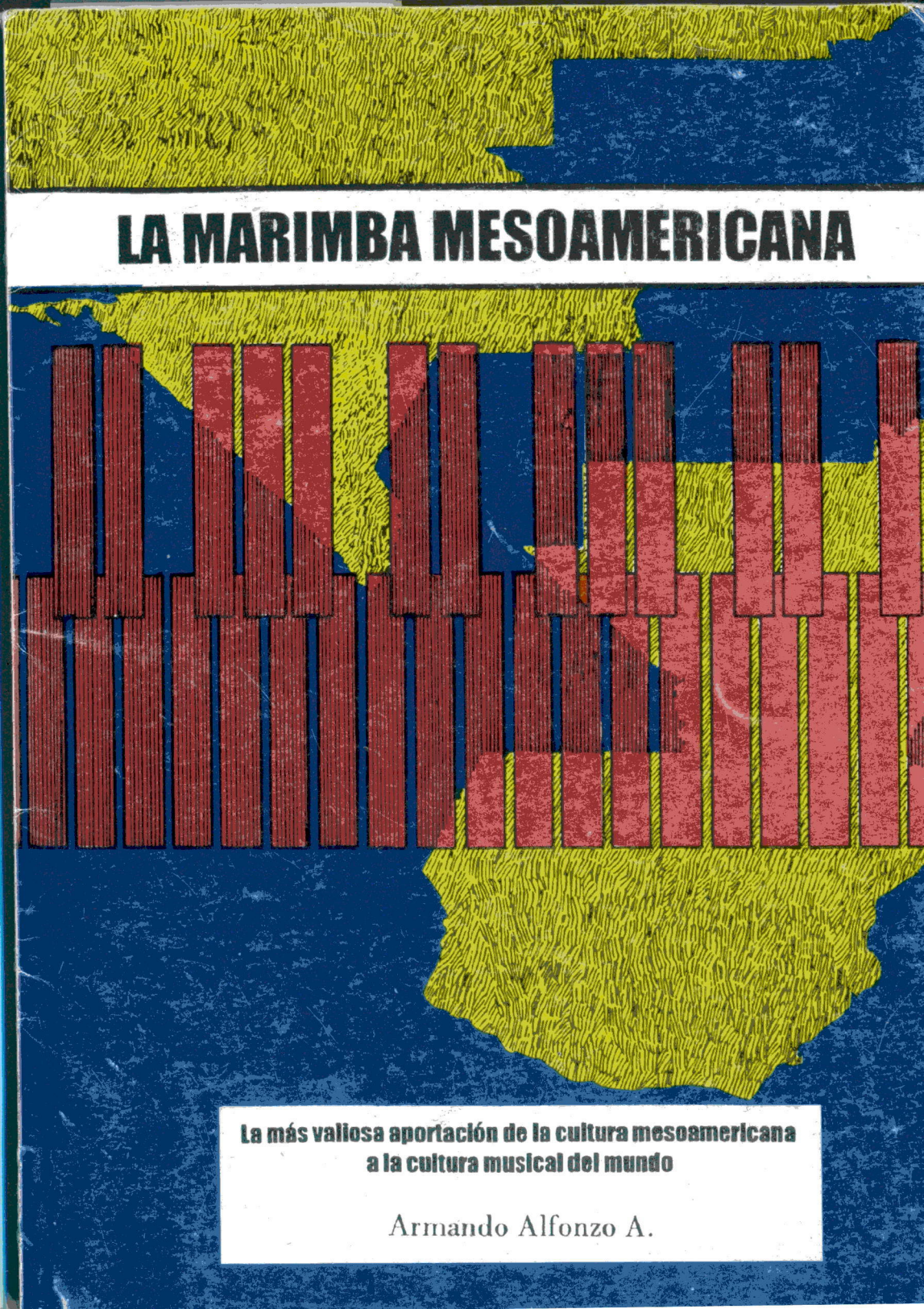


The background of the cover features a stylized graphic of a marimba keyboard. The keys are represented by vertical rectangular bars of varying heights, colored in red and yellow. These bars are set against a dark blue background that has a textured, mottled appearance. The overall design is bold and graphic, with a high-contrast color palette.

LA MARIMBA MESOAMERICANA

**La más valiosa aportación de la cultura mesoamericana
a la cultura musical del mundo**

Armando Alfonso A.

CAPITULO III

ANALISIS MATEMATICO DE LA CADENA ACUSTICA DE LA MARIMBA CHIAPANECA

1 INTRODUCCION

La, para mí, maravillosa evolución que en la región mesoamericana de Chiapas y Guatemala tuvo el primitivo "rongo" o "balafón" africano, hasta convertirse en un hermoso instrumento musical, la "marimba cromática mesoamericana", se alcanzó empíricamente.

Las técnicas y los secretos de la fabricación de marimbas se han desarrollado por el penoso y lento proceso de ensayo y error. Estas técnicas y secretos se han transmitido de maestros a aprendices, de padres a hijos por aprendizaje directo. No existe, hasta donde he podido indagar, ningún tipo de registro sobre ellas, aparte de las plantillas que la mayoría de los constructores emplean pero que muy poco dicen a un lego en el asunto.

Quedan muy pocos constructores de marimbas en el estado de Chiapas y algo similar debe estar sucediendo en la república de Guatemala. La tendencia es hacia la desaparición de estos escasos artesanos. Esto es, según mi apreciación personal, un peligro real.

Movido por mi gran apego a la música, en general, y a la música de marimba, en particular, y por la gran admiración y respeto que tengo para los virtuosos de este instrumento y sus humildes constructores, decidí, tal vez temerariamente, lanzarme a investigar lo mucho que ya se conoce sobre la acústica y las vibraciones mecánicas, aplicable a la marimba.

La Dirección General de Institutos Tecnológicos, en una de cuyas escuelas yo prestaba mis servicios como profesor investigador de un Centro de Graduados, tuvo a bien concederme un año sabático, entre agosto de 1993 y agosto de 1994 período que dediqué a desarrollar el trabajo que titulé "Análisis Matemático de la Cadena Acústica de la Marimba Chiapaneca"

Este trabajo, totalmente terminado en su parte teórica, se dividió en los siguientes capítulos:

Capítulo I Temperamento de la Escala Cromática.

Capítulo II	Afinación de los Instrumentos Musicales.
Capítulo III	La Afinación por el Método de las Pulsaciones.
Capítulo IV	Análisis Matemático de las Vibraciones de las Teclas.
Capítulo V	Determinación de los Puntos Nodales.
Capítulo VI	Cálculos para los Resonadores.
Capítulo VII	Los Zumbadores.
Capítulo VIII	Análisis de la Marimba Chiapaneca.
Capítulo IX	Rediseño de la Marimba Chiapaneca.
Capítulo X	Comentarios y Conclusiones.

De este trabajo daré, escuetamente, las ecuaciones obtenidas para calcular ciertas características de componentes de la marimba chiapaneca, es decir, teclas, puntos nodales, longitud de resonadores y tensión en las membranas de los zumbadores.

Finalmente haré algunas consideraciones sobre lo que la teoría señala como posibilidades de mejoramiento de la marimba chiapaneca.

2 RESULTADOS DEL ANALISIS MATEMATICO

El análisis matemático se orientó a los cuatro temas siguientes:

- Relaciones entre las formas geométricas, dimensiones y material de que se hace una tecla y la frecuencia fundamental que su vibración produce.
- Relación entre la longitud de la tecla y su longitud nodal, para determinadas formas geométricas.
- Longitud de los resonadores en función de la frecuencia fundamental y la temperatura absoluta del aire ambiente.
- Determinación de la frecuencia fundamental del zumbador en función del diámetro del agujero, la tensión perimetral en la membrana y la masa de la membrana por unidad de área.

2.1 FRECUENCIA FUNDAMENTAL DE LAS TECLAS

El análisis se hizo para una tecla de forma prismática y sección transversal rectangular, uniforme a todo lo largo de la tecla como se muestra en la figura 21. Esta tecla debe estar soportada, físicamente, sobre sus puntos nodales, es decir, aquellos que permanecen fijos durante la vibración de la tecla.

$$L = 1.027902295 \sqrt{\frac{e}{f}} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

En esta expresión

L es la longitud de la tecla en cm

e es el espesor o grueso de la tecla en cm

f es la frecuencia fundamental en Hz

E es el módulo de elasticidad longitudinal del material en N / cm²

P es la masa específica del material, en g / cm³

2.2 POSICION DE LOS PUNTOS NODALES

La longitud nodal de una tecla soportada en sus nudos y vibrando con su frecuencia fundamental se determina estableciendo que la cantidad de movimiento de la tecla se mantiene continuamente igual a cero durante el tiempo de su vibración. Se encuentra, entonces:

$$l = 0.56066418 L$$

En esta expresión

l es la longitud nodal expresada en las mismas unidades de longitud de L

L es la longitud de la tecla, expresada en cualesquiera unidades de longitud.

2.3 LONGITUD PARA LOS RESONADORES

El análisis de la propagación de una onda longitudinal en una barra prismática elástica, empotrada en uno de sus extremos y libre en el otro, es equivalente a la condición en que se encuentra la columna de aire dentro de un resonador acústico abierto por uno de sus extremos y cerrado en el opuesto. Esta situación exige que la longitud del resonador, entre la boca y el fondo, sea la cuarta parte de la longitud de onda de la vibración elástica. Para el caso del sonido, esto sería la cuarta parte de la longitud de la onda sonora de la frecuencia fundamental deseada, es decir:

$$L = \frac{5027.319118}{f} \sqrt{T}$$

Expresión en la que

L es la longitud del resonador en cm.

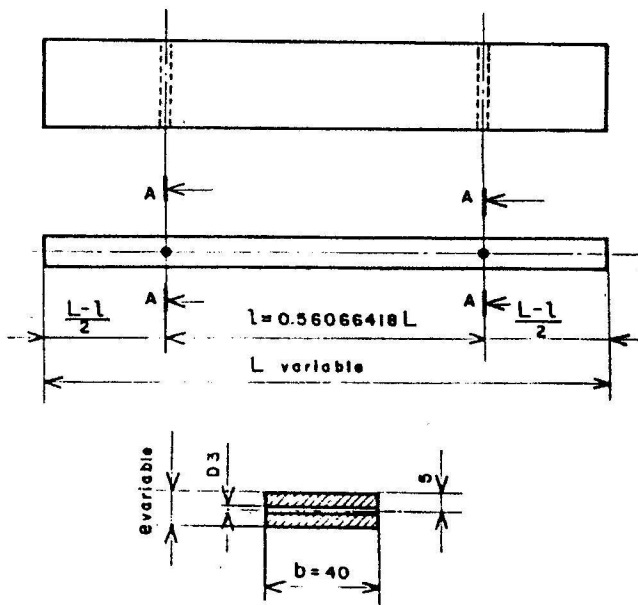
f es la frecuencia fundamental de la nota, en Hz

T es la temperatura del aire ambiente en K

Los resonadores que se usan actualmente se muestran en la figura 23 y son de longitud constante.

2.4 LOS ZUMBADORES

Lo que llamo “zumbadores”, en este trabajo, son una especie de pequeños timbales formados por un cuerpo cilíndrico hueco hecho de madera suave, instalados en la parte inferior de los resonadores, y cuya boca está cubierta por una fina membrana que se adhiere al cuerpo



CORTE A-A

FIGURA 21

TECLA DE SECCION
RECTANGULAR CONSTANTE

La marimba mesoamericana

por medio de cera de abeja. Al vibrar la columna de aire del resonador, transmite su vibración a la membrana cuya frecuencia fundamental debe ser la misma del resonador. La membrana, además de la frecuencia fundamental, da un gran número de otras frecuencias que no son armónicas de la fundamental, lo cual produce la sensación de zumbido en el oído humano.

Hay una relación compleja entre el diámetro de la membrana circular, su masa por unidad de área, la tensión perimetral con la que se estira la membrana y la frecuencia fundamental que se obtiene al excitarla.

Las expresiones matemáticas que relacionan todas estas variables son las siguientes:

$$f = 2.40 \sqrt{\frac{t}{\rho r^2}}$$

$$f = 4.26 \sqrt{\frac{t}{\rho a}}$$

En las expresiones anteriores

f es la frecuencia fundamental en Hz

t es la tensión perimetral expresada en lb / plg

P es la masa por unidad de área de la membrana, en lb / plg²

r es el radio de la membrana expresado en plg

a es el área de la membrana expresada en plg²

3 ANALISIS DE LA MARIMBA CHIAPANECA

Para realizar un análisis detallado de la marimba chiapaneca, adquirí, en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, un típico ejemplar de "requinta", es decir, una marimba de cuatro octavas y media la cual desarmé totalmente y procedí a realizar las mediciones necesarias para tener una información completa sobre ese ejemplar.

Con toda esa información, procedí a realizar una serie de dibujos técnicos en los que quedaron plasmadas las formas y las dimensiones de todos los elementos que componen la marimba, y varios dibujos de conjunto que muestran la asociación o ensamble de todos estos

elementos o componentes del instrumento.

Este trabajo de análisis me llevó a considerar varias posibilidades de mejoras en el diseño de las marimbas:

3.1 FORMA DE LAS TECLAS

La forma de las teclas se muestra en la figura 22 y mis observaciones al respecto son las siguientes:

- La forma trapezoidal, que en la vista superior tienen las teclas, no permite una determinación sencilla de la longitud nodal "l"
- Las relaciones entre las longitudes nodales "l" y las longitudes "L" de las teclas, tienen un valor cercano al teórico de 0.56066418 válido para una tecla de forma prismática con sección transversal rectangular constante en toda su longitud.
- La sección transversal de las teclas dista mucho de ser constante, por necesidades prácticas de sujeción y afinación, consecuentemente, la determinación precisa de la longitud nodal se hace muy difícil.
- Los anchos "b" de las teclas disminuyen con la disminución de su longitud "L"

Estas características de las marimbas chiapanecas actuales me llevan a las siguientes consideraciones:

- (1) Es muy probable que la mayoría de las teclas no estén perforadas en sus puntos nodales precisos y, consecuentemente, su sonido no resultará todo lo nítido y prolongado que pudiera ser si la suspensión fuera más precisa.
- (2) La disminución del ancho "b" con la longitud "L" de las teclas debe hacer más difícil la ejecución que si el ancho "b" fuera constante, como lo es en el caso de los xilófonos y los vibráfonos.

3.2 LONGITUDES FIJAS DE LOS RESONADORES

Todos los resonadores de las marimbas chiapanecas son de longitudes fijas que se ajustan después de haber afinado todo el teclado. Véase la figura 23. La teoría indica que la longitud de un resonador de esta naturaleza está afectada por la temperatura ambiente; un análisis sencillo muestra que en las teclas graves pueden haber diferencias de unos 5 centímetros, o más, cuando la temperatura varía unos treinta grados centígrados.

Esta variación de temperaturas puede darse fácilmente entre

ciudades tan cercanas como Chiapa de Corzo, donde se fabrican marimbas en un clima cálido, y San Cristóbal de Las Casas, donde se usan las marimbas en un clima frío. Parece, pues, conveniente el diseño de resonadores de tipo telescópico que permitan un ajuste rápido y fácil de su longitud.

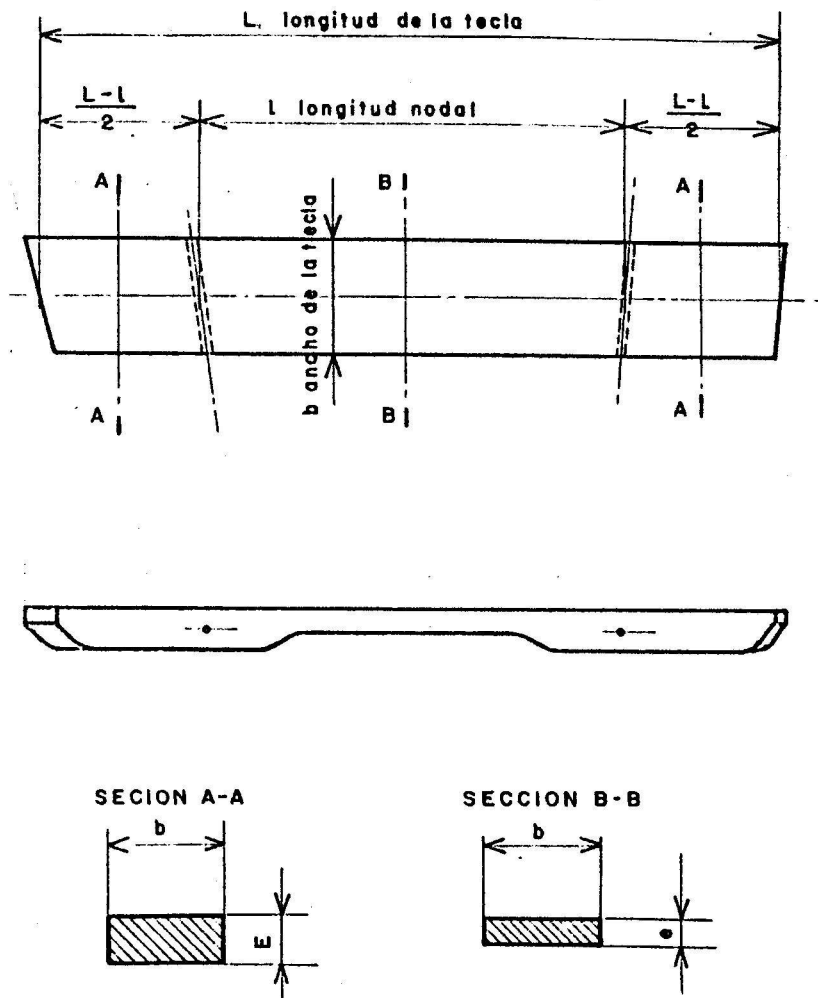


FIGURA 22

FORMA DE LAS TECLAS DE LAS
MARIMBAS MESOAMERICANAS

3.3 TENSION DE LAS MEMBRANAS

La tensión que se da a las membranas es uno de los factores que determina la frecuencia fundamental de su vibración. Actualmente esta tensión se ajusta manualmente adhiriendo la membrana a la cera de abeja que se unta a las cachimbas que la soportan. Después de haber sido tensadas adecuadamente, pueden perder fácilmente esa tensión y variar sensiblemente el nivel del zumbido. Según he observado, los niveles de zumbido en los teclados de las marimbas es muy variable de una tecla a otra lo que, a mi juicio, deteriora la calidad del sonido.

Creo que es necesario diseñar un dispositivo que permita regular con mayor precisión la tensión perimetral de las membranas y que mantenga dicha tensión dentro de límites aceptables para mejorar la uniformidad del zumbido en toda la extensión del teclado.

4 COMENTARIOS FINALES

El capítulo IX de mi trabajo titulado “Análisis Matemático de la Cadena Acústica de la Marimba Chiapaneca” está dedicado a un primer intento de rediseño de este instrumento musical. Allí se encuentran los dibujos que definen el instrumento adquirido en San Cristóbal de Las Casas, es decir, una típica marimba chiapaneca en su estado actual, además, se dan todos los dibujos para un nuevo teclado, los resonadores telescópicos y los dispositivos para tensar las membranas en los “zumbadores”

Este rediseño está basado en la teoría desarrollada previamente lo cual no garantiza que sean las soluciones adecuadas a los problemas planteados. Solamente se podría afirmar algo al respecto, después de haber construido y evaluado cuando menos un prototipo con las modificaciones del rediseño.

La construcción y prueba de uno o más prototipos es, pues, una tarea necesaria para detectar y corregir los errores que posiblemente tenga este rediseño. De ser así, una vez localizados sería necesario modificar el diseño y el o los prototipos para eliminarlos y afinar todos los detalles que lo requieran hasta obtener resultados satisfactorios.

Lo que he hecho, hasta el momento, no es más que el primer paso de un largo camino por recorrer y que tiene como meta el mejoramiento de las características tecnológicas y acústicas de la marimba chiapaneca para que este bello instrumento, tan nuestro, pueda mantenerse en un primer plano musical a pesar de las fuertes presiones de otros instrumentos musicales los cuales, con una tecnología más avanzada, la están desplazando poco a poco.

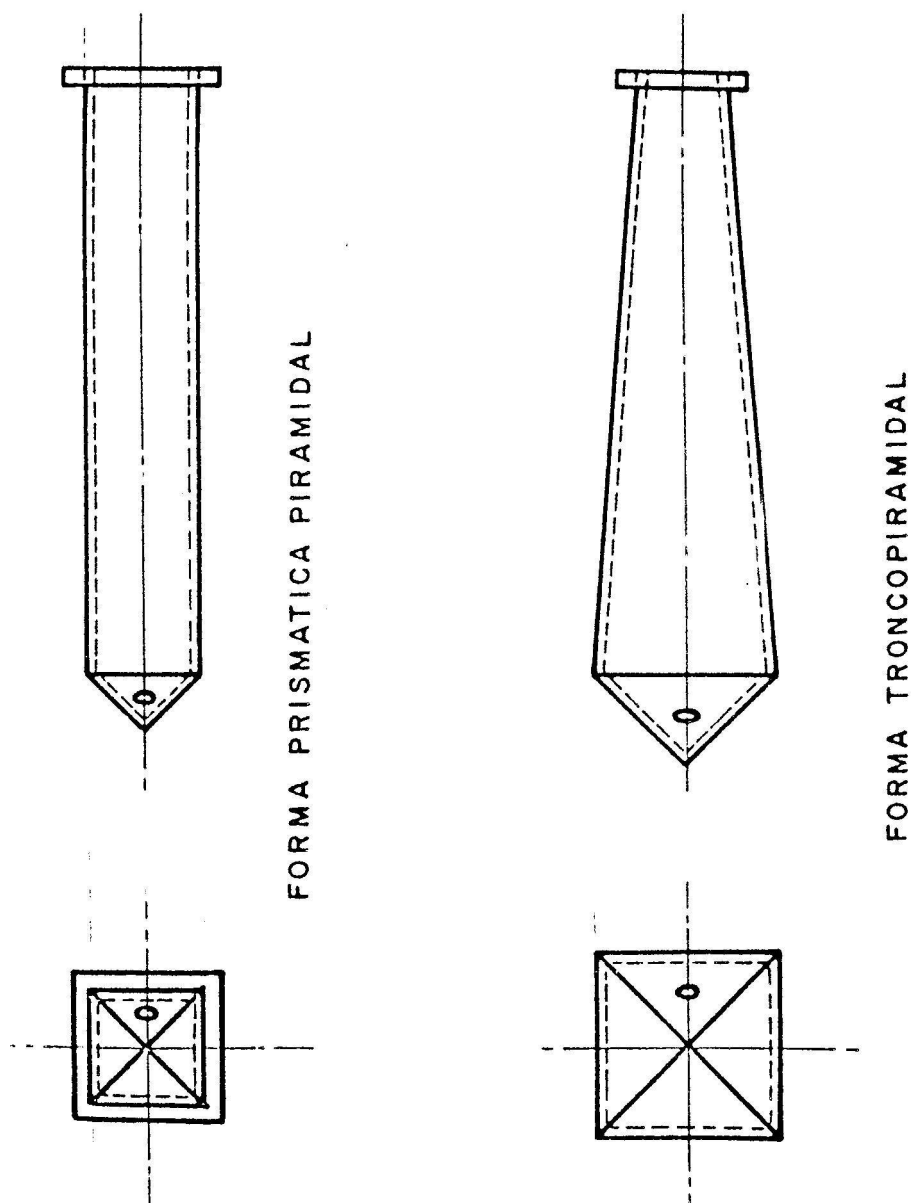
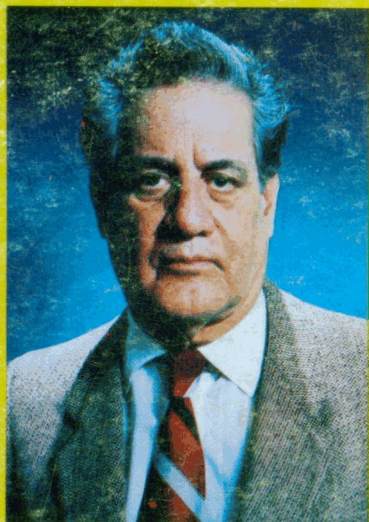


FIGURA 23

FORMAS TÍPICAS DE LOS
RESONADORES DE LAS
MARIMBAS CHIAPANECAS

“La Marimba Mesoamericana”



Don Armando Alfonzo Alfonzo, chiapaneco universal, políglota, polifacético, lo mismo especialista en vuelos aeronáuticos que hombre de ciencia y costumbrista acrisolado (“Comitán 1940”, “Solo para Comitecos”, “Comitecadas en Verso”, “Uninajab”), nos entrega ahora “La Marimba Mesoamericana”, como regalo a una posteridad resguardada en las emociones que sólo despierta el canto de marimba.

Su estudio del piano lo llevó a la marimba, a investigar quiénes fueron sus hacedores y cuáles sus conversiones

desde el Rongo o Bafalón africano hasta la marimba cromática actual que en Zeferino Nandayapa, los Hermanos Molina Argueta, particularmente Cliserio y Flavio, Mario Penagos, Jorge Aquino, Enrique Penagos, Ricardo Ruiz, Límbano Vidal, Alberto Peña Ríos y Don Manuel Vleeschower Borraz, tiene a algunos de sus máximos exponentes y promotores contemporáneos en Chiapas.

En los dinteles del tercer milenio, cuando sufriendamente presente que el instrumento dador de notas dolorosas y alegres como el amor mismo y de la identidad cultural de nuestro pueblo está en peligro de desaparecer, ya porque la modernidad modifica los gustos musicales desplazando a la marimba de las fiestas populares, ya porque cuando muere un hacedor de marimbas son cada vez menos los que siguen ese arte, el autor se decide a darnos este testimonio de infinita sapiencia y generosidad, cuya principal aportación es haber creado un sistema matemático para eternizarla, dándonos científicamente las pautas acústicas exactas de su construcción, para que la magia de su encanto no se pierda en la selva en forma de árbol de hormiguillo y para que la marimba siga en el alma de nuestro pueblo.

Tuxtla Gutiérrez, 1996.

Juan Carlos Gómez Aranda