

DISEÑO DE UNA ZAMPOÑA CON TUBOS DE VIDRIO A DESIGN OF A ZAMPOÑA USING TEST TUBES

M. F. SÁNCHEZ BARRERO, F. GHEZZI

Laboratorio Física Básica II
Carrera de Física–UMSA
La Paz, Bolivia

RESUMEN

La zampoña, un instrumento de la familia de los aerófonos, es un objeto que identifica a la región andina de Sudamérica, encontrándose dentro de esta región nuestro país, Bolivia. Al ser muy común encontrar este instrumento elaborado de caña y de tubos de plástico, surgió la idea de elaborar una zampoña con algún material diferente, es de ahí la elección de utilizar tubos de ensayo en el armado del instrumento. Con trece tubos del mismo tamaño y diámetro que contenían agua, se midieron las frecuencias de cada tubo perteneciente a cada nota de la zampoña, variando la cantidad de agua en los tubos para hacer variar las frecuencias. El instrumento obtenido refleja todas las características de una zampoña tradicional.

Descriptor: instrumentos musicales — propiedades acústicas de los sólidos

Código(s) PACS: 43.75.+a, 62.65.+k

ABSTRACT

The zampoña also known as panpipe is a musical wind instrument typically identified with the Andean region of South America and in particular the altiplano (highland) region of Bolivia. Commonly made from bamboo and plastic tubes, we decided to make a zampoña from an alternative material constructing the instrument from test tubes (glass). We measured the frequency of thirteen tubes of the same size and diameter filled with water, each tube had the corresponding note found in the traditional zampoña. The different frequencies were obtained by varying the amount of water in the test tubes. The resulting laboratory controlled instrument is a true model of a traditional zampoña.

Subject headings: musical instruments — acoustical properties of solids

1. INTRODUCCIÓN

Para comenzar con la introducción a lo que es la zampoña y considerando la belleza de la tradición andina de relatar historias con un sentido fantástico, se muestra primero la leyenda de la creación del instrumento:

Cuenta la leyenda de aquel cañaverl, que un viejo campesino, de vuelta a casa, pudo escuchar los sonidos del viento colándose en las cañas quebradas y acariciando el oído con un sinfin de notas cual orquesta singular.

A la mañana siguiente, comenzó a construir un curioso órgano de viento disponiendo caños en grupos de diferentes tamaños a lo largo de ese lado de la loma donde el Dios de los vientos hacía patente su presencia meciendo las hojas de las cañas y desgranando de ellas un dulce llorar.

Tallas, esculturas, grabados, relatos y pinturas, evidencian su presencia en culturas ancestrales muy diversas que lo catalogan como uno de los primeros aerófonos utilizados por el hombre.

Su empleo es igualmente versátil, vinculándose en algunas culturas a ritos ceremoniales o religiosos, en

otras usado como instrumento pastoril y en otras muchas, con fines netamente lúdicos, enraizados en el folklore popular.

Flauta de pan, zampoña, rondador, antara, syrinx, naï rumano, flauta pastoril, son muchas las variantes que ha ido adoptando en cada cultura. En cada sitio toma un nombre diferente y atiende a distintas escalas y formas de ser tocado; pero sin lugar a dudas, en la región de los Andes, es donde posee la mayor de sus moradas.

El nombre “zampoña” es una deformación de la palabra española, sinfonía. Probablemente haya sido como los indígenas del Alto Perú creían que se llamaba la música de los conquistadores españoles.

Los objetivos que se plantearon para la elaboración de este experimento son:

- Construir un instrumento musical, debidamente afinado.
- A consecuencia del anterior punto, construir una zampoña elaborada de tubos de ensayo de vidrio, cada tubo correspondiente a una nota de la zampoña, y cada uno debidamente afinado a tal nota, mediante programas de computación

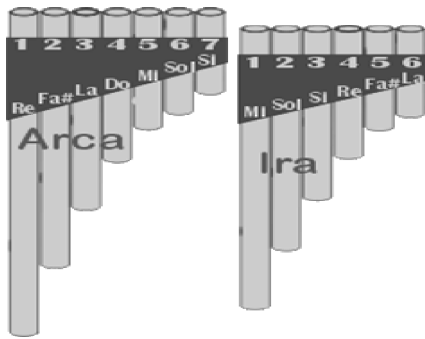


FIG. 1.— Se muestran las dos hileras que forman a una zampoña.

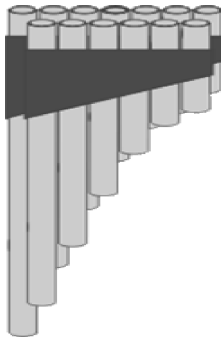


FIG. 2.— Zampoña, distribución de las dos hileras (Ira delante de Arca).

para obtener las frecuencias de las notas, y haciendo uso de la transformada de Fourier.

2. TEORÍA

La zampoña está compuesta por dos hileras de tubos de caña en los que las notas se intercalan sucesivamente formando una escala diatónica.

Los caños se amarran entre sí, adosados a finas tablillas de madera o bien a tiras de la propia caña.

Habitualmente se disponen en número de 7 tubos la mayor, llamada Arca, y de 6 la menor, llamada Ira (Figs. 1 y 2).

La zampoña, puede ser tocada por un sólo músico o bien por parejas, de tal modo que cada instrumentista tocaría las notas correspondientes a su mitad del instrumento.

Para tocar el instrumento, se coloca de tal manera que nuestro labio inferior roce el borde de los tubos. En esta posición se trata de dirigir el golpe de aire y hacerlo penetrar en el tubo que se desea hacer sonar.

Los labios deben de estar tensos para favorecer el control del aire y su efectividad a la hora de llenar los caños. El flujo ha de ser variable y proporcionado al tamaño de cada tubo. La apertura de los labios, que dará salida al aire, también es proporcional al diámetro del tubo que se desea hacer sonar, de tal forma que para sonidos más agudos (menor tamaño de tubo), la apertura de los labios será menor. Por contra, la apertura de los labios será mayor para tocar notas graves (tubos de mayor longitud).

La zampoña está afinada en la tonalidad de SOL MAYOR, más conocida por su relativo MI menor.

En la zampoña las notas se distribuyen en dos oc-

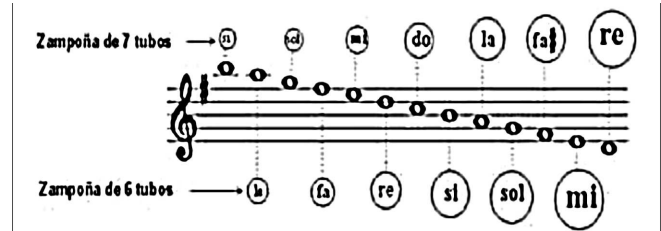


FIG. 3.— Distribución de las notas de la zampoña en el pentagrama (Zampoña de 7 tubos: Arca, Zampoña de 6 tubos: Ira).

TABLA 1

EN ESTA TABLA SE MUESTRAN LAS FRECUENCIAS CORRESPONDIENTES A CADA NOTA EN LAS DOS OCTAVAS EN QUE SE TRABAJARAN (TEÓRICAS).

2da octava	3ra octava
Do 2: 130,813	Do 3: 261,626
Do# 2: 138,591	Do# 3: 277,183
Re 2: 146,832	Re 3: 293,665
Re# 2: 155,563	Re# 3: 311,127
Mi 2: 164,814	Mi 3: 329,628
Fa 2: 174,614	Fa 3: 349,228
Fa# 2: 184,997	Fa# 3: 369,994
Sol 2: 195,998	Sol 3: 391,995
Sol#2: 207,652	Sol#3: 415,305
La 2: 220	La 3: 440
La# 2: 233,082	La# 3: 466,164
Si 2: 246,942	Si 3: 493,883

tavas diferentes, dejando de lado a los tubos de mayor longitud con la octava menor y los tubos de menor longitud con la octava mayor, ya que la frecuencia de una nota aumenta, cuando la longitud del tubo es menor (Fig. 3).

Para el análisis más preciso de las notas musicales, se construye un espectro del sonido emitido para cada nota, mediante programas de computación, con los cuales en una gran mayoría se obtiene el espectro del sonido, en función de la amplitud y tiempo para la nota. Sin embargo, realizando la transformada de Fourier se logra cambiar los datos de amplitud y tiempo en datos de amplitud y frecuencia, en la mayor parte de las veces se usa FFT¹. Generándose así una gráfica como la mostrada en la Fig. 4.

El vibrato; es el caso en que la frecuencia modulante es de unos pocos ciclos por segundo (típicamente entre 5 y 7 Hz), y la desviación un pequeño porcentaje (aproximadamente entre 1% y 5%) de la frecuencia portante. Intuitivamente se puede comprender el fenómeno pensando que cuando la frecuencia de modulación es baja, los cambios ocurren a lo largo de varios ciclos de la portante, la que se percibe entonces como una misma forma de onda que varía su frecuencia. Lo que ocurre en este caso a ni-

¹ FFT es la abreviatura usual (del inglés *Fast Fourier Transform*) de un eficiente algoritmo que permite calcular la Transformada de Fourier discreta (DFT) y su inversa. La FFT es de gran importancia en una amplia variedad de aplicaciones, desde el tratamiento y filtrado digital en general a la resolución de ecuaciones diferenciales parciales o los algoritmos de multiplicación rápida de grandes enteros.

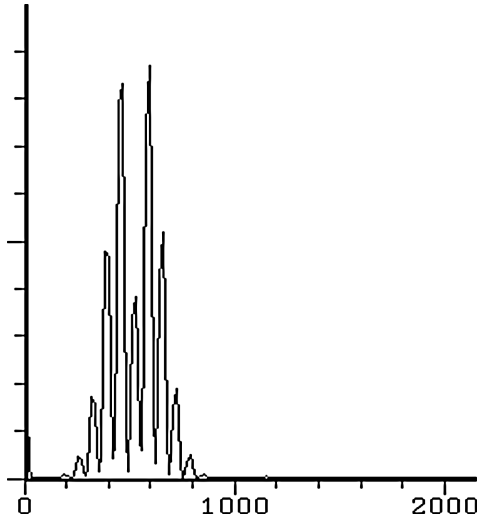


FIG. 4.— Espectro de la frecuencia 535 Hz para el Fagot.

vel de espectro, es que en torno a la frecuencia portante se generan bandas laterales, superiores e inferiores, a distancia de la frecuencia modulante, lo cual se observa claramente en la Fig. 4. Es de ahí que se considera a la frecuencia modulante, como la que posee el pico con mayor amplitud en el espectro.

Para una portante c y una modulante m , el espectro resultante es de la forma:

$$c \pm nm \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Cuántas de esas bandas laterales aparecen, y la amplitud de cada una de ellas, dependerá de la magnitud de la modulación. La misma se mide mediante el denominado *índice de modulación*, que se define como el cociente entre la desviación de frecuencia (amplitud de la modulante) y la frecuencia modulante:

$$I = \frac{d}{m} \quad (1)$$

La ecuación que define la onda resultante de modular la frecuencia de una senoide (cuya amplitud se considera normalizada a 1, para simplificar), por medio de otra senoide, es la siguiente:

$$x(t) = \text{sen}(\alpha t + I \text{sen} \beta t), \quad (2)$$

siendo $x(t)$ la amplitud de la onda en un momento t determinado, y α y β las frecuencias portante y modulante expresadas en radianes/segundo. Esta fórmula puede expandirse en la siguiente serie trigonométrica:

$$\begin{aligned} x(t) = & J_0(I) \text{sen} \alpha t \\ & + J_1(I) [\text{sen}(\alpha + \beta)t - \text{sen}(\alpha - \beta)t] \\ & + J_2(I) [\text{sen}(\alpha + 2\beta)t + \text{sen}(\alpha - 2\beta)t] \\ & + J_3(I) [\text{sen}(\alpha + 3\beta)t - \text{sen}(\alpha - 3\beta)t] \\ & + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

De ahí que la amplitud de cada par de bandas laterales ($\alpha \pm \beta$, $\alpha \pm 2\beta$, $\alpha \pm 3\beta$, ...) queda determinada por factores de la forma $J_n(I)$.

3. PROCEDIMIENTO

3.1. Primera Parte

En esta primera parte del experimento se consiguieron 13 tubos de ensayo, los cuales son de la misma longitud y diámetro (15cm ; 1,4cm), los cuales serán designados a cada nota proveniente de la zampona.

3.2. Segunda Parte

Se emitió sonido con el tubo vacío, y haciendo uso de un micrófono y de programas de computación, se observó el espectro del mismo mediante un programa llamado Goldwave, como este programa no muestra las frecuencias del sonido emitido, se guardó la gráfica que se obtuvo en formato de texto, para que los datos se registren, de ahí que se llevan los datos a una tabla en el programa computacional para gráficas, Origin Pro, la cual se analiza mediante transformadas de Fourier (FFT), es decir se cambian los datos de tiempo y amplitud a datos de frecuencia y amplitud, obteniendo así una gráfica en la cual se logra ver la frecuencia. Tomando en cuenta la parte teórica, se tomo como dato al pico de mayor amplitud en la gráfica, y a continuación se llevó a cabo el mismo procedimiento con un tubo lleno de agua a 3cm del borde, obteniéndose así los dos límites de Frecuencia con los que se puede trabajar.

3.3. Tercera Parte

Se llevó a cabo el anterior procedimiento con los 13 tubos a niveles diferentes de agua, hasta que las frecuencias obtenidas en cada tubo se aproximan a las frecuencias teóricas mostradas en la Tabla 1, para las notas que pertenecen a la zampona.

3.4. Cuarta Parte

Habiendo obtenido las frecuencias para las notas de la zampona en los 13 tubos, se marca estos niveles de agua, y se clasifica los tubos según las notas en las dos hileras de la Zampona: Arca e Ira.

Se armó una gradilla y se colocaron los tubos en su respectivo lugar según la distribución en la zampona.

4. DATOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Las Figs. 5–17 pertenecen a las notas de cada tubo.

4.1. Arca

En esta hilera se encuentran las notas: 2da octava: re, fa #, la; 3ra octava: do, mi, sol, si.

Para Re de la segunda octava (Fig. 5) se tiene una frecuencia teórica de 146,832 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 148,67 Hz. H= 12,55cm (Precisión: 98,76%).²

Para Fa # de la segunda octava (Fig. 6) se tiene una frecuencia teórica de 184,997 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 182,776 Hz. H= 9,95cm (Precisión: 98,8%).

² H: Altura del nivel de agua desde el borde superior del tubo hasta el menisco formado en el agua.

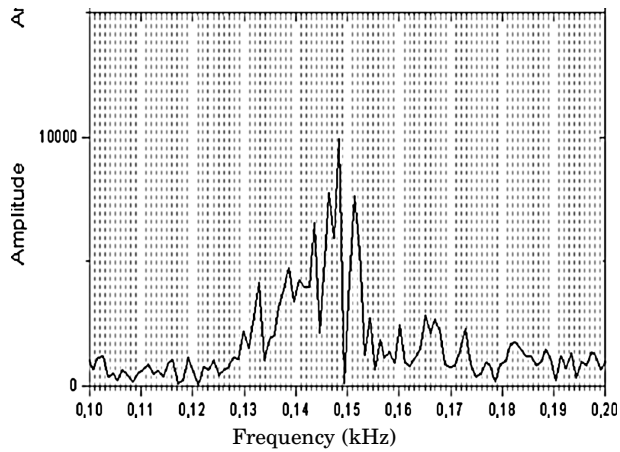


FIG. 5.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Re de la segunda octava.

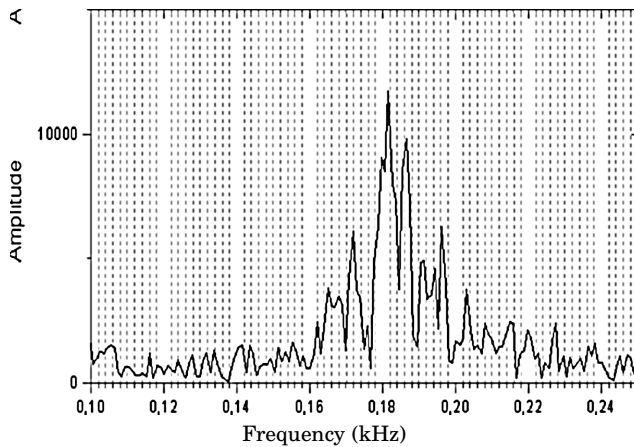


FIG. 6.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Fa# de la segunda octava.

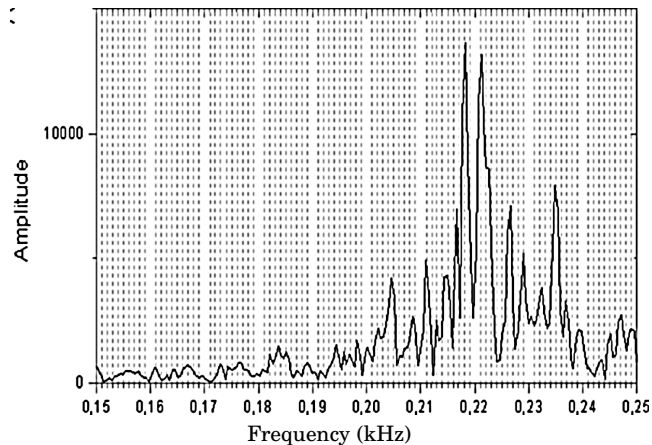


FIG. 7.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para La de la segunda octava.

Para La de la segunda octava (Fig. 7) se tiene una frecuencia teórica de 220 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 218,93 Hz. $H= 8,15\text{cm}$ (Precisión: 99,5%).

Para Do de la tercera octava (Fig. 8) se tiene una frecuencia teórica de 261,626 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 266,03 Hz. $H= 6,75\text{cm}$ (Pre-

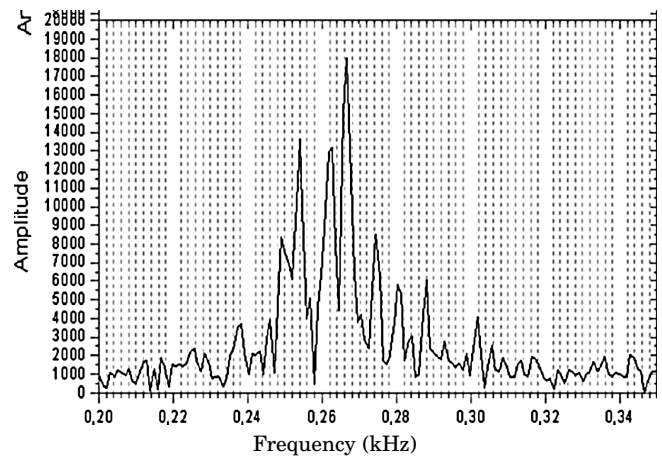


FIG. 8.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Do de la tercera octava.

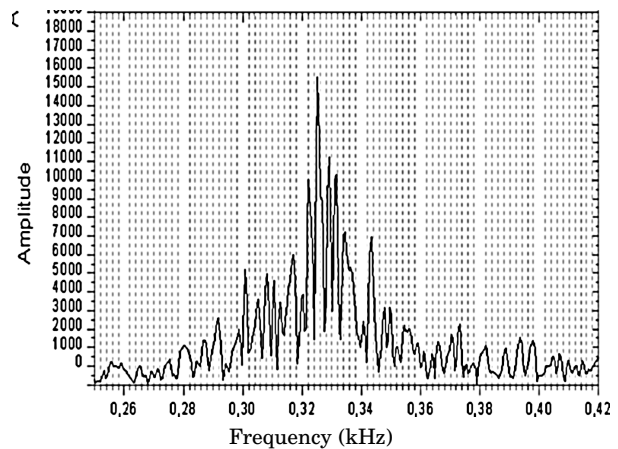


FIG. 9.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Mi de la tercera octava.

cisión: 98,34%).

Para Mi de la tercera octava (Fig. 9) se tiene una frecuencia teórica de 329,628 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 325,57 Hz. $H= 5,35\text{cm}$ (Precisión: 98,77%).

Para Sol de la tercera octava (Fig. 10) se tiene una frecuencia teórica de 391,995Hz. La obtenida en la experimentación fue de 388,09Hz. $H= 4,25\text{cm}$ (Precisión: 99%).

Para Si de la tercera octava (Fig. 11) se tiene una frecuencia teórica de 493,883Hz. La obtenida en la experimentación fue de 480,65Hz. $H= 3,1\text{cm}$ (Precisión: 97,32%).

4.2. IRA

En esta hilera se encuentran las notas: 2da octava: MI,SOL, SI; 3ra octava: RE, FA, LA

Para Mi de la segunda octava (Fig. 12) se tiene una frecuencia teórica de 164,814 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 165,456Hz. $H= 11,25\text{cm}$ (Precisión: 99,6%).

Para Sol de la segunda octava (Fig. 13) se tiene una frecuencia teórica de 195,998 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 196,554 Hz. $H= 9,25\text{cm}$ (Precisión: 99,71%).

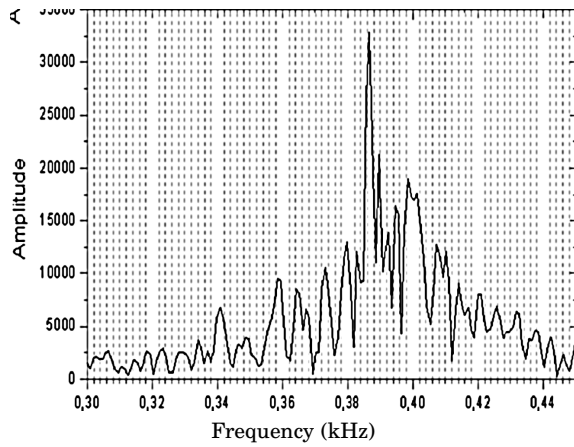


FIG. 10.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Sol de la tercera octava.

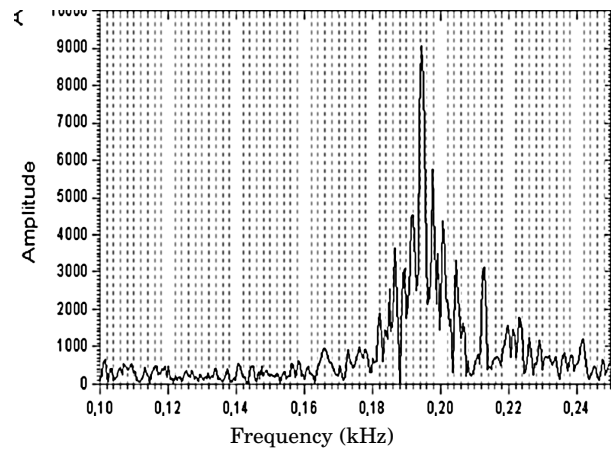


FIG. 13.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Sol de la segunda octava.

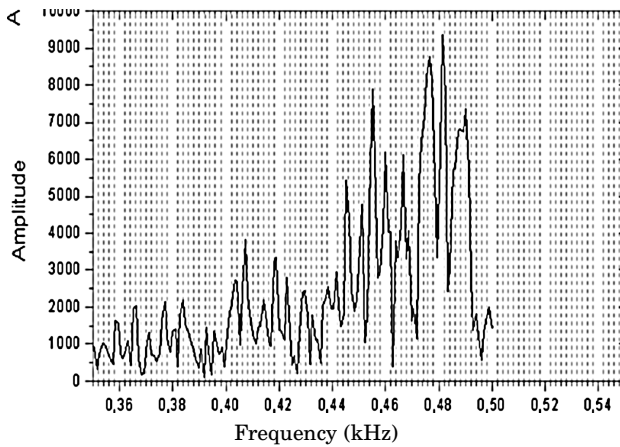


FIG. 11.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Si de la tercera octava.

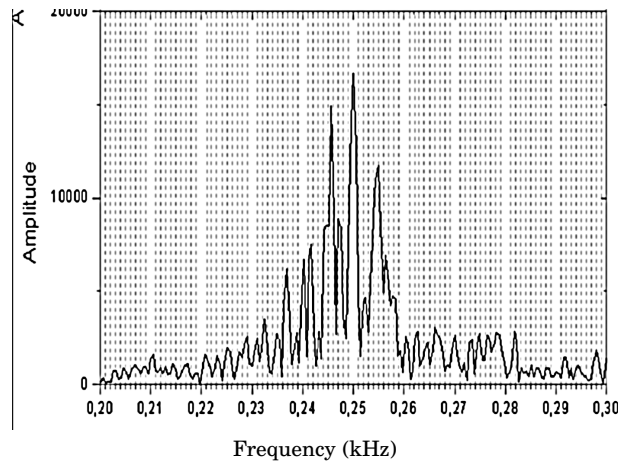


FIG. 14.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Si de la segunda octava.

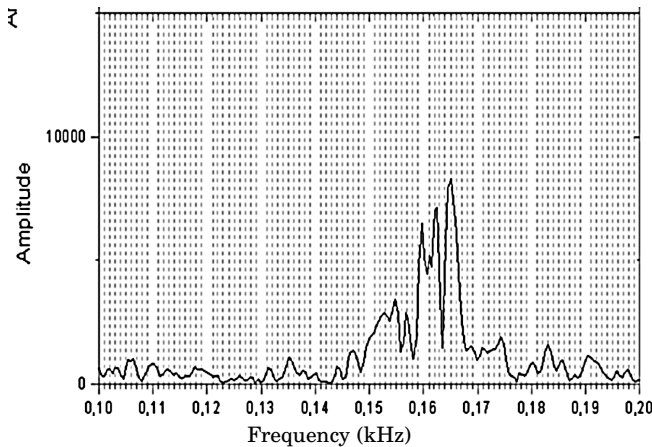


FIG. 12.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Mi de la segunda octava.

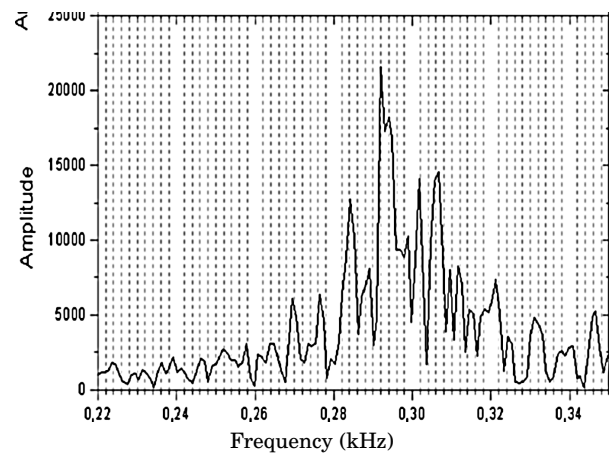


FIG. 15.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Re de la tercera octava.

Para Si de la segunda octava (Fig. 14) se tiene una frecuencia teórica de 246,942Hz. La obtenida en la experimentación fue de 248,345Hz. $H=7,2\text{cm}$ (Precisión: 99,44%).

Para Re de la tercera octava (Fig. 15) se tiene una frecuencia teórica de 293,665 Hz. La obtenida en la experimentación fue de 292,01 Hz. $H=6\text{cm}$ (Pre-

cisión: 99,43%).

Para Fa de la tercera octava (Fig. 16) se tiene una frecuencia teórica de 369,994Hz. La obtenida en la experimentación fue de 367,893Hz. $H=4,75\text{cm}$ (Precisión: 99,43%).

Para La de la tercera octava (Fig. 17) se tiene una frecuencia teórica de 440Hz. La obtenida en la expe-

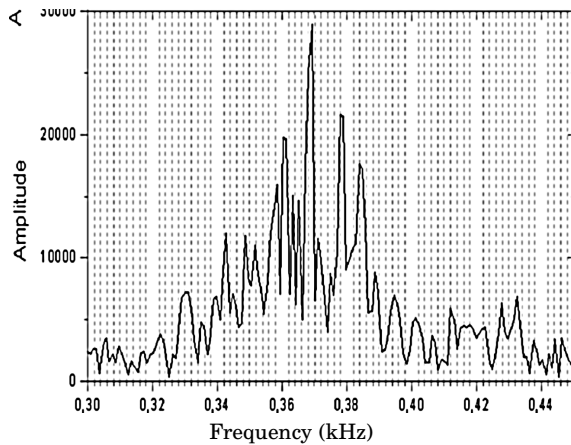


FIG. 16.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para Fa de la tercera octava.

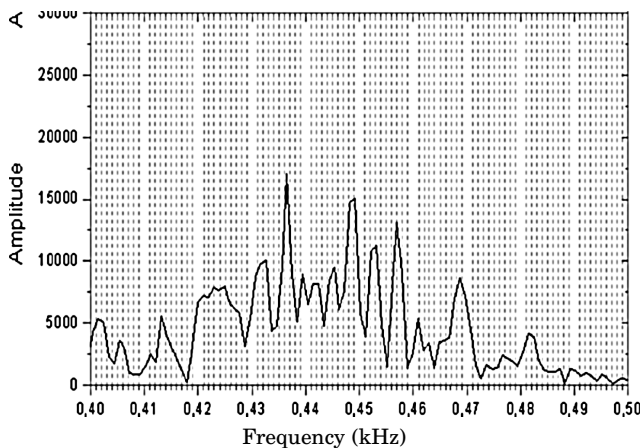


FIG. 17.— Gráfica de Amplitud vs. Frecuencia para La de la tercera octava.

rimentación fue de 437,542Hz. $H= 3,75\text{cm}$ (Precisión: 99,44%).

5. CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo de este proyecto con éxito, el de construir un instrumento musical, ya que el instrumento que se escogió, la zampoña con tubos de ensayo, fue elaborada y puesta en práctica para comprobar que las notas varían de tubo a tubo, y estas están en las frecuencias adecuadas a cada nota.

Las alturas del nivel de agua tomadas desde el borde superior del tubo hasta el menisco formado por el agua, correspondientes a cada nota se encuentran en un rango de error de $\pm 0,1\text{cm}$.

Las frecuencias que se obtuvieron para cada nota, no son exactamente las teóricas pero se encuentran en un rango de precisión en su gran mayoría del 99%.

La nota Si de la tercera octava se encuentra en un rango de error mayor puesto que la longitud para la nota era mucho menor al rango encontrado en donde el tubo emitía un sonido, por lo que se disminuyó el diámetro del tubo de 1,4cm a 1,0cm.

En el proceso de colocar la nota correspondiente a cada tubo, se logró notar que la longitud del nivel de agua en el tubo (con diámetro fijo) en relación a la frecuencia se encuentran ligadas en forma logarítmica, ya que mientras las frecuencias aumentaban el nivel de agua subía en el tubo logarítmicamente, en las frecuencias más elevadas se nota que los niveles de agua no varían tanto uno de otro como en las frecuencias bajas. Este comportamiento se nota claramente al colocar los tubos de las notas en orden según su posición en el pentagrama.

La zampoña de tubos de ensayo, a parte de ser un poco delicada por el material (vidrio), se asemeja a las zampoñas de caña en su tonalidad, aunque por sus limitaciones en longitud, se tuvo que diseñar la zampoña en una octava menos que la que se tiene como patrón.

Considerando que las zampoñas diseñadas a partir de caña, tienen diferentes longitudes y diámetros para emitir las notas correspondientes, y que la zampoña diseñada con tubos de ensayo sólo hace variar las longitudes y no así el diámetro; se podría establecer una relación entre ambas mediante los volúmenes que ocupa el aire en cada tubo correspondiente a una nota.

Para hacer variar las alturas de los tubos se utilizó agua potable, sin embargo, no es el único método para hacer posible estas variaciones de altura, también se podría lograr con pequeños tapones de cualquier material o hasta con diferentes líquidos. Sin embargo, las alturas no serían las mismas que para los tubos de ensayo con agua, puesto que la tensión superficial de los líquidos es diferente para cada uno y la de los sólidos es mucho mayor. Esto sucedería puesto que el aire que se inserta a cada tubo al soplar, genera una fuerza sobre la superficie del líquido, la cual puede romper con la tensión superficial del mismo y provocar movimiento lo que le da una tonalidad diferente para cada material.

REFERENCIAS

Chowning, J. 1980, Computer synthesis of the singing voice (J. Sundberg & E. Jansson, eds., *Sound Generation in Winds, Strings, and Computers*. Publication 29. Stockholm, Royal Swedish Academy of Music.)

url.: 2010a, <http://www.wikipedia.com/siku>

—. 2010b, <http://www.wikipedia.com/sikuoazampoña>