



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

## **ESTUDIO DE MADERAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA PARA MARIMBAS**

**Víctor Hugo Dardón Castillo**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, agosto de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE MADERAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN  
DE LAS CAJAS DE RESONANCIA PARA MARIMBAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**VÍCTOR HUGO DARDÓN CASTILLO**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales Gonzales
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Leonel Hurtarte Castro
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Chinchilla Cabrera
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

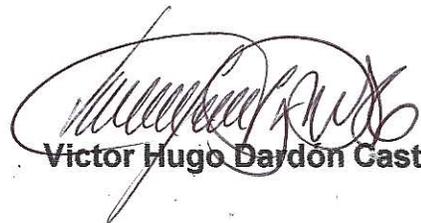


## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ESTUDIO DE MADERAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA PARA MARIMBAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 11 de noviembre de 2011.



**Victor Hugo Dardón Castillo**



Guatemala, 5 de julio de 2013

Ingeniero

Julio Cesar Campos Paiz

Director de la escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Estimado Ingeniero Campos:

Por este medio informo, como Asesor del estudiante Víctor Hugo Dardón Castillo, quien se identifica con carné universitario 56302, de la carrera de Ingeniería Mecánica, tuve a bien revisar el trabajo de Graduación con el tema: **"ESTUDIO DE MADERAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA PARA MARIMBAS"**, el cual a mi criterio cumple con los requerimientos de un trabajo de esta índole.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



*Carlos Humberto Pérez Rodríguez*  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

**Carlos Humberto Pérez Rodríguez**

Ingeniero Mecánico Industrial

Colegiado No. 3071



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área de Materiales, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado ESTUDIO DE MADERAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA PARA MARIMBAS, del estudiante **Victor Hugo Dardón Castillo**, recomienda su aprobación.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Coordinador de Área

Guatemala, julio, de 2013.

/behdei.

186



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área de Materiales de Ingeniería al Trabajo de Graduación titulado, **ESTUDIO DE MADERAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA PARA MARIMBAS** del estudiante **Victor Hugo Dardón Castillo**, procede a la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

**Ing. Julio César Campos Paiz  
DIRECTOR**



Guatemala, julio de 2013

JCCP/behdei





E l Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE MADERAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA PARA MARIMBAS**, presentado por el estudiante universitario: **Víctor Hugo Dardón Castillo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, agosto de 2013

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	En agradecimiento por darnos el conocimiento, sabiduría y la existencia para culminar esta carrera.
<b>Mis padres</b>	Ismael Aristides Dardón Durán y Marina Castillo Espinoza de Dardón, por su amor y enseñanzas.
<b>Mi esposa</b>	Edna Leonor Juárez Cobar de Dardón, por su amor y apoyo.
<b>Mis hijos</b>	Hugo Ismael, Edna Marina y María Mercedes con amor.
<b>Mis hermanos</b>	Patricia, Rebeca, Fernando, José, Marina y Yolanda Dardón Castillo, por ser una importante influencia en mi vida.
<b>Mi familia en general</b>	Con afecto y respeto.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala.</b>	Por abrir sus puertas para que pudiera superarme y ser un hombre útil a mi país.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por forjar los conocimientos y principios que me permiten ejercer una profesión.
<b>Mis amigos de la facultad</b>	Por su amistad y apoyo.
<b>Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez</b>	Por el asesoramiento de este trabajo de tesis y su amistad.
<b>Maestro Gervacio García</b>	Por su apoyo incondicional, asesoría para el feliz término de este trabajo de graduación y su amistad.



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
RESUMEN .....	IX
OBJETIVOS .....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. HISTORIA DE LA MARIMBA.....	1
1.1 Su origen y evolución .....	1
1.2 Marimba actual .....	2
2. ESTRUCTURA DE LA MARIMBA .....	3
2.1. Partes de la marimba.....	3
2.1.1. Teclado .....	3
2.1.2. Clavijas .....	3
2.1.3. Cajas de resonancia .....	4
2.1.4. Bastidor.....	4
2.1.5. Cargador del cajón.....	4
2.1.6. Mesa o mueble.....	4
2.1.7. Baquetas.....	5
3. PRINCIPIOS FÍSICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CAJA DE RESONANCIA.....	7
3.1. Resonador de Helmholtz.....	7
3.2. Frecuencias de las notas musicales usadas en la marimba .....	9

3.3.	Propiedades físicas de las maderas usadas en las cajas de resonancia .....	10
3.3.1.	Principales propiedades físicas de la madera.....	11
3.3.1.1.	Hendilidad.....	11
3.3.1.2.	Dureza .....	11
3.3.1.3.	Flexibilidad.....	11
3.3.1.4.	Facilidad del pulido .....	11
3.3.1.5.	Densidad .....	12
3.3.1.6.	Porosidad .....	12
3.3.1.7.	Higroscopicidad .....	12
3.3.1.8.	Retractilidad o contracción.....	12
3.3.1.9.	Hinchazón.....	12
3.3.1.10.	Homogeneidad .....	13
3.3.1.11.	Color .....	13
3.3.1.12.	Veteado .....	13
3.3.1.13.	Olor.....	13
3.3.1.14.	Conductividad .....	13
3.3.1.15.	Duración .....	13
3.3.1.16.	Flexión .....	14
3.3.1.17.	Compresión .....	14
3.3.1.18.	Tracción.....	14
3.3.1.19.	Cizallamiento o cortadura .....	14
3.3.1.20.	Torsión.....	14
3.3.1.21.	Desgaste .....	15
3.3.1.22.	Resistencia al choque.....	15
3.3.1.23.	Propiedades de inflamación y combustión.....	15
3.3.1.24.	Propiedades térmicas .....	15
3.3.1.25.	Propiedades acústicas.....	15

3.4.	Geometría de las cajas de resonancia actuales y nuevas propuestas.....	16
4.	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA.....	25
4.1.	Selección de las maderas.....	25
4.2.	Proceso de preparación.....	30
4.3.	Trazado, corte y pegado de las cajas de resonancia .....	31
5.	MEDICIONES .....	33
5.1.	Metrología apropiada para las cajas de resonancia .....	33
5.2.	Cálculos teóricos de las frecuencias.....	38
5.3.	Medición de las frecuencias de resonancia e intensidad del sonido de salida de las cajas de resonancia .....	39
5.4.	Calibración de las cajas de resonancia.....	39
	CONCLUSIONES.....	41
	RECOMENDACIONES.....	43
	BIBLIOGRAFÍA.....	45
	APÉNDICES .....	47



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Modelo de botella.....	8
2.	Modelos de cavidades de Helmholtz.....	8
3.	Caja rectangular.....	16
4.	Gráfica Caja rectangular.....	17
5.	Caja forma tronco de pirámide.....	17
6.	Gráfica Caja forma tronco de pirámide .....	18
7.	Caja forma tronco de pirámide cedro.....	19
8.	Gráfica Caja forma tronco de pirámide cedro .....	19
9.	Caja forma tronco de pirámide caoba.....	20
10.	Gráfica Caja forma tronco de pirámide caoba .....	20
11.	Caja de forma tradicional.....	21
12.	Gráfica Caja de forma tradicional.....	22
13.	Caja de forma tradicional de cedro con doble ancho.....	22
14.	Gráfica Caja de forma tradicional de cedro con doble ancho.....	23
15.	Esquema de testigo de madera.....	27
16.	Testigo sobre dos reglas a una distancia 150 milímetros.....	27
17.	Medición de testigo con pie de rey.....	28
18.	Madera colocada sobre polines.....	31
19.	Pie de rey.....	34
20.	Lectura del pie de rey.....	34
21.	Lectura del nonio.....	35
22.	Lectura de nonios.....	36
23.	Reloj comparador para espesores.....	36

24.	Lectura de reloj comparador.....	37
25.	Balanza.....	38

### **TABLAS**

I	Frecuencias (en hertzios) de las notas musicales.....	10
II	Cálculo de módulos de elasticidad.....	29

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>a</b>	Área del cuello
<b>cm</b>	Centímetro
<b>P</b>	Densidad
<b>f</b>	Frecuencia de resonancia
<b>l</b>	Longitud del cuello
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>E</b>	Módulo de Young o de elasticidad
<b>I</b>	Momento de inercia
<b>W</b>	Peso
<b>r</b>	Radio del cuello

**vs**

Velocidad del sonido

**s**

Velocidad del sonido en el aire

**v**

Volumen

## **RESUMEN**

En la actualidad, la marimba es un instrumento musical que Guatemala se enaltece de haber desarrollado, exhibiéndolo como un instrumento nacional, la investigación sobre los materiales con que está construida son generales y los temas relacionados con su funcionamiento y la calidad de los materiales a utilizar no existen, por lo que se propone efectuar los ensayos necesarios para establecer parámetros en la construcción y el empleo de materias primas que permitan obtener mejores resultados en su construcción.



# OBJETIVOS

## General

Realizar un estudio sobre las maderas aptas para la construcción de las cajas de resonancia para marimbas.

## Específicos

1. Describir los conceptos teóricos de ingeniería de los materiales aplicables en la selección de maderas para el diseño y construcción de marimbas.
2. Establecer el comportamiento de las distintas maderas que se pueden usar en la fabricación de las cajas de resonancia.
3. Determinar el comportamiento de las maderas con geometrías diferentes en la construcción de las cajas de resonancia.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la información técnica sobre el funcionamiento y construcción de la marimba es escasa y no hay estudios que ayuden al constructor a establecer cuáles son los mejores métodos y técnicas constructivas, ya que las que se usan actualmente fueron establecidas en forma artesanal y en un método de prueba y error, documentándose únicamente las partes que componen la marimba y no cuales son los fenómenos físicos que la hacen resonar y como propaga el sonido, en otras palabras, cómo funciona.

En el presente trabajo se hace un resumen del origen de la marimba, las partes que la componen; se establece cómo funcionan las cajas de resonancia que cumplen con el principio establecido por Hermann von Helmholtz, en los cuales se establece que la masa de aire en la caja de resonancia de la marimba vibra a la frecuencia a la cual fue afinada, se trata de las maderas utilizadas frecuentemente, para la construcción y sus propiedades, también se muestran los distintos modelos utilizados y sus resultados en cuanto a la forma y la intensidad en decibelios, al igual que se comparan formas similares con maderas diferentes como: hormigo, caoba, ciprés y cedro .

Además se pretende establecer parámetros prácticos que permitan al constructor establecer las propiedades de las maderas a utilizar, su tratamiento y cuidados para mejorar la calidad de la marimba.



# 1. HISTORIA DE LA MARIMBA

## 1.1. Su origen y evolución

La palabra marimba significa un conjunto de instrumentos musicales acoplados entre sí. Se puede decir que, la marimba es un instrumento compuesto por una serie de teclas y cajones afinados con calibración conveniente que cumpla con un patrón ordenado de notas musicales similares a las teclas del piano.

El origen de la marimba no está bien definido, algunos autores lo atribuyen al continente africano, siendo el Balafón el que más se asemeja a la marimba mesoamericana, otros autores la asocian con el continente asiático, específicamente en Indonesia, con instrumentos conocidos como Gamelán o piano javanés.

En mesoamérica, la marimba evolucionó en su estructura, de teclados con escalas pentáfonas, a escalas diatónicas, las más completas a escalas cromáticas; en cuanto a las cajas de resonancia su evolución fue de una sola caja la cual podría ser una fosa o una caja de madera para toda la marimba, evolucionando a una caja de resonancia por tecla las cuales podrían ser de tecomates, madera, bambú, PVC, tubos metálicos y otros.

Por la posición de su ejecución, para tocarlas sentado, hincado, de pie y otras para tocarlas caminando. Por la cantidad de ejecutantes, por una persona y otras entre cuatro o más.

## **1.2. Marimba actual**

La marimba actual está compuesta por un teclado diatónico y otro cromático, con la finalidad de poder ejecutar composiciones de música completas similares a las escritas para piano. También suelen usarse las marimbas sencillas las cuales constan de un teclado simple (escala diatónica).

Un conjunto de marimba está formado principalmente por una marimba grande y la pequeña llamada tenor. Los puestos que ocupan los ejecutantes en una marimba son pícoto, tiple, centro y bajo; la parte más aguda y el tenor de una marimba están formados por: pícoto, tiple y bajo tenor, mientras que en la marimba grande se ha acostumbrado a tocar la primera voz de la melodía en el pícoto y el tiple, el acorde en el centro y en el bajo la nota más grave del acorde con su respectivo, cambio para evitar la monotonía.

En la marimba denominada tenor, se toca usando como segunda voz pícoto y el tiple a veces como segunda y tercera voz, a lo que los marimbistas llaman llenos y el bajo de tenor refuerza la primera haciendo algunas veces contra –melodía.

## **2. ESTRUCTURA DE LA MARIMBA**

### **2.1. Partes de la marimba**

La marimba está estructurada de diferentes partes compuestas de diferentes maderas, muchas de estas partes son desmontables y funcionan como un todo.

#### **2.1.1. Teclado**

Es un conjunto ordenado de teclas de madera unidas por medio de un cordel y separadas por clavijas. Están construidas de madera de hormigo, Palo rosa o granadillo, son de forma rectangular y en la parte del grosor están perforadas para que pase a través de ellas, las cuerdas que las sostienen, en la parte baja tienen un vaciado el cual sirve para afinar la tecla a la frecuencia de la nota musical que le corresponde.

#### **2.1.2. Clavijas**

Son las piezas de madera que sirven para mantener separadas las teclas y sostenerla en el aire, en la parte superior están perforadas y las atraviesa el cordel, en la parte inferior van fijadas a la mesa de la marimba.

### **2.1.3. Cajas de resonancia**

En las marimbas nacionales son construidas de madera de cedro y ciprés, también se usan de tecomates, su función principal es la de amplificar el sonido.

Estas cajas pueden amplificar el sonido cuando su estructura entra en resonancia con la frecuencia de la nota musical de la tecla de la marimba, para que esto suceda tiene que calibrarse y el cómo hacerlo es uno de los objetivos principales de este estudio.

### **2.1.4. Bastidor**

También llamado el mueble de la marimba, básicamente es una estructura de madera que sostiene la armazón para mantener en su posición las cajas de resonancia.

### **2.1.5. Cargador del cajón**

Son reglillas largas utilizadas para sostener las cajas de resonancia de la marimba.

### **2.1.6. Mesa o mueble**

Es la estructura de madera que sostiene el teclado, el clavijero y los cajas de resonancia es de forma trapezoidal, además, le da mayor firmeza a la marimba a través de las patas, en las marimbas cromáticas o doble, para facilitar su movilización la mesa se puede dividir en dos, cada una sostiene un teclado y a la hora de la ejecución permiten el ensamblaje de manera rápida.

El faldón, el cual está formado por las piezas de madera más anchas que le dan presentación y ayuda a la resonancia del instrumento en general, en el faldón suelen incrustarse diseños tallados en maderas preciosas que reflejan estilos propios de la construcción artesanal. Algunas veces se le forra con tela típica guatemalteca, por último, los travesaños que unen las patas de la propia mesa pueden colocarse horizontal o inclinados.

#### **2.1.7. Baquetas**

Es una varilla delgada de madera con un bolillo de tripa de cerdo o hule cuya suavidad o dureza depende del sonido bajo, medio o alto que emiten las teclas, la varilla suele construirse de la madera del witzitzil.



### 3. PRINCIPIOS FÍSICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA CAJA DE RESONANCIA

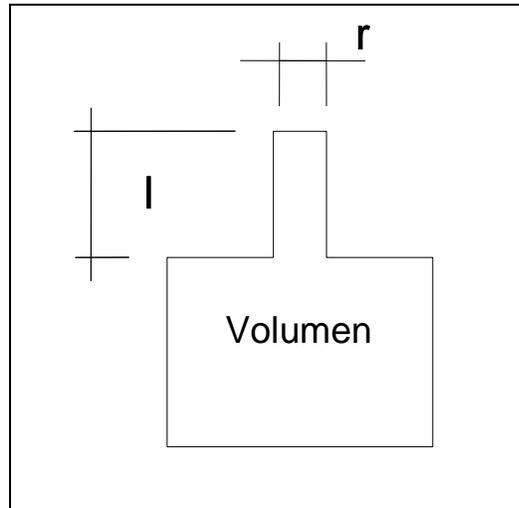
#### 3.1. Resonador de Helmholtz

Estos se basan en el artefacto acústico conocido como cavidad de Helmholtz; consisten en una cavidad con un orificio en el extremo de un cuello (como una botella), en cuyo interior el aire se comporta como una masa resonante. La frecuencia de resonancia (es decir, en torno a la cual se produce la absorción) puede calcularse como sigue:

- $f$  = frecuencia de resonancia
- $s$  = velocidad del sonido en el aire
- $r$  = radio del cuello (supuesto circular)
- $a$  = área del cuello
- $l$  = longitud del cuello
- $L'$  = longitud efectiva del cuello, se determina de la siguiente manera:
- $L' = l + 1.7r$  (si el borde del cuello está achaflanado)
- $L' = l + 1.4r$  (si el borde del cuello es rectangular)
- $v = \text{Volumen}$
- $$f = (s/2\pi)(\sqrt{a/(L' \cdot v)})$$

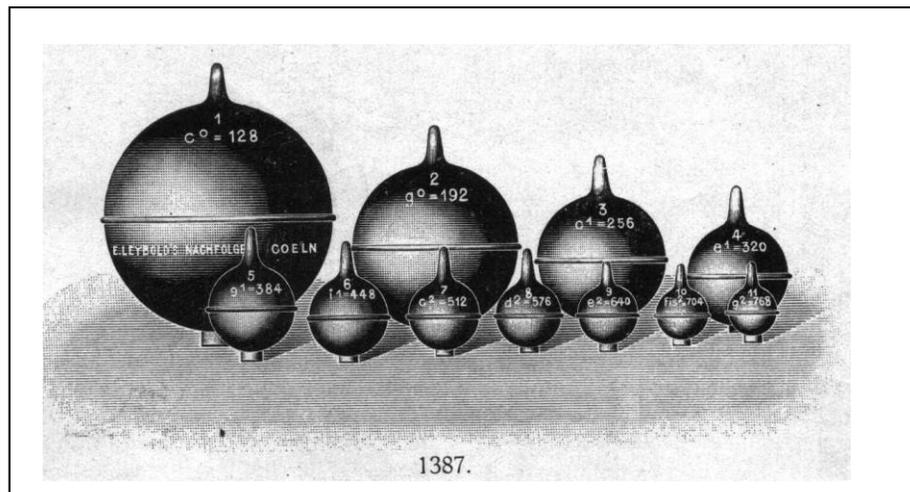
Una cavidad con un orificio, en lugar de cuello, se comporta como achaflanado con longitud del cuello nula.

Figura 1. **Modelo de botella**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Autocad

Figura 2. **Modelos de cavidades de Helmholtz**



Fuente: [www. Es.wikipedia.org/wiki/absorbente\\_Helmholtz](http://www.Es.wikipedia.org/wiki/absorbente_Helmholtz). Consulta:  
12 de julio de 2012

### **3.2. Frecuencias de las notas musicales usadas en la marimba**

Las frecuencias usadas en la marimba varían de acuerdo al tipo de marimba, por ejemplo: la marimba está compuesta por una mayor 4/4 y el tenor que es  $\frac{3}{4}$  de la marimba mayor, el teclado de la marimba 4/4 inicia en Sol 1(49 hertz) y termina en Si 7 (3951 hertz); el tenor inicia con el teclado en Fa# 2 (46,25 hertz) y termina en Mi 7 (2637 hertz). A continuación se presenta la tabla I. que contiene las notas musicales y las frecuencias que corresponde a cada una según la octava a que pertenecen.

Esta tabla representa las frecuencias (en hertz) de todas las notas musicales que pueden ser reproducidas por cualquier instrumento o voz, dentro de los parámetros normales, sin considerar los casos excepcionales.

Cada fila representa una de las 12 notas y cada columna una de las 9 octavas. En amarillo las notas y frecuencias que corresponden a la afinación de la marimba.

**Tabla I. Frecuencias (en hertzios) de las notas musicales**

	Oc. 0	Oc. 1	Oc. 2	Oc. 3	Oc. 4	Oc. 5	Oc. 6	Oc. 7	Oc. 8
Do		32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1 046,50	2 093,00	4 186,01
Do#		34,65	69,30	138,59	277,18	554,37	1 108,73	2 217,46	
Re		36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1 174,66	2 349,32	
Re#		38,89	77,78	155,56	311,13	622,25	1 244,51	2 489,02	
Mi		41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1 318,51	2 637,02	
Fa		43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1 396,91	2 793,83	
Fa#		46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1 479,98	2 959,96	
Sol		49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1 567,98	3 135,96	
Sol#		51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1 661,22	3 322,44	
La	27,50	55,00	110,00	220,00	440,00	880,00	1 760,00	3 520,00	
La#	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1 864,66	3 729,31	
Si	30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1 975,53	3 951,07	

Fuente: ÁRVAI, Lázsó, programa MiniTuner Link.

### **3.3. Propiedades físicas de las maderas usadas en las cajas de resonancia**

Los troncos y ramas de un árbol están compuestos por tejidos fibrosos y celulosa que es conocido como madera.

La madera está compuesta, aproximadamente de 50 por ciento de celulosa, 30 por ciento de lignina y un 20 por ciento de resina, almidón, tanino y azúcares.

Las propiedades físicas de la madera determinan la clase y calidad de la misma, por ejemplo, existen diferencias bien marcadas entre árboles de la misma especie de diferente edad, de una región a otra, debidas a los cambios

de temperatura, altura, humedad, clima, por el tipo de suelo e incluso en un mismo árbol la madera del tronco no es igual a la de la raíz o las ramas.

### **3.3.1. Principales propiedades físicas de la madera**

La madera es un material anisótropo, es decir que las propiedades en todas las direcciones de sus fibras son diferentes. Es más fácil cepillar longitudinalmente al sentido de las fibras que transversalmente, y a la inversa es más fácil aserrar transversalmente que a lo largo del hilo.

#### **3.3.1.1 Hendilidad**

Es la facilidad que tiene la madera de partirse en el sentido de las fibras.

#### **3.3.1.2 Dureza**

Depende de la cohesión de las fibras y de su estructura interna, representa la resistencia de la madera a ser penetrada y trabajada con el cepillo, sierra, formón o a ser penetrada por clavos y tornillos.

#### **3.3.1.3 Flexibilidad**

Es la propiedad que tienen algunas maderas de poderse doblar y ser curvadas en el sentido de sus fibras sin romperse.

#### **3.3.1.4 Facilidad del pulido**

Se obtiene un pulido fácil cuando el poder de compresión de las fibras es alto.

### **3.3.1.5 Densidad**

Es la relación que existe entre su peso y su volumen.

### **3.3.1.6 Porosidad**

Es la propiedad que poseen los cuerpos de tener entre sus moléculas unos espacios vacíos llamados poros, en algunas especies la madera es unida y compacta mientras que en otras es porosa.

### **3.3.1.7 Higroscopicidad**

Es la capacidad de las distintas maderas de absorber o desprenderse de la humedad del medio ambiente, por lo que las maderas son higroscópicas en mayor o menor grado.

### **3.3.1.8 Retractilidad o contracción**

La madera conserva, normalmente de un 15 por ciento a un 20 por ciento de agua y el resto lo pierde por evaporación, las células disminuyen de volumen y la madera experimente contracciones.

### **3.3.1.9 Hinchazón**

Es la propiedad por la cual la madera aumenta su volumen por la absorción de humedad a través de las células o fibras leñosas.

### **3.3.1.10 Homogeneidad**

Una madera es homogénea, cuando su estructura y la composición de sus fibras resulta uniforme en cada una de sus partes.

### **3.3.1.11 Color**

Cambia de una especie a otra.

### **3.3.1.12 Veteado**

Depende de los dibujos de las fibras presentados en el exterior, debidos al corte de la madera y a las características de las fibras de la madera.

### **3.3.1.13 Olor**

Este sirve para diferenciar las diversas especies de madera.

### **3.3.1.14 Conductividad**

La madera seca es mala conductora del calor y de la electricidad, pero la humedad la hace conductora y es mayor en el sentido longitudinal de sus fibras.

### **3.3.1.15 Duración**

Está vinculada directamente con la especie, las condiciones ambientales del almacenamiento, secado y el medioambiente del lugar donde se utilizara.

### **3.3.1.16 Flexión**

Es la capacidad de carga que tiene una pieza de madera descansando sobre dos apoyos y soportando un peso.

### **3.3.1.17 Compresión**

Es la resistencia debida a la acción de una fuerza que tiende aplastar la madera, es mayor en sentido perpendicular a las fibras de la madera y menor en el sentido paralelo a las mismas.

### **3.3.1.18 Tracción**

Es la resistencia a la acción de dos fuerzas de sentido contrario que tienden a romper la madera, alargando su longitud y reduciendo su sección transversal.

### **3.3.1.19 Cizallamiento o cortadura**

Es la resistencia que oponen las fibras de la madera a la acción de fuerzas paralelas de sentido contrario que tienden a cortar su sección transversal.

### **3.3.1.20 Torsión**

Es la resistencia que opone a su deformación una pieza de madera, fija por un extremo y que sufre un giro normal a su eje.

#### **3.3.1.21 Desgaste**

Cuando son sometidas a un roce o a una fricción hay una pérdida de materia, llamada desgaste.

#### **3.3.1.22 Resistencia al choque**

Es la capacidad de la madera de oponerse a la deformación al golpe de un cuerpo duro.

#### **3.3.1.23 Propiedades de inflamación y combustión**

Las maderas arden, consideradas como combustibles, lo cual constituye una cualidad que a su vez es un defecto para las maderas empleadas en la construcción y decoración.

#### **3.3.1.24 Propiedades térmicas**

La madera es un buen aislante térmico.

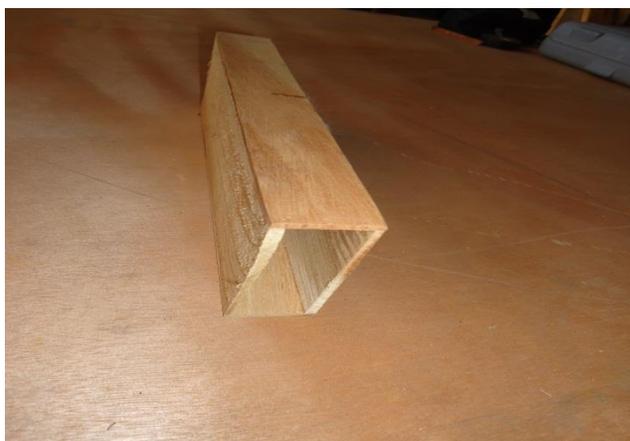
#### **3.3.1.25 Propiedades acústicas**

De acuerdo a su estructura interna y la orientación de las fibras, algunas maderas conducen el sonido mejor que otras, empleándose para la construcción de cajas de resonancia de los instrumentos musicales. También, las que no son buenas conductoras del sonido se pueden emplear para el aislamiento acústico.

### 3.4. Geometría de las cajas de resonancia actuales y nuevas propuestas

Las nuevas propuestas se basan en la forma geométrica diferente, en las cuales se hacen mediciones y se establece cuáles dan mejores resultados, también se utilizan formas similares y maderas diferentes. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Figura 3. **Caja rectangular**



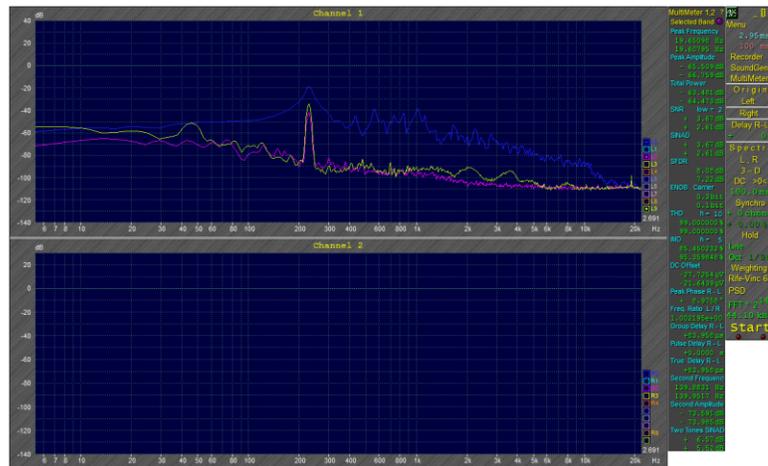
Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

Esta es una caja rectangular construida de cedro con espesor de 3 milímetros.

En la figura 4, la frecuencia natural  $L_0$  en azul, se obtiene golpeando el cajón con los nudillos, la frecuencia máxima obtenida es de 229 hertz, luego usando un generador de frecuencias calibrado a -30 decibeles y 229 hertz se midió y grabo el espectro en L1 color rosa, con 229 hertz, -41,95 decibeles, posteriormente se expone la caja de resonancia a estas condiciones y se

obtiene la amplificación mostrada en L9 color amarillo, 229 hertz, -33,49 decibeles, obteniéndose una ganancia de 8,46 decibeles.

Figura 4. **Gráfica caja rectangular**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Oscillometerxz.

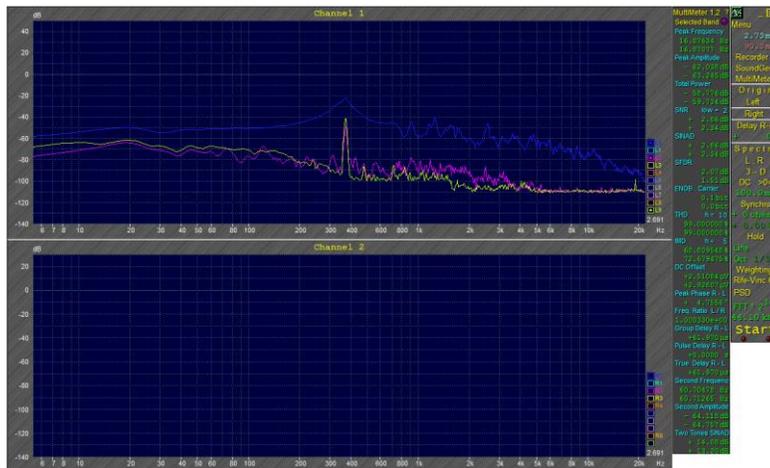
Figura 5. **Caja forma tronco de pirámide**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

En la figura 5 se muestra una caja de madera de hormig, forma de tronco de pirámide con espesor de 2,2 milímetros.

Figura 6. **Gráfica caja forma tronco de pirámide**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Oscillometerxz.

Frecuencia natural de la caja en azul 378,1 hertz, -22,7 decibelios, frecuencia del generador de frecuencias 378,1 hertz, -49,29 decibelios, frecuencia de amplificación del cajón 378,1 hertz, -41,02 decibelios, ganancia 8,27 decibelios.



frecuencia de amplificación amarillo 379,2 hertz, - 45,607 decibelios, ganancia 4,56 decibelios.

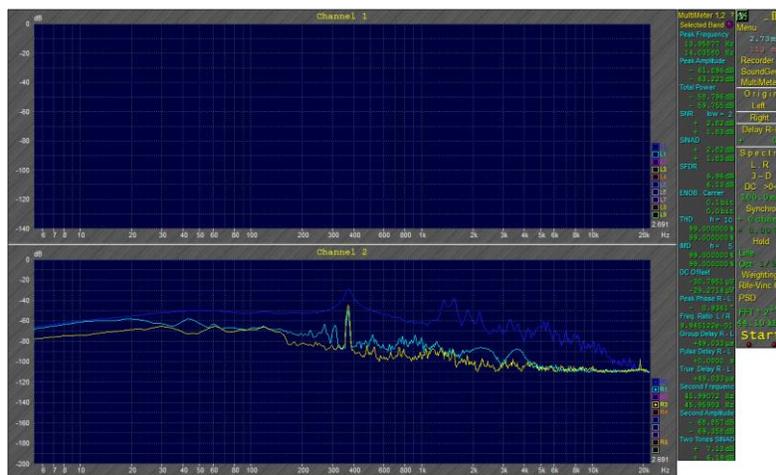
Figura 9. **Caja forma tronco de pirámide caoba**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

En la figura 9, se muestra una caja de caoba con forma de tronco de pirámide, con espesor de 4,5 milímetros.

Figura 10. **Gráfica caja forma tronco de pirámide caoba**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Oscillometerxz.

En la figura 10 la frecuencia natural 372 hertz, -22,948 decibelios en azul, frecuencia del oscilador en celeste 372 hertz, -50,0 decibelios, frecuencia de amplificación amarillo 372 Hz, - 44,615 decibelios, ganancia 5,4 decibelios.

De estos resultados, como era de esperarse, la mayor ganancia se obtuvo del cajón de madera de hormigo que tiene un módulo de elasticidad mayor y el siguiente es el de caoba, quedando de último el de cedro, ver tabla II en la página 29.

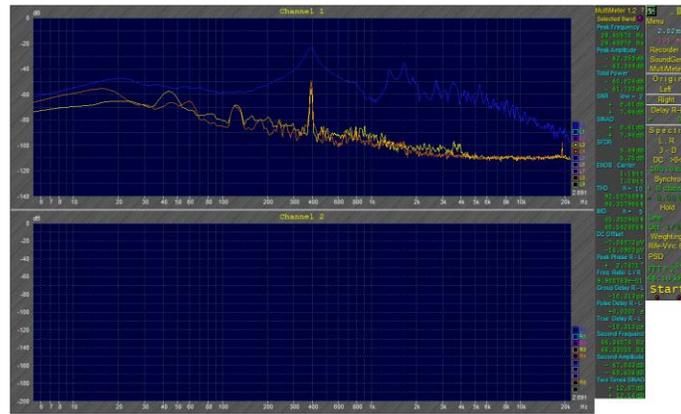
Figura 11. **Caja de forma tradicional**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

En la figura 11, se muestra una caja tradicional de ciprés, con espesor de 4,5 milímetros.

Figura 12. **Gráfica caja de forma tradicional**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Oscillometerxz.

Figura 12, frecuencia natural en azul 394,5 hertz, -23 decibelios, frecuencia del oscilador en amarillo 394,5 hertz, -54,75 decibelios, frecuencia de amplificación en naranja 349,5 hertz, - 48,9 decibelios, ganancia 5,85 decibelios.

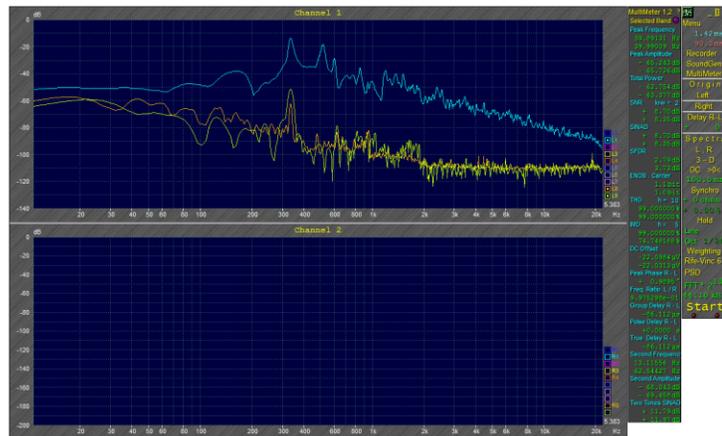
Figura 13. **Caja de forma tradicional de cedro con doble ancho**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

Figura 13, caja de forma tradicional de cedro con doble ancho, espesor de 5,5 milímetros.

Figura 14. **Gráfica caja de forma tradicional de cedro con doble ancho**



Fuente: elaboración propia, con base al programa Oscillometerxz.

Figura 14, frecuencia natural en azul 336,4 hertz, -13,37decibelios, frecuencia del oscilador en naranja 336,4 hertz, -61,71 decibelios, frecuencia de amplificación en amarillo 336,4 hertz, - 51,69 decibelios, ganancia 10 decibelios.

Se puede apreciar la diferencia en la ganancia de decibelios al usar cajas de resonancia más anchas para que capten y amplifiquen el sonido de la tecla.



## 4. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS CAJAS DE RESONANCIA

### 4.1. Selección de las maderas

Las maderas adecuadas para la construcción de las cajas de resonancia son aquellas que tengan hilo recto, libres de nudos y buenas características sonoras, esta última característica se puede observar sosteniendo la madera cerca de los extremos y golpeándola con los nudillos de la mano; si la madera tiene buena sonoridad será apta para las cajas de resonancia, de lo contrario deberá buscarse otras maderas con mejores características. Esta técnica suele emplearse en forma empírica y es el principio de todo un proceso de selección y es bastante subjetiva, ya que depende mucho de la capacidad e instinto de la persona que la emplea. En cuanto a las características mecánicas, lo que se requiere es que la madera sea mejor conductor del sonido la cual se puede calcular de la siguiente manera:

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E = módulo de Young o módulo de elasticidad,  $\rho$  = densidad.

Mientras el módulo de Young sea mayor, el resultado del cálculo de la velocidad del sonido será mayor, y si la densidad tiende a ser más pequeña el valor del cálculo de la velocidad tiende a ser mayor, por ejemplo:

- E=1 y  $\rho=100$  dividir  $1/100 = 0,01$
- E=1 y  $\rho=10$  dividir  $1/10= 0,1$
- E=1 y  $\rho=0,1$  y dividido  $1/0,1= 10$

En conclusión, el módulo de elasticidad debe ser alto y la densidad baja, en otras palabras deben ser una maderas flexibles pero de bajo peso. Por lo que se sugieren los siguientes pasos:

Para la densidad de la madera, pesar un trozo de madera, medir su largo (centímetros), ancho (centímetros) y espesor (centímetros), con estos datos es posible calcular el volumen.

*Volumen = largo x ancho x espesor*

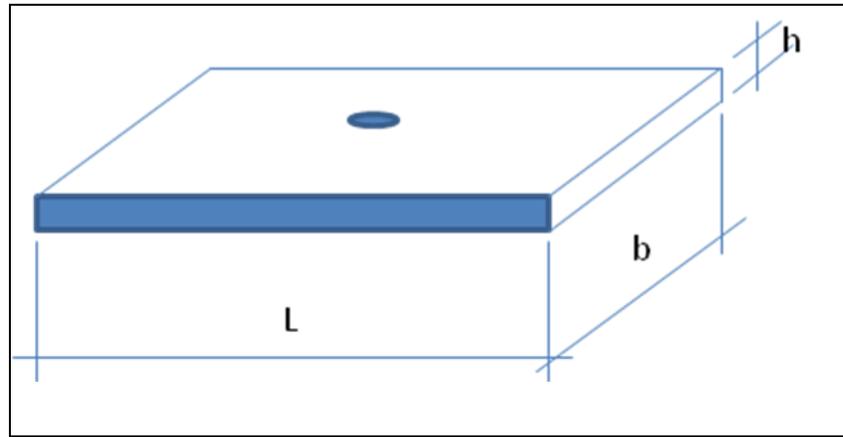
Pesar la madera en gramos

Calcular la densidad  $\rho$

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Para obtener el módulo de elasticidad propongo usar una probeta de la madera que llamara Testigo, la cual está hecha de la madera que se uso para la construcción de las cajas de resonancia y de igual manera se pueden elaborar de las maderas usadas para las teclas. La forma geométrica se presenta en la figura 15

Figura 15. **Esquema de testigo de madera**



Fuente: elaboración propia, con base al programa PowerPoint.

Las medidas recomendadas son  $L= 200$ milímetros,  $b= 20$ milímetros y  $h= 2$  milímetros. El procedimiento es el siguiente:

- Colocar la tablita entre dos reglas a una distancia 150 milímetros.

Figura 16. **Testigo sobre dos reglas a una distancia 150 milímetros**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

- En el agujero de 2 milímetros de diámetro al centro de las tablillas colocar un hilo y un alfiler atravesado, colgando del hilo una sesta pequeña, previo a colocarlos, pesar y anotar el peso.
- Colocar a la par del testigo una tabla gruesa bien rectificada y medir la altura de la tabla a la reglilla con un pie de rey u otro instrumento de medición con precisión mayor o igual a 0,05 milímetros, al momento de hacer la medición de la altura tener cuidado de no deformar el testigo y anotar la medida como H.

Figura 17. **Medición de testigo con pie de rey**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

- Poner un peso  $w$  de 30 gramos y medir la altura de deflexión  $h_1$  en el centro, esta medida anotarla y restarla de  $H$ , el resultado será  $y_1$ , agregar 10 gramos más para tener un total de 40 gramos y volver medir

la altura  $h_2$  y restarla de  $H$  el resultado será  $y_2$ , agregar otros 10 gramos para obtener 50 gramos y medir la altura  $h_3$  y restarla de  $H$  el resultado será  $y_3$ . Con las tres alturas obtenemos el promedio  $y_m$ .

$$y_m = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}$$

- Este valor se sustituye en la ecuación 3

$$1_ \quad y_m = \frac{wl^3}{48EI} \quad \rightarrow \quad E = \frac{wl^3}{48y_m I}$$

$$2_ \quad I = \frac{bh^3}{12}$$

Sustituyendo 2 en 1

$$E = \frac{wl^3}{48y_m \left(\frac{bh^3}{12}\right)} \quad \rightarrow \quad E = \frac{wl^3}{4y_m bh^3}$$

$$3_ \quad E = \frac{wl^3}{4y_m bh^3}$$

Tabla II. **Cálculo de módulos de elasticidad**

MADERA	LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	ALTURA "Y0" PARA PESO 0 gr en cm	ALTURA "Y1" PARA PESO 30 gr en cm	ALTURA "Y2" PARA PESO 40 gr en cm	ALTURA "Y3" PARA PESO 50 grs en cm	PROMEDIO ALTURA "Yp" en cm	"Ym"= Yp- Y 0 gr cm	MÓDULO ELASTICIDAD E PARA 40 GRAMOS en kg/cm <sup>2</sup>
CAOBA	15	2,09	0,20	1,96	1,97	1,99	2,00	1,99	0,03	67 284,69
CEDRO	15	2,09	0,18	1,91	1,96	1,96	1,97	1,96	0,05	53 591,95
CIPRÉS	15	1,80	0,20	1,95	1,98	2,00	2,01	2,00	0,05	46 875,00
HORMIGO	15	1,60	0,20	1,92	1,91	1,96	2,00	1,95	0,03	79 101,56

Fuente: elaboración propia, con base al programa Excel.

Los resultados de estos cálculos son obtenidos indirectamente y no cumplen con los estándares de medición de ASTM u otra norma de medición, pero si están dentro de los promedios de las publicadas por el departamento de agricultura de Los Estados Unidos , en el libro número 607 publicado en 1984 y permiten al constructor de instrumentos musicales establecer un patrón de comparación para estimar la calidad de las maderas que está utilizando, es indispensable anotar los datos en una bitácora o libro de registros e indicar fecha, tipo de marimba, los valores del módulo de Young, densidad y velocidad del sonido.

Esta información dará con el tiempo la experiencia necesaria para establecer qué tipo de maderas se pueden utilizar para obtener mejores resultados en la selección de las maderas, con lo cual se podrá establecer la calidad de la marimba que incluye las teclas y las cajas de resonancia.

Actualmente, las maderas más utilizadas para la construcción de cajas de resonancia para las marimbas son el cedro y el ciprés.

#### **4.2. Proceso de preparación**

Las maderas que se utilizan para la construcción de instrumentos musicales, deben ser secadas previamente, por lo general se recomienda que se almacenen durante 3 a 5 años previos a empezar la construcción, esto se debe a que las maderas recién cortadas contienen mucha humedad y tienden a pesar más y la densidad es mayor. Al secarse la madera se contrae y esto genera deformaciones no deseadas, durante este tiempo la madera puede presentar fallas de agrietamiento, deformaciones y otros posibles defectos, por lo que sería necesario descartarlas para la construcción de instrumentos musicales, ya que perjudicarían la calidad y vida del instrumento.

Otra manera de preparación es secando las maderas al horno y dejarlas reposar por períodos no menores a un año, este método es motivo de polémica, ya que muchos constructores de instrumentos musicales a nivel mundial argumentan que el proceso es demasiado brusco y cambia las propiedades intrínsecas de la madera, perdiendo la elasticidad original de las fibras, en otras palabras las ablanda. Para almacenar la madera se recomienda colocarla sobre polines en un lugar fresco y seco con suficiente ventilación, como se muestra en la figura 18.

Figura 18. **Madera colocada sobre polines**



Fuente: elaboración propia, en venta de maderas El caminante.

#### **4.3. Trazado, corte y pegado de las cajas de resonancia**

Para el trazado y corte de la madera, lo primero que debe hacerse es cantear la madera, luego cepillarla para darle el espesor requerido, luego se procede hacer las plantillas de las cajas de resonancia.

Con las plantillas se traza, teniendo cuidado de seleccionar el hilo de la madera, se procede al corte, doblado y pegado de las partes. Para armar las cajas seleccionar el pegamento o cola, que pueden ser de origen animal, utilizar cola de conejo o de pescado, estas son ideales para la construcción de instrumentos musicales.

Su preparación consiste en dejarlas remojar toda la noche y cocer en baño maría lo que se va a utilizar, teniendo cuidado de que no sobrepase los 60 grados centígrados de temperatura, ya que al sobrepasarlos cambia sus propiedades, modificando su estructura molecular por el efecto del calentamiento, estas colas no se deben calentar por segunda vez pues pierden sus propiedades.

Las colas de origen animal, generan una junta fuerte y con dureza aptas para la transmisión del sonido y vibraciones, las colas blancas a base de acetato de polivinilo son buenos adhesivos, pero para la fabricación de instrumentos musicales son perjudiciales pues forman una capa plástica absorbente que opaca la propagación del sonido.

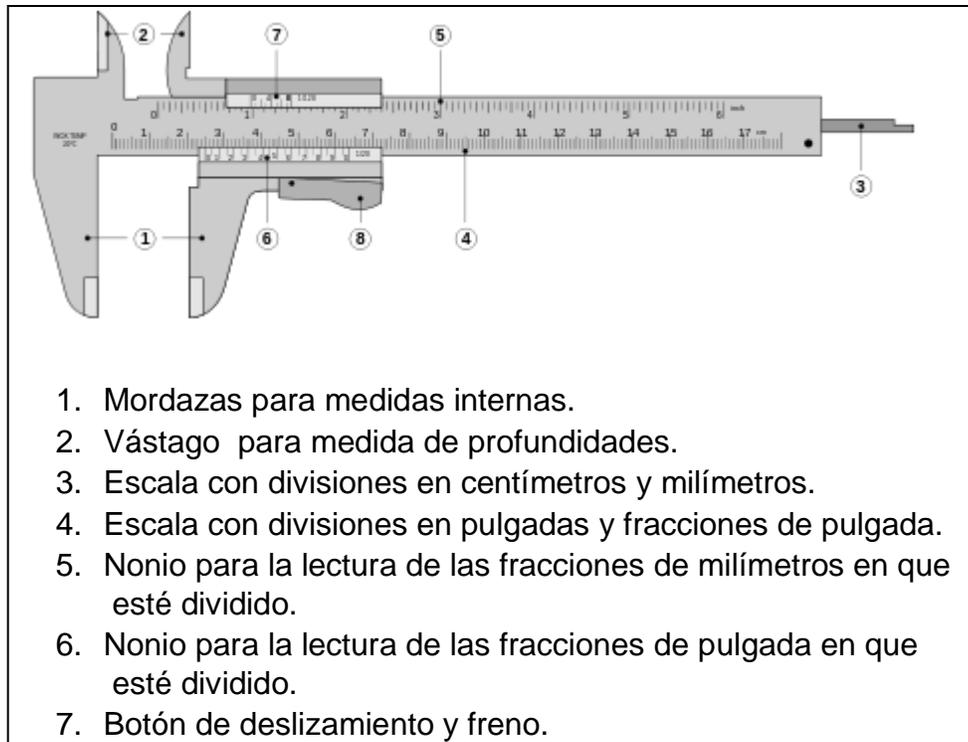
## **5. MEDICIONES**

### **5.1. Metrología apropiada para las cajas de resonancia**

Para la construcción de las cajas de resonancia se utilizará madera por lo que es necesario medir su densidad, calcular en forma indirecta el módulo de elasticidad y se necesitan medir longitudes, espesores, volúmenes y peso.

Para la medición de las longitudes, la unidad de medida es el metro cuya abreviatura es m, el metro se divide en cien partes iguales a las cuales se llamará centímetros cm y también en 1 000 partes iguales a las cuales se llamará milímetros mm, cada parte del milímetro se puede dividir en cien partes iguales a las cuales se llamará centésimas de milímetro. Para fines prácticos se puede medir con una precisión de cinco centésimas de milímetro 0,05 milímetros, usando un pie de rey, el cual se muestra en la figura 19.

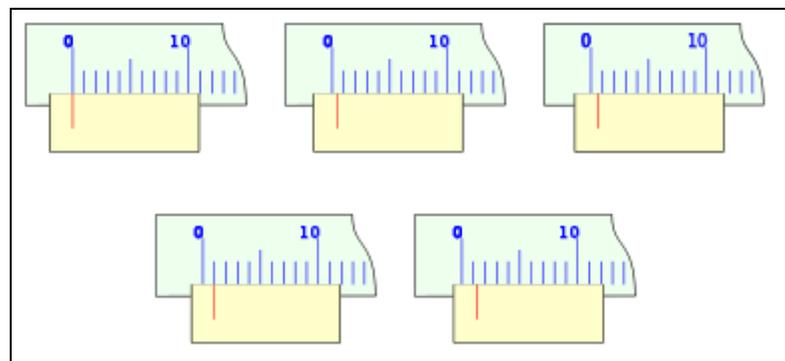
Figura 19. **Pie de rey**



Fuente:es.wikipedia.org/wiki/calibre\_(instrumento). Consulta: 12 de julio 2012.

La lectura de un pie de rey se puede explicar mediante los dibujos que se muestran en la figura 20

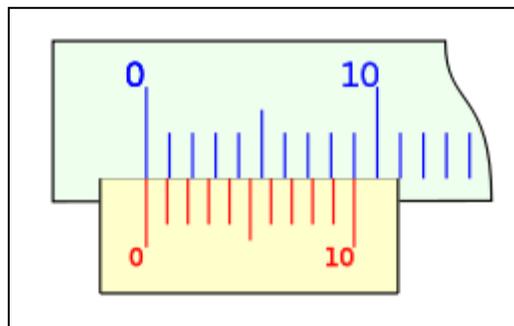
Figura 20. **Lectura del pie de rey**



Fuente:www.commonswikipedia.org/wiki/file:calibre\_e0000.svg. Consulta: 12 de julio 2012.

Se tiene una regla sobre la cual está grabada la escala principal, en este caso milímetros y una corredera móvil con un fiel o punto de medida que se mueve a lo largo de la escala principal. En una escala de medida, se puede apreciar hasta su unidad de división más pequeña, siendo esta la apreciación con la que se puede dar la medición; es fácil observar que entre una división y la siguiente hay más medidas, que unas veces está más próxima a la primera de ellas y otras a la siguiente

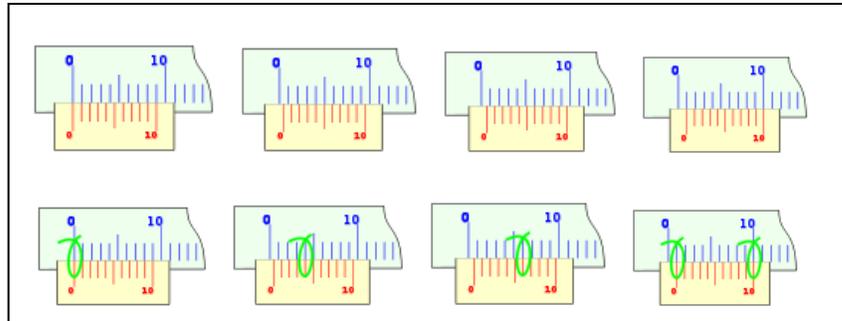
Figura 21. **Lectura del nonio**



Fuente: [www.commonswikipedia.org/wiki/file:calibre\\_g0000.svg](http://www.commonswikipedia.org/wiki/file:calibre_g0000.svg). Consulta: 12 de Julio 2012.

Para poder medir con mayor exactitud, existe la segunda escala que se llama nonio y cuyo fiel es el 0. La escala de 0 a 10 en color rojo representa el nonio y su función es dividir la medida más pequeña de la escala principal en azul, en el número de divisiones que tenga el nonio, es decir que cada línea del nonio representado es equivalente a  $1/10$ , ya que el nonio tiene 10 divisiones solamente, si el nonio tuviera 20 divisiones cada una representaría  $1/20$  de milímetro que es equivalente a 0,05 milímetros.

Figura 22. **Lectura de nonios**

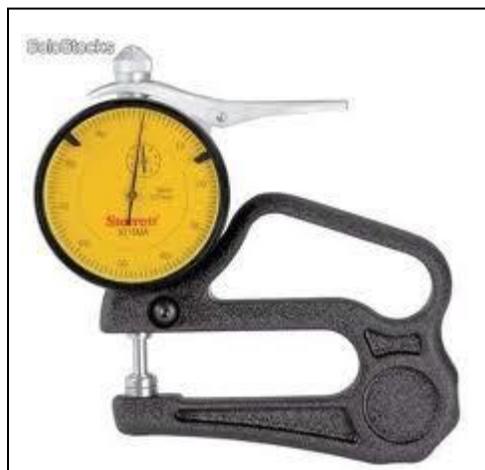


Fuente: [www.commons.wikipedia.org/wiki/file:calibre\\_g0000.svg](http://www.commons.wikipedia.org/wiki/file:calibre_g0000.svg).

Consulta 12 de julio 2012.

El reloj comparador es otro instrumento de medición que se puede utilizar, para medir profundidades o espesores de acuerdo con el tipo de aditamento que se utilice.

Figura 23. **Reloj comparador para espesores**

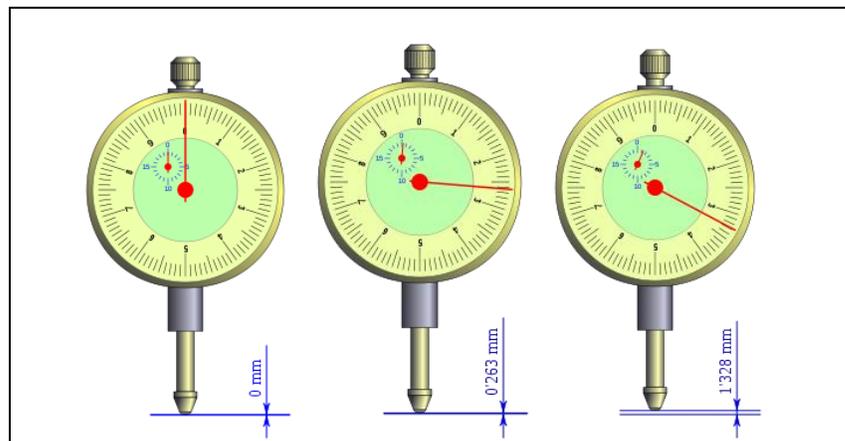


Fuente: [es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_comparador](http://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_comparador).

Consulta: 12 julio 2012.

Cuando la aguja esté entre dos divisiones se toma la más próxima, redondeándola. En la esfera del reloj comparador hay dos manecillas, la de menor tamaño indica los milímetros, y la mayor las centésimas de milímetro, primero se mira la manecilla pequeña y luego la mayor, medida a la resolución del instrumento:

Figura 24. **Lectura de reloj comparador**



Fuente: [wikipedia.org/wiki/rile:relojcomparador\\_00\\_000.svg](http://wikipedia.org/wiki/rile:relojcomparador_00_000.svg).

Consulta 12 julio 2013

En la figura 24 se pueden observar tres relojes: el primero indica 0 milímetros y en el segundo la lectura será 0,26 milímetros, si bien el valor exacto es mayor (0,263 milímetros según se indica), la lectura nunca debe darse con mayor precisión de la resolución que tenga el instrumento. En el tercero la lectura será de 1,33 milímetros.

Para la medición de los pesos con una balanza o pesa electrónica que mida en gramos.

Figura 25. **Balanza**



Fuente: [www.definicionabc.com/tecnologia/balanzaelectronica.php](http://www.definicionabc.com/tecnologia/balanzaelectronica.php).

Consulta: 14 de julio 2012.

## 5.2. Cálculos teóricos de las frecuencias

Las frecuencias de las cajas de resonancia se pueden obtener a partir del cálculo del resonador de Helmholtz

- $f$  = frecuencia de resonancia
- $s$  = velocidad del sonido en el aire
- $r$  = radio del cuello (supuesto circular)
- $a$  = área del cuello
- $l$  = longitud del cuello
- $L'$  = longitud efectiva del cuello, se determina de la siguiente manera:
- $L' = l + 1,7r$  (si el borde del cuello está achaflanado)
- $L' = l + 1,4r$  (si el borde del cuello es rectangular)
- $V$  = volumen

Una cavidad con un orificio, en lugar de cuello, se comporta como achaflanado con longitud del cuello nula.

En el caso de los cajones de resonancia de la marimba no tienen ningún cuello, por lo que se asume que la longitud del cuello es nula y  $L' = 1,7r$ . por lo que la ecuación queda de la siguiente manera:

$$f = \frac{s}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{L'v}}$$

S= velocidad del sonido en el aire es 343 m/segundo que es equivalente a 343 000 milímetros/segundo.

### **5.3. Medición de las frecuencias de resonancia e intensidad del sonido de salida de las cajas de resonancia**

Esta se puede realizar de diferentes maneras, en la actualidad con una computadora portátil, un micrófono y un software que tenga osciloscopio y mida frecuencias y decibelios, donde la frecuencia estará dada en hertz y la intensidad en decibelios, otra manera es a través de equipos especializados en el tema, por ejemplo: se golpea el cajón de resonancia con los nudillos cerca de un micrófono conectado a un medidor de frecuencias, el sonido emitido y su intensidad son registrados y de acuerdo con la tabla de frecuencias y la nota musical correspondiente se determina la nota musical a la cual pertenece.

### **5.4. Calibración de las cajas de resonancia**

Una vez se tiene la caja de resonancia, se sujeta con las yemas de dos dedos en una esquina y a un cuarto de la longitud total, se golpea con los nudillos de la mano para escuchar la frecuencia a la cual vibra, esta frecuencia

es la fundamental, se puede usar el osciloscopio o un afinador electrónico, si la frecuencia es más alta se le recorta a la caja, si la frecuencia es más baja se tendrá que reducir el área de la salida de la caja de resonancia.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados obtenidos por el tipo de madera, se pudo observar que las de mayor módulo de elasticidad propagan mejor el sonido en las cajas de resonancia, tal es el caso de el hormigo, caoba, cedro y ciprés.
2. Se obtiene mayor volumen y claridad de sonido en las maderas que poseen un mayor módulo de elasticidad.
3. El espesor de la madera de las cajas de resonancia influye en que estas puedan vibrar a una frecuencia armónica con la nota musical a la cual fue afinada, solo entonces la ganancia será mayor.
4. En cuanto a la forma se puede observar que la ganancia aumenta cuando mayor es el área expuesta, ya que al poder obtener toda la energía que libera la tecla al ser golpeada, mayor será la amplificación que se obtendrá.
5. Las maderas con mayor módulo de elasticidad se caracterizan por ser más difíciles de trabajar y tienen mayor dificultad para construir las cajas de resonancia debido a que el poro es más cerrado.



## RECOMENDACIONES

1. Es importante la selección de la madera, el tipo de corte, el secado y la manipulación, para que el resultado final sea un instrumento musical de buena calidad y durabilidad.
2. Sellar el poro de las cajas de resonancia en la parte interna para evitar que la madera se hinche o absorban humedad modificando su densidad perdiendo su afinación.
3. Guardar las marimbas en lugares secos, resguardándolas de cualquier humedad que pueda afectar la vida útil y la calidad del sonido.
4. Al construir las cajas de resonancia de maderas duras como el hormigo, para las notas más bajas, se requieren cajas de un gran volumen y que el grosor de las mismas sea menor a 2 milímetros, se corre el riesgo que estas se agrieten en el traslado de las marimbas, pero las últimas dos octavas de la marimba se pueden construir perfectamente con este tipo de maderas, cuyas medidas no son tan grandes como las primeras y los resultados pueden ser mejores.
5. En el proceso de las mediciones de varias marimbas se pudo observar que los armónicos que emiten las teclas musicales no aparece el segundo armónico, es decir que, si la nota musical es sol 2 al cual corresponde una frecuencia de 98 hertz según tabla, el segundo armónico debería ser sol 3 de 196 hertz, el tercer armónico sería sol 4 de 392 hertz y así sucesivamente, pero el segundo armónico no se genera,

por lo que es necesario hacerle algunos cambios al diseño de las teclas, los cuales presentan en los apéndices 1,2 y 3.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASENCIO, Francisco, C. *Biblioteca atrium de la madera*. España: Océano/Centrum, 1992.
2. BAUMEISTER, Theodore; et.al. *Marks Manual del ingeniero mecánico*. 2a ed. México: McGraw-Hill. 1981. 1546 p.
3. BAUTISTA, Alfonso; AMAURI, Ángel. *La marimba en Guatemala*. 2a ed. Guatemala: Cultura y Marimba de concierto de Bellas Artes, 2003. 162 p.
4. CHUDNOFF, Martín. *Tropical timbers of the world*. USA: Departamento de agricultura, 1984. 466 p.
5. OBERG, Erik; et. al. *Manual universal de la técnica mecánica*. 2a ed. España: Labor, 1984, 2446 p.
6. SALAZAR TETZAGUIC, Manuel de Jesús. *Rubey'al Tijonik Q'ojom, enseñanza de la marimba*. Guatemala: Nojib'sa, UNESCO, 2002. 51 p.
7. VALLADARES, Jaime L. *Guía para el secado de la madera en horno*, Guatemala: Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, ICAITI. 1989, 105 p.

8. VILA, R. Roca; LEON Juan L. *Vibraciones mecánicas*. México: Limusa, 1996, 399 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. **Tecla modificada**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

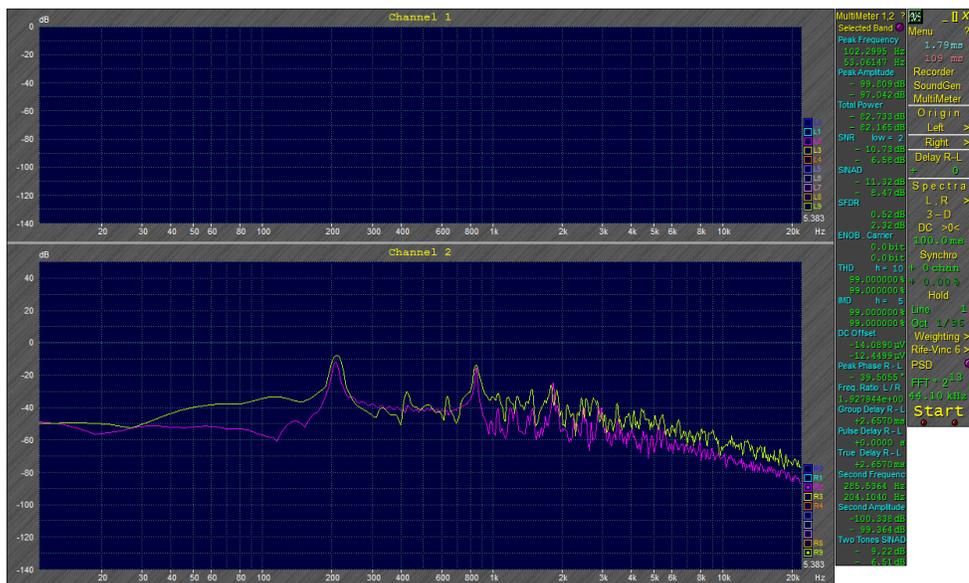
### Apéndice 2. **Tecla modificada 2**



Fuente: elaboración propia, en taller de instrumentos musicales Dardón.

Con estos cambios se le da mayor flexibilidad a la tecla, mejorando la calidad del sonido y el volumen o ganancia.

### Apéndice 3. Gráfica frecuencias tecla modificada



Fuente: elaboración propia, con base al programa OscilloMeterxz.

- En el apéndice 3 se muestra el canal 2 parte de abajo, el gráfico de frecuencia en las ordenadas y en las abscisas decibelios, en violeta se marca el espectro de la tecla original y en amarillo el de la tecla modificada, se puede observar que la segunda armónica aparece más desarrollada lo cual mejora la calidad del sonido y mejora la ganancia de decibelios. Los datos son los siguientes:

- Primer armónico inicial 207,8 hertz, -11,84 decibelios
- Final 209,85 hertz, -7,20 decibelios
  - Ganancia 4,64 decibelios

- Segundo armónico inicial 425,66 hertz -38,425 decibelios
- Final 425,40 hertz , -30,166 decibelios
  - Ganancia 8,26 decibelios
  
- Tercer armónico inicial 850,25 hertz -15,62 decibelios
- Final 850,25 hertz -13,45 decibelios
  - Ganancia 2,17 decibelios

Se observa que la gráfica amarilla tiene mayor ganancia, enriqueciendo el sonido generado por la tecla.

