

ANÁLISIS DE FISURACIÓN EN COMPENSADORES DE DILATACIÓN DE LA RED DE AGUA SANITARIA DE UN HOSPITAL

R. Lacalle^{1,2}, S. Cicero¹, R. Cicero¹, y J. García^{1,2}

¹Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales
E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Cantabria
Avenida de los Castros s/n 39005 Santander

²INESCO INGENIEROS S.L.
Centro de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Cantabria, Mod. 9, Fase B
Avenida de los Castros s/n 39005 Santander

E-mail: lacaller@unican.es

RESUMEN

En este trabajo se analiza la fisuración sufrida por buena parte de los compensadores de dilatación instalados en el sistema de agua caliente sanitaria de un hospital. Estos componentes, que fallaron pocos meses después de su puesta en servicio, constan de una manguera metálica interior y un trenzado de hilo metálico exterior que aporta rigidez al conjunto. El fallo se produjo por la aparición de múltiples fisuras longitudinales en la manguera metálica interior.

Para tratar de determinar la causa de la fisuración se realizaron diversos exámenes visuales, un análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y un análisis mediante elementos finitos de las condiciones de trabajo de los componentes. Tras estas tareas, se concluyó que una incorrecta colocación de los compensadores podría ser la causa más probable del fallo.

PALABRAS CLAVE: Análisis de fallo, compensadores de dilatación, simulación elementos finitos

ABSTRACT

In this paper the cracking process in most of the expansion compensators installed in sanitary hot water system of a hospital is analysed. These components, which failed just few months after their assembly, are made up of an internal metal hose and an external wire metal braid. The failure occurred in the internal hose, as a consequence of the apparition of multiple cracking.

In order to investigate the reason for the cracking, several visual examinations, a SEM analysis and some Finite Element Simulations were performed. The final conclusion of this work was that an inaccurate assembly of the compensators could be the most possible cause of the failure.

KEYWORDS: Failure Analysis, Expansion Compensators, Finite Element Simulation

1. INTRODUCCIÓN

El agua sanitaria de grandes instalaciones como hoteles u hospitales es habitualmente calentado en una sala de calderas y desde allí, por presión, se distribuye a todos los puntos del complejo. Las líneas de tuberías que realizan el transporte desde las calderas hasta el lugar de consumo, presentan, a menudo, grandes longitudes, haciendo necesaria la introducción de elementos capaces de compensar las dilataciones debidas a las fluctuaciones de temperaturas en la red, que de otra forma podrían comprometer la integridad de las tuberías constituyentes del sistema.

En este trabajo, se analiza la fisuración acontecida en buena parte del centenar de compensadores de dilatación instalados en el sistema de agua caliente sanitaria de un hospital. Estos fallos, además de implicar cuantiosos daños económicos asociados a la sustitución de los elementos fisurados, conllevan la anulación de la línea afectada lo que se traduce en cierres temporales de quirófanos o plantas del hospital.

Para buscar la causa del fallo de estos elementos se realizaron inspecciones visuales de los compensadores, análisis químicos del material constituyente de los

misimos, observaciones mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y finalmente simulaciones mediante elementos finitos teniendo en cuenta las condiciones de trabajo de los sistemas de tuberías.

2. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE

Con el objeto de minimizar las tensiones de tipo térmico en tuberías, es común colocar elementos capaces de asumir gran parte de los movimientos asociados a fenómenos de índole térmica, reduciendo notablemente los esfuerzos a asumir por el sistema [1]. En el caso analizado, y dada escasa rigidez de los tramos rectos de tubería, constituidos por polipropileno, es necesario recurrir a una solución capaz de asumir, sin apenas introducir esfuerzos, todo el movimiento de las tuberías. Por ello, en el caso analizado, se optó por recurrir a elementos de gran flexibilidad [2] como el que se muestra en la Figura 1. Tal y como puede verse en el esquema de la Figura 2 [2], estos compensadores están formados por una manguera metálica interior capaz de asumir grandes movimientos, y que tiene la misión fundamental de garantizar la estanqueidad del conjunto, además de por un trenzado exterior de hilo metálico. Este trenzado, sin mermar en exceso la capacidad de movimientos, aporta la rigidez necesaria para permitir hacer frente a sollicitaciones de tipo presión interior.



Figura 1. Tipología de los compensadores de dilatación analizados

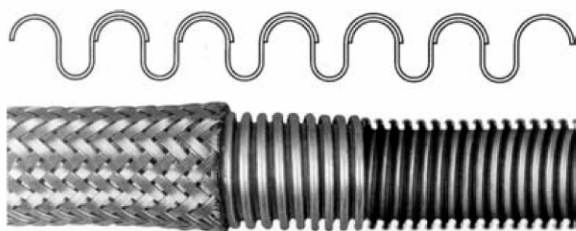


Figura 2. Esquema de los compensadores de dilatación

El material constituyente tanto de la manguera metálica interior como de los hilos del trenzado exterior es, según la especificación del producto [2], un acero inoxidable 1.4541 (semejante a un AISI 321).

Por su parte, la presión interior de trabajo de los sistemas de tuberías de agua sanitaria se sitúa en 0.85 MPa, siendo la temperatura habitual 60 °C. Periódicamente, y para combatir posibles brotes de legionella, se somete a todos los sistemas a un hipercalentamiento hasta una temperatura de 75°C.

Cabe mencionar también que, el cerca del centenar de compensadores de dilatación instalados en el hospital analizado, presentan, como es lógico, diferentes diámetros en función de las dimensiones de la línea de tubería a la que pertenezcan. Este extremo puede ser observado en la imagen de la Figura 1, donde se muestran dos compensadores de dilatación con dos diferentes diámetros.

3. DESCRIPCIÓN DEL FALLO

Pocos meses después de su instalación, buena parte de los compensadores de dilatación colocados en el sistema de agua sanitaria de un hospital comenzaron a presentar fugas motivadas por la aparición de múltiples fisuras en la manguera metálica interior. Las fisuras presentan en todos los casos la tipología mostrada en la Figura 3. Este fallo, que afectó de forma fundamental a aquellas líneas de mayor diámetro de tubería (100 mm), se localizó, por otra parte, en la zona del extradós de los componentes, coincidiendo con la región de máxima curvatura de los compensadores de dilatación (Figura 1).



Figura 3. Tipología de las fisuras de la manguera metálica interior

Observando la Figura 3, queda de manifiesto que la disposición preferente de las grietas es de tipo longitudinal, según el avance de la tubería, localizadas además en las zonas de valle de la manguera metálica. Esta disposición de las fisuras, apunta a la presión interior como sollicitación causante del fallo (tensiones

de presión interior del orden del doble en dirección circunferencial que en dirección axial), descartando fenómenos de otra naturaleza, como por ejemplo fatiga térmica, ya que en tal caso, las fisuras deberían aparecer con orientación circunferencial. No obstante, para los compensadores de dilatación de 100 mm de diámetro, por ejemplo, la especificación del fabricante indica que las máximas presiones de trabajo se sitúan en torno a 8 MPa, muy lejos de las presiones reales sufridas por el componente.

4. ANÁLISIS MEDIANTE SEM

Para tratar de verificar si el fallo podría venir motivado por causas imputables al material, se llevó a cabo un análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). En este análisis se realizó una observación detallada de las superficies de varias fisuras en busca de alguna evidencia de fenómenos de corrosión [3-5]. Además, se practicó un microanálisis por SEM del material de la manguera metálica interior de uno de los compensadores fisurados con la intención de comprobar si realmente se correspondía con el material indicado por las especificaciones del producto [2].

La Figura 4 muestra una imagen SEM de una de las superficies de fisura, donde, como en el resto de las observaciones realizadas, no se detectó ninguna evidencia de la presencia de corrosión en cualquiera de sus formas. Por su parte, la Tabla 1 resume los resultados del microanálisis por SEM efectuado sobre material de una manguera metálica interior. Se comprueba que los valores concuerdan, dentro de las incertidumbres propias de la técnica, con los esperados para un acero inoxidable 1.4541 [6], como indicaba la especificación del producto.

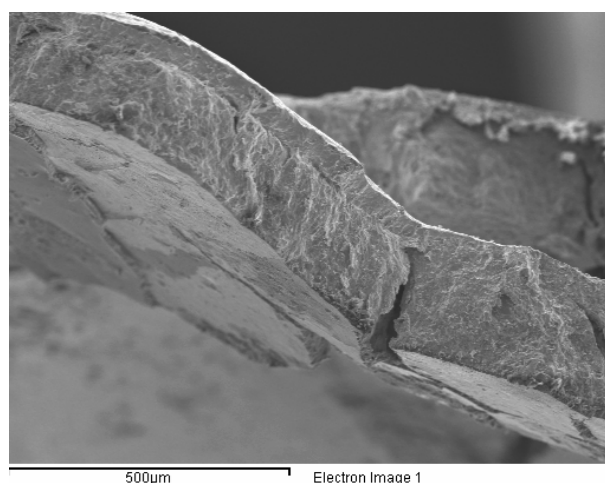


Figura 4. Tipología de los compensadores de dilatación analizados

Tabla 1. Composición química de una muestra de manguera metálica y comparación con valores de referencia [6] (resultados en % en peso).

	Fe	Cr	Ni	Mn	Si
Muestra	69.0	18.5	9.5	2.2	0.7
1.4541	68.0	18.0	11.0	2.0	1.0

5. SIMULACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

Los compensadores de dilatación siguen el esquema geométrico de la Figura 5, donde la longitud entre apoyos “A” varía en función de los movimientos de éstos. Durante un periodo de operación normal del sistema de agua sanitaria (Presión = 0.85 MPa, Temperatura = 60°C), se midió la distancia entre apoyos “A” en un compensador de fácil acceso, resultando ser igual a 1130 mm. Teniendo en cuenta que la longitud de tramo recto de tubería entre compensadores es de 20 metros y dado que el coeficiente de dilatación térmica lineal del polipropileno constituyente de estos tramos de tubería es aproximadamente 0.15 mm/m·°C, en situación de hipercalentamiento (75°C), es de esperar una reducción de la distancia “A” de unos 45 mm, con lo que la longitud “A” en situación de hipercalentamiento para el compensador medido sería aproximadamente de 1085 mm (Figura 6). Dado que la longitud de los compensadores de dilatación, “L” puede considerarse constante (despreciando pequeñas dilataciones térmicas), las variaciones de la longitud “A” implican a su vez drásticas variaciones en el radio de curvatura del componente “R”. Así, atendiendo a simples consideraciones geométricas, el radio de curvatura “R” puede deducirse a partir de los datos conocidos de “L” y de “A” siguiendo las expresiones (1) a (3).

$$A = 2 \cdot R \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) + \left(L - \frac{\pi}{2} R\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \quad (1)$$

$$A = R \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) + L \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) \quad (2)$$

$$R = \frac{\frac{A}{\cos(\pi/4)} - L}{2 - \frac{\pi}{2}} \quad (3)$$

Según (3), el radio de curvatura en la situación medida sería de aproximadamente 230 mm, mientras que para la situación de hipercalentamiento, con un acercamiento entre apoyos de 45 mm, el radio de curvatura sería tan sólo de 80 mm. Este cambio, modifica necesariamente el comportamiento estructural del componente. Para conocer el estado tensional en ambos supuestos, se simuló los dos escenarios mediante el método de los Elementos Finitos empleando el código ANSYS [7]. Además, y a modo de referencia, se simuló también el

comportamiento de un tramo recto de compensador. En dicha simulación, de carácter elastoplástica, se consideró, de acuerdo con [8], un límite elástico igual a 250 MPa, una tensión de rotura de 500 MPa, y un alargamiento bajo carga máxima del 15%.

En todos los casos fue considerada una presión interior igual a 0.85 MPa (presión de trabajo). Para los propósitos de la simulación, la geometría fue simplificada de acuerdo al esquema de la Figura 7. La contribución del trenzado metálico exterior para resistir presiones fue simulada considerando un elemento de rigidez infinita en dirección radial. Esta simplificación conduce a unas situaciones de mayor rigidez que las reales (más capacidad para soportar presiones interiores), de tal manera, que las tensiones obtenidas en la simulación podrán ser consideradas como límites inferiores de las presentes en el sistema.

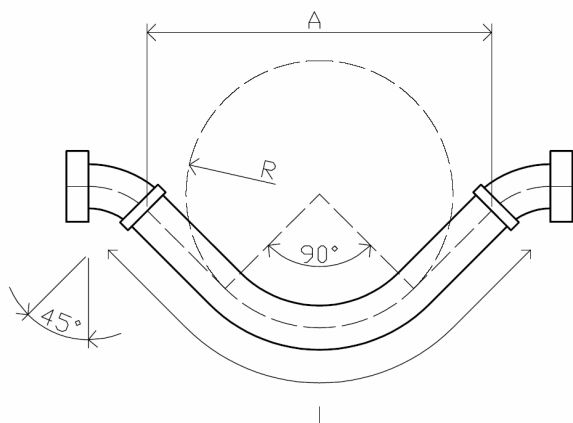


Figura 5. Esquema geométrico de un compensador de dilatación.

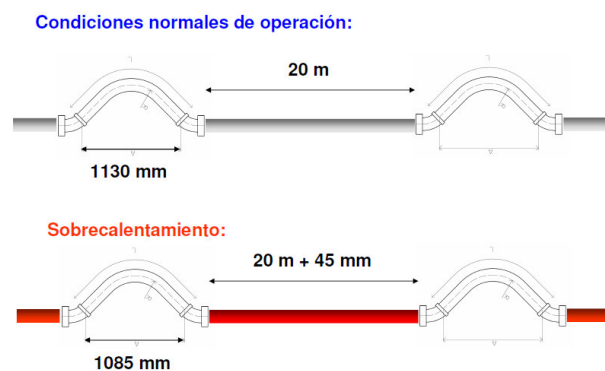


Figura 6. Esquema de los desplazamientos en el sistema para condiciones normales de operación y condiciones de sobrecalentamiento.

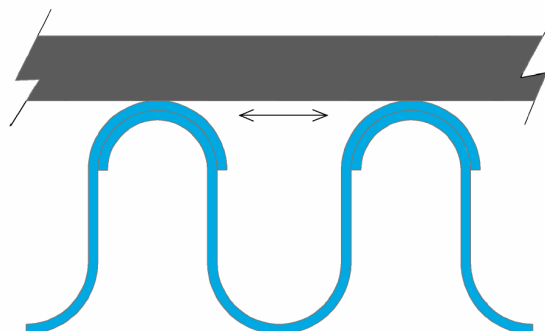


Figura 7. Simplificación estructural empleada en los modelos de elementos finitos.

Las Figuras 8, 9 y 10 muestran los resultados de las simulaciones para tramo recto en condiciones normales de operación, para el tramo de máxima curvatura en condiciones normales de operación y para tramo de máxima curvatura en condiciones de hipercalentamiento. En concreto se puede observar, en un paso de espira de la manguera interior, la magnitud de las tensiones según la orientación circunferencial, es decir, las concomitantes con las fisuras longitudinales presentes en los compensadores de dilatación. Se comprueba que, para la situación de hipercalentamiento (Figura 10), las tensiones en la zona de valle del extradós, son del orden de la resistencia a tracción del material, justificándose de esta forma la fisuración de los componentes. Este notable aumento tensional se explica fundamentalmente debido a que, a medida que se distorsiona la forma original del componente, el trenzado es incapaz de ejercer su misión rigidizadora, mermándose la capacidad del sistema para resistir presiones interiores. Además, el alto grado de deformaciones contribuye a la plastificación de ciertas regiones en el componente.

Se observa además en las Figuras 8, 9 y 10, que las máximas tensiones de tracción se sitúan precisamente en los valles, mientras que en los picos las tensiones llegar a ser incluso de compresión, justificándose de este modo que las fisuras en los componentes reales se alojen únicamente en los valles, deteniéndose al alcanzar los picos.

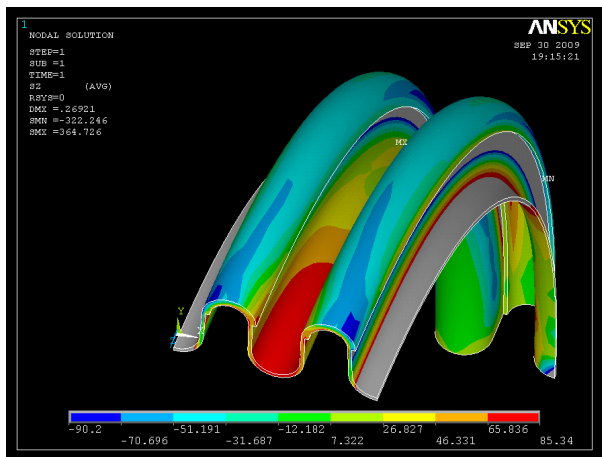


Figura 8. Simulación de tramo recto para condiciones normales de operación. Tensiones máximas en valle = 85 MPa.

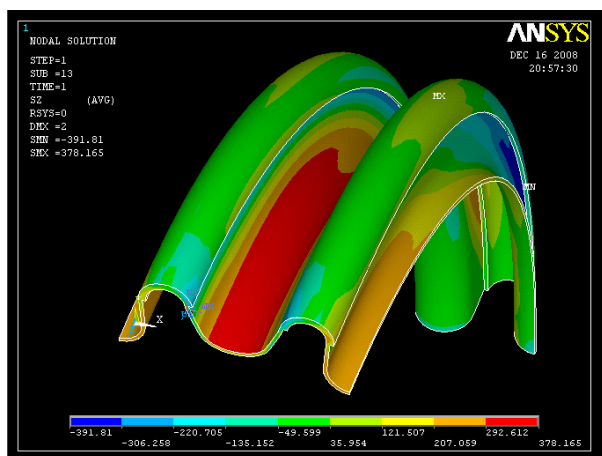


Figura 9. Simulación de zona de máxima curvatura para condiciones normales de operación ($A=1130$ mm, $R=230$ mm). Tensiones máximas en valle = 378 MPa.

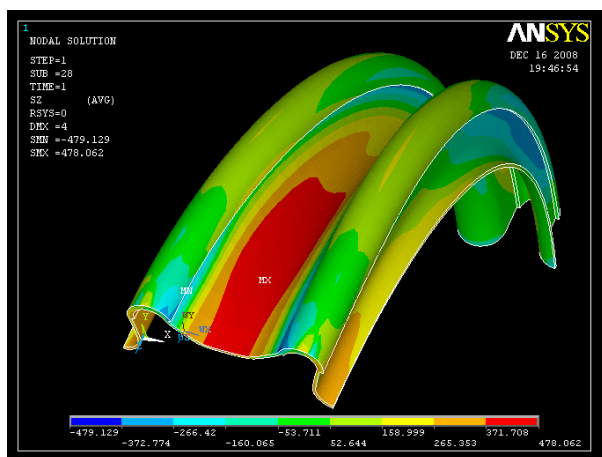


Figura 10. Simulación de zona de máxima curvatura para condiciones de hipercalentamiento ($A=1085$ mm, $R=80$ mm). Tensiones máximas en valle = 478 MPa.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo ha sido analizado el fallo de compensadores de dilatación de los sistemas de tuberías de agua sanitaria de un hospital. En base a las tareas realizadas, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- De acuerdo con los análisis químicos realizados, el material constituyente de las mangueras metálicas interiores no presenta ninguna anomalía en su composición.
- Tras el análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), no se han detectado evidencias de la participación de procesos de corrosión en la fisuración de los componentes.
- El análisis mediante elementos finitos de los compensadores de dilatación, revela que, para las condiciones en que se encuentran montados algunos de los dilatadores, las tensiones alcanzan valores muy elevados (cercanas al límite resistente del material), lo que sin duda compromete la integridad del componente. La causa de estos altos niveles tensionales es el reducido radio de curvatura, que implica que el trenzado exterior no ejerza de forma efectiva su misión de auxilio a la manguera metálica para resistir presiones internas, al tiempo que dicha curvatura provoca por sí sola elevadas plastificaciones.

En base a estas conclusiones, un inapropiado montaje se presenta como la hipótesis más probable del fallo. Este extremo se ve reforzado por el hecho de que, con independencia de su diámetro todos los compensadores presentan la misma longitud y distancia entre apoyos (Figura 1), cuando desde un punto de vista estructural, compensadores con diámetros más grandes requieren de distancias entre apoyos más elevadas.

De esta manera, se recomienda que los compensadores sean colocados con distancias entre apoyos tales que, bajo las condiciones de funcionamiento más severas (hipercalentamiento) se garanticen tensiones en las zonas más solicitadas por debajo de los límites resistentes del material.

REFERENCIAS

- [1] Cicero, S., Lacalle, R., Cicero, R., "Assessment of Local Thin Areas in a Marine Pipeline by Using the FITNET FFS Corrosion Module", International Journal of Pressure Vessels and Piping (86), 2009, pp 329-334.

- [2] BOA SUPRA helically corrugated stainless steel hose, BOA AG, Expansion Joints, Metal Hoses, Metal Bellows.
- [3] ASM International, Fractography, ASM Handbook, Volume 12, 1987.
- [4] ASM International, Failure Analysis and Prevention, ASM Handbook, Volume 11, 2002.
- [5] C. R. Gagg, P.R. Lewis, "Environmentally assisted product failure – Synopsis and case study compendium", Engineering Failure Analysis, Volume 15, Issue 5, July 2008, Pages 505-520.
- [6] D. Peckner and I. M. Bernstein, Handbook of Stainless Steels, McGraw-Hill Book Company, New York, NY, (1977).
- [7] ANSYS Inc., 2008, Release 11.0.
- [8] Matweb, Material Property Data, <http://www.matweb.com/>.