

ANÁLISIS MODAL DE LA TAPA ARMÓNICA DE UNA GUITARRA CLÁSICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ANSYS.

Torres T. Jesús Alejandro

Instituto Tecnológico de Querétaro
Av. Tecnológico S/N, CP 76000 Querétaro
e-mail: alejandrott@todito.com

Palabras clave:

Resumen. *La aplicación del método del elemento finito, para el análisis modal de un instrumento musical, puede darnos la gran ventaja de pronosticar su comportamiento sin aplicar los métodos tradicionales de construcción (que suelen llevar años de preparación), siempre y cuando se conozca a la perfección algunas propiedades de la madera utilizada o que se espera utilizar. Se analizará la influencia de los modos de vibración de la madera en el sonido de una guitarra, las propiedades mecánicas, y se muestra una simulación mediante ANSYS, arrojando los 5 modos de vibración más bajos de la tapa armónica de una guitarra clásica.*

MODAL ANALYSIS OF THE TOP PLATE OF A CLASSICAL GUITAR BY ANSYS APPLICATION.

Summary. *The Finite Method application, for the modal analysis of a musical instrument, may to give us the great advantage of predicting its behavior without applying a traditional methods of construction (what used to take some years of preparation), in case that we know perfectly some wooden used properties or that we hope to use. We'll see the influence of the vibrational behavior of the wood in the sound of a guitar, the mechanical properties, and it's showed an ANSYS's simulation, give us the five lowest vibration modes of the top plate fo a classical guitar.*

1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de guitarras, es un oficio que tiene varios siglos de practicarse y que poco a poco se ha ido profesionalizando, al grado que hoy existe una carrera en laudería a nivel licenciatura y muchas especialidades vinculadas a ella. Existe una gran diferencia entre una guitarra construida para dar un concierto, y una para simplemente estudiar música, y son identificadas así, guitarras de concierto y guitarras de estudio, respectivamente. Una guitarra de estudio puede conseguirse fácilmente por alrededor de \$200 USD, en cambio una guitarra de concierto, cuesta al menos \$5000 USD. La diferencia de calidades radica en la construcción, los materiales utilizados y ciertos detalles que se ven reflejados en el sonido de la guitarra.

El sonido en una guitarra de concierto será limpio en todas las cuerdas y en todos los trastes. Los sonidos durarán el mayor tiempo posible, pues una guitarra en que el sonido se "apague" rápidamente no puede ser de calidad, este punto va íntimamente ligado con la intensidad de sonido, que es el factor más importante. [1]

Este tipo de guitarras son construidas principalmente en España, y hay pocos constructores en el mundo cuyos instrumentos puedan compararse a los españoles. La tecnología actual esta tratando de contrarrestar el carácter subjetivo, de la apreciación de la calidad de una guitarra de concierto, a términos mensurables y comparables, mediante investigaciones basadas en experimentación y simulación principalmente, que ayudan a los constructores a optimizar sus guitarras para obtener la mayor calidad y bajar los costos.

2. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA PROPUESTA.

La parte principal de una guitarra es, como se ha mencionado, la tapa armónica, y la relación que tiene sus modos de vibración con el sonido que produce es determinante para la calidad de la guitarra.

El comportamiento vibracional de una tapa armónica está en función de los parámetros mecánicos de la madera. Se tiene que los parámetros de más influencia para las frecuencias y modos normales son los módulos de Young. Se ha encontrado que la densidad es un parámetro que altera el valor de las frecuencias, aunque esto no cambia las relaciones relativas de frecuencias o los patrones de los modos. El módulo de corte no afecta significativamente los resultados, excepto en el caso de G_{LR} . Finalmente, la relación de Poisson tiene una fuerte influencia en los resultados, sobre cualquier rango de variación.

De estos datos, se puede ver claramente que la precisa determinación de los módulos de Young y la densidad, principalmente, y el valor de G_{LR} para cada muestra son necesario si se desea un resultado cuantitativo del comportamiento vibracional de una tapa armónica. El resto de los parámetros pueden ser tomados como el valor principal sin tener desviaciones considerables en el resultado.[2]

2.1 Materiales considerados para la construcción del modelo

Madera	Densidad (Kg/m ³)	Módulo de Young (Gpa)		
		Corte	longitudinal	radial
Spruce	460	0,84	15	0,76
Maple (Czech)	620	1,7	10	2,0
Cedar (rojo)	390	0,65	9,1	0,72
Mahogany(Khaya)	550	0,63	12	0,90
Palo de rosa (Indio)	730	2,2	13	2,4
(brasileño)	830	3,0	16	2,8
Ébano	1200			

Tabla 1. Propiedades de maderas utilizadas para la construcción de guitarras. [3]

El material utilizado para realizar el análisis ha sido ciprés. Dado que la madera no es un material ortotrópico, es un poco complicado simular sus propiedades, sin embargo, teniendo en cuenta las limitaciones planteadas al inicio desde este trabajo, el algoritmo puede ser tomado como base para futuras aplicaciones.

La relación de Poisson se tomará como 0.3, que es un dato general en las maderas, para simplificar la variación de los parámetros.

Todo el análisis fue hecho a manera de comandos, en modo Batch, es decir, no se interactuó con Ansys del modo gráfico. Esto otorga la gran ventaja de que pueden modificarse rápidamente las medidas, materiales, grados de libertad, etc. con sólo conocer el comando preciso. [4]

2.2 Planos para la construcción del modelo.

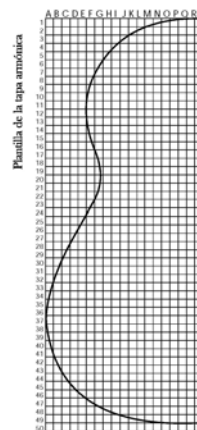


Figura 1. Plantilla de la tapa armónica.

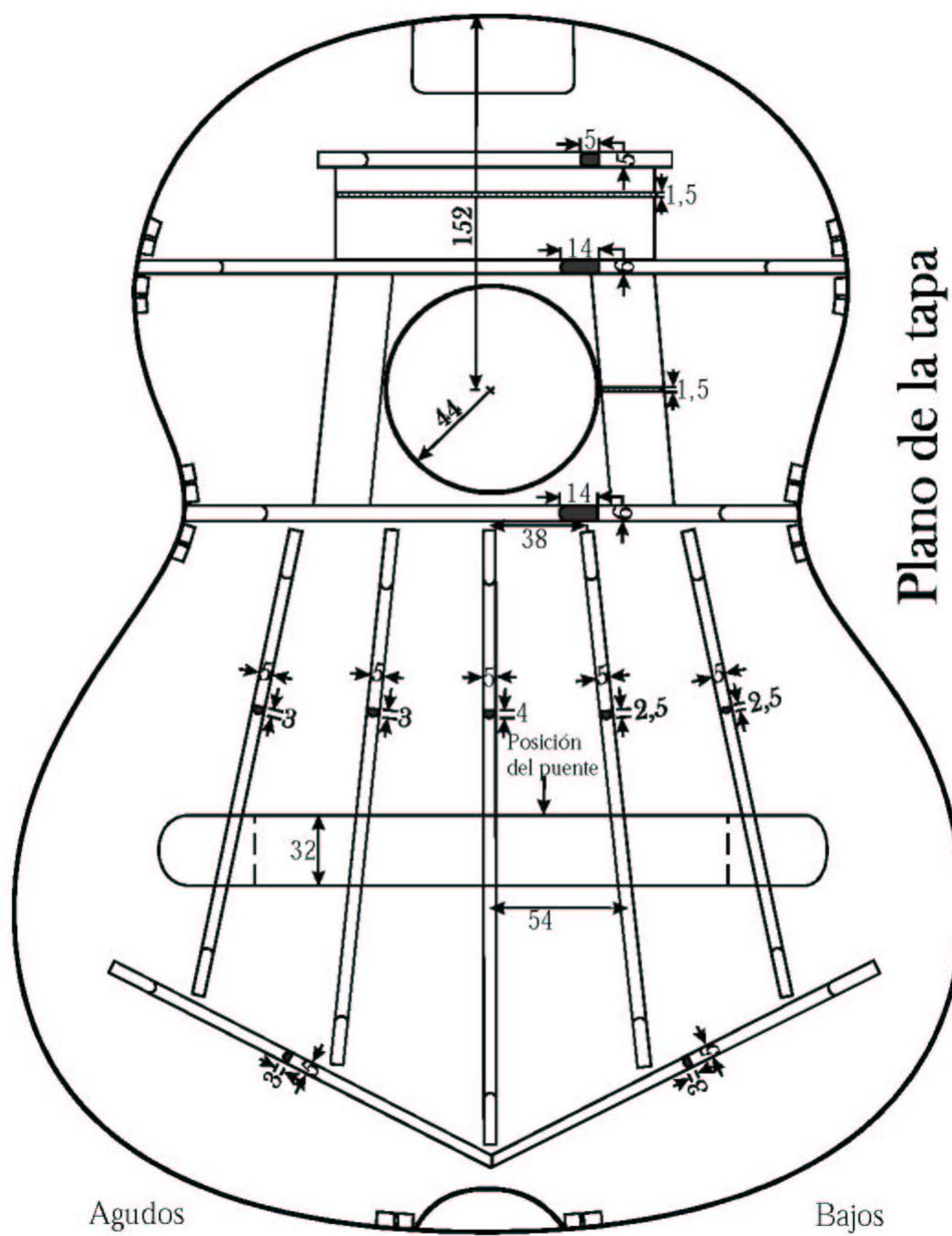


Figura 2. Plano de la tapa [5].

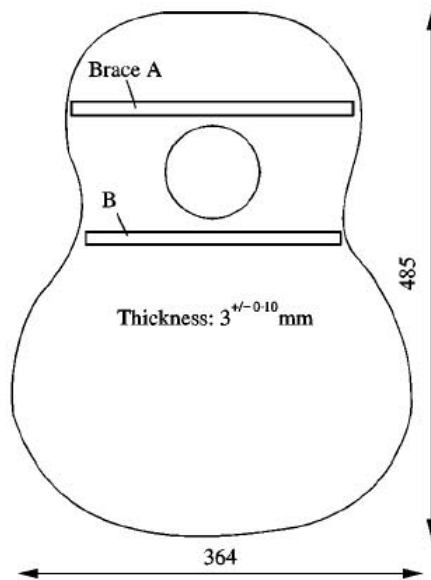


Figura 3. Espesores y medidas tangenciales. [6]

3. RESULTADOS

3.1 Simulación en Ansys.

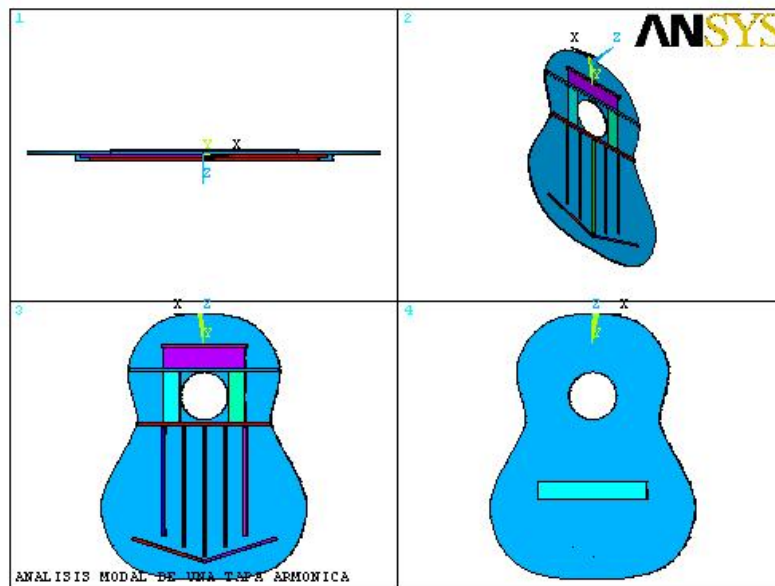


Figura 4. Construcción de la geometría.

El modelo fue hecho totalmente desde Ansys, es decir, no se utilizó ningún tipo de importación desde otro paquete.[7] Las dimensiones en la figura pueden variar ligeramente con la del plano mostrado, y el cálculo está hecho considerando como si estuvieran las costillas totalmente adheridas a la tapa.

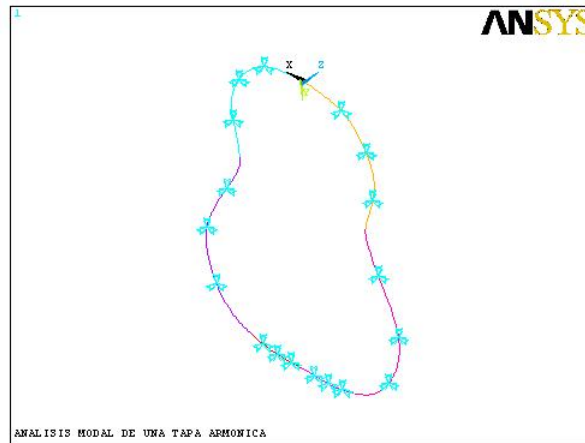


Figura 5. Grados de libertad.

Se fijó todo el contorno de la figura, de modo que la tapa no pudiera tener movimientos de traslación en ninguna dirección, como si estuviera montada en la caja, pero sin el brazo ensamblado.

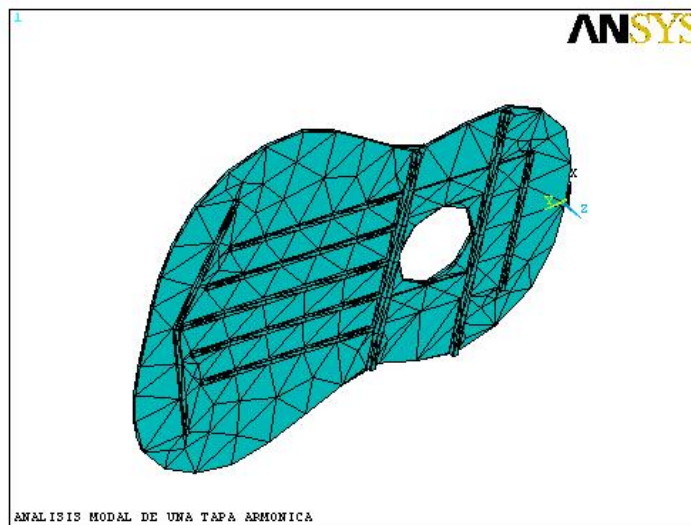


Figura 6. Proceso de mallado.

El elemento utilizado para mallar el modelo es una estructura sólida en forma tetrahédrica con 10 nodos (SOLID92), recomendado para figuras irregulares, y que obviamente soporta un análisis modal. [4]

3.2 Modos de vibración

Aquí se muestran los resultados del análisis. Cada figura muestra tres vistas distintas del modo de vibración obtenido en la simulación. Los datos mostrados a la derecha son los que arroja Ansys, y se interpretan de la siguiente manera[8]:

ANSYS 5.5.1: Versión de Ansys

JUN 6 2003

08:46:43.- Fecha y hora en el que se realizó el análisis

NODAL SOLUTION.- tipo de solución desplegada en pantalla

STEP =X.- paso de carga del análisis

SUB =X.- Número del modo de vibración

FREQ=XXX.XXX.- eigenfrecuencia en kHz

USUM (AVG) .- Tipo de resultados graficados en pantalla (combinación de los esfuerzos en la dirección x, y, z).

Los siguientes datos son irrelevantes en este estudio, puesto que no interesan los valores relacionados con el esfuerzo, aunque se muestra la clave de colores de una manera comprensible.

Enseguida se muestran los modos de vibración obtenidos.

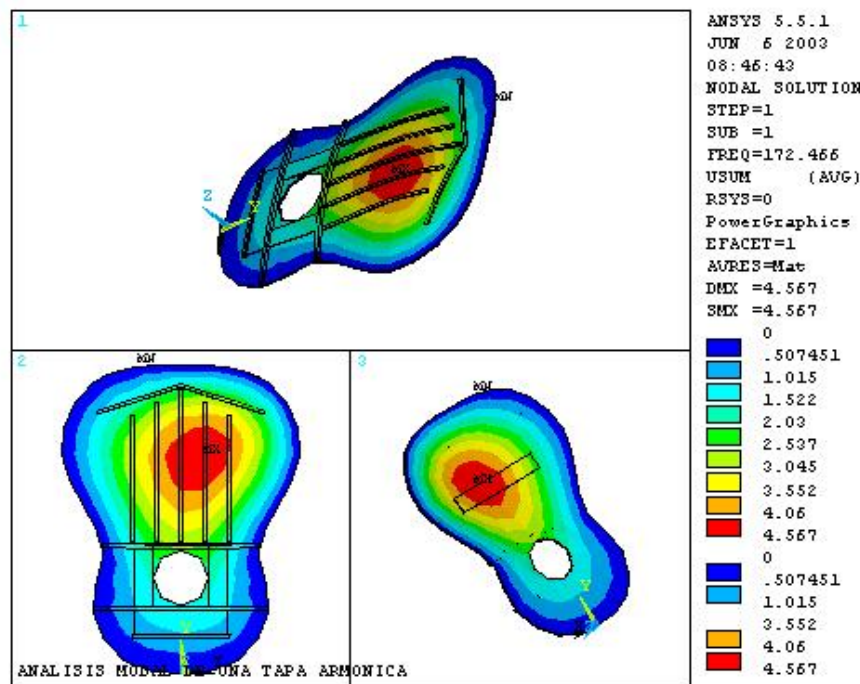


Figura 7. Modo 1.

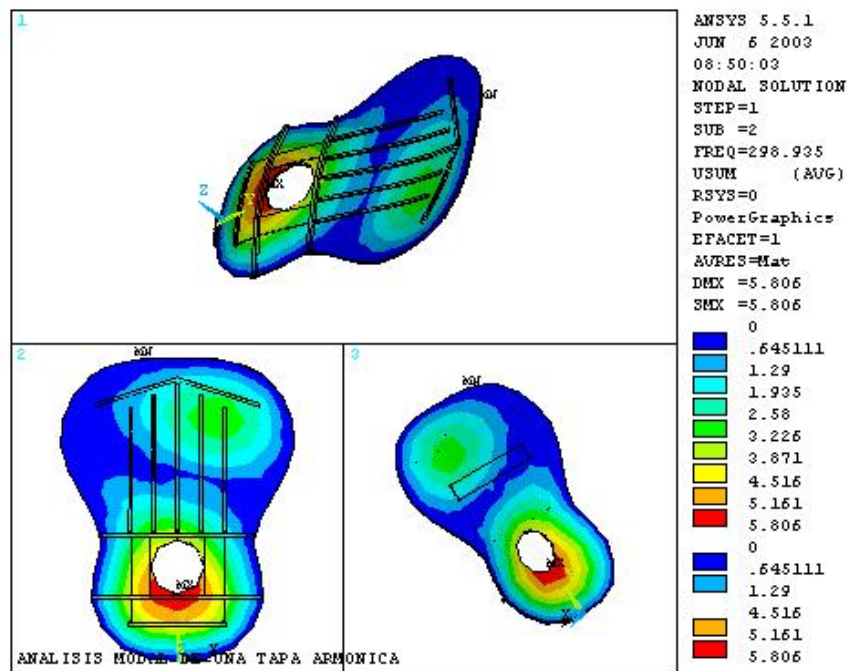


Figura 8. Modo 2.

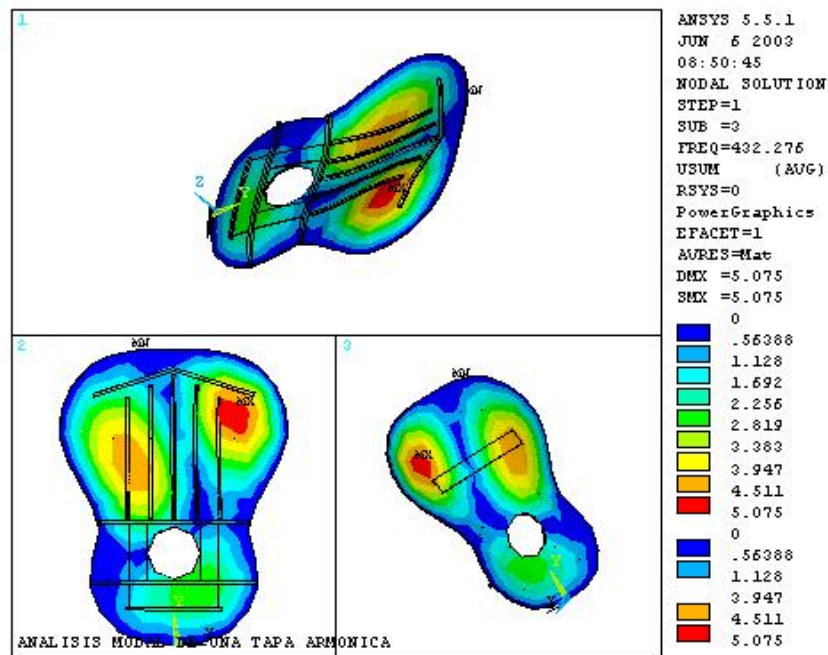


Figura 9. Modo 3.

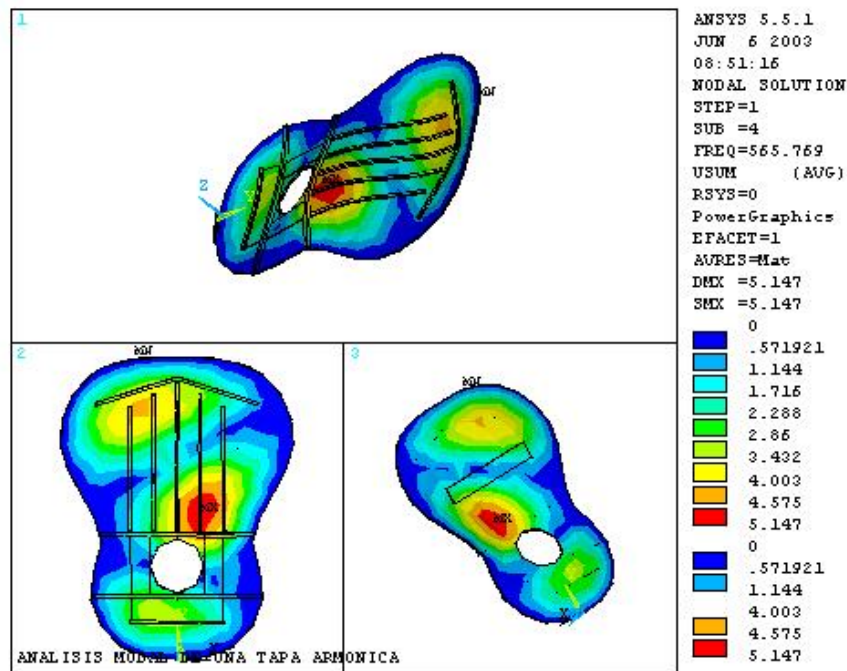


Figura 10. Modo 4.

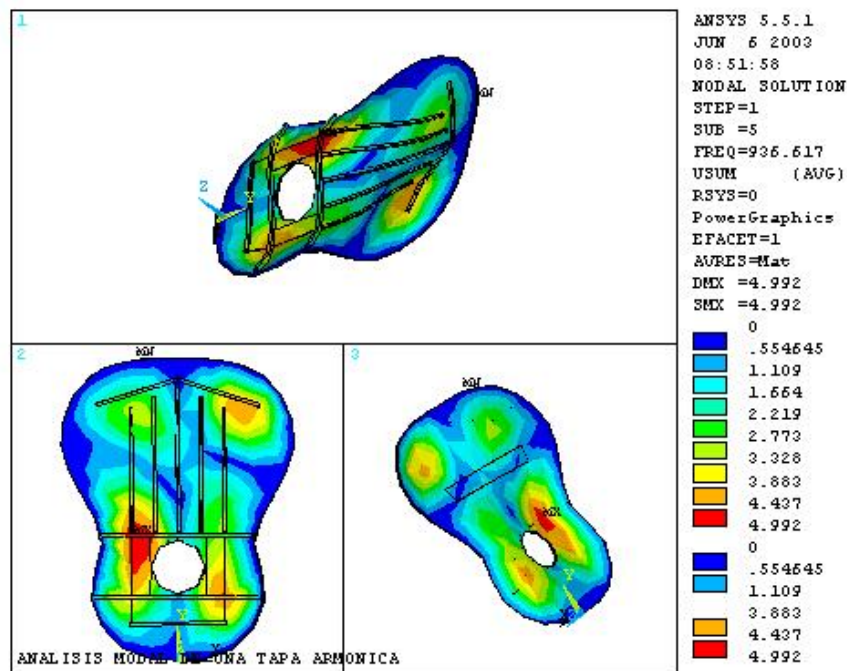


Figura 11. Modo 5.

3.3 Programa para el análisis modal de una tapa armónica de una guitarra.

```

/FILNAM,MODAL !tipo de análisis a realizar
/TITLE,ANALISIS MODAL DE UNA TAPA ARMONICA !titulo
/UNITS,SI !sistema de unidades
/PREP7 !entra al preprocesador
ET,1,SOLID92 ! Define SOLID45 como tipo de elemento
MP,EX,1,.72E9 !propiedades del material
MP,EY,1,.65E9
MP,EZ,1,9.1E9
MP,DENS,1,390
MP,NUXY,1,.3
K,1 ! Define keypoint
K,2,.070,.010,
K,3,.110,.038
K,4,.140,.100,
K,5,.130,.160,
K,6,.123,.190,
K,7,.130,.220,
K,8,.173,.300,
K,9,.190,.365,
K,10,.160,.443,
K,11,.100,.481
K,12,.080,.486,
K,13,.050,.490
K,14,.020,.490
K,15,0,.490
BSPLINE,1,2,3,4,5,6,!dibuja una linea através de los puntos
BSPLINE,6,7,8,9,10,11
BSPLINE,11,12,13,14,15
LSYMM,,ALL, !comando espejo
LGLUE,ALL !formar una sola linea
AL,ALL
WPAVE,0,.152
PCIRC,.044 !Boca de la guitarra
ASBA,1,2
LSEL,S,LINE,,1
LSEL,A,LINE,,2
LSEL,A,LINE,,3
LSEL,A,LINE,,8
LSEL,A,LINE,,5
LSEL,A,LINE,,7

```

```

DL,ALL,,ALL          !grados de libertad a las lineas seleccionadas
WPAVE
BLOCK,,1,-.1,.31,.342,-.003,-.006 !construccion de las costillas
BLOCK,-.075,.,.075,.,.0625,.,1,0,.0015
BLOCK,,123,-.123,.,200,.,206,0,.,006
BLOCK,,138,-.138,.,100,.,106,0,.,006
BLOCK,.,078,-.078,.,0575,.,0625,0,.,005
BLOCK,,0025,-.0025,.,21,.,45,0,.,004
BLOCK,-.0355,-.0405,.,21,.,43,0,.,003
BLOCK,-.0735,-.0785,.,21,.,41,0,.,003
BLOCK,.,0355,.,0405,.,21,.,43,0,.,0025
BLOCK,.,0735,.,0785,.,21,.,41,0,.,0025
BLOCK,-.045,-.075,.,106,.,2,0,.,0015
BLOCK,.,045,.,075,.,106,.,2,0,.,0015
K,500,0,.,46,0
K,501,.,0735,.,23,0
KWPLAN,,500,501,1
BLOCK,O,.,005,O,.,14,0,-.003
VSYMM,,13
VEXT,3,,,,,-.003          !extrusión de la tapa
VADD,ALL          !unión de todos los volúmenes
WPAVE
/VIEW,,1,1,1
VPLOT/ANG,1
/REP
ESIZE,.,048
VMESH,ALL
/DIST, 1 ,0.729000,1
/REP,FAST
/DIST, 1 ,0.729000,1
/REP,FAST
/FOC, 1 ,, -0.300000,,1
/REP,FAST
/FOC, 1 ,, -0.300000,,1
/REP,FAST

FINISH          !salida el preprocesador

/SOLU          !ingreso al procesador de solución
ANTYPE,MODAL  !      !elección del análisis modal
MODEOPT,SUBSP,5      !número de modos de vibración a obtener
MXPAND,5
SOLVE          !obtención de la solución

```

FINISH

```

/POST1                      !entra al posprocesador
SET,LIST,2
SET,FIRST                   !poner los primeros resultados en pantalla
/ANG, 1, -180, ZS, 1
/REP, FAST
PLNS, U, SUM                !graficar deformaciones y esfuerzos en x,y,z

```

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se puede observar claramente la similitud de los modos de vibración obtenidos en este estudio, con los obtenidos en estudios similares. El valor de las frecuencias varia de un material a otro (yo utilicé ciprés, mientras ellos utilizaron abeto). Debido a la facilidad que otorga la programación en modo batch de Ansys, se pudieron comparar diferentes materiales, notando la variación de las frecuencias pero la similitud de los modos de vibración. Aunque por supuesto que una comparación con un análisis experimental a la par hubiera sido de gran ayuda. En la investigación realizada por S.V. Shlychkov [2], se hace una investigación experimental además de la del método del elemento finito, donde se muestra como puede ser confiable un análisis de este tipo.

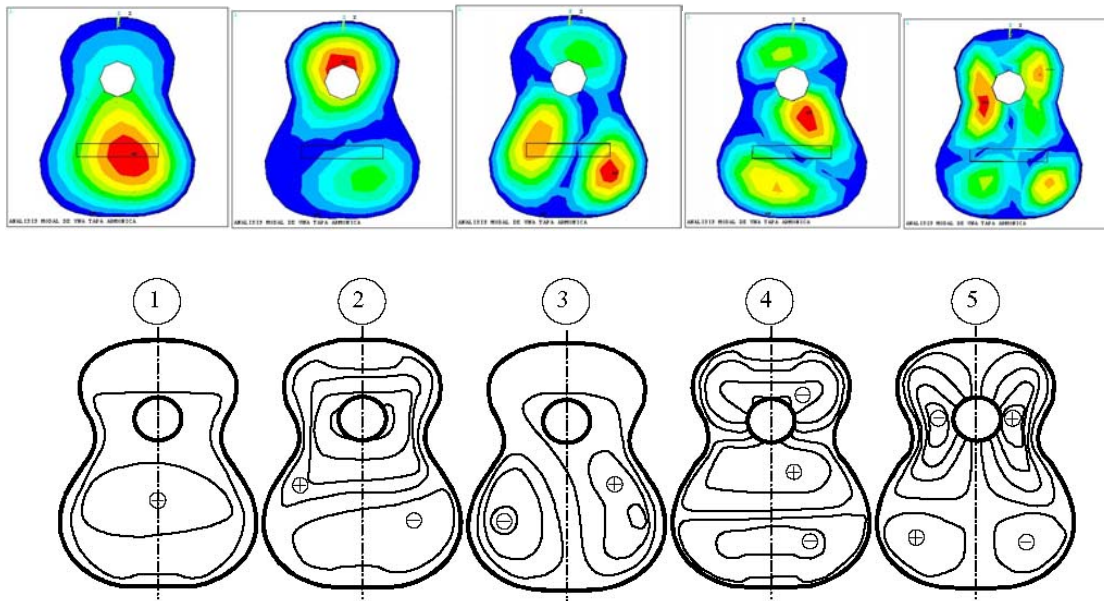


Figura 12. Comparación con estudios similares.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis por el método del elemento finito de las tapas armónicas de una guitarra, puede abrir la puerta a la mejora en el diseño y construcción de este instrumento. Este estudio puede tomarse como base para obtener resultados con la confiabilidad necesaria, siempre y cuando se trabaje en conjunto con las áreas adecuadas, como química, propiedades de los materiales, laudería por mencionar algunas, puesto que se muestra un algoritmo claro y sencillo sobre el modelado de la tapa en Ansys, que puede colaborar fácilmente a la creación de un nuevo modelo con las características necesarias.

El estado del arte mostrado en el marco teórico, es una recopilación importante de libros especializados y artículos publicados por las mejores universidades del mundo, que puede ser útil para cualquier persona que se interese por la aplicación de la ciencia y la tecnología a la laudería.

Además, el presente trabajo puede ser utilizado como un tutorial de Ansys para realizar un análisis modal, puesto que la estructura es exactamente la mostrada en el manual de procedimientos, y el programa viene detallado acerca de que es lo que está haciendo cada comando.

REFERENCIAS

1. <http://guitarra.artelinkado.com/guitarra/articulos.htm>
2. SHLYCHKOV S. V., *“Investigation of the dynamic characteristics of the Sound Rating Elements of String Musical Instruments: Computation and Experiment”*, XI Session fo the Russian Acoustical Society, Moscow, 2001
3. JANSSON Erik, *“Acoustics for Violin and Guitar Makers”*, 4^a ed., <http://www.speech.kth.se/music/acviguit4>, 2002
4. TORRES Torres David *“Análisis por el Método del Elemento Finito para Convertir tractores agrícolas convencionales a alto despeje”*, Tesis Profesional, México, Instituto Tecnológico de Querétaro, 2003.
5. FEIJÓO Iglesias José Luis, *“Construcción de una guitarra de concierto”*, Keywords: planos guitarra.
6. EZCURRA A., *“Influence of the Material Constants on the Low Frequency Modes of a Free Guitar Plate”*, España, Journal of Sound and Vibration 194(4) 640-644, 1996.
7. ANSYS, *“Basic Analysis Procedures Guide”*, 3^a ed., SAS IP, 1998

8. ANSYS, “*Structural Analysis Guide*”, 4ª edición, SAS IP, 1998