

## EL SONAGRAMA: UNA REPRESENTACIÓN PRÁCTICA DE LOS SONIDOS THE SONAGRAM: A PRACTICAL REPRESENTATION OF SOUNDS

ARNAUD GÉRARD A.<sup>†</sup>  
SoundLab/Carrera de Física  
Universidad Autónoma Tomás Frías

### RESUMEN

El sonograma<sup>1</sup> (*sonogram*) también llamado sonograma (*sonogram*) y espectrograma (*spectrogram*) es un diagrama de frecuencia en función del tiempo, en el que el grosor del punto o de la línea indica cualitativamente el nivel sonoro. Es decir, se trata de una gráfica bidimensional en la que se puede observar las tres variables del sonido (frecuencia, tiempo, nivel sonoro). Esta gráfica fue inicialmente inventada para efectuar el análisis del habla pero ahora es una herramienta extremadamente útil e indispensable para analizar sonidos de toda clase, ya que da una representación completa y fácilmente interpretable de los fenómenos sonoros.

*Descriptores:* mediciones acústicas — instrumentos acústicos

Código(s) PACS: 43.58.z, 07.64.z

### ABSTRACT

The sonagram (also referred to as a sonogram and a spectrogram) is a diagram of frequency as a function of time, where the thickness of a point or a line indicates qualitatively the level of the sound. This is, we can observe in this two-dimensional diagram the three sound variables (frequency, time and sound level). This diagram was originally designed for analyzing speech; today this diagram is extremely useful for studying a broad range of sounds because it gives a complete and easy to interpret representation of sound phenomena.

*Subject headings:* acoustical measurements — acoustic instruments

### 1. INTRODUCCIÓN

Los sonidos son ondas muy complicadas por tener muchos componentes de diferente índole (armónicos, parciales y ruidos) que evolucionan muy rápidamente en el tiempo por lo que su análisis y estudio resulta bastante moroso. Asimismo se puede advertir de manera bastante generalizada que el manejo de los análisis acústicos a través de sus diferentes herramientas no siempre es el más adecuado, situación que perjudica una precisa interpretación del fenómeno y de esta manera justifica la presentación de este artículo.

### 2. ESTRUCTURA FÍSICA DE LOS MENSAJES SONOROS (Leipp 1984)

Este título fue prestado del libro *Acoustique et Musique* de Émile Leipp (Leipp 1984), un extraordinario libro de acústica musical escrito para músicos y artesanos cuyo autor era músico y físico, direc-

tor de investigación en el CNRS (Centro Nacional de Investigación Científica de Francia), encargado de curso del Conservatorio Nacional Superior de Música de París y fundador y director del Laboratorio de Acústica Musical de PersonNameProductIDla Universidadla Universidad de Jussieu – Paris VI. De la misma manera la totalidad del presente trabajo fue inspirado por esta misma obra.

#### 2.1. Representación física del sonido: objeto sonoro (3D)

Generalmente, en acústica se trabaja con tres variables:

- El tiempo ( $t$ )
- La frecuencia ( $\nu$ )
- La intensidad ( $I$ ) o en nivel sonoro ( $N.S. = 10 \log I / I_0$ )

Esto sugiere una representación gráfica tridimensional en la que un sonido aparece como una superficie tridimensional llamada “objeto sonoro” (véase figura 1).

De la figura 1 se advierte que este tipo de gráfica no es muy cómoda de interpretar, ya que se presentan superficies 3D bastante complicadas. Este diagrama 3D representa el sonido de un ayarachi (flauta de Pan) prehispánico de piedra (Gérard 2004)

<sup>†</sup>Con la gentil colaboración de Sarah Cepeda H. y Yolanda Cruz P.

<sup>1</sup>Del francés “*sonogramme*”; su denominación original es con la letra “a” siempre (sona). Creemos que su sinónimo “sonograma”, con “o”, en español da lugar a confusión ya que pareciese que fuese el diagrama presentado por el “sonómetro” que es un medidor de “nivel sonoro” (plano dinámico) mientras que el nombre de “espectrograma” se confunde con el “espectro” que es la gráfica del nivel como función de la frecuencia.

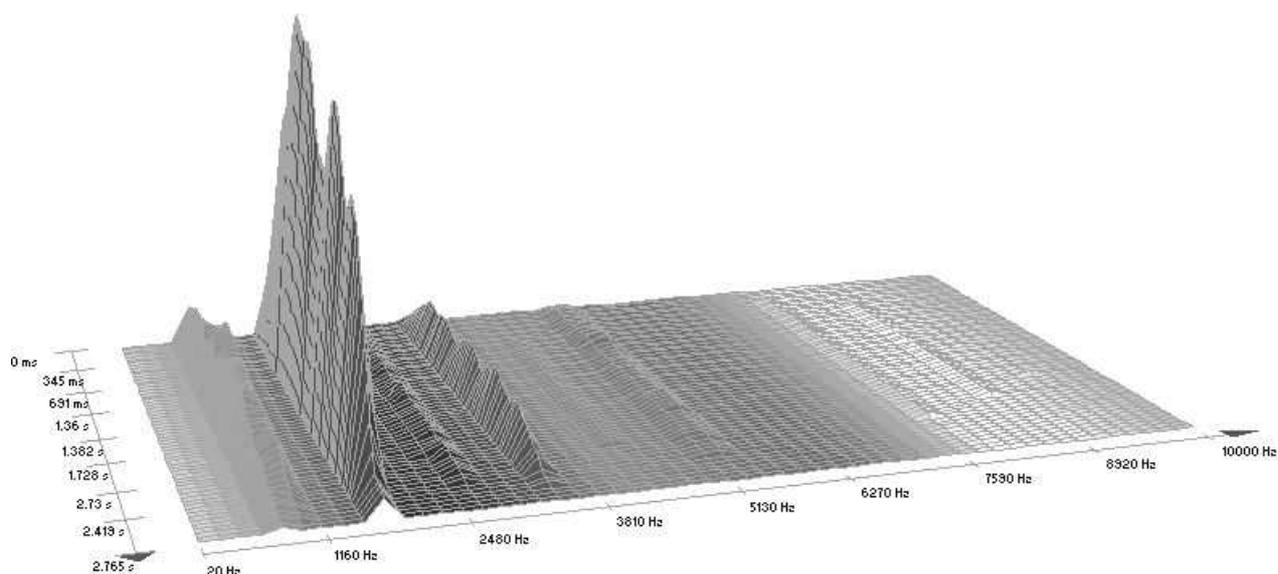


FIG. 1.— Objeto sonoro, grafica 3D (nivel sonoro, frecuencia, tiempo) de un sonido del ayarachi yura prehispánico con multifonía tipo redoble; se trata del mismo sonido analizado en el sonograma de la figura 17.

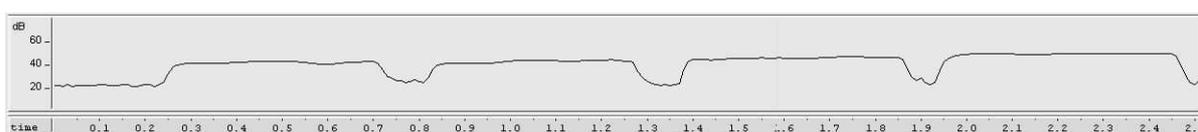


FIG. 2.— Plano dinámico (nivel función del tiempo) de las 4 notas do, re, mi, fa realizadas con flauta dulce.

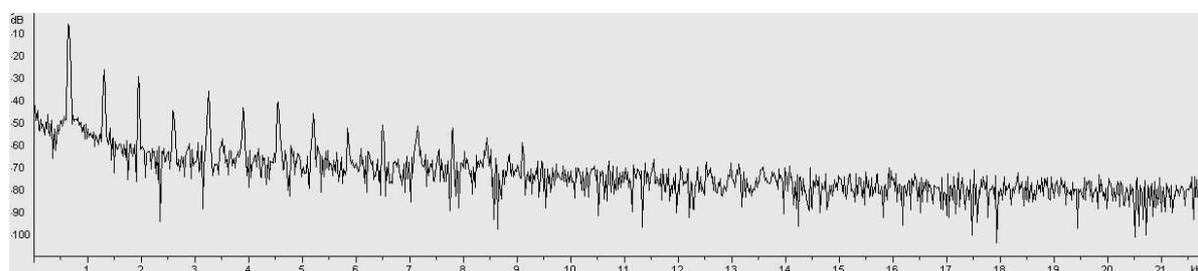


FIG. 3.— Plano espectral de la nota mi realizada con flauta dulce.



FIG. 4.— Plano melódico (frecuencia  $f_1$  función del tiempo) de las 4 notas do, re, mi, fa realizadas con flauta dulce.

cuyos tubos son complejos (de Arce 1993) parecido a las actuales pifilcas chilenas estudiadas por José Pérez de Arce (Pérez 1998). Este sonido presenta un sonido especial, se trata de una multifonía con redoble (Castellengo 1982; Gérard 1997) el mismo que se analiza en la figura 16. ¡Sin embargo este fenómeno no es discernible en el presente diagrama!

Así que la interpretación del objeto sonoro 3D no es fácil, por tanto se acostumbra separar el espacio 3D en tres planos distintos:

- Plano dinámico (nivel sonoro función del

tiempo)

- Plano espectral (espectro: nivel sonoro función de la frecuencia))
- Plano melódico (frecuencia función del tiempo)

Para lo cual presentamos unos ejemplos en las figuras 2, 3 y 4.

También se usa sistemáticamente la representación  $I(t)$ , amplitud (o intensidad) función del tiempo. Si se toma una escala temporal del mismo orden que el periodo de onda ( $10^1 ms$  por ejemplo),

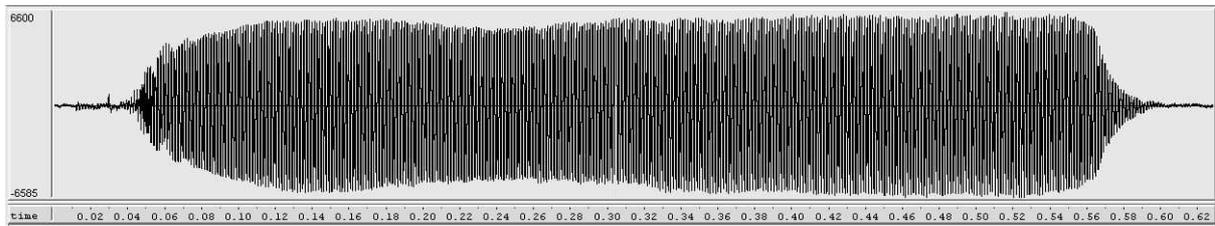


FIG. 5.— Forma de la onda (onda comprimida).

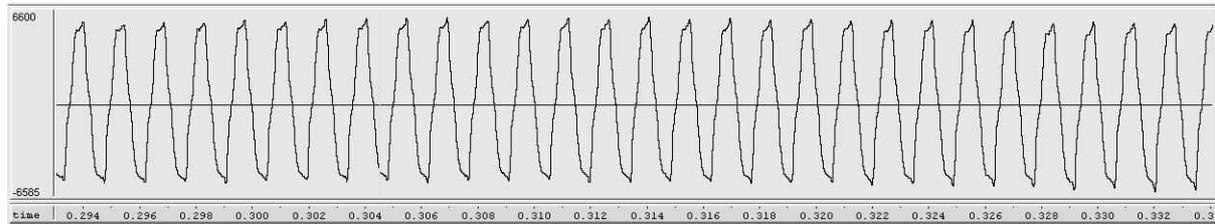


FIG. 6.— Oscilograma.

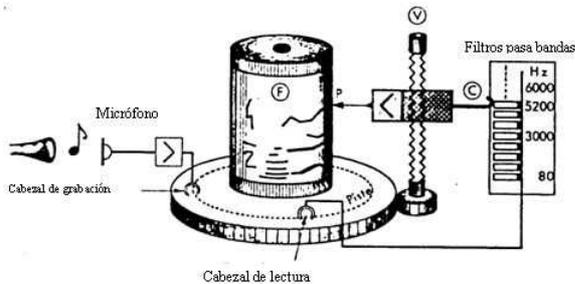


FIG. 7.— Principio de funcionamiento del sonógrafo: el aparato proporciona una verdadera “fotografía” de los sonidos, permitiendo describirlos con todas sus particularidades. Una secuencia sonora real es primeramente grabada sobre un disco magnético; luego una punta traza la imagen por exploración sucesiva desde los graves hacia los agudos. El sonógrafo es el aparato elegido por el especialista en acústica deseoso de realizar una relación entre documentos objetivos y percepción (Leipp 1984).



FIG. 8.— Computador con el *hard* y *software* de análisis de sonido que incluye el análisis sonográfico (Acústica StudioLab – Potosí).

se llama oscilograma (figura 6) en el que se observa la función onda sobre unos tantos periodos. En contraparte, si en esta misma representación se selecciona una escala de tiempo del orden  $10^1$  segundos, entonces lo que aparece es la totalidad de la onda de manera comprimida (figura 5), gráfica que se denomina “forma de la onda” (*waveform*).

No obstante, muchos fenómenos quedan casi invisibles en los diagramas anteriormente presentados.

### 3. EL SONÓGRAFO

Es posible superar todas estas dificultades mediante una representación gráfica llamada sonograma. El aparato que la produce se llama sonógrafo.

Para entender precisamente esta representación gráfica es necesario comprender el funcionamiento del primer sonógrafo histórico. Para tal efecto se traduce<sup>1</sup> a Leipp: “El sonógrafo es la versión comercial de un aparato inventado ya hace más de 30 años<sup>2</sup>

para estudiar los problemas del habla y que fue perfeccionado desde entonces. **Es algo así como una cámara para filmar sonidos**<sup>3</sup>. A continuación se detalla su funcionamiento (ver fig. 7)” (Leipp 1984).

Para explicar su funcionamiento, nuevamente se cita<sup>4</sup> a Leipp: “Se coloca papel especial para chispa alrededor del cilindro metálico (papel recubierto de una capa que transforma la hoja de papel en una resistencia eléctrica). Cuando se provoca una chispa eléctrica entre la punta p y el cilindro, cruza el papel cuya superficie es quemada y se obtiene un punto negro. Las series de puntos contiguos forman líneas” /.../ Un trozo musical o sonidos son grabados magnéticamente en el platillo-disco que gira; también gira el cilindro y mientras gira un tornillo sin fin (V) arrastra una punta de abajo hacia arriba la misma que se apoya en el papel del cilindro. El soporte de la punta arrastra simultáneamente un contacto C. Este pasa delante de una serie de filtros dis-

<sup>1</sup> Traducción de Arnaud Gérard.

<sup>2</sup> La primera edición del libro [1] fue publicada en 1971 por lo que debe datar de los años 1940

<sup>3</sup> El resaltado es mío.

<sup>4</sup> La parte que no está entre comillas no es una traducción textual, sino una interpretación

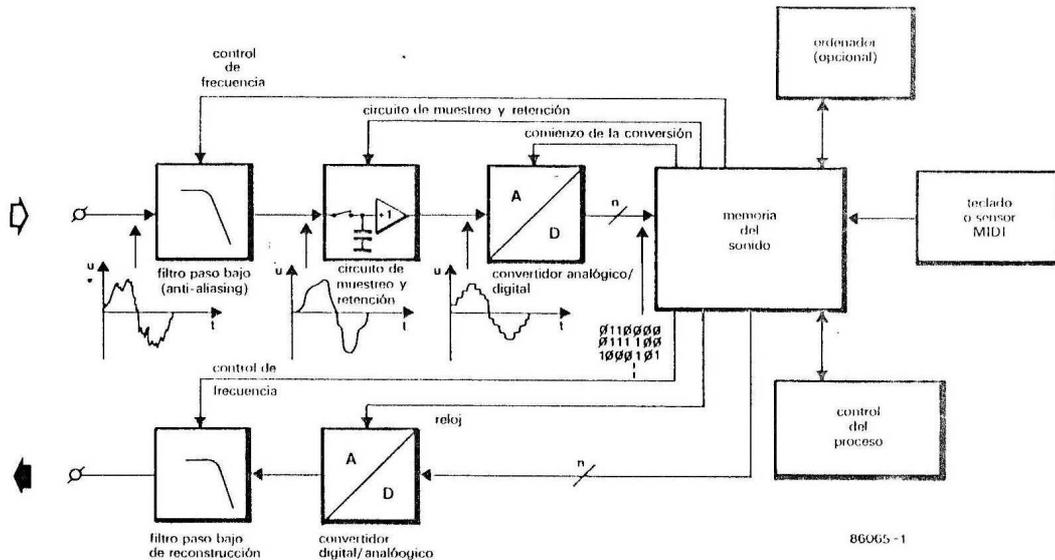


FIG. 9.— Diagrama de bloques típico de un circuito muestreador de sonido (Anónimo 1987).

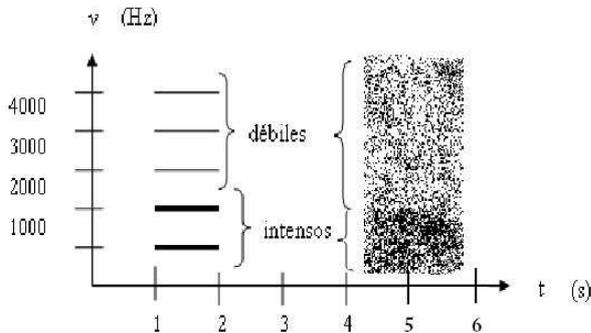


FIG. 10.— Sonagramas (frecuencia vs. tiempo): donde el grosor del punto o la línea es función del nivel (amplitud, intensidad); entre 1 y 2s se muestra un sonido de serie armónica; entre 4 y 6s un ruido rosa.

puestos de abajo hacia arriba, con un intervalo de 45 Hz [los graves abajo y los agudos arriba]. Estos filtros están alimentados por corrientes moduladas desde el cabezal de lectura que lee la secuencia. Llegando al filtro “x” Hz, el cabezal de lectura se encuentra en un punto de la pista magnética donde la señal contiene entre otras la frecuencia “x” Hz. Por tanto el filtro deja pasar esta frecuencia que convenientemente amplificadas producirá una chispa en P que quema el papel del cilindro y los puntos sucesivos forman figuras (Leipp 1984).

Actualmente el sonógrafo es simplemente un computador adecuadamente equipado con los *hard* y *software* de análisis de sonido (tarjeta de sonido profesional, micrófono, monitores o parlantes, programas de análisis, etc.).

A continuación se muestra la foto (fig. 8) de un sonógrafo moderno y su diagrama de bloques:

4. SONAGRAMA: DEFINICIÓN

El sonograma es un diagrama “frecuencia función del tiempo” que realiza la descomposición armónica (análisis de Fourier) de cada sonido. En el eje vertical se tiene los componentes en frecuencia, en el eje

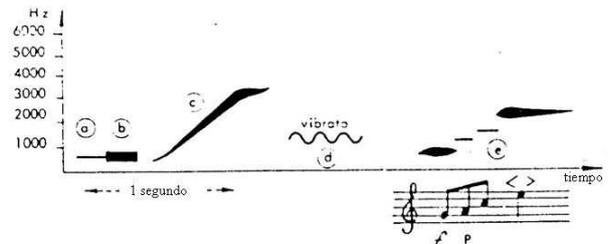


FIG. 11.— Tipología sonográfica simplificada. Se reconoce fácilmente un sonido simple, débil o fuerte, ascendente o ululado<sup>a</sup>. El sonograma realiza una verdadera partición de las notas musicales, en la que todo se mide con magnitudes físicas, con una precisión comparable a la del oído (Leipp 1984).

<sup>a</sup>Semejante al grito de una ave de rapaña.

horizontal se tiene el tiempo en segundos o milisegundos y el grosor del punto o la línea indica cualitativamente la intensidad o el nivel (véase figura 10). En su versión moderna, el sonograma se grafica a partir de un análisis FFT (Fast Fourier Transform: transformada de Fourier rápida).

5. LECTURA E INTERPRETACIÓN DE LOS SONAGRAMAS

Es muy importante entrenarse en la interpretación de los sonagramas (lo que no es muy complicado). Como dice Leipp, el sonograma es algo así como la filmación de un sonido pero debemos entender la película. Este autor escribe: Esta gráfica es un documento en el que es posible “medir con precisión la frecuencia y la duración de cada nota, así como su evolución dinámica” (Leipp 1984). Para tal efecto continuamos con el libro de Leipp (Leipp 1984) reproduciendo unos sonagramas esquematizados de una serie de sonidos reales típicos, empezando con sonidos simples (véase figuras 11, 12 y 13).

5.1. Leyenda de la figura 11

- a) Silbido débil a 500 Hz de duración 1/4 de segundo.

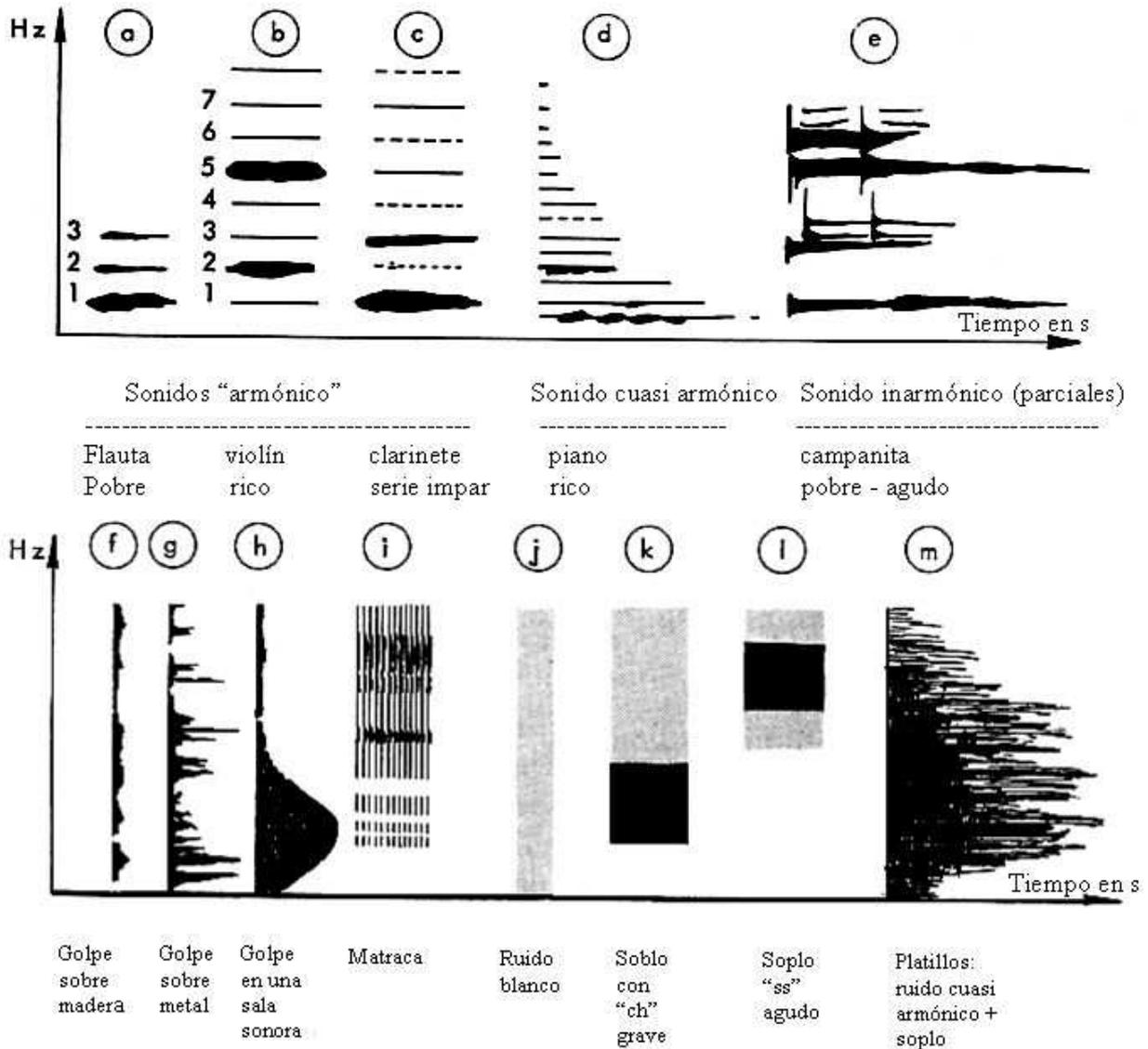


FIG. 12.— Sonogramas esquematizados de sonidos reales típicos. En este documento y con entrenamiento se reconoce inmediatamente los distintos tipos de sonidos: la imagen visual corresponde muy bien a la imagen acústica percibida (traducido del francés de la bibliografía (Leipp 1984)).

b) El mismo silbido pero más intenso.

c) Silbido ascendente *crescendo* empieza a 500 Hz y termina a más de 3000 Hz. La intensidad crece y vuelve a decrecer.

d) Nota con *vibrato* entre 1000 y 1500 Hz.

e) Pequeña melodía silbada:

- Primera nota fuerte.
- Segunda y tercera nota *piano* (débil).
- Última nota con fuelle dinámico.

Observación: ¡Todos son sonidos sinusoidales (con un solo componente), es decir *tonos puros*!

Luego se muestran sonidos complejos (siempre esquematizados).

### 5.2. Leyenda de la figura 12

- a) Sonido pobre en armónicos, con fundamental muy intensa (tipo flauta travesera).
- b) Sonido de serie armónica integral completa (tipo violín). Se lee que el armónico 2 es más intenso que la fundamental y que el armónico 5 es predominante (este sonido suena a la tercera).
- c) Sonido armónico de serie impar (tipo clarinete y zampoña).
- d) Un sonido con líneas espectrales casi armónicas (cuasi periódico), tipo piano. Se observa batimientos (pulsaciones) sobre la fundamental, el cuarto parcial, etc. Este batimiento traduce la "vida" del sonido y es debido a ligeras desafinaciones entre las cuerdas de una misma tecla.

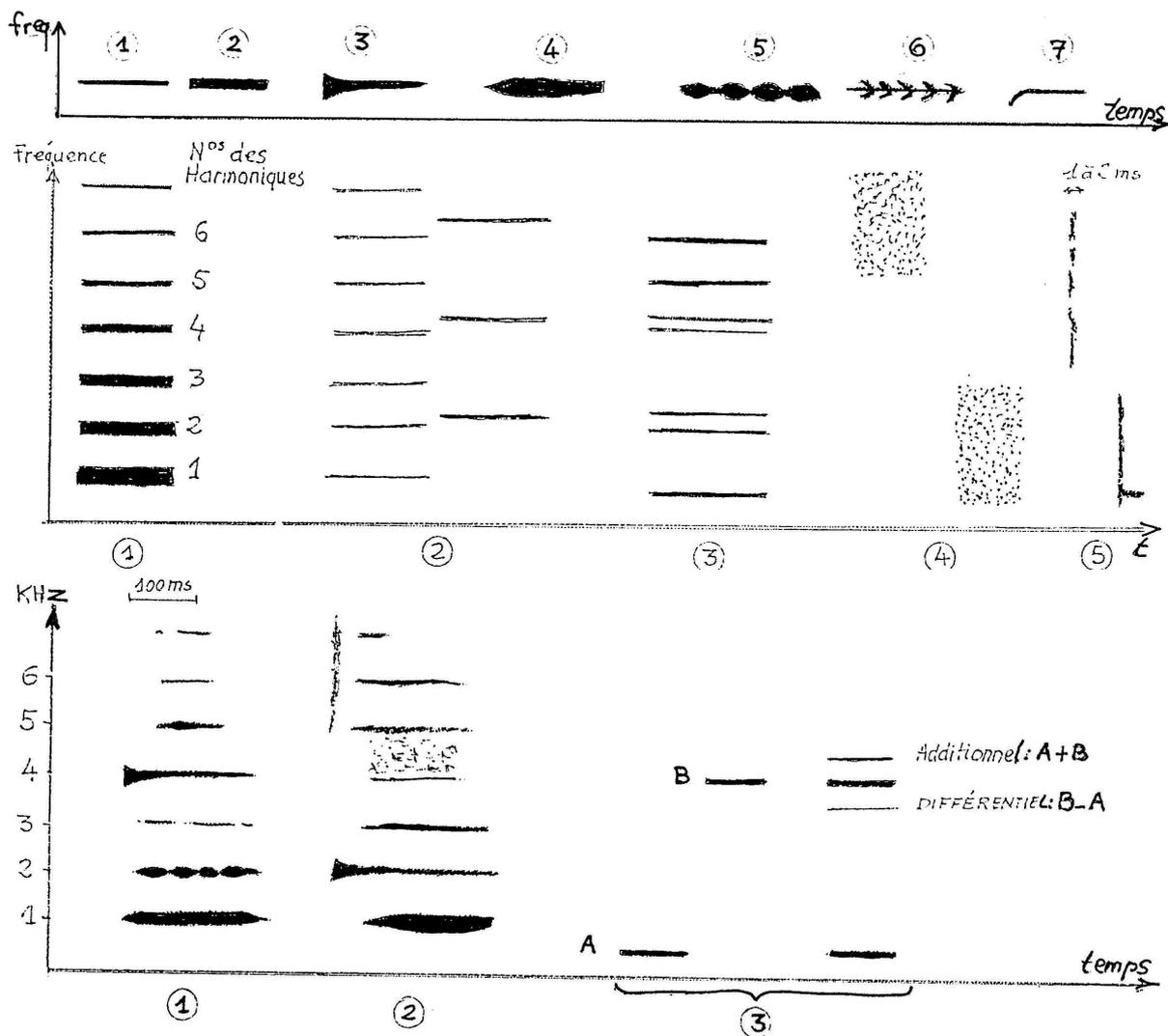


FIG. 13.— (a) Frecuencia – tiempo: 1.- Sonido de frecuencia e intensidad fija. 2.- Sonido de misma frecuencia, más intenso. 3.- Sonido cuya intensidad se establece casi instantáneamente, luego decrece (ataque brutal). 4.- Sonido cuya intensidad se establece muy gradualmente (ataque progresivo). 5.- Sonido afectado por batimientos (variaciones periódicas de intensidad). 6.- Sonido inestable (chirriado). 7.- Variación de la frecuencia en el ataque: *glissando* ascendente (Castellengo 1969). (b) Sonido armónico teórico. La intensidad decrece con el rango del armónico. La altura percibida corresponde a la frecuencia de la fundamental. 2.- Parcial 1 de un tubo (fundamental) acompañado de sus armónicos, luego salto al régimen 2. Este tiene una frecuencia mayor que el parcial 2 del régimen 1. El intervalo entre los dos parciales es mayor que el intervalo de octava. 3.- Sonido inarmónico (o sonido de parciales). No se detecta una equidistancia entre los componentes. La altura percibida es compleja y depende de un gran número de factores. 4.- Ruido de soplo primeramente agudo y luego grave. 5.- Choques, percusiones, aguda y luego grave (Castellengo 1969). (c) Sonido real, evolutivo. La fundamental es más intensa. El armónico 2 está afectado por batimiento y arranca con ligero atraso. El armónico 3 es muy débil. El armónico 4 aparece conjuntamente a la fundamental, su intensidad, primeramente muy grande, luego disminuye. Los armónicos 5, 6, 7 tienen un gran atraso en el ataque. 2.- Sonido que octava en el ataque (armónico 2). Se advierten también ruidos en el establecimiento del sonido, entre 5000 y 7000 Hz y un ruido de escurrimiento entre 4000 y 5000 Hz. 3.- Sean un sonido A de 500 Hz y un sonido B de 4000 Hz. Cuando se emiten las dos frecuencias simultáneamente se producen sonidos de combinación que son principalmente: el sonido adicional (frecuencia A + frecuencia B) y el sonido diferencial (frecuencia B - frecuencia A) (Castellengo 1969).

e) Un sonido agudo de campanita, con líneas espectrales muy dispares (parciales), disonante, inarmónico.

Hay que notar los componentes no arrancan al mismo tiempo y son inestables en el tiempo debido al rebote del badajo sobre las paredes de la campana.

#### Ruidos:

f) Golpe seco sobre madera, contiene todas las fre-

cuencias (línea vertical) pero dura muy poco tiempo.

g) Golpe sobre metal, igual que el anterior pero tiene arrastre de algunos parciales (líneas horizontales).

h) Golpe seco en una sala sonora, tiene arrastre en forma de “banda” de frecuencias en la parte grave (resonancia de la sala).

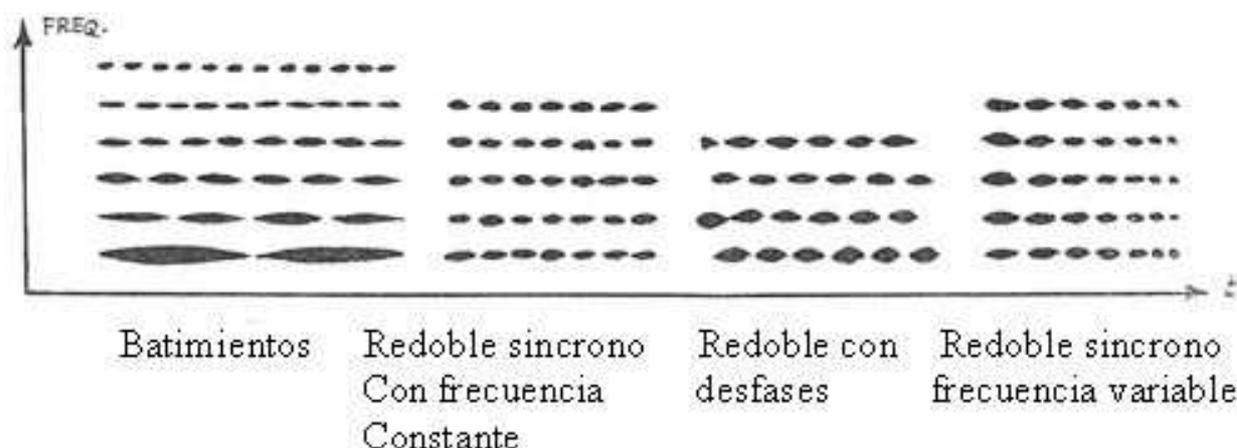


FIG. 14.— Sonogramas de sonidos musicales de serie armónica que presentan diferentes tipos de multifonías (extraídos de (Castellengo 1982)).

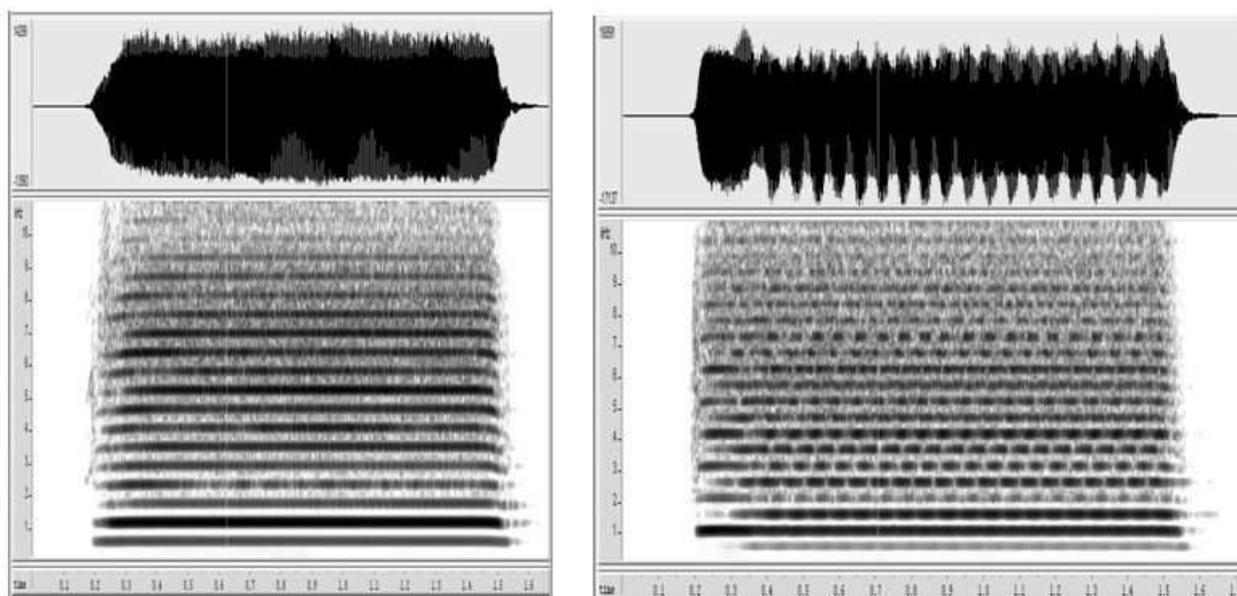


FIG. 15.— Izquierda: sonograma de la digitación 6 de la tarka, sonido sin tara (*q'iwa*); derecha: sonograma de la digitación 5, con tara (Gérard 2009).

- i) Serie de microgolpes sucesivos “tipo matraca”.
- j) Ruido blanco.
- k) Una “banda” ancha de ruido, con graves, representa un ruido de soplo.
- l) Banda de ruido colorado en los agudos tipo “ss”.
- m) Golpe de platillos que muestra numerosas líneas parciales que se mezclan con el ruido del “soplo”.

Luego en el trabajo de Michèle Castellengo: *Paramètres Sensibles d'un Tuyau d'Orgue à Embouchure de Flûte* (Castellengo 1969) se encuentra una muestra más extensa de sonogramas de diferentes sonidos<sup>5</sup>:

Incluso los sonogramas permiten ver fenómenos especiales como los que señala Castellengo (véase

figura 14) en su artículo sobre las multifonías en instrumentos musicales (Castellengo 1982).

En tal caso los efectos llamados batimiento y redoble se definen de la siguiente manera:

- **Batimiento:** Dos fuentes independientes con frecuencias próximas producen un batimiento que se percibe como la variación periódica de la intensidad del sonido resultante. En este caso la frecuencia de pulsación es proporcional al número del armónico (Castellengo 1982).
- **Redoble:** Un sonido es periódicamente interrumpido, ya sea mecánicamente (bolita, inestabilidad del régimen) ya sea electrónicamente (modulación de la amplitud). La rapidez del redoble es la misma para todos los componentes (Castellengo 1982).

<sup>5</sup> Todas las traducciones son de Arnaud Gérard.

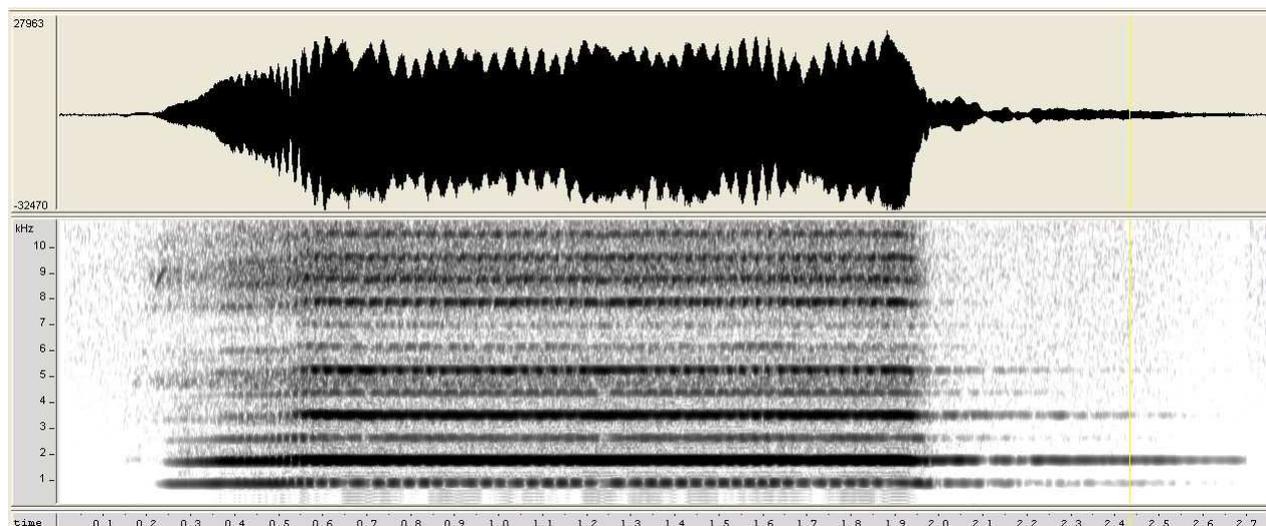


FIG. 16.— Forma de onda (arriba) y sonograma de 0 a 10 KHz (abajo) de un ayarachi prehispánico de piedra de la cultura Yura (flauta de Pan) que muestra también el fenómeno de redoble (Gérard 2004).



FIG. 17.— Arriba el sonograma de banda delgada; al medio: sonograma de banda ancha; abajo: forma de la onda.

A continuación se muestra algunos ejemplos que corresponden a estudios realizados en el seno del laboratorio de acústica SoundLab de la Carrera de Física de la Universidad Autónoma Tomás Frías de Potosí.

#### 6.1. Caso de las tarkas / anatas

Desde hace varios años el laboratorio de acústica (SoundLab/UATF) está ejecutando una serie de estudios sobre la acústica de la *tarka* o *anata*, flauta de pico con perforaciones laterales, de madera, que se ejecuta en el altiplano boliviano y cuyos resultados fueron ya publicados en anteriores trabajos (Gérard 1997, 2007; Sakuma 2007; Gérard 2009).

Este caso resaltaba el contraste entre dos sonidos,

uno normal (serie armónica) estable y el otro con un marcado redoble con desfases (Gérard 2009) (véase figura 15 a y b).

#### 6.2. Caso del ayarachi Yura

Hace algunos años el autor Gérard (2004) efectuó el estudio acústico de un ayarachi lítico (flauta de Pan) y prehispánico (probablemente de la cultura Yura, 1000-1200 d.C.) con un tubo complejo (se presenta una discontinuidad en la sección transversal) muy parecido a la pifilca estudiada por Pérez de Arce (Pérez 1998).

#### 6.3. Sonido de un triángulo (golpe sobre metal)

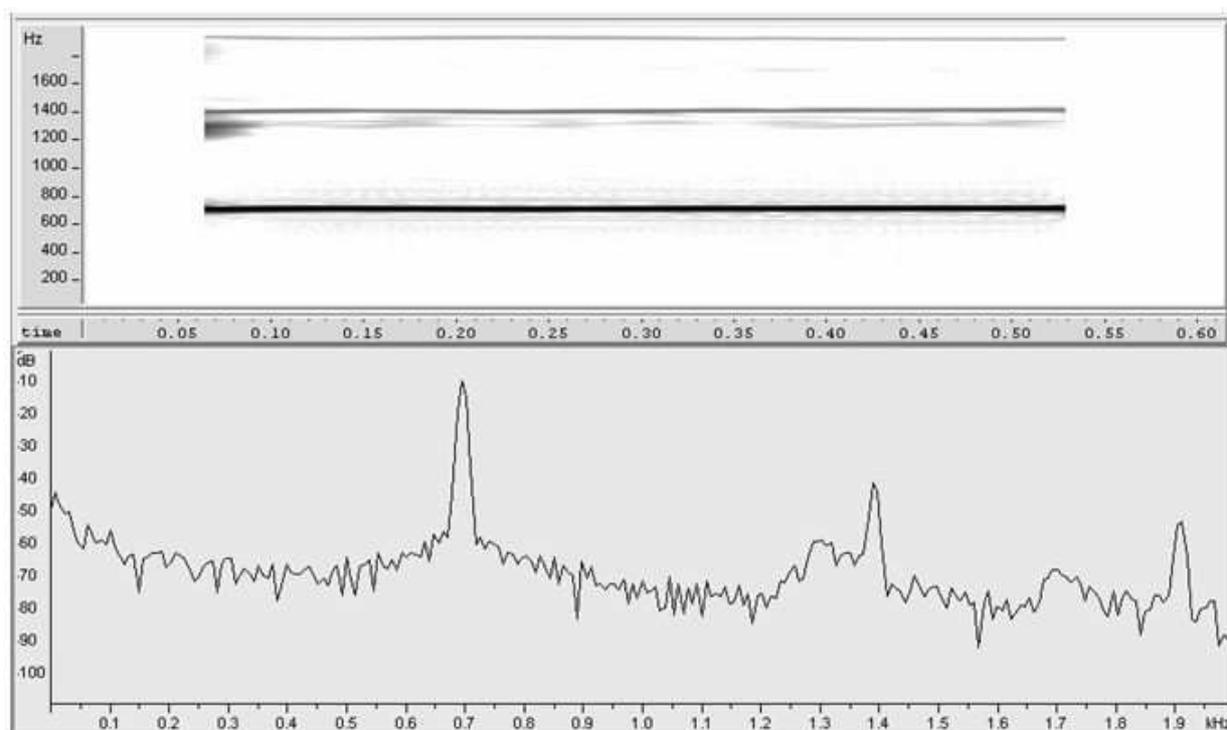


FIG. 18.— Acá el análisis va sólo hasta 2 KHz; sólo pueden observarse los 3 primeros armónicos que no dan ninguna idea sobre el comportamiento global del sonido, ¡se pierde la mayoría de la información!

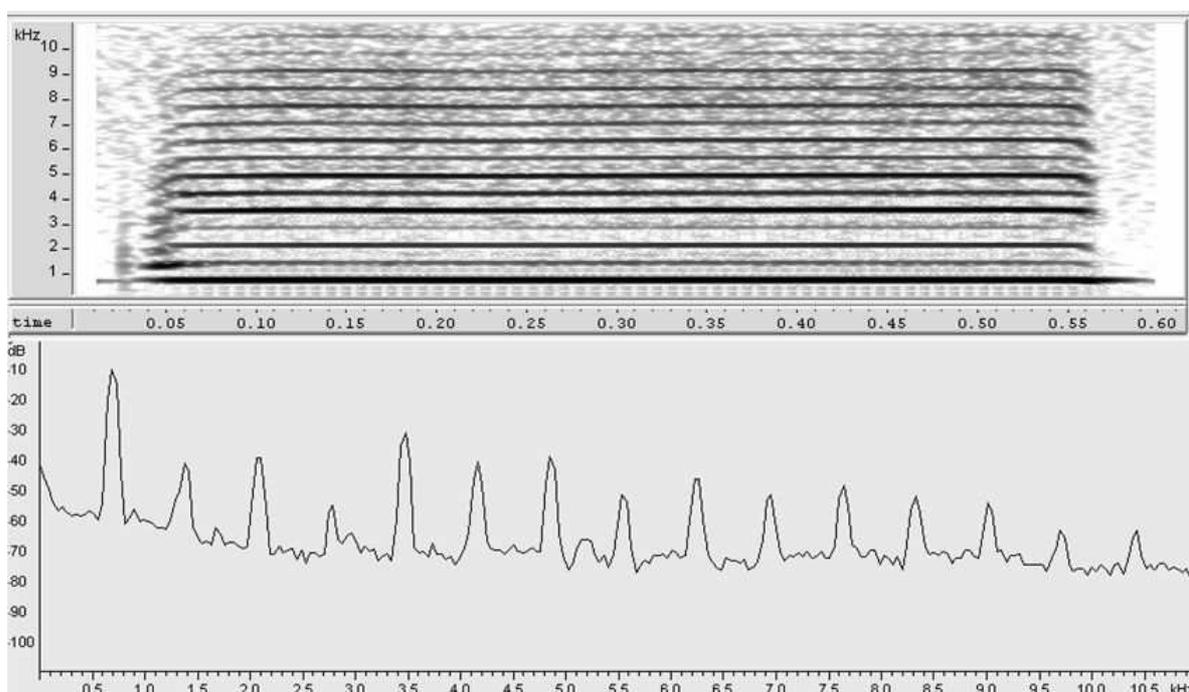


FIG. 19.— Esta calibración es mucho mejor que la anterior; va de 0 a 10 KHz; es interesante ver esta parte de la onda ya que pueden apreciarse los detalles de la parte más audible de la onda.

Acá se trata de un golpe sobre metal (línea vertical) seguido por algunas vibraciones del metal (serie de parciales no armónicos).

#### 7. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

Lo que también llama la atención en muchos trabajos de acústica musical es un manejo a veces inadecuado de los diagramas incluyendo el sonograma. Pues para poder observar los diferentes fenómenos acústicos es menester realizar las calibraciones y configuraciones (*setting*) y presentaciones apropiadas.

Una de las principales consideraciones es la configuración de las escalas (en todas las gráficas) tanto del eje horizontal como del eje vertical. Muchas veces los autores eligen escalas con rangos muy cortos dando lugar a que sólo se analiza una parte muy reducida del sonido, a veces tan pequeña que el análisis considerado ya no muestra casi nada.

A modo de ejemplo se muestra el sonograma (arriba) y el espectro medio correspondiente (abajo) de la nota mi tocada con flauta dulce (la misma que analizamos en las figuras 2, 3, 4, 5 y 6) para 3 configuraciones diferentes (figuras 18, 19 y 20).

La primera configuración es eligiendo un rango de frecuencias de 0 a 2 KHz (figura 18). En tal caso solo pueden apreciarse los 3 primeros armónicos de la onda y se pierde todo el resto de la información. En realidad la onda tiene de 19 a 20 armónicos audibles que en esta primera gráfica no son visibles. Muy eventualmente podría usarse esta configuración si es que uno quisiera observar algún detalle muy fino de esta parte de la onda.

El segundo análisis es de 0 a 10 KHz (figura 19). Este análisis es mucho más conveniente ya que puede observarse toda la parte más perceptible de la onda, pero tampoco es completo, no pueden visualizarse la totalidad de los armónicos. En el sonograma de la figura 19 el transitorio de ataque puede observarse claramente (hasta 0,05 s), se advierte la acomodación del sonido de boca sobre el campo acústico del tubo.

Finalmente, se presenta un análisis de 0 a 20 KHz (figura 20), es decir un rango que abarca la totalidad de la parte audible<sup>6</sup> de la onda. Esta presentación sólo es posible utilizando un micrófono de medición que tenga este rango de frecuencias (si el micrófono va de 60 Hz a 16 KHz, esto no será posible). Su defecto es que si el sonido es grave los armónicos salen muy apretados y pueden perderse también algunos detalles.

##### 7.1. Resolución de los sonogramas

En el análisis FFT existe diferentes resoluciones. Los programas de análisis ofrecen generalmente una amplia gama de estas. Pero los estándares son los que se llaman banda ancha (*wideband*) y banda delgada o estrecha (*narrowband*). Pues el problema es

<sup>6</sup> Teóricamente se admite que el ser humano en promedio puede escuchar en un rango de frecuencias que va de 20 Hz a 20 KHz (cuando es joven y sin patología del oído).

que cuando se busca precisión en las frecuencias (banda delgada) se pierde precisión en los niveles sonoros e inversamente, al mejorar el análisis de los niveles se pierde la precisión en frecuencia. En el manual del programa SoundScope para Macintosh (Coughlan & Weinreb 1992) se lee: "La única diferencia entre la banda ancha FFT y la banda delgada FFT es el filtro aplicado por defecto y el número de puntos FFT. El filtro por defecto de la banda ancha es de 184 Hz (5 ms) mientras que el filtro por defecto para la banda delgada es de 59 Hz (25 ms)". Un filtro ancho es menos preciso en frecuencia y por tanto no muestra todos los detalles de su variación, solo resalta las tendencias generales, pero sí muestra las variaciones del nivel<sup>7</sup> (amplitud) mientras que el filtro delgado muestra mejor el detalle del comportamiento de las frecuencias (su agudez) pero se pierden los detalles de variación del nivel.

Por otro lado existe una relación entre el número de puntos FFT y el ancho de filtro elegido, pues a menor ancho del filtro se requerirá un mayor número de puntos e inversamente. A un valor del ancho del filtro le corresponde un límite inferior en el número posible de puntos FFT. Por lo general en los programas de análisis, cuando se selecciona un cierto número de puntos FFT, automáticamente le coloca el filtro o inversamente, pero es posible cambiar esto dentro de lo permitido.

Los anchos de filtro estándares son: 45, 59, 150, 184, 300, 450, 600 Hz y los números de puntos FFT son: 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192 y 16384.

Ejemplo con sonogramas (figuras 21 a y b):

En seguida se muestra otro ejemplo con los espectros medios (figuras 22 a y b).

De tal manera que si uno desea obtener una información completa, para cada análisis debe realizar uno con banda ancha y otro con banda delgada, cada uno aporta un tipo de precisión y ambos son complementarios.

##### 7.2. Escalas logarítmicas

Varios programas de análisis (principalmente los de ingeniería de sonido) usan escalas logarítmicas para el eje de las frecuencias (por ejemplo: 1, 10, 100, 1000, 10000 Hz, etc.). Del punto de vista estadístico puede ser interesante pero para el análisis frecuencial no permite observar si la serie es armónica ( $\Delta$  de frecuencias iguales) o si es una serie de parciales ( $\Delta$  desiguales). Así que tanto en los espectros (abscisa) y en los sonogramas (ordenada) se recomienda usar escalas lineales (ej.: 0, 1, 2, 3, 4 KHz, etc.).

##### 7.3. Presentación del sonograma

Al modo de ver del autor, las presentaciones de sonogramas a color o "en negativo" (fondo negro, puntos y rayas claras), a primera vista se ven atractivas

<sup>7</sup> Por ejemplo las fluctuaciones de intensidad (y nivel) en los fenómenos de batimiento, pulsación y redoble no son perceptibles en los sonogramas de banda delgada, sólo se hacen visibles con banda ancha!

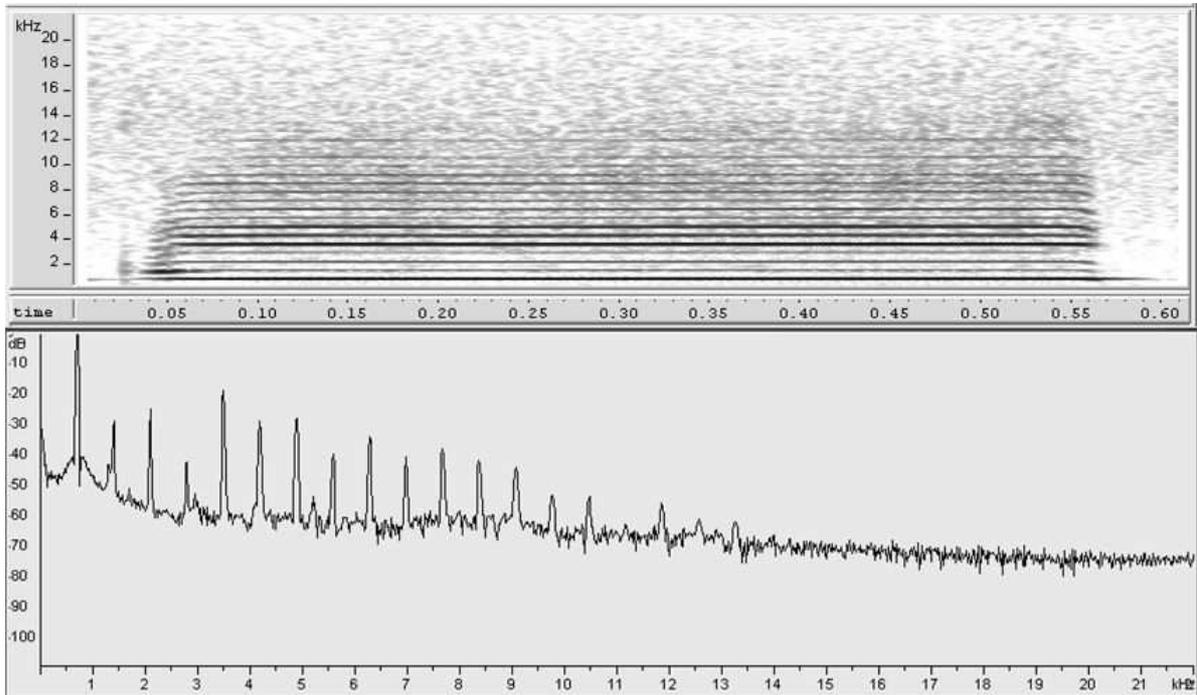


FIG. 20.— Este análisis muestra toda la parte audible de este sonido (0 a 20 KHz); sólo es posible si es que se ha medido con un micrófono de medición de buena calidad; tal vez su defecto es que los armónicos o parciales se ven muy apretados en el sonograma y de repente puede escaparse algún detalle.

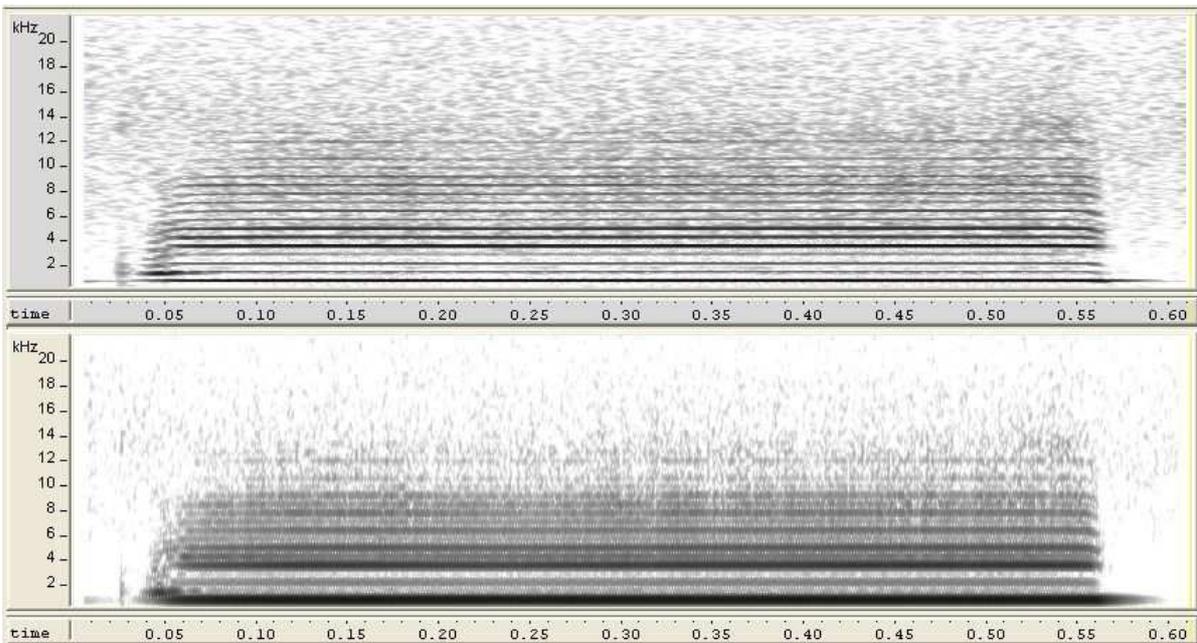


FIG. 21.— Arriba sonograma de banda delgada (512 puntos FFT), con claridad pueden observarse las líneas de los componentes armónicos; abajo sonograma de banda ancha (128 puntos FFT), ya no pueden distinguirse bien las líneas espectrales pero se nota claramente donde el nivel sonoro es mayor (líneas y zonas más oscuras).

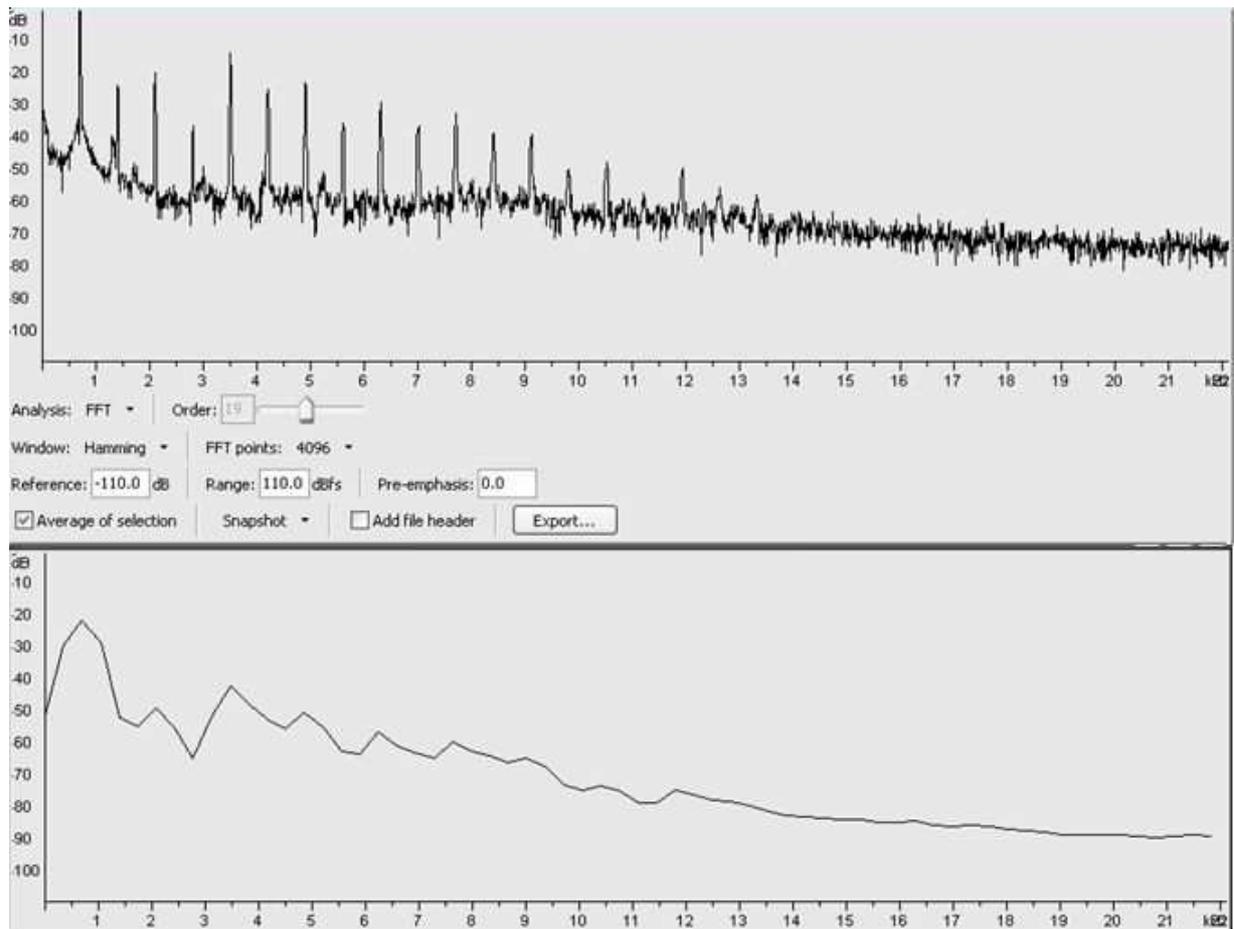


FIG. 22.— Arriba espectro de banda delgada (4096 puntos FFT), con claridad pueden observarse las líneas de los picos armónicos; abajo espectro de banda ancha (128 puntos FFT), ya no pueden distinguirse bien las líneas espectrales pero se nota mejor la repartición del nivel sonoro (picos más altos).

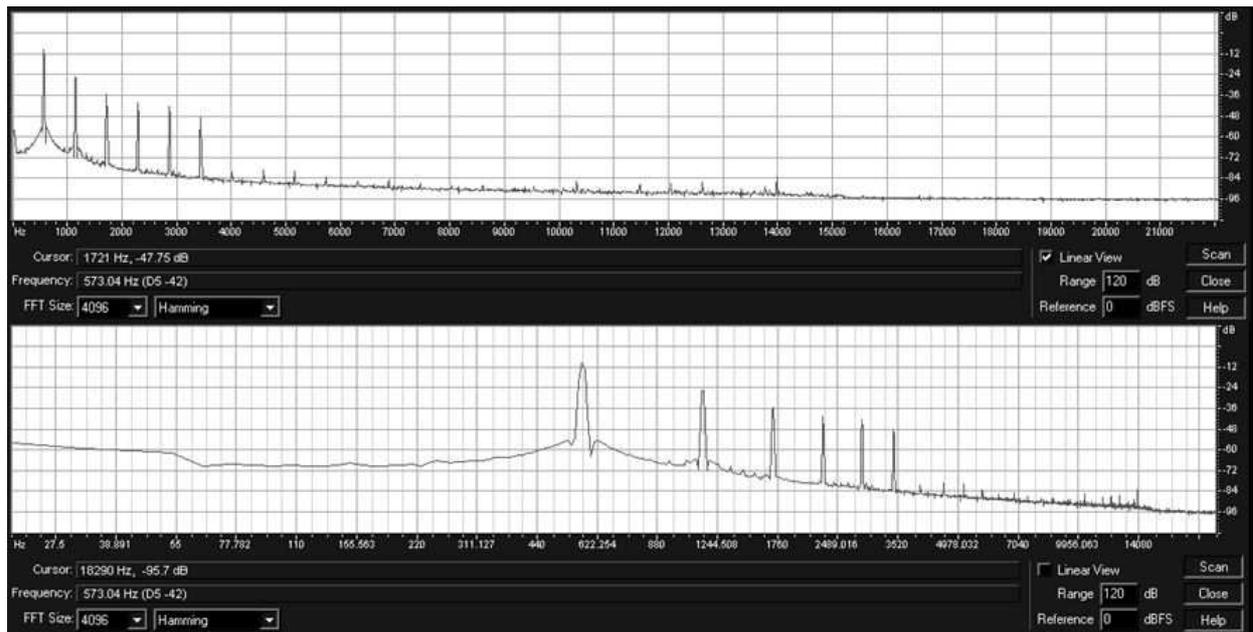


FIG. 23.— Arriba: espectro con escala lineal de una nota de flauta dulce, se observa claramente una serie armónica; abajo: espectro con escala logarítmica del mismo sonido, no puede verse si la serie es de armónicos o no (programa Cool Edit 2000).

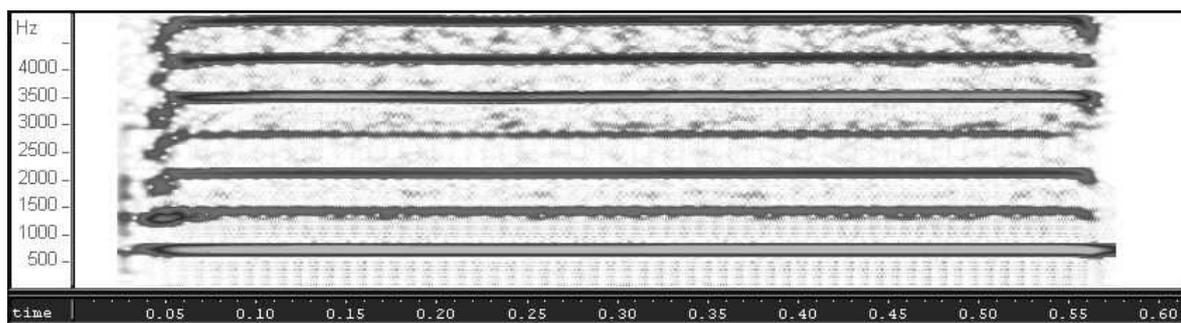


FIG. 24.— Sonagrama con presentación “negativa” (fondo negro) o a color no son muy legibles.

pero no son muy aconsejables, pues no resultan muy legibles.

#### 8. CONCLUSIÓN

Acá se quiso presentar un pequeño curso sobre el entendimiento, manejo y calibración del sonagrama para el análisis de sonidos de toda índole (habla, sonidos producidos por animales, sonidos musicales, ruidos, etc.) y se espera que resulte útil y permita mejorar la calidad futura de los estudios.

Para terminar citaré nuevamente a Leipp (Leipp

1984): “Hemos hecho numerosos sonogramas de sonidos musicales y ruidos de toda índole: sabemos ahora que el sonagrama es un documento a elegir para la acústica musical ya que esta imagen corresponde totalmente a la imagen mental que nos sugiere un sonido y todo lo que se escucha es visible en este documento. Gracias a este documento, todo sonido, tan complicado y evolutivo que sea, *puede ser descrito tanto en el lenguaje de los físicos como en el lenguaje de los músicos*” (Leipp 1984).

#### REFERENCIAS

- Anónimo. 1987, Análisis y síntesis digital del sonido  
 Castellengo, M. 1969, Paramètres Sensibles d'un Tuyau d'Orgue à Embouchure de Flûte. Bulletin du GAM, No 42 (París)  
 —. 1982, Sons Multiphoniques aux Instruments à Vent. Rapports IRCAM. No 34/82 (París)  
 Coughlan, L. & Weinreb. 1992, SoundScope Users Manuel. GW Instruments, Inc. (Somerville, E.E.U.U.)  
 de Arce, J. P. 1993, Revista Andina, 11-2, 473  
 Gérard, A. 1997, Revista Boliviana de Física, 3, 40  
 —. 2004, Interpretación acústica del ayarachi “Yura” de los Museos Charcas. En: Jornadas Arqueológicas - Primera Versión, pp. 79-112 (CIAR/Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca - Sucre)  
 —. 2007, Revista Boliviana de Física, 13, 33  
 —. 2009, Tara y tarka. Un sonido, un instrumento y dos causas (estudio organológico y acústico de la tarka). En: Diablos tentadores y pinkillus embriagadores, pp. 69-149 (Plural. Editor/compilador: A. Gérard. La Paz)  
 Leipp, E. 1984, Acoustique et Musique (Masson - París)  
 Pérez, J. 1998, Sonido rajado: The Sacred Sound of Chilean Pifilca Flutes. En: The Galpin Society Journal, julio de 1998, pp. 17-50 (Londres)  
 Sakuma, S. 2007, Tesis de licenciatura: Caracterización espectral y no lineal de los sonidos de la Tarka. Carrera de Física/UMSA. La Paz