

# Medición objetiva de la calidad sonora de las tumbadoras

**J.I. Hernández Cruz \***, **J. Rodríguez Matienzo \*\***, **J. Arteche Díaz\*\*\***

\*Centro de Investigación y Desarrollo del Ministerio del Comercio Interior.

E-mail: cidci@ceniai.inf.cu

\*\* Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica.

Instituto Superior Politécnico *José A. Echeverría* (ISPJAE)

Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad Habana, Cuba.

Teléfono: 537-202267, Fax: 537-277129, E-mail: matienzo@mecanica.ispjae.edu.cu

\*\*\* Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos

E-mail: cidci@ceniai.inf.cu

Recibido el 12 de diciembre de 1999, aceptado el 20 de febrero del 2000

## Resumen

Mediante grabaciones de golpes específicos de tumbadora y el procesamiento posterior de las señales obtenidas se puede caracterizar objetivamente la calidad de una muestra de tumbadoras [ 2 ] .

Al cuero se le da un tratamiento de placa delgada plana circular empotrada en los bordes y se determina la amplitud de las oscilaciones como invariante que influye decisivamente en la calidad de las vibraciones. En el análisis de resistencia de materiales se considera la carga aplicada en el centro de la boca ( $r = 0$ ), y luego se coloca en la dirección radial hasta  $r = r_{max}$ . Resolviendo la ecuación de Sofi German se encuentra una expresión matemática para la flecha y los factores geométricos, la forma de aplicar la carga y las características del cuero que afectan la flecha (es decir la sonoridad del tambor)

Se hace un análisis estadístico de las amplitudes, aplicándole las series de Fourier a las señales sonoras obtenidas, lográndose total coincidencia entre los resultados de la valoración subjetiva de musicólogos y especialistas y la medición objetiva de ensayos realizados en un conjunto de tumbadoras. Se obtuvieron valores de error estándar cero y distribución de error despreciables para las tumbadoras consideradas patrón y las profesionales.

**Palabras claves: Sonido, instrumentos musicales, percusión, tumbadoras.**

## 1. Introducción

La tumbadora (ver Fig.1) se desarrolla a partir de los tambores africanos del conglomerado étnico Congo que fueron introducidos durante los siglos XVIII y XIX en Cuba por los esclavos provenientes del Africa Austral. Con el transcurso del tiempo, al irse definiendo la nacionalidad cubana pasa a ser la tumbadora uno de los instrumentos representativos de nuestro patrimonio cultural.

En la actualidad se construyen varios modelos de tumbadoras de forma artesanal. La proyección de la música cubana en el exterior y las necesidades crecientes de agrupaciones musicales que dentro y fuera de Cuba nos representan, exigen que se incremente la producción de tumbadoras sin perder la calidad. Por esto

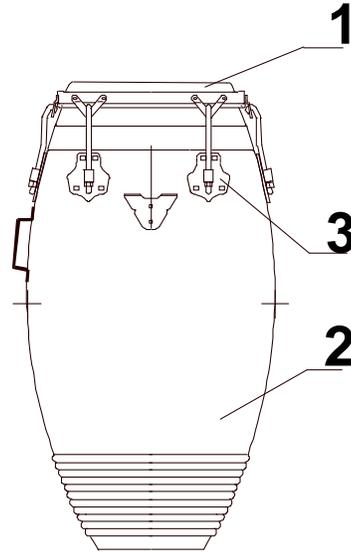
se hace necesario realizar mejoras en el proceso tecnológico de fabricación dentro de la Industria de Instrumentos Musicales, para que la mencionada institución pueda mantenerse al nivel de firmas extranjeras de reconocido prestigio, trabajando principalmente en los procedimientos para asegurar la calidad y la tecnología de elaboración, por la que deben pasar las partes y componentes, y posteriormente la evaluación de la sonoridad del instrumento.

Para estudiar cualquier instrumento musical se deben considerar dos aspectos principales, uno subjetivo, como es el grado de aceptación entre músicos y especialistas y otro objetivo como la influencia de los materiales, dimensiones y métodos de fabricación empleados en la construcción del instrumento.

## 2. Valoración subjetiva de las tumbadoras

En [2, 6], después de haber procesado los datos sonoros de un conjunto de 4 tumbadoras ( una construida con madera de Majagua, una de Yamagua, una plástica o Fiber Glass cubana y otra estadounidense del mismo material) a través del método de evaluación

de expertos (DELPHI), analizando golpes independientes y secuencias de golpes predefinidos, se llega a la conclusión de que las tumbadoras plásticas norteamericana y cubana cumplen los requisitos exigidos por los músicos y especialistas siendo la primera la que mayor puntuación alcanza. Luego de aplicadas las series de Fourier y estadígrafos a la señal presión sonora se obtuvieron los resultados de la Tabla 1.



**Figura 1** Tumbadora y sus partes: 1. Membrana (de cuero, plástico, etc.); 2. Cuerpo ó resonador (construido de madera ó plástico), 3. Dispositivo de tensión del cuero (aros, llaves, puentes, etc., construidos de acero)

**Tabla 1** Resultado del procesamiento estadístico de la amplitud de las señales.

Variabes	Tipo de tumbadora	Valor medio	Distribución de error	Error estándar
Tiempo (seg.)	De madera (Majagua)	6.61995	3.82203	0.00707
Tiempo (seg.)	De madera (Yamagua)	6.61995	3.82203	0.00707
Amplitud (E- 02 mm)	Plástica cubana	127.481	32,65357	0.06043
Amplitud (E – 02 mm)	Plástica norteamericana	127.781	22.82192	0.04224

Esta experimentación, aun cuando representó un elemento importante en el camino hacia la categorización de las tumbadoras, no dio una vía que permitiera en las condiciones actuales de la producción definir cual es el mejor instrumento.

## 3. Influencia de los materiales y formas empleadas en la construcción de las tumbadoras

Con vista a poder analizar la influencia de factores materiales, forma, espesor, dimensiones, etc., en la

sonoridad de los tambores se realizó un análisis desde el punto de vista de la resistencia de materiales con las siguientes consideraciones:

La hipótesis de Kirchoff [5] considera la lámina como un cuerpo que mantiene su espesor constante durante la deformación y las tensiones normales entre las capas iguales a cero ( $\sigma_x = 0$ ). En la figura 2 se representan las tensiones y momentos que actúan en una lámina delgada rectangular.

En la figura 2  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  son tensiones normales;  $\tau_{zx}$ ,  $\tau_{zy}$  son tensiones tangenciales ;  $M_x$ ,  $M_y$  son momentos flectores y  $Q_x$ ,  $Q_y$  son fuerzas transversales.

Las expresiones para determinar el modelo asumido se muestran a continuación (1 a la 4). En estas:  $D$  [3], rigidez cilíndrica de la lámina  $E, \mu$ , son las propiedades del cuero: módulo de

elasticidad y coeficiente de Poisson.

$W_{(x,y)}$ , función que define la flecha  $I$ , momento de inercia.

$I$ , momento de inercia.

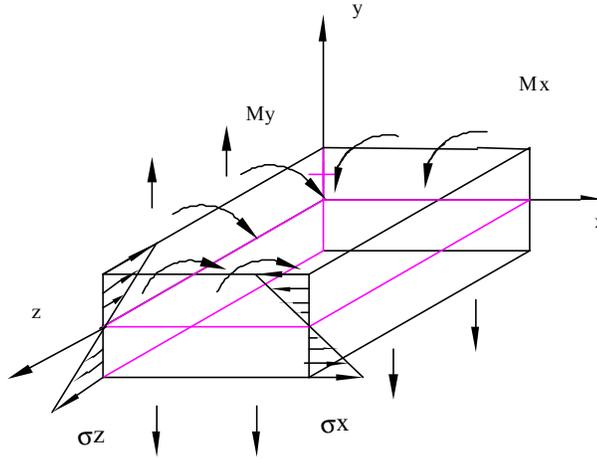


Figura 2. Cuerpo libre de una sección de cuero.

$$M_x \approx -D \cdot \left[ \frac{\delta^2 w}{\delta^2 x} + \mu \cdot \frac{\delta^2 w}{\delta^2 y} \right] \quad \sigma_x \approx \frac{M_x}{I} \cdot z \quad (1)$$

$$M_y \approx -D \cdot \left[ \frac{\delta^2 w}{\delta^2 y} + \mu \cdot \frac{\delta^2 w}{\delta^2 x} \right] \quad \sigma_y \approx \frac{M_y}{I} \cdot z \quad (2)$$

$$Q_x \approx -D \cdot \frac{\delta}{\delta x} \cdot (\nabla^2 w) \quad \tau_{xy} \approx \frac{Q_x}{2I} \cdot \left[ \frac{h^2}{4} - z^2 \right] \quad (3)$$

$$Q_y \approx -D \cdot \frac{\delta}{\delta y} \cdot (\nabla^2 w) \quad \tau_{yz} \approx \frac{Q_y}{2I} \cdot \left[ \frac{h^2}{4} - z^2 \right] \quad (4)$$

El objetivo planteado en esta etapa del trabajo fue encontrar la función de la flecha  $W_{(x,y)}$  que rigiere el comportamiento del cuero y de esta forma lograr conocer la influencia del mismo en la sonoridad de la tumbadora. En el caso de láminas circulares la ecuación de Sofi German [4] define la expresión de la flecha en función del radio y rigidez cilíndrica del cuerpo en estudio.

$$W(r) \approx C_1 x \ln r + C_2 r^2 \ln r + C_3 + C_4 r^2 \frac{qr^4}{64D} \quad (5)$$

Otras consideraciones son :

- Lámina de cuero
- Empotrada en el borde
- Sección circular

- Carga en el centro de la boca ( $r=0$ ), la cual se aplica en toda la superficie del cuero hasta el borde del mismo.

Resolviendo la ecuación de Sofi German encontramos la expresión de la flecha :

$$w(r) \approx C_3 + C_4 r^2 + \frac{qr^4}{64D} \quad (6)$$

donde:

$$D \approx \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{h^3}{12}$$

$$C_3 \approx \frac{qr^4}{32D} \cdot \left[ \left( \frac{3+\mu}{1+\mu} \right) - \frac{1}{2} \right]$$

$$C_4 \approx -\frac{qr^2}{32D} \cdot \left[ \frac{3 + \mu}{1 + \mu} \right]$$

Como se puede apreciar en la expresión (6), la misma depende de factores geométricos, características del cuero empleado y de la carga aplicada. Estos son:

Parámetros geométricos:

-Radio de la tumbadora "a"

Características físicas del cuero:

-Módulo de Poisson "μ"

-Espesor "h"

Carga aplicada:

La forma de realizar el golpe es un factor importante. Para poder emplear la expresión se debe desplazar la carga concentrada primero al centroide de la boca de la tumbadora ( $r=0$ ), luego aplicarse en toda la superficie del cuero.

Según la expresión (6) se observa que la flecha  $W(r)$  se incrementa con: el aumento del radio de la tumbadora, el aumento del coeficiente de Poisson y el aumento de la intensidad de la carga aplicada dependiendo del lugar geométrico donde se aplique el golpe. La flecha disminuye con el aumento del módulo de elasticidad del cuero o el aumento del espesor del cuero.

De las propiedades del cuero, la influencia del Módulo de Elasticidad "E" es mayor que la del coeficiente de Poisson  $\mu$  puesto que la magnitud de la

1ra es mucho mayor que la 2da. Observe que el espesor varía en el orden de la 3ra potencia, incrementando la flecha en valores proporcionales a  $3W(r)$

En la fig. 3 se muestra la relación entre el radio de la tumbadora y la expresión de la flecha  $W(r)$

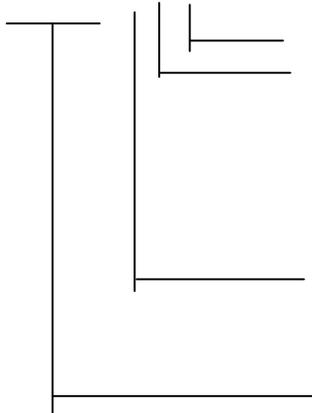
#### 4. Valoración objetiva

Con vistas a corroborar el criterio de los expertos se hace necesario realizar una valoración objetiva de las tumbadoras basándose en la experimentación acústica de los diferentes modelos [2]. Para esto se procedió a realizar grabaciones, en condiciones de estudio de las señales sonoras proveniente de varios modelos de tumbadoras construidas del mismo material que las empleadas en la valoración subjetiva. Se debe recordar que se seleccionaron las construidas de plástico (FIBER GLASS) norteamericana y las cubanas construidas en la Industria de Instrumentos Musicales "Fernando Ortíz". Se fijó previamente el tipo, secuencia y lugar donde se realizaría el golpe.

Las señales obtenidas se codificaron de forma tal que en un estudio posterior se pueda llegar a conocer a que tumbadora pertenece así como el ejecutante que intervino en la grabación. La codificación adoptada fue la siguiente[6]:

#### Codificación de señales.

X X X -- X # #



Nro. de ejecuciones.

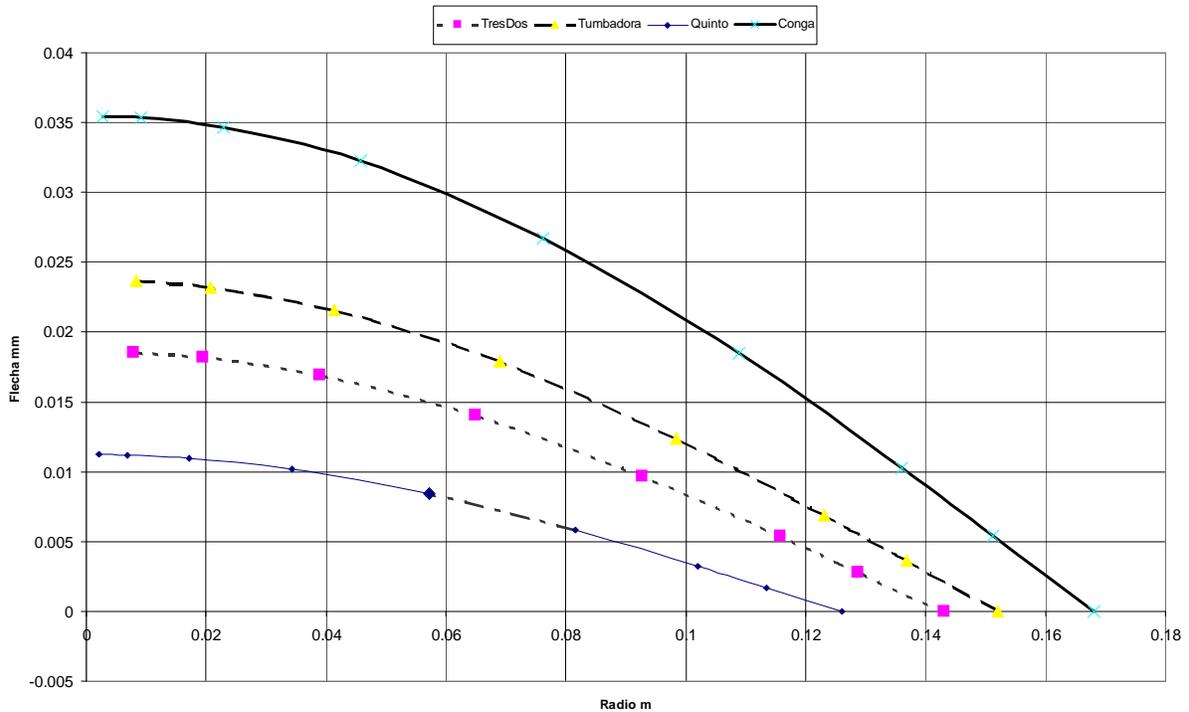
Tipo de golpe :

- |   |                    |
|---|--------------------|
| 1 | Abierto.           |
| 2 | Tapado presionado. |
| 3 | Tapado libre.      |
| 4 | Presionado.        |
| 4 | De bajo.           |

Tipo de Mueble :

- |   |            |         |
|---|------------|---------|
| A | Quinto     | Ø 27 cm |
| B | Tres - Dos | Ø 29 cm |
| C | Conga      | Ø 32 cm |

Iniciales del intérprete



**Figura 3** Relación entre el radio de la tumbadora y la expresión de la flecha W (r). En la abscisa los valores del radio de las tumbadoras en metros (quinto =0.123; Tres-Dos=0.142; Tumbadora=0.146; Conga=0.164). En la ordenada los valores de W (r) expresados en 0.01 milímetros, para un cuero con los parámetros siguientes  $E = 2 \times 10^{11}$  Pa;  $\mu = 0.3$ ;  $q = 2 \times 10^6$  Pa .

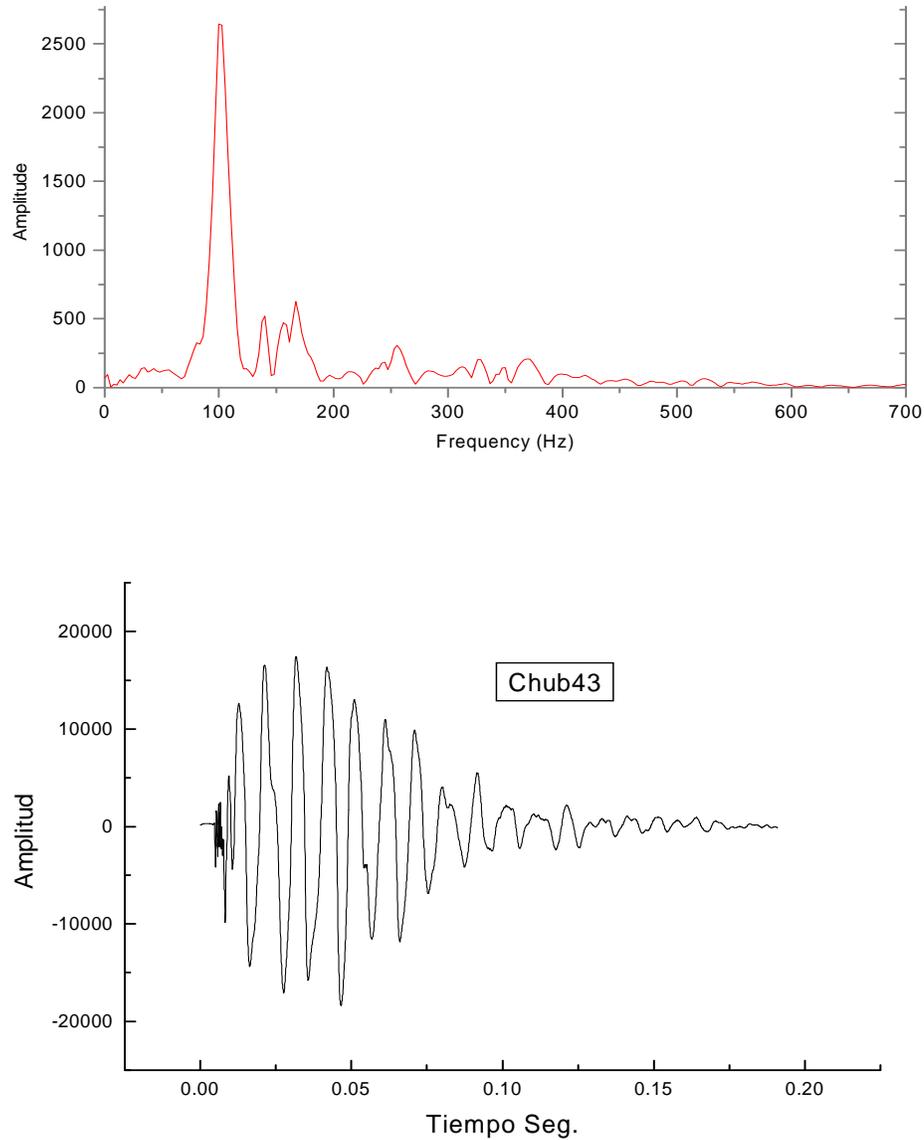
Las señales sonoras fueron procesadas mediante un software basado en la transformada de Fourier. Como resultados se obtuvieron el espectro de amplitudes y el gráfico de amplitud de la señal contra tiempo, así como un estadígrafo con los valores de error estándar y distribución de error para las amplitudes y el tiempo, después de haberles aplicado la transformada rápida de Fourier (ver fig. 4, tabla 2 y fig. 5, tabla 3).

### 5. Comparación de la valoración subjetiva con las mediciones de las tumbadoras producidas en la fábrica “Fernando Ortíz”

Parte de los resultados estadísticos se muestran en la Tabla 4. En la columna “AMPLITUD” se presentan las señales tratadas según la codificación expuesta y un ensayo denominado “americana” que se corresponde con la tumbadora de mejores resultados en la valoración subjetiva.

Para ambos casos se realizó el cálculo de la media aritmética de las amplitudes observándose los valores extraordinariamente altos de desviación estándar en los ensayos de instrumentos producidos en la “Fernando Ortíz” que contrasta con el valor insignificante de la tumbadora “americana” que los expertos recomendaron como buena según la evaluación subjetiva.

Si recordamos, que la desviación estándar es la media aritmética de las discrepancias respecto al valor más probable [4] se interpreta que, aún cuando se encuentren afinadas, en las tumbadoras con valor alto de la distribución estándar del error la fundamental y los primeros “sobretonos” mostrarán “alturas diferentes” en forma aleatoria pues no mostrarán tendencia hacia un valor de amplitud. Según se trató en el análisis de resistencia de materiales, la amplitud de las oscilaciones caracteriza la sonoridad del instrumento lo que nos permite concluir que los resultados de la valoración subjetiva y las mediciones sonoras coinciden, validándose satisfactoriamente el método empleado de categorizar las tumbadoras a través del análisis de los espectros sonoros obtenidos con formas predefinidas de vibración.

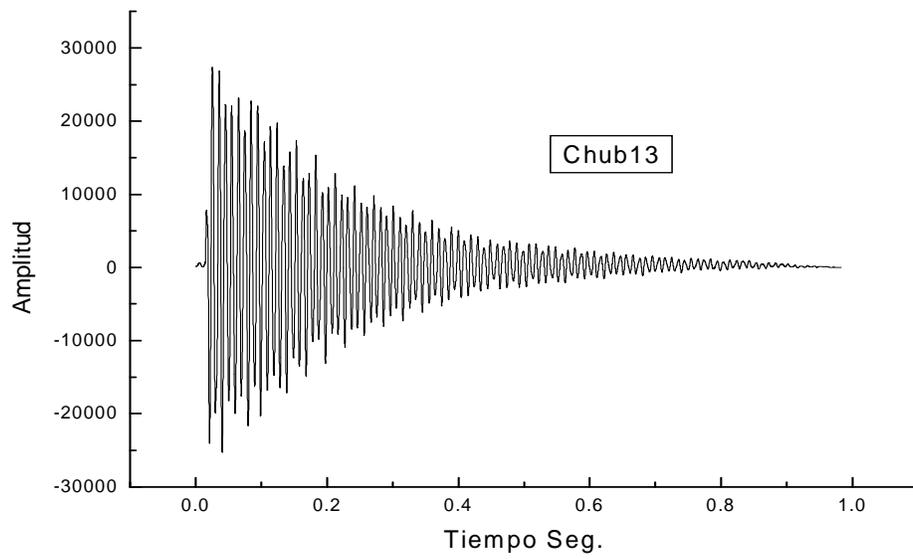
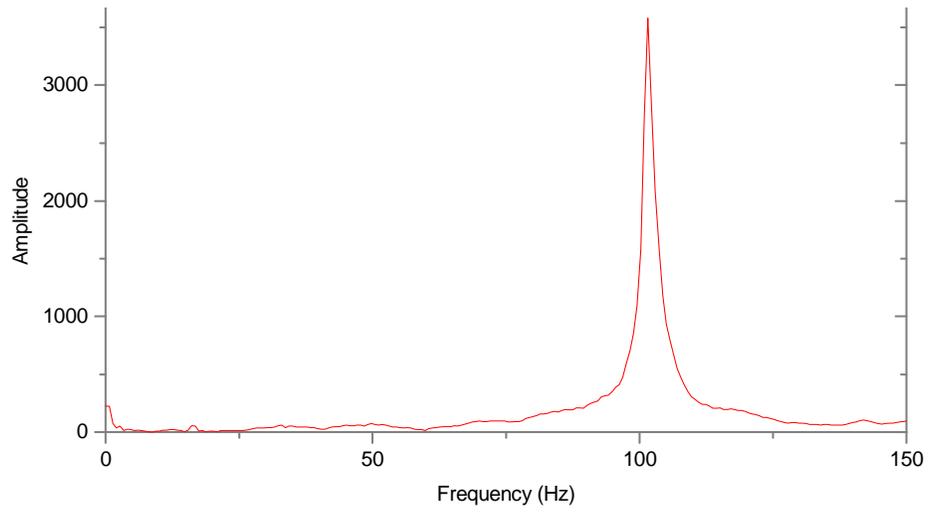


**Figura 4.** Señal sonora de TRES-DOS nacional

**Grabación** Chub43  
**Tumbadora** TresDos  
**Golpe** Presionado

**Tabla 2** .Resultados del procesamiento de las señales del golpe “presionado” sobre un “TRES-DOS”, producido en la Industria de Instrumentos Musicales.

<b>Variables</b>	<b>Media</b>	<b>Sd</b>	<b>Se</b>	<b>Suma</b>	<b>Población</b>
Tiempo	0.09544	0.05511	8.49E-04	401.71612	4209
Amplitud	140.46187	5955.9827	91.8045	5.91E+05	4209



**Figura 5** Señal sonora de TRES-DOS nacional, (OTRA MUESTRA)

<b>Grabación</b>	Chub13
<b>Tumbadora</b>	TresDos
<b>Golpe</b>	Abierto

**Tabla 3** Resultados del procesamiento de las señales del golpe “presionado” sobre un “TRES-DOS”, producido en la Industria de Instrumentos Musicales, otra muestra.

Variables	Media	Sd	Se	Suma	Población
Tiempo	0.49125	0.28363	0.00193	10642.37859	21664
Amplitud	345.11997	6128.98062	41.64079	7.48E+06	21664

**Tabla 4** Resultados de las pruebas.

Variable	AMPLITUD Media aritmética	desviación estándar	Error estándar	Modelo de tumbadora
ACHUB13	345.11997	6128.98062	41.64079	Tres-Dos
AtresDos13	258.26117	8892.60229	123.6874	Tres-Dos
ACHUB33	248.14678	10727.9159	138.8676	Tres-Dos
ACHUB53	238.19296	5599.2305	73.36356	Tres-Dos
ACHUA13	223.13851	3726.75404	27.07665	Quinto
ACHUA23	175.24367	3323.66996	29.90416	Quinto
ACHUA33	175.19638	3481.63612	27.74675	Quinto
AtresDos33	149.31194	5800.34199	68.58669	Tres-Dos
ACHUB23	143.86103	3227.66864	27.61113	Tres-Dos
ACHUB43	140.46187	5955.9827	91.8045	Tres-Dos
AtresDos23	138.49517	2958.96793	28.1195	Tres-Dos
ACHUA53	138.34145	3499.93986	29.97539	Quinto
AtresDos43	130.36231	6123.24682	71.92381	Tres-Dos
Americana	127.85362	6.37596	0.06072	Quinto
AtresDos53	120.16012	3315.89619	27.60086	Tres-Dos
ACHUA43	104.8357	5899.63219	87.20361	Quinto

## 6. Conclusiones

Mediante el estudio de formas específicas de vibración del cuero pueden caracterizarse los instrumentos de percusión, basta con establecer un conjunto definido de formas de vibración, obtener los espectros en condiciones de estudio de grabación y procesarlas con estadígrafos que se encuentran disponibles en herramientas informáticas.

Con una computadora que cuente con los medios necesarios, micrófono profesional y simulando las condiciones acústicas de un estudio de grabación se puede caracterizar la calidad del sonido de un lote de tumbadoras en la Industria de Instrumentos Musicales, en los talleres de reparación de instrumentos ó en cualquier centro del Ministerio de Cultura que lo requiera.

## 7. Bibliografía

1. Frish, S. ;Timoreva, A. : Curso de Física General, Tomo I, Editorial MIR, Moscú, 1968.
2. Hernández Cruz, José Isidro: “Perfeccionamiento del proceso tecnológico y elevación del nivel de calidad de la construcción de tumbadoras cubanas”, tesis en opción del título de Master en Ingeniería Mecánica, ISPJAE, 1998
3. Horger, Oscar J.: Metals Engineering Design, ASME Handbook, Edición Revolucionaria, Instituto del Libro, 1970.
4. Miroljubov,I ; Engalichev, S. : Problemas de Resistencia de Materiales, Editorial MIR, Moscú, 1990
5. Neira Betancourt, L. A. : Como suena un tambor abakuà, Editorial Pueblo y Educación, 1992
6. Rodríguez López, M. : Hacia una metódica en el proceso de categorización de instrumentos musicales, Trabajo de diploma. CIDMU (Centro de Investigación y Desarrollo de la Música).1997.

---

## Objective measurement of the sound quality in Cuban drums

### Abstract

Recording different blows performed on tumbadoras heads and testing the obtained signs afterwards, could be analyzed the quality of a set of Cuban drums.

The leather is treated as a thin circular plate fixed in the outer edge; , the amplitude of the vibrations are considered the uppermost characteristic that leans on the sound nature. In a strength of materials analysis is considered the load in the center of the drums head and it is spread all over the leather surface. A math expression is found while solving Sofi German's equation that match with the arrow deflection, geometric factors, the way of applying the load and leather properties.

A static analysis of the vibrations is performed. Applying the Fourier's series to the obtained sound signals is found a full agreement between the results of subjective valuation of musicians and objective valuations obtained in the recording studio and then processes mathematically.

With this method were obtained zero Standard Error and insufficient Distribution Error for patterns and professional tumbadoras.

**Key words:** Sound, musical instruments, percussion, Cuban drums.

---

# III Encuentro de Ingeniería de Materiales



Septiembre 12 – 15, 2000, La Habana, Cuba

---

### TEMAS PRINCIPALES

---

*Metalografía y Tratamiento Térmico, Tribología, Materiales Compuestos, Biomateriales, Materiales para la Electrónica, Cerámicas y Polímeros, Mecánica de la Fractura, Metalurgia, Maquinado, Metrología, Soldadura, Economía en la Fabricación, Conformación, Maquinas de Control Numérico*

---

*Para enviar trabajos o solicitar información adicional*

---

Comité Organizador CCIM'2000  
Instituto Superior Politécnico *José Antonio Echeverría*  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Calle 127 s/n, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba  
Teléfono: (537) 20 2267 Fax: (537) 27 1208  
E-mail: [ccim@mecanica.ispjae.edu.cu](mailto:ccim@mecanica.ispjae.edu.cu)  
[tcm@mecanica.ispjae.edu.cu](mailto:tcm@mecanica.ispjae.edu.cu)