

¿Por qué la música de Bach no suena igual?

Teresa Palomar Sanz

Resumen— La alteración producida en los tubos metálicos de los órganos históricos ha inducido una pérdida de la calidad del sonido de estos instrumentos e incluso la pérdida de algunas notas musicales por el silencio de sus tubos. Diversos estudios microclimáticos han confirmado que la corrosión detectada en los tubos de plomo es debida a la acumulación de ácido acético y fórmico emanado de la madera de los propios órganos. Estas especies pueden catalizar de manera exponencial la corrosión del plomo formando cerusita e hidrocerusita, así como fisuras y agujeros. Las medidas de conservación preventiva de estos instrumentos deben contemplar las medidas de ventilación del interior de los órganos para minimizar el daño provocado por la acumulación de dichas especies ácidas.

Palabras Claves— Órganos, corrosión, tubos de plomo, ácidos carboxílicos.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha observado una pérdida en la calidad del sonido de la música tocada en los órganos históricos de toda Europa debido a los problemas de corrosión que sufren sus tubos metálicos.

El órgano es un instrumento musical en el cual el sonido es producido por el paso del viento a través de numerosos tubos plomo o de aleación plomo-estaño. Los tubos suelen estar abiertos en la parte superior y con forma cónica en la inferior. El aire entra a través de la parte inferior haciendo vibrar el tubo y sale a través de un labio situado en una zona aplanada encima la zona cónica produciendo el sonido (Fig. 1 a y b). El organista elige qué tubos van a sonar gracias a palancas, llaves y pedales [1].

El primer órgano del que se tiene constancia fue construido aproximadamente en el 246 d.C. por un artesano griego en Alejandría, pero no fue hasta los siglos XVII y XVIII cuando se produjo el gran desarrollo europeo de los órganos con la música barroca de la que Johann Sebastian Bach fue el gran compositor [1, 2].

Dada la importancia de preservar los órganos como bien material, así como las piezas musicales tocadas en estos instrumentos es necesario conocer las principales patologías y mecanismos de degradación de los tubos de los órganos y aportar unas medidas de conservación preventiva para minimizar el daño debido al microambiente al que están expuestos.

2. ESTUDIO MICROCLIMÁTICO

En el marco del proyecto europeo COLLAPSE (*Corrosion of Lead and Lead-tin Alloys of Organ Pipes in Europe*), los investigadores eligieron varios órganos de distintas localizaciones europeas y se evaluaron las condiciones microclimáticas en las que se encontraban [3]. Para ello, se utilizaron diferentes equipos pasivos y activos de captura de ácidos orgánicos en el interior del órgano, fuera de éste y en el interior de la iglesia pero alejado del instrumento. El ácido acético se captó con tubos adsorbentes de Tenax TA y el ácido fórmico fue muestreado con unos cartuchos

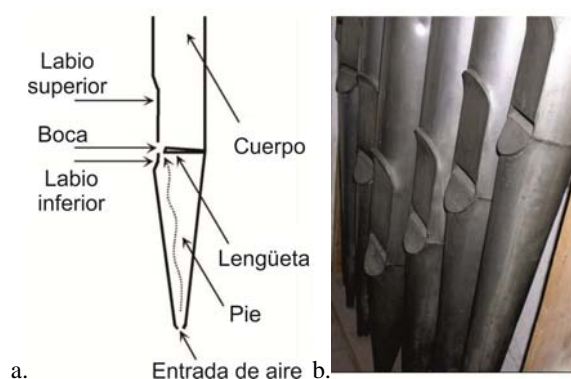


Fig. 1. a) Ilustración esquemática de los tubos de un órgano barroco. b) Tubos del órgano Casparini (1776) (Vilnius, Lituania). Figura extraída de la referencia [1].



Fig. 2. Captador activo analizando el aire en el interior de un órgano. Figura extraída de la referencia [3].

recubiertos de NaOH (Fig. 2), posteriormente los cartuchos fueron analizados en el laboratorio [3].

Se detectó una elevada concentración de ácido acético y moderada de ácido fórmico dentro de la caja de viento de muchos de los órganos. En el órgano de Oegstgeest (Holanda) se detectó ~ 1400 ppb de ácido acético y ~ 180 ppb de ácido fórmico. Mientras que fuera del órgano y en la iglesia se detectaron únicamente trazas de ácido acético [3]. De este estudio microclimático se puede concluir que

la principal fuente de ácidos orgánicos es el órgano en sí mismo.

Las principales patologías de corrosión se han localizado al pie de los tubos metálicos, donde el metal está en contacto con la madera (Fig. 3 a). Se ha observado, asimismo, que la corrosión se va moviendo progresivamente hacia arriba formando fisuras y agujeros, y si el ataque está muy avanzado el tubo puede colapsar (Fig. 3 b). Como resultado del ataque, el sonido del tubo va alterándose hasta quedar en silencio, modificando, por tanto, el sonido de la pieza musical [3].

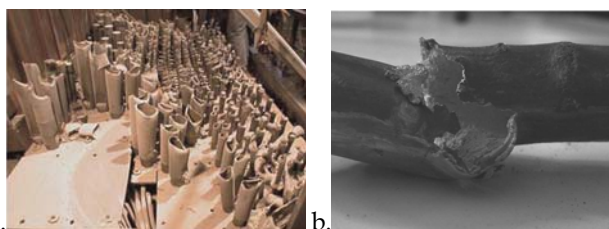
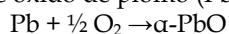


Fig. 3. Patologías de alteración en a) el órgano Cavaillé-Coll (Burgos), b) el órgano Stellwagen (Lübeck, Alemania). Figuras extraídas de las referencias [4, 5].

Las especies ácidas son debidas a la hidrólisis de los grupos acetyl éster de la hemicelulosa, que constituye una tercera parte del total de la madera. El roble es una de las maderas que más especies ácidas emite, mientras que las maderas de álamo blanco y nogal son de las que menos emiten [6].

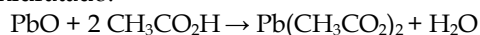
3. CORROSIÓN DEL PLOMO

Los tubos de los órganos son de plomo o de una aleación plomo-estaño [3]. El plomo presenta una buena resistencia a la corrosión atmosférica ya que en condiciones de humedad reacciona con el oxígeno ambiental formando una capa pasiva de óxido de plomo (PbO) [5, 7].

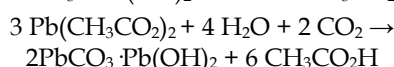
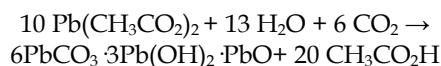


Sin embargo, la exposición continuada a los ácidos acético y fórmico produce un ciclo de corrosión en el que los iones acetato y formiato actúan como catalizadores favoreciendo la reacción de los iones plomo con el CO₂ ambiental [8, 9]. Esto explica la intensa corrosión causada por pequeñas concentraciones de ácido.

El ácido acético puede disolverse en la capa de agua de condensación que recubre el objeto y formar acetato de plomo hidratado.



Este acetato puede reaccionar con el CO₂ disuelto en el agua, formando una capa de color blanquecino, pulverulenta y de poca adhesión formada por compuestos como la plumbonacrita, la hidrocerusita y la cerusita (Tabla 1) (Fig. 4).



La transformación del acetato de plomo hidratado a hidrocerusita está muy favorecida ya es el compuesto más estable en el sistema PbO-CO₂-H₂O [10, 11]. Aún así, la

TABLA 1
PRINCIPALES PRODUCTOS DE CORROSIÓN DEL PLOMO FORMADOS EN ATMÓSFERAS DE INTERIOR [8]

Nombre	Fórmula	Color
Litargirio	$\alpha\text{-PbO}$	Rojo
Masicotita	$\beta\text{-PbO}$	Amarillo
Acetato de plomo	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$	Blanco
Plumbonacrita	$6\text{PbCO}_3 \cdot 3\text{Pb}(\text{OH})_2 \cdot \text{PbO}$	Blanco
Hidrocerusita	$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$	Blanco
Cerusita	PbCO_3	Blanco

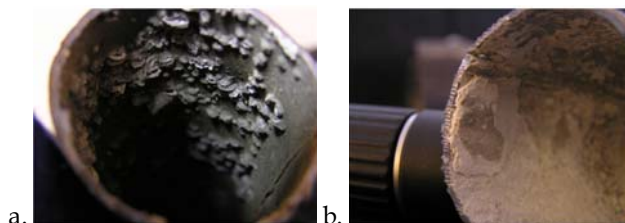


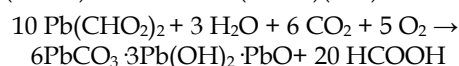
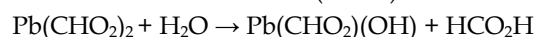
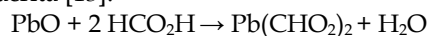
Fig. 4. Productos de corrosión en el interior del órgano Stellwagen (Lübeck, Alemania). Figuras extraídas de la referencia [3].

exposición continuada a ácido acético y CO₂ favorece la transformación de la hidrocerusita en cerusita [5].



Se ha observado una relación directa entre la concentración de ácido acético y la velocidad de corrosión del plomo [5], así como con la humedad, ya que aumenta la reactividad del ión acetato, aumentando la velocidad de degradación del plomo, especialmente cuando la humedad relativa es superior al 67 % [11].

El ácido fórmico también acelera la corrosión del plomo, aunque en menor medida que el ácido acético porque la formación de la capa de corrosión es más rápida, ralentizando la velocidad de corrosión [12]. Además, el formiato de plomo (Pb(CHO₂)₂) es menos soluble (0.016 g·cm⁻³) que el acetato de plomo (0.456 g·cm⁻³), por lo que la capa es más estable [12, 13]. Una exposición prolongada a este ácido induce la formación de hidroxi formiato de plomo y plumbonacrita [13].



4. MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

De forma general, se debe mantener la temperatura y humedad del edificio relativamente baja para ralentizar la velocidad del ataque químico.

Sin embargo, la mayor complicación reside en que el principal agente de alteración de los tubos metálicos es emanado por la misma estructura del órgano. Por tanto, las medidas de conservación requieren un mayor control de las condiciones microclimáticas en el interior del instrumento. Para evitar una acumulación de las especies ácidas se recomienda ventilar el interior del órgano cada

cierto tiempo, así como utilizar sensores selectivos de las especies ácidas para evaluar su concentración.

5. CONCLUSIONES

En los últimos años, se ha producido una pérdida de la calidad del sonido de los órganos históricos de toda Europa como consecuencia de la corrosión de los tubos metálicos que los componen. Tras diversos estudios microclimáticos se constató que la corrosión era debida a la emanación de ácido acético y fórmico de la madera del propio órgano. Estos ácidos catalizan la corrosión del plomo de los tubos. Las medidas de conservación preventiva deben contemplar medidas de ventilación del interior de los órganos para minimizar el daño provocado por la acumulación de las especies ácidas.

REFERENCIAS

- [1] B. Baretzky, M. Friesel, B. Straumal, "Reconstruction of historical alloys for pipe organs brings true Baroque music back to life", *MRS Bulletin*, vol. 32, n° 03, pp. 249-255, 2007, doi: <http://dx.doi.org/10.1557/mrs2007.30>.
- [2] P. Williams, *The organ music of J. S. Bach*. Cambridge University Press, 1985.
- [3] C. Chiavari, C. Martini, D. Prandstraller *et al.*, "Atmospheric corrosion of historical organ pipes: the influence of environment and materials", *Corrosion Science*, vol. 50, n° 9, pp. 2444-2455, 2008, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2008.06.045>.
- [4] A. Justo-Estebarez, L.K. Herrera, A. Duran *et al.*, "Analysis of the restoration of an historical organ: The case study of the Cavaillé-Coll organ of La Merced Church in Burgos, Spain", *Studies in Conservation*, vol. 57, n° 1, pp. 21-28, 2012, doi: <http://dx.doi.org/10.1179/2047058411Y.0000000001>.
- [5] A. Niklasson, L.-G. Johansson, J.-E. Svensson, "Influence of acetic acid vapor on the atmospheric corrosion of lead", *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 152, n° 12, pp. B519-B525, 2005, doi: <http://dx.doi.org/10.1149/1.2084348>.
- [6] L.T. Gibson, C.M. Watt, "Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments", *Corrosion Science*, vol. 52, n° 1, pp. 172-178, 2010, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.054>.
- [7] T.E. Graedel, "Chemical mechanisms for the atmospheric corrosion of lead", *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 141, n° 4, pp. 922-927, 1994, doi: <http://dx.doi.org/10.1149/1.2054858>.
- [8] L. Selwyn, *Metals and corrosion: a handbook for the conservation professional*. Canada: Canadian Conservation Institute, 2004.
- [9] V. Costa, F. Urban, "Lead and its alloys: metallurgy, deterioration and conservation", *Studies in Conservation*, vol. 50, n° sup1, pp. 48-62, 2005, doi: <http://dx.doi.org/10.1179/sic.2005.50.Supplement-1.48>.
- [10] P. Taylor, V.J. Lopata, "Stability and solubility relationships between some solids in the system PbO-CO₂-H₂O", *Canadian Journal of Chemistry*, vol. 62, n° 3, pp. 395-402, 1984, doi: <http://dx.doi.org/10.1139/v84-070>.
- [11] A. Niklasson, L.-G. Johansson, J.-E. Svensson, "The influence of relative humidity and temperature on the acetic acid vapour-induced atmospheric corrosion of lead", *Corrosion Science*, vol. 50, n° 11, pp. 3031-3037, 2008, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2008.08.009>.
- [12] A. Niklasson, L.-G. Johansson, J.-E. Svensson, "Atmospheric corrosion

of lead the influence of formic acid and acetic acid vapors", *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 154, n° 11, pp. C618-C625, 2007, doi: <http://dx.doi.org/10.1149/1.2775173>.

- [13] J. Tétreault, E. Cano, M. van Bommel *et al.*, "Corrosion of copper and lead by formaldehyde, formic and acetic acid vapours", *Studies in conservation*, vol. 48, n° 4, pp. 237-250, 2003, doi: <http://dx.doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.237>.



Teresa Palomar Sanz, doctora en Química por la Universidad Autónoma de Madrid (2013). Ha trabajado en diversos institutos y centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Actualmente se encuentra cursando el Máster de Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.