

Análisis de fallas en tubos de economizadores

Francisco Cayetano, Mauricio Urbina, Pedro Iglesias, Rafael Gonzalez y José Ramírez

F. Cayetano, M. Urbina, P. Iglesias, R. Gonzalez y J. Ramírez
Universidad Tecnológica del Sureste de Veracruz. Mantenimiento Área Industrial, – Av. Universidad Tecnológica, Lote Grande #1, S/Colonia, Nanchital de LazaroCárdenas del Rio, Veracruz, México, CP. 96360. Tel. (921) 2 11 01 60, ext. 2012.
fr_cayetanop@hotmail.com.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias Multidisciplinarias, Proceeding -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

The cooling system of a steam boiler belonging to an electricity-generating plant, presented crack formation in the economizer pipe, which in turn led to an explosion, water leakage and unscheduled maintenance stops. The fractured specimen was analyzed in the laboratory. Samples were inspected under metallographic, fractographic and stereoscopic and via electron microscopy it was that cracking was caused by SCC which in turn nucleated in corrosion pittings formed on the wetted side. The pittings were quite severe in the failure zone and in the area of the elbow of the pipe; they were also found, though in smaller proportion and depth, in underformed segments of the pipe. This suggests residual stresses resulting from the plastic deformation accentuated the problem but were not the root cause. It was concluded that the root cause of failure was a plastic collapse. This failure led to a pipe burst in the failure zone highlighted by its overall minimum thickness.

Introducción

En la actualidad cada día cobra mayor importancia el Análisis de la Integridad Estructural y Evaluación de la Vida Residual de las instalaciones industriales con gran número de horas de explotación, teniendo como objetivo fundamental garantizar la disponibilidad, confiabilidad, seguridad y cuidado del medio ambiente.

La palabra Falla es un término general que se utiliza para designar que un componente, equipo ó máquina ha dejado de realizar las funciones para las cuales fue diseñado o construido. Se considera que una pieza, máquina ó equipo ha fallado cuando ocurre una de las siguientes condiciones [12].

- Cuando se vuelve completamente inoperable.
- Cuando el componente aún es operable pero no es capaz de cumplir la función para la cual fue concebido, diseñado y manufacturado.
- Cuando el deterioro del componente ha llegado a una condición seria que lo hace inconfiable ó inseguro para continuar su utilización.

Una falla específica se puede atribuir a alguno de los factores mencionados anteriormente que actuaron independientemente o a la interacción de varios de ellos.

En esta investigación se estudió el mecanismo de degradación que afectó al tubo del economizador, la evaluación de los resultados de averías e inspecciones realizadas en una central termoeléctrica y se proponen las medidas correctivas con un programa de inspección y diagnóstico de estos componentes basado en los resultados obtenidos.

1. Método

El tramo del tubo se dividió en 3 secciones; estas fueron: sección recta, sección curva y sección recta con la zona de falla. Posterior a esto, se realizaron cortes primarios resultando 5 tramos. Después de los cortes primarios se realizaron cortes secundarios para la obtención de 4 rodajas con anchos desde 10 mm hasta 20 mm.

Los cortes primarios y secundarios se hicieron con una sierra cinta mecánica y se aplicó líquido enfriador, para evitar calentamiento y cambio en la estructura metalográfica y propiedades mecánicas del material del tubo (ver Figura 1).

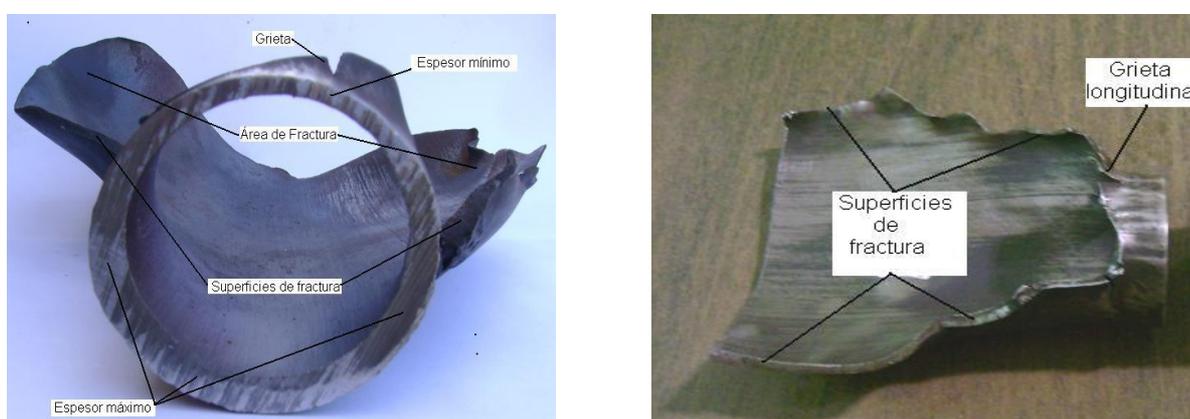
Figura 1 Cortes primarios realizados al tubo para su análisis



Examen preliminar del componente que falló

Se realizó una exanimación visual de la superficie exterior e interior del elemento fallado que incluye fotografías con cámara digital sin y con aumentos (ver Figura 1.1).

Figura 1.1 Zona de falla mostrando diferentes características



Selección de las muestras para ensayo

Posteriormente de las 4 rodajas se tomaron las muestras definitivas obteniéndolas con un área de 10mm^2 aproximadamente. Los cortes definitivos se hicieron con la cortadora ISOMET 1000 con un disco metálico adiamantado y se aplicó agua tridestilada como líquido enfriador, los cortes se realizaron a una velocidad de 100 r.p.m. para evitar calentamiento.

Ensayos mecánicos

Mediciones de durezas de todas las secciones

Para todas las secciones, la dureza se midió utilizando un durómetro digital Rockwell, marca HOYTOM. La escala de dureza fue la Rockwell B, utilizando una bola de acero de 1/16 de pulgada de diámetro (1.5875 mm), una precarga de 10 Kg., y una carga de 100 Kg.

Estos ensayos se tomaron en sentido longitudinal y transversal de acuerdo a la norma ASTM E 18 - 98 "Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Material" (ver Tabla 1)

Tabla 1 Valores de dureza de todas las secciones

SECCIÓN DEL TUBO (m)	DUREZA Rockwell B (HRB)
Zona curva de 0.48	Transversal: 53 Longitudinal: 44
Zona de 0.38	Transversal: 61 Longitudinal: 74
Zona de 0.25	Transversal: 79 Longitudinal: 76
Zona de Falla	Transversal: 84 Longitudinal: 79

Ensayos no destructivos

Para todas las secciones, la medición de espesores se realizó con un equipo de ultrasonido marca EPOCH, el cual mide espesores y detecta defectos internos. También se utilizaron calibradores tipo vernier y compás de puntas, para los espesores más delgados. En la tabla 1.1 se muestran los valores obtenidos de la medición de espesores para cada sección.

Tabla 1.1 Valores de espesores de todas las secciones

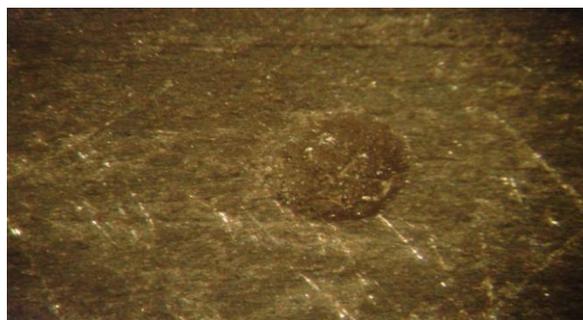
SECCIÓN DEL TUBO (m)	ESPEORES (mm)
Zona curva de 0.48	Máximo: 6.2 Mínimo: 5.0 En el daño mecánico "entalla" de mayor tamaño: 4.7
Zona de 0.38	Máximo: 5.7 Mínimo: 4.8
Zona de 0.25	Máximo: 5.5 Mínimo: 3.4
Zona de Falla	Máximo: 3.6 Mínimo: 2.6

Examen y análisis macroscópico

Estudio estereoscópico de la zona de falla

Se realizó un estudio con el microscopio estereoscópico de la superficie de fractura, presencia de grietas secundarias y otros fenómenos superficiales tales como corrosión, desgaste, erosión, etc. La figura siguiente, muestra los estudios de la superficie interior de la zona falla

Figura 1.2 Fotografía que muestra una de las picaduras de mayor tamaño encontradas en la superficie de la zona de falla. El diámetro es de 0.2 mm. (60 X)

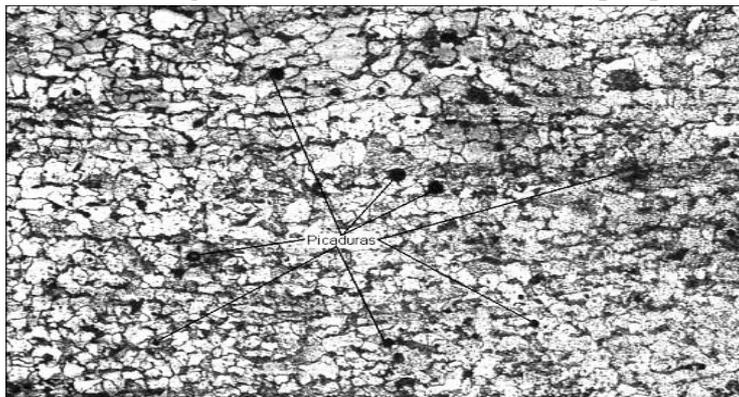


Examen microscópico de la estructura

Para este examen se utilizó el Microscopio Óptico. Se seleccionaron las muestras y para la preparación de las muestras metalográficas se siguió el método descrito en la norma ASTM E 3 – 98 “Preparation of Metallographic Specimens”. Las muestras fueron cortadas, montadas en resina fenólica y desbastadas y pulidas siguiendo las directrices allí indicadas. El ataque se realizó por inmersión en el reactivo Nital para las observaciones microscópicas

La figura 1.3 muestra la microfotografía de los estudios metalográficos de la sección de 0.48 m de longitud.

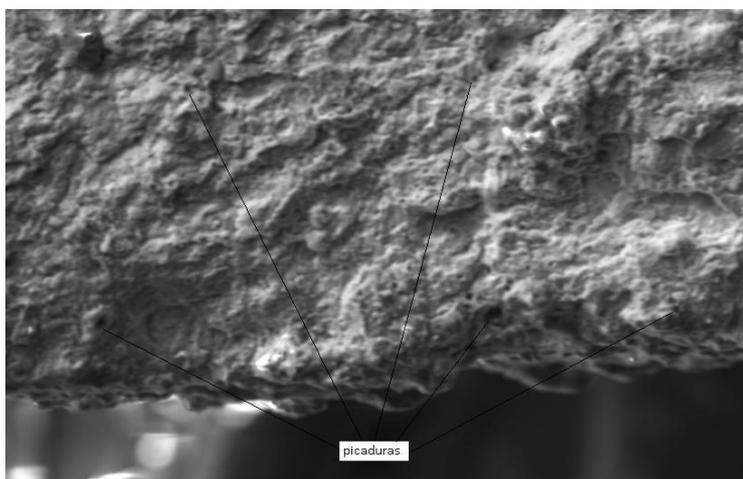
Figura 1.3 Microfotografía mostrando una corrosión por picaduras. (100X)



Examen por Microscopía Electrónica

En los especímenes se observó una corrosión general sobre toda la superficie de fractura y un proceso de corrosión intergranular. También se observó una superficie con el mayor porcentaje de picaduras sobre los granos y en las fronteras de los granos. La figura 1.4 muestra la microfotografía tomada por el MEB a un aumento de 600X, de la superficie de fractura.

Figura 1.4 Microfotografía que muestra picaduras y una corrosión general. (600X)



1.2.Resultados y Discusión

Sección recta de 0.46m de longitud

Superficie exterior

Se detectaron daños por picaduras y corrosión generalizada. El espesor del tubo no presentó adelgazamiento significativo; sin embargo, el daño mecánico “entalla” de mayor tamaño disminuyó localmente el espesor hasta en un 31.43% (4.774mm) con respecto al mayor valor de espesor medido en todo el tubo y la resistencia mecánica en este punto muy localizado disminuye, poniendo en riesgo esta parte de la sección del tubo. Las marcas de herramientas pudieron ser generadas cuando el tubo fue colocado en su lugar. Estas marcas corresponden a daños por golpes de arco provocadas por electrodos utilizados en el proceso de soldadura y a marcas por disco abrasivo.

Superficie Interior

El vapor en contacto con la superficie del metal en esta sección provocó un daño superficial del tipo corrosión por picaduras y corrosión general. Las picaduras de tamaño menor y en mínima cantidad y la corrosión general se presentan en todo el tramo. Los espesores medidos son los de mayor valor esto debido a que el vapor en esta sección no provocó una erosión o desgaste significativo. Se encontraron picaduras alineadas ubicadas al extremo de esta sección la cual está ubicada en la parte que da inicio a la sección curva del tramo del tubo.

Metalografías

Mostraron una superficie con picaduras con un porcentaje menor a las otras dos secciones. Las picaduras de mayor tamaño fueron de 0.974 micras. También se observó una corrosión general sobre toda la superficie de los granos metalográficos y un proceso de corrosión intergranular. El tamaño de los granos metalográficos fue 14, según norma ASTM.

Durezas

Los valores de dureza reportaron ser los menores de todas las secciones. Esto se debió a un deterioro mínimo del material por los procesos de deformación elástica y plástica (ver tabla 1).

En relación a las otras secciones bajo prueba el procedimiento descrito anteriormente se aplicó a cada una de las secciones que se enlistan en la tabla 1.

Superficie de fractura

Microscopía Electrónica de Barrido

Como se analizó en la zona recta anterior a la zona de falla, la pérdida de metal debido a la corrosión-erosión y a las picaduras exteriores, provocaron un adelgazamiento severo en el espesor del tubo en esta zona de falla. Las microfotografías muestran la superficie de fractura y el mecanismo de falla dúctil y frágil, por el cual el elemento falló.

1.3.Conclusiones

En la sección recta de 0.46m de longitud los daños mecánicos de mayor tamaño disminuyeron en ese punto el espesor del tubo a 4.774mm, representando esto una pérdida de espesor del 31.43%. Esta reducción de espesor en esa zona no puso en riesgo la integridad del tubo debido a que el esfuerzo circunferencial es dos veces mayor que el esfuerzo longitudinal. Debido a esto, el esfuerzo circunferencial tiende a cerrar la grieta.

Se encontraron picaduras alineadas, teniendo una longitud de 0.20m, en el sentido del flujo de vapor y cercanas a la sección curva y ubicadas en la misma posición que la grieta longitudinal localizada en la zona de falla. El cambio de espesor no fue significativo.

La corrosión general en todos los granos metalográficos fue del 100%, la corrosión por picaduras fue del 40% y la corrosión intergranular fue del 45%.

En la sección curva de 0.38m de longitud las picaduras circulares de mayor tamaño fueron de 5mm de diámetro y 1mm de profundidad. Esta superficie fue la que presentó el mayor porcentaje de corrosión por picaduras. El espesor disminuyó hasta 4.826mm, representando esto una pérdida del 30% de espesor.

La corrosión general a nivel microestructural fue del 100%, la corrosión por picaduras fue del 60% y la corrosión intergranular fue del 50%.

La dureza en sentido transversal, se incrementó en 8 puntos representando esto un 15%. La dureza en sentido longitudinal, se incrementó en 30 puntos representando esto un 68.18

En la sección recta de 0.25m de longitud con zona de falla la superficie exterior a nivel macroscópico, reveló un daño de corrosión por picaduras y un daño por corrosión general. El porcentaje fue del 240.65% debido a un mecanismo de corrosión-erosión. La disminución de espesor en el extremo opuesto de esta sección fue del 82.97%, debido también a un mecanismo de corrosión-erosión.

La superficie interior a nivel macroscópico, mostró daño por un mecanismo de corrosión-erosión y por picaduras. La pérdida de espesor en la zona de falla, fue la más severa de todas las secciones.

Las presiones máximas de seguridad calculadas para el espesor detectado en la zona de falla, fueron de 94 kg/cm^2 , siendo que las presiones de operación del tubo eran de 202 kg/cm^2 . El tubo perdió el 215% de su resistencia mecánica en la zona de falla.

La corrosión general en todos los granos metalográficos fue del 100%, la corrosión por picaduras fue del 70% y la corrosión intergranular fue del 65%.

Las otras picaduras de menor tamaño también mostraron una deformación en la misma dirección que la deformación plástica. Por último, la superficie interna de la zona de falla de menor espesor, presenta un deterioro por corrosión-erosión y por picaduras.

La ASME recomienda que el agua de alimentación a calderas y recipientes a presión, tenga un contenido de oxígeno menor a 7 ppb. El vapor que circula por el tramo de tubo analizado es un vapor húmedo, esto indica que existe agua en suspensión y por consecuencia oxígeno disuelto en mayor cantidad. Este oxígeno disperso puede ser el causante de las picaduras internas.

Tomando en cuenta además la zona geográfica de la termoeléctrica de Tuxpan, se sabe que la atmósfera es del tipo marino-húmedo durante la mayor parte del año; generando esto, una concentración de cloruros por el agua de mar, favoreciendo esto el proceso de picaduras y corrosión en la superficie exterior de los tubos.

La composición química entregada del acero SA-210-A1 de los tubos cumple con los requerimientos de la norma, sin embargo, tanto en la zona del codo como en la recta se nota que la dureza es superior a lo estipulado, esta situación puede explicar el origen de las picaduras, ya que el mayor valor de la dureza del acero del tubo implica que tiene un mayor valor de esfuerzos residuales provenientes de fabricación, lo cual favorece la corrosión por picadura.

Las picaduras es lógico que se acentúen en la zona del codo, ya que allí hay un mayor valor de esfuerzos residuales, sin embargo, no por ello se puede achacar la causa raíz del problema a una posible deficiencia en el tratamiento térmico después del doblado de los tubos, debido a que las zonas rectas de los mismos también presentan picaduras.

1.4.Referencias

SID- SGC-GO-IV-001 REV. 0 - Procedimiento de inspección visual.

SID-SGC-GO-MG-001 REV.0 - Procedimiento de extracción de replicas metalográficas en equipos y/o accesorios metálicos.

ASM METALS HANDBOOK - Atlas de microestructuras.

ASME SECCION V - Nondestructive examination.

S.R de Sánchez and D.J. Schiffrin. Corrosion 41 (1985) 1-31.

Heat exchanger corrosion in Power Stations. S.R de Sánchez. Corrosion Review. Vol. VIII, N03-4, 283-332 (1989).

2.1 ASTM STANDARDS.

ASM HANDBOOK VOLUMEN 8 “Mechanical testing”; february 1992.

ASM HANDBOOK VOLUMEN 1 “Propierties and selection: irons, steels, and high performance alloys; march 1990.

ASME B31.1 Power piping.

ASME SECTION I Boiler and pressure vessel code.

Herrera, E.J., Soria, L. y Gallardo, J.M., Ingeniería Forense (Diagnosis de fallos), Anales de Mecánica de la Fractura, vol. 21, pp. 21-27, 2004.

Corrosion on the steam side of a heat exchanger, Arévalo, P.Esparza, C.G.Bas, J.Morales, S. Gonzalez y S.R.de Sánchez Materials Performance 35 (1996) 67 .

Causa de corrosión en el condensador de la unidad N° 8. Central Puerto Nuevo. Informe N° 336/78. Investigación y Desarrollo. SEGBA. (1978).

Técnica de replica para análisis Metalográfico no destructivo. Aplicación de la misma a diferentes unidades en Central Puerto Nuevo y Central Costanera. Informes

N°32-N°248/79 y N°249/79. Investigación y Desarrollo.

SEGBA.(1979). ASM International, Handbooks of Case Histories in Failure Analysis,

ASM International, ASM Handbooks Volume 11: Failure Analysis and Prevention.

D.R.H. Jones, Failure Analysis Case Studies II. Netherlands: Elsevier, 2001,

J.L. González Velázquez.(2004). Mecánica de Fractura. LIMUSA. México.

Askeland, D., Ciencia e ingeniería de los materiales, Thomson, 2004.

Corrosión Engineering, Mars G. Fontana, Third Edition, McGraw-Hill International Editions, 1987.

Tecnología e Ingeniería de Materiales, José Mayagoitia Barragán, McGrawHill, 2004.

DÍAZ, G; ARENAS ALATORRE, J. "Microscopía Electrónica de Barrido y Técnicas Analíticas Asociadas para la Caracterización de Electrocatalizadores y Superficies de Electrodo" En: Electroquímica y Electrocatálisis (Ed. por Nicolás Alonso Vante), Buenos Aires, e-libro.net., Capítulo 17, Vol. 2b, 2003.

ARENAS ALATORRE, Jesús Ángel. "Contribuciones de la física en la historia de la microscopía". Revista Digital Universitaria. 10 de julio 2005, Vol. 6, No. 7. [Consultada: 11 de julio de 2005]. Disponible en Internet: <www.revista.unam.mx/vol.6/num7/art70/int70.htm> ISSN: 1607-6079.