

## LA OCARINA DE ZANAHORIA A CARROT OCARINA

CHOQUE SAIRE M. P.  
Laboratorio de Física 121  
Universidad Mayor de San Andres

### RESUMEN

En los instrumentos prehispánicos aerófonos el sonido es producido por la vibración de una columna de aire como es el caso de la quena, la zampoña y la tarkha. Se suele olvidar, sin embargo, a otros instrumentos pertenecientes a esta misma familia, como es el caso de la ocarina, cuya afinación y fabricación es dificultosa. Este instrumento musical es de tamaño reducido, su sonido es agudo ( $523 - 1046\text{kHz}$ ) y se la encuentra en múltiples diseños. Su construcción es ardua debido a que habitualmente las ocarinas están hechas de cerámica o madera, con un centro hueco y orificios con áreas iguales o desiguales que son cubiertas para producir diferentes notas; esta dificultad se puede remediar usando un material dócil. Este material tiene que ser de forma alargada, cilíndrica y de consistencia maciza para evitar una deformación posterior; además, tal material debe permitir labrar el instrumento cómodamente. Entre las posibles opciones disponibles se eligió a una zanahoria (aunque parezca inusual) pues reúne todos los requisitos para la construcción de la ocarina; el único inconveniente es su sensibilidad al paso del tiempo ya que su volumen se puede reducir por la deshidratación.

*Descriptors:* instrumentos musicales — propiedades acústicas de sólidos

Código(s) PACS: 43.75.+a, 62.65.+k

### ABSTRACT

In pre Colonial wind instruments sound is produced through the vibration of an air column such as in the Quena, Zampoña and Tarka. A less well known wind instrument of the same family is the Ocarina whose fabrication and tuning are particularly difficult. The Ocarina is a small wind instrument with a high pitch ( $523 - 1046\text{kHz}$ ) and is found in many forms and designs. The instrument is arduous to make given that it is usually crafted from materials such as ceramic or wood and is composed of a hollow centre and finger holes of varying or equal diameter. This difficulty can be remedied by using a more pliable and yet durable material that can be formed into an elongated, and cylindrical form. Looking into the possible available alternative materials the carrot was chosen. The carrot met all the requirements although the material shrinks over time due to dehydration.

*Subject headings:* musical instruments — acoustical properties of solids

### 1. INTRODUCCIÓN

La ocarina se remonta a la América prehispánica, a culturas como la aymara y la quechua que utilizaban este instrumento musical acompañados de quenás, zampoñas y otros instrumentos. Se usa en países como Perú, Bolivia, Venezuela, norte de Chile, norte de Argentina y toda Mesoamérica.

Cabe recalcar que aunque existe teoría que se refiere al origen de este instrumento en Europa, se trata de otro instrumento de similares características ya que la Ocarina Sud-Americana tiene orígenes de cientos de años atrás.

La podemos encontrar en modelos sencillos, dobles o triples y con diferente número de orificios, como muestra la Fig. 1. Su tono depende de la relación entre el volumen del aire y el área del agujero destapado. Por ejemplo, en una ocarina de cuatro agujeros de áreas iguales, cubriendo todos los



FIG. 1.— Los tipos de ocarinas dependen del tamaño y del número de agujeros que posee.



FIG. 2.— Ocarina artesanal hecha de arcilla usada para el modelado matemático.

orificios previamente para luego pasar a quitar el dedo de uno de ellos, se obtiene la nota Sol, independientemente de qué agujero se destape. Si el área descubierta es igual, la nota producida es la misma.

## 2. ESCALA PENTATÓNICA

En nuestro sistema musical occidental, es conveniente utilizar sólo unas frecuencias concretas, a las cuales se las llama notas.

Las frecuencias de las notas se dividen en porciones llamadas “octavas”, y cada octava se divide en 12 porciones llamadas notas. Cada nota de una octava tiene exactamente la mitad de frecuencia que la misma nota en la octava superior.

Con el oído humano solamente se pueden captar notas que sean superiores a  $18\text{Hz}$  y por debajo de los  $20\text{kHz}$  (muy aproximadamente). Es así que sólo podemos oír unas diez octavas como mucho, con doce notas cada una. Por debajo de  $18\text{Hz}$  se llaman infrasonidos y por encima, ultrasonidos. El margen auditivo de las personas varía según la edad y otros factores. Los animales tienen un margen auditivo diferente; así, es muy conocido el hecho que los perros pueden sentir frecuencias mucho más altas, dentro del margen de los ultrasonidos.

Para que nuestra ocarina produzca sonidos agradables al oído humano es necesario ajustarla a una escala musical pentatónica porque es la escala más simple e intuitiva. La pentafonía —sistema musical en que se usa la escala pentatónica— se usa en la generalidad de los sistemas musicales tradicionales por ser usados por los músicos antiguos.

Nuestro oído humano tiene una “construcción” tal, que los sonidos cuyas frecuencias están en la proporción simple ( $2/1$ ,  $3/2$ ,  $4/3$ , etc.), suenan juntos de una manera agradable. Por ejemplo, la nota Do en su quinta octava tiene aproximadamente una frecuencia de  $1046.5\text{Hz}$  y junto a un Sol en la misma octava de frecuencia  $1567.9\text{Hz}$  suena agradable porque están a una proporción de  $3:2$ , respectivamente. Esta proporción es la combinación de sonidos más pura y se la suele llamar quinta justa.

En un sistema musical pentafónico se necesita una nota base que es la nota más grave que puede producir nuestro instrumento y una configuración de frecuencias de las notas;

TABLA 1  
SISTEMA MUSICAL PARA LA OCARINA.

	Frecuencia ( $\text{Hz}$ ) <sup>a</sup>	Nota	Octava
1 Nota	689.1	Fa	4
2 Nota	775.2	Sol	4
3 Nota	918.8	La#	4
4 Nota	1033.6	Do	5
5 Nota	1162.8	Re	5
6 Nota	1378.2	Fa	5

<sup>a</sup>Las frecuencias no son exactamente las frecuencias originales de la nota; pero son las frecuencias exactas que posee la ocarina propuesta.

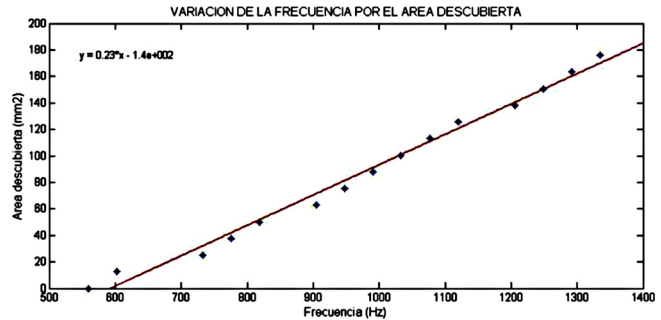


FIG. 3.— Relación lineal que existe entre el área descubierta y la frecuencia.

esta configuración es:

$$\begin{aligned} \text{Tono, } 9/8 & \quad \text{Tono, } (3/2)(8/9) = 4/3 & \quad \text{Tono, } \\ 3/2 & \quad \text{Tono, } (3/2)(9/8) = 27/16 & \quad \text{Tono, } \\ (3/2)^2(8/9) & = 2 & \quad \text{Tono} \end{aligned}$$

La ocarina propuesta consta de una escala pentatónica, de cinco notas, con una nota base en Do sostenido ( $\text{Do}\#$ ). Y obedeciendo las reglas de esta escala su sistema musical tiene que ser como indica la Tabla 1.

## 3. MODELO MATEMÁTICO PARA EL NÚMERO DE ORIFICIOS DE LA OCARINA

Los orificios de la ocarina son la parte más importante en el diseño de la ocarina ya que aportan la variedad tonal propuesta en la Tabla 1.

Así que tuvimos que diseñar un modelo que pueda relacionar el área del orificio con la frecuencia que deseamos obtener, recordando que la nota depende de la suma de orificios destapados.

Primeramente se tomó una ocarina artesanal (Fig. 2) hecha de arcilla que constaba de seis orificios de  $4\text{mm}$  de diámetro cada uno y se aumentó nueve orificios más; teniendo un total de quince orificios. La posición de los orificios fue relevante porque no perturbó en gran magnitud a las frecuencias obtenidas.

Luego se procedió a tomar la frecuencia del total de orificios descubiertos con ayuda del software *Analysis Center 2010*. Su diseño nos da la facilidad de poder obtener la frecuencia con el micrófono en tiempo real.

Las frecuencias que se obtuvieron en relación con el área destapada (Tabla 2) nos dan una idea de que existe una relación lineal. Esta relación se puede observar en la Fig. 3.

TABLA 2  
DATOS OBTENIDOS PARA EL MODELADO MATEMÁTICO.

Orificios destapados	Área total descubierta ( $mm^2$ )	Frecuencia ( $Hz$ )
0	0	559.9
1	12.56	602.0
2	25.13	732.1
3	37.69	775.2
4	50.25	818.3
5	62.81	904.4
6	75.37	947.5
7	87.93	990.5
8	100.49	1033.0
9	113.05	1076.7
10	125.61	1119.7
11	138.17	1205.9
12	150.73	1248.9
13	163.29	1292.1
14	175.85	1335.1

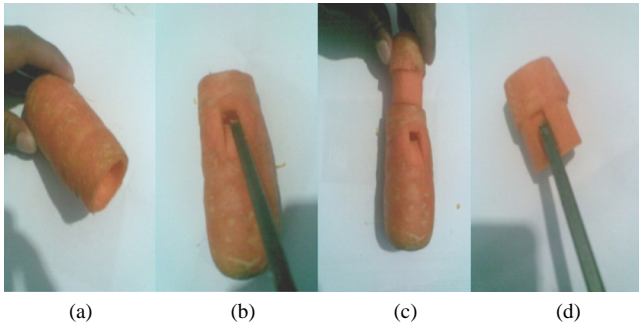


FIG. 4.— Pasos realizados para la construcción de la ocarina. Las primeras dos fotos muestran la parte resonadora y la boquilla. Las dos últimas fotos muestran la parte que permite el flujo del aire.

Así que procedemos hacer el ajuste de curvas (1): Usando la regresión lineal observamos que  $y$  es el área y  $x$  es la frecuencia. Con todo esto podemos concluir que nuestro modelo está hecho y es:

$$A = 0.22F - 135.6, \quad (1)$$

donde  $A$  es el área del orificio y  $F$  es la frecuencia deseada.

O, en función del diámetro  $D$  del orificio, la cual emplearemos más adelante para la construcción de la ocarina de zanahoria:

$$D = 2\sqrt{(0.22F - 135.6)/\pi}. \quad (2)$$

#### 4. CONSTRUCCIÓN DE LA OCARINA DE ZANAHORIA

En la construcción se necesitaron dos zanahorias lo más uniformes posible y de mayor volumen para poder evitar posibles fisuras al afollar. Y los pasos fueron los siguientes:

- Tomamos la primera zanahoria y la cortamos por la parte delgada, después con un taladro ahuecamos la zanahoria por la porción central. Esta sirve para la parte resonante de la ocarina (Fig. 4a).
- Hacemos un pequeño orificio cuadrangular en forma descendente en la parte central de su superficie con ayuda de un cincel y un estilete pequeño (Fig. 4b).
- Agarramos la segunda zanahoria y la cortamos de tal

TABLA 3  
DIÁMETROS DE LOS ORIFICIOS QUE TIENE LA OCARINA.

Nota	Fa	Sol	La#	Do	Re	Fa
Diámetro(mm)	0	6.7	6.3	5.7	6.0	7.8

manera que pueda ingresar en la primera zanahoria (Fig. 4c).

- Cortamos en la parte que se inserta en la primera zanahoria un canal cuadrangular que permite el flujo de aire (Fig. 4d).

Cuando pasamos al último paso, el tallado de los orificios, tenemos que hacer uso del modelo (2) y la Tabla 1.

Reemplazamos la frecuencia de la segunda nota (porque la primera la obtenemos sin necesidad de orificios) en (2) y obtenemos el diámetro del primer orificio, es decir, con  $F = 775.2$  se obtiene  $D = 6.7 mm$ .

Para el segundo orificio debemos modificar (2) porque si lo usáramos directamente obtendríamos el área necesaria más el área del primer orificio obteniendo datos que no nos sirven de manera inmediata. Es por ello que usaremos:

$$D = 2\sqrt{0.22(F - F_0)/\pi}, \quad (3)$$

Donde  $F$  es la frecuencia requerida y  $F_0$  es la frecuencia de la nota previa. Con este proceso obtenemos los diámetros requeridos para las frecuencias de las notas deseadas (Tabla 3).

Se puede deducir que esta escala tiene una tendencia a orificio de  $6 mm$ . Lamentablemente estas medidas no se pueden conseguir a cabalidad porque se necesitaría algún instrumento que pueda perforar con una exactitud de micrómetros

#### 5. PRUEBA DE SONIDO Y ANÁLISIS ESPECTRAL

Ya construida la ocarina ahora pasamos a analizar su afinación, es decir, con un análisis espectral observamos los picos más altos de frecuencia frente a su amplitud. Estos picos obtenidos gracias a las herramientas del software MATLAB 7.4.0 como la transformada rápida de Fourier (FFT) nos dicen su acercamiento a la nota musical que esperamos obtener.

Inicialmente de manera un tanto obvia podemos asegurar que las notas más graves, de manera específica las tres primeras notas (Fa, Sol y La#) suenan mejor afinadas que las últimas tres (Do, Re y Fa), posiblemente por la variación en la octava a que corresponden. Pero más específicamente se puede ver por las gráficas obtenidas que se muestran en la Figs. 5 a 10, que las dos primeras notas tienen una mayor precisión respecto al tono.

La frecuencia de la primera nota Fa de la cuarta octava (nuestra nota base) tuvo un rango de frecuencia entre  $660 Hz$  y  $680 Hz$ , se acercó bastante al resultado esperado, exactamente unos  $9.1 Hz$  de diferencia (Fig. 5).

En la segunda nota Sol (Fig. 6) se esperó que diera  $775.2 Hz$  y obtuvimos un rango entre  $760 Hz$  y  $780 Hz$ . El resultado requerido se encuentra dentro de nuestro rango. Sin embargo, se observa que el rango va en aumento.

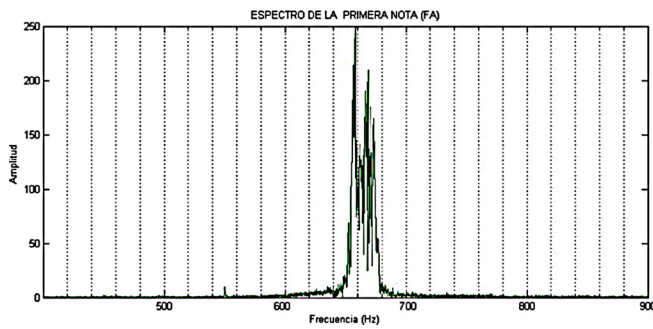


FIG. 5.— Esta gráfica corresponde a la frecuencia de la primera nota Fa.

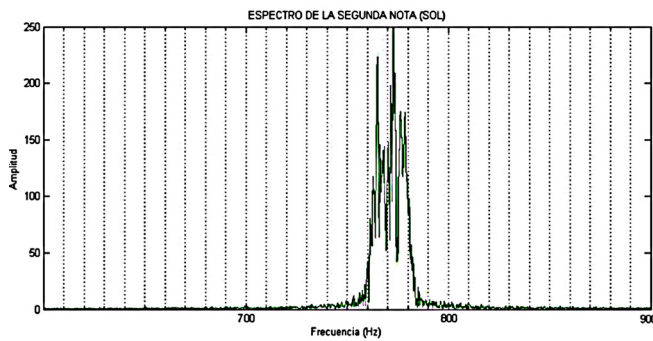


FIG. 6.— Esta gráfica corresponde a la frecuencia de la segunda nota Sol.

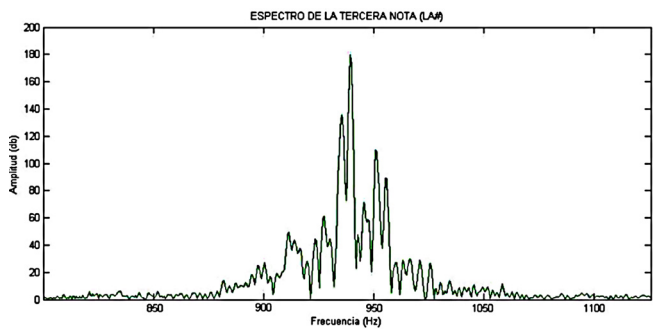


FIG. 7.— Esta gráfica corresponde a la frecuencia de la tercera nota La sostenido.

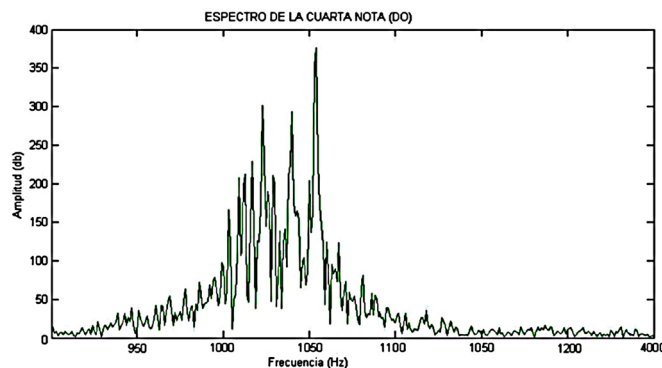


FIG. 8.— Esta gráfica corresponde a la frecuencia de la cuarta nota Do.

Los resultados de las notas La sostenido y Do tienen una similitud bastante interesante: Para la nota La sostenido calculamos una frecuencia de  $918.8\text{Hz}$ , y en la Fig. 7 vemos

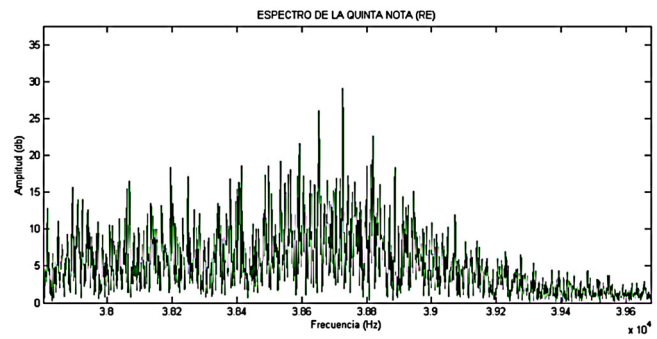


FIG. 9.— Esta gráfica corresponde a la frecuencia de la quinta nota Re.

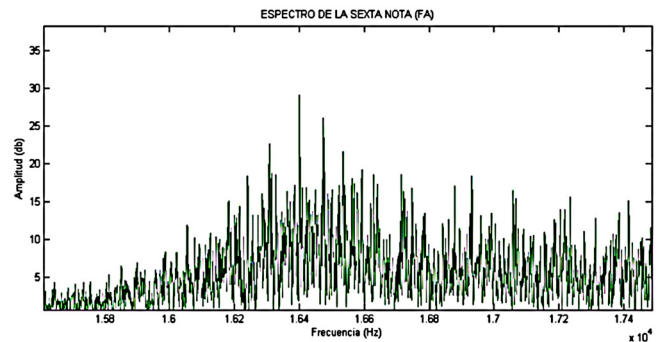


FIG. 10.— Esta gráfica corresponde a la frecuencia de la sexta nota Fa.

que la mayor amplitud se encuentra entre  $900\text{Hz}$  y  $950\text{Hz}$ ; en la cuarta nota Do se calculó una frecuencia de  $1033.6\text{Hz}$  y como se muestra en la Fig. 8 se observa una mayor amplitud entre  $1000\text{Hz}$  y  $1050\text{Hz}$ . Las Figs. 7 y 8 muestran un intervalo de mayor amplitud, de  $50\text{Hz}$  y la frecuencia calculada está dentro de los rangos.

Cuando las notas de nuestra ocarina subieron a una quinta octava el sonido de las notas Re y Fa simplemente ya no se escuchó y esto se puede ver en la gran dispersión de las Figs. 9 y 10.

## 6. CONCLUSIONES

La ocarina, y en especial esta ocarina hecha de un vegetal muy común, tiene una cierta ventaja en la construcción pero una seria desventaja de duración puesto que mientras el tiempo se prolongue su sonido irá decayendo en claridad ya que la boquilla se deshidrata cada vez más perdiendo el corte en el flujo que hace el sonido. Otro problema con este instrumento es que, como explicamos en su construcción, la zanahoria que dirige el flujo del aire tiene que caber exactamente sin dejar que escape el aire del resonador, y por el mismo problema de la deshidratación este va perdiendo volumen y cada vez deja escapar más aire, cambiando las notas y el tono del instrumento.

Pero al estar éste fresco, esto es, aproximadamente unos dos días después de la inmediata construcción, puede darnos sonidos muy claros, variados y afinados de la manera que se requiera. Si usamos notas que pertenezcan a la cuarta o tercera octava obtendremos sonidos mucho más claros porque el instrumento hecho de zanahoria no alcanza frecuencias tan altas demandadas para la quinta octava en adelante.

Y se puede decir que este es el instrumento más sencillo, de bajo costo y sorprendente, porque al no depender de la resonancia, es decir, siendo su forma relevante a la hora de la construcción, se puede formar de materiales orgánicos

—aunque parezca humorístico— como pepinos manzanas o hasta muy difícilmente de huevo, porque estos tienen un gran volumen y una gran versatilidad al momento de su construcción.

#### REFERENCIAS

Halliday, R. & Krane. 1998, Física, vol. 1, cuarta ed. (CECSA)