

“MAIN CAUSES OF FAILURES IN CRITICAL RADIUS BENDS OF FUEL POWER PLANT SUPERHEATER”.

J. Echevarría, F. Sendoya, H. Domínguez, M. López, J. Amalfi, J. Suárez, S. Rondón, R. Pérez, L. Fernández, V. Herrera.

Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear.
Calle 30, Esquina 5ta, Nro. 502, Miramar, Playa, Ciudad Habana.

e-mail: jfem@ceaden.edu.cu

ABSTRACT.

In this paper the authors made a resume of study carried out by Materials Laboratory of Center of Applied Studies for Nuclear Development (CEADEN). Establishment of the causes of the simultaneous failures and after cracking occurred in the neutral zone of critical radius bends locating in high pressure Superheater of Fuel Power Plant long two years. Authors arrived to the conclusions that the main cause of simultaneously failures in the critical radius bends was the high sulfur content in the Steel of these bends and observed internal cracking in the plastic deformed zone (strike), made during construction of bends in the factory. These works was too helpful in taking decision for changes all critical radiuses bends and avoid the decrease of generate electrical energy.

RESUMEN.

En este trabajo se hace un resumen del estudio llevado a cabo por el laboratorio de Materiales del Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN) durante dos años, para establecer las causas de los fallos masivos y el agrietamiento posterior ocurridos en las zonas neutras de las curvas de radio crítico de un sobrecalentador de alta presión de una Central Termoeléctrica, llegándose a la conclusión de que la causa raíz de los fallos ocurridos fue el elevado contenido de azufre presente en el acero utilizado para la fabricación de las curvas, así como el agrietamiento interior observado en la zona de la deformación plástica localizada (golpe de estampado), originado durante la fabricación de las mismas. Este trabajo permitió tomar la decisión de cambiar todas las curvas de radio crítico de este sobrecalentador y a su vez la disminución de la indisponibilidad de energía eléctrica.

INTRODUCCION.

En el mes de Junio de 1996, se produjeron fallos masivos en las curvas de radio crítico del sobrecalentador de alta temperatura, identificadas con los números 40 Inferior (I), 41I, 43I, 44I, 50 Superior (S), 51S, 64S. Posterior a estos fallos se comenzó una investigación donde después de un análisis exhaustivo de una curva fallada, se arribó a la conclusión que la causa de los fallos masivos se debía a *fenómenos dinámicos que pudo sufrir el SAT 2, en el curso del funcionamiento después de haber experimentado temperaturas de servicio de más de 850 °C¹.*

Por otra parte un estudio independiente y simultáneo sobre el mismo tema fue realizado en otro laboratorio, donde se planteó que las causas de los fallos masivos en las curvas de radio crítico fueron: ***La variación del sistema de servicio, provocando las diferentes dilataciones que sufrió el tubo dañado fuertemente en la zona más débil del codo, dando lugar a la fatiga y fractura del mismo y las tensiones excesivas***^{2,3}.

Por otra parte el Laboratorio del Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN), comenzó una investigación con el objetivo de diagnosticar y pronosticar la vida útil de las curvas en cuestión. Como resultado de este estudio se llegaron a varias conclusiones⁴

- 1. La causa fundamental de los siete primeros fallos en las curvas fue el ajuste de las válvulas de seguridad que trajo como consecuencia el crecimiento acelerado de grietas interiores y exteriores debido a una sobrepresión. Además se parte del hecho de que las curvas ya presentaban macro - fisuras que nacieron en la zona neutra.***
- 2. La causa fundamental de los fallos posteriores fue el sobrecalentamiento que provocó el primer fallo, dando lugar a la aparición de estructuras del tipo martensítico, que son mucho más frágiles e inestables, en las zonas vecinas. El agrietamiento presentado exteriormente también es una consecuencia de este sobrecalentamiento.***
- 3. Las incursiones a altas temperaturas se debieron a la clausura de varios serpentines que se convirtieron en fuente de calor localizadas, para los vecinos que fallaron posteriormente y no se debe a problemas de operación inadecuada.***

.....

Como se aprecia, las conclusiones a las que arribaron los tres laboratorios tienen puntos comunes, sin embargo no quedaban claramente demostradas por no contar con evidencias objetivas documentadas o con una estadística apropiada para las siguientes afirmaciones:

- 1.** Sobrecalentamiento (los registros de temperatura de los termopares ubicados en la cámara muerta nunca rebasaron los 600 °C durante todo el periodo de explotación), sin embargo de siete curvas falladas se analizó **una** sola, y esta tenía estructura ferrita + **martensita reciente**,
- 2.** Fisuras interiores detectadas por ultrasonidos (aquí se contaba con una estadística apropiada pero no existían evidencias objetivas, examen visual interior o radiografías),
- 3.** Los valores de las tensiones fueron elevados (sin embargo no se efectuaron cálculos con las condiciones reales),

Por tal motivo durante el mantenimiento capital se planificó efectuar un estudio más profundo sobre el estado de las curvas de radio crítico con el objetivo de determinar la causa raíz de todos los fenómenos registrados en el SHT2, a partir de evidencias objetivas y de un plan de muestreo adecuado para el caso.

MATERIALES Y METODOS.

ESTUDIO IN SITU AL 100% DE CURVAS DE RADIOCRITICO.

Para el diagnóstico de las curvas de radio crítico del SHT2 se hizo un plan de muestreo que incluyeron las siguientes actividades:

- Inspección visual exterior,
- Mediciones de dureza,
- Medición de espesor.

ESTUDIO DE LABORATORIO.

El estudio de laboratorio se realizó en nueve curvas tomadas de las proximidades de las zonas de fallos que incluyeron los siguientes análisis y ensayos:

- Análisis químico,
- Inspección visual interior a las curvas cortadas en dos mitades,
- Observación y medición en el microscopio óptico de las grietas interiores y exteriores,
- Ensayo de dureza Brinell,
- Análisis metalográficos,
- Ensayo de tracción a temperatura ambiente,
- Ensayo de difracción de rayos X

Los trabajos de inspección in situ se realizaron según los procedimientos específicos de ensayos desarrollados por el CEADEN utilizando equipos de la firma Krautkramer and Branson para la medición de espesores y dureza, así como medios para el control por líquidos penetrantes para facilitar la observación de grietas exteriores durante la inspección visual en el SHT2.

El estudio de laboratorio se realizó utilizando los procedimientos de ensayos y equipos aptos para el uso.

Las curvas empleadas en este estudio fueron identificadas con los siguientes números: 39 Inferior (I), 39 superior (S), 45I, 45S, 52I, 52S, 65I, 65S. Además se incluyó posteriormente la curva 18S que se agrietó durante las operaciones de reparación de la curva 17I.

Para los ensayos de tracción las muestras se tomaron de la parte recta del tubo en la zona expuesta al fuego. La observación metalográfica se realizó en la zona estirada de la curva y en los tubos. Las mediciones de dureza se realizaron en la zona de los tubos.

RESULTADOS Y DISCUSION.

INSPECCION IN SITU.

Como resultado de las inspecciones y ensayos in – situ podemos decir que los valores de dureza obtenidos en comparación con los del año 1997 son ligeramente inferiores, lo que indica que se ha producido un revenido en la estructura metalográfica con el tiempo de explotación, no obstante el valor promedio de dureza 256 HV es superior al considerado como normal para este acero en ***estado de suministro para la composición química específica***. Los valores de espesor de pared medidos no son comparables con los reportados en el 1997 porque fueron realizados en diferentes zonas. No obstante todos cumplen con las exigencias del fabricante para este periodo de explotación.

En lo que concierne a los resultados de la inspección visual exterior podemos decir que el fenómeno de agrietamiento exterior se continúa presentando, por lo que la causa que lo origina aún perdura, aunque en esta ocasión la cantidad de nuevas curvas agrietadas exteriormente (6) se localizó en la zona próxima a la escotilla de acceso (curvas identificadas con los números 8I, 10I, 12I, 20I, 14S y 20S) a diferencia de la vez anterior que el fenómeno de agrietamiento se observó distribuido en varias zonas y tuvo un mayor alcance en cuanto a expansión (17 curvas ver anexo I).

ESTUDIO EN EL LABORATORIO.

INSPECCION VISUAL.

La inspección visual interior y exterior se realizó a once curvas de las cuales en 10 se aprecia un agrietamiento interior localizado en una zona que posee un golpe, siendo característico en esta zona un agrietamiento en forma de malla, donde hay una grieta magistral o principal a 45 grados con respecto al eje neutro de la curva con una extensión promedio de 11 mm de longitud y alrededor de 2.5 mm de profundidad en el peor caso (ver figura 1), con ramificaciones a partir de la grieta magistral en ángulos perfectamente rectos en la mayoría de los casos. Es muy importante señalar que la única curva que no presentó agrietamiento interior no tenía golpe (deformación

plástica localizada). Por otra parte el aspecto de la capa protectora de magnetita tiene un aspecto compacto y consistente, lo que evidencia la observación de un régimen químico adecuado.

De todo lo observado podemos decir que el aspecto de este tipo de agrietamiento es frágil y consecuencia del proceso de conformado de las curvas en fábrica.

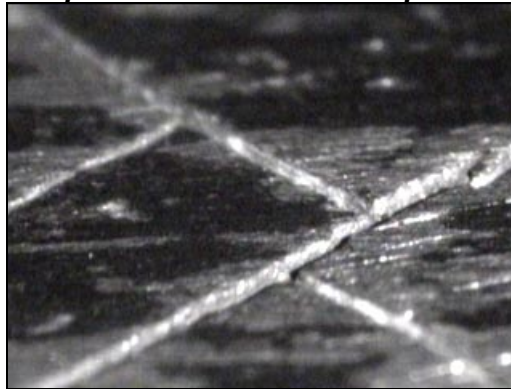


Figura 1. Agrietamiento característico observado en las curvas de radio crítico.
Aumento 14 x

ANÁLISIS QUÍMICO.

Los resultados de los análisis químicos realizados cumplen con la norma NFA .49213 para el acero TU Z 10 CD V Nb 9.2 (ver tabla No.1), sin embargo no están acorde con los estudios especializados realizados por investigadores de la Vallourec^{5,6,7,8,9,10} sobre el comportamiento del acero EM 12 donde resaltan que cuando el contenido de azufre es superior al 0.005 % las propiedades mecánicas de este acero difieren hasta en 3.3 veces en sentido longitudinal con respecto al transversal, además de que los valores de resiliencia disminuyen considerablemente para contenidos de azufre por encima de este valor. Por tal motivo en desde 1979 se estableció que el contenido de azufre para tubos de Recalentadores y Sobrecalentadores estaba limitado a 0.005 % como máximo a pesar de que la norma para este acero establece que el contenido de azufre puede ser seis veces mayor (0.03 %). Otros estudios similares llevados a cabo años más tarde por otros investigadores Belgas también notan este hecho⁹. Otras fuentes y análisis recientes a producciones actuales muestran que el contenido de azufre se encuentra por debajo de 0.005 % (ver informe de análisis químico de curvas en estado de suministro fabricadas en 1997). ***De aquí podemos afirmar que la causa raíz del agrietamiento de las curvas y de la fragilidad observada se debe al alto contenido de azufre que las mismas poseen (0.015%) unido a eventos de sobrecalentamiento y efectos dinámicos que producen cargas de impacto térmicas sobre dichos elementos. De esta forma queda bien establecida la causa de raíz de los fallos.***

Tabla No.1 Composición química de las curvas de radio crítico del SHT2.

Ident. De las Muestras	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Cr (%)	Mn (%)	Co (%)	Ni (%)	Nb (%)	Mo (%)	V (%)
45 I	0.144	0.631	0.016	0.031	9.100	1.060	0.024	0.177	0.451	2.200	0.345
18 S	0.125	0.630	0.015	0.031	9.180	1.070	0.022	0.174	0.435	2.170	0.340
52 I	0.095	0.625	0.016	0.030	9.130	1.070	0.023	0.179	0.444	2.150	0.340
39 I	0.0663	0.532	0.015	0.038	7.99	0.997	0.024	0.148	0.447	2.000	0.330

ANALISIS METALOGRAFICO.

Los análisis metalográficos realizados por otra parte muestran la presencia de estructuras de ferrita, carburos y ***martensita reciente***, surgida durante los eventos anormales de operación de la unidad.

Por la abundancia de ***martensita reciente*** así como por la fragilidad observada en este acero se decidió efectuar un ensayo de aplastamiento para comprobar el grado de plasticidad del material llegándose a la conclusión de que el material está totalmente frágil, ya que la rotura ocurrió sin deformación plástica alguna.

ENSAYO DE TRACCION.

Los resultados de los ensayos de tracción a temperatura ambiente indican que las propiedades de resistencia del material están muy por encima de las máximas exigidas en las normas del fabricante y las propiedades plásticas están totalmente por debajo del mínimo requerido (mayor que el 15 %) lo que refleja el alto grado de fragilidad observado anteriormente en este material.

ENSAYO DE DUREZA.

Los valores de dureza obtenidos para los tubos rectos en el lado del fuego son considerablemente elevados, lo que se corresponde con los elevados valores de resistencia obtenidos y la poca elongación mostrada por este material en los ensayos de tracción.

CONCLUSIONES.

1. La causa raíz de los fallos masivos en las curvas de radio crítico del SHT2 es el elevado contenido de azufre (0.015%) que provoca una marcada anisotropía y fragilización en el material principalmente en las zonas sometidas a deformaciones plásticas considerables durante la conformación o golpes durante la fabricación de las curvas^{5, 6, 7, 8, 9, 10}.
2. El agrietamiento interior encontrado en la zona de deformación plástica localizada (golpe) tiene carácter frágil y se produjo durante la fabricación de las curvas de radio crítico.
3. La estructura martensítica anormal observada en todas las curvas, demuestra que el material sufrió un calentamiento por encima de Ac1 (835 - 865 °C).
4. El material posee un grado de fragilización considerable a temperatura ambiente, dado por su elevada resistencia mecánica y poca plasticidad⁹.
5. Los eventos dinámicos (tales como frecuencia, averías, procedimientos de apagado y encendido de la caldera) unido al alto grado de fragilización que tiene este acero favorece el surgimiento de grietas¹.

REFERENCIAS.

- [1] Prueba metalúrgica de un lazo fisurado del SAT 2 (curvado en EM 12 Ø 51x5.6 mm). G/J 7249.
- [2] Omar Vázquez. Informe sobre la investigación efectuada a mocheta averiada correspondiente al sobrecalentador. EMCE. 30-6-1996.
- [3] Omar Vázquez. Informe sobre los controles realizados in-situ a los serpentines correspondientes. EMCE. 2-7-1996.
- [4] Echevarría J. F., Domínguez H., y otros. Informe final sobre la inspección in situ del SHT 2. CEADEN. 1997.

- [5] B. Duquaire, F. Pellicani, G. Guntz. Etude des facteurs régissant quelques propriétés d'emploi de l'acier Z10CDNbV 9-2 a structure ferrito-martensitique. Revue de Métallurgie. Decembre 1979.
- [6] . M. Caubo, J. Mathonet. Caracteristiques et applications industrielles d'une nuance d'acier a 9 % Cr, 2 % Mo, V, Nb pour tubes de surchauffeurs. Revue de Métallurgie. Mai 1969.
- [7] . M. Caubo, L. Gottignies. Nouvel acier pour tubes de surchauffeurs mis au point par le comite belge pour l'étude du fluage des metaux aux temperatures elevees. Revue de Métallurgie. Agut 1961.
- [8] J. Pelabon, F. Pellicani. Developpement industriel d'une nuance 9 Cr-1 Mo modifiee pour surchauffeurs de centrales thermiques et generateurs de vapeur de centrales nucleaires surregeneratrices. Memoires et Etudes Scientifiques. Revue de Métallurgie. Mai 1988.
- [9] Norma francesa NF A 49-213.
- [10] C. Coussement, M. De Witte, R. Dobbelaere and E. Van der Donckt. High Temperature Properties of improved 9 % Cr Steel Weldments. Int. J. Pres. Ves. & Piping 1991.
- [11] Inspección del sobrecalentador SHT2. Laboratorio de Materiales del Departamento de Análisis y Ensayos del CEADEN. 31/97
- [12] Informe del Ensayo de Metalografía. Laboratorio de Materiales. Departamento de Análisis y Ensayos del CEADEN. 1/97.
- [13] Informe parcial de la inspección in situ del sobrecalentador de alta presión SHT2. Laboratorio de Materiales. Departamento de Análisis y Ensayos del CEADEN. 54/97.
- [14] Echevarría J. F., Sendoya F., Amalfi J., López M.. Informe de la reunión sostenida en la CTE. Resultados Parciales. CEADEN 1998.
- [15] Evaluación del estado de las paredes laterales del haz tubular de la caldera. Laboratorio de Materiales del Departamento de Análisis y Ensayos del CEADEN. Noviembre 1996.
- [16] Grigorev V. A.y Zorin V. M.. Teploenerguetika y Teplotejnica. Spravochnik. Kniga I. Moskva. Energoatomizdat, 1987.