

Memorias del 3er Foro Académico

Reposición de faltantes en glockenspiel: Un estudio de acústica enfocado en la recuperación de sonido

Alma Lucía Villareal Castillo
Saulo Gonzalo Carmona Contreras
Rafael Galicia Amancio

3er foro
académico

ISBN: 978-607-484-265-4

foroacademicoencrym@gmail.com
www.foroacademicoencrym.com

Resumen

Como parte de la restauración de un glockenspiel de la segunda mitad del siglo XX, fabricado en Alemania del Oeste, se reposieron las barras y soportes faltantes con el objetivo de recuperar su funcionalidad. Se caracterizaron las barras presentes, encontrando su frecuencia de vibración, sus dimensiones y la composición de la aleación; a partir de ello, se determinaron las características que debían tener las reposiciones; se eligió, entre dos opciones, el material más parecido y se ajustaron las barras hasta conseguir las frecuencias deseadas. Al comparar las longitudes con la predicción teórica, se tuvo una desviación estándar de únicamente 0.08 centímetros.

Palabras clave

Reposición de faltantes, restauración, instrumentos musicales, acústica, glockenspiel.

Introducción

Entre la gran cantidad de productos de la actividad humana, existen algunos, cuya merma de funcionalidad, en ausencia de una calidad estética remarcable o un peso histórico reconocido, les hace perder importancia ante la comunidad que los utilizaba. Sin embargo, estos objetos aún tienen sus valores estético, documental, tecnológico y simbólico. En casos como éstos, una restauración debe enfocarse en conseguir el reconocimiento del objeto por parte del usuario, permitiendo que se conser-

ven todos los valores de aquél; por lo tanto, el enfoque de una intervención de este tipo será la recuperación de funcionalidad. Cabe mencionar que esto no inhibe que un objeto con grandes cualidades estéticas e históricas no sea merecedor de una recuperación funcional; como en toda restauración, debe hacerse un estudio detallado para cada caso.

Este problema de funcionalidad afecta directamente a los instrumentos musicales, ya que, como su nombre lo indica, son aparatos diseñados para emplearse en la actividad concreta de producir sonidos musicales. La recuperación del sonido en instrumentos antiguos es uno de los temas más complejos dentro de la restauración de instrumentos musicales. El presente trabajo, enfocado únicamente en el estudio acústico que permitió la reposición de faltantes para un glockenspiel, no pretende fungir como solución de estas intervenciones, sino únicamente funcionar como un ejemplo de la aplicación de técnicas metodológicas que pueden resultar adecuadas en ciertos casos.

Descripción y estado de conservación del instrumento

El glockenspiel es un instrumento musical de percusión que se toca con mazos; está afinado, es decir, cada barra metálica rectangular produce sonido de una frecuencia determinada.¹ Cabe mencionar que una barra con extremos libres no tiene sobretonos armónicos; en este caso, las frecuencias de los sobretonos son tan altas que son despreciables para el oído humano.

El instrumento sobre el que versa este reporte se recibió únicamente con dieciséis barras y un mazo, y con evidentes faltantes. Cada barra está troquelada con el nombre de la nota correspondiente; gracias a ello se identificó la escala tonal (de Do4 a Do6), así como las diez ausentes. También faltaban cuatro soportes de las mismas (Fig. 1).

¹ N. Fletcher y T. Rossing, *The Physics of Musical Instruments*, p. 533.



Fig. 1

A pesar de que el instrumento no había perdido completamente su funcionalidad, no cumplía su objetivo original, pues no era capaz de producir todas las notas necesarias para una variedad de melodías, por lo cual, debido a lo mencionado en la introducción, se decidió reponer las piezas.

Identificación del fabricante

Gracias a la marca que indicaba su lugar de fabricación, y a una etiqueta donde se distinguía la letra S, se encontró que el fabricante del instrumento es Sonor®, que aún produce instrumentos de percusión. Se acudió con los distribuidores en México disponibles en la página web de la marca, para preguntar si podían conseguirse las piezas de reposición; éstos indicaron que únicamente eran importadores de baterías, por lo cual fue necesario reponer todas las piezas del glockenspiel por nuestra cuenta.

Procedimiento

Introducción al experimento

Se buscó una relación entre la longitud y la frecuencia, caracterizando las barras existentes, para así hallar la longitud de las barras faltantes. Las frecuencias se hallaron utilizando un oscilos-

copio Tektronix TDS2002©, mediante la función matemática del equipo que aplica la transformada de Fourier a las ondas, encontrando así las frecuencias a las que vibran las barras.

El ancho y el grosor de las barras, así como el largo de aquellas menores a 12.5 cm, se midieron con calibrador vernier; el resto se midió con flexómetro. Las incertidumbres corresponden a la mitad de la mínima escala de cada instrumento; en el caso del osciloscopio, se tomó el mínimo intervalo que medía.

Es importante saber que la afinación del instrumento está en una escala temperada. Por definición, cada salto de nota en la escala temperada debe ser más aguda que la anterior por un intervalo constante;² la escala común tiene 12 notas que en términos prácticos puede regirse por la ecuación:
donde v_t es la frecuencia de afinación para la escala temperada.

Identificación del material constitutivo de las barras y las reposiciones

La frecuencia de vibración de una barra depende de las propiedades elásticas (módulo de Young y densidad) del material que la compone, pues las ondas viajan a diferentes velocidades; dos barras de idéntico tamaño pero de distinto material vibrarán a frecuencias proporcionales a la velocidad de su sonido.³ De acuerdo con lo anterior, era necesario identificar el material del cual estaban hechas las barras, y conseguir uno muy similar para que las reposiciones tuvieran el sonido deseado.

Se contaba con dos tipos de barra para la reposición: una proveniente de una lámina de acero dulce, y la otra de una solera de hierro (ambas de acuerdo con la información del vendedor).

El análisis elegido fue fluorescencia de rayos X; se realizó en una barra original y en los dos materiales mencionados. Se su-

² Scales: Just vs Equal Temperament.

³ N. Fletcher, *op. cit.*, p. 534

puso que la composición es homogénea, por lo que el análisis se realizó únicamente en un punto por cada uno.

La fluorescencia de rayos X es una técnica de análisis elemental no invasiva, rápida y sensible para elementos a partir del azufre ($z \geq 16$); el principio de ésta es excitar los átomos de los elementos que constituyen la muestra cuando se bombardean con rayos X primarios (producidos por un tubo catódico). Cuando los electrones regresan a su estado base, emiten rayos X secundarios característicos para cada elemento. Para la caracterización de los materiales se recurrió al equipo SANDRA, construido por el IFUNAM y operado por el doctor José Luis Ruvalcaba; se utilizó un tubo de molibdeno, potencia de 45 kV e intensidad de corriente de 0.2 mA, irradiando el material durante 120 s; su haz de salida es de 1 mm de diámetro.

En la figura 2 están desplegadas las gráficas de la barra original (en verde) y de la lámina (en violeta). Se pueden observar picos, correspondientes a hierro y manganeso. En la figura 2 la barra original está en verde, y la solera en violeta; en la segunda se observa cerca del doble de la cantidad de manganeso, así como la presencia de cobre. Debido a que es muy similar a la composición del metal original, se eligió la lámina de acero dulce para hacer las reposiciones.

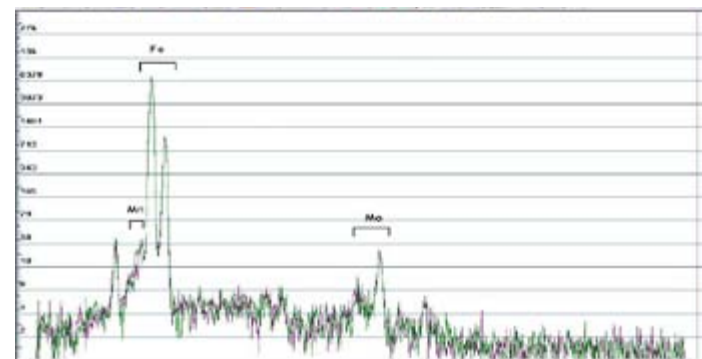


Fig. 2

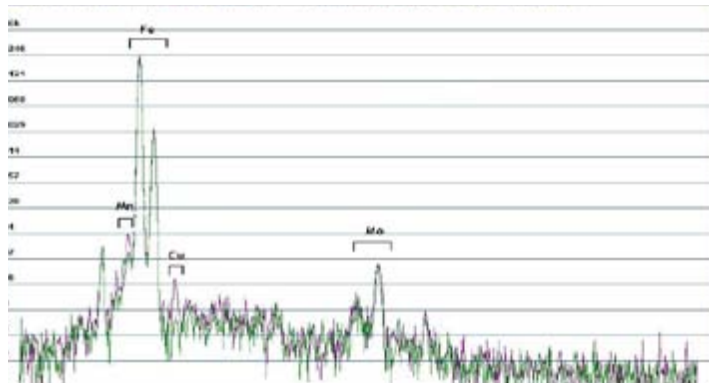


Fig. 3

Resultados de medición

Ya que la anchura y el grosor de las barras se mantenían como constantes (2.05 cm y 0.2 cm, respectivamente), se aislaron las variables y se buscó una relación entre la frecuencia y la longitud, ya que se observó y midió que eran las únicas relevantes para aportar información necesaria para realizar las reposiciones.

En la tabla I del apéndice se encuentran los datos hallados para cada barra. Se hizo uso del análisis experimental para encontrar la relación matemática entre la longitud y la frecuencia al ajustarse la gráfica I, encontrándose la ecuación: $v_f = 99794 L^{-1.0004}$



Gráfica I

○ Datos Experimentales — Tendencia 1

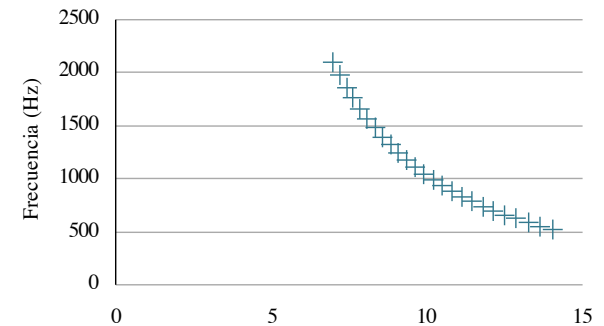
Se igualaron la ecuación obtenida del ajuste experimental y la ecuación teórica dada en la introducción, debido a que las únicas frecuencias que nos interesan son las de afinación de una escala temperada. La relación que se obtuvo fue:

$$L = \frac{1}{\left[\frac{27.5}{99794} \left(2^{a+\frac{v}{12}} \right) \right]^{1.0004}}$$

que, en una forma más simple, si se conociera la tabla de frecuencias para la escala temperada, la ecuación 2, queda como:

$$L = \frac{1}{\left[\frac{v_f}{99794} \right]^{1.0004}}$$

a partir de la cual podemos encontrar la longitud para todas las notas faltantes, así como las presentes, pudiendo hacer una tabla⁴ y la siguiente gráfica del instrumento de manera completamente teórica.



Gráfica 2 + Teórica

Reposición de barras

La lámina de acero (del mismo grosor que las barras) se mandó cortar al mismo ancho (2.05 cm) y largo (12.60

⁴Tabla 2 en el apéndice

cm) que la barra mi, ya que era la de tamaño inmediato superior a los faltantes. La primera aproximación para igualar las notas fue intentar conseguir con una reposición la misma frecuencia que la barra mi. En teoría, como las dimensiones eran las mismas y el material muy similar, debían ser iguales; sin embargo, existía una diferencia de 15 Hz. En la siguiente tabla se describe la acción realizada, y el cambio en la frecuencia.

Frecuencia inicial	645 Hz
Al limar los bordes	645 Hz
Al realizar los agujeros para los soportes	650 Hz
Quitando material con taladro, parte final	655 Hz
Recortando la barra con esmeril	665 Hz
Quitando material con taladro, parte media	660 Hz
Longitud final: 12.470 ± 0.0025	

Finalmente, se realizó una prueba tras pintar la barra con pintura en aerosol. No hubo cambio en la frecuencia, por lo que en un futuro las reposiciones pueden recibir una capa de pintura sin afectar la afinación.

Las acciones realizadas para ajustar las barras fueron las siguientes:

- Para aumentar frecuencia. Disminuir longitud de la barra (con segueta o esmeril) o realizar depresión con taladro de diferentes calibres cerca del final
- Para disminuir frecuencia. Realizar depresión con taladro en la parte media de la barra

Se encontró evidencia de que el método de las depresiones

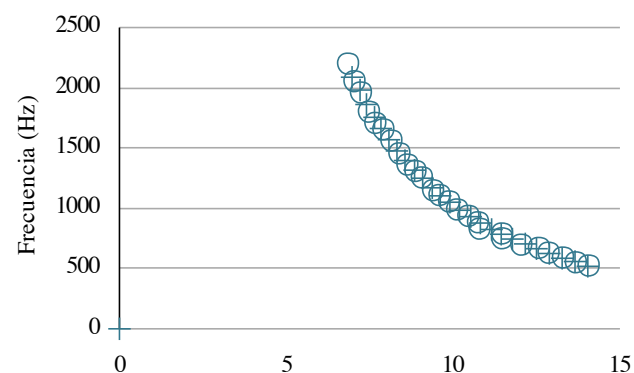
fue el utilizado para afinar las barras originales, pues la mayoría contaba con éstas en la parte trasera.

Reposición de soportes

Se realizó un molde del soporte original, en resina poliéster de Poliformas®. Las piezas de reposición se vaciaron en caucho de silicón P-48 Polisol, también de Poliformas®. La pieza de metal interna se sustituyó con un trozo de aguja de canevá núm. 16, de acero niquelado.

Análisis de resultados

Después de los datos medidos en el original, y los obtenidos con las reposiciones, se puede hacer una comparación de mediciones para verificar la validez de las relaciones matemáticas antes obtenidas, a fin de encontrar congruencia entre ambas. Esto se puede observar en la siguiente gráfica y en la tabla 3 del apéndice, al sacar el valor absoluto de la diferencia entre la medición y la predicción teórica.



Gráfica 3

+ Teórica ○ Experimental

Se observó congruencia tanto gráficamente como en el análisis de datos, para los cuales se obtuvo la desviación estándar de la diferencia para encontrar la variación entre las mediciones experimentales y las predicciones teóricas. El valor obtenido fue de 0.08 cm, con una diferencia máxima de 0.3 centímetros.

Conclusiones

Podemos concluir que se cumplió el objetivo de recuperar la funcionalidad del instrumento, alcanzando frecuencias de afina-



Fig. 7 Fotografía de fin de proceso

ción para cada nota con un rango de error de 2 Hz respecto del deseado, donde las longitudes obtenidas coinciden con las predicciones teóricas con una desviación estándar de 0.08 centímetros.

Cabe destacar que, aunque en un principio se procedió a afinar las barras por ensayo y error, se encontró congruencia con las predicciones teóricas. Además, el análisis de datos se facilitó con el uso de un instrumento capaz de procesar información y hacer cálculos que de otra manera hubieran tomado más tiempo.

Este trabajo muestra una de las posibles formas en que la restauración se apoya en otras disciplinas para caracterizar a los objetos y realizar intervenciones adecuadas, en este caso para la reposición de faltantes.

Bibliografía

Hopkin, Bart

1996 *Musical Instrument. Design: Practical Information for Instrument Making*, Tucson: Sharp Press, 181 pp.

Fletcher, Neville y T. Rossing

1991 *The Physics of Musical Instruments*, Nueva York: Springer, 620 pp.

Scales: Just vs Equal Temperament, disponible en <<http://www.phy.mtu.edu/~suits/scales.html>>, consultado en octubre del 2009.

Apéndice. Tablas de datos obtenidas directamente

L(cm)	v(Hz)
6.860	2200
7.07	2050
7.28	1950
7.51	1800
7.69	1700
7.92	1650
8.20	1550
8.43	1450
8.64	1350
8.89	1300
9.085	1244.51
9.40	1150
9.629	1108.73
9.913	1046.50
10.21	987.77
10.51	932.33
10.82	880.00
11.14	830.61
11.46	783.99
11.80	739.99
12.15	698.46
12.60	660
12.90	620
13.30	580
13.70	550
14.10	520

datos

Tabla 1
Datos Medidos
Experimentalmente

L	L _{exp}	±ΔL
14.05	14.10	0.05
13.65	13.70	0.05
13.26	13.30	0.04
12.88	12.90	0.02
12.51	12.60	0.1
12.15	12.09	0.1
11.80	11.5	0.3
11.46	11.4	0.08
11.14	10.82	0.3
10.82	10.78	0.04
10.51	10.48	0.03
10.21	10.16	0.05
9.913	9.88	0.03
9.629	9.62	0.01
9.353	9.40	0.05
9.085	9.08	0.01
8.825	8.89	0.07
8.572	8.64	0.1
8.326	8.43	0.1
8.088	8.20	0.1
7.856	7.92	0.06
7.631	7.69	0.05
7.412	7.51	0.10
7.200	7.28	0.08
6.994	7.07	0.08

Tabla 2
Datos Teóricos

L(cm)	v(Hz)
6.860	2200
7.07	2050
7.28	1950
7.51	1800
7.69	1700
7.92	1650
8.20	1550
8.43	1450
8.64	1350
8.89	1300
-	-
9.40	1150
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
12.60	660
12.90	620
13.30	580
13.70	550
14.10	520

Tabla 3
Comparación de datos experimentales vs teóricos