

Propuesta de mantenimiento para componentes fundamentales de calderas de biomasa

Proposal for Predictive Maintenance of Key Components of Biomass Boilers

Francisco Martínez Pérez^{1*} and Carlos Andrés Portes Read²

¹Universidad Tecnológica de La Habana-CUJAE, Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, Marianao, La Habana, Cuba.

²Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana.

*Autor para correspondencia: Francisco Martínez Pérez, e-mail: fmartinezperez2013@gmail.com

RESUMEN: Se analizaron los aportes y deficiencias de diversos enfoques de mantenimiento aplicados a componentes fundamentales de calderas de biomasa en una empresa textil. Se identificaron las limitaciones del método actual y se evaluaron los beneficios potenciales de implementar mejoras, incluyendo buenas prácticas, estudios de tiempos y nuevas tecnologías. El método propuesto de taponado de tubos en el conducto de gases mostró una duración de 9,90 horas y un costo total de 49 825,00 USD, frente al método actual que requiere 10,75 horas y cuesta 55 625,00 USD. Esto representa una reducción de 0,75 horas en el tiempo de inactividad y un ahorro de 5 800 USD.

Palabras clave: mantenimiento, calderas, conducto de humo, taponado de tubos, ahorro.

ABSTRACT: This study analyzes the contributions and shortcomings of various maintenance approaches applied to fundamental components with biomass boilers in a textile enterprise. It identifies existing deficiencies in the current maintenance practices and evaluates the potential benefits of implementing improved methods. These include the adoption of best practices, time studies, and the integration of new technologies. The proposed tube plugging method for a key component-the flue gas duct-demonstrated a maintenance duration of 9.90 hours and a total cost of \$49,825.00 USD, compared to the current method which required 10.75 hours and cost \$55,625.00 USD. This represents a reduction of 0.75 hours in downtime and a cost saving of \$5,800 USD.

Keywords: Maintenance, Boilers, Flue pipe, Tube plugging, Cost Savings.

INTRODUCCIÓN

Una empresa textil implementó calderas con biomasa para la generación de vapor, logrando un ahorro aproximado de 10 000 galones de diésel. Sin embargo, la indisponibilidad funcional de las calderas ha ocasionado importantes pérdidas económicas, como se documenta en la literatura especializada (Petrucci et al., 1989; 2002; Jiménez, 1997; Neefus & Lee, 2001; Sevilla, 2004).

Actualmente, la empresa presenta un sistema de mantenimiento deficiente en sus calderas de biomasa, lo que ha provocado fallos recurrentes, reducción de la vida útil, aumento de los costos de producción y dependencia de mantenimiento correctivo.

El objetivo de este trabajo es proponer un sistema de mantenimiento mejorado para los componentes fundamentales de las calderas de biomasa en empresas textiles, con el fin de reducir los costos de producción y mejorar la fiabilidad operativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Calderas de biomasa en empresas textiles

Las calderas pirotubulares utilizadas en la empresa textil operan con un fluido en estado líquido contenido en un recipiente atravesado por tubos, a través de los cuales circulan gases a alta temperatura provenientes del proceso de combustión. El agua se evapora debido al contacto con estos gases de escape (Hanesbrands, 2025).

Existen dos tipos de configuración:

- Tuberías parcialmente sumergidas: el agua no cubre completamente los tubos.
- Tuberías totalmente sumergidas: los tubos están completamente cubiertos por agua.

En la [figura 1](#) se muestra una caldera horizontal.

Recibido: 15/08/2025

Aceptado: 26/01/2026

Conflict of interests: The authors of this work declare no conflict of interests.

Contribución de los autores: Conceptualización: Francisco Martínez Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, Roles/Escritura, borrador original, Escritura, revisión y edición: Francisco Martínez, Carlos A. Portes.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>





Figura 1. Caldera pirotubular horizontal

Mantenimiento de calderas de biomasa en la empresa textil

Actualmente, la empresa realiza inspecciones y procedimientos de mantenimiento siguiendo las directrices del Código Internacional ASME, Sección I (American Society of Mechanical Engineers, 1962; 1989). Estas incluyen:

- Inspección interna: se evalúa el estado general del interior de la caldera, incluyendo tubos, hogar, placas, refractarios, quemadores, economizadores, sobrecalentadores, conexiones de vapor, purgas y válvulas.
- Condición de las válvulas: la caldera debe contar con una o más válvulas de seguridad, calibradas para evacuar vapor a la presión máxima de trabajo sin exceder el 6% por encima de dicho valor.
- Prueba hidrostática: se realiza para verificar la integridad y estanqueidad de la caldera:
 - Tras reparaciones en el cuerpo o componentes presurizados.
 - Cada 13 meses como máximo.
 - En calderas nuevas, a 1.5 veces la presión máxima de diseño.
 - La duración mínima es de 30 minutos, pudiendo extenderse según criterio del inspector.
 - Se permite una caída de presión de hasta el 3%; si ocurre, debe registrarse la causa.
- Calidad del agua: se debe garantizar el análisis, monitoreo y tratamiento químico del agua de alimentación, evitando incrustaciones, corrosión y contaminación (aceites, cloruros, soda cáustica, ácidos, materia orgánica, etc.), conforme a las especificaciones del fabricante y proveedor de servicios.
- Deformaciones en la caldera: se debe solicitar la intervención de un proveedor especializado ante deformaciones por pandeo, abultamiento o bolsas que debiliten placas o tubos, especialmente si provocan fugas. El servicio debe suspenderse hasta que se repare adecuadamente la parte afectada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fallos recurrentes en componentes clave de las calderas de biomasa

Actualmente, el área de calderas de la empresa presenta fallos constantes en los haces tubulares, especialmente por fugas, soldaduras deficientes y desgaste en los tubos de las dos calderas de biomasa. Estos problemas se deben a prácticas de mantenimiento inadecuadas, tanto en el taponado como en el reemplazo de tubos. Varios de estos fallos coinciden con los más recurrentes reportados en la literatura (ECOPETROL, 1987; Justo, 1994). La figura 2 muestra una soldadura deficiente en una caldera de biomasa.

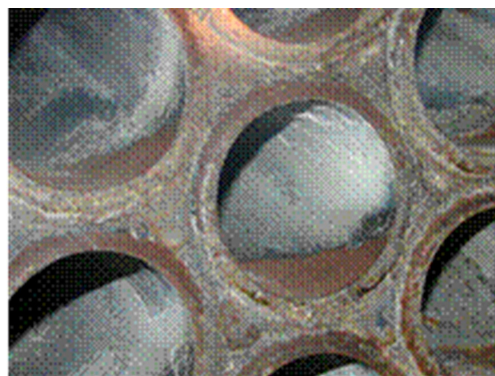


Figura 2. Soldadura deficiente en la caldera de biomasa

En la Figura 3, se muestran tubos mal taponados y deformación tubular.

En la Figura 4, se muestra incrustación por sedimentos en el haz tubular.

La acumulación de cenizas en los tubos reduce la transferencia de calor, acelera la corrosión y provoca rupturas en las paredes tubulares.

Análisis de fallos por componente

La tabla 1 muestra que el 94.7% de los fallos se concentran en los conductos de humo (71 de 75 fallos), lo que justifica enfocar el mantenimiento en este componente fundamental.

Costos de mantenimiento actuales

La tabla 2 presenta los costos asociados a los métodos actuales de mantenimiento:

- Taponado de tubos: 24 fallos, costo de reparación \$14 375 USD, costo total \$157 650 USD
- Reemplazo de tubos: 47 fallos, costo de reparación \$48 600 USD, costo total \$367 850 USD
- Costo total acumulado: \$588 475 USD.

Mantenimiento mayor en diciembre de 2023

Se realizó una intervención mayor en ambas calderas, con instalación completa de tubos por contratistas:



Figura 3. Tubos mal taponados, caldera de biomasa y deformación en la misma

- **Tabla 3:** 600 tubos taponados, costo de reparación \$169 718 USD, costo por tiempo de parada \$2 364 750 USD
- Costo total: \$4 063 468 USD

Además, se incurrió en un gasto adicional de \$2 362 500 USD por consumo de 450 000 galones de diésel durante la parada, debido a la activación de la caldera fósil.

Problemas técnicos durante el retrabajo

Tras el retrabajo, se detectaron fugas por sobreperforación y subperforación de tubos, lo que provocó deformaciones en placas y fallos en la estanqueidad.



Figura 4. Incrustación de sedimentos caldera de biomasa

Tabla 1. Fallas recurrentes de los componentes fundamentales de las calderas de biomasa desde mayo 2023 hasta febrero 2024

Componentes fundamentales de la caldera		
Artículo	Descripción	Cantidad de fallas
1	hogar o fogón	0
2	puerta del hogar	3
3	parrillas	0
4	cenicero	0
5	puerta del cenicero	0
6	altar	0
7	mampostería	0
8	conductos de humo	71
9	caja de humo	0
10	chimenea	0
11	regulador de tiro	0
12	tapa de registro	0
13	puerta de explosión	0
14	cámara de agua	0
15	cámara de vapor	0
16	cámara de alimentación de agua	0
17	válvula de alivio de presión	1
Total de fallas		75

Tabla 2. Resumen costos de mantenimiento a los conductos de humo

Componentes fundamentales de la caldera				
Artículo	Descripción	Número de fallos	Costo de reparación (USD)	Costo/Tiempo de parada \$USD
1	Taponado de tubo	24	14 375.00	157 650.00
2	Cambio de tubo	47	48 600.00	367 850.00
Sub - Total			62 975.00	525 500.00
Gran total			588 475.00	

Tabla 3. Gastos relacionados

Componentes fundamentales de la caldera				
Artículo	Descripción	Tubos retubados	Costo de reparación \$ USD	Costo tiempo de parada USD
1	Reemplazo de tubos caldera I	300	83 609.00	2 364 750.00
2	Reemplazo de tubos caldera II	300	86 109.00	
Sub - total			1 698 718.00	2 364 750.00
Gran total			4 063 468.00	

Las pruebas no destructivas revelaron grietas en las soldaduras (Figura 5).

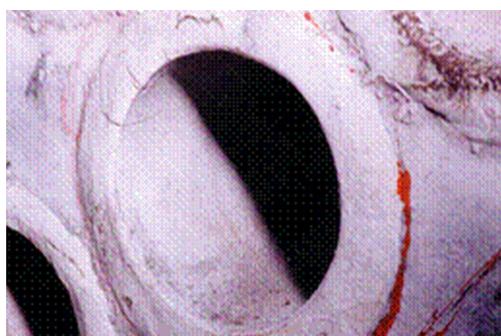


Figura 5. Ensayo no destructivo demuestra fisuras

Propuesta metodológica de mantenimiento mejorado

Taponado de tubos

Se propone el uso de tapones mono bloque prefabricados (Figura 6) y cortadores de revolución única (Figura 7) para perforar y ventilar el tubo antes del taponado.

Ventajas:

- Reducción del tiempo de trabajo y costos laborales
- Compatibilidad química con el material del tubo
- Facilidad de soldadura
- Evita la reactivación por presión interna



Figura 6. Tapón para tubos de caldera. Fuente: [TECNOLOGIES \(2007\)](#)



Figura 7. Cortador de tubo de una revolución. Fuente: [TECNOLOGIES \(2007\)](#)

Comparación económica del método propuesto

En la tabla 4 se presenta la comparación del método actual contra el método propuesto para poder cuantificar el ahorro entre ambos métodos.

Ahorro total: \$5 809.60 USD y reducción de 0.95 horas.

Tabla 4. Ahorro método actual contra método propuesto taponado de tubo

Método	Ahorro	
	Tiempo (h)	Costo \$ USD
Método actual	10,75	55 616.18
Método propuesto	9,8	49 806. 58
Diferencia	0,95	5 809.60

Reemplazo de tubos con tecnología avanzada

Se propone contratar especialistas con equipos modernos:

Corte y desbaste: herramienta eléctrica (Figuras 8 y 9).



Figura 8. Cortador y biselador de tubo. Fuente: [TECNOLOGIES \(2007\)](#)



Figura 9. Motor Eléctrico para corte de tubo. Fuente: [TECNOLOGIES \(2007\)](#)

Extracción: extractor hidráulico (Figura 10)

Expansión y maquinado: motor con torque digital (Figura 11) y expansor de tubos (Figura 12)

Análisis económico

Validación práctica: en marzo de 2024 se aplicó el método propuesto en 19 tubos, sin fallos en pruebas ni operación.



Figura 10. Extractor de tubo. Fuente: TECNOLOGIES (2007)



Figura 11. Medidor de torque digital. Fuente: TECNOLOGIES (2007)



Figura 12. Expansor- abocinador de tubo de caldera. Fuente: TECNOLOGIES (2007)

De igual forma, como en el caso anterior, se estableció un diagrama de flujo para las operaciones a realizar.

En la tabla 5 se muestra el ahorro del método propuesto de cambio de tubos contra método actual

Mediante el método propuesto se obtuvo un ahorro de 5809,60 USD y una reducción de 0,95 horas.

Tabla 5. Ahorro del método propuesto de cambio de tubos contra método actual

Método	Tiempo (h)	Costo \$ USD
Método actual	11,52	2 392 053.40
Método propuesto	10,24	2 080 596.86
Diferencia	1,28	311 456.54

CONCLUSIONES

Del análisis técnico económico realizado se concluyeron las siguientes ventajas:

- Una reducción en el costo total del mantenimiento del taponado de tubo de \$ 5 809.00 USD, una reducción de un 12% contra el costo actual.
- Una reducción en el costo total de mantenimiento del cambio de tubo equivalente a \$ 7 786.41 USD, una reducción de un 15% contra el método actual.
- Reducción de mano de obra en ambos métodos de mantenimiento.

- Mayor vida útil de las placas que sostienen los conductos de humo debido a que este método no es invasivo.
- Precisión al momento del mandrinado de los tubos.
- Menor riesgo de accidentes laborales que atenten contra la salud e integración de los obreros.
- Menor riesgo de accidentes que atenten contra la vida útil de la caldera, debido a que no se invade los componentes críticos de la caldera debilitando las propiedades y composición de sus materiales.
- Menos emisión de CO₂ al medio ambiente por disminución para la puesta en servicio de las calderas de biomasa.
- Prolongación de la vida útil de la placa y conductos de humo como componentes fundamentales de la caldera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. BOILER; PRESSURE VESSEL COMMITTEE: *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, Ed. American Society of Mechanical Engineers, 1962.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. BOILER; PRESSURE VESSEL COMMITTEE: *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, Ed. American Society of Mechanical Engineers, 1989.
- ECOPETROL: *Manual de Operación de calderas B-2951/55 de Unidad de Balance*, Ed. Grupo III de la Superintendencia de Operaciones III., Unidad de Balance Barrancabermeja ed., Barrancabermeja, 1987.
- HANESBRANDS: *Nuestra Empresa WEB*, [en línea], 2025, Disponible en: <http://www.hanesbrands.com.br/es-es/NuestraEmpresa/default.aspx>.
- JIMENEZ, C.C.O.: *Cálculos de procesos de vapor en una industria textil*, Inst. Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 1997.
- JUSTO, C.: *Mantenimiento programado de B-2951-4*, Grupo III Servicios Industriales, Barrancabermeja, 1994.
- NEEFUS, D.J.; LEE, I.A.: *Industria Textil y de confección*, [en línea], vol. I, 108 p., 2001, Disponible en: <http://www.insht.es/>.
- PETRUCCI, R.H.; CUNNINGHAM, C.M.; MOORE, T.E.: *General chemistry*, Ed. Macmillan New York, USA, 8.ª ed., 1989, ISBN: 0-02-394791-8.
- PETRUCCI, R.H.; HARDWOOD, W.S.; CUNNINGHAM, C.; MOORE, T.E.: *General Chemistry*, Ed. 8, 8.ª ed., Macmillan New York, USA, 486 p., 2002.
- SEVILLA, H.L.: *Orígenes históricos del empleo tecnológico del vapor*, 2004.
- TECNOLOGIES, E.T.: *Herramientas para tubos*, [en línea], 2007, Disponible en: <http://www.elliott-tool.com/espanol/category/herramientas-para-tubos>.