Luthieria consciente

Estudio de la influencia de la estructura interna y sus dimensiones sobre los modos de vibración

Autor: José María Gamero Alosno

Noviembre 2026

1. Introducción

La tapa armónica es uno de los componentes más importantes de la guitarra clásica española. Su comportamiento está condicionado por numerosos factores, entre los que destacan las propiedades de la madera, su geometría, sus dimensiones y la estructura interna que proporciona el refuerzo necesario para soportar las solicitaciones mecánicas a las que está sometida.

Durante la construcción de una guitarra, el luthier toma numerosas decisiones relacionadas con la configuración de esta estructura: dimensiones de las barras, altura de las varetas, geometría de los refuerzos y distribución de los diferentes elementos.

Estas decisiones no solo afectan a la resistencia y estabilidad de la tapa, sino también a su comportamiento vibratorio.

Tradicionalmente, buena parte de estas decisiones se han desarrollado a partir de la experiencia constructiva, la observación y el conocimiento transmitido entre generaciones de guitarreros. Este conocimiento constituye una parte fundamental de la luthería, pero también resulta interesante disponer de herramientas que permitan estudiar con mayor detalle las consecuencias de determinadas modificaciones constructivas.

El propósito de esta guía es mostrar cómo influye la altura de los diferentes elementos estructurales de una tapa armónica en sus modos de vibración y en las frecuencias asociadas a cada uno de ellos.

Para ello, se parte de una configuración estructural determinada y se estudia cómo cambia su comportamiento cuando se modifica individualmente la altura de sus diferentes componentes.

El planteamiento consiste en mantener constante la disposición y geometría de la estructura, modificando únicamente la altura de los elementos seleccionados. De esta manera, se pretende identificar qué modificaciones producen mayores variaciones y cómo afecta cada una de ellas a los distintos modos de vibración.

Además del estudio comparativo, se presentan procedimientos experimentales para observar y medir el comportamiento vibratorio de una tapa armónica mediante análisis FFT y patrones de Chladni.

La intención no es establecer una configuración constructiva universal ni proporcionar medidas que deban aplicarse necesariamente a todas las guitarras. Se pretende ofrecer información que ayude al luthier a comprender mejor la influencia de sus decisiones constructivas y que pueda complementar su experiencia durante el diseño y la construcción del instrumento.

De este modo, se pretende aportar información que pueda incorporarse de forma sencilla al proceso de diseño y construcción de cada luthier.

2. Configuración estructural de referencia

2.1. Descripción de la configuración inicial

Para realizar el estudio se establece una configuración inicial de tapa armónica armada, que servirá como referencia para todas las comparaciones posteriores.

Esta configuración representa el punto de partida a partir del cual se realizarán las diferentes modificaciones de altura de los elementos estructurales.

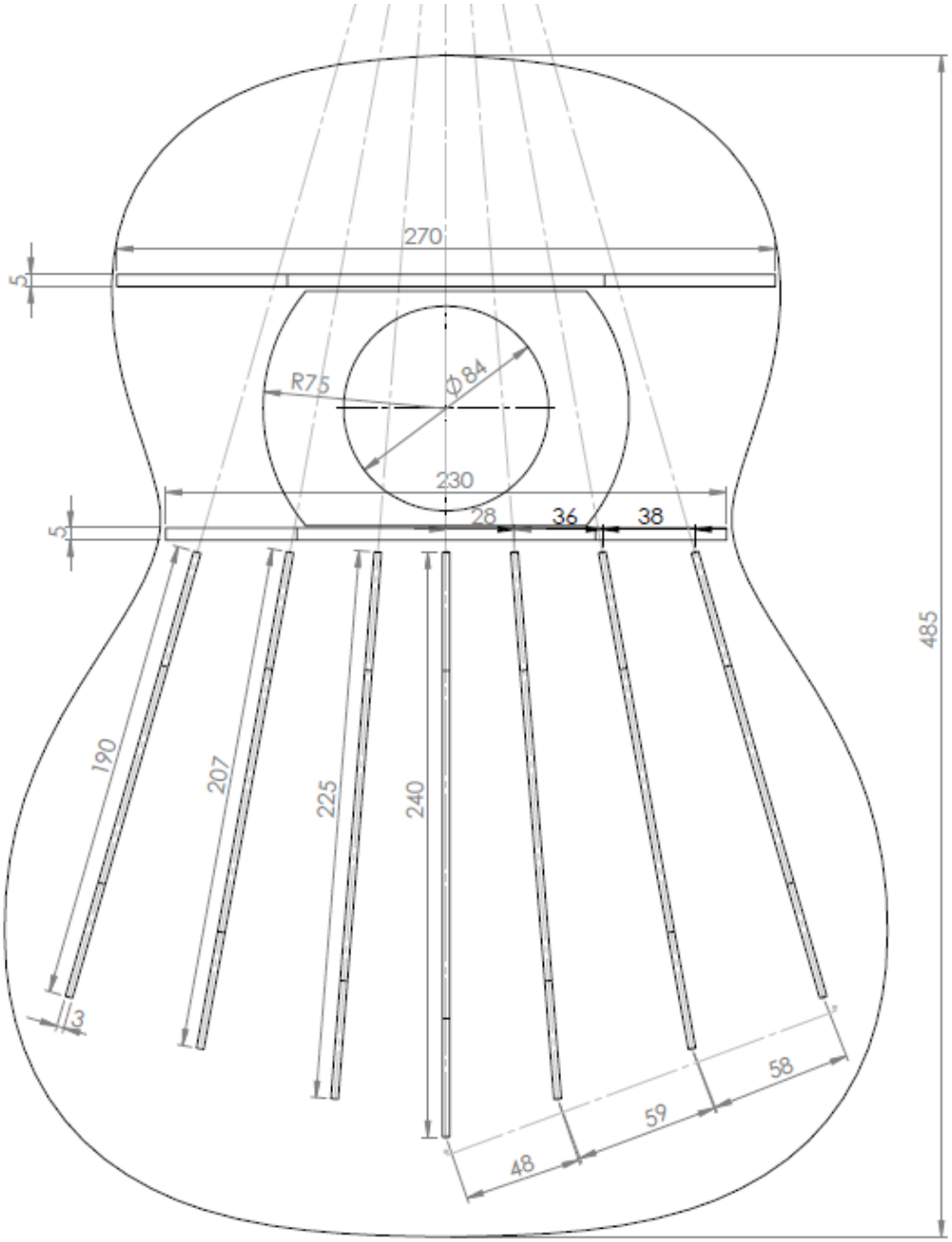


Figura 1. Plano de la configuración estructural de referencia.

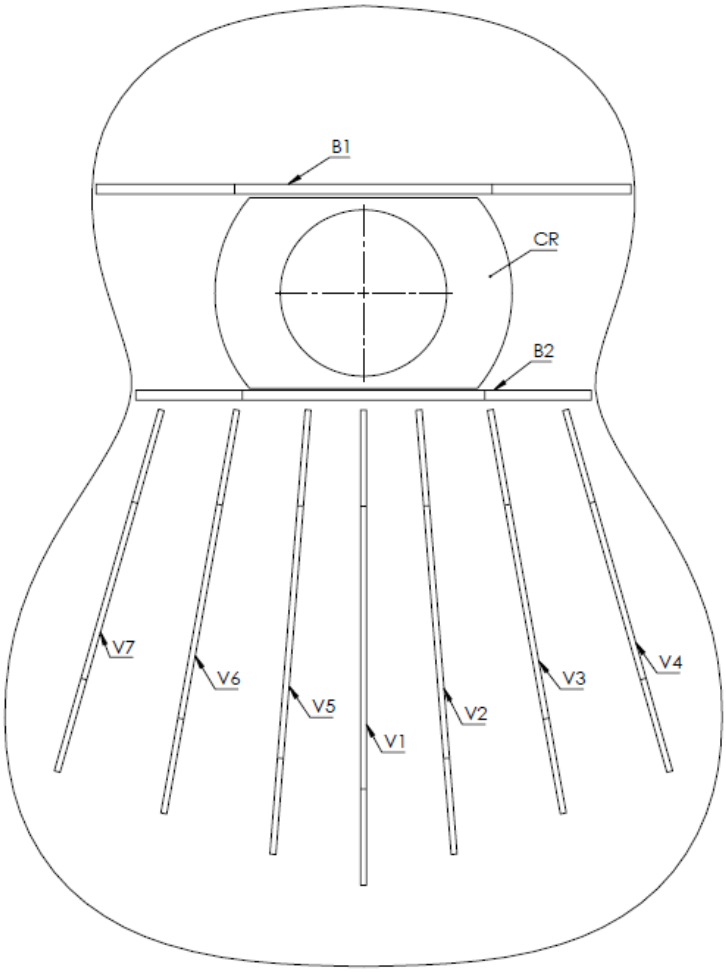


Figura 2. Plano de nomenclatura del armado.

En el plano se identificarán los diferentes elementos que forman la estructura interna de la tapa. Esta identificación permitirá localizar fácilmente cada uno de los componentes que serán objeto de estudio en los siguientes apartados.

La configuración inicial se mantendrá sin modificaciones durante todo el procedimiento comparativo, salvo en aquellos elementos cuya altura se altere expresamente en cada caso.

Es importante señalar que el objetivo es estudiar la influencia individual de la altura de los distintos componentes, por lo que se mantendrán constantes sus restantes características geométricas y las del conjunto.

2.2. Comportamiento vibratorio de la configuración inicial

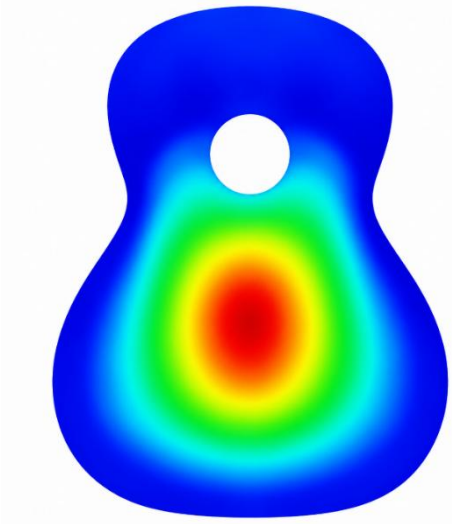
Una vez definida la configuración de referencia, se obtienen sus principales modos de vibración y las frecuencias propias asociadas a cada uno de ellos.

Estos resultados constituyen la referencia con la que se compararán todas las configuraciones modificadas.

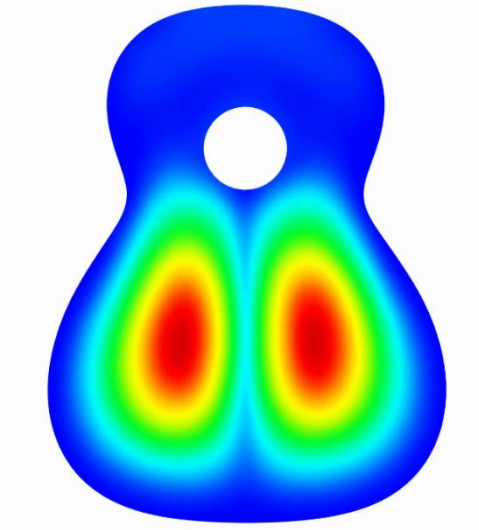
Los modos de vibración permiten visualizar las diferentes formas en las que puede deformarse la tapa cuando vibra a determinadas frecuencias. Cada modo presenta una distribución de movimiento característica, por lo que la modificación de un elemento estructural puede afectar de manera diferente a cada uno de ellos.

A continuación, se presentan las imágenes correspondientes a los modos de vibración de la configuración inicial.

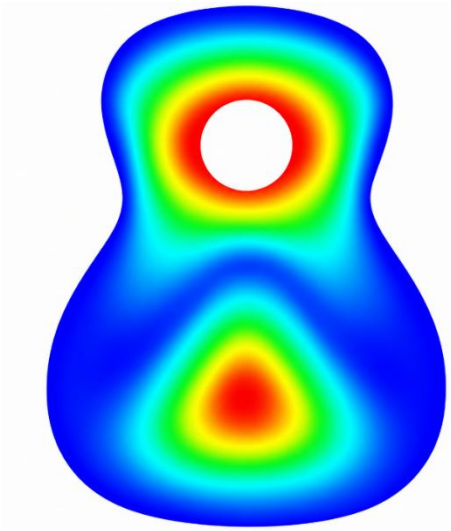
Modo monopolar



Modo dipolar transversal



Modo dipolar longitudinal



Modo tripolar transversal

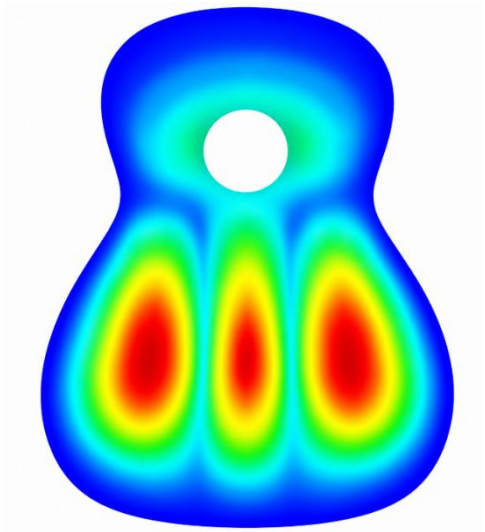


Figura 3. Modos de vibración de la configuración estructural de referencia.

Para facilitar las comparaciones posteriores, se recoge en la siguiente tabla la relación de modos y sus correspondientes frecuencias, junto con las alturas de cada elemento en milímetros. La altura de la contra-roseta (CR) no variará durante el estudio y será de 0,5 mm.

Tabla 1. Alturas propias de la configuración estructural de referencia.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,5	10	10	6	6	6	6

Tabla 2. Frecuencias propias de la configuración estructural de referencia.

Modo	Tipo	Frecuencia (Hz)
1	Monopolar	195,86
2	Dipolar transversal	255,9
3	Tripolar transversal	321,08
4	Dipolar longitudinal	357,07

Esta tabla será la referencia común para todas las comparaciones que se realizarán posteriormente. De esta forma, será posible identificar las variaciones de frecuencia producidas por cada modificación y observar qué modos presentan una mayor sensibilidad ante los cambios realizados.

2.3. Consideraciones para las comparaciones posteriores

Todas las modificaciones que se presentan en esta guía parten de la misma configuración inicial.

En cada caso se modificará exclusivamente la altura del elemento o conjunto de elementos seleccionado, manteniendo constantes las restantes dimensiones y la disposición general de la estructura.

Cuando se estudien elementos dispuestos simétricamente, las modificaciones se realizarán simultáneamente en ambos para conservar la simetría del conjunto.

Este criterio permitirá analizar de forma ordenada la influencia de cada elemento y comparar sus efectos sobre el comportamiento vibratorio de la tapa.

La configuración inicial definida en este apartado será, por tanto, el punto de referencia de todo el estudio.

Para comentar las simulaciones en el próximo capitulo previamente se dará unas pinceladas teóricas con respecto al análisis modal.

Teóricamente, las frecuencias de los modos de vibración se obtienen resolviendo el siguiente determinante:

$$\det(K - \omega^2 M) = 0$$

Donde K es la matriz de rigidez, M es la matriz de masa y ω el vector de frecuencias.

Haciendo una enorme simplificación podemos decir que las frecuencias dependen de la división de la rigidez entre la masa.

3. Influencia de las dimensiones de los elementos estructurales en el comportamiento vibratorio

Una vez definida la configuración estructural de referencia, se procede a estudiar cómo afectan las variaciones dimensionales de sus diferentes elementos al comportamiento vibratorio de la tapa armónica.

El estudio consiste en realizar modificaciones individuales sobre los elementos que forman la estructura, manteniendo constantes las restantes dimensiones y la disposición general del conjunto.

En cada simulación se modifica la altura de un elemento estructural, reduciéndola respecto a su dimensión inicial.

En el caso de los elementos dispuestos simétricamente, las modificaciones se realizan simultáneamente en ambos elementos, con el objetivo de conservar la simetría de la estructura.

Para cada configuración modificada se obtienen nuevamente los modos de vibración y sus correspondientes frecuencias propias. Los resultados se comparan con los de la configuración inicial, permitiendo identificar las variaciones producidas en cada uno de los modos estudiados.

La presentación de los resultados se realizará mediante dos tablas para cada simulación. La primera recogerá las dimensiones de los elementos de la configuración estudiada, mientras que la segunda mostrará la comparación de frecuencias respecto al modelo de referencia.

De esta manera, se podrá observar de forma individual la influencia de cada modificación y, posteriormente, comparar los resultados de todas las simulaciones.

3.1. Simulación 1. Reducción del espesor de la tapa armónica

En esta simulación se estudia la influencia de una reducción del espesor de la tapa armónica sobre el comportamiento vibratorio del conjunto.

Tabla 3. Dimensiones de los elementos estructurales en la simulación 1.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,3	10	10	6	6	6	6

Tabla 4. Comparación frecuencial entre el modelo de referencia y la simulación 1.

Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)	Frecuencia nueva (Hz)	Δ frecuencia (Hz)	Cambio (%)
1	Monopolar	195,86	190,31	-5,55	-2,83%
2	Dipolar transversal	255,9	242,96	-12,94	-5,06%
3	Tripolar transversal	321,08	302,15	-18,93	-5,90%
4	Dipolar longitudinal	357,07	345,72	-11,35	-3,18%

La reducción del espesor de la tapa armónica produce una disminución de las frecuencias propias de todos los modos estudiados. Las variaciones son apreciables en los cuatro casos, siendo especialmente significativa la correspondiente al modo tripolar transversal, cuya frecuencia disminuye un 5,90 %.

Este resultado muestra que la modificación del espesor de la propia tapa tiene una influencia general sobre el comportamiento vibratorio del conjunto, aunque la magnitud de dicha influencia no es idéntica para todos los modos.

Se pone de manifiesto que el espesor de la tapa armónica constituye un parámetro de gran relevancia en la configuración estructural, ya que su modificación afecta de forma simultánea a los distintos modos de vibración.

3.2. Simulación 2. Reducción del espesor de la barra transversal 1

En esta simulación se estudia la influencia de una reducción del espesor de la barra transversal 1 (B1) sobre el comportamiento vibratorio del conjunto.

Tabla 5. Dimensiones de los elementos estructurales en la simulación 2.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,5	8	10	6	6	6	6

Tabla 6. Comparación frecuencial entre el modelo de referencia y la simulación 2.

Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)	Frecuencia nueva (Hz)	Δ frecuencia (Hz)	Cambio (%)
1	Monopolar	195,86	195,73	-0,13	-0,07%
2	Dipolar transversal	255,9	255,85	-0,05	-0,02%
3	Tripolar transversal	321,08	320,5	-0,58	-0,18%
4	Dipolar longitudinal	357,07	342,67	-14,4	-4,03%

La reducción de altura de B1 produce una variación especialmente significativa en la frecuencia del modo dipolar longitudinal, mientras que las frecuencias de los restantes modos apenas experimentan cambios.

Al observar la forma modal correspondiente, se aprecia que B1 se encuentra en una región de elevada amplitud de movimiento, mientras que en los otros modos estudiados ocupa una zona de menor desplazamiento.

Este resultado pone de manifiesto que la influencia de un elemento estructural no depende únicamente de sus dimensiones, sino también de su posición respecto a la distribución de movimiento de cada modo de vibración.

3.3. Simulación 3. Reducción del espesor de la barra transversal 2

En esta simulación se estudia la influencia de una reducción del espesor de la barra transversal 2 (B2) sobre el comportamiento vibratorio del conjunto.

Tabla 7. Dimensiones de los elementos estructurales en la simulación 3.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,5	10	8	6	6	6	6

Tabla 8. Comparación frecuencial entre el modelo de referencia y la simulación 3.

Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)	Frecuencia nueva (Hz)	Δ frecuencia (Hz)	Cambio (%)
1	Monopolar	195,86	181,28	-14,58	-7,44%
2	Dipolar transversal	255,9	252,49	-3,41	-1,33%
3	Tripolar transversal	321,08	318,43	-2,65	-0,83%
4	Dipolar longitudinal	357,07	343,79	-13,28	-3,72%

La reducción de altura de B2 produce una variación especialmente significativa en la frecuencia del modo monopolar, que disminuye un 7,44 %. También se observa una reducción importante en el modo dipolar longitudinal, mientras que los modos dipolar transversal y tripolar transversal presentan variaciones considerablemente menores.

Este resultado muestra que la modificación de B2 no afecta de manera uniforme a todos los modos de vibración, sino que su influencia es especialmente marcada en determinados patrones modales.

La comparación pone de manifiesto que la posición y las características de un elemento estructural pueden hacer que su modificación tenga una repercusión muy diferente sobre cada modo de vibración.

3.4. Simulación 4. Reducción del espesor de la vareta 1

En esta simulación se estudia la influencia de una reducción del espesor de la vareta 1 (V1) sobre el comportamiento vibratorio del conjunto.

Tabla 9. Dimensiones de los elementos estructurales en la simulación 4.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,5	10	10	5	6	6	6

Tabla 10. Comparación frecuencial entre el modelo de referencia y la simulación 4.

Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)	Frecuencia nueva (Hz)	Δ frecuencia (Hz)	Cambio (%)
1	Monopolar	195,86	193,4	-2,46	-1,26%
2	Dipolar transversal	255,9	255,81	-0,09	-0,04%
3	Tripolar transversal	321,08	318,82	-2,26	-0,70%
4	Dipolar longitudinal	357,07	345,49	-11,58	-3,24%

La reducción de altura de V1 produce una variación especialmente significativa en la frecuencia del modo dipolar longitudinal, que disminuye un 3,24 %. El modo monopolar y el tripolar transversal también experimentan una reducción, aunque de menor magnitud. Por el contrario, la frecuencia del modo dipolar transversal apenas presenta variación.

Este comportamiento evidencia que la modificación de V1 tiene una influencia desigual sobre los modos estudiados, afectando principalmente a aquellos cuya respuesta vibratoria resulta más sensible a la modificación de este elemento.

El resultado pone de manifiesto que las varetas longitudinales no tienen una influencia uniforme sobre el comportamiento vibratorio de la tapa, sino que su efecto depende del modo considerado.

3.5. Simulación 5. Reducción del espesor de la vareta 2 y la vareta 5

En esta simulación se estudia la influencia de una reducción del espesor de la vareta 2 y la vareta 5 (V2 y V5) sobre el comportamiento vibratorio del conjunto.

Tabla 11. Dimensiones de los elementos estructurales en la simulación 5.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,5	10	10	6	5	6	6

Tabla 12. Comparación frecuencial entre el modelo de referencia y la simulación 5.

Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)	Frecuencia nueva (Hz)	Δ frecuencia (Hz)	Cambio (%)
1	Monopolar	195,86	192,19	-3,67	-1,87%
2	Dipolar transversal	255,9	252,09	-3,81	-1,49%
3	Tripolar transversal	321,08	320,62	-0,46	-0,14%
4	Dipolar longitudinal	357,07	354,5	-2,57	-0,72%

La reducción simultánea de altura de V2 y V5 produce variaciones moderadas en las frecuencias de los modos monopolar y dipolar transversal, que disminuyen un 1,87 % y un 1,49 %, respectivamente. En los modos tripolar transversal y dipolar longitudinal, las variaciones son considerablemente menores.

Este resultado muestra que la modificación de esta pareja de varetas simétricas tiene una influencia más destacada sobre determinados modos, mientras que otros apenas experimentan cambios en su frecuencia propia.

Se pone de manifiesto que, incluso manteniendo la simetría de la estructura, la modificación de una pareja de elementos puede afectar de manera diferenciada a los distintos modos de vibración.

3.6. Simulación 6. Reducción del espesor de la vareta 3 y la vareta 6

En esta simulación se estudia la influencia de una reducción del espesor de la vareta 3 y la vareta 6 (V3 y V6) sobre el comportamiento vibratorio del conjunto.

Tabla 13. Dimensiones de los elementos estructurales en la simulación 6.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,5	10	10	6	6	5	6

Tabla 14. Comparación frecuencial entre el modelo de referencia y la simulación 6.

Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)	Frecuencia nueva (Hz)	Δ frecuencia (Hz)	Cambio (%)
1	Monopolar	195,86	194,66	-1,2	-0,61%
2	Dipolar transversal	255,9	251,04	-4,86	-1,90%
3	Tripolar transversal	321,08	317,38	-3,7	-1,15%
4	Dipolar longitudinal	357,07	356,81	-0,26	-0,07%

La reducción simultánea de altura de V3 y V6 produce una variación especialmente significativa en la frecuencia del modo dipolar transversal, que disminuye un 1,90 %. El modo tripolar transversal también presenta una reducción apreciable, mientras que la frecuencia del modo dipolar longitudinal apenas experimenta cambios.

Este resultado muestra que la modificación de esta pareja de varetas tiene una influencia más destacada sobre los modos dipolar transversal y tripolar transversal, presentando una repercusión mucho menor sobre el modo dipolar longitudinal.

La comparación pone de manifiesto que la influencia de las varetas simétricas depende del patrón de vibración considerado, de modo que una misma modificación estructural puede producir efectos de distinta magnitud en cada modo.

3.7. Simulación 7. Reducción del espesor de la vareta 4 y la vareta 7

En esta primera simulación se estudia la influencia de una reducción del espesor de la vareta 4 y la vareta 7 (V4 y V7) sobre el comportamiento vibratorio del conjunto.

Tabla 15. Dimensiones de los elementos estructurales en la simulación 7.

Alturas (mm)	Tapa	B1	B2	V1	V2 y V5	V3 Y V6	V4 Y V7
	2,5	10	10	6	6	6	5

Tabla 16. Comparación frecuencial entre el modelo de referencia y la simulación 7.

Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)	Frecuencia nueva (Hz)	Δ frecuencia (Hz)	Cambio (%)
1	Monopolar	195,86	195,79	-0,07	-0,04%
2	Dipolar transversal	255,9	255,3	-0,6	-0,23%
3	Tripolar transversal	321,08	319,36	-1,72	-0,54%
4	Dipolar longitudinal	357,07	356,96	-0,11	-0,03%

La reducción simultánea de altura de V4 y V7 produce variaciones muy pequeñas en las frecuencias propias de los cuatro modos estudiados. La mayor disminución se observa en el modo tripolar transversal, con un cambio del 0,54 %, mientras que los restantes modos presentan variaciones inferiores.

Este resultado indica que, para la modificación dimensional considerada, la influencia de esta pareja de varetas sobre las frecuencias propias es reducida en comparación con la de otros elementos estudiados.

Se pone de manifiesto que no todos los elementos de la estructura interna presentan la misma sensibilidad sobre el comportamiento vibratorio de la tapa, y que algunas modificaciones de altura pueden generar cambios frecuenciales de magnitud muy limitada.

3.8. Simulación 8. Moledo base con puente y tensión de cuerdas.

En esta simulación se estudia cómo cambia el comportamiento vibratorio del conjunto cuando al modelo base se le añade el puente y la tensión de las cuerdas.

Comparación de frecuencias

Tabla 17. Frecuencias del modelo de referencia.

Modelo referencia		
Modo	Tipo	Frecuencia base (Hz)
1	monopolar	195,86
2	dipolar transversal	255,9
3	tripolar transversal	321,08
4	dipolar longitudinal	357,07

Tabla 18. Frecuencias del modelo de referencia y puente.

Modelo referencia y puente		
Modo	Tipo	Frecuencia nueva (Hz)
1	monopolar	183,57
2	dipolar transversal	250,12
3	dipolar longitudinal	361,33
4	tripolar transversal	425,15

La incorporación del puente y de la tensión de las cuerdas al modelo de referencia produce modificaciones en las frecuencias propias de los cuatro modos estudiados. Se observa una disminución de las frecuencias de los modos monopolar y dipolar transversal, mientras que los modos tripolar transversal y dipolar longitudinal presentan un aumento de sus frecuencias.

Además de las variaciones frecuenciales, se produce un cambio en el orden de aparición de los modos. El modo dipolar longitudinal, que en el modelo de referencia ocupa la cuarta posición, pasa a ser el tercer modo, mientras que el modo tripolar transversal pasa de la tercera a la cuarta posición.

Este resultado pone de manifiesto que la incorporación del puente y de la tensión de las cuerdas modifica el comportamiento vibratorio de la tapa armónica. Por este motivo, la comparación entre ambas configuraciones debe realizarse atendiendo a la forma de vibración de cada modo y no únicamente al orden que ocupa en la secuencia de frecuencias.

4. Metodología de trabajo y ajuste de la tapa armónica

4.1. Preparación de la tapa y montaje inicial

El procedimiento comienza con la construcción de la tapa armónica, dejando las barras y varetas pretalladas, con una altura inicial aproximada y suficiente material para poder realizar posteriormente los ajustes necesarios.

Una vez preparada la estructura, se une la tapa con el mástil y se incorporan los aros de la guitarra.

Esta configuración permite colocar el conjunto boca arriba sobre la mesa de trabajo, utilizando esta última como fondo de la guitarra durante las mediciones.

La disposición de estos elementos permite trabajar con una configuración más próxima a las condiciones reales del instrumento y facilita la identificación de los principales modos de vibración.

4.2. Condiciones de montaje y modos de vibración

La incorporación de los aros tiene especial importancia, ya que proporciona unas condiciones de contorno más representativas del instrumento construido. El contorno de la tapa queda unido a los aros, evitando que pueda vibrar libremente por sus bordes como sucedería si se encontrase completamente aislada.

Por otra parte, al colocar el conjunto boca arriba sobre la mesa de trabajo, esta actúa como fondo de la guitarra. Esta disposición permite también identificar el modo 0 o modo de Helmholtz, asociado al comportamiento acústico de la cavidad del instrumento.

4.2.1 El modo 0 o resonancia de Helmholtz

Durante este montaje también es posible identificar el denominado modo 0 o resonancia de Helmholtz. A diferencia de los modos estructurales que se han estudiado anteriormente, en los que la tapa vibra adoptando distintas formas de deformación, este modo corresponde a una resonancia acústica del volumen de aire contenido en el interior de la guitarra y de su interacción con la abertura de la boca.

En términos sencillos, el aire contenido en la caja actúa como un muelle y el aire situado en la abertura de la boca se comporta como una masa que oscila. Esta interacción da lugar a una resonancia propia del sistema acústico de la guitarra.

Su identificación durante el proceso de construcción resulta interesante porque permite observar también el comportamiento acústico del instrumento, aunque debe distinguirse de las frecuencias correspondientes a los modos de vibración de la tapa.

Teniendo ya la boca de la guitarra fijada, sobre este modo se podrá actuar disminuyendo la altura de los aros para aumentar la frecuencia de ese modo, por lo que también es fundamental darle a los aros una altura inicial suficientemente alta para luego poder actuar sobre ellos.

4.3. Identificación y confirmación de los modos

Una vez preparado el conjunto, se procede a identificar los principales modos de vibración mediante el análisis FFT, utilizando la aplicación móvil Spectroid en mi caso particular.

Para ello, se golpea suavemente la tapa en las zonas de máxima amplitud de movimiento (antinodos), observando las frecuencias que aparecen en el espectro.

Sin embargo, la aparición de un pico en el análisis FFT no garantiza que corresponda a un modo propio de la tapa, ya que también pueden registrarse frecuencias procedentes de la mesa de trabajo, muebles próximos u otros elementos del entorno.

Por este motivo, las frecuencias identificadas se comprueban mediante patrones de Chladni. Para ello se utiliza una aplicación generadora de frecuencias, un altavoz y café molido distribuido sobre la superficie de la tapa.

La formación de las correspondientes líneas nodales permite confirmar visualmente los modos de vibración de la tapa y distinguirlos de otras frecuencias detectadas durante las mediciones.

4.4. Ajuste progresivo de las alturas de los elementos estructurales

Una vez identificados y confirmados los modos propios de la tapa, comienza el proceso de ajuste de las alturas de las barras y varetas mediante un tallado progresivo. En esta fase, las tablas de resultados obtenidas en las simulaciones anteriores constituyen una referencia de gran utilidad, ya que permiten conocer cómo influye la modificación de la altura de cada elemento estructural sobre las frecuencias de los distintos modos.

Estos resultados ayudan a orientar el trabajo: permiten identificar qué elementos tienen mayor influencia sobre determinados modos y prever, de forma aproximada, qué cambios pueden producirse al modificar sus alturas. No deben entenderse como valores rígidos que haya que reproducir necesariamente, sino como una guía para tomar decisiones durante el proceso de construcción.

Después de cada modificación se vuelve a medir la respuesta de la tapa mediante FFT, observando cómo han variado las frecuencias y contrastando esos cambios con las tendencias mostradas por las simulaciones. De este modo, el tallado se convierte en un proceso progresivo de intervención y comprobación, en el que los resultados del modelo numérico sirven de orientación y las mediciones sobre la guitarra permiten valorar el efecto real de cada ajuste.

5. Conclusiones

5.1. Aportaciones del estudio

El estudio realizado permite profundizar en el conocimiento del comportamiento vibratorio de la tapa armónica de la guitarra y comprender mejor cómo influyen sus diferentes elementos estructurales en las frecuencias y formas de vibración.

El análisis de los principales modos propios ha permitido establecer una referencia sobre la que estudiar las modificaciones introducidas en la estructura de la tapa. A través de las simulaciones numéricas se ha podido observar cómo las variaciones en la geometría y las dimensiones de las barras y varetas afectan de manera diferente a cada uno de los modos estudiados.

Una de las conclusiones más importantes es que no existe una relación única entre una modificación estructural y el comportamiento global de la tapa. Una misma intervención puede producir variaciones de distinta magnitud en cada modo e incluso provocar cambios en el orden de aparición de sus frecuencias. Esto pone de manifiesto la importancia de estudiar el comportamiento de cada modo de forma individual y no limitar el análisis a la evolución de una frecuencia determinada.

5.2. Influencia de las modificaciones estructurales

Las diferentes simulaciones realizadas muestran que la distribución de rigidez y masa de la estructura tiene una influencia directa sobre el comportamiento vibratorio de la tapa armónica.

Las modificaciones en las alturas de las barras y varetas no afectan de manera uniforme a los distintos modos. Dependiendo de la zona intervenida y de la forma de vibración analizada, las frecuencias pueden experimentar aumentos o disminuciones de diferente magnitud.

Este comportamiento resulta especialmente interesante desde el punto de vista constructivo, ya que permite identificar qué elementos estructurales tienen una mayor influencia sobre determinados modos y cuáles presentan una incidencia más limitada.

Asimismo, el estudio de las diferentes configuraciones constructivas permite comprobar que la incorporación de otros elementos, como el puente y la tensión de las cuerdas, modifica el comportamiento vibratorio de la tapa. Por tanto, resulta importante tener en cuenta las condiciones en las que se encuentra el instrumento al realizar las mediciones y al interpretar los resultados.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que el comportamiento vibratorio de la tapa es consecuencia de la interacción entre sus diferentes elementos estructurales, por lo que cualquier modificación debe valorarse considerando su influencia sobre el conjunto.

5.3. Aplicación práctica en el trabajo del luthier

Una de las principales aportaciones de este trabajo es la posibilidad de trasladar los resultados de las simulaciones numéricas al proceso de construcción de una guitarra.

Las tablas obtenidas permiten disponer de una referencia sobre la influencia que tienen las modificaciones de las alturas de los diferentes elementos estructurales en cada uno de los modos estudiados. Esta información puede utilizarse durante el tallado de la tapa para orientar las decisiones y prever, de manera aproximada, qué efectos puede producir una determinada modificación.

De esta forma, el ajuste de la estructura deja de depender exclusivamente de la experiencia acumulada o de la búsqueda de determinadas frecuencias, incorporando también una referencia basada en el comportamiento mecánico del modelo estudiado.

La metodología experimental desarrollada complementa esta información. Mediante el análisis FFT es posible observar cómo evolucionan las frecuencias durante el proceso de construcción, mientras que los patrones de Chladni permiten comprobar que las frecuencias identificadas corresponden realmente a los modos de vibración de la tapa.

La combinación de ambas herramientas permite establecer un proceso de trabajo basado en la modificación progresiva de la estructura y la comprobación de sus efectos. Después de cada intervención sobre las barras y varetas se pueden realizar nuevas mediciones y contrastar los resultados con las tendencias obtenidas en las simulaciones.

El objetivo no es reproducir necesariamente sobre la guitarra real los valores exactos obtenidos en el modelo numérico, sino utilizar estos resultados como una herramienta de orientación que permita comprender mejor las consecuencias de cada intervención.

5.4. Alcance y limitaciones del estudio

Es importante tener presente que las simulaciones numéricas representan una aproximación al comportamiento de la tapa armónica y que sus resultados dependen de las características y condiciones establecidas para cada modelo.

Una guitarra real incorpora una serie de particularidades constructivas y materiales que pueden introducir diferencias respecto a los resultados obtenidos mediante simulación. Por este motivo, los valores numéricos no deben interpretarse como objetivos rígidos que deban alcanzarse durante la construcción.

La experimentación sobre el instrumento real sigue siendo fundamental para comprobar el comportamiento efectivo de la estructura y valorar las consecuencias de las modificaciones realizadas.

En este sentido, las simulaciones y las mediciones experimentales no deben entenderse como procedimientos independientes, sino como herramientas complementarias. Las primeras permiten estudiar de forma controlada la influencia de determinadas modificaciones estructurales, mientras que las segundas permiten observar cómo responde la tapa real durante su proceso de construcción.

5.5. Consideraciones finales

El presente trabajo pretende aportar una metodología que permita relacionar el estudio del comportamiento vibratorio de la tapa armónica con las decisiones que se toman durante la construcción de una guitarra.

La utilización de simulaciones numéricas ofrece la posibilidad de estudiar de forma individualizada la influencia de los diferentes elementos estructurales, mientras que las técnicas experimentales permiten trasladar ese conocimiento al taller y comprobar los efectos de las modificaciones realizadas.

De esta manera, el análisis de los modos de vibración puede convertirse en una herramienta más dentro del proceso de construcción, ayudando al luthier a comprender mejor la respuesta de la tapa y a fundamentar sus decisiones de tallado.

La intención no es sustituir la experiencia y el criterio del constructor, sino complementarlos con información que permita trabajar con un mayor conocimiento del comportamiento mecánico de la estructura.

En definitiva, se trata de establecer un vínculo entre el análisis numérico, la experimentación y la práctica constructiva, incorporando el estudio de los modos de vibración como una herramienta útil para profundizar en el conocimiento y el ajuste de la tapa armónica de la guitarra.

Plano de referencia. Escala 1:2 en A3.

