

ANALISIS DE LA PERFORMANCE A LA FRACTURA DE TUBOS  
PRESURIZADOS CON FISURAS SUPERFICIALES

A.F. Iorio J.C. Crespi. Dto. Materiales, CNEA

INTRODUCCION

Durante el mes de julio de 1979 tuvo lugar la cuarta falla del ramal de la cañería del circuito del moderador, esta vez en la proximidad de una soldadura del ramal QMO1.

La fisura pasante, como la mayor parte de otras fisuras se hallan orientadas en la misma dirección de las estrías producidas por el torneado y amolado.

La repetibilidad de la ocurrencia de este tipo de fallas ha puesto en duda si la misma ha de manifestarse, de seguir ocurriendo, como pérdida antes de fractura o como fractura catastrófica. Se ha llevado por ello a cabo un análisis de la performance a la rotura en base a la escasa e incompleta información existente acerca de las condiciones de servicio y características mecánicas, requeridas por los distintos criterios fractomecánicos. Debido a ello, se han tomado aproximaciones de tipo conservativas cuando no se contaban con los valores reales.

El criterio RAD. Ratio Analysis Diagram, propuesto por Pellini<sup>(1)</sup> indica que cuando la relación  $K_{Ic} / \sigma_{ys} > 0,5$  donde  $K_{Ic}$  es el factor intensidad de tensiones crítico en el regimen elástico lineal y  $\sigma_{ys}$  es la tensión de fluencia Ksi. los materiales presentarían elevada ductilidad, siéndole aplicable entonces la fractomecánica elasto-plástica. Tratando de aplicar este concepto al material de la cañería en cuestión (acero inoxidable austenítico 1.4550) y dada la ausencia de datos fractomecánicos, se han tomado datos del acero inoxidable 18/8<sup>(2)</sup> dada su similitud de propiedades, hallándose

que la expresión anterior da valores aproximadamente igual a 5, por lo cual deben aplicarse conceptos de fractura elasto-plásticos.

#### EVALUACIÓN DE $K_c$ A PARTIR DE ENSAYOS DE C.O.D.

La evaluación de este parámetro permitirá determinar el tamaño de fisura crítico del componente. Se tomará en este caso datos del acero inoxidable AISI 316<sup>(3)</sup> a temperatura ambiente donde el desplazamiento en el extremo de la fisura original  $\delta_{COD}=1,04$  y utilizando la relación:

$$\frac{\delta_{COD}}{\epsilon_{ys}} = \left( \frac{K_c}{\sigma_{ys}} \right)^2$$

donde  $\epsilon_{ys} = \sigma_{ys}/E$  ;  $\sigma_{ys} = 260 \text{ MPa}$  ;  $E = 2.10^5 \text{ MPa}$

Luego:  $K_c = 233 \text{ MPa.m}^{1/2}$ .

#### CRITERIO PARA DETERMINAR CONDICION DE PERDIDA ANTES DE FRACTURA (PAF).

Este criterio ha sido establecido por Irwin et al<sup>(4)</sup> para estimar las condiciones de tenacidad necesarias en recipientes presurizados que permitan el crecimiento de fisuras a través del espesor de la pared del recipiente y se produzca pérdida antes de fractura catastrófica del componente. Por lo tanto, el tamaño crítico de fisura para satisfacer este criterio, para el nivel de tensiones de servicio, deberá ser mayor que el espesor de pared para permitir pérdida antes que fractura catastrófica.

En nuestro caso, la relación  $c/2a = 1/5$  donde  $c$  y  $a$  son la profundidad y ancho de fisura respectivamente. La expresión que nos da el factor intensidad de tensiones será<sup>(5)</sup>:

$$K_I = 1,12 \sqrt{\pi} M_K \sigma \sqrt{c/Q}$$

donde: 1,12 factor de corrección por superficie libre

$M_K$  factor de magnificación por profundidad de fisura (=1,6)<sup>(6)</sup>

$Q = f(c,a)$  según ref. (7) es igual a 1,1.

Como no existen datos sobre las tensiones actuantes en dicha cañería a pesar de ser solicitados en agosto de 1978<sup>(8)</sup>, Irwin indica que una aproximación puede hacerse tomando la máxima tensión de servicio.

igual a la tensión de fluencia del material. Suponiendo además que  $c/t=1$ ; resolviendo la expresión anterior se tiene:

$$K_I = 99 \text{ MPa. m}^{\frac{1}{2}}$$

Este resultado es válido para condiciones de deformación plana, para condiciones de tensión plana, que es nuestro caso:

$$K_I^2 = K_C^2 = \frac{1.12 M_k \sigma^2 \pi c/Q}{1 - \frac{1}{2} \left( \sigma / \sigma_{ys} \right)^2}$$

de donde se obtiene que:

$$K_C = 140 \text{ MPa. m}^{\frac{1}{2}}$$

Por lo tanto, en nuestro caso no presenta peligro de falla catastrófica dado que el valor de  $K_C$  del material es  $233 \text{ MPa. m}^{\frac{1}{2}}$ .

El criterio de Irwin se cree sería confiablemente aplicable a situaciones donde las tensiones actuantes serían del tipo de flexión en componentes tipo cañerías, excepto codos y "T".

#### CÁLCULO DEL TAMAÑO DE FISURA CRÍTICA DE LA CAÑERÍA DEL RAMAL DEL MODERADOR.

Para una fisura pasante, la relación que define al factor intensidad de tensiones es:

$$K_I^2 = \frac{\sigma^2 \cdot a \cdot \pi}{1 - \frac{1}{2} \left( \sigma / \sigma_{ys} \right)^2}$$

En el momento de la fractura  $K_I = K_C$ ; y si suponemos además la tensión de servicio igual a la tensión de fluencia del material y el valor de  $K_C = 233 \text{ MPa. m}^{\frac{1}{2}}$  a partir de los ensayos de C.O.D., luego el tamaño de fisura crítica en la cañería será  $2a_c = 258 \text{ mm}$ .

Otra forma de calcular dicho parámetro es a través del criterio de la inestabilidad plástica del ligamento a través de la relación  $\sigma_n = \sigma / (1-a/l)$  donde  $\sigma_n$  es la tensión neta y esta comprendida entre  $\sigma_{ys}$  y  $\sigma_f$ . En este caso adoptamos  $\sigma_n = 876 \text{ MPa}$  obtenido de ensayos de fatiga donde  $\Delta \epsilon_t = \pm 0,004$  (9); sabiendo además que  $l = 640 \text{ mm}$  (perímetro del caño), luego el valor de  $2a_c = 430 \text{ mm}$ .

Otro cálculo aproximado del tamaño de la fisura crítica puede realizarse a partir de la referencia (9), si bien las configuraciones geométricas de los ensayos realizados son diferentes a las del tubo fallado, una estimación de la relación  $a_c/l$  puede obtenerse:

$$a_c/l \Big]_{\text{probeta}} \approx a_c/l \Big]_{\text{cañería}} = 0,66$$

Este valor se ha tomado de ensayos donde la tensión aplicada es del orden de la tensión de fluencia, operando se obtiene que:

$$2a_c = 400\text{mm}$$

En acuerdo con estos resultados, recientes trabajos (10) han mostrado que fisuras circunferenciales en cañerías rectas, sujetas a flexión, abarcan más del 60% de la longitud del tubo sin que ocurra fractura catastrófica.

Desde el punto de vista de la iniciación de la fisura, es evidente que algunos factores perjudiciales pueden mejorarse eliminando efectos de entalladura, tensiones residuales y modificando las propiedades mecánicas de la superficie inducidas por el deformado mecánico. Estos factores influyen sobre las propiedades de fatiga y corrosión que son los mecanismos actuantes más probables (8).

### CONCLUSIONES

- 1.-En el componente estudiado se cumple el criterio de pérdida antes de fractura catastrófica.
- 2.-En acuerdo con resultados obtenidos, recientes trabajos indican que la longitud de fisura crítica en estos tipos de materiales puede ser mas del 60% de la longitud de la circunferencia del tubo sin que ocurra falla catastrófica.
- 3.-Se recomienda minimizar el efecto de entalladura, tensiones residuales como así también restaurar las propiedades mecánicas originales mediante un tratamiento térmico de recocido.

REFERENCIAS

- 1.- W.S. Pellini, A.W.S. ADAMS LECTURE, Welding Journal Res.Sup. March 1971.
- 2.- R. Brook, "Fracture Mechanics" PMM-A/272, pp.55, 1979.
- 3.- J. Honeycombe, T.G. Gooch, Metal Construction and British Welding Journal, pp.140, April 1973.
- 4.- G.R. Irwin, J.M. Krafft, P.C. Paris and A.A. Wells, NRL Report 6559, Washington D.C., November 1967.
- 5.- G.R. Irwin, The surface crack, Physical problems and computational solutions, Swedlow, J,L. Ed. ASME 1972.
- 6.- S.T. Rolfe. J.M. Barsom, "Fracture and Fatigue control in Structures", Prentice Hall, Inc. Ed. Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 158, 1977.
- 7.- ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, Section III, Subsection NA, Division I, pp. 339, 1974.
- 8.- A.F. Iorio. J.C. Crespi, A.J. McEvily Jr., CNEA- Nota Técnica DI 4/78, Agosto 1978.
- 9.- A.F. Iorio, J.C. Crespi, CNEA- Nota Técnica DI- 1/79, mayo 1979.
- 10.- M.E. Mayfield, E.C. Rodabaugh, R.J. Eiber, NUREG/ CR-0325, Battelle Columbus Lab. Sept. 1978.