

ANALISIS VIRTUAL DE LLAMAS RESONADORAS PUNEÑAS

Roberto Velázquez Cabrera

[Instituto Virtual de Investigación Tlapitzcalzin](#)

6 de junio de 2013

INDICE

Objetivo	1
Metodología general.	1
Tesis y enfoque del análisis virtual	1
ANALISIS ACUSTICO	2
Análisis espectral.....	2
Diapasón puneño	3
Diapasón andino.....	3
Diapasón de plástico o modelo afinador	4
Diapasón de <i>cuatecomatl</i>	5
Diapasón de <i>mate</i>	5
Potencia acústica radiada.	5
Alcance en distancia de los sonidos	6
Modelo de Helmholtz.....	6
USOS SONOROS GENERALES.....	8
Figurillas o silbatos llama.	8
Recipiente o silbato vasija.....	8
Instrumento Musical o aerófono	8
Resonador globular en forma de llama.....	9
Características organológicas sonoras	9
Tipología.....	9
Material	10
Morfología.....	10
Dimensiones.....	10
Construcción.....	11
Modelos con molde externo.	11
Modelo con molde interno	12
Funcionamiento	12
Operación.....	12

USOS DE LOS SONIDOS	13
Llamadores o reclamos	13
Comunicaciones y señales.....	13
Ceremoniales sin ruidos	13
Ceremoniales de apareamiento	13
Fiestas con danzas	14
Marchas y procesiones.....	15
Estimulación neuronal.....	15
Batimentos biaurales	16
COMENTARIOS RECIBIDOS.....	17
FIGURAS	19

Objetivo

El objeto del escrito es mostrar los resultados de un análisis virtual realizado a distancia para la arqueóloga Martina Inés Pérez, sobre unas figurillas en forma de llamas echadas de un sitio de Jujuy, Puna septentrional argentina¹. Le parecen silbatos, ya que pueden producir sonidos que grabaron y fueron proporcionados para realizar su análisis. Tienen un orificio y pueden operarse como quenás, sin aeroducto. El cuerpo es hueco y las paredes son gruesas. El propósito es escribir un artículo en conjunto.

Metodología general.

El autor ha recomendado que cada artefacto sonoro antiguo relevante recuperado debería estudiarse con la mayor profundidad y amplitud posibles, utilizando una metodología formal como la de “arqueociencia sonora”, misma que se describe y ejemplifica en la tesis virtual sobre la [ilmenita sonora olmeca](#). Básicamente, consiste en aprovechar el conocimiento, técnicas y métodos de la arqueología y la ciencia y la tecnología para estudiar los artefactos sonoros arqueológicos. En nuestro estudio, Martina analizará y escribirá todo lo arqueológico de su especialidad, incluyendo las figuras y tablas, pero sin lo sonoro. En este escrito corto² se muestra el análisis de los sonidos y lo que pudo derivarse de ello, sin considerar ni incluir la información arqueológica. Con lo que resulte de los dos escritos se escribirá el artículo conjunto.

Tesis y enfoque del análisis virtual

Algunos investigadores que estudian instrumentos musicales antiguos han opinado que no es posible obtener algo relevante de ellos y su música, como sus melodías y ritmos, posiblemente porque no lo han logrado. Aunque tengan su música escrita antigua, es difícil ejecutarla como se hizo originalmente, cuando no se conoce su paleografía ni el diapason musical usado. Mucho menos han podido caracterizar y proponer usos precisos de los artefactos sonoros antiguos y sus sonidos o ruidos, si no son musicales y no pueden producir melodías, cuando se tocan individualmente. En este ejercicio se demuestra que es posible empezar a caracterizarlos y proponer sus posibles usos y los de sus sonidos, hasta virtualmente sin considerar la información arqueológica, sin datos suficientes, a distancia y sin tener acceso a los artefactos antiguos, ni a las llamas naturales representadas, ni sus voces o bramidos en vivo. Para ello, se aprovechan algunas técnicas científicas, considerando y analizando sólo grabaciones cortas de los sonidos de 4 figurillas (denominadas como 1440, 1441, 1442 y 1443) y algunos estudios anteriores y otros especiales realizados con modelos experimentales. El enfoque y procedimiento general del análisis virtual usado se muestra en la Fig. 1. Con

¹ Pertenecen a un acervo arqueológico rescatado que está siendo analizado en un trabajo doctoral.

² Se escribe brevemente, con el mínimo de figuras y referencias en ligas del pdf y en un lenguaje sencillo, aunque no pueden eliminarse los temas y conceptos técnicos involucrados.

ello se demuestra que puede obtenerse información de mayor relevancia, detallada y cuantificada (resultante de pruebas repetibles) que la publicada, por la mayoría de los que han podido analizar resonadores antiguos directamente, aunque el escrito sea breve. El documento podría ser más largo o extenso, pero para facilitar su consulta es mejor escribir un artículo corto. La tesis virtual es un ejemplo de análisis similar, pero con la gran ventaja de que la ilmenita sonora está bajo la custodia del autor y se le pudieron realizar directamente varios análisis y pruebas experimentales.

ANALISIS ACUSTICO

Análisis espectral

Inicialmente, se analizaron espectralmente los archivos wav de los cuatro resonadores. En la parte superior del primer espectrograma³ (Fig. 2) de uno de los sonidos (1442) se observa la gráfica de sus señales en el tiempo que las frecuencias altas están cortadas, posiblemente porque el micrófono estaba muy cerca. En el espectrograma graficado hasta 4 kHz, de la parte baja de la misma Fig. 2 también se observa que la frecuencia fundamental (F0)⁴ en kHz, las armónicas y el ruido de fondo son fuertes. Por ello, se recomendó obtener registros sonoros con una mejor grabadora y con menos ruido en el fondo. En esas condiciones, de baja calidad de las grabaciones y alta intensidad de las frecuencias grabadas, los sonidos generados parecen de tipo onomatopéyico⁵, ya que muestran una F0 con armónicos y ruido intencional similares. Su timbre es un poco nasal o gangoso, ya que las frecuencias armónicas impares son más fuertes que las pares. Eso indica que podrían ser similares a los de las voces o bramidos de los animales representados. Sin saber cómo pudieron usarse los sonidos, sus grabaciones realizadas muestran un ritmo casi constante, lo que indica que es el más sencillo de generar. A pesar de la baja calidad de las grabaciones, pudo observarse que la F0 de los tres primeros resonadores más grandes (1441, 1442 y 1443) es 447 Hz, musicalmente es muy similar y cercana al diapason musical actual (A₄ o La₄ = 440 Hz)⁶. La F0 del cuarto (1440) es de mayor altura 738 Hz (F_{#5} - 5 cents), por su resonador de menor volumen. Produce el sonido menos intenso, aunque podría ser semejante a las voces de una llamita, pero eso tendría que investigarse en el futuro

³ Es un mapeo matemático de los sonidos digitales grabados del tiempo hacia el espacio de las frecuencias, que fue obtenido y graficado con el programa Gram de Richard Horne.

⁴ Usualmente, la F0 de un sonido es la frecuencia armónica más baja y la más fuerte. En el espectrograma es la línea horizontal que aparece más oscura o negra. En música se designa como tónica y es la nota que escriben en los pentagramas musicales.

⁵ Eso condujo a una identificación inicial errónea, ya que los sonidos podían ser similares a los de los generadores de ruido del México Antiguo, que generan sonidos onomatopéyicos como la [gamitadera](#) de la zona olmeca.

⁶ Las notas musicales equivalentes fueron obtenidas con un [Frequency to Musical Note Converter](#)

En otro ejercicio, se analizaron segmentos cortos de nuevos sonidos de los mismos cuatro resonadores, que fueron registrados con una grabadora de buena calidad y con menos ruido de fondo, para poder comparar sus frecuencias. Las señales en el tiempo de los cuatro sonidos grabados ya no son de la misma intensidad sonora (dB), como se muestra arriba del espectrograma graficado hasta 11 kHz de la Fig. 3, aunque no se saben las condiciones de cada grabación, como si el micrófono se colocó a la misma distancia de la fuente sonora. Las frecuencias se parecen menos a las de tipo onomatopéyico. Se asemejan más a los de un resonador globular ruidoso. Se confirma que la F0 media de los tres primeros resonadores más grandes (1441, 1442 y 1443) son 465 Hz, 458 Hz y 447 Hz, respectivamente (Fig. 4). La F0 de la tercera es la más cercana a la del diapasón actual. El espectrograma de dos segmentos de sonidos de la pieza la 1442 fue amplificado con el objeto de poder observar mejor sus frecuencias hasta 1.4 kHz. La frecuencia media más fuerte es cercana a 440 Hz (Fig. 4).

Diapasón puneño

La cercanía de la F0 de 440 Hz que generan los resonadores es muy importante, ya que indica que ¿las llamas de arcilla podrían ser un diapason de los puneños? ¿para qué propósito? Al menos, podría servir para afinar sus propios resonadores, como hacen los que construyen aerófonos y resonadores y tocan los instrumentos musicales actuales. Eso también indica que les gustaba escuchar y sabían cómo reproducir sonidos con dicha F0, varios siglos antes de que las flautas musicales europeas se perfeccionaran y aún antes de que el diapason actual se estableciera universalmente como estándar (en 1976). Será interesante conocer la opinión de los que establecieron y usan el diapason musical actual, de que su F0 ya era usada por los puneños. Sin embargo, muchos sonidos antiguos no deben analizarse en base a las teorías y técnicas musicales actuales, porque en algunos casos es de mayor utilidad considerar todo lo que se relaciona con las propiedades auditivas y de percepción humana y con el entorno de su uso antiguo, como las llamas naturales, en este estudio.

Diapasón andino

Por desgracia, no se han publicado estudios acústicos de los miles de resonadores recuperados de la zona Andina, para hacer comparaciones, al menos, de su F0. Sin embargo, hay evidencias que pudieron existir algunos usos y gustos sonoros similares muy antiguos en grupos similares de resonadores sencillos. Por ejemplo, en un [estudio acústico-arqueológico de las 32 "flautas" de Caral-Supe](#) (2500 años a.C.), muestran que la F0 de dos flautas de las tres que proporcionan ese dato (5 y 6, Tabla 2. P 9), cuando se tocan como flauta travesa con los extremos tapados es de 880 Hz (A₅) que es el doble

de 440 Hz (o una octava arriba de A_4). Los extraordinarios [aerófonos o resonadores de Caral](#) también fueron analizados virtualmente a distancia utilizando modelos experimentales. Entre otras propiedades interesantes, se encontró que la F_0 depende de la forma de tocarse o tañerse el resonador tubular:

“Conclusión 5. Veintiún tubos de hueso son de tamaño similar a los tubos que uso como diapasón para afinar flautas verticales. El tubo más largo (16.6 cm) puede generar una F_0 o nota musical de ~440 Hz y sonidos más altos, tocada verticalmente (como Quena) y obturando el hoyo central y el lejano. En la Figura 2 se muestra la nota A_4 en 3 dimensiones. Este descubrimiento puede significar que los tubos de hueso de Caral pueden ser los primeros diapasones del mundo. Al menos indica que esa altura de sonidos era muy usada y apreciada por los maestros de Caral”.

Ese descubrimiento plantea una pregunta fundamental sobre su posible uso ¿en Caral también existían las llamas?⁷

Diapasón de plástico o modelo afinador

Se hizo un modelo de diapason musical muy sencillo y de geometría regular que genera una $F_0 \sim 440$ Hz con la morfología básica de un resonador globular sin obturadores tonales, utilizando un envase de plástico de desecho de una solución medicinal de 100 ml (izquierda, Fig. 5). El modelo tiene su forma interna similar a la usual de un silbato globular zoomorfo de arcilla, aunque una parte es casi tubular ($D = 4.5$ cm), pero corta de longitud (8 cm). La altura total del modelo es de 11.3 cm, el largo del cuello tubular 2.3 cm ($D = 2.8$ cm hasta 2 cm en la boca sonora) y el largo de la reducción es de 1 cm. El modelo también pudo construirse de arcilla, como las llamas puneñas, pero este se hizo de plástico para mostrar que es muy sencillo de hacer hasta sin costo, si se sabe cómo. Además, el modelo puede reponerse fácilmente, si se daña durante los experimentos. Para lograr la F_0 deseada con un $V = 128$ cm³ y modelar la pared gruesa típica de un resonador de arcilla antiguo, alrededor de la boca sonora se le agregó un poco de cera de abeja y se redondeó sus bordes que funcionan como un bisel. En el espectrograma de la Fig. 6 de los [sonidos del modelo afinado](#) se observa que las frecuencias generadas son similares a las analizadas de los sonidos de las llamas de arcilla. Ese uso comparativo y prueba de frecuencias es otro adicional, interesante e importante de los espectrogramas. Todas sus frecuencias son un poco más regulares y claras, por la morfología también regular y la superficie lisa interior del plástico. El segmento de la derecha del espectrograma muestra el efecto de reducir la boca sonora un poco con dos dedos colocados a los lados. Eso conduce a que se reduzca un poco la altura de las frecuencias (hasta 400 Hz) y la intensidad de las altas se baja la intensidad de las armónicas y el ruido superiores. La prueba también indica que

⁷ Se dice que [las llamas fueron domesticadas en las punas peruanas hace 6,000 años](#).

los ejecutores antiguos podían variar un poco las frecuencias generadas dentro de un rango deseado, si lo querían. Aun si los resonadores no se usaban como afinadores, sus modelos pueden utilizarse para caracterizar virtualmente o indirectamente y en forma aproximada a los resonadores puneños y de sus sonidos, así como probar o delimitar algunos de sus usos posibles, que no pudieron o pueden obtenerse directamente utilizando los antiguos.

Diapasón de *cuatecomatl*

Un diapasón experimental se hizo de un [cuatecomatl](#) mexicano (*Crescentia Alata Kunth*) de la dimensión requerida (centro, Fig. 5), para mostrar que es posible utilizar cascaras duras de frutas secas. Se cree que ese tipo de materiales naturales perforados pudieron usarse para crear los primeros resonadores globulares sencillos. También se utilizó un poco de cera alrededor de la boca sonora, para ajustar la F0 generada en un rango alrededor de 440 Hz.

Diapasón de *mate*

Otro diapasón similar se hizo de un recipiente argentino usado para tomar *mate* (derecha, Fig. 5). El material vegetal es una variedad de la [Lagenaria siceraria](#), que ha existido en muchas zonas. Este modelo muestra que aunque suene como un resonador globular, su función original no es necesariamente sonora.

Potencia acústica radiada.

El análisis acústico debería incluir estimaciones básicas de metrología, como la potencia acústica radiada de los resonadores de arcilla examinados, pero no se conoce, como la de muchos otros antiguos y de los musicales actuales. Tampoco puede medirse su potencia a distancia. Conocer las estimaciones de potencia los artefactos sonoros es importante, porque sirve para poder explorar y evaluar algo del contexto espacial de su posible uso antiguo y actual. Una alternativa, ya probada con anterioridad en otros casos, es utilizar modelos físicos para hacer varios experimentos a distancia o cuando los artefactos sonoros no son accesibles para su estudio directo. La potencia radiada máxima estimada del modelo experimental de la izquierda de la Fig. 5 no es alta, ya que es de 0.1 Watts⁸, cuando se toca individualmente. Lo interesante es que ese nivel de potencia puede compararse con la de otros resonadores antiguos

⁸ Las ecuaciones usadas están expresadas a la derecha del signo igual en formato de MS Excel: $I = + (10^{-12}) * 10^{(dB/10)}$ y $W = 4 * \pi * I$, donde: I es la intensidad radiada en Watts/m², dB es el nivel de presión sonora medida con el sonómetro colocado a 1 m y 0 grados, $\pi = 3.1415\dots$ y W es la potencia acústica radiada máxima en Watts. Las mediciones de presión sonora se han realizado en condiciones similares a otras anteriores, para que sus estimaciones pudieran compararse con las de otros resonadores, pues los sonómetros miden la presión de las vibraciones de las ondas sonoras que llega a su micrófono.

analizados previamente. Por ejemplo, su nivel es igual que el de la ilmenita sonora olmeca. Sin embargo, otras propiedades de sus sonidos no son comparables, porque las frecuencias de ambos no son iguales. El alcance en distancia de los sonidos de la ilmenita sonora puede ser diferente, porque genera algunas frecuencias en el rango de mayor sensibilidad auditiva de los humanos (1 kHz – 5 kHz). Sería necesario hacer experimentos con los camélidos andinos, porque no se han encontrado publicaciones de su percepción auditiva, pero no es sencillo, ya que sin un adiestramiento sonoro no puede detectarse bien si los escuchan a distancia. Cuando mucho pueden observarse movimientos de la cabeza y las orejas para orientarlos hacia la fuente sonora. Los que adiestran animales para que respondan a señales de sonidos particulares cuando los llaman o les dan órdenes asociadas, les dan premios por ello cuando responden. Normalmente los premios son de comida que les guste a los animales.

Alcance en distancia de los sonidos

También es posible estimar el posible alcance en distancia de los sonidos utilizando un modelo experimental, cuando no pueden usarse los resonadores originales. En una medición con equipo de topografía, que tiene un dispositivo de rayo láser para medir distancias con exactitud⁹, se encontró que los sonidos del modelo de diapasón de la izquierda de la Fig. 5 tienen un alcance audible humano en distancia, de 170.970 m, medido en una línea de vista en el campo del Instituto Politécnico Nacional (IPN) sin muchos ruidos ajenos. Los sonidos de modelos de algunos resonadores mexicanos efectivos pueden escucharse a mayores distancias, como los silbatos triples, ya que se escucharon hasta 450 m en el sitio de Teotihuacán¹⁰. Otros silbatos usados por cazadores, como el bucal de corcholata, puede escucharse en una línea de vista entre cerros o lomas a más de un km.

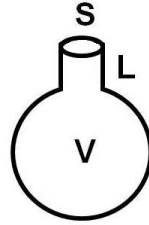
Modelo de Helmholtz

Como a distancia no pueden examinarse los resonadores antiguos, la única manera de analizar su funcionamiento y operación es con modelos matemáticos o experimentales. El comportamiento físico, en función a los principales parámetros sonoros de un resonador globular, fue publicado en una ecuación sencilla (1) que muestra las principales variables que afectan la frecuencia fundamental F_0 , por Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894):

⁹ “Estación total” Marca Leica. Modelo Viva-TS15, operados por Oziel Guzmán y estudiantes del IPN.

¹⁰ Desde la cima de la Pirámide de la Luna hasta el mural del jaguar del llamado Camino de los Muertos.

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL}} \quad (1)$$



Donde: f = Frecuencia F_0 , en ciclos/seg. S =Área de la sección de la boca sonora = πr^2 , en cm^2 , d = Diámetro promedio del hoyo sonoro, en cm , V = Volumen de la cavidad resonadora cm^3 , c = Velocidad del sonido en el aire ($340 \text{ m/s}=34,000 \text{ cm/s}$) y $L = L' + 0.7 \cdot d$ = Longitud de la pestaña corregida o grueso del silbato.

En mecánica ese modelo es de un resorte (V) en serie con una masa del aire del tubo de la pestaña (L y S). En electricidad, los mismos elementos son una resistencia en serie con un capacitor.

La ecuación (1) nos indica varias relaciones relevantes, como si se incrementa la V y/o la L o se disminuye la S . D, disminuye la F_0 y se aumenta, si sucede lo contrario. Ya se ha aplicado esa ecuación a los [resonadores Helmholtz de barro](#) y a muchos otros globulares mexicanos analizados. En el caso de las llamas de arcilla construidas manualmente deben tener variaciones en sus dimensiones sonoras que pueden impedir utilizar la ecuación (1) en forma exacta para todas.

Ya se mostró que utilizando un modelo diapasón experimental de la Fig. 5, es posible estimar algunas dimensiones sonoras probables, como el volumen del resonador, si se tiene su la F_0 de sus sonidos. Con las dimensiones del modelo diapasón experimental: $d=2 \text{ cm}$, $L= 2.3 \text{ cm}$ y $V= 128 \text{ cm}^3$ y usando la ecuación (1) resulta una F_0 de 440.7 Hz . También es posible probar la ecuación (1). Con la F_0 de 440 Hz y el resto de los datos del modelo, el volumen V es de 138 cm^3 , lo que indica que en este caso no se modelan igual. Con los modelos físicos, pueden hacerse experimentos de otros tipos, como de alcance en distancia y audibles con humanos y con llamas naturales. Lo más importante es que con modelos experimentales es posible analizar hipótesis constructivas, morfológicas y funcionales, que no pueden realizarse con los originales, cuando requieren modificarse físicamente o los pongan en riesgo. Los estudios de los artefactos antiguos deberían ser no destructivos y deben evitarse los que puedan dañarlos¹¹. El aprender a construir modelos de los resonadores antiguos, también es necesario para conocer y apreciar mejor la tecnología sonora antigua. Usualmente, los investigadores académicos dejan esa tarea a los artesanos, pero eso les impide conocer bien y comprobar sus hipótesis sobre los métodos constructivos y los trabajos con los materiales con realismo.

¹¹ Algunos han sido rotos o dañados por investigadores durante sus estudios directos de ellos.

USOS SONOROS GENERALES

No se sabe el uso exacto de las llamas de arcilla antiguas y no se han encontrado similares etnológicas actuales o recientes. Sin embargo, es posible proponer algunos usos generales posibles no necesariamente excluyentes, porque pudieron servir para varios propósitos generales:

Figurillas o silbatos llama.

Lo más obvio de su representación escultórica de llamas es que pueden ser “figurillas”, como se designan frecuentemente en la arqueología, en el primer nivel de identificación¹². En el nivel más alto de identificación usual serían “silbatos llama”. Como figurillas podían tener varios usos para los que las veneraban, apreciaban, convivían y las aprovechaban. El sencillo diseño de una llama echada facilita su modelado, ya que no es necesario incluir sus extremidades. El tener una base plana que le da estabilidad para su exhibición al colocarla sobre una superficie horizontal. El hueco interno y el orificio son necesarios para que al hornear cualquier figurilla o pieza no pequeña de arcilla permita la salida del vapor del aire calentado y no explote o se rompa. Lo más elaborado y débil de una figura con forma de llama, es la cabeza y el cuello, pero también son necesarios para representar bien a ese tipo de animal. Pudo usarse en rituales y fiestas, pero lo frágil de su cuello limita ese uso.

Recipiente o silbato vasija.

También podrían ser identificados como recipientes utilizados para contener líquidos como la leche de la llama natural. Sin embargo, no son muy efectivos como contenedores de líquido ya que no es una vasija común, como los diapasones de la Fig. 5 que tienen su abertura en la parte superior y su volumen es reducido como el estimado del modelo de plástico. Los pastores necesitaban algo para contenerla y poder beberla, medirla y venderla o intercambiarla. Tres de los resonadores antiguos tienen un volumen interno similar. Una ventaja de un contenedor de arcilla es que puede resistir bien líquidos calientes y aun el fuego para calentarlos. Si el investigador que los estudie detecta sus propiedades sonoras, podría usar varias designaciones similares para su identificación como silbato vasija y otros parecidos.

Instrumento Musical o aerófono

En el campo musical los investigadores que lo reconozcan podrían designarlo como aerófono o flauta globular sin hoyos de digitación y sin aeroducto y hasta

¹² Niveles, de acuerdo al conocimiento sonoro del investigador que las identifique: 1) figurilla; 2) instrumento musical; silbato; 3) silbato zoomorfo; 4) silbato llama.

asignarle una clave numérica¹³. En La música llamada “cultura” ni se incluirían, ya que solo pueden generar un sonido, porque no tiene obturadores tonales. Dirían que no están afinados y que con un sonido, nota musical o tónica no pueden generarse melodías o polifonía¹⁴. Muchos han dicho que son juguetes, anticuados, elementales o simples, pero no los han estudiado a fondo y desconocen todas sus propiedades sonoras y los efectos especiales que pueden generar. Sin embargo, hasta con un sonido repetido pueden producirse ritmos para varios propósitos como son las danzas antiguas, pero eso no es una aplicación usual de los aerófonos convencionales actuales. Esos ritmos pueden utilizarse en fiestas y danzas, pero los ritmos musicales se aplican principalmente a los bailes que vinieron del extranjero, aunque sirven para algunas danzas etnológicas. Un género musical actual muy conocido que incluye silbatos es el de la samba de Brasil, pero sus sonidos son más agudos.

Resonador globular en forma de llama.

Lo más probable es que puedan ser resonadores globulares que se excitan con una insuflación lateral dirigida a un bisel circular. En el estudio arqueológico, deberían incluirse los indicios contextuales, iconográficos y etnohistóricos de su uso sonoro. Es de los resonadores más sencillos y antiguos (aunque los puneños son del periodo incaico) y son abundantes, pero aun guardan secretos funcionales y de sus sonidos que pueden explorarse, ya que no se han estudiado con profundidad¹⁵. A continuación se comentan los principales temas que pueden caracterizarlos como resonadores de arcilla y que sirven para hacer propuestas hasta sobre el posible uso específico de sus sonidos, algunos relacionados con las llamas:

Características organológicas sonoras

Tipología

Como ya se comentó, algunos investigadores han identificado y clasificado ese tipo de resonadores con claves numéricas y los han designado de varias maneras (silbatos, vasijas silbato, vasos silbadores, vasijas silbadoras, flautas globulares, etc.), pero eso no es muy importante o útil, ya que no permite caracterizarlos, ni conocer todas sus propiedades o posibles usos. Pudieron hacerse en casi todos los materiales naturales que trabajaban los artesanos antiguos (semillas, cascara de frutos secos y duros, huesos, etc.), como los dos incluidos en

¹³ Como 421.13, de la clasificación de Erich M. Von Hornbostel y Curt Sachs.

¹⁴ El aerófono que puede generar una serie mayor de tónicas es el órgano, pero solo es un conjunto de silbatos tubulares. Lo mismo puede tocarse con resonadores globulares.

¹⁵ Porque muchos investigadores dicen que son juguetes, instrumentos rudimentarios o primitivos, pero no han dado muestras de saber estudiarlos a fondo.

la Fig. 5 y en varias formas (desde globulares, tubulares, semitubulares y muchas otras como los mixtos). Los [mecanismos sonoros antiguos y su posible origen y evolución](#) se muestran en un documento anterior con fotos. Una tipología de las más frecuentes son las que muestran una gran cantidad de representaciones zoomorfas, como las llamas y cientos de especies de la fauna antigua. Acústicamente, son de los resonadores globulares más sencillos.

Material

No se sabe la causa de haber seleccionado la arcilla para su construcción, si pudieron hacerse fácilmente con otros materiales abundantes como los vegetales de la Fig. 5. Es probable que haya sido utilizada la arcilla para poder construirla en forma de llama y en dimensiones aproximadas preestablecidas. El análisis arqueológico debería incluir el estudio de la arcilla utilizada y el fechamiento de su quemado. Para fines acústicos, es más determinante su morfología y dimensiones.

Morfología

Es un resonador sin aeroducto ni obturadores tonales con el cuerpo de una llama. Lo común es que los resonadores zoomorfos sin aeroducto muy antiguos tienen un resonador globular un poco alargado, la boca sonora casi circular, un bisel redondeado sin esquinas afiladas, aunque sus formas detalladas pueden tener variaciones. Algunos tienen su cavidad en forma de botellas. Todo eso es la causa de que los sonidos grabados son un poco aflautados, con algunas armónicas. Algunos resonadores globulares que no son alargados generan solo una F0 con su timbre un poco profundo. También pueden generar un poco de ruido si la distancia de la boca del operador al bisel no son reducidos, y el bisel no es afilado, ya que es redondeado y de pared gruesa. La morfología debe complementarse con la información y datos del análisis arqueológico.

Dimensiones

No se conocen los datos exactos de las dimensiones que afectan los sonidos de los resonadores originales, como los del volumen interno, boca sonora y el grueso de la pared o canal cercanos a la boca sonora. El volumen de un resonador puede estimarse fácilmente con agua, arena o semilla fina y una probeta graduada, en este caso de 250 cm³, ya que el modelo experimental es de 138 cm³. Se mostró que pudo estimarse con modelos matemáticos y con la F0 de los resonadores. Es probable que las dimensiones generales de los resonadores de hayan seleccionado

para poder construirlos y operarlos fácilmente y con comodidad manualmente, ergonómicamente, como sucede en la gran mayoría de los resonadores antiguos. Eso que parece muy obvio se comenta en un estudio sobre los [resonadores manuales](#), pero no se había publicado antes por otros autores. El grueso de las paredes puede deberse a una técnica constructiva rudimentaria o a que fueron hechas para un uso rudo. Las dimensiones exactas también deben determinarse en el análisis arqueológico de las piezas antiguas.

Construcción

No se sabe el procedimiento exacto usado por los puneños ni si han encontrado moldes de arcilla. El estudio arqueológico de las piezas puede dar indicios sobre su construcción, pero usualmente las huellas remanentes de los resonadores sencillos no se observan bien, porque ya terminadas se pierden los indicios de los primeros trabajos del moldeado o modelado, aunque el examen interno puede mostrar restos de las costuras al unir las dos piezas del cuerpo del resonador y lo que se agregó al pastillaje. Sin embargo, en su época ya se utilizaban moldes en otras culturas de los Andes y del México Antiguo (Posclásico hasta el llamado Contacto). El procedimiento más efectivo es utilizar un molde externo de dos partes para formar la cavidad interior del resonador.

Modelos con molde externo.

Un ejemplo de construcción con molde externo se muestra en el procedimiento de la [ocarina nuñe \(mixteca\)](#)¹⁶ (incluido en las fotos de las Figs. 13 a 22)¹⁷. Utilizando el mismo procedimiento, pudo moldearse el cuerpo de las llamas (Fig. 7), que se muestran aun húmedas sobre su molde de dos partes de yeso. La arcilla usada es muy fina, también de Oaxaca. Ese ejercicio prueba que las llamas sonoras pueden construirse en dimensiones reducidas y funcionan en forma similar, pero las frecuencias generadas son de mayor altura y su efecto audible es mayor que el de las originales. Después de secarse y hornearse la arcilla, se reduce su dimensión y las frecuencias se incrementan aún más. Su F0 es alrededor de 1.4 kHz. Con moldes de dos partes se ha formado el cuerpo de varias especies de animales, incluyendo el cuello y la cabeza, como el de una hermosa [paloma cantadora](#) .

¹⁶ La “ocarina” se adaptó a la música en Budrio Italia, de un diseño similar de resonadores globulares que existía en la época prehispánica en México y en otras zonas de América.

¹⁷ Fue encontrada entre las [Flautas mixtecas del Cerro de las Minas \(Yucuñudee\)](#) de la fase *nuñe* (400 a C.-250 d C.) en la Mixteca Baja del estado de Oaxaca, caso analizado por Gonzalo Sánchez

Modelo con molde interno

El cuerpo de un modelo similar a las llamas puneñas de arcilla también pudo formarse utilizando un molde globular parecido a su cavidad interna resonadora, hecho en base a un volumen aproximado estimado $V = 128 \text{ cm}^3$. El molde puede ser de varios materiales, como arcilla yeso, madera, plastilina, etc. y su dimensión debe ser un poco mayor que el volumen de la cavidad a moldear, en este caso cerca de 10 % mayor que su V , por la reducción de la arcilla al secarse y hornearse. Con tiras planas de una tortilla de arcilla se cubre el molde, luego se corta en dos partes para extraer el molde y finalmente se pegan las dos partes, para agregar el cuello modelado y la cola corta formada con un molde tubular. El modelo terminado y su molde interno se muestran en la Fig. 8. Su F_0 es de alrededor de 440 Hz, ajustada cortando un poco de la cola, ya que inicialmente era un poco más baja. También puede ajustarse modificando el diámetro de la boca sonora y de la sección S.

Funcionamiento

La dinámica del funcionamiento sonoro del sistema boca-boquilla circular ya ha sido muy estudiado por varios investigadores de su física o acústica, porque también se usa en otros aerófonos y resonadores. El más conocido en la música es el de la flauta trasversa o travesera. Se han estudiado en detalle hasta en estudios doctorales, principalmente sobre el [comportamiento del chorro de insuflación al dirigirse al bisel](#), pero no se han publicado los efectos sonoros de las variaciones de todas sus dimensiones reales e irregularidades de la morfología constructiva de los resonadores antiguos, como las de las llamas de arcilla. Eso puede examinarse con el modelo experimental. Por ejemplo, con los modelos se probó que el ruido se origina por la morfología redonda de la boca sonora y el tipo de soplado requerido, así como la distancia de la boca al bisel.

Operación

Se sabe que los resonadores pueden operarse como las quenás, pero no se conocen todas sus posibles formas de emitir sonidos y sus efectos, ya que pudieron hasta tocarse dos o más al mismo tiempo. Todo ello también puede explorarse con modelos físicos especiales, si no pueden realizarse con los originales. Hay que buscar huellas de uso.

USOS DE LOS SONIDOS

Es posible proponer que los resonadores de arcilla y sus sonidos pudieron tener varios usos sonoros particulares, no necesariamente excluyentes, ya que podían tener multifuncionalidad, de acuerdo a su caracterización y propiedades:

Llamadores o reclamos

Un uso obvio, por ser importante y fundamental para los pastores que cuidaban las llamas, es el de usar los artefactos sonoro como llamadores con objeto de atraerlas para darles de comer, resguardarlos etc., Eso aún se hace en algunas zonas rurales de México con el ganado, utilizando sonidos más potentes como los de trompetas de cuerno de toros. Muchos cazadores profesionales aun usan llamadores o reclamos para atraer a los animales y poder cazarlos de cerca. También se usan, para llamar y controlar perros a distancia. Para poder probar la efectividad de ese uso, lo mínimo a investigar experimentalmente es el alcance en distancia de los sonidos de acuerdo a las propiedades auditivas de las llamas, pero eso puede hacerse donde habitan¹⁸. Como es difícil realizar esas pruebas con los artefactos originales, para ello se requiere aprovechar modelos experimentales.

Comunicaciones y señales

Considerando el alcance en distancia estimado para los sonidos del modelo diapasón experimental, los resonadores puneños no son adecuados para propósitos de señales o comunicación entre humanos a largas distancias. Eso también indica que pueden no ser muy efectivos como llamadores de animales a grandes distancias, aunque las llamas son más sensibles a los sonidos.

Ceremoniales sin ruidos

Tampoco se conoce el alcance de los sonidos de los resonadores de arcilla en recintos ceremoniales sin ruidos ajenos, aunque también pudo estimarse con el modelo experimental. Sus sonidos pudieron escucharse bien en recintos grandes cerrados como los de auditorios y explanadas grandes, sin sonidos y ruidos ajenos. Eso indica que los puneños pudieron escuchar esos sonidos en cualquiera de sus recintos y plazas ceremoniales, pero sin fiestas o ceremonias con mucho ruido.

Ceremoniales de apareamiento

Otro uso probable puede estar relacionado con ceremonias de apareamiento o fertilidad, por la posición echada de las llamas de arcilla, que coincide con la

¹⁸ Las llamas del zoológico de Aragón, de la Ciudad de México no están a la vista del público y para analizar y grabar sus sonidos se requiere solicitar y obtener un permiso oficial. No pueden analizarse sus bramidos a distancia en campos abiertos.

posición de la hembra en el inicio de los apareamientos mostrados en un video y en una ceremonia etnológica. Ya se mostró que la F0 de tres resonadores más grandes se genera en la parte media del rango de las voces de llamas en actividad de apareamiento.

Se consideró interesante hacer un ejercicio breve de análisis ejemplificativo de voces de la llama (*Lama glama*), por ser uno de los animales más importantes para los pueblos antiguos de la zona Andina. Para poder comparar los sonidos de las llamas de arcilla con las voces de los animales representados, se hizo un estudio especial de los [sonidos de las llamas](#)¹⁹. Aquí se comenta lo más relevante analizado y encontrado.

Para hacer el primer ejercicio se seleccionó y extrajo la pista del audio de un video abierto que fue registrado sin ruidos o sonidos ajenos, relacionado con actividades de apareamiento de las llamas "[Llama mating](#)", ya que sus voces actuales son iguales a los del pasado. Los sonidos más fuertes ocurren al final, cuando el macho hace mayores esfuerzos físicos al operar parados. Se sabe que el apareamiento de las llamas puede durar hasta cerca de una hora. Para mostrar los componentes de frecuencia con detalle, se obtuvo un espectrograma hasta 6 kHz, de los últimos 14 segundos de un canal de la pista sonora. Se muestra que la F0 no es constante ([sonidos de las llamas](#), Fig. 5. p 5). En este caso, las frecuencias más intensas son las más oscuras. La F0 más baja de genera alrededor de 300 Hz, pero la más fuerte se produce hasta cerca de 550 Hz, con armónicos y ruido fuertes hasta un poco más de 5 kHz. Lo más importante encontrado sobre la F0 de tres llamas de arcilla (~ 440 Hz) se genera en el centro del rango de la F0 de las voces de una pareja de llamas que producen en su apareamiento, según el audio del video abierto ¿esa similitud es una casualidad? También se observó que la hembra puede procrear sentada²⁰ ¿es otra casualidad que coincida con las posición de las llamas de arcilla?

Fiestas con danzas

Considerando los sonidos que pueden producir los resonadores de arcilla, se cree que pudieron usarse en ceremonias o fiestas para producir ritmos sencillos constantes, si se tocaban varios al mismo tiempo y sin muchos ruidos ajenos. Ese tipo de resonadores que generan un sonido, no pueden producir melodías, pero pueden usarse para producir ritmos sencillos, pero importantes. Algunos resonadores sencillos aún se utilizan en danzas de ceremonias etnológicas como es el caso, también analizado a distancia, de la [Fiesta de los Chinos de](#)

¹⁹ Las voces de las llamas eran muy importantes para los pueblos cordilleranos andinos antiguos, ya que han dicho que con ellas ("y, iy o y-y-y") aprendieron a hablar y cantar en su lengua quechua. En el pdf abierto se incluyen los detalles del estudio, como la bibliografía consultada y los materiales usados.

²⁰ Existe una evidencia etnológica de ceremonias de apareamiento de llamas sentadas.

[Chile](#) que incluye los sonidos ruidosos de las “Flautas de Akoncawa” de tambores, de los danzantes y la gente que atiende la fiesta, como se muestra en los picos de frecuencias del espectrograma de la Fig 4 del estudio. Sin embargo, en este caso las F0 fuertes se generan en el rango de 1- 4 kHz, que es de mayor impacto audible para los humanos. Lo más interesante es que se observa espectralmente es el pico de sonidos y ruidos que se repite regularmente con un ritmo de frecuencia cercana al del corazón humano. Ese descubrimiento no había sido publicado por los investigadores, que desde el siglo pasado, han estudiado de cerca esa fiesta, posiblemente porque el análisis espectral no es muy usado por la mayoría de ellos y sus enfoques y referencias musicales occidentales o actuales no los aprovechan bien²¹, ni les ha interesado analizar los sonidos etnológicos de acuerdo a las características y propiedades naturales del ser humano²². Algo similar sucede con otras danzas etnológicas actuales como la llamada [Azteca-Chichimeca](#), que utiliza modelos de tambores antiguos como el *huehuetl*. Los modelos físicos también son excelentes para todo tipo de interpretaciones musicales o de danzas. Los resonadores antiguos no pueden ni deben utilizarse en ellos y, menos, fuera de sus lugares de resguardo.

Marchas y procesiones

Ritmos constantes similares se han usado en marchas militares y para estimular el fervor patriótico, de gremio, de lucha o guerra. También pudieron utilizarse en procesiones y dramas antiguos, aunque eso puede lograrse mejor con sonidos de mayor intensidad como tambores o trompetas.

Estimulación neuronal

Se cree que cualquier sonido agudo de un silbato o silbido humano pudo usarse efectivamente para estimulación prenatal, temprana de infantes y de adultos. La potencia acústica y la altura de los sonidos generados por los resonadores puneños y sus modelos no los hace muy efectivos para lograr un alto efecto sonoro, ya que se generan por debajo del rango de mayor sensibilidad auditiva de los seres humanos (1-5 kHz), aunque la presión sonora puede incrementarse si se disminuye la distancia entre un resonador y el que percibe o escucha sus sonidos. Esos efectos tampoco han sido bien reconocidos por los investigadores. A pesar de su importancia potencial para mejorar el desarrollo humano, tampoco se han encontrado interesados en investigarlos. Ya se ha mostrado en el estudio de la [cuna con silbato](#), que hasta los sonidos de modelos

²¹ Usualmente, los sonidos complejos de las fiestas etnológicas se describen musicalmente y sólo con palabras: http://comunidades.redclara.net/wiki/achalai/images/6/6b/POLIFONIA_96.pdf

²² Los que han practicado las danzas antiguas dicen que les genera un estado alterado especial, como si estuvieran drogados. La causa no ha sido estudiada, pero puede ser un efecto de la mayor presión y circulación de la sangre inducida en todo el cuerpo por el reforzamiento del ritmo del latido del corazón.

de silbatos sencillos o los silbidos y vocalizaciones maternas, se usaron etnológicamente, para la estimulación neuronal temprana de infantes, que tampoco habían detectado los investigadores que tienen educación musical. Actualmente, se venden sistemas y equipos patentados para la estimulación prenatal y existen centros para su utilización, pero no ha podido obtenerse información de su efectividad, cuando se usan sonidos.

Batimentos biaurales

Los resonadores sencillos pueden producir batimentos biaurales con efectos complejos especiales audibles o cerebrales, si se tocan dos o más al mismo tiempo y su F0 resultante se genera en los rangos sónicos (20 Hz – 20 kHz) e infrasónicos (0.1 Hz – 20 Hz). Con los resonadores del estudio puede producirse un batimento biaural audible si se tocan al mismo tiempo uno de los resonadores grandes y el pequeño porque la F0 resultante es cercana a 291 Hz (738 Hz – 447 Hz), diferencia que se muestra gráficamente en el espectrograma de la Fig. 4. Los batimentos infrasónicos podrían generarse si se tocan dos de los grandes al mismo tiempo en sus tres combinaciones, resultando una F0 aproximada a 7 Hz (465 Hz – 458 Hz), 11 Hz (458 Hz – 447 Hz) y 18 Hz (465 Hz – 447 Hz). Esas F0 se localizan dentro de los rangos o cerca de las frecuencias cerebrales infrasónicas Teta (4-8 Hz, sueños y relajación profunda o meditación), Alfa (8-12 Hz, estado de conciencia relajada) y Beta (13 Hz, actividad consciente), respectivamente. Su efecto real tendría que probarse con los resonadores antiguos, aunque eso no es sencillo porque los efectos neuronales pueden notarse hasta después de media hora de escuchar los infrasonidos. Eso puede probarse mejor utilizando un grupo de modelos experimentales construidos un poco diferentes en sus dimensiones y tocados por más de dos personas, para generar la frecuencia F0 del batimento deseado en forma continua.

Se han realizado algunos estudios y presentado [conferencias](#) sobre los [infrasonidos mexicanos](#) y las [aplicaciones](#) en [sonoterapias](#), pero por desgracia tampoco se han encontrado interesados en su estudio formal, ni siquiera en las instituciones relacionadas con la investigación cerebral. Los estudios de los efectos cerebrales originados por estímulos externos no pueden realizarse en forma personal, porque se encuentran entre los más avanzados de la ciencia y la tecnología actuales²³. Para ello, se requiere de equipos muy caros y especializados de imagenología médica neuronal, como los de resonancia magnética. Como es difícil que los resonadores antiguos puedan utilizarse

²³ Barack Obama anunció un [Plan To Explore The Brain Reserach](#) de 100 millones de dólares con la iniciativa [BRAIN](#).

directamente para experimentos científicos²⁴, los trabajos con sus modelos físicos también son posibles y necesarios.

El escrito muestra que es posible realizar estudios virtuales de resonadores a distancia, sin tener que viajar ni gastar mucho en ello, y algo de lo que puede obtenerse del análisis de sus sonidos y sus modelos experimentales.

COMENTARIOS RECIBIDOS

La liga al pdf del estudio se dio a conocer a la comunidad Achalai y se incluye en su página de [Difusión](#). José Pérez de Arce, del Museo Chileno de Arte Precolombino, Santiago, Chile, comentó:

Gracias Roberto Muy interesante el artículo y las conclusiones. Como siempre, entregas información valiosa a partir de un análisis de las propiedades sonoras del objeto, lo cual viene a complementar una mirada acerca del objeto que no siempre se toma en cuenta, como reiteras en tu trabajo. Sería interesante saber si realmente estos objetos fueron intencionalmente hechos para sacar sonido de ellos, y para eso no basta con los análisis que haces tú, habría que ver cómo es su morfología en relación a la ergonometría (como se relacionan con la postura, la mano, la boca), cuestión que en las flautas globulares andinas y mesoamericanas siempre está excelentemente resuelta. También habría que buscar huellas de uso. También relacionarlas con flautas globulares semejantes de la región para saber si forma parte de una tradición. También identificar la representación, saber con qué criterios se supone que se refiere a llamas (podrían ser guanacos, o vicuñas por ejemplo). Todo ello puede variar mucho el análisis que se haga del sonido. Por último, respecto al sonido, creo que es muy interesante hacer análisis de sonidos comparativos, pero también hay que tener cuidado con las fuentes. Hace algún tiempo me preguntaste por sonidos de llamas y te contesté diciendo que su sonido es muy poco relevante a nivel de intensidad (lo cual no significa que no lo sea culturalmente, existen descripciones de Guaman Poma que se refieren a ello) pero sí respecto a su ocasión, en que sin duda el apareo es una de las pocas ocasiones en que producen mucho sonido. Pero yo relativizaría un poco el valor del análisis del video, en el sentido de que es solo ese ejemplo el que estás analizando. Mencionas por ejemplo el video de los chinos diciendo que su pulso es cercano al del corazón, y que eso no había sido notado por anteriores investigaciones. Lo que ocurre en los chinos es que ese pulso está continuamente cambiando, lo que si está descrito en muchas investigaciones mías, pues forma el eje de la dinámica de las fiestas de chino: el pulso cercano al ritmo cardíaco es un punto dentro de un continuo de pulsos más rápidos y más lentos. Ese ejemplo es bueno para lo que comento, es bueno mantener la perspectiva respecto a lo estudiado, confiando en las fuentes pero circunscribiendo su uso a ellas solamente, así mantiene la prueba todo su valor, y no se vuelve contra sí misma, como con los chinos.

En fin, es bueno discutir estos temas para ir afinando la posibilidad de estudiar la música prehispánica desde distintos frentes. Gracias nuevamente, Roberto.

Los comentarios ya fueron enviados a Martina, para que los considere y vea si puede incluir o ha incluido algo de eso en el artículo conjunto definitivo. También creo que esos resonadores, como otros recuperados, deberían estudiarse desde muchos otros puntos de vista, como he recomendado en la tesis virtual. He sugerido la conveniencia de discutir una metodología formal propia para su estudio²⁵. A pesar de la sencillez morfológica de esos resonadores globulares, podrían ser sujetos hasta de una tesis

²⁴ No se conoce ni un sólo caso de los cientos de miles de resonador antiguo registrados de museos o ceramotecas que se haya analizado en laboratorios científicos, ni siquiera para su caracterización con equipos de metrología formal.

²⁵ Generalmente, se prefiere utilizar enfoques incompletos de autores hasta de otros continentes.

doctoral. Ya se comentó que en este caso se me proporcionaron los sonidos grabados y se solicitó mi ayuda para analizarlos y ver qué podía obtenerse de ello. No tengo acceso a los resonadores puneños antiguos ni a los camélidos andinos y la información adicional que utilicé es la poca que encontré adecuada al caso y que puede incluirse en un escrito breve. Tengo más información de otros modelos, experimentos y sonidos, pero ni siquiera toda la proporcionada en este pdf breve va a poder incluirse en el artículo conjunto, por la necesidad de mostrar la información arqueológica y del análisis de los objetos (fotos, radiografías, tablas, etc.). Sin embargo, no he encontrado análisis formales de los sonidos de los camélidos andinos. Aunque fueron y son importantes, ya que aparecen hasta en la bandera de Bolivia, no han sido de interés para los investigadores, que se interesan más en los sonidos de instrumentos musicales. Espero que estos estudios ayuden a que surja interés para que se estudien con formalidad y profundidad en el futuro. Ese faltante no es exclusivo de los Andes. Tampoco se han analizado los sonidos de la fauna del resto del continente que era muy venerada en las culturas de la antigüedad, pero ya está desapareciendo. Lo mismo sucede con las danzas, ya que tampoco he encontrado análisis acústicos de sus sonidos²⁶, aunque en las fonotecas existen cientos de miles de grabaciones de fiestas etnológicas. Los sonidos de las pistas de audio de los videos abiertos usados no son exhaustivos, son sólo ejemplos iniciales de análisis de ellos a distancia, aunque sus grabaciones ni siquiera sean de buena calidad²⁷. Tampoco he encontrado estudios formales abiertos de resonadores andinos similares con los elementos analizados.

Claudio Mercado, también miembro chileno de la comunidad Achalai comentó:

Amigos, no estoy de acuerdo en que el sonido de las llamas, como dice José, sea “poco relevante en intensidad”. Aparte del apareamiento, cuando se producen los floreos, que son los rituales de agradecimiento a los animales, el sonido de las llamas juntas en el corral es muy intenso, y por supuesto lleno de significado.

²⁶ Los pocos autores que han comentado los sonidos de las llamas en ceremonias, como Guaman Poma y Henry Stobart, los describen sólo con palabras o fonemas compuestos con letras del alfabeto, como las voces de copulación de las llamas (“aarrrr arrr eee”). Ya se ha demostrado en diversos estudios que es mejor describir los sonidos complejos, como los de los animales, con espectrogramas y metrología acústica que están disponibles en la actualidad.

²⁷ En el estudio de [Sonidos de una Fiesta de los Chinos de Chile](#) se comentó: “Seguramente, en las fonotecas de Chile y otros países de los Andes que tienen o tenían fiestas etnológicas semejantes, disponen de grabaciones que incluyan sonidos de artefactos sonoros similares, que podrían ser analizadas espectralmente, para conocer y comparar sus características sonoras en el espacio de las frecuencias.” Sería interesante conocer las variaciones cuantificadas de los ritmos producidos por los sonidos en las fiestas de los Chinos de Chile de otras grabaciones disponibles no recientes y de buena calidad. Algunos analizados de videos abiertos generan ritmos constantes, como un registro sonoro de Claudio Mercado: <http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=HteDsEpzYIc>
La mayoría son recientes, de baja calidad o tienen mucho ruido del ambiente, para que se noten bien las frecuencias de los picos en sus espectrogramas: <http://www.youtube.com/watch?v=oOa-Z8wa1Ao>.

FIGURAS

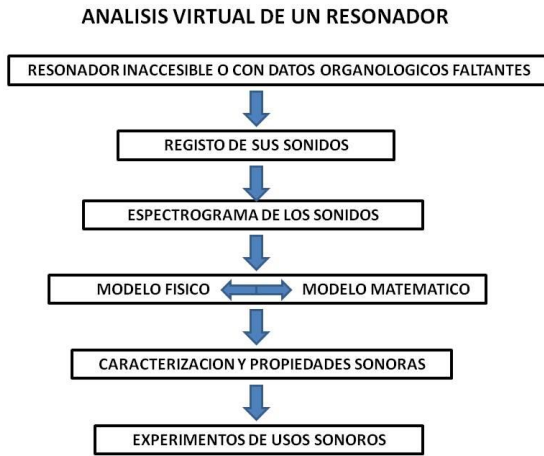


Fig. 1. Diagrama del análisis virtual de un resonador.

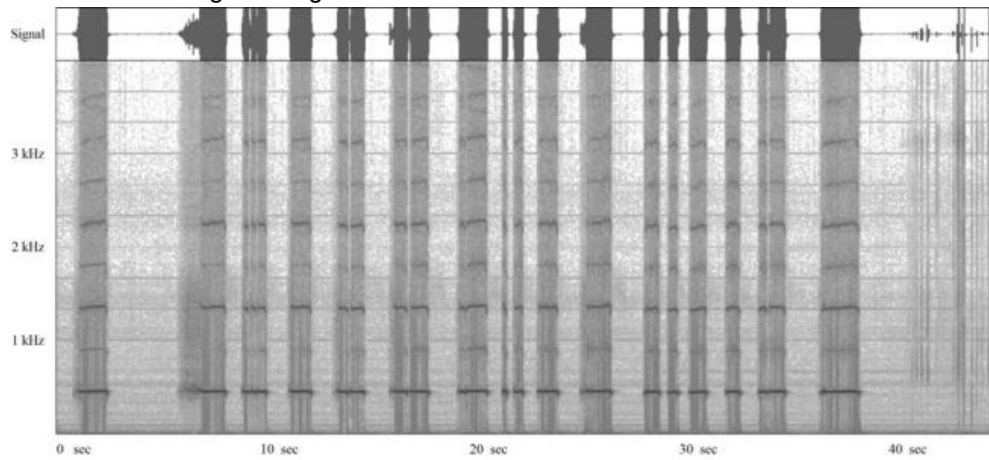


Fig. 2. Espectrograma de los sonidos cortados con ruido de la llama 1442

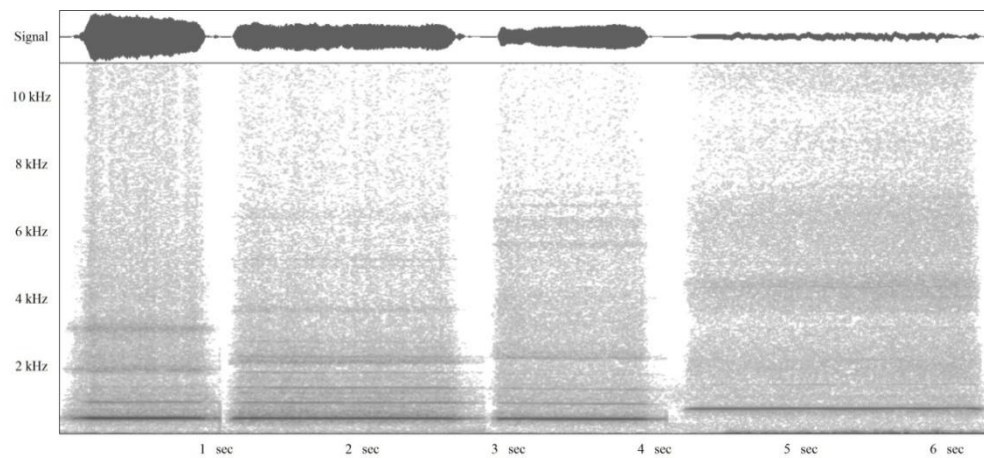


Fig. 3. Espectrograma de sonidos de las llamas de arcilla 1445, 1441, 1442 y 1440.

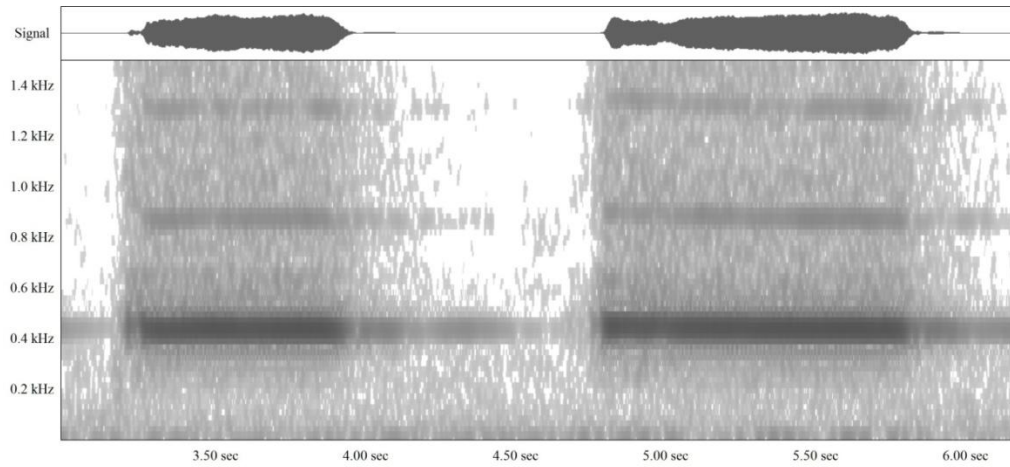


Fig. 4. Espectrograma de frecuencias bajas de sonidos de la llama 1442 con $F_0 \sim 440$ Hz.



Fig. 5. Modelos de diapasóns de plástico, *Cuatecomatl* y *mate* con $F_0 \sim 440$ Hz

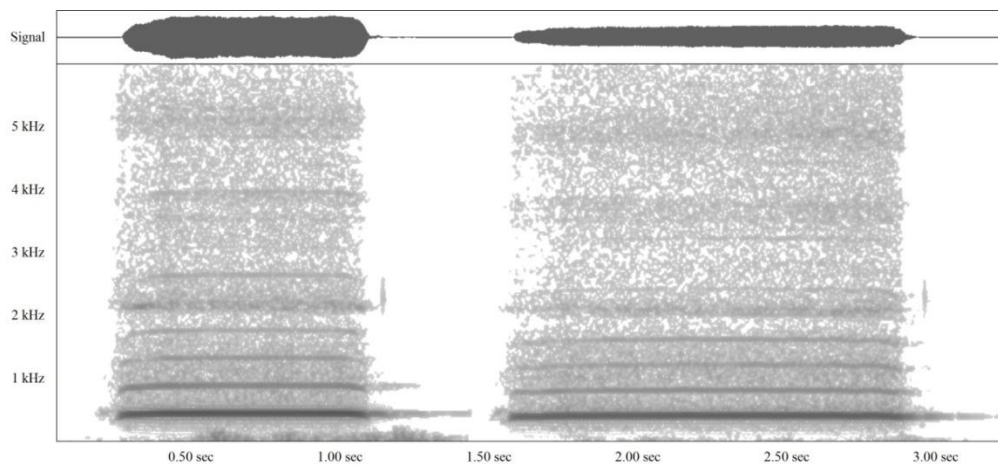


Fig. 6. Espectrograma de dos sonidos cortos del diapasón.



Fig. 7. Llamitas húmedas sobre el molde exterior de yeso de su resonador.



Fig. 8. Modelo de llama y el molde interior de su resonador.