

08.80.06

CNEA-NT- 2/80

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1980

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DIRECCION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
GERENCIA DE DESARROLLO - DTO. MATERIALES

ANALISIS DE FALLA DE TUBOS DE LATON
DE INTERCAMBIADOR DE CALOR

A.F. IORIO
J.C. CRESPI
M. RUCH

Buenos Aires, Argentina

Enero 1980

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DIRECCION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO
GERENCIA DE DESARROLLO - DTO. MATERIALES

ANALISIS DE FALLA DE TUBOS DE LATON
DE INTERCAMBIADOR DE CALOR

A.F. IORIO

J.C. CRESPI

+ M. RAUCH

+ Dto. INEND

Buenos Aires, Argentina

Enero 1980

R E S U M E N

Se estudiaron diversos mecanismos para determinar el origen de las fallas de tubos de intercambiador de calor, identificando finalmente a la corrosión bajo tensiones como el responsable de dichas fallas.

Se ha sugerido que la aleación de Cu N° 270 extra-hard drawn no resulta apta para la fabricación de tubos de intercambiador de calor.

Independientemente de la aleación de Cu escogida es fundamental que los tubos se hallen con mínimas tensiones residuales presentes.

ANALISIS DE FALLA DE TUBOS DE LATON DE INTERCAMBIADOR DE CALOR

INTRODUCCION

Las fallas han ocurrido en tubos de latón correspondientes a un intercambiador de calor de cabezal flotante con las siguientes características:

Caudal de agua	10 m ³ / hora
Temperatura de entrada de agua	20° C.
Temperatura de salida de agua	80° C.
Presión de agua	4 a 6 Kgr./ cm ²
Temperatura de vapor saturado	170° C.
Presión de entrada del vapor	8 Kgr./cm ²
Nº de tubos	83

Durante la puesta en marcha fallaron 30 tubos de latón en forma instantánea de dicho intercambiador de calor, los cuales fueron posteriormente reemplazados por el fabricante con tubos de una segunda partida. Posteriormente se realiza una prueba hidráulica en frío a 12 Kgr./cm² fallando 5 tubos de la primera partida. A continuación se pone en funcionamiento luego de aproximadamente 1 hora, fallando otros 10 tubos también de la primera partida.

Por último se realizó otra prueba con aire a 7 Kgr./cm² de presión fallando otros 6 tubos de la primera partida.

MATERIAL :

El intercambiador de calor estaba constituido de 88 tubos de latón de las siguientes dimensiones:

Longitud	1950 mm.
Diámetro externo	19,5 mm.
Espesor	1,5 mm.

Las fisuras que se presentaron en los tubos fallados fueron rectilíneas longitudinales, de diferentes tamaños, alcanzando algunas de ellas más de 1 m. Los tubos fallados no presentaban una variación de diámetro con respecto al tubo original.

ANALISIS QUIMICO:

Un análisis químico fue llevado a cabo sobre tubos fallados de la primera partida y tubos no fallados de la segunda partida, cuyos resultados se dan en la tabla 1.

Elementos	Tubo 1ra.partida (g % g)	Tubo 2ºpartida (g % g)
Cu	65.0 ± 0.1	64.0 ± 0.1
Zn	34.91 ± 0.07	36.88 ± 0.07
Pb	0,05 - 0,2	0,01 - 0,05
As	0,02 ND	0,02 ND
Fe	0,05 - 0,2	0,05 - 0,02
Ag	0,005 - 0,02	0,001 - 0,005
Sb	0,005 ND	0,005 ND
Bi	0,005 ND	0,005 ND
Sn	0,01 - 0,05	0,002 D
Ni	0,01 - 0,05	0,005 - 0,02
Al	0,0005 - 0,002	0,0005 - 0,002
Mg	0,0005 - 0,002	0,0001 - 0,0005
P	0,006	0,013

Tabla 1 - Composición química, Cu y Zn se determinó por análisis electroquímico, los demás elementos por análisis espectrográfico, P, gravimétricamente. De acuerdo a las normas ASTM B-135-71 a el tubo fallado corresponde a la aleación de Cu N° 270 y el tubo de la segunda partida (no fallado) al N° 272.

La aleación 272 se ajusta a la composición indicada por la norma ASTM, mientras que la aleación 270 (tubo fallado) presenta un contenido de Pb y Fe superior al indicado por la norma (0,10 max. y 0,07 max.) respectivamente.

ANALISIS POR MICROSONDA ELECTRONICA

El objeto de este análisis fue completar el análisis químico anterior del tubo fallado y determinar la distribución de los elementos. Se ha detectado la presencia de Si, P, S, As, Fe, Al, Pb, Sb y muy pequeñas cantidades de Bi.

El barrido de Zn efectuado muestra que el contenido de dicho elemento en la zona externa de la pared del tubo es mucho más alto que en la zona interna de la pared (aproximadamente la concentración desciende a un tercio).

ESTUDIO METALOGRAFICO Y MICROFRACTOGRAFICO

Varios tubos fallados fueron inspeccionados superficialmente con la ayuda de una lupa de hasta 75 aumentos encontrándose numerosas fisuras y profundas rayaduras y la presencia de zonas generalizadoras y/o preferenciales de deposiciones de óxido de cobre e inclusive de picado producido por SO_4H_2 (presencia de Sulfato de Cu).

Se realizaron observaciones metalográficas en el sentido circunferencial y longitudinal de la pared del tubo, correspondientes a la primera y segunda partidas.

La figura 1 muestra una vista longitudinal de la pared del tubo fallado, donde puede apreciarse un alto trabajado en frío (extra-hard-drawn). La

fig.2 muestra la misma vista de la pared del tubo de la segunda partida, correspondiente a material recocido con un tamaño de grano aproximado de 25 a 50 μ . La figura 3 muestra la cantidad y distribución de inclusiones para este mismo tubo, correspondientes en su mayor proporción a silicatos y plomo.

Vista macroscópicamente la fisura presenta un aspecto frágil. La observación por microscopía electrónica de barrido (MEB) confirma esta caracterización revelando además una ruptura totalmente intergranular, fig. 4a, con estriaciones en las facetas de los granos como así también bandas de deformación y porosidades en las superficies y límites de grano.

PROPIEDADES MECANICAS

DUREZA

Se determinó dureza en los tubos fallados según la norma ASTM B 135-71a dando un valor promedio de $HR_{30T} = 73$, es decir el material se encuentra altamente deformado. Este valor de dureza corresponde una resistencia a la tracción de 55Kgr./mm².

TENSIONES RESIDUALES

Se ha seguido la técnica propuesta por W.Johnson y P.B. Mellor¹, según la cual se secciona un fleje en el sentido longitudinal del tubo a ensayar, y luego a partir de la deflexión que el mismo toma se calcula la tensión residual axial. En nuestro caso la misma fué de un valor del orden de 32 Kgr./mm². También se determinaron tensiones residuales circunferenciales, las cuales, de acuerdo a la disposición de las fisuras son las que tendrían efecto sobre las mismas, siendo el valor del orden de las axiales. La técnica de Johnson y Mellor consiste en este caso en seccionar un anillo del tubo y luego efectuar un corte en la pared del mismo. En base al desplazamiento que sufre la apertura o

riginal, se calculan dichas tensiones.

No se han detectado por estas técnicas tensiones residuales en los tubos de la segunda partida.

ENSAYO DE NITRATO MERCURIOSO

Se aplicó el método descrito por la norma ASTM B 154 -73 a diferentes muestras de las dos partidas de material.

Este método es utilizado para revelar tensiones residuales, en cobre y sus aleaciones, las que podrían causar falla en servicio o durante el almacenamiento por corrosión bajo tensiones.

Para la preparación del reactivo se utilizó el procedimiento A descrito en la norma mencionada.

La aleación N° 270 presentó múltiples fisuras longitudinales de naturaleza intergranular semejantes en orientación y forma a las del tubo fallado. Ver fig. 8, mientras que la aleación N° 272 no se mostró susceptible a dicho ensayo.

ENSAYOS DE EXPANSION

Se siguió la técnica propuesta por la norma ASTM B 135 - 71a, utilizando un expansor con un ángulo de 60° y produciendo un 20% de incremento del diámetro externo. Los ensayos se realizaron sobre tres muestras de cada partida no presentando fisuras por examen a simple vista.

Este tipo de ensayo se repitió a una temperatura de 160°C, en aire, presentando en este caso uno de los tubos de la primera partida una fisura, la cual se siguió abriendo a la misma temperatura para su posterior observación en el MEB. Dicha observación reveló que la fisura presentaba una fractura transgranular dúctil, excepto la zona correspondiente a la ruptura inicial, la cual era de naturaleza intergranular. Esto indicaría que la fisura inicial se hallaba preexistente en el tubo previo al ensayo de expansión (fig. 9).

ENSAYOS DE IMPACTO

Se seccionó un fleje circunferencial de 10mm. de largo, fijándose un extremo del mismo y aplicando un impacto en el otro, produciendo un doblez de alrededor de 45°. Sólo en los tubos de la primera partida aparecieron fisuras, las cuales observadas en el MEB revelaron que eran de naturaleza transgranular dúctil. Fig.10

ANALISIS DE LA FALLA

Para determinar el origen de las fallas de los tubos del intercambiador de calor, se han considerado las siguientes probabilidades:

- 1) Sobrepresión aplicada al sistema.
- 2) Golpe de ariete.
- 3) Fragilización por Creep.
- 4) Fragilización por impurezas.
- 5) Corrosión bajo tensiones.

SOBREPRESION APLICADA AL SISTEMA

Se considera que la sobrepresión ejercida sobre el sistema no causaría este tipo de falla ya que:

- a) Los resultados de los ensayos de expansión demuestran que los tubos aún poseen ductilidad a pesar de las altas tensiones residuales presentes y el alto grado de trabajado en frío.
- b) Esta ductilidad no se ha puesto de manifiesto en las fisuras que ocasionaron la falla del sistema.
- c) La fractura sería transgranular.

GOLPE DE ARIETE

Algunos materiales dúctiles pueden comportarse como frágiles bajo con

diciones de alta velocidad de aplicación de carga. El golpe de ariete se produce bajo ciertas condiciones de trabajo normales, pero el mismo no tiene mayor efecto en cañerías de pequeño diámetro, a pesar de lo cual se lo ha considerado y se ha intentado reproducir y magnificar el efecto por medio de un ensayo de impacto. Como ya se ha indicado las fisuras producidas son de naturaleza transgranular dúctil, por lo cual sería el causante de las fallas de los tubos.

FRAGILIZACION POR CREEP

El problema se puede presentar durante el proceso de fabricación del tubo, ya que con trabajos en frío del orden de 30 a 50% y posterior recocido entre 250°C a 420°C se observa la aparición de esta fragilización⁽²⁾.

Dado que la historia de fabricación del tubo se desconoce es imposible detectar si alguna falla en el proceso pudo originar la fragilización antes mencionada.

Evidentemente el mecanismo de fragilización por creep no pudo producir este tipo de falla bajo condiciones de servicio por cuanto a) según se ha dicho las temperaturas de operación no superarían los 170°C y b) El tiempo de operación fue demasiado corto.

Para verificar la probabilidad de ocurrencia de este tipo de mecanismo, previo al servicio se realizaron ensayos de recocido a 380°C de una hora de duración de varias muestras de dicha tubería.

Una posterior observación al microscopio óptico no reveló la presencia de fisuras, en base a lo cual se infiere que dicho mecanismo no ha dado lugar a la falla.

FRAGILIZACION DE IMPUREZAS

Trabajos anteriores (3) indican que en aleaciones del tipo de las usadas en el intercambiador de calor con contenidos de Pb de más de 0,02 w/o se

presentan problemas de fisuración durante su trabajado en caliente. La norma ASTM B-135-71a tolera una cantidad de 0,1 w/o de Pb máximo, de donde se puede deducir que tales problemas no tendrían un efecto demasiado deletéreo hasta 0.1 w/o, Pb, pero en nuestro caso el Pb se halla presente en cantidades de hasta 0.2 w/o, luego sería posible que el tubo durante su fabricación haya desarrollado fisuras que luego se revelarían en servicio, sin antes haber sido detectadas por falta de una inspección adecuada.

Para verificar la probabilidad de ésta hipótesis se obtuvieron probetas tipo chapa, de los diferentes tubos, las cuales fueron laminadas reduciendo aproximadamente el espesor un 30% previo calentamiento a 600°C.

Posterior observación metalográfica ha revelado la presencia de pequeñas fisuras en los extremos de las probetas en la orientación de laminación, de naturaleza intergranular similar a la del tubo fallado. Ver fig. 11 y 12.

A pesar de esta similitud, debido a la ubicación y tamaño de las fisuras se cree que las mismas no son las causantes de la falla de los tubos.

CORROSION BAJO TENSIONES

Compuestos de amoníaco, citratos, tartratos, SO₂ húmedo y mercurio han sido identificados como agentes específicos que producen corrosión bajo tensiones en aleaciones de Cu-Zn (4).

Por otra parte los compuestos de amoníaco en soluciones acuosas de pH neutro producen fisuras intergranulares (5). Fallas en intercambiadores de calor, por corrosión bajo tensiones producidas por dichos agentes, están asociados con los métodos de fabricación, manipuleo, métodos de ensayo y medio ambiente durante el servicio y almacenamiento.

El ensayo de nitrato mercurioso ha permitido determinar la susceptibilidad del tubo correspondiente a la aleación N° 270 a la corrosión bajo tensiones.

Evidentemente debido a estas consideraciones se sugiere que el mecanismo responsable de la falla ha sido corrosión bajo tensiones, sin embargo debido a la falta de información existente no ha podido ser identificado en forma apropiada el agente químico responsable de la operatividad de ese mecanismo falla.

RECOMENDACIONES PARA PREVENCIÓN DE LA FALLA

La aleación N° 270 no resulta la más apta para la fabricación de tubos de intercambiador de calor. Se sugiere utilizar aleaciones con menores porcentajes de Zn.

Independientemente de la aleación de Cu escogida es fundamental que los tubos se hallen con mínimas tensiones residuales.

Se debería evitar en lo posible el contacto del material con atmósferas del tipo de las mencionadas anteriormente. Se sugiere la preservación del medio ambiente después de la fabricación mediante fundas de polietileno o elemento apropiado.

CONCLUSIONES

- 1 - De acuerdo a la norma ASTM B-135-71a y al análisis químico realizado, el tubo fallado corresponde a una aleación de cobre N° 270 y el tubo de la segunda partida al N° 272.
- 2 - La aleación N° 270 estudiada presenta:
 - a) Una variable concentración de Zn a través del espesor de la pared del tubo, disminuyendo en el interior de la misma en un tercio con respecto a la superficie exterior.
 - b) Contenido de Pb y Fe superior al indicado por la norma ASTM-135-71a.
 - c) Elevadas tensiones residuales.

La eliminación de estos factores perjudiciales contribuirá a mejorar la

puesta en servicio de los tubos construídos con este material.

- 3 - Las fisuras presentan una superficie de ruptura totalmente intergranular.
- 4 - Se ha identificado a la corrosión bajo tensiones como el mecanismo responsable de las fallas de los tubos de latón del intercambiador de calor.
- 5 - Se ha sugerido que la aleación N° 270 extra-hard drawn no resulta apta para la fabricación de tubos de intercambiadores de calor y respecto de las fallas ocurridas se hubo recomendado:
 - a) Reducir a un mínimo la presencia de tensiones residuales.
 - b) Preservar del medio ambiente después de la fabricación mediante fundas de polietileno o elementos equivalentes.

AGRADECIMIENTOS:

Se agradece la colaboración prestada por el Servicio de Metalografía y Microscopía Electrónica de Barrido del DTO.MATERIALES, así como al Dr.J.GALVELE por la lectura y discusión del presente trabajo.

Referencias:

- 1 - W. Johnson, P.B. Mellor "Plasticity for mechanical engineers"
Ed. Von Nostrand Co. (1972).
- 2 - S. Sato, T. Otsu, E. Hata. "Embrittlement of copper alloys during annealing". Proc. Int. Conf. by the Institute of Metals.
Amsterdam 21-25 Sep. 1970. Monograph and report Series N°34, pp135.
- 3 - R.J. Jackson, D.A. Edge D.C. Moose "A preliminary assessment of the value of the minor alloy additions in counteracting the harmful effect of impurities in the hot workability of some copper alloys".
Ibid p. 160.
- 4 - Metals Handbook Vol. 10.
"Failure analysis and prevention". 8th edition p. 223.
- 5 - M. Kermany J. C. Scully "The effect of strain rate upon SCC velocity in α -brass in ammoniacal solutions".
Corrosion Science 19 (2) 1979 p. 89.



100 x

Fig. 1. Aleación de Cu N°270. 50% reducción en frío aprox. Pulido electrolítico: Ac. ortofosfórico 34%, alcohol etílico 66%, 15V, 30 seg. Ataque: Cl_3 Fe 6 gr., HCl 2cc, alcohol 96 cc, 4 seg.



100 x

Fig. 2. Aleación de Cu N° 272. Recocida, Tamaño de grano entre 25 y 50u. Pulido y ataque similar a la muestra de la Fig. 1.



Fig. 3. Aleación de Cu N° 272. Distribución de inclusiones en la pared del tubo, en el sentido longitudinal.

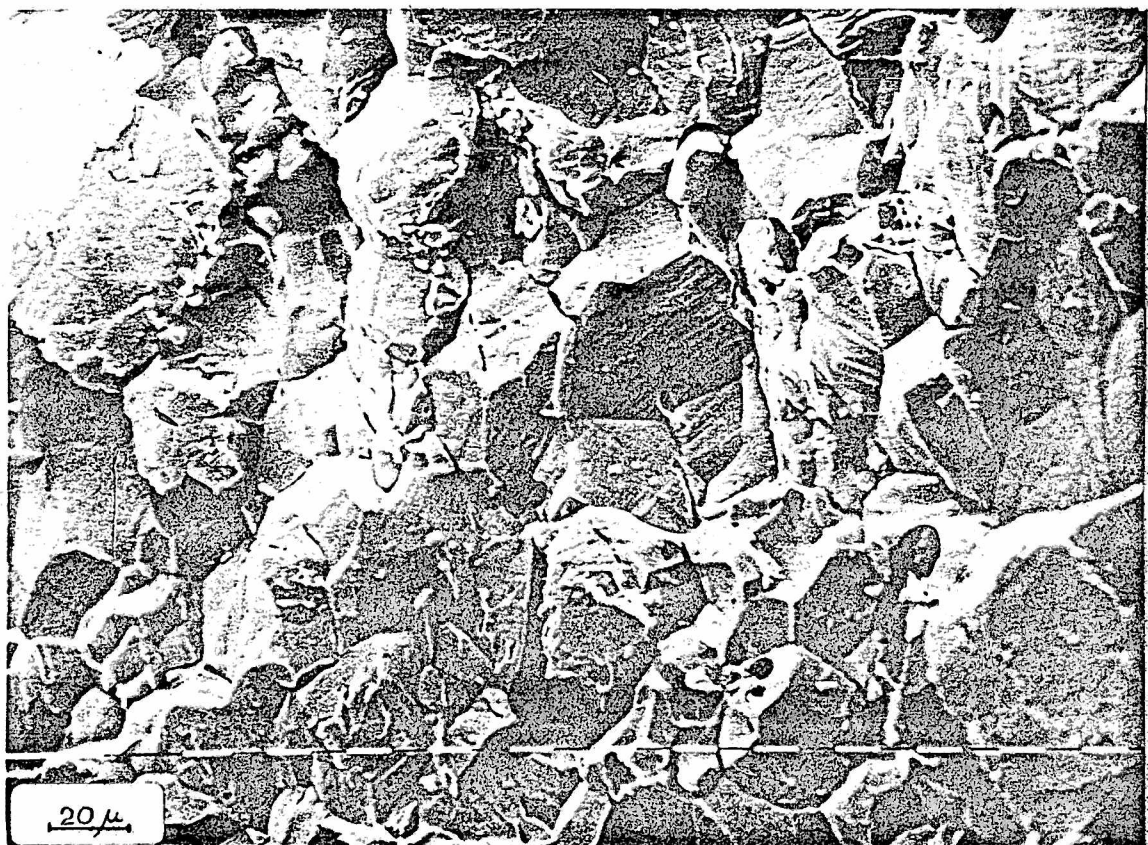


Fig. 4. Aleación de Cu N° 270 electromicrofractografía de zona fallada. Fractura intergranular.



Fig. 5. Aleación de Cu N° 270 electromicrofractografía de zona fallada. Fractura intergranular.



Fig.6 . Aleación de Cu N° 270 electromicrofractografía de zona fallada. Fractura intergranular.



Fig. 7 . Aleación de Cu N° 270 electromicrofractografía de zona fallada. Fractura intergranular.

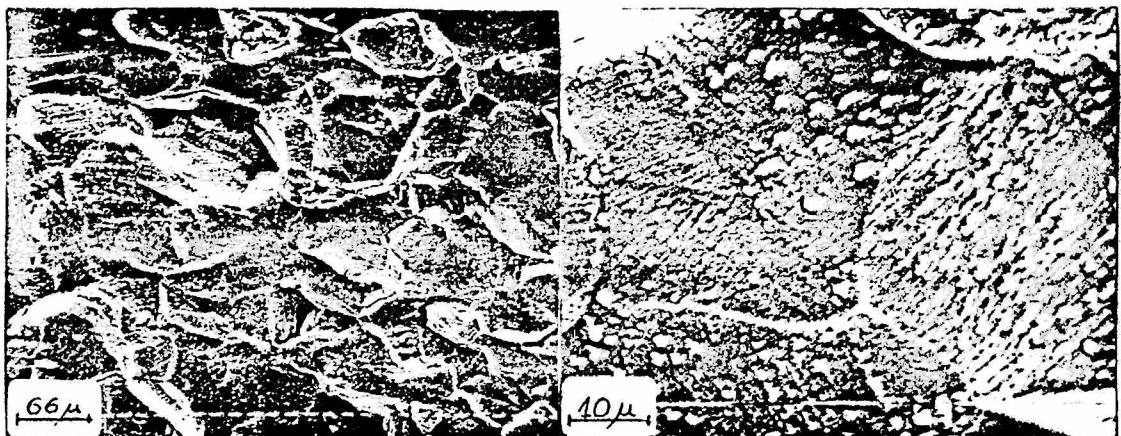


Fig.8

Aleación de Cu N°270. Ensayo de nitrato mercurioso según norma ASTM B154-73(A) -Electromicrofractografía de superficie de fisura, fractura intergranular.

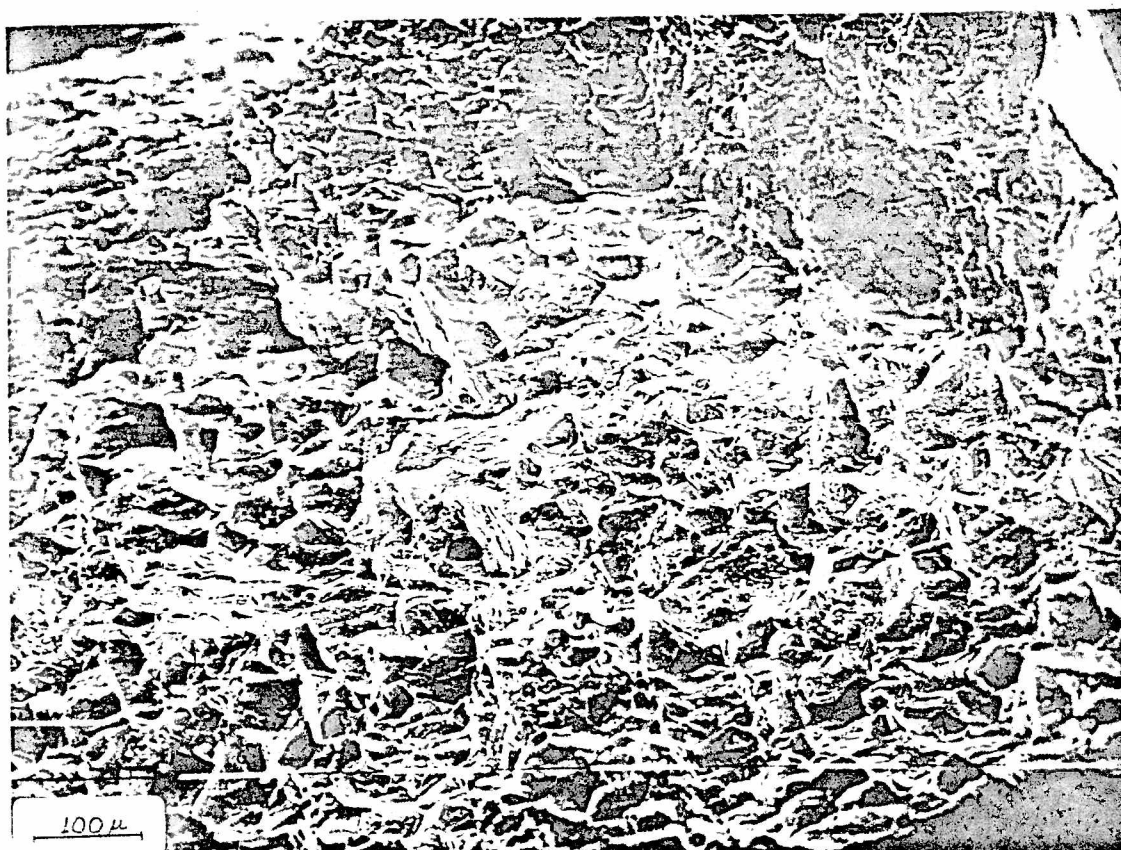


Fig. 9 . Aleación de Cu N° 270, ensayo de expansión a 160° C. Fractura transgranular dúctil (zona intergranular de bida a fisura preexistente).



Fig. 10 . Aleación de Cu N° 270 electromicrofractografía de zona fallada durante ensayo de impacto. Fractura transgranular dúctil.



Fig.11

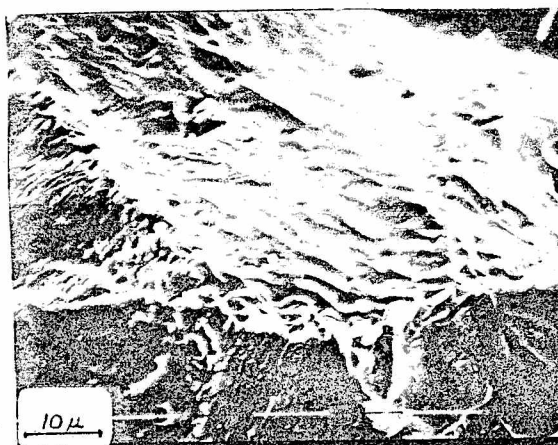


Fig.12

Fig.11 y 12 - Aleación de Cu N° 270 probetas deformadas 30% a 600° C. dando lugar a fisuras de na turaleza intergranular en los extremos de las mismas.