



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Unidad Zacatenco
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica

“Análisis de la Veta en placas irregulares”

TESIS
Que para obtener el Título de:
Ingeniera en Comunicaciones y Electrónica

Presenta
Maribel Lozano Berumen

Asesora:
Dra. Itzalá Rabadán Malda

México, D. F., a 6 de diciembre de 2013



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

TEMA DE TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERA (N) DESARROLLAR**

**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
TESIS Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
C. MARIBEL LOZANO BERUMEN**

“ANÁLISIS DE LA VETA EN PLACAS IRREGULARES”

ESTUDIAR Y ANALIZAR LA INFLUENCIA DE LA VETA EN EL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE PLACAS DE MADERA CON FORMA IRREGULAR.

- MARCO TEÓRICO
- EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PLACAS CON VETA EN VERTICAL
- COMPARATIVO CON OTROS ESTUDIOS Y BARNIZADO DE LAS PLACAS
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- MEMORIA DE COSTOS
- CONCLUSIONES

MÉXICO D.F. A 19 DE NOVIEMBRE DE 2013

ASESORÉS


DRA. ITZALA RABADAN MALDONADO


ING. PATRICIA LORENA RAMIREZ RAMÍREZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA



DEPARTAMENTO
DE I.C.E.

AGRADECIMIENTOS

A MI MADRE:

Entiendo que en pocas líneas no puedo agradecerte todo tu esfuerzo y apoyo incondicional que me has dado por años, pero quiero decirte que gran parte de lo que logrado hasta este momento es y será gracias a ti. Siempre estaré eternamente agradecida con Dios y con la vida por tener tu amor y a la mejor madre del mundo TE AMO.

A LA MEMORIA DE MI PADRE:

Por tu apoyo incondicional y desinteresado, por tus sacrificios y esfuerzos constantes por haber compartido conmigo tristezas y fracasos, gracias NEGRITO porque jamás dejaste de creer en mí, porque a través de tus consejos logre forjar un camino, guiarme y alentarme ante los obstáculos que se me presentaron para lograr el éxito, papito TE AMO Y SIEMPRE TE AMARE por haberme dado lo mejor de tu vida.

A MI HERMANA:

Gracias por apoyarme cuando más lo necesito, por tus consejos y palabras de aliento porque a pesar de las tempestades siempre estás ahí para mí, quiero que sepas que te admiro por tener el coraje y la fuerza de seguir siempre adelante, simplemente GRACIAS hermana te quiero mucho por favor nunca lo olvides.

A LA DRA. ITZALÁ:

Mil gracias no me alcanzan las palabras para decirte que viviré siempre agradecida contigo porque sin tu apoyo, paciencia y esfuerzo no hubiera podido sacar adelante esta tesis, corazón en verdad te admiro porque eres una gran mujer me has enseñado mucho profesionalmente y como persona a luchar con coraje por mis sueños y anhelos.

ÍNDICE

Objetivo.....	4
Justificación.....	5
Introducción.....	6
Antecedentes.....	7

Capítulo 1 “INTRODUCCIÓN TEÓRICA”

1.1 La tapa armónica.....	10
1.2 La caja armónica.....	11
1.3 Últimos avances técnicos.....	12
1.4 Vibración de placas delgadas.....	14
1.5 Modos de vibración en cuerpos regulares.....	15
1.6 Placas irregulares algunas aplicaciones de las placas acústicas del violín y la guitarra.....	18

Capítulo 2 “DESARROLLO EXPERIMENTAL”

2.1 Introducción.....	20
2.2 Metodología a seguir.....	20
2.3 Reporte de resultados y estudio comparativo.....	21
2.4 Presupuesto aproximado.....	24
Conclusiones.....	26
Referencias.....	44
Anexos.....	44

OBJETIVO:

ESTUDIAR Y ANALIZAR LA INFLUENCIA DE LA VETA EN EL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE PLACAS DE MADERA CON FORMA IRREGULAR.

JUSTIFICACIÓN:

EN LA ÉPOCA ACTUAL LA ACÚSTICA MUSICAL HA IDO COBRANDO IMPORTANCIA, Y POR ELLO SURGE EL INTERÉS EN LA ACADEMIA DE ACÚSTICA DE LA ESIME ZACATENCO DE ESTUDIAR Y ANALIZAR DIVERSOS INSTRUMENTOS MUSICALES.

ADEMÁS LA CONSERVACIÓN DE ARCHIVOS ES BÁSICA PARA EL CORRECTO DESEMPEÑO DE UN LABORATORIO Y SOBRE TODO EN UNA ESCUELA, ES ENTONCES QUE SE NECESITA EL DESARROLLO DE TRABAJOS DESTINADOS A LOGRAR CONJUNTAR LOS DATOS SUFICIENTES PARA PODER DESARROLLAR TRABAJOS DE DISEÑO EN UN FUTURO CERCANO.

CON LA REALIZACIÓN DE ESTA TESIS SE PRETENDE AMPLIAR EL ACERVO DOCUMENTADO DEL LABORATORIO DE ACÚSTICA MUSICAL

INTRODUCCIÓN

Existe una diferencia esencial entre las vibraciones de una membrana y de una placa delgada en que una membrana y las de una placa delgada consiste en que una membrana la fuerza recuperadora se debe por completo a la tensión aplicada a la membrana, mientras que en una placa delgada la fuerza de recuperación se debe por completo a la rigidez a la rigidez del diafragma y no a la tensión aplicada.

El estudio de las placas se limitara al de las vibraciones simétricas de un diafragma circular uniforme. La fuerza recuperadora. Una deformación longitudinal positiva de tensión esta siempre acompañada por una deformación lateral negativa de compresión.

Una placa colocada horizontalmente puede entrar en vibración transversal por rozamiento. La experiencia tiene éxito cuando es posible un modo de vibración propio de la placa, presentando un vientre en el punto atacado por el arco y nodos en los puntos inmovilizados. Dos regiones de una placa vibrando separadas por una línea nodal lo hacen con velocidades de sentidos opuestos, siendo siempre el número total de estas regiones par.

ANTECEDENTES

Como ocurre en el recubrimiento de metales, también el recubrimiento de maderas requiere un sistema de barnices o pinturas, cada uno de los cuales tiene una misión determinada.

El barnizado es una operación de acabado de superficies mediante un material que forme una película continua, es decir de poro cerrado o discontinua, de poro abierto, de protección, merced a una composición fluida de elementos sólidos, que al ser aplicada en capas finísimas se seca por evaporación, oxidación u otra reacción química.

Un barniz es un producto compuesto de aglutinantes, disolventes y diluyentes, sin pigmentos, que al ser aplicado origina una película insoluble en agua, adherente y dura, generalmente lisa y brillante, con propiedades protectoras, decorativas o técnicas particulares. Son transparentes, por lo que el veteado de la madera no queda oculto.

El aglutinante es la parte principal del barniz, siendo el elemento que queda sobre la madera cuando se seca y se endurece la película. En general, está constituido

por aceites. El disolvente es un líquido volátil que sirve para dispersar el aglutinante. El diluyente es también volátil y su misión es mejorar las características de aplicación. Estas partes volátiles que se evaporan tras el extendido sirven para disminuir la viscosidad y son acetonas, alcoholes, hidrocarburos y el aguarrás.

El barnizado de maderas es una necesidad de dos cuestiones principales, la conservación de la conservación de la madera y una mejor estética.

En cualquier proyecto, relacionado con madera, exige su conservación, dicha conservación requiere emplear ciertas técnicas, que según la escuela generacional, reza que se deben emplear los mismos procesos del cual se echaron mano en su construcción, Antonio Camacho Atalaya, Perito de Montes de AITIM, en su artículo, Barnizado o acabado de madera, destaca que la técnica más difícil y a la vez más exquisita, es el barnizado con goma-laca a muñequilla, reservada a verdaderos barnizadores.

La goma-laca tiene una presentación en forma de escamas, que se disuelven en alcohol y se “mete”; después, con el extracto que queda al filtrar la goma-laca, se “peina”. En el “aclarado”, con alcohol y blanco de España, se quitan los arañazos y pequeñas ráfagas. Cuando la madera es nueva, el “emplastecido”, que trata de igualar vetas claras y oscuras, esto es oscureciendo las claras.

El emplastecido tienen dos fases: el emplastecido propiamente dicho, a base de ceras calentadas y mezcladas con anilina, para conseguir el color, y el “igualado”, con anilinas al alcohol.

Para aplicar los acabados descritos hay que usar trapos, lijas, agua, brochas, etc. Una vez que la madera nueva este limpia, se empapa con agua por medio de un trapo, para lograr que el “pelo” de la madera de levante. Una vez que se muestra, se procede a lijar con lijas de doble cero. Una vez lijado a conciencia se aplica el colorante con brocha, y si se quiere otro color distinto al nogal se mezcla con anilinas. Siempre se lija entre una fase y la siguiente, estando seca la primera aplicación.

Las lijas de 0 a 0000 se emplean en maderas nuevas, en trabajos de cierta categoría, hechos por ebanistas. En el barnizado convencional, entre mano y mano de barniz conviene lijar hasta que desaparezca el “pelo” que sea notorio.

La muñequilla mejor, es la hecha con hilo grueso de algodón y lana. Con la lañase hace una punta de lanza que se envuelve con esta funda, doblándole para que se ajuste al trozo de lana. Procurando que el retorcido del calcetín no se afloje (se sujeta la muñequilla con los dedos meñique, anular, medio y pulgar), el dedo índice aprieta sobre la punta de lanza impregnada de goma –laca, imprimiendo movimientos longitudinales y circulares.

Con la muñequilla también se pueden aplicar algunos barnices transparentes comerciales, a base de resinas y disolventes.

En el peinado se utiliza otra muñequillas, pero hecha a base de algodón en rama y enfundada en tela un poco más fina. El aclarado se hace con trozos de tela de hilo fino.

Los muebles actuales comerciales se barnizan a base de poliuretanos y los baratos por medio de lacas-nitro, que han sustituido a los poliésteres que cristalizaban y al golpearse se rebajaban. El poliuretano es más elástico y a la vez más duro.

Por muy pequeño que sea el taller y aún con la poca credibilidad que se le tenga, hay dos ideas claras, que las brochas sólo se emplean para extender el colorante y los botes pequeños de barniz sólo sirven para un verdadero apuro.

El barniz por excelencia es el de poliuretano con dos componentes; en un envase viene el barniz propiamente dicho y en el otro el catalizador. De este modo se controla perfectamente el acabado.

En los envases industriales el barniz llega más concentrado, pero a cambio exige una distribución seriada para pistolas, barnizadoras de cortina o rodillos, inmersión, etc.

El verdadero profesional hace la mezcla de barniz más catalizador que va a necesitar. Una vez hecha la mezcla, ésta tiene una duración en horas que depende de la temperatura ambiente. Si queremos prolongar esta vida útil de trabajo de mezcla de tres a doce horas según la época del año, invierno ó verano, se tiene la posibilidad de emplear disolventes de catalización o bajar la proporción de la mezcla.

Las personas que se han dedicado al oficio de Laudería, por generaciones, son conscientes de que los barnices de poliuretano que llegan con su colorante, y algunos prefieren hacer uso de nogalina y anilinas, mismas con las que se consigue cualquier color que se requiera. Por otro lado afirman que es complicado mezclar barnices, por su alta viscosidad, mientras que la nogalina y anilina van disueltas en agua.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN TEÓRICA.

ANTECEDENTES

1.1. LA TAPA ARMÓNICA

Existen muchas variables que afectan en mayor o menor grado al sonido que se produce en una guitarra y sería difícil enumerarlas todas pero a modo de resumen diríamos que la tapa es la generadora del sonido, ya que es impulsada por la energía que las cuerdas suministran cuando se tocan, son como muelles. Esta energía se establece dentro de unos límites y si dicha tapa es más o menos pesada pierde un cierto grado de sensibilidad, al tener un momento de inercia muy grande, dicho de otra manera, el sonido que reproduce es más bien tosco, con pocos matices agudos, pues son estos, los que aparte de tener poca energía mecánica-acústica, no pueden contrarrestar la inercia que la tapa produce.

De este concepto se puede deducir que si la tapa es pesada, la guitarra sonará como apagada, en el caso contrario, una tapa muy ligera hace que el sonido sea muy nítido y rico.

Bajo estos conceptos se podría pensar en fabricar las tapas muy finas y ligeras, sin embargo el problema no es tan sencillo de solucionar, pues si bien, se podría realizar una guitarra con dicha tapa, esta resultaría sumamente frágil, lo cual nos conduciría a la rotura y muerte de dicho instrumento de una forma rápida. De ahí el dilema de conseguir ese equilibrio entre gran sonido y resistencia mecánica. Una tapa hecha con madera natural, en pino, abeto o cedro, cumple estos requisitos, si bien hay que añadirle unos refuerzos (barras armónicas) para que el instrumento tenga una larga y útil vida.



Las tapas suelen ser de maderas laminadas, por su bajo costo con respecto a la madera natural. Una madera de pino abeto de primera calidad suele llegar a costar \$1000.- mientras que una madera laminada puede costar \$100.- metro cuadrado. Sin embargo esto hace que su peso sea mucho mayor además que las láminas a modo de sándwich están encoladas de forma que la fibras se entrecruzan y esto afecta a la dispersión de la onda en el material.

Por eso a la hora de elegir una guitarra que tenga más volumen sonoro hay que buscarla que su tapa este hecha de madera natura y no laminada. (Tapa 'Maciza' en pino Abeto o en Cedro)

Una forma de reconocer que una guitarra está hecha con madera natural, es fijándose en las betas, que son los anillos del árbol; En el borde de la boca de la guitarra es posible apreciar que la beta continua por dicho borde, esto nos indicará que la madera usada para elaborar la Tapa armónica es de madera natural. En el caso de una madera laminada dicha beta se extingue en el mismo borde y no es continuo hacia dentro.

1.2. LA CAJA ARMÓNICA

De todos es sabido que el sonido se produce por la comprensión y expansión de las moléculas del aire, producido por el movimiento de un objeto o membrana. Si dicha diferencia de presiones acústicas se realizará sin ningún tipo de obstáculo, el propio aire tiende a ocupar rápidamente el 'vacío' generado por dicha membrana y esto hace que las diferencias de presión sean contrarrestadas.

Valga como ejemplo práctico un altavoz.

Si tenemos un altavoz sin caja acústica y lo hacemos vibrar mediante una pequeña señal de audio, apenas percibimos dicho sonido, pues las diferencias de presiones son contrarrestadas casi de inmediato (la onda de presión viaja a 340 m/s).

En cambio si alojamos dicho altavoz dentro de una caja acústica, el volumen aumenta considerablemente usando la misma señal de audio. Esto es debido a que separamos físicamente las zonas de alta y baja presión mediante un objeto sólido como es la caja, esto conlleva a que ahora el aire de alrededor de la membrana es desplazado hacia ella por un lado de esta y hacia afuera por el otro sin que dichas ondas se anulen, con lo cual se produce un reforzamiento de la señal acústica y esto hace que resuene más en nuestros oídos.

Bueno pues este mismo ejemplo es válido para la guitarra. En nuestro caso la membrana del altavoz será la *tapa armónica* y la caja acústica, será el cuerpo de la guitarra.

En función del tamaño y volumen de la guitarra podremos, reproducir más o menos los sonidos generados por la tapa.

Otra influencia en el sonido es la forma y la densidad de las maderas de que está compuesta la caja armónica, para tener un sonido *seco* y *metálico* para una guitarra flamenca uno de los factores es el volumen de la caja armónica que deberá de ser más pequeño que en el caso de una guitarra clásica, que será un sonido más voluminoso y limpio.

Tradicionalmente la guitarra flamenca se hace con maderas de ciprés para realizar la caja armónica y pino abeto para la tapa. Aunque hoy en día se puede realizar en otras maderas no cabe duda que el ciprés tiene una respuesta mecánica muy apropiada para ese tipo de música.

El diseño de la caja armónica influye notablemente en el sonido, las medidas proporcionales del instrumento hacen que se refuercen unos o se debiliten otros, es decir, acentúa una gama de frecuencias dentro del contenido armónico (timbre).



Actualmente nos vemos desbordados de guitarras con diseños de caja simétrica yo de hecho elaboro guitarras con dicho patrón pero si bien es cierto que he experimentado hace ya más de 20 años con otro tipo de caja armónica y ahora puedo decir que el resultado es espectacular.

Hoy en día se fabrican guitarras con caja asimétrica que, de acuerdo con los lauderos, hace que el sonido sea mucho más rico, nítido y voluminoso que los diseños tradicionales.

Los grosores de la madera y densidades de esta, también influyen en dicha sonoridad, de aquí se deduce que es casi imposible determinar la semejanza de dos instrumentos, más si cabe si son de diferentes materiales. También otro factor importante el ángulo que hay entre la tapa armónica y las cuerdas que en este tipo de guitarra es diferente de las usuales.

1.3. ÚLTIMOS AVANCES TÉCNICOS.

PUERTO ACÚSTICO O ACOUSTIC PORT:

El puerto acústico es un dispositivo de reciente utilización en la construcción de guitarras clásicas; Se conoce que dentro de una guitarra se producen unas ondas estacionarias llamadas 'frecuencias estacionarias de Helmholtz ', que anulan o cancelan en cierta medida las ondas generadas por la guitarra, con lo cual se pierde sonoridad.

Para evitar esto se practica un agujero situado en la parte superior del aro que mira al guitarrista.

Este puerto acústico hace que se liberen estas frecuencias estacionarias, de modo que hace que el instrumento suene más nítido, a demás de proporcionar una salida de audición directa que le da al guitarrista la posibilidad de tener un sonido más directo, evitando los ecos de salas con diversas características acústicas.

Muchos maestros y guitarristas quienes han tocado las guitarras a las que se lo he adaptado, no encontrando objeción de ningún tipo.

1.4. VIBRACIÓN DE PLACAS DELGADAS

La diferencia esencial entre la vibración de una membrana y una placa delgada es que en una membrana la fuerza restauradora se debe por completo a la tensión aplicada a la membrana en tanto que en la placa delgada la fuerza restauradora se debe por completo a la rigidez del diafragma, cuando no se aplica tensión. Esta misma diferencia existe entre las fuerzas restauradoras en cuerda y barras.

El análisis de las placas se limitara a las vibraciones simétricas de un diafragma circular uniforme, ya que el desarrollo riguroso de la ecuación de movimiento aplicable a este caso es demasiado complicado. Debido a que la fuerza restauradora que actúa sobre una placa circular depende de su resistencia elástica a la flexión, se esperaría que el coeficiente de término fuera similar al de las vibraciones transversales de una barra. Este enrollamiento resulta la expansión lateral que acompaña a una compresión longitudinal y produce un aumento en la rigidez efectiva de la lámina, A la razón negativa de la deformación lateral que acompaña una deformación longitudinal se le conoce como la razón de Poisson.

Puesto que una deformación longitudinal positiva de tensión va siempre acompañada de una deformación lateral negativa de compresión es un número positivo.

El tratamiento de placas cargadas y excitadas es análogo al de las membranas y las curvas de respuesta para una fuerza de excitación uniforme son similares; las amplitudes son grandes a la frecuencia de resonancia a menos que haya considerable amortiguamiento. La utilización más importante de la placa delgada vibrante esta en lo diafragmas de los micrófonos y bocinas de los teléfonos ordinarios. Aun cuando la respuesta de estos sistemas no es uniforme.

El primero en realizar la experiencia de visualización de los modos propios de vibración de una placa fue alemán el físico Florencio Chladni

Chladni realizó profundos estudios sobre las vibraciones de las placas y membranas y descubrió que en estos cuerpos no existen nodos y vientres propiamente dichos, sino líneas de puntos donde la vibración es nula o pequeña, llamadas líneas nodales, y zonas demarcadas por estas líneas donde la vibración alcanza valores máximos llamadas zonas ventrales, frecuentemente llamado el padre de la Acústica, también fue el primero en dar una explicación consecuente

Leyes de las vibraciones placas y membranas

Fueron formuladas por Chladni y son dos:

- 1. La frecuencia de dos placas o membranas de igual superficie es inversamente proporcional a su espesor .**
- 2. La frecuencia de dos placas o membranas de idéntico espesor, varía inversamente al cuadrado de su diámetro.**

de los meteoritos.

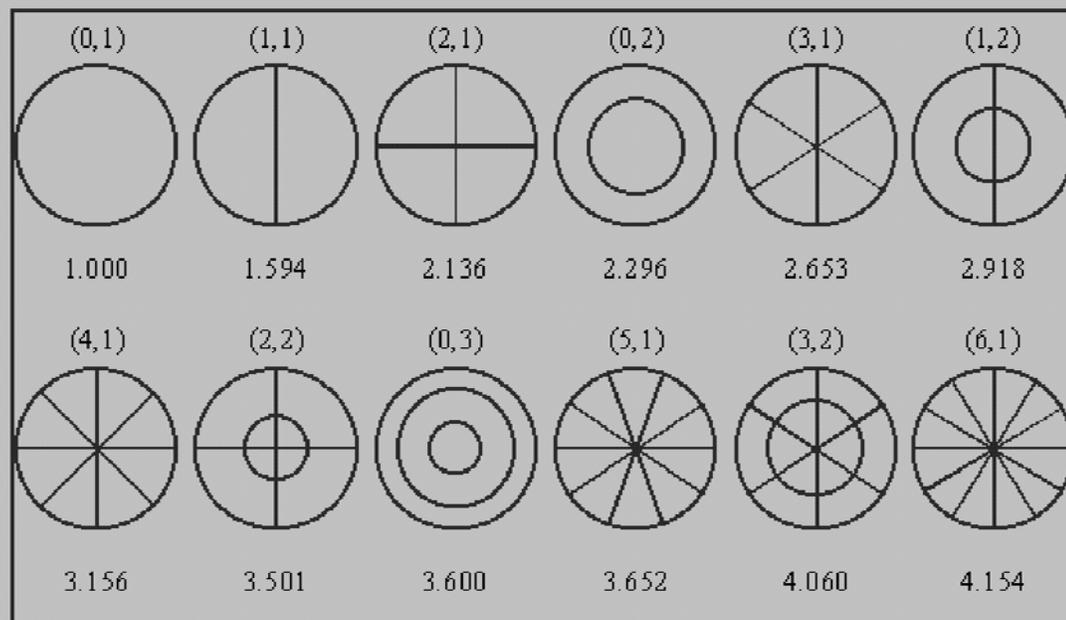
Para observar los modos de resonancia (modos propios de vibración) de una placa circular o cuadrada, sujeta por su centro, Chladni la hacía vibrar frotándola

con el arco de un violín, después de haber espolvoreado arena fina sobre ella. Posteriormente dibujaba las líneas y patrones que formaba la arena sobre la placa. “El sonido puede verse”, fueron las palabras de Napoleón cuando, en 1808, Chladni realizó esta experiencia en la Academia de Ciencias de París.

1.5. MODOS DE VIBRACIÓN EN CUERPOS REGULARES.

Modos de vibración de una membrana circular ideal

En la figura, aparecen representados los doce primeros modos de vibración de una membrana circular ideal de un timbal, en orden creciente de frecuencias. Para denominarlos se utiliza una notación compuesta por dos dígitos: con el primero se indica el número de nodos diametrales y con el segundo el número de nodos circulares. En el modo fundamental (0, 1) toda la membrana se mueve en fase. La frecuencia de vibración se expresa como múltiplo de la del modo fundamental y aparece debajo de cada diagrama particular. La secuencia no forma una serie armónica.



1.6 Vibración de membranas

La vibración de membranas, se basa en los mismos principios que la vibración de cuerdas, ya que son materiales elásticos tensados. La diferencia, es que mientras la cuerda es una línea de puntos vibrando, la membrana es una superficie, y los puntos nodales de la cuerda se transforman en líneas nodales en la membrana; por consiguiente las ondas lineales en la cuerda, son de tipo superficial en la membrana, por lo que las ondas estacionarias son de tipo bidimensional.

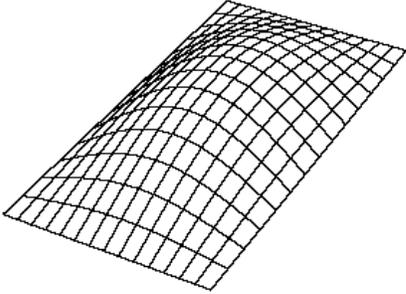
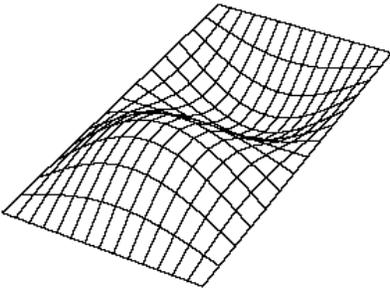
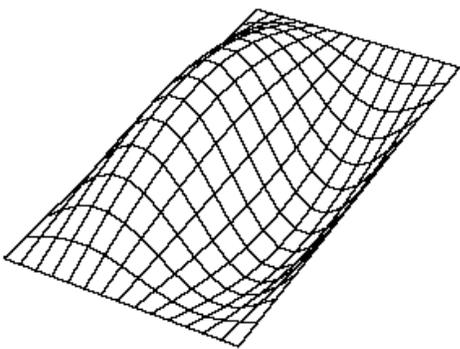
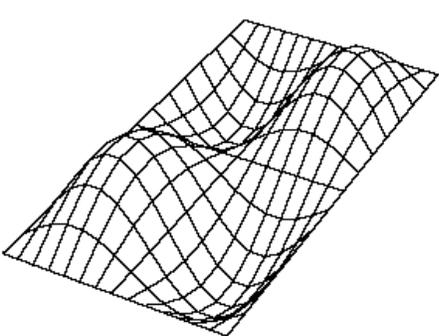
En las membranas ideales vibrantes, los modos de vibración no son armónicos del fundamental, por lo que no resultarán muy agradables al oído, presentando varias dificultades para conseguir las diferentes notas, como es que no se pueden variar sus dimensiones, resultando difícil modificar la tensión a la que está sometida.

La expresión de las frecuencias de los modos de vibración de las membranas rectangulares es la siguiente:

$$f_{n_x, n_y} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

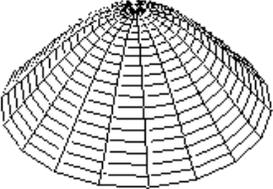
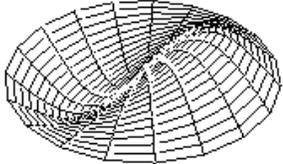
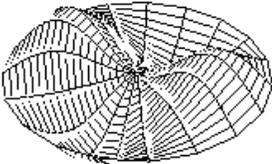
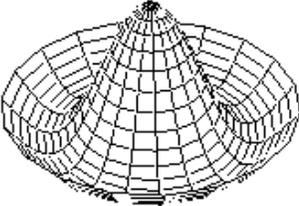
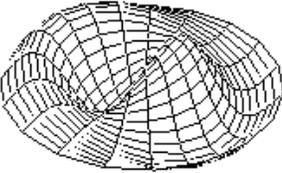
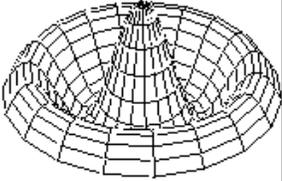
Donde c es la velocidad del sonido en la membrana L_x y L_y las longitudes de los lados de la membrana rectangular.

A continuación se muestran algunos de los modos de vibración de una membrana rectangular:

Modo (1,1)	Modo (1,2)
	
Modo (2,1)	Modo (2,2)
	

La frecuencia fundamental se obtiene al sustituir $n_x = 1$ y $n_y = 1$, siendo los sobretonos correspondientes a $n_x = n_y$ armónicos del fundamental, mientras que para $n_x \neq n_y$ no lo son.

A continuación se representan los modos de vibración transversales de una membrana circular. Para denominarlos se utiliza una notación compuesta de dos dígitos: con el primero se indica el número de nodos diametrales y con el segundo el número de nodos circulares.

Modo (0,1)	Modo (1,1)	Modo (2,1)
		
Modo (0,2)	Modo (1,2)	Modo (0,3)
		

En el caso de las vibraciones transversales de las **membranas circulares**, los sobretonos no son armónicos del fundamental.

1.7. PLACAS IRREGULARES. ALGUNAS APLICACIONES DE LAS PLACAS ACÚSTICAS DEL VIOLÍN Y LA GUITARRA

En la actualidad las pruebas modernas de las propiedades vibracionales de la parte superior y placas traseras de un violín revelan algo que los creadores de violines hacen todo lo posible por llegar a la fabricación de violines consistentemente buenos.

No de los grandes misterios de la música existe en los creadores de violines de renombre de siglos basados con haber tenido aparentemente más de su conocimiento práctico de la física y la acústica de sus instrumentos, hoy en día son apreciados por la belleza de su sonido.

La madera es un material natural, formado por células, anisótropo. Es un recurso natural, renovable, cuyo proceso industrial posterior no produce mayor contaminación ambiental y cuyo crecimiento natural tiene aparejado el proceso de fotosíntesis que al absorber el dióxido de carbono, fija el carbono, componente de la madera y libera oxígeno contribuyendo al mantenimiento de las condiciones ambientales, es decir sin polución.

La densidad es una de las propiedades más importantes de la madera y dado la naturaleza anisótropa de la misma se explica su alta variabilidad.

El agua está siempre presente en la madera y el porcentaje de la misma tiene mucha influencia en sus propiedades. Los procesos de encogimiento e hinchamiento tienen importancia en el comportamiento de la madera.

La madera es un material natural, de tipo orgánico, con células, sólido pero con poros. Su composición química compleja de carbono, hidrógeno y oxígeno.

La madera es un recurso altamente anisótropo debido a la forma de crecimiento de células alargadas y orientación de la estructura de las paredes de las células.

Esta anisotropía resulta de la diferenciación de las dimensiones de sus celdas en la estación de crecimiento y parte de direcciones preferenciales de crecimiento en los algunos tipos de células, rayos.

La estructura de las paredes de sus celdas explica los problemas de encogimiento e hinchamiento, ejemplo que sus efectos son 10 a 20 veces más grandes en la dirección transversal que en la longitudinal, y la micro-estructura de la madera es la clave para entender porqué la rigidez de la madera en el sentido longitudinal es 20 a 40 veces más que en la dirección transversal.

La madera se obtiene de dos grandes categorías: maderas duras y maderas blandas, históricamente las dimensiones de los árboles en el bosque determinan las medidas de las maderas que se producen. Como la madera es producida por la naturaleza sus propiedades, tales como resistencia y deformación son altamente variables.

Después de superar la complicada etapa de discriminar los tipos de madera y así mismo elegir la más conveniente, es necesariamente obligatorio conocer las técnicas básicas de acabado, que son las imprescindibles: el emplastecido, el lijado, el tintado y el barnizado.

CAPÍTULO II.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. INTRODUCCIÓN.

En este trabajo se llevará a cabo la misma experiencia que realizó Chladni. Para ello se utiliza un generador de frecuencias que se conecta a un altavoz. Si se hace vibrar el altavoz a diferentes frecuencias, como la placa está siendo irradiada por él también vibrará a dichas frecuencias y, espolvoreando sobre ella aserrín, se observarán los patrones y líneas nodales que se forman sobre la placa. Estos patrones y líneas nodales se corresponden con las zonas y líneas en las cuales la placa no vibra, es decir, los nodos de las ondas estacionarias que se forman en la placa, y por tanto en ellos se producirá una acumulación de arena, dando lugar a curiosas figuras. En distintos momentos de la reproducción se indica la frecuencia a la que está vibrando la placa y, por tanto, a la que se forman la ondas estacionarias en ese momento.

2.2. METODOLOGÍA A SEGUIR.

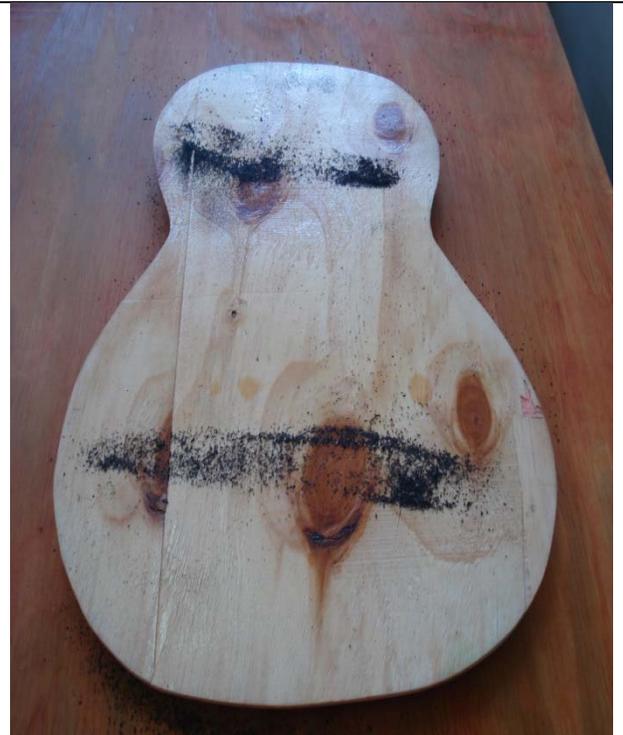
La metodología detallada del procedimiento es la siguiente:

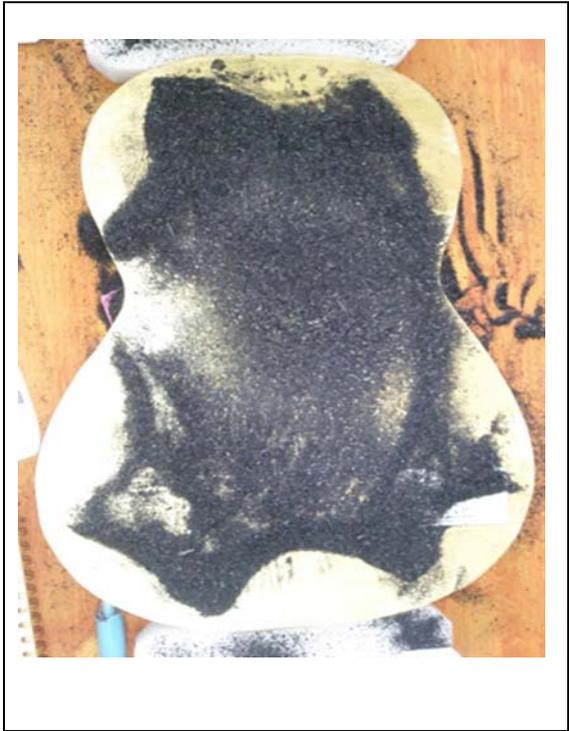
- 1.- Colocar la placa sobre los resortes (flotada).
- 2.- Poner medio de contraste (aserrín)
- 3.- Iniciar barril en frecuencia (20hz-500hz)
- 4.- Esperar formación de figuras de Chladni.
- 5.- Registro de figuras (fotografías)
- 6.- Guardar resultados obtenidos en memoria de computadora.
- 7.- Comparación con banco de datos existente.

Este método se repite para cada una de las pruebas.

2.3. REPORTE DE RESULTADOS Y ESTUDIO COMPARATIVO.







2.4. PRESUPUESTO APROXIMADO

CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO		IVA	ISR	TOTAL
		UNITARIO	SUBTOTAL			
Hoja de Meranti	1	517.24	517.24	82.75		600
Cortes de Placas	12	43.10	517.2	82.75		600
Viajes DF-QRO IDA Y REGRESO	3	420	420			1260
HONORARIOS DE INGENIERIA DE DISEÑO	300 HRS	3000	90000	14400	27000	77400
BARNIZ PARA MADERA	1LT	130	112.06	28.80		130
BROCHAS	2	12.93	25.86	2.06		30
ASERRIN	1 KG	8	8			8
					TOTAL	\$ 80028

El presupuesto aproximado para la continuación de este proyecto fue de \$80028 pesos en total tomando en cuenta la tabla anterior y que ya se contaba con la mesa donde fueron llevadas a cabo las pruebas necesarias.

CONCLUSIONES

1.- Se cumplió el objetivo ya que se pudo analizar el efecto de la veta en las tapas armónicas.

2.-se observó una notable diferencia en la armonía mostrada en las placas cortadas con la veta en vertical, por lo que se concluye que los lutereros tienen toda la razón al preferir este corte.

3.- se observaron discontinuidades en algunas placas con veta en vertical, esto puede o no ser reparado utilizando los costillares, aclarando que ese no es un trabajo que forme parte de esta investigación se recomienda como trabajo a futuro un estudio del diseño de esas piezas.

4.- El método de Chladni es muy útil para este tipo de estudios y se demostró una vez más su eficacia.

6. REFERENCIAS

[1] WRIGHT, Howard, "The Acoustics and Psychoacoustics of the guitar". Tesis para el grado de Doctor en Filosofía, Departamento de física y astronomía, Universidad de Gales. Cardiff, 1996.

[2] CHRISTENSEN O., "An oscillator model for analysis of guitar sound pressure response", Magazine Acústica 1984. EUA.

[3] CARRUTH Alan, "Free plate tuning, part three: Guitars". Revista American Lutherie N°30, 1992. EUA.

Bibliografía

THE SCIENCE OF SOUND. THIRD EDITION. T.D. ROSSING, F.R. MOORE, P.A. WHEELER. Ed. Addison Wesley San Francisco USA Año 2002.

Fuente: Monográfico sobre Acústica Musical (Temas 21), Scientific American, Año 2000..

ANEXOS

ANEXO I Experiencias en la Universidad de Chile.

Aproximadamente desde finales del siglo XVIII y hasta nuestros días, la calibración sonora en placas de guitarra, así como de otros instrumentos cordófonos de madera (tales como el laúd o el violín), se ha llevado a cabo mediante la técnica del arreglo de barrajes en las distintas placas que forman el sistema (placas anteriores y posteriores), otorgando tensión en puntos estratégicos, para así manejar el "centro sonoro" del instrumento. Esto se complementa con la clásica técnica de "golpeteo" del luthier, que busca puntos de máxima vibración en la placa y con los ajustes posteriores del proceso constructivo de guitarras (acoplamiento al cuerpo, barnizado, entre otros).

De acuerdo a este procedimiento, la pieza que reviste mayor importancia es la placa superior o tapa armónica, pues es ésta la que tiene mayor influencia en la propagación del sonido hacia el auditor y el ejecutante, en todo el rango de frecuencias de la guitarra, y por lo tanto tiene directa relación con ciertos aspectos acústicos tales como los modos de radiación sonora y niveles de presión logrados, como también en factores musicales de extrema importancia tales como la afinación, timbre, sensibilidad a la dinámica, entre muchos otros. El barraje tradicional de la guitarra moderna del tipo Torres, se presenta como el punto de partida para un tipo de afinación estándar que se ha conservado hasta nuestros días. Sin embargo, diversas técnicas de ordenamiento de barras han sido desarrolladas y probadas a lo largo de la evolución paralela de la estructura de la guitarra y la música, que a través de sus requerimientos por parte de ejecutantes y también de compositores ha generado cambios constructivos en la estructura del sistema.

El siguiente trabajo analiza el comportamiento vibratorio en relación al barraje aplicado sobre una placa armónica en condiciones de borde libres, es decir sin acople al resto de la estructura del cuerpo de la guitarra, de una manera cuantitativa y visual en dos placas armónicas con distintas condiciones en cuanto a su procedencia y estado de construcción. Con este objeto, se realiza una identificación visual a través del tradicional método de Chladni y luego una medición de la respuesta en aceleración para cada caso, contraponiendo de esta forma los diversos factores constructivos de la manufactura detallada de un luthier versus la construcción en serie de guitarras, donde se tiene especial atención en la influencia del sistema de barraje.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Es posible pensar en el comportamiento vibrante de una placa armónica como un pistón que se acopla como oscilador armónico simple al resto del cuerpo de la guitarra: cavidad de aire, flancos y placa posterior, planteamiento realizado por Christensen [2].

De acuerdo a este razonamiento, se tiene la ecuación de movimiento con un desplazamiento x_t y k_t como la constante de elasticidad de Hooke:

$$\frac{m_t a^2 x_t}{at^2} = F - k_t x_t - \frac{R_t a x_t}{at} + A_t \Delta P \quad (1)$$

, donde m_t es la masa del pistón (placa), F la fuerza aplicada sobre éste por el impulso dado por la cuerda a través de la vía mecánica del puente; A_t el área del pistón y R_t la resistencia al movimiento. El término $A_t \Delta P$, representa el cambio de presión por unidad de área del sistema frente a la excitación, en este caso de la placa armónica. (Para mayores detalles en el desarrollo del modelo de osciladores en el cuerpo de la guitarra, se recomienda revisar el trabajo de Wright [1]).

Para efectos del análisis visual y cuantitativo, se puede relacionar cada componente de esta ecuación con las variables físico-constructivas que influyen en la calibración sonora de una placa armónica. La elección de la madera determina la resistencia al movimiento que la placa tendrá, de acuerdo a las constantes de elasticidad (módulos de Young y Cizalle, principalmente), lo que con su elección en valores adecuados en definitiva otorga mayor permeabilidad al estímulo vibratorio, logrando una placa resonante "viva". Este breve análisis físico es llevado a cabo por un luthier mediante la ya mencionada técnica de golpeteo y de reconocimiento de puntos de alta vibración en la pieza de madera. A su vez, la masa total del pistón superior vibrante se determina también por las condiciones físicas propias del material utilizado en la placa, así como por la adhesión posterior del sistema de barraje en la calibración.

El estudio aislado de esta componente facilita el análisis en la adhesión de un sistema de barraje o bien de cualquier cambio físico que se realice sobre la placa armónica. Esta elección en las condiciones de trabajo se justifica pues la calibración previa en condición libre es una técnica tradicional utilizada por luthiers y recomendada con el objeto de efectuar cambios que provoquen una caracterización previa única para la placa y posteriormente para el instrumento.

En relación a esta calibración previa, se sustenta el estudio de afinación de placas libres de Carruth [3], donde se señalan modos vibratorios libres que se generan para determinadas frecuencias, los cuales se aprecian en la [figura 1](#).

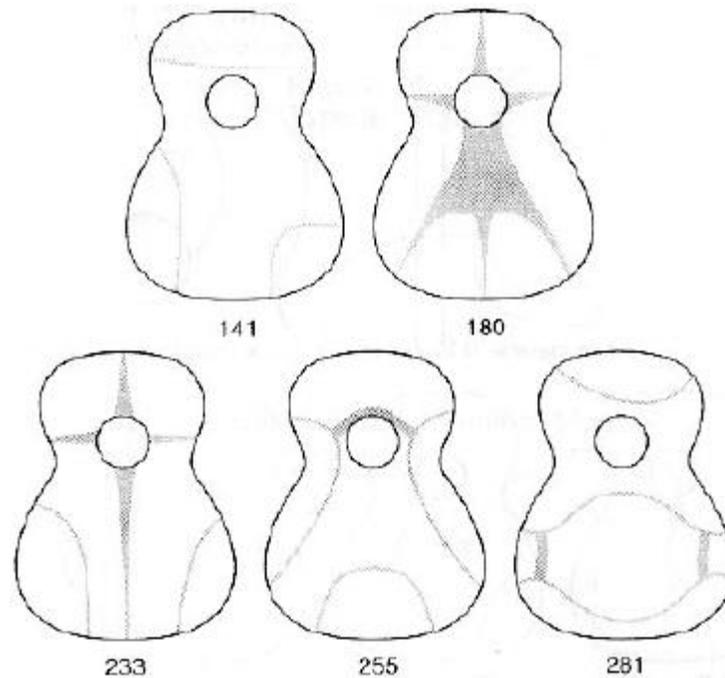


Figura 1: Modos de vibración en placa armónica en condiciones libres [3].

3.1. MATERIALES

El trabajo experimental se realizó en dos placas armónicas de distinta especie: una construida a través de la manufactura especializada del luthier Nicanor Oporto Martínez, y otra desacoplada de una guitarra de construcción en serie marca Santana modelo CB390. En un primer caso se trabajó con la placa Oporto sin sistema de barraje, para luego adherir un sistema de barraje tradicional Torres en el segundo caso. Finalmente, se compararon los resultados visuales y cuantitativos con la placa Santana. En la [figura 2](#) se pueden apreciar las tres placas utilizadas en este trabajo.



Figura 2: Placas armónicas utilizadas en trabajo experimental: placa Oporto sin barraje (I), placa Oporto con sistema de barraje Torres (II) y placa Santana (III).

3.2. MONTAJE Y PROCEDIMIENTO

Se realiza el montaje de la placa armónica sin puente con un excitador mecánico (shaker) Brüel & Kjaer, situado en el eje central de la posición tentativa del puente (tomando como referencia la posición del puente desacoplado de la placa Santana), punto que se asumió como origen para la ubicación de futuros puntos de medición. Una vista general del montaje y punto de excitación se aprecia en la [figura 3](#).

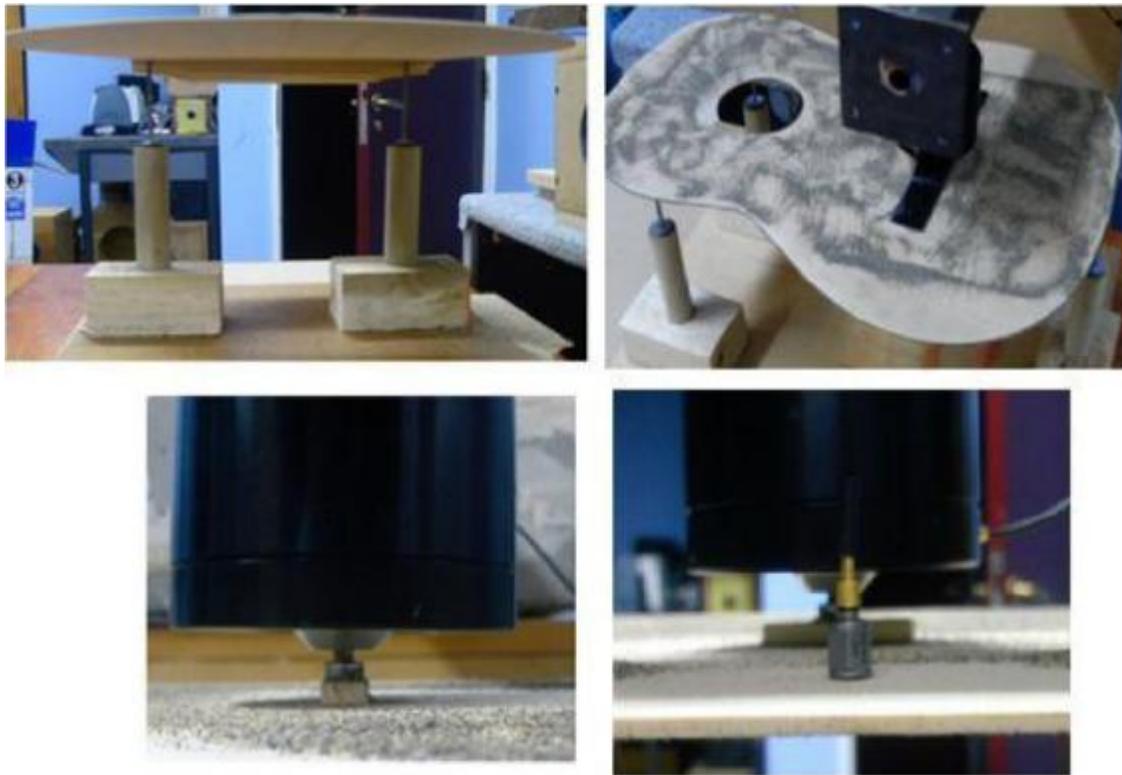


Figura 3: Vistas del montaje, punto de excitación y de medición con acelerómetro.

Se excita con un tono puro de amplitud media de 0.47 (VAC), escogida luego de pruebas previas para la generación de patrones nodales, en las que se requirió también del uso de soportes. El diseño de éstos se pensó con el objeto de generar un punto de mínimo contacto que no generase mayor perturbación en la vibración natural de la placa. Se realizaron pruebas en las que se buscaron zonas de mínima vibración, criterio con el que se determinaron dos puntos simétricos situados en las cercanías de la barra transversal inferior del barraje aplicado en el lóbulo superior, como se ve en la [figura 3](#).

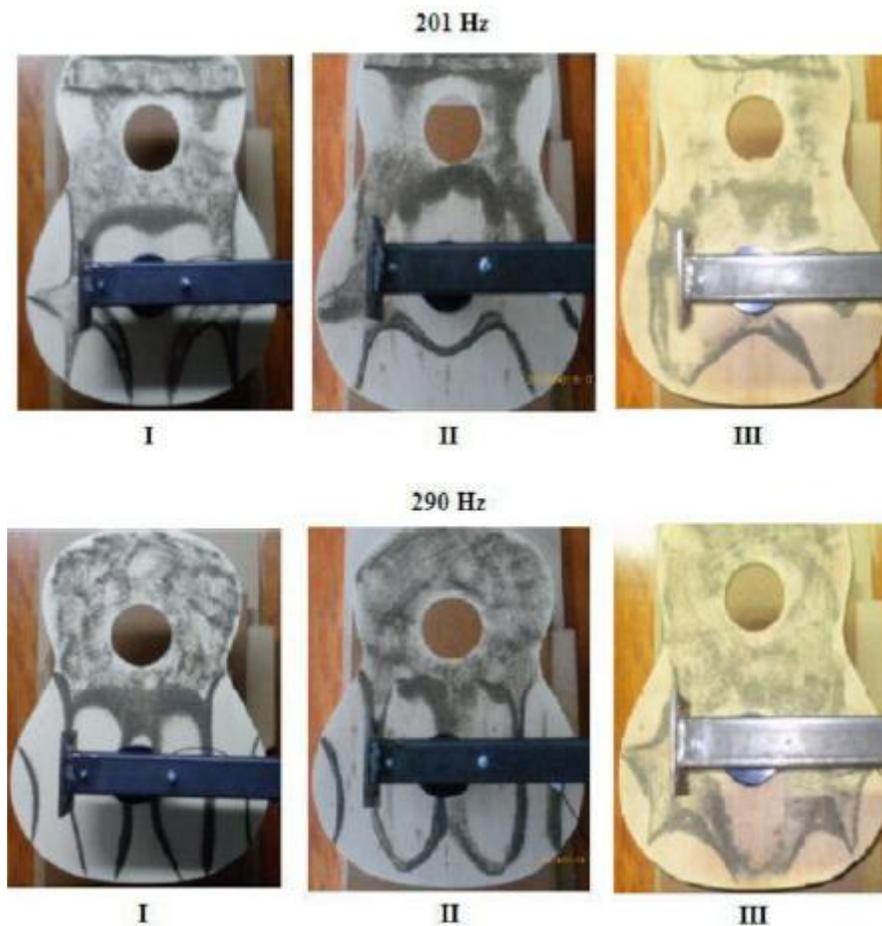
Para generar modos, el procedimiento consiste en distribuir de manera uniforme el material granulado (arena fina de mar en este caso), para luego realizar un barrido de frecuencias en el que se localizan fácilmente las resonancias por el movimiento de la arena. Luego se redistribuye la arena para generar un modo distinto. Para el proceso de medición, captura y análisis de datos, se trabajó con la interfaz Symphonie en conjunto con el software dBFA 4.1, donde se calibra para la medición de aceleración con el acelerómetro Brüel & Kjaer serie 51145. Éste se sitúa en puntos de máxima vibración (antinodos), para cada patrón nodal ya identificado en el proceso anterior. Se debe señalar que el peso del acelerómetro es de 1.45 gramos, que a pesar de ser liviano, influye de manera notoria en la distribución de líneas nodales. Por esta razón se establecieron tres intervalos de medición consecutivos de 10 segundos, para la

captura de datos, con el objeto de aproximar la vibración real del modo libre. Así, mediante el software se aplica un proceso de transformada rápida de Fourier (FFT) para los datos en captura, que permite analizar gráficamente la respuesta armónica en frecuencia de la placa frente a la señal de excitación, registrándose la amplitud del nivel de aceleración (dB), para cada gráfica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VISUALIZACIÓN DE MODOS

En la figura 4 se muestran las principales resonancias halladas en el proceso de identificación de modos para las tres placas. Se revisan aquí sólo los modos generados que presentan similitud ya sea en frecuencia o bien en la forma de su patrón nodal para los tres casos: existe un número mayor de resonancias y patrones nodales que son propios para cada caso, así como una serie de modos débiles (o de poca definición) que se generan en torno de las frecuencias de resonancia de modos fuertes.



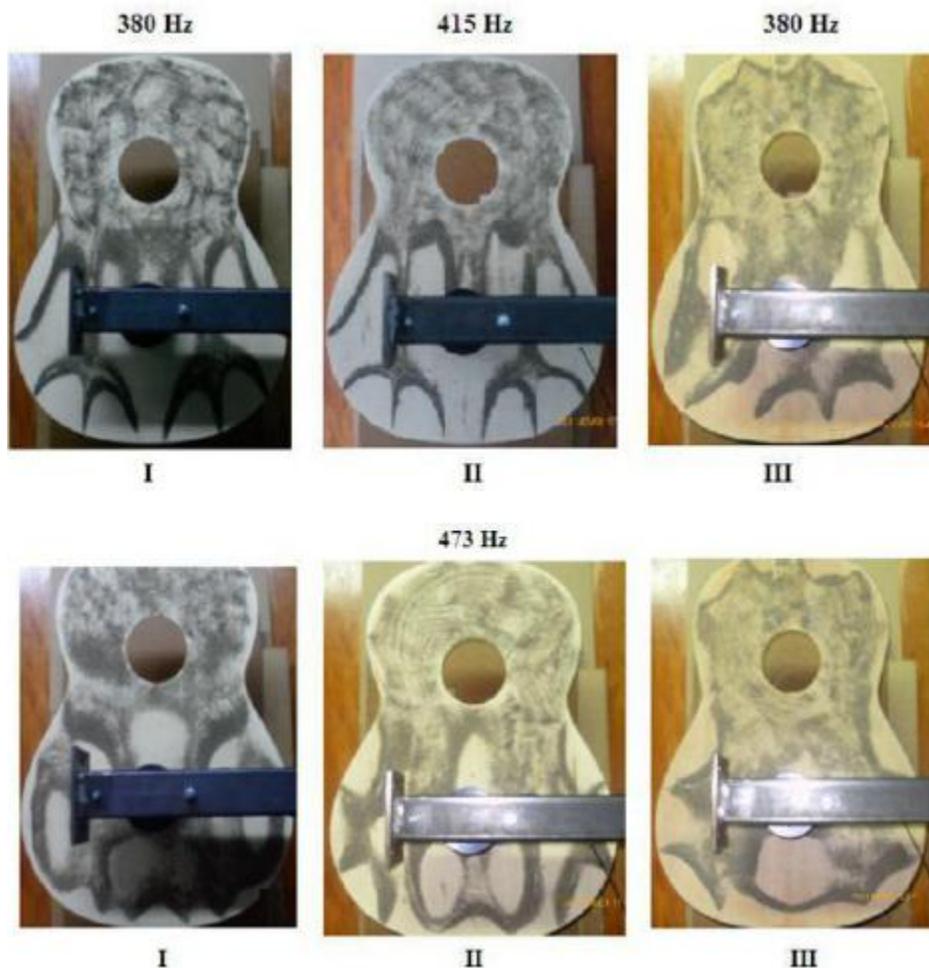


Figura 4: Patrones de líneas nodales hallados en la placa Oporto sin barras (I), placa Oporto con barraje (II) y placa Santana (III).

Se encontraron cuatro resonancias que coinciden para los tres casos y que además presentan un nivel de aceleración considerable en los 201 Hz, 290 Hz, 380 Hz y 473 Hz. En general y para el caso de la placa Oporto sin barraje, se tiene un comportamiento vibratorio libre en el lóbulo inferior, y en todo el rango de frecuencias de trabajo de la guitarra, pero con mayor notoriedad en frecuencias superiores a los 200 Hz. Se aprecia una situación similar en el segundo caso cuando se adhiere el barraje, pero con un esperado efecto de traslación de frecuencias para patrones de líneas nodales similares para frecuencias bajas principalmente (inferiores a 200 Hz), con una traslación que puede variar entre los 20 hasta los 50 Hz hacia frecuencias superiores e incluso inferiores, en algunos casos.

Este efecto se resalta en la placa Santana donde la adhesión del barraje presenta mayor elasticidad, como también la madera posee poca permeabilidad a la transmisión de la señal, lo que provoca un cambio en los patrones nodales generales observados en el caso anterior. Aun así, se tienen algunas frecuencias que coinciden

generando resonancias de consideración, como en los 201 Hz, donde se aprecia un patrón nodal similar entre el caso sin barras y el segundo caso con sistema de barraje adherido en la placa Oporto. En la placa Santana, sin embargo, se tiene un resultado poco claro y que no presenta ningún orden en el patrón nodal.

Siempre es posible realizar una comparación válida entre los casos II y III, ya que se tienen las mismas condiciones estructurales (no así físicas). De acuerdo a esto, se aprecia que en la siguiente resonancia en 290 Hz, se da una semejanza notoria en los casos I y II con leves diferencias provocadas por el aumento de masa en el caso II. En el caso III, se obtiene un patrón totalmente distinto para la misma frecuencia.

Las siguientes resonancias en 380 Hz para la placa Oporto sin barras (I) y la placa Santana (III) y en 415 Hz para la placa Oporto con sistema de barraje (II), se encuentran en la zona de frecuencias de afinación tentativas para una placa armónica: donde pueden darse las mayores amplitudes en la vibración, que se reafirman en la prueba del golpe realizada por el luthier, donde se encuentra el punto dulce de excitación (llamado así por luthiers), en el cual la placa tiene una resonancia notoria, natural y de gran amplitud. En la escala musical estas frecuencias son cercanas al F#4 en 369 Hz y al G4 en 392 Hz. Se observa en los resultados obtenidos un patrón común en los tres casos, el que nuevamente tiene mayor definición en la placa Oporto para los casos I y II, entre los que se comprueba el efecto de traslación de la frecuencia desde 380 Hz a 415 Hz que corresponde a la frecuencia de G#4. En la placa Santana, se tiene una tendencia a cumplir el mismo patrón, pero con poca definición y claridad.

A partir de los 450 Hz en adelante, los máximos empiezan a ser cada vez más numerosos y cercanos entre sí formando patrones similares a los hallados en los 473 Hz para los tres casos. Se observan algunas modificaciones entre los patrones de los casos I y II, pero distinto para el caso III nuevamente.

ANEXO 2 BANCO DE PRUEBAS PARA PLACAS Y MEMBRANAS.

Diseño: Itzalá Rabadán Malda.

20/enero/2012

El laboratorio de acústica musical de la especialidad de acústica del departamento de ICE¹ de la ESIME², es el sitio donde deben llevarse a cabo las prácticas correspondientes a la materia, sin embargo carecía de un dispositivo en el cual llevar a cabo pruebas destinadas a la comprobación de los modos de vibrar de placas y membranas, por tal razón se decidió que el diseño y construcción de un banco de pruebas era necesario.

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

- 1. El banco de pruebas será instalado en el laboratorio de acústica musical, ubicado en la UPALM³, en el edificio de laboratorios ligeros entrada "A", 2° piso. Este espacio es compartido para su uso como laboratorio de las materias correspondientes a la titulación curricular, por lo cual su ubicación deberá considerar los espacios destinados a ello.**
- 2. Las pruebas que se llevarán a cabo, inicialmente, en este banco serán aquellas destinadas a la obtención de patrones de los modos de vibración en placas y membranas de formas varias, así como de instrumentos musicales que las contengan; siendo una gran variedad la presentada respecto a formas y tamaños se considerará entonces la factibilidad de modificar el tamaño (largo y ancho) de la suspensión destinada a la probeta (placa, membrana o instrumento musical).**
- 3. Dicha suspensión deberá soportar pesos desde 100 gramos hasta 20 Kg.**
- 4. A fin de conocer cómo responde un cuerpo a la excitación por vibraciones, se deberá contar con un sistema de excitación para tal fin, el cual deberá ser capaz de proporcionar una cobertura en frecuencia de 50 Hz a 18 KHz, y en cuanto a nivel de presión acústica (NPA o SPL) el rango correspondiente es de 20 dB_{SPL} a 100 dB_{SPL}, ya que estos son los rangos para la música.**
- 5. Como todo trabajo serio de ingeniería, la evaluación de instrumentos musicales exige que los valores proporcionados por los equipos de excitación estén constantemente monitoreados a fin de corroborar la exactitud de las mediciones, por lo tanto el banco**

¹ Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica.

² Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

³ Unidad Profesional Adolfo López Mateos

de pruebas deberá incluir el equipo necesario para cumplir esa función.

6. Finalmente los resultados obtenidos deberán ser registrados en algún medio gráfico.

ANTEPROYECTO DE DISEÑO

Considerando los requerimientos se procedió a:

- A. Tomar medidas del espacio disponible para la colocación del banco de pruebas.
- B. Investigar sobre diseños ya existentes.
- C. Proponer un diseño propio.

A. Espacio disponible

El espacio disponible se ubica en la esquina sur-oriente del laboratorio (ver figura 1) y sus dimensiones son de:

2 m (largo) x 1.10 m (ancho) x 2.68 m (altura).

Figura 1. Ubicación del banco de pruebas en el laboratorio.

B. Diseños existentes.

El interferómetro de Michelson Morley, consiste en proyectar una imagen en la placa de madera como se observa en la Figura 2, después hacer vibrar la placa de madera, hacerle incidir un haz de luz, que se buscaría con una imagen predefinida por ondulaciones, desde una computadora y directamente por un cañón proyector y de esa manera verificar los modos de vibración y capturar cada imagen; con la idea de que cada deformación de una línea, generará de inmediato modos de vibración; para después proceder a su análisis.

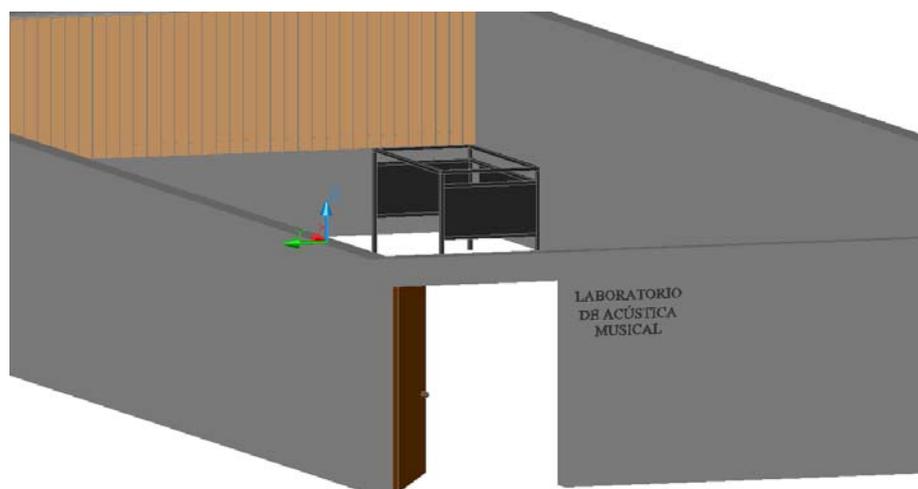
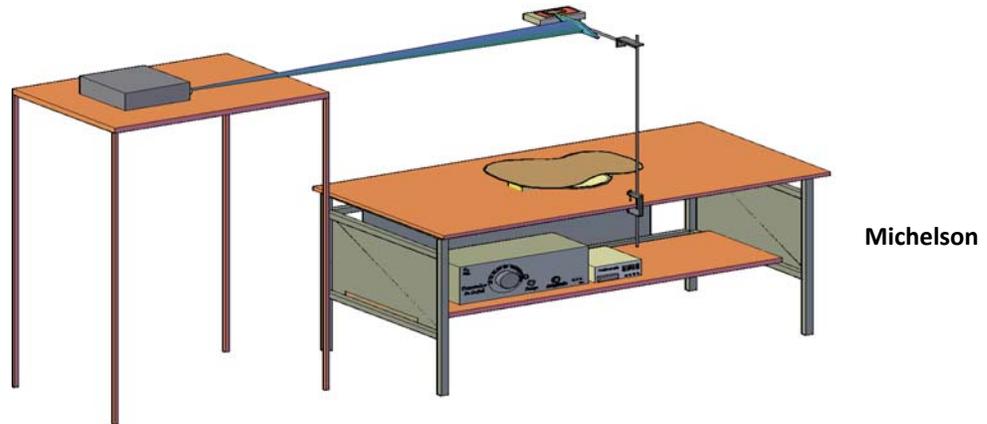


Figura 2.
Interferómetro de
– Morley.



Considerando el sistema de interferometría láser, se pensó en la adaptación de este al equipo disponible en el laboratorio de acústica musical, en donde el procedimiento aplicable es el de placas de Chandli, es decir excitación electroacústica para lo cual se utiliza el siguiente equipo de excitación y monitoreo (Fig.3) que se requiere es:

- Un generador de ondas para bajas frecuencias.
- Un osciloscopio.
- Un altavoz.
- El registro de resultados se hará por medio de una cámara fotográfica.

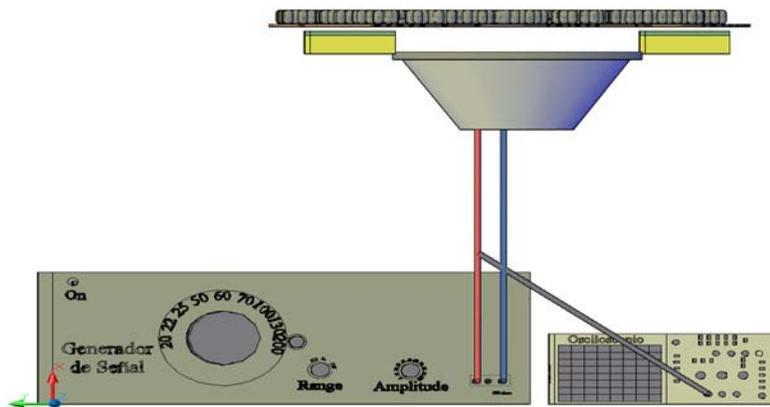


Figura 3. Armado del equipo de excitación – monitoreo.

Tomando en cuenta lo anterior, se procedió a la búsqueda de la base que soportara suficiente peso, aproximadamente 20 Kg sin contar el peso de los soportes para equipo y probeta, hallándose para este fin el esqueleto de un escritorio de acero que asegura la resistencia necesaria.

Se sugiere la utilización de un altavoz de 10" (25.4 cm) de rango amplio como salida del sistema de excitación a fin de cumplir los requisitos respecto al rango en frecuencia necesario.

Ahora había que diseñar las bases tanto para las probetas como para los instrumentos de excitación medición.

En cuanto a la base para las probetas se analizaron dos modelos (ver figuras 4a y 4b), el primero de ellos considera una base sólida y una suspensión móvil, a base de esponjas o resortes de soporte para las placas de prueba; la segunda opción considera una base elástica a partir de un entramado (telaraña) de hilo nylon sobre la cual reposaría la placa de prueba.

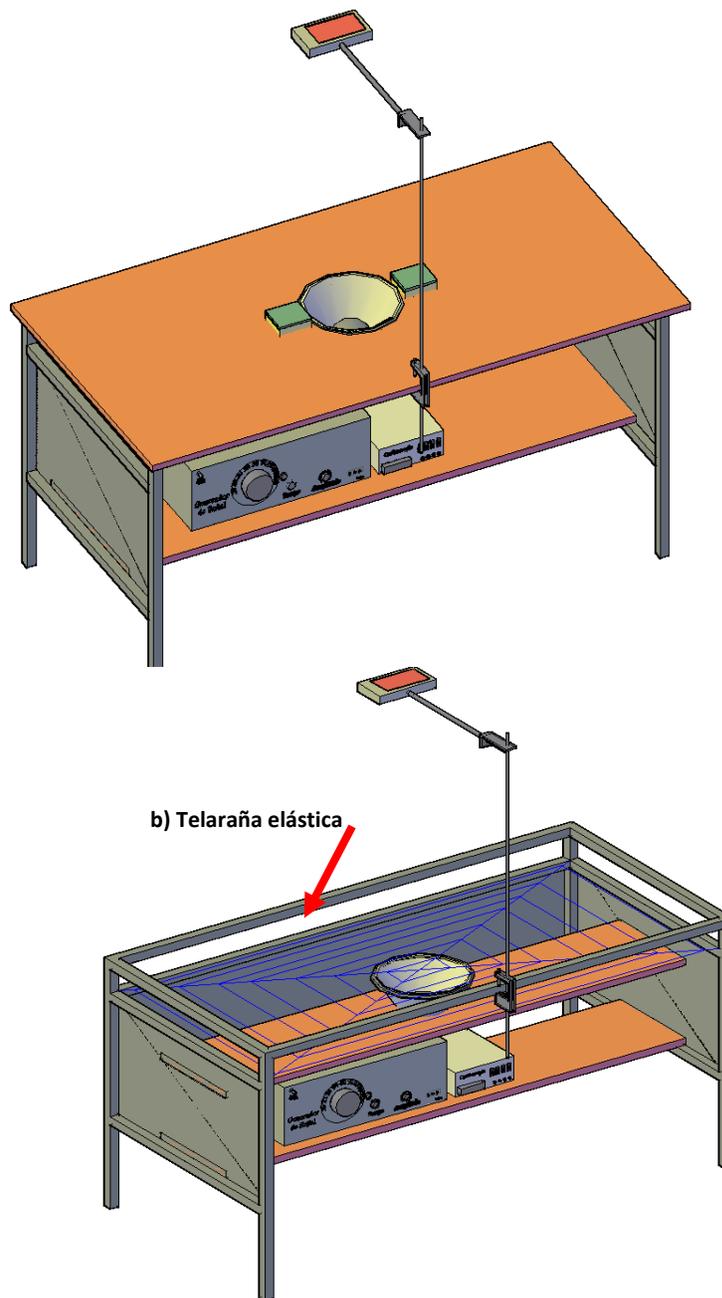


Figura 4. Opciones de diseño de la parte superior del banco de pruebas.

Tras analizar las ventajas y desventajas de ambos modelos, se decidió construir el modelo de base sólida ya que el mantenimiento de este es más sencillo, debido a que el modelo de telaraña requiere que la tensión en las cuerdas se mantenga constante, lo cual dificulta en gran medida el desarrollo de las mediciones, sobre todo si se piensa en este banco como un instrumento de trabajo sometido a pruebas por alumnos inexpertos en su utilización.

Así entonces se procedió a la construcción del banco de pruebas con base sólida.

C. Diseño final y proceso de armado.

Las bases destinadas a sostener el equipo se colocarán como se muestra en la figura 5; ambas son de pino de primera, de 1" (2.54cm) de espesor, selladas y barnizadas.

La parte superior deberá tener un orificio que permita el montaje del altavoz, tal y como se lleva a cabo en la tapa frontal de un bafle (ver Fig. 5), con el diámetro adecuado al altavoz que se montará, es decir, diez pulgadas (10”).

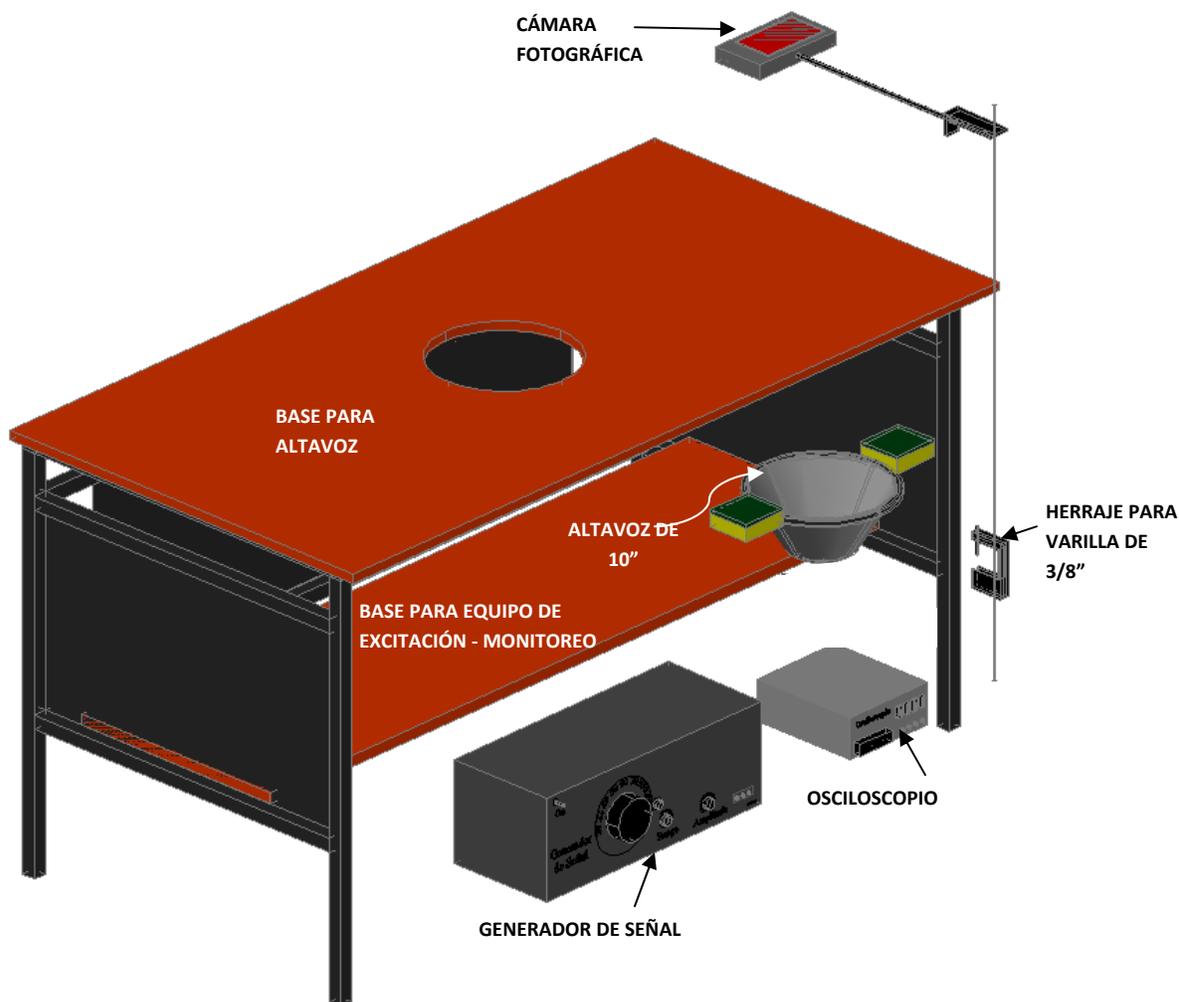


Figura 5. Montaje de bases y equipo de excitación monitoreo.

Para la cámara fotográfica se debe considerar la instalación de una varilla cordada de 3/8 " como poste y otra de 3/16" como brazo con los correspondientes herrajes y se montarán como se muestra en la figura 5.

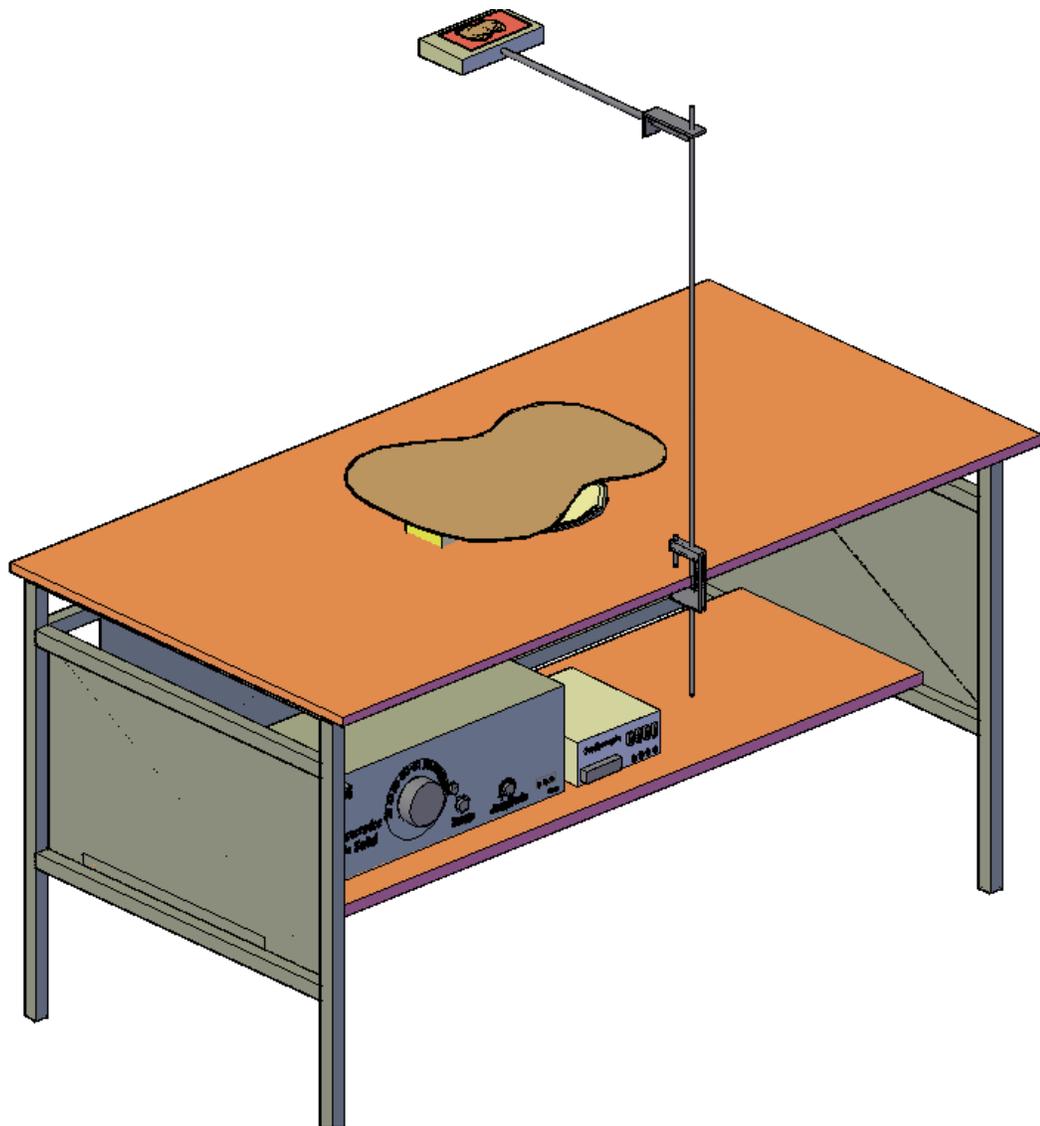


Figura 6. Vista final del banco de pruebas con probeta (placa) montada y lista para ser evaluada.

En la figuras 7, 8 y 9 se muestran fotografías del banco de pruebas.



Figura 7. Vista frontal del banco de pruebas.



Figura 8. Vista lateral del banco de pruebas.

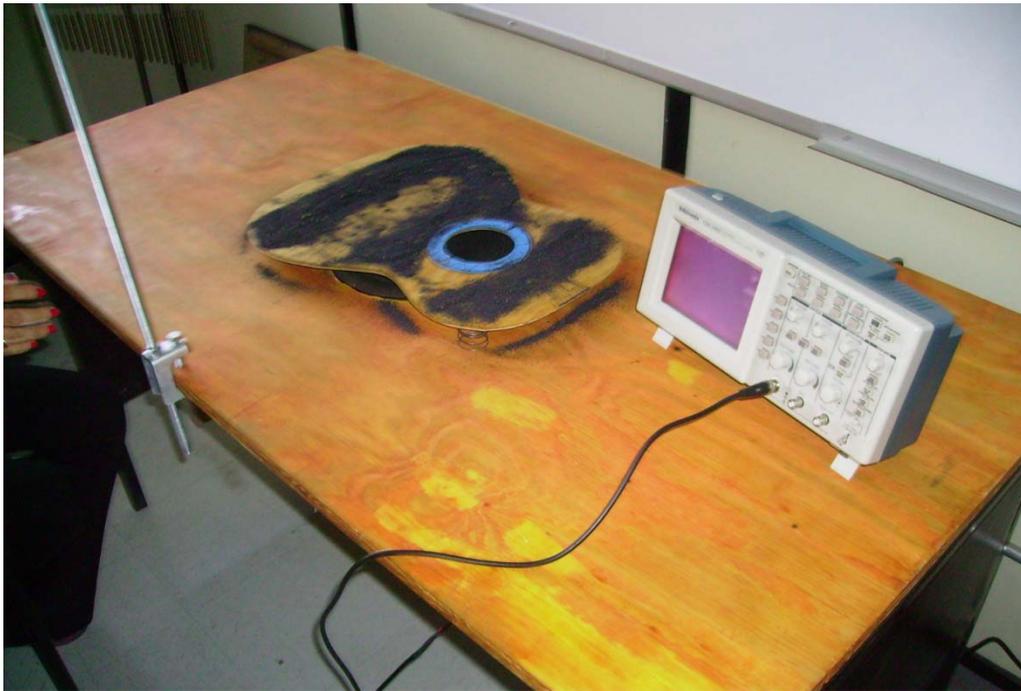


Figura 9. Implementación del método de Chandli para la evaluación de placas de forma irregular.

Finalmente la figura 10 muestra algunos de los resultados obtenidos en la evaluación de

placas posteriores de guitarra utilizando el banco de pruebas.



Figura 10. Algunos resultados obtenidos.

Autora: Itzalá Rabadán Malda

5. CONCLUSIONES

Cabe señalar que este es la continuación del proyecto propuesto por la Dra. Itzalá Rabadán Malda que anteriormente comenzaron mis compañeros Griselda y Jaime el objetivo principal fue hacer los comparativos en los modos de vibración entre diferentes frecuencias con los resultados obtenidos.