

COSTOS DE LAS AVERÍAS POR CREEP DE LOS TUBOS DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA “CARLOS M. DE CÉSPEDES” Y PERSPECTIVAS DE SU REDUCCIÓN.

COSTS OF CREEP DAMAGE BY THE TUBE “CARLOS M DE CÉSPEDES” THERMAL PLANT AND REDUCTION ITS PROSPECTS.

Yanileisy Rodríguez Calderón¹, Ing. Mayren Rivero Castellanos²,

Dr. Rafael Goytisoló Espinosa², Ing. Guillermo Cipriano Pérez De la Cruz³

¹ Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Cuba .E-mail: yani@ucf.edu.cu

² Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, Cuba .E-mail: ragoyti@ucf.edu.cu

³ Central Termoeléctrica “Carlos M. de Céspedes”. Cienfuegos, Cuba

Resumen:

Las fallas por creep de los tubos de los generadores de vapor están presentes en la casi totalidad de las centrales termoeléctricas, por esta razón, una gran cantidad de investigadores de todo el mundo se están ocupando del estudio de la vida útil por creep en los tubos de los generadores de vapor con el fin de minimizar las averías y reducir los gastos. La consecuencia directa e inmediata, cuando existen tubos ponchados, es el aumento progresivo de la cantidad de agua desmineralizada que se alimenta a las calderas, lo cual se explica porque dichas fallas en los tubos producen salideros o escape de agua que no termina el proceso de formación de vapor. Por lo tanto, las averías provocan pérdidas por indisponibilidad y otras pérdidas asociadas con la reparación de las averías en cuestión, disminuyendo la eficiencia de la instalación. En la Central Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos se cuantifica por separado todos los gastos en que se incurren. En este artículo se pretende conceptualizar diferentes aspectos económicos que se deben incluir en la valoración del costo de la falla de un tubo de la pared de agua. Una vez que se tenga determinado el costo unitario de una falla se puede estimar a cuanto ha ascendido la erogación en divisa por concepto de fallas tubos de las paredes de agua, para cada una de las unidades japonesas, en los más de 30 años que se tiene registradas estas averías..

Palabras Clave: Averías por creep de los tubos de los Generadores de Vapor, Gastos en que se incurren, costo de una avería. Costo total de las averías para la CTE “Carlos M. de Céspedes.

Abstract:

The creep failure of the tubes of the vapor generators are present in the almost of the thermoelectric power stations, for this reason, a great quantity of investigators from all over the world is being in charge of the study of the useful life for creep in the tubes of the generators of vapor with the purpose of to minimize the mishaps and to reduce the expenses. The direct and immediate consequence, when failure tubes exist, it is the progressive increase of the quantity of water demineralized that feeds to the boilers that which is explained because this flaws in the tubes produce flight or escape of water that it doesn't finish the process of formation of vapor. Therefore, the mishaps cause losses for unavailability and other losses associated

with the repair of the failure in question, diminishing the efficiency of the installation. In the Thermoelectric Power Station “Carlos Manuel de Céspedes” of Cienfuegos is quantified for separate all the expenses in that they are incurred. In this paper it is sought to consider different economic aspects that should be included in the valuation of the cost of the flaw of a tube of the wall of water. Once one has certain the unitary cost of a flaw can be considered to as much as it has ascended the expenditure in foreign currency for concept of flaws tubes of the walls of water, for each one of the Japanese units, in those more than 30 years that one has registered these mishaps..

Key Words: Creep failure of the tubes of the Generators of Vapor, Expenses in that are incurred, cost of a mishap. Total cost of the mishaps for the CTE “Carlos M. de Céspedes”

1 Introducción:

Las averías o fallas en los tubos de las paredes de agua (pantallas) del horno y de los sobrecalentadores de las calderas de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”, de Cienfuegos aparecen reportadas desde el año 1980, es decir, casi desde el arranque de las unidades CMC 3 y CMC 4. Las fallas que se presentan pueden estar originadas por distintas causas: 1. “Creep”. 2. “Creep” en presencia del adelgazamiento de fabricación en la pared (Durante el doblado de los codos fundamentalmente). 3. “Creep” en presencia del adelgazamiento de la pared en presencia del fenómeno erosión – corrosión. 5. Colapsación plástica. En todos estos casos al final resulta obligatorio detectar y reparar los tubos que presentan las averías, de lo contrario, la eficiencia de la instalación se ve muy afectada. La solución de estas fallas, se ha ejecuta normalmente el período de las paradas para los mantenimientos programados, sin embargo en muchas ocasiones ha sido necesario parar las unidades con el propósito principal de solucionar las averías de los tubos. El procedimiento para restablecer las cualidades de explotación de los tubos con averías, consiste en cortar la longitud del tramo donde están localizados los ponches y soldar un trozo de tubo (mocheta) en sustitución del tramo de tubo que ha sido eliminado. La consecuencia directa e inmediata, cuando existen tubos ponchados en las pantallas, es el aumento progresivo de la cantidad de agua desmineralizada que se alimenta a las calderas, lo cual se explica porque dichas fallas en los tubos producen salideros o escape de agua que no termina el proceso de formación de vapor. Por lo tanto, las averías provocan pérdidas por indisponibilidad y otras pérdidas asociadas con la reparación de las averías en cuestión, disminuyendo la eficiencia de la instalación. En cuanto al análisis económico de este tipo de averías es necesario precisar que en la Central Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos con anterioridad se han realizados algunos cálculos económicos caracterizados, en su casi totalidad por el hecho de tomar en consideración solamente el concepto de la indisponibilidad de la planta producido por las mismas. Aunque es necesario aclarar que en el control económico implantado se cuantifica por separado todos los gastos en que se incurren. En este artículo se pretende conceptuar diferentes aspectos económicos que se deben incluir en la valoración del costo de la falla de un tubo de la pared de agua. Una vez que se tenga determinado el costo unitario de una falla se puede estimar a cuanto ha ascendido la erogación en divisa por concepto de fallas tubos de las paredes de agua, para cada una de las unidades japonesas, en los más de 30 años que se tiene registradas estas averías.

2 Materiales y Métodos

2.1 Factores a considerar al determinar el costo unitario de una avería por falla de tubo en las Unidades Japonesas de la Central Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos.

En múltiples ocasiones cuando se detecta que existe un salidero en algún tubo de caldera se mantiene la unidad trabajando hasta que las condiciones del SEN permiten la salida del bloque..

Para la realización del cálculo del costo de la avería tenemos que tomar en cuenta varios factores entre los que se tienen:

1. Sobreconsumo o gasto de agua desmineralizada, producto de la operación de la unidad con el salidero, el enfriamiento de la caldera, la realización de las pruebas hidráulicas y el arranque de la unidad.

2. El incremento del consumo de combustible en el SEN por la generación con unidades cuyo consumo específico bruto es mayor al de la unidad que se encuentra fuera de servicio en la CTE “Carlos M. de Céspedes”.

3. El consumo de energía eléctrica del SEN para el enfriamiento de la caldera, la realización de las pruebas

hidráulicas y el arranque de la unidad.

4 El consumo de combustible para el arranqué de la unidad.

5,El costo de los materiales para la realización de la reparación de la avería..

6.Mano de obra utilizada en la reparación.

2.2Cálculo del costo de una avería de un tubo en una de las Unidades Japonesa de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos.

·Costo por sobreconsumo de agua desmineralizada.

Para la realización de la valoración económica se tomará como referencia la avería ocurrida el día 19 de Mayo de 2003, en la cual se produjo un disparo de caldera con pérdida de nivel por la explosión de un tubo de las paredes de agua. A partir del día 11 de Mayo de 2003 se detecta que existía un incremento del consumo de agua de reposición en la Unidad CMC-4, el cual iba incrementándose con el transcurso de los días hasta que el día 19 de Mayo se produce la avería. En la Tabla 1 se muestra el comportamiento de este incremento y de su costo.

Tabla 1 Sobreconsumo de agua desmineralizada

Día	Consumo m ³ Real	Consumo m ³ Plan	Sobreconsumo m ³	Valor/m ³ CUP/m ³ + USD/m ³	Costo CUP, USD
11	199	130	69	0,43 CUP + 0,36 USD	29,67, 24,84
12	223	130	93		39,99, 33,48
13	252	130	122		52,46, 43,92
14	289	130	159		68,37, 57,24
15	352	130	222		95,46, 79,92
16	608	130	478		205,54, 172,08
17	643	130	513		220,59, 184,68
18	676	130	546		234,78, 196,56
19	616	130	486		208,98, 174,96
20-22	1163	-	1163		500,09, 418,69
Costo Total Sobreconsumo de agua desmineralizada				1 655,93 CUP, 1 386,36 USD	

El costo de materiales y de salarios vinculados, de 1 m³ de agua desmineralizada es de \$ 0,79 lo cual incluye el costo de los productos químicos sacados del almacén, los salarios de los operarios vinculados y el costo del agua, de estos 0,43 son en CUP y 0,36 en USD. En la Figura 1 se muestra la gráfica del incremento del consumo de agua. Se observa que, en los primeros cuatro días de haberse detectado el salidero, la pendiente del incremento es creciente con cierta estabilidad. Pero a partir de quinto día se produce un salto brusco ãn el sobre consumo de agua desmineralizada, lo cual es un indicativo de el desarrollo de la grieta, Cuando la rajadura del tubo llega a tal magnitud resulta obligatorio parar la unidad y proceder a la reparación de la misma.

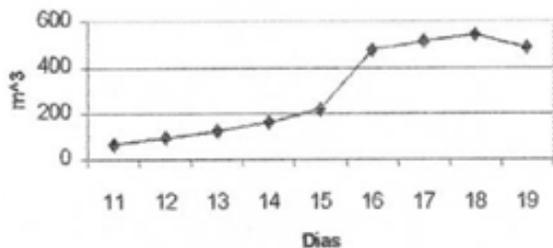


Figura 1 Comportamiento del consumo de agua durante el desarrollo de la avería del tubo.

·Incremento del consumo de combustible en el SEN.

Teniendo en cuenta que la unidad estuvo fuera de servicio durante 59,82 horas y que la carga promedio de dicha unidad después del mantenimiento efectuado a la misma y el comienzo de la quema de PCM-650 era de 128,8 MW-h, el SEN tuvo que asumir una generación de 7 705 MW, con un \dot{m} de 275 g/kW-h lo que significa un incremento de 29 g/kW-h generado debido a que el \dot{m} de CMC-4 después del mantenimiento era de 245,97 g/kW-h. Lo anteriormente planteado nos da que el sobre consumo de crudo para el país será de 223.46 t_{eq} de combustible lo cual representa de acuerdo al precio del crudo, en esa fecha, un gasto de 24 652,50 USD, para este cálculo se tomó que el valor de la tonelada de crudo era de 109,21 USD/ton.

·Consumo de energía eléctrica del SEN

La energía eléctrica que se consume del SEN durante la avería de una unidad es la que se utiliza para:

a)El proceso de enfriamiento.

b)Las pruebas hidráulicas.

c)Para el arranque de la unidad.

d)El consumo para la avería en cuestión fue de 129 MW-h, el precio del kW-h consumido es de 0,044 S/kW-h por lo que representa un costo de 5 676 CUP y 3 913,75 USD.

·Costo de Diesel en el arranque.

Durante el proceso de arranque de la unidad se consumieron un total de 17.94 toneladas de Diesel, teniendo en cuenta que el precio de este combustible era de 363.00 USD/ton, el costo por este concepto fue de 6 512 USD.

·Costo de los Materiales empleados en la reparación.

En la Tabla 2 se relacionan los materiales empleados durante la reparación del tubo averiado y su costo.

·Costo de la mano de obra durante la reparación.

En la Tabla 3 se muestran los operarios que intervinieron en la reparación, el salario horario de cada uno, el tiempo que empleo la brigada en la reparación y los costos de la misma en salarios.

Tabla 2 Costo de la Mano de Obra

Operario	Salario horario (CUP/h)	Tiempo empleado (h)	Costo en salarios (CUP)
Soldador A	1,48	30,5	45,14
Soldador B	1,33		40,57
Soldador C	1,20		36,60
Pailero A	1,80		54,90
Mecánico C	1,33		40,57
Insulador A	1,07		32,64
Insulador C	1,48		45,14
Jefe Brigada	1,95		59,48
Costo en Salarios			355,04 CUP

·Costo Total de una avería.

El costo Total de una avería es la suma de los costos calculados para cada moneda, o sea:

·Costo en CUP:

$$\text{Costo de una avería en CUP} = C_{scad} + C_{energía} + C_{materiales} + C_{salarios}$$

$$\text{Costo de una avería en CUP} = 1\ 655,93 + 5\ 676,00 + 0,0384 + 355,04$$

$$\text{Costo de una avería en CUP} = 7\ 687,01$$

·Costo en USD:

$$\text{Costo de una avería en USD} = C_{scad} + C_{crudo} + C_{diesel} + C_{materiales}$$

$$\text{Costo de una avería en USD} = 1\ 396,36 + 24\ 652,50 + 6\ 512,22 + 19,40$$

$$\text{Costo de una avería en USD} = 32\ 570,48$$

Este costo total igual a 7 687,01 CUP y 32 570.48 USD corresponde a un solo tubo, que es el caso analizado, sin embargo, como regla en cada avería se produce la falla de varios tubos, puesto que por lo general y como mínimo el chorro del salidero de un tubo al impactar sobre la superficie del tubo colindante termina con la avería de éste e incluso de otros tubos, por esta razón se hará la consideración de que el

costo unitario de un tubo averiado es sólo un tercio del total obtenido, lo que es bastante conservador:

Costo unitario de un tubo averiado = $1/3 \times \text{Costo Total} = 2\,562,3 \text{ CUP} + 10\,856,83 \text{ USD}$

·Costo Total en averías desde el año 1980 hasta la fecha.

Para tener una idea aproximada de cuanto es el daño económico para el total de averías ocurridas desde el año 1980 hasta la fecha se realizará el siguiente análisis: En el trabajo (Pérez Ramos, 2003) se reportaron hasta el año 2000 un total de 222 averías por tubos punchados: 109 en la Unidad CMC 3 y 113 en la CMC 4. En el presente trabajo se completó esta investigación hasta el año 2011 con un total de 59 averías en la Unidad CMC 3 y 64 en la CMC 4, lo que representa en gran total desde 1980 hasta finales del 2011 de 345 averías.

Tabla 3 Costo de Materiales durante la reparación

Materiales	Tipo	Valor	Cantidad	Pesc (kg)	Costo
Electrodos	E 7018	5,05 USD/kg	3 kg	3 kg	15,15 USD
Mocheta (Tubo)	STB -42	0,14 USD/kg	3 m	26,73 kg	3,74 USD
Oxígeno	-	0,23 CUP/m ³ 2,95 USD/m ³	0,15 m ³	-	0,0345 CUP 0,4425 USD
Acetileno	-	0,03 CUP/m ³ 0,52 USD/m ³	0,13 m ³	-	0,0039 CUP 0,0676 USD
Costo Total					0,0384 CUP 19,40 USD

Total de Tubos Punchados = Tubos punchados CMC 3 + tubos punchados CMC 4

Total de Tubos Punchados = 168 + 177 = 345

Costo total = Costo unitario x total de tubos punchados

Costo total = $2\,562,3 \times 345 + 10\,856,63 \times 345 = 883\,993,50 \text{ CUP} + 3\,745\,537,35 \text{ USD}$

Es decir desde el año 1980 hasta el año 2011, las averías ocurridas ascienden económicamente a casi cuatro millones de dólares lo que significa que se gastan anualmente como promedio más de 60 000,00 USD/unidad - año, debido a las fallas en los tubos de las paredes de agua de los hornos o de los sobrecalentadores, en las unidades Japonesas de la Central Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes”.

·Perspectiva de la reducción de estos costos.

En el trabajo (Rivero, 2012) se elaboró una metodología que permite pronosticar la Vida Útil por “Creep” de los tubos de los Generadores de Vapor, en dicho trabajo se realizó el pronóstico de la vida con el acero que se utiliza actualmente en los tubos de la CTE “Carlos M. de Céspedes” el AISI 210 A1, utilizando la Norma (ISO/TR 7468-1981, 1981), (Narayanan T. V, 1998) obteniéndose, por ejemplo, para $T = 500 \text{ }^\circ\text{K}$ una vida de $4,5 \times 10^{10}$ horas. En el Evento Científico “Creep” 2012 celebrado en Mayo 2012 en Kyoto, Japón y en el cual los autores del presente trabajo presentaron un artículo (Goytisoló, et. al, 2012) y en el cual no se pudo participar, pero se recibió información de los trabajos que fueron presentados, resultando muy significativo que una gran parte de los trabajos presentados se referían al empleo del acero con 9 % de cromo y 1 % de Molibdeno (AISI 213 T91). (Danielsen H. K., Hald J. 2012), (Fujio Abe, 2012). (Maile K. and Klenk A. 2012), (Mastaka Y. et. al. 2012), (Mayr P. et. al, 2012), (Minami Y., Caminada S., Fukui T, Ono T, 2012), (Ukai S. et. al. 2012), (Yamasaki S. et. al. (2012). Esto motivó que se realizara el pronóstico para este acero obteniéndose que para $600 \text{ }^\circ\text{K}$, que es la temperatura nominal de las calderas de la CTE “Carlos M. de Céspedes” la vida de los tubos con este acero puede llegar a ser de 5×10^{11} horas, o sea un incremento sensible de la vida. Este acero por supuesto es mucho más caro que el AISI 210 A1 (2 552,864 CUC/t), el AISI 213 T91 cuesta (7 323,9538 CUC/t.), pero este último acero según la investigación del pronóstico de vida por creep realizada en la investigación posee una vida 10 veces superior, según la Hipótesis formulada la sustitución debe ser rentable dada la reducción enorme de las averías que se espera. pero el hecho de prolongar tanto la vida de los tubos, ha motivado la idea de profundizar en el Análisis Técnico Económico utilizando el Criterio del Costo del Ciclo de Vida Otro criterio muy utilizado en la actualidad para evaluar diferentes variantes de equipos o sistemas simples, que forman parte de un sistema mucho más complejo, como puede ser una Central Termoeléctrica, y en los

cuáles resulta prácticamente imposible determinar los flujos netos de caja producto de la imposibilidad de determinar el valor de la producción realizada por ese equipo o sistema particular dentro del sistema general que es la producción global de la planta, El CCV no es más que una variante del VAN en la cual se consideran, los costos en que se incurre durante toda la vida útil del equipo o sistema y la variante para la cual el CCV sea menor es la más rentable. El CCV se puede obtener por la siguiente expresión:

$$CCV = I + \sum_{i=1}^N En_i \left(\frac{1}{1+d_e}\right)^i + \sum_{i=1}^N OM_i \left(\frac{1}{1+d}\right)^i + \sum_{i=1}^N R_i \left(\frac{1}{1+d}\right)^i - VR \left(\frac{1}{1+k}\right)^N \quad (1)$$

Donde:

En_i - costo anual de la energía consumida en el año i .

OM_i - costo anual de operación y mantenimiento (sin incluir la energía) en el año i .

R_i - costo anual de reparación en el año i .

VR - valor residual al concluir la vida de servicio.

$$d = \frac{k - i}{1 + i} - \text{tasa neta de descuento ajustada a la inflación.}$$

i - tasa de inflación general.

$$d_e = \frac{k - i_e}{1 + i} - \text{tasa neta de descuento ajustada a la inflación de la energía.}$$

i_e - tasa de inflación aplicable a la energía.

En el caso de que los costos anuales de la energía, operación, mantenimiento y reparación sean constantes en la vida de servicio la expresión (1) puede escribirse como sigue:

$$CCV = I + En \frac{(1+d_e)^N - 1}{d_e(1+d_e)^N} + (OM + R) \frac{(1+d)^N - 1}{d(1+d)^N} - VR \left(\frac{1}{1+k}\right)^N$$

Esta investigación ya se ha iniciado con la participación de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad “Carlos Rafael Rodríguez” de Cienfuegos.

3 Conclusiones:

1. La falla de un tubo de una de las Unidades Japonesas de la Central Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes”, puede parecer una cosa sin gran trascendencia económica, sin embargo la avería de un solo tubo representa un gasto de 2 562,3 CUP + 10 856,83 USD, lo cual es muy importante, sin considerar la afectación que una avería representa en la eficiencia de la Central.

2. Desde el año 1980 hasta el año 2011, las averías ocurridas representan económicamente un costo total de casi cuatro millones de dólares.

3. El cambio del material de los Tubos de el AISI 210 A1 al acero con 9 % de Cromo y 1 % de Molibdeno (AISI 213 T91) puede representar una reducción altamente significativa de los Costos de las Averías por fallas de los tubos para la CTE “Carlos M. de Céspedes”.

4. Se recomienda realizar una Valoración Técnico Económica de lo que puede representar el cambio de material utilizando la Metodología del Costo del Ciclo de Vida.

4 Bibliografía:

1. Danielsen H. K., Hald J. (2012). Precipitation process of Z phase in 9-12% Cr steels. (Technical university of Denmark, Denmark; DONG Energy, Denmark). Proceedings “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012.

2. Fujio Abe (2012). Creep deformation behavior and deciding factors for creep life of tempered martensitic 9% Cr-steels. (National Institute for Materials Science, Japan). Proceedings “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012

3. Goytisolo et.al (2012) Improvement of the calculation of stresses during creep life prediction of tubes steam generators. (Universidad de Cienfuegos, Cuba). Trabajo aceptado para su presentación y publicación en el Evento “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012.

4. ISO/TR 7468-1981. (1981). Summary of average stress rupture properties of wrought steels for

boiler and pressure vessels. Vigente desde 1981.

5. Maile K. and Klenk A. (2012). Creep damage evolution in martensitic 9% Cr-steels. (Universidad Stuttgart, Alemania. Proceedings “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012
6. Mastaka Y. et. al. (2012). Creep crack growth behavior and application of Fracture
7. Mechanics parameter for high Cr steels. (National Institute for Material Science, Japan; Chiba University, Japan; Tohoku University, Japan). Proceedings “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012.
8. Mayr P. et. al. (2012). Analysis of low-stress creep testing data and its implication on the life-time prediction for 9-12% Cr steels. (Chemnitz University of Technology, Germany; Graz University of Technology, Austria; Erne Fittings, Austria). Proceedings “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012.
9. Narayanan T. V. (1998). State of art of life assessment and extension of power and chemical plants in North America. Proceedings of International Conference on Integrity Evaluation on Life Extension of Industrial Equipments. Brasil.
10. Rivero Castellanos, Mayren. (2012). Estimación de la Vida Útil de los tubos de las Calderas de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes” para diferentes materiales. Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”. Trabajo de Diploma. Dr.C. Rafael Antonio Goytisoló Espinosa, Dr.C. Eduardo Concepción Morales, M.Sc. Vladimir Carrera Martínez: tutores Curso 2011 – 2012.
11. Ukai S. et. al. (2012). Advanced high-temperature mechanical properties by hot rolling in 9 % Cr ODS steels. (University, Japan; Japan, Steel Works, Japan; Japan Atomic Energy Agency, Japan). Proceedings “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012.
12. Yamasaki S. et. al. (2012). Creep behavior at ultra-low strain rate in 9% Cr steel studied by helical spring creep test. (Kyushu University, Japan; Consortium of JRCM, Japan). Proceedings “Creep 2012”, Kyoto, Japón, Mayo, 2012.