

Análisis y caracterización de tubos de latón almirantazgo con defectos a utilizar para el retubado de un intercambiador de calor

Analysis and characterization of admiralty brass tubes with defects to be used for retubing a heat exchanger

Presentación: 08/10/2023

Bettina Bosco Ackerman

Comisión Nacional de Energía Atómica
bettinaackerman@cnea.gov.ar

Mariano Kappes

Comisión Nacional de Energía Atómica
Instituto Sabato - CONICET
kappes@cnea.gov.ar

Martín Rodríguez

Comisión Nacional de Energía Atómica
Instituto Sabato - CONICET
maalrodr@cnea.gov.ar

María Jimena Arias

Comisión Nacional de Energía Atómica
marias@cnea.gov.ar

Mauricio Chocrón

Comisión Nacional de Energía Atómica
chocron@cnea.gov.ar

Resumen

Se realizó un análisis de un tubo de latón almirantazgo nuevo que posee defectos a simple vista a ser utilizado para el retubado de un condensador. Se realizaron análisis siguiendo las normas ASTM para determinar el cumplimiento de las especificaciones de compra y a exceptuar por la rugosidad, los demás requerimientos fueron alcanzados. Se realizaron ensayos de potencial de corrosión, desbaste, microscopía transversal y efecto de solvente orgánico para determinar las características de los defectos y se concluyó que se trataba de una mancha superficial del lado externo que puede removerse por pulido o por lavado con solvente orgánico.

Palabras clave: Latón almirantazgo, defectos, condensador

Abstract

An analysis was carried out on a new admiralty brass tube that has notable defects to be used for retubing a condenser. Analysis was carried out following ASTM standards to determine compliance with the purchase

specifications and, except for roughness, the other requirements were satisfied. Corrosion potential, grinding, transverse microscopy and organic solvent effect tests were carried out to determine the characteristics of the defects and it was concluded that it was a superficial stain on the external side that can be removed by polishing or washing in an organic solvent.

Keywords: Admiralty brass, defects, condenser

Introducción

El condensador en cuestión es de tipo tubular de un paso. Los tubos son de latón almirantazgo (C44300) y de acero inoxidable (SS304). Por los mismos circula agua del lago como fuente fría y por el lado externo, vapor de agua de extremada pureza que se condensa al entrar en contacto con la fuente fría. En 2022 durante el retubado del condensador, se observó que los tubos nuevos de latón almirantazgo a utilizar estaban manchados de origen. Si bien la especificación de compra en sí misma requiere tubos libres de manchas y defectos, las posibles pérdidas por lucro cesante durante un eventual litigio con el proveedor hubiesen superado el valor de los tubos. Por este motivo, CNEA realizó un análisis experimental para determinar la aptitud para el servicio de los tubos en el estado recibido respecto de las demás especificaciones de forma, rugosidad, dimensiones, composición química, tamaño de los granos, tensiones residuales, resistencia a ensayo de expansión y resistencia a ensayo de aplastamiento de acuerdo a las normas ASTM B 135M [1] y ASTM B 111M [2].

En este marco se propuso caracterizar los tubos enviados, analizar el cumplimiento de las especificaciones y estudiar la naturaleza de los defectos observados a simple vista. Para esto se trabajó interdisciplinariamente entre diversos sectores de CNEA con la interacción del Departamento de Química y Procesos de Instalaciones Nucleares (DQPIN), la División de Fractura del Departamento de Caracterización y Fractomecánica (DCF) y las divisiones Corrosión Básica (DIVCB) y Asistencia Técnica en Corrosión (DATEC) del Departamento de Corrosión. Las mediciones de rugosidad estuvieron a cargo del Departamento de Física Experimental (DFE).

Desarrollo

En la Tabla 1 se presentan los análisis realizados por cada sector para determinar el cumplimiento de las especificaciones de compra y la norma utilizada a tal fin.

Análisis	Norma	Realizado por
Ensayo de composición Química	ASTM B 111M [1]	DQPIN
Ensayo de tensiones residuales (Vapor de amoníaco)	ASTM B 858-01 [3]	DQPIN
Ensayo de tensiones residuales (Nitrato mercurioso)	ASTM B 154-01 [4]	DATEC
Ensayo de tensiones residuales circunferenciales	ASTM E 1928 [5]	DIVCB
Ensayo de aplastamiento	ASTM B 968-10 [6]	DATEC
Ensayo de expansión	ASTM B 153-91(03) [7]	DATEC
Ensayo de tracción	ASTM B 111M [1]	DCF
Determinación microestructura y tamaño de grano	ASTM B 111M [1] / ASTM E 112 [8]	DIVCB
Inspección visual - Dimensiones	Esp. Técnica de compra	DIVCB
Determinación de Rugosidad	Esp. Técnica de compra	DFE

Tabla 1: Ensayos realizados para la determinación del cumplimiento de especificaciones.

El análisis de composición química se realizó por Fluorescencia de Rayos X (FRX). Se analizaron cuatro secciones obtenidas del tubo tanto de la cara externa como de la interna y también sobre la zona manchada. Para esto se utilizó un equipo portable Niton XL3t de Thermo Fisher que permite el análisis de las muestras sin necesidad de algún tratamiento previo. El equipo, además, se encuentra calibrado para aplicaciones metalúrgicas y cuenta con una base de datos que permite identificar la aleación más probable que compone la muestra analizada.

Por otro lado, se realizó una batería de ensayos para determinar las características del defecto observado en el tubo analizado. En la Tabla 2 se presentan los análisis realizados junto al objetivo de cada uno de ellos. Se midió el potencial de corrosión de las zonas manchadas y no manchadas del tubo por duplicado. Para ello se enmascaró con laca las superficies del caño, dejando únicamente expuesta a solución la superficie con manchas en el lado externo del tubo. El medio fue una solución acuosa de sulfato de sodio (Na_2SO_4) 0,5 M, bajo condición de aireación natural. Esta sal se utilizó solo con el objetivo de garantizar conductividad durante la medición, el potencial a circuito abierto se midió por aproximadamente 18 horas. La medición de potencial de corrosión (también llamado potencial de circuito abierto), se realizó frente a un electrodo de sulfato mercurioso saturado. Los potenciales se registraron con un potenciostato, de alta impedancia de entrada. El objetivo de este ensayo fue descartar la presencia de pares galvánicos entre las zonas manchadas y no manchadas.

Por otro lado, se realizó un desbaste de la superficie del tubo manchado con lijas #220 y #600 para determinar si el defecto podía removerse con pulido. En la misma línea de analizar la superficialidad de la mancha, se observó un corte transversal del tubo en un microscopio óptico Olympus BX60M.

Para determinar la naturaleza química de la mancha se sumergió una sección del tubo en kerosén durante 48 hs.

Ensayo	Objetivo	Realizado por
Potencial de corrosión	Descartar la presencia de pares galvánicos entre zonas manchadas y no manchadas	DIVCB
Pulido	Determinar la superficialidad de la mancha	DIVCB
Microscopía transversal	Determinar espesor de manchas en el tubo y defectos internos	DIVCB
Efecto de Solvente Orgánico	Determinar la naturaleza de la mancha	DQPIN

Tabla 2: Ensayos realizados para la caracterización del defecto en el tubo.

Resultados

Análisis del cumplimiento de especificaciones

En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos de composición química junto a las cotas de especificación. En todos los casos el material se identificó como C44300 y no se observaron diferencias en las zonas manchadas respecto de las no manchadas. Se cumplió la especificación respecto a la composición química del tubo enviado para su análisis¹.

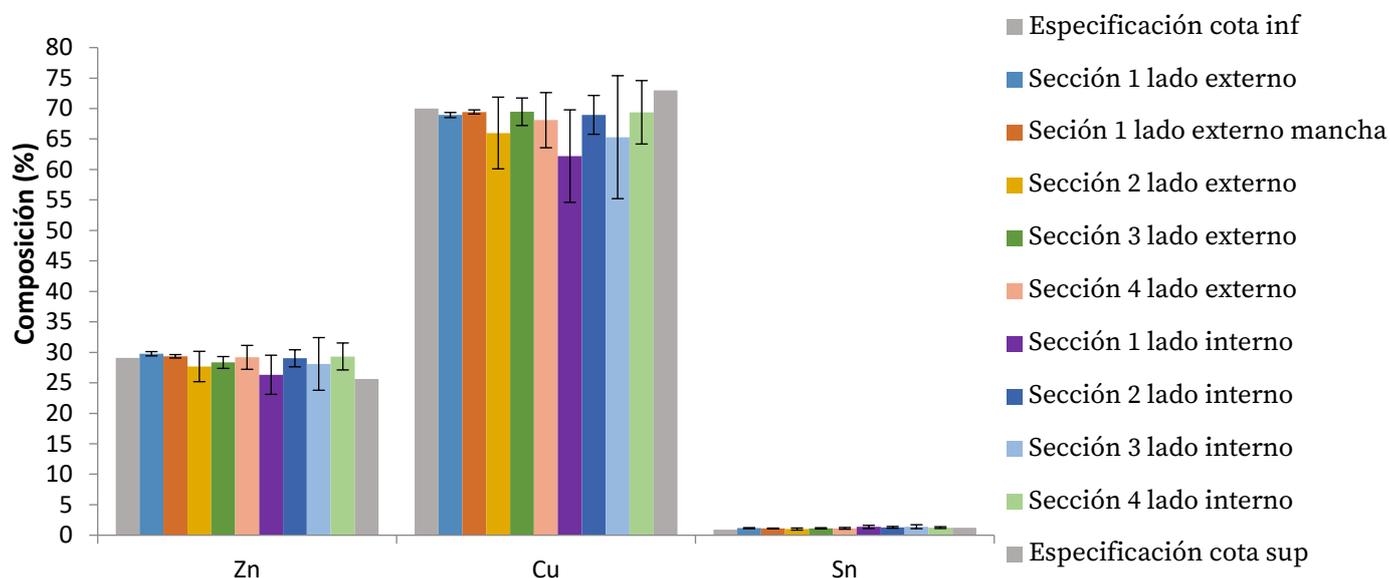


Figura 1: Composición de las secciones 1-4 lado externo y lado interno del tubo analizado por FRX.

En las siguientes figuras se presentan las imágenes de los ensayos de tensiones residuales, aplastamiento, expansión y tracción. Todos fueron satisfactorios de acuerdo a los resultados obtenidos y a las especificaciones de las normas utilizadas.



Figura 2: Ensayos para evaluar tensiones residuales.

¹ La variabilidad entre los distintos puntos de la probeta se debe a que la misma es curva y esto introduce una fuente de incerteza diferente en cada punto. Sin embargo, en todos los casos el material se identificó como C44300.



Figura 3: Ensayos de aplastamiento, expansión y tracción.

En la Figura 4 se presenta la imagen de microscopía óptica y se pueden observar granos equiaxiales, maclas de recocido y una microestructura cristalizada. Para determinar el tamaño medio de grano se utilizó el método de intersección media (ASTM E112 [8]). El tamaño de grano promedio que se obtuvo de las mediciones fue de $13 \mu\text{m}$ ($0,013 \text{ mm}$), que está dentro de los límites de $0,010$ a $0,045 \text{ mm}$ pedidos por la norma ASTM B111 [1].

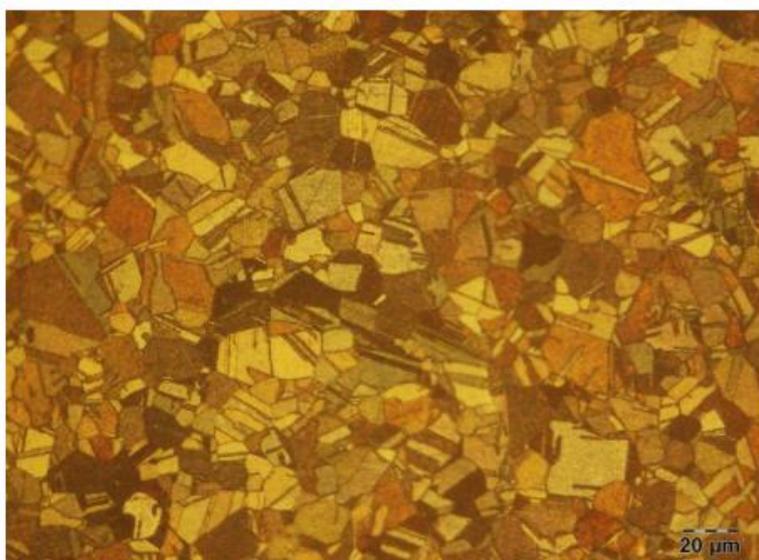


Figura 4: Vista de la microestructura al microscopio óptico a 500x. Imagen normal a la dirección radial del tubo.

Las dimensiones de diámetro y espesor se encuentran dentro de las establecidas en la especificación de compra (Tabla 3).

En la Tabla 4 se presentan las mediciones de rugosidad. Se puede observar que en todos los casos es mayor a la especificada y que hay heterogeneidad entre las probetas y dentro de la misma probeta, todas pertenecientes al mismo tubo.

Dimensiones		
Parámetro	Probeta	Rango especificado
Diámetro exterior (mm)	25,42	25,40 - 25,55
Espesor (mm)	1,32	1,12 - 1,32

Tabla 3: Dimensiones de la probeta del tubo manchado junto al rango de especificación de compra.

Rugosidad (μm)			
Cara	Probeta 1	Probeta 2	Especificación de compra
Interna	$0,278 \pm 0,001$	$0,85 \pm 0,09$	0,2 máx.
Externa	$0,45 \pm 0,01$	$0,36 \pm 0,03$	

Tabla 4: Determinación de rugosidad en 2 probetas del tubo manchado, cara interna y cara externa junto a la especificación de compra.

Análisis del defecto del tubo

En la figura 5 pueden verse los resultados obtenidos de potencial de corrosión. Los resultados se repitieron por duplicado en cada condición. La máxima diferencia entre los potenciales de corrosión fue de 35 mV entre las zonas manchadas y no manchadas, dada la magnitud de esta diferencia y la variabilidad entre ensayos, puede descartarse que entre las zonas manchadas y no manchadas exista una zona más anódica/catódica que la otra que pueda traer problemas de corrosión galvánica.

En la Figura 6 se presenta una probeta del tubo manchado antes y después de ser pulida. Como puede apreciarse las manchas parecen ser solamente superficiales, ya que las mismas desaparecieron luego de un ligero desbaste con lija realizado manualmente. Esto es consistente con lo observado en el ensayo de exposición a solvente orgánico (Figura 7) donde se observa una remoción parcial de la mancha indicando que la misma es superficial y soluble en un solvente orgánico de baja polaridad. Además, en la Figura 8 se muestra un corte transversal de las manchas en el microscopio óptico, es decir en la dirección del espesor del tubo. Como se puede observar, no hay ningún indicio de que las manchas penetren en el espesor. Esto refuerza la idea de que estos defectos son solamente superficiales y con un leve pulido pueden ser eliminados.

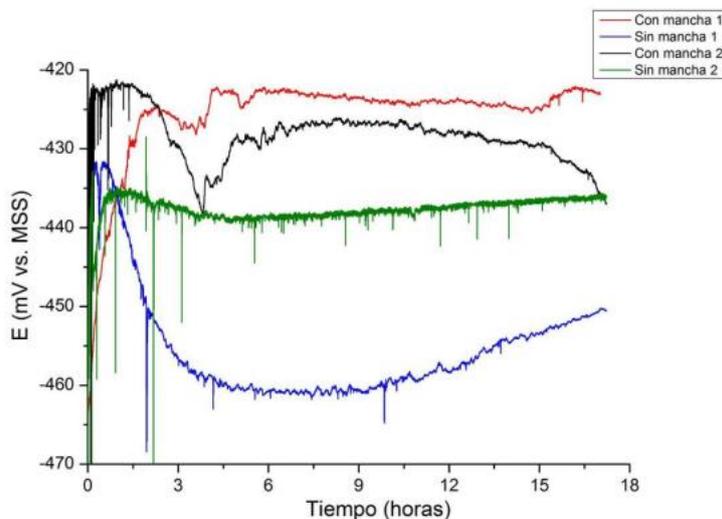


Figura 5: Medición del potencial de corrosión en probeta del tubo, zona no manchada.

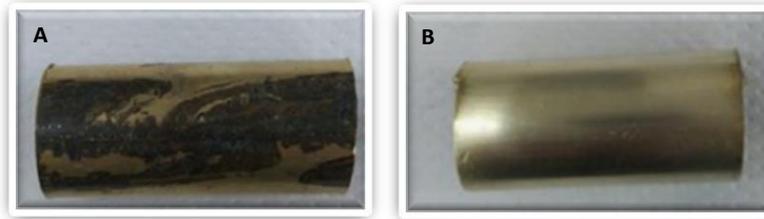


Figura 6: Probeta original del tubo (A) Probeta luego de un ligero desbaste con lijas #220 y #600 (B).

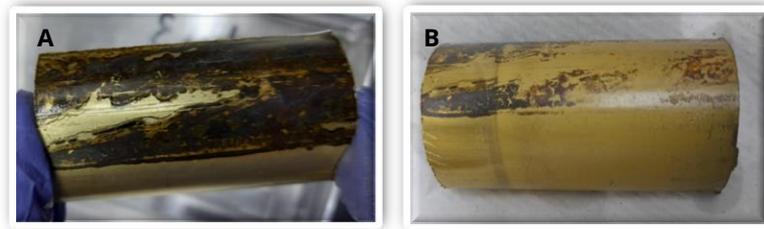


Figura 7: Probeta original del tubo (A) y luego de ser sumergida 48 hs. en kerosén (B).

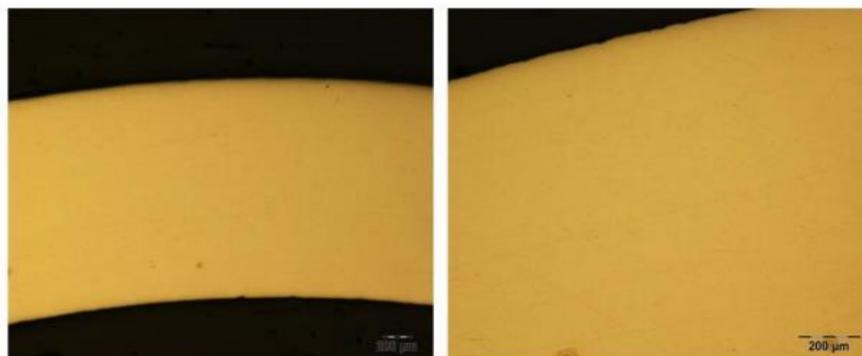


Figura 8: Vista en el microscopio de corte transversal del tubo

Conclusiones

En conclusión, se puede establecer que las indicaciones oscuras observadas visualmente en la superficie de los tubos son manchas fácilmente removibles por inmersión en solvente orgánico o pulido con papel esmeril. Su origen puede estar ligado a problemas de fabricación tal como controles en atmósferas durante tratamientos térmicos o almacenamiento. No se predicen problemas de corrosión galvánica. De acuerdo a los ensayos realizados, la fracción de material analizada cumple las especificaciones de compra exceptuando por las visibles manchas externas e internas y la rugosidad, tanto en cara interna como externa del tubo, que es mayor a la máxima especificada.

Agradecimientos

Se agradece la participación de todos los sectores de CNEA mencionados en este trabajo en particular a las siguientes personas: D. Valdez, R. González, S. Rodríguez, G. Duffó, D. Ciriani, E. Chomik, F. Villanueva, F. Herrera, M. Irigaray, D. Guerrero, M. Reinoso, E. Di Liscia y a Nucleoeléctrica Argentina S.A. por confiarnos el trabajo.

Referencias

- [1] ASTM standard B 111/ B 111-M, Standard Specification for Copper and Copper-Alloy Seamless Condenser Tubes and Ferrule Stock.
- [2] ASTM standard B 135M, Standard Specification for Seamless Brass Tube [Metric]
- [3] ASTM standard B 858-01, Standard test method for: Ammonia vapor test for determining susceptibility to stress corrosion cracking in copper alloys.
- [4] ASTM standard B 154, Standard Test Method for Mercurous Nitrate Test for Copper and Copper Alloys.
- [5] ASTM standard E 1928, Standard Practice for Estimating the Approximate Residual Circumferential Stress in Straight Thin-walled Tubing.
- [6] ASTM standard B 968, Standard Test Method for Flattening of Copper and Copper-Alloy Pipe and Tube.
- [7] ASTM standard B 153-91, Standard Test Method for Expansion (Pin Test) of Copper and Copper-Alloy Pipe and Tubing.
- [8] ASTM standard E 112, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size