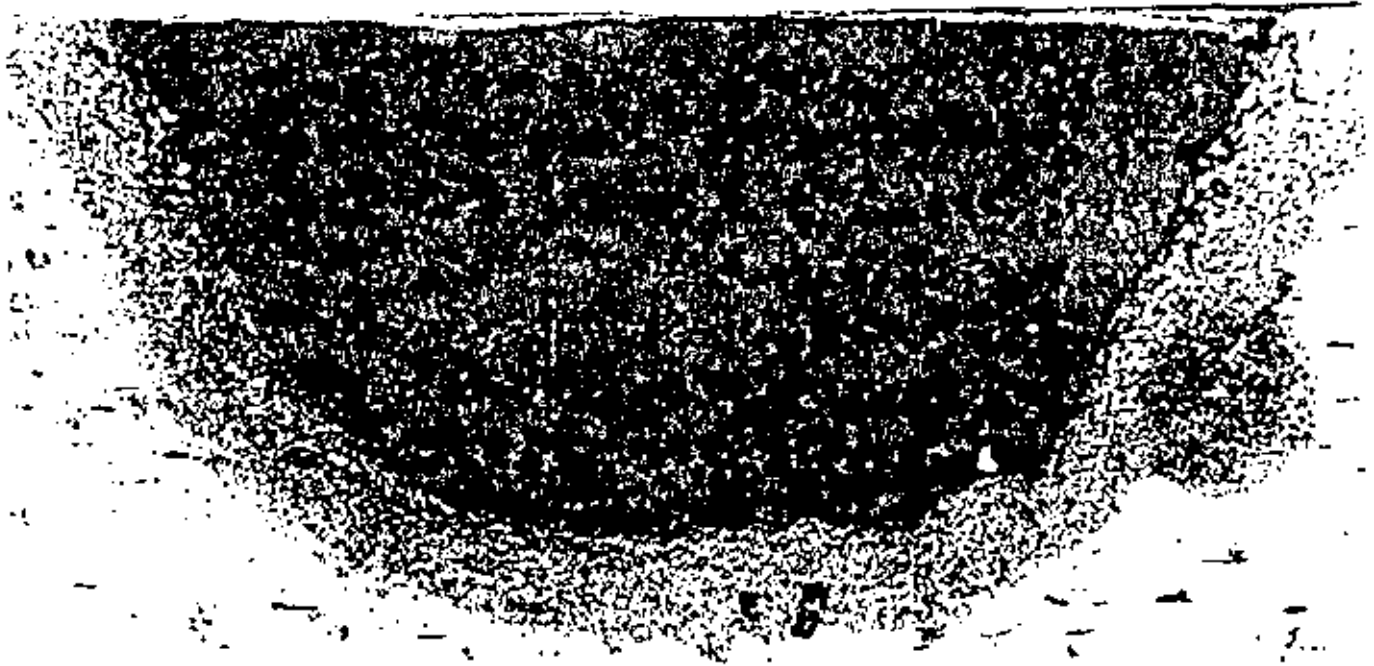
- 1.-Que la profundidad del diente es mayor que lo permitido por la norma.
- 2.-Que el ancho del fondo medido (0.223mm) es menor que el mínimo menor diámetro permisible (0.3mm).
- 3.-Que el ángulo (60°) es correcto-
- 4.-Que los flancos de los dientes y fondo de los mismos son excesivamente bastos y no están de acuerdo con las necesidades de la Clase 3 de la Rosca Americana Gruesa.

B MET
B MEC

BUFEYE METAL REFINING S.C.

14

36
low
10/10/11





BMET
BMEC

SOCIETE METAL-MECANICO S.C.

16

