

# Correlación entre la microestructura y las frecuencias de resonancia en copas de vidrio: una manera de control de calidad en los procesos de fabricación

Correlation between the microstructure and the resonance frequency in glass: a way of quality control in manufacturing processes

L. Preciado<sup>1</sup>, A. Dussan<sup>2\*</sup>, F. Mesa<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Estudiante Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá-Colombia.

<sup>2</sup> PhD, Docente Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá-Colombia. \* adussana@unal.edu.co.

<sup>3</sup> PhD, Docente Investigador Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Bogotá-Colombia. \* fgmesar@unal.edu.co.

Fecha de recepción del artículo:

: Fecha de aceptación del artículo:

## Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de las frecuencias de resonancia y la microestructura de un conjunto de copas de vidrio correspondiente a un lote de producción determinado, obtenido a partir de los procesos de fabricación de una empresa. Teniendo en cuenta las regiones de fractura producidas cuando las copas entran en resonancia, se realizaron mediciones de tamaño de grano, espesor y porosidad en cada una de las fracturas y en las demás zonas que no sufrieron alteración. Se presenta una correlación entre la microestructura y las frecuencias de resonancia obtenidas para cada caso. A partir del análisis de las señales, adquiridas por programas de cómputo, se estudió la correspondencia entre las frecuencias de resonancia y los distintos modos de vibración presente en el experimento.

## Palabras clave

Resonancia, Microestructura, AFM.

## Abstract

In this work is presented a study of the resonance frequencies and the microstructure of a set of wineglasses corresponding to a determined production lot obtained from the fabrication processes

of an enterprise. Considering the fracture regions obtained when the wineglasses were in resonance, measurements of grain size, thickness and porosity were made in the zones where the fractures took place and where they didn't. A correlation between the microstructure and the resonance frequencies obtained for each one of the cases are presented. And from the analysis of the signals acquired with computational methods, the correspondence between the resonance frequencies and the different vibration modes existing in the research were studied.

## Key Words

Resonance, Microstructure, AFM.

## 1. Introducción

La caracterización de materiales se fundamenta en el estudio de las propiedades físicas y sus aplicaciones en un campo de investigación definido [1,2]. A través de la historia, las grandes empresas se han preocupado por mejorar la calidad de sus productos haciendo uso de distintas técnicas experimentales a manera de establecer un control de calidad de los mismos [3]. La calidad de los productos fabricados basados en vidrio es a menudo regida por procesos de selección internos

que compiten por lograr la perfección del producto final. Propiedades estructurales, morfológicas, ópticas y de microestructura junto con estudios a través de técnicas de espectroscopía del sonido, han sido reportadas para obtener información acerca de las propiedades que gobiernan el material usado para la fabricación de un producto [4,5].

En este trabajo presentamos un estudio de las frecuencias de resonancia y la microestructura de un conjunto de copas de vidrio correspondiente a un lote de producción determinado, obtenido a partir de los procesos de fabricación de una empresa. Se realizaron medidas a través de microscopía de fuerza atómica (AFM) para analizar la rugosidad en la superficie de cada una de las copas, teniendo en cuenta su estado de fabricación: Vidrio o Cristal. Se presentan espectrogramas del sonido producidos por las copas indicando la frecuencia de resonancia alcanzada para cada una de ellas. Se observa un corrimiento en la frecuencia umbral y se correlaciona con las medidas de AFM.

## 2. Experimental

Se usó un conjunto de copas de vidrio y de cristal de un lote de producción de una empresa determinada. Las copas fueron sometidas a experimentos de tipo acústico hasta alcanzar las frecuencias de resonancia características propias del material. Los valores de las frecuencias y las amplitudes fueron variados en un amplio rango. Los espectros obtenidos de la frecuencia umbral fueron adquiridos y procesados a través de un sistema de cómputo y un programa adecuado. Para el estudio de las propiedades morfológicas se empleó un microscopio de fuerza atómica marca Park Scientific Instrument Company (PSI).

## 3. Resultados y discusión

En la Figura 1 se presentan los espectrogramas obtenidos para las distintas copas cuando son sometidas a diferentes esfuerzos de tipo acústico para obtener su frecuencia umbral.

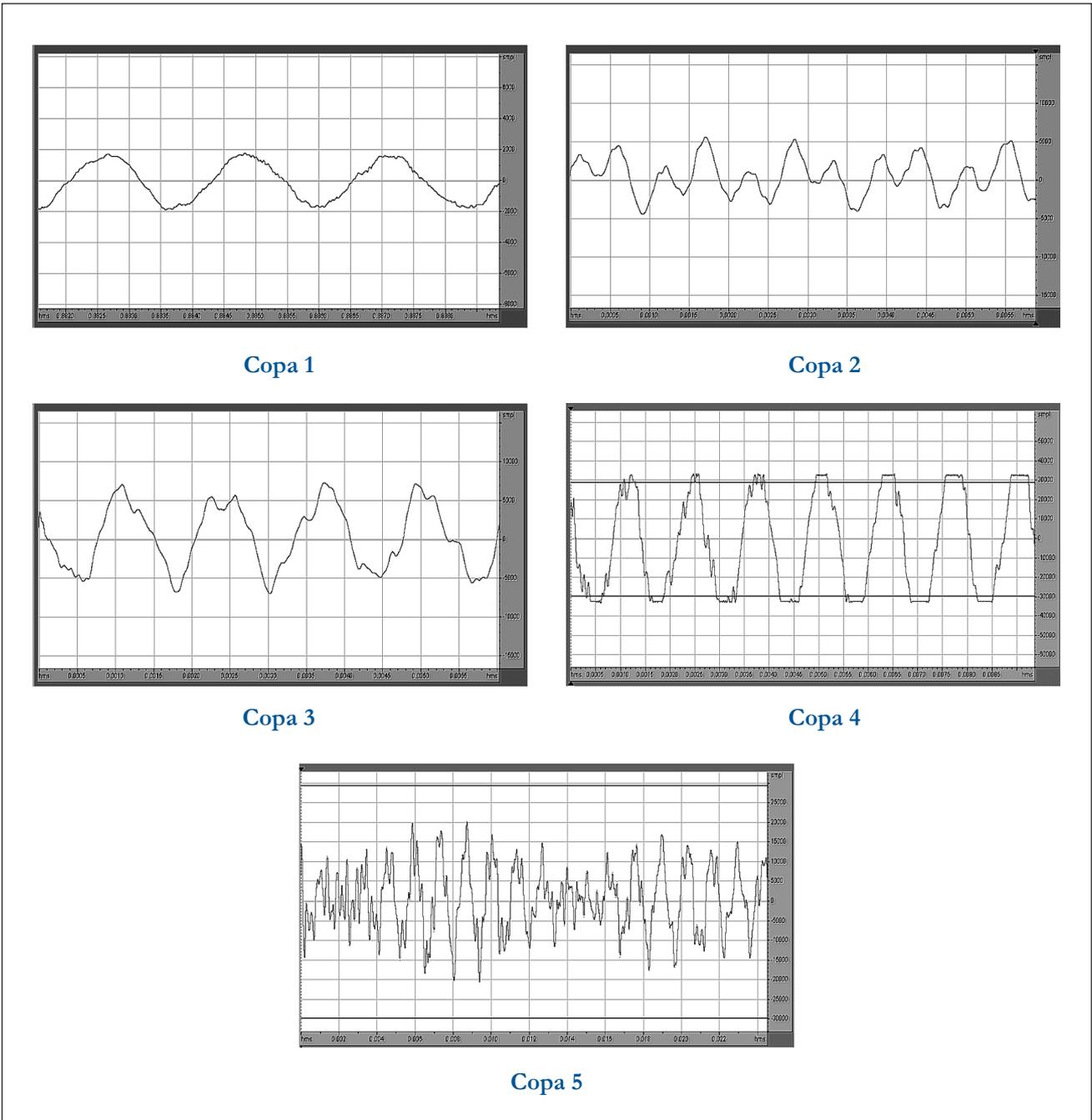
En la Figura 1 los cambios en los espectrogramas y en especial en la frecuencia de las copas se

pueden atribuir fundamentalmente a variaciones en la densidad (esto es corroborado más adelante con las medidas de AFM), así como también en el tipo de vidrio empleado en su fabricación, el cual es reportado en las especificaciones del empaque. Se puede observar claramente que el espectrograma correspondiente a la copa 1 (copa de cristal) presenta una forma senoidal más definida en comparación con los demás espectrogramas. Se encontró que el valor de la frecuencia de umbral de la copa 1 (442.41 Hz), difiere significativamente de los obtenidos para las demás copas. Los valores de las frecuencias de resonancia son reportados en la Tabla 1.

En la Figura 2, se presentan imágenes de AFM del conjunto de copas correspondientes a los espectrogramas mostrados en la Figura 1. Las imágenes fueron tomadas en distintos puntos de la superficie para garantizar la información obtenida de la morfología.

En la Figura 2 se puede observar claramente que las copas números de la 2 a la 5 presentan una mayor rugosidad en la superficie que la mostrada para la copa 1. La diferencia en la morfología observada en las copas 2 y 3 son evidencia de la falta de control en los procesos de producción y calidad en la manufactura de este tipo de material: Vidrio común. Todas las imágenes de AFM presentan malformaciones marcadas por pliegues, surcos y/o superficies asimétricas pronunciadas en forma de granos o altibajos preponderantes en la superficie (ver Figura 2). Lo anterior está en concordancia con los espectrogramas mostrados en la Figura 1. La copa de cristal, cuyo espectrograma es más definido con una función senoidal (ver Figura 1) se corresponde con la superficie de menor rugosidad mostrada en las imágenes de AFM, en comparación con el otro tipo de copas estudiadas.

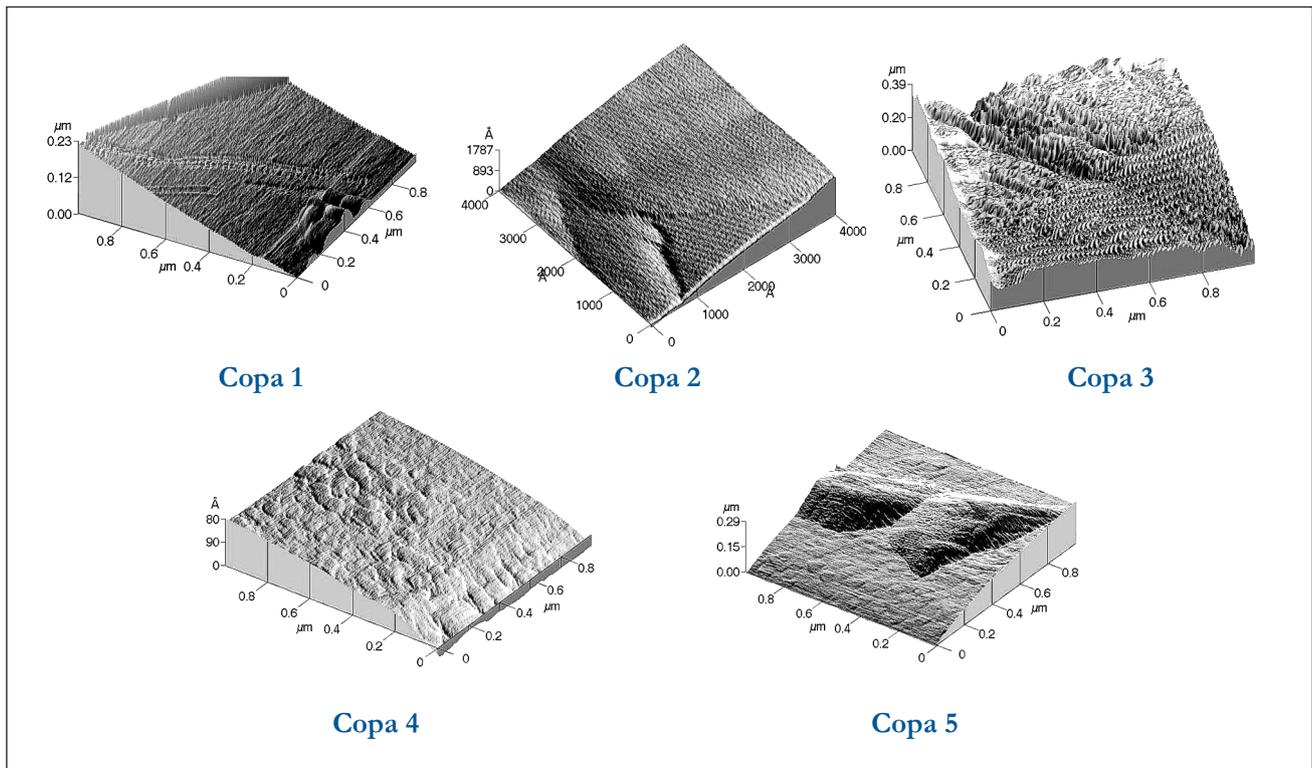
Un estudio de sus propiedades estructurales y de crecimiento a través de medidas de difracción de rayos-X permitiría establecer diferencias entre ellas dependiendo de los planos de crecimiento y los elementos y/o impurezas presentes en los procesos de fabricación. Esto no se presenta en este trabajo y se planea realizar posteriormente.



**Figura 1.** Espectrogramas del sonido (amplitud vs. frecuencia) producidos al someter las copas a un esfuerzo acústico para obtener la frecuencia de resonancia característica. (Copa-1: Cristal, Copa-2 y 3: Vidrio común baja calidad, Copa 4 y 5: Vidrio común alta calidad).

**Tabla 1.** Frecuencia de resonancia para el conjunto de copas correspondientes a los espectrogramas mostrados en la Figura 1.

Nº Copa	1	2	3	4	5
Frecuencia (Hz)	442,41	775,54	758,31	734,44	772,22



**Figura 2.** Microestructura y morfología de la superficie de las copas obtenidas por AFM. (Copa-1: Cristal, Copa-2 y 3: Vidrio común baja calidad, Copa 4 y 5: Vidrio común alta calidad).

## 4. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un estudio sobre la relación entre las frecuencias de resonancia y la microestructura de diferentes tipos de copas de vidrio y de cristal. Se encontró que la morfología de la superficie presenta cambios en la rugosidad dependiendo de la calidad en los procesos de fabricación. Se observó que la morfología de la copa de cristal estaba marcada por una menor rugosidad en la superficie en comparación con las copas de vidrio común. Las frecuencias de resonancia mostraron una variación menor en el mismo lote de producción determinando cambios en los estándares de fabricación.

## Agradecimientos

Agradecimiento al grupo de Materiales Semiconductores y Energía Solar de la Universidad

Nacional por su apoyo para las mediciones de AFM y a Colciencias.

## Referencias

1. Santos, C.; Maeda, L.D.; Cairo, C.A.A. and Acchar, W. (2008). *Refractory Metals and Hard Materials*. Introduction, 26, 14-18.
2. Dussan, A. and Korpecki, R.R. (2007). *Rev. Col. Física*, 39.
3. Ramírez C., Daniel (2004). *Rev. Facultad de Minas UNC*, 71, 75.
4. Hallez, L.; Touyeras, F.; Hihn, J.Y. and Klima, J. (2007). *Ultrasonics Sonochemistry*, 14, Issue 6, 739-749.
5. Czigány, T. (2006). *Composites Science and Technology*, 66, Issue 16, 321.