

NOTA LOBO

Violonchelo

Vibroacústica

23 mayo /24

Alejandro Rocamora Latorre.

DNI:74534454X

Antonio Muñoz Sanchis.

DNI:23908406K

Tabla de contenido

Introducción	3
Estado del arte	3
Observaciones.....	4
Procesos fisiológicos.....	4
La nota lobo.....	6
Matalobos	7
Modelado teórico	8
Configuración experimental.....	10
Experimentación	10
Conclusión	14
Bibliografía	15

Introducción

El violonchelo es considerado el instrumento más parecido a la voz humana por el sonido que emite. Y es que en el mundo de la música clásica es un elemento que no puede faltar, ya sea por su registro o sonoridad. “El sonido lo es todo: transporta la emoción, la belleza, la vibración, la intención. Sin él, la música queda reducida a notas, más o menos bellas, más o menos significativas, pero que no nos afectan” Hoppenot D.

Y aunque es cierto que la música es puro sentimiento, va ligada a una componente física que puede echar para atrás a muchos. Por lo que es inevitable decir que el sonido tan agradable que tienen los instrumentos de cuerda tiene detrás principios vibro acústicos imprescindibles, y que son necesarios entenderlos para conseguir que produzcan el mejor sonido posible.

Ligado a esto vienen los numerosos problemas que surgen en el diseño de estos instrumentos. Si reducimos un violonchelo, encontramos una estructura compuesta por una cuerda y una cavidad de aire construida en madera. Al frotar estas cuerdas, la vibración producida provocara que la madera vibre, y por ende la cavidad de aire.

Esto nos lleva al problema que trataremos a continuación, la nota lobo (o *‘wolve tone’*) de los instrumentos de cuerda. Este problema lo vemos principalmente en los instrumentos más graves en la familia de la cuerda, como son el violonchelo y el contrabajo. Y es que todos los músicos que practiquen estos instrumentos tienen que lidiar con este problema.

El objetivo de este proyecto es poder comprobar experimentalmente el problema citado, así como compartir y mostrar porque aparece. Por otro lado, observaremos como, tomando ciertas medidas, podemos lidiar con el problema.

Estado del arte

Durante los últimos años se han realizado varios estudios de las características básicas de la nota lobo. Uno de los primeros en confirmar que la nota lobo aparece cuando la frecuencia de resonancia del cuerpo del instrumento coincide con la nota tocada fue G .W. White.

Más tarde , sobre el año 1916 C.V Raman que fue un físico indio, realizó varias mediaciones tanto de la cuerda como el cuerpo del chelo para demostrar que el sonido oscilante se debía a una alternancia de dos tipos de vibración de la cuerda. En su artículo concluía “toda vibración de cuerda frotada se basa en la oscilación stick-slip”. En otras palabras, se refiere al movimiento de sacudida que ocurre en la cuerda cuando es frotada por el arco.

Por otro lado, Schelleng, un ingeniero eléctrico y chelista, realizó una investigación de la nota lobo mediante una analogía de circuitos eléctricos resonantes acoplados. En ella , indicó que la cuerda del instrumento también oscila, pero de manera uniforme variando su velocidad. Esta variación de velocidad de oscilación crea una fluctuación de intensidad que escuchamos como la nota lobo. Introdujo el concepto de que la cuerda se divide en dos frecuencias cuando se acerca a la resonancia principal del cuerpo. Estos resultados fueron verificados por I.M.Firth y J.M.Buchanan en su artículo “The wolf in the cello” y encontraron algunos hallazgos.

Determinaron que a medida que la vibración de la cuerda se acerca a la frecuencia de resonancia principal del cuerpo, el cambio en la frecuencia no es lineal. Sino que trata de alejarse de la frecuencia de la resonancia principal del cuerpo. Observó que es posible tener una nota de lobo en un rango de frecuencias limitado en lugar de una sola frecuencia.

En 1975 A.H Benade en “Fundamentals of musical acoustics” explora el fenómeno de la nota de lobo en términos más comprensibles para el público en general. Su análisis de la nota de lobo documenta la historia de la investigación sobre las notas de lobo y proporciona un análisis basado en su propio estudio y experimentación.

Los resultados de las investigaciones posteriores verificaron la explicación de Raman sobre la existencia de la alternancia de regímenes de oscilación de la cuerda y de Schelleng.

La mayoría de los estudios relacionados con la nota lobo del violonchelo se remontan al siglo pasado. Pero podemos encontrar libros recientes como el de Thomas D. Rossing en 2010, donde nos habla de temas como análisis modal, modos de vibración y la respuesta en frecuencia entre otros.

Por último, mencionar un estudio realizado en 2014 por A. Zhang y J. Woodhouse de la Universidad de Cambridge. Este estudio tenía como objetivo investigar la relación entre la fuerza mínima del arco necesaria para tocar una nota estable y las mediciones acústicas de esta fuerza. Además, describe cómo estas mediciones se correlacionan con los juicios percibidos sobre la nota de lobo.

Observaciones

A lo largo del informe se va a hacer referencia a las notas musicales de dos formas. La primera es la notación franco-belga, la cual es la que seguramente todos conozcamos: do, re, mi, fa... Aunque existe otra: la notación anglosajona. Esta es la tabla de relaciones ya que usaremos ambas:

Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si
C	D	E	F	G	A	B

Otro punto para tener en cuenta es la afinación con la que nos referiremos a los intervalos. Y es que para las simulaciones de Matlab no usaremos es sistema de afinación actual (temperamento igual), sino que usaremos la afinación pitagórica, de forma que las interferencias se verán más claras. No se va a abordar el tema con más profundidad, pero cabe aclararlo ya que las frecuencias usadas pueden no parecer las correctas.

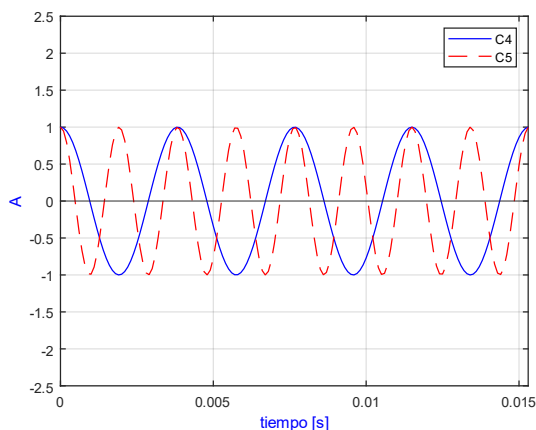
En cuanto al violonchelo, cabe nombrar que es un instrumento de cuatro cuerdas, cuyo orden de más grave a más agudo es: C – G – D – A. Una de las partes importantes que nombraremos será el puente, que es aquella zona donde se apoyan y tensan las cuerdas. Además, sirve para transmitir las vibraciones al cuerpo del instrumento. Por otro lado, el cordal es un elemento que va en la parte inferior del chelo, sujetando las cuerdas que pasan por el puente.

Procesos fisiológicos

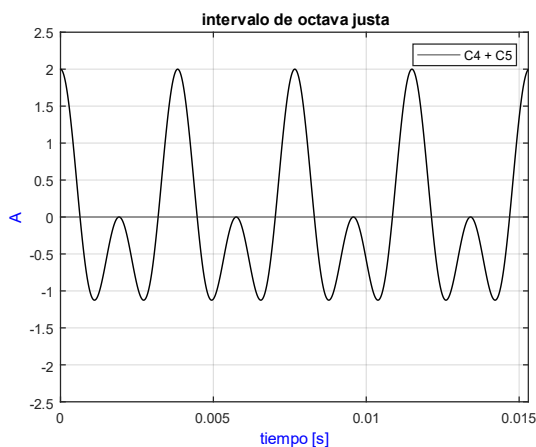
Antes de abordar el problema, veamos un concepto muy importante en la música: la consonancia y la disonancia. Estas dos aparecen cuando tocamos más de dos notas musicales al mismo tiempo, esto se conoce como intervalo.

Son dos percepciones subjetivas donde, la consonancia se considera como un sonido agradable, estable y completo, produciendo una sensación de reposo sonoro al oído. Por otro lado, la disonancia es un intervalo que nos suena mal, mucho más inestable, creando una tensión sonora al oído, la cual nos invita a resolver la música con un sonido consonante.

En primer lugar, vamos a generar un tono con una frecuencia de 261 Hz, la cual hace referencia al do central (C4) junto a su octava C5, con 522 Hz.

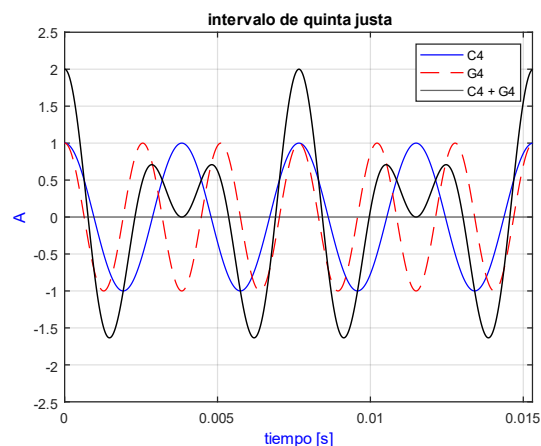


Si nos fijamos, la octava tiene el doble de frecuencia, por lo que el resultado dará una onda que se sumará y anulará de forma totalmente periódica.

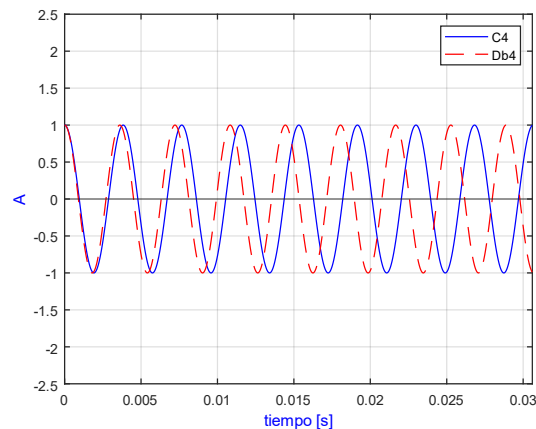


Este intervalo se conoce como intervalo de octava, lo que proporciona el sonido más consonante posible, conocido como consonancia perfecta.

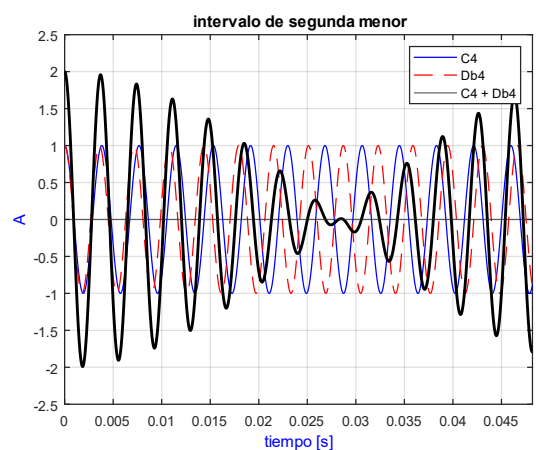
Lo mismo pasa si juntamos el mismo do central con su quinta, G4 con 391.5 Hz. Esto formará un intervalo de quinta justa (otra consonancia perfecta).



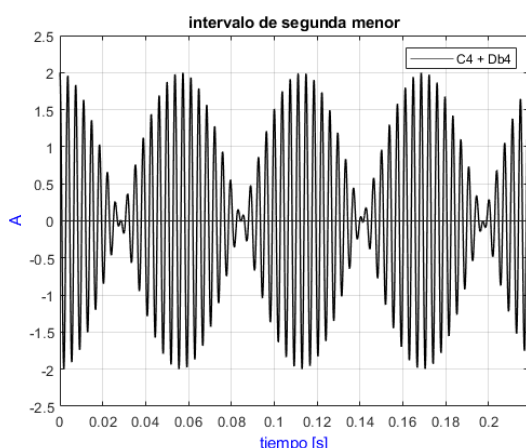
Veamos ahora que pasa si creamos un tono con dos notas cercanas. Volvamos al do central pero esta vez lo sumaremos a su nota más cercana, re bemol, Db4, con 278.7 Hz.



Si nos fijamos, vemos que ambas formas de onda comienzan siendo muy parecidas, pero debido a la pequeña diferencia de frecuencia, poco a poco van separándose, hasta finalmente volver a coincidir. Veamos la suma de ambas.



Comprobamos como poco a poco se van distanciando hasta formar casi una interferencia completa. Después de esto, volverá a crecer la amplitud de la onda. Vamos a aumentar el periodo para verlo mejor.



Como podemos comprobar, el sonido cae casi a cero y vuelve a subir periódicamente. Esto provoca que el sonido suene como si se apagara y volviera a encenderse rápidamente, como si de un zumbido se tratara.

Pues esto es lo que pasa en nuestro caso del violonchelo. Si la nota producida es muy cercana a la de la frecuencia de resonancia del instrumento, se producirá este fenómeno, creando esta interferencia periódica, provocando el famoso aullido de lobo.

La nota lobo

La nota lobo se conoce como un fenómeno acústico por el cual, al excitar una nota específica en cualquiera de las cuerdas, se produce un sonido que oscila de manera desagradable, asemejándose al aullido de lobo, de ahí su nombre.

Curiosamente, el aullido se produce cuando nos acercamos a la frecuencia de resonancia del instrumento. El problema es que nunca vamos a tocar exactamente esta frecuencia, ya que no es común que coincida con una de las notas cercanas. Veámoslo con más detalle.

La frecuencia del violonchelo suele variar entre las frecuencias 147 y 196 hercios. Veamos todas las notas que hay en ese rango.

<i>sol</i> ₂	G3	195,998
<i>fa</i> ₂ <i>/sol</i> ₂	F ₃ /G ₃	184,997
<i>fa</i> ₂	F3	174,614
<i>mi</i> ₂	E3	164,814
<i>re</i> ₂ <i>/mi</i> ₂	D ₃ /E ₃	155,563
<i>re</i> ₂	D3	146,832

Pues bien, si la frecuencia de resonancia del instrumento no coincide con ninguna de esas frecuencias (lo cual es difícil que pase), provocara por cercanía la interferencia de la nota lobo.

En nuestro caso, el violonchelo con el que hemos experimentado tiene la frecuencia de resonancia del cuerpo en la frecuencia 180 Hz. Por lo que cuando excitemos una nota cercana (*fa*₂ o *sol*₂) oiremos el sonido desagradable. Como veíamos antes, al tener dos frecuencias muy cercanas produciendo sonido, estas producirán un efecto de zumbido debido.

Cabe decir que la nota lobo molestará más en las cuerdas G y C del violonchelo, ya que estas dos cuerdas son las más graves y producirán más energía.

Las primeras formas de intentar lidiar con el problema fue usar fuerza bruta. Suena un poco raro pero la realidad es que los chelistas intentaban apretar la parte inferior del instrumento con las rodillas. De esta forma, conseguían cambiar el comportamiento vibratorio del cuerpo del violonchelo.

Claramente, esto no era una buena solución, por lo que se dio paso a diseñar elementos que contrarrestaran el problema.

Fue entonces cuando aparecieron unos pequeños accesorios que ayudaban a lidiar con el gran problema de la nota lobo.

Matalobos

El objetivo de cualquier matalobos es absorber energía vibratoria en una frecuencia concreta. Por esto hay que llevar cuidado con su colocación, ya que como veremos, esta tiene relación directa con cómo se comporta el instrumento al instalar el supresor.

El matalobos estándar consiste en un trozo de goma rodeado por un tubo metálico el cual ayuda a su correcto ajuste. Este será el que usemos en las pruebas.

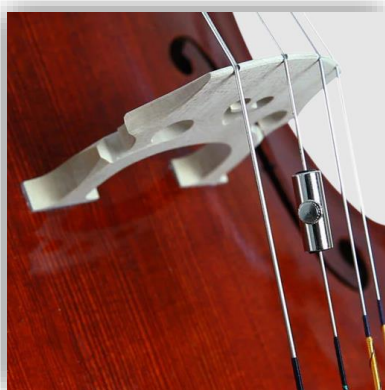


Imagen 1. Matalobos estándar

Otro tipo es el llamado Lup – x, una pieza de latón macizo circular dividida en dos mitades las cuales se atornillan alrededor de la cuerda. Ya que no cuenta con un interior de goma, perdemos el efecto amortiguador del modelo estándar.



Imagen 2. Lup – x

Muy parecido a este encontramos el modelo New Harmony. La característica más destacable de este es la variedad de pesos, desde los tres hasta los trece gramos.

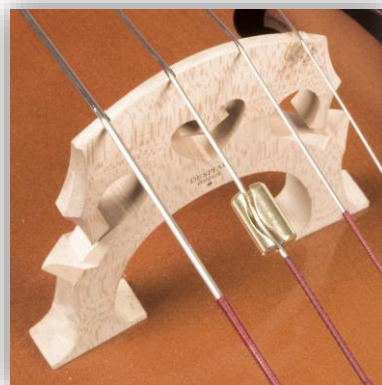


Imagen 3. New Harmony

Esto es de gran ayuda para ir ajustando la masa optima ya que la nota lobo del chelo no es estable, sino que puede depender de muchos factores, como la temperatura. Sabemos que climas húmedos favorecen al lobo, mientras que uno seco provocan un sonido más brillante y resonante.

Por otro lado, tenemos un matalobos un tanto diferente a los demás. Y es que se trata del Güth Woltfötter, un dispositivo con resorte y contrapeso colgado de las cuerdas exteriores, do y la.



Imagen 4. Güth Woltfötter

Otros modelos de matalobos actúan directamente sobre el cuerpo de este, como el caso del imán Rezx. Esta pieza de acero es introducida por el orificio en forma de f del instrumento, consiguiendo colocarlo en el área de mayor resonancia del cuerpo de madera durante la nota lobo.

Una mejora de este sería el Krentz Wolf Note Modulator, del año 2013. Este consiste en una capsula cilíndrica de policarbonato de treinta y cinco gramos la cual se instala igual que el imán Rezx. La cualidad de este es su sistema de imanes altamente cargados, los cuales suspenden un pistón magnético dentro de la capsula. Cuando el violonchelo empieza a vibrar, el pistón oscilara y modulara la vibración de la nota lobo sin amortiguar la resonancia del violonchelo.



Imagen 5. Funcionamiento del Krentz Wolf Note Modulator

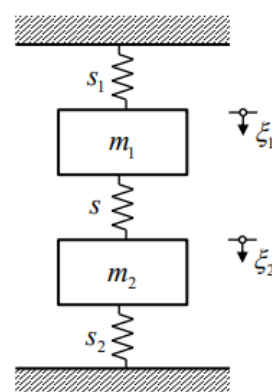
Nicholas Trygstad, ex director de sección cuerda de la Orquesta Hallé dijo lo siguiente en una entrevista: "Odio usar eliminadores de lobo porque siento que eliminan demasiada resonancia y sobretonos. Descubrí que el factor más importante era la calidad del contacto que tenía al sujetar el arco con la cuerda. Si fuera demasiado insensible y autoritario, el violonchelo simplemente se negaría a cooperar y el lobo "aullaría".

Y es que está claro que el matalobos es una muy buena solución, acompañada a la gran variedad de estos. Sin embargo, veremos que es uso de estos altera otras frecuencias y crea fenómenos

extraños, lo cual puede ser muy negativo en la sonoridad del violonchelo. Por esto, músicos profesionales que dominan la técnica para evitar el problema, consideran no usar matalobos.

Modelado teórico

Podemos asemejar el comportamiento del violonchelo a un sistema de dos grados de libertad como el que vemos en la siguiente figura:



La masa uno, hará referencia a la vibración perteneciente a la cuerda del violonchelo. En esta estaría incluida tanto la cuerda principal, como la que sigue al puente. La segunda masa hace referencia al cuerpo del instrumento. Cada una de estas contara con su frecuencia de resonancia.

Las ecuaciones de movimiento del sistema vienen dadas por:

$$m_1 \frac{d^2 \xi_1}{dt^2} + s_1 \xi_1 + s(\xi_1 - \xi_2) = 0$$

$$m_2 \frac{d^2 \xi_2}{dt^2} + s_2 \xi_2 + s(\xi_2 - \xi_1) = 0$$

Si las desarrollamos y expresamos en forma matricial:

$$-m_1 \omega^2 \xi_1 + (s_1 + s) \xi_1 - s \xi_2 = 0$$

$$-s \xi_1 - m_2 \omega^2 \xi_2 + (s_2 + s) \xi_2 = 0$$

$$\begin{bmatrix} -m_1\omega^2 + (s_1 + s) & -s \\ -s & -m_2\omega^2 + (s_2 + s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{bmatrix} = 0$$

Si resolvemos el sistema matricial, obtenemos la siguiente ecuación bicuadrada:

$$\omega^4 - (\omega_{b1}^2 + \omega_{b2}^2)\omega^2 + \omega_{b1}^2\omega_{b2}^2(1 - X^2)$$

Siendo:

$$\omega_{b1} = \sqrt{\frac{s_1 + s}{m_1}} \quad \omega_{b2} = \sqrt{\frac{s_2 + s}{m_2}}$$

$$X = \frac{s}{\sqrt{(s_1 + s)(s_2 + s)}}$$

Ya que no tenemos los datos exactos de las masas y rigidez de las cuerdas ni del cuerpo, vamos a hacer uso de unos datos arbitrarios que nos permitan ver de forma clara el fenómeno:

masa cuerda = 0.1 kg

masa cuerpo = 1 kg

rigidez uno = 60 N/m

rigidez union = 10 N/m

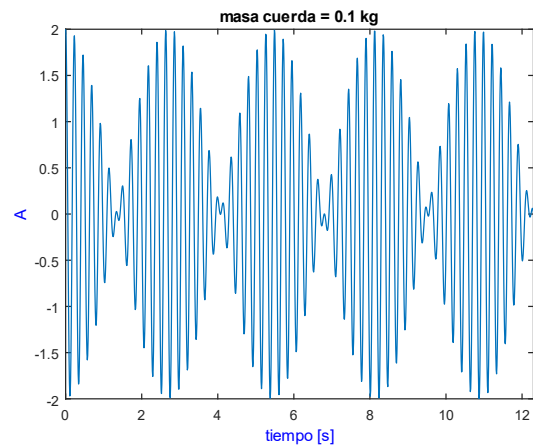
rigidez dos = 800 N/m

Resolviendo las ecuaciones anteriores obtenemos las siguientes frecuencias naturales.

frecuencia cuerdas = 26.3 rad/s

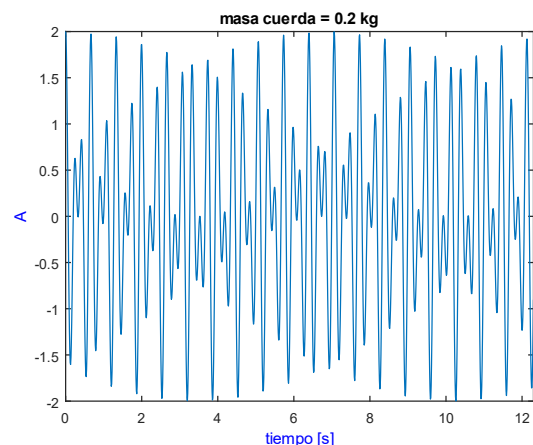
frecuencia cuerpo = 28.6 rad/s

Veamos la interferencia que se produce cuando los dos se ponen a vibrar:



Por cercanía de frecuencias, vemos el fenómeno que ocurre en el violonchelo, la nota lobo.

Bien, veamos ahora que pasa si aumentamos un poco la masa de la cuerda, en concreto cien gramos.



Como podemos ver, variando ligeramente la masa, podemos cambiar las frecuencias naturales del sistema, que pasarían a ser las siguientes:

frecuencia cuerdas = 18.7 rad/s

frecuencia cuerpo = 28.5 rad/s

Este método es el mismo que usan muchos tipos de matalobos. Añaden una masa en una de las cuerdas para así cambiar las frecuencias de resonancia. Además, algunos cuentan con materiales amortiguadores como puede ser la

goma, para absorber excesos de energía a las frecuencias de resonancia.

Configuración experimental

Para la parte experimental hicimos uso de acelerómetro y micrófono para medir tanto vibraciones como presión sonora. Las herramientas comunes en ambos procesos fueron el programa ARTA y la tarjeta de sonido TASCAM, para la cual tuvimos que instalar sus respectivos drivers.

Para la parte de vibración hicimos uso del amplificador de señal 1704-A-002 de Bruel and Kjaer. Este recibía las señales del acelerómetro y las mandaba a la tarjeta de sonido. Esta parte de acondicionar y amplificar la señal es fundamental para asegurar las medidas de vibración, puesto que los acelerómetros generan una señal débil, pudiendo además contener un poco de ruido. Además, asegura un aislamiento para aislar eléctricamente el acelerómetro del resto del sistema, pudiendo evitar así posibles interferencias, por diferencias de potencial.

Para medir presión sonora hicimos uso de un micrófono de condensador Berhinger. Este lo conectamos directamente a la tarjeta de sonido.

Para la experimentación no hizo falta calibrar los dispositivos. La intención del análisis era distinguir zonas de resonancia e interferencias, por lo que las medidas no necesitaban ser precisas en cuanto al valor de estas.

En cuanto a las mediciones, para el análisis de la vibración colocamos el acelerómetro en dos posiciones diferentes: en el puente del violonchelo y en el cuerpo de este. Con esto queríamos observar si nuestros datos sufrían variaciones respecto a la posición de medida. Realizamos un total de seis medidas con el acelerómetro situado sobre el puente, tocando

las notas C, G y D con y sin matalobos, y seis en el cuerpo de la misma forma.

Luego, cambiamos de configuración para la medición de la presión sonora mediante el micrófono. Las primeras medidas fueron con el micro en campo cercano, a unos diez centímetros del puente.

De la misma forma que antes hicimos vibrar las notas C, G y D con y sin el matalobos, aunque esta vez quisimos probar a tocar una nota más cercana a la frecuencia de resonancia del instrumento. Elegimos probar con fa en las cuerdas C y G y ver qué pasaba.

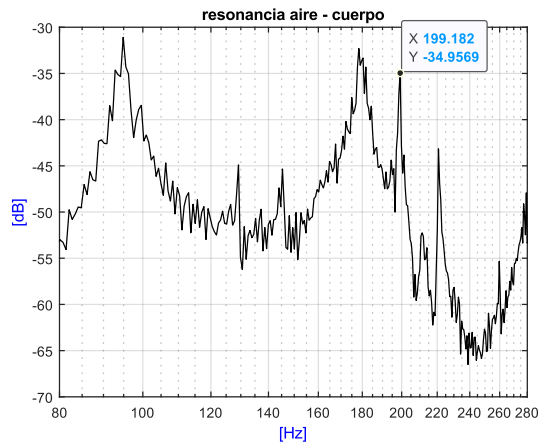
Para las siguientes, alejamos el micrófono, a unos tres metros, he hicimos las mismas pruebas.

Finalmente, experimentamos con la posición del matalobos. Devolviendo el micrófono a campo cercano, probamos a pegar el matalobos al puente y a alejarlo lo máximo posible. La cuerda que pulsamos para esta prueba fue D.

Experimentación

Ya que sabemos que el matalobos actúa entorno a la frecuencia 180 Hz, acotaremos los resultados a las frecuencias de 80 a 300 Hz.

La primera prueba de la que hablaremos será el golpe al cuerpo del violonchelo. Con esta experimentación se quiso ver como *canta* el chelo sin excitar directamente ninguna de las cuerdas, simplemente debido al arie de su interior, y el cuerpo del instrumento.



Si observamos el gráfico, vemos que hay dos picos muy pronunciados. Lo que estamos viendo es, la frecuencia del aire del interior del chelo, a la frecuencia 95 Hz; y después la del cuerpo de madera del instrumento, en 178 Hz. Luego vemos otros picos más pequeños en las frecuencias 130, 145 y 220 hercios, que hacen referencia a la interacción de las cuerdas do, re y la, respectivamente.

Sin embargo, vemos que a la frecuencia 199 Hz, cerca de donde debería estar la interacción de la cuerda sol (196 Hz), hay un pico muy pronunciado. Esto nos hace pensar que el instrumento potencia esas frecuencias más de lo normal, ya que vemos que es la interacción más notable de las cuatro cuerdas.

La siguiente prueba realizada fue una comparación entre la posición del acelerómetro a la hora de medir las vibraciones. Para ello, primeramente, lo colocamos en el lado izquierdo del puente como podemos observar en la imagen.



Imagen 6. Acelerómetro en el puente

Tras ello, cambiamos la posición al cuerpo del instrumento, con el objetivo de observar si importaba la colocación de este para poder observar la nota lobo.

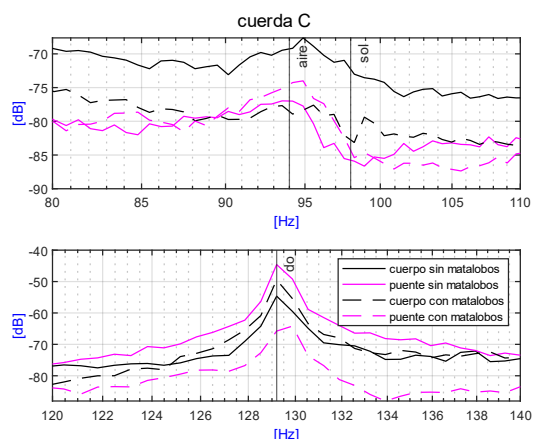


Imagen 7. Acelerómetro en el cuerpo

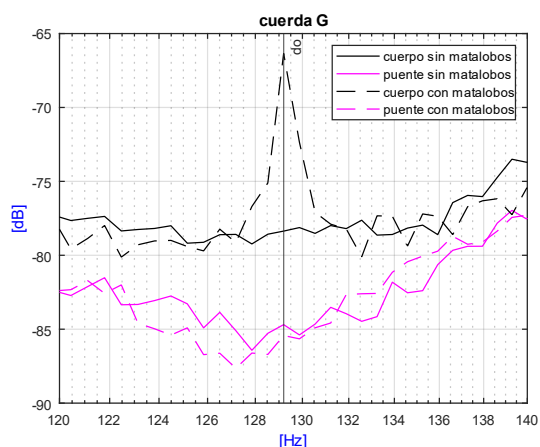
Realizamos las medidas con y sin la presencia del matalobos excitando las notas C, G y D.

Lo primero que encontramos fue que la frecuencia de resonancia del aire del instrumento era menos notable en el puente que en el cuerpo. Por otro lado, encontramos que cuando pulsamos la cuerda C, el matalobos

atenuaba esta frecuencia (la del aire) en el cuerpo, y la de do (130Hz) en el puente.



Sin embargo, cuando pulsamos la cuerda G, esta última (do) solo estaba presente en las vibraciones del cuerpo y con el matalobos instalado.

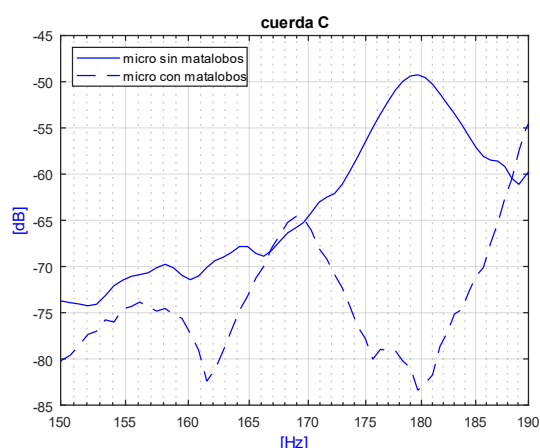


Después, comparamos la posible diferencia entre medir vibraciones y presión sonora. Lo que encontramos aquí es que, en mediciones de micrófono, la frecuencia de resonancia del aire del instrumento tiene más presencia, lo cual es lógico.



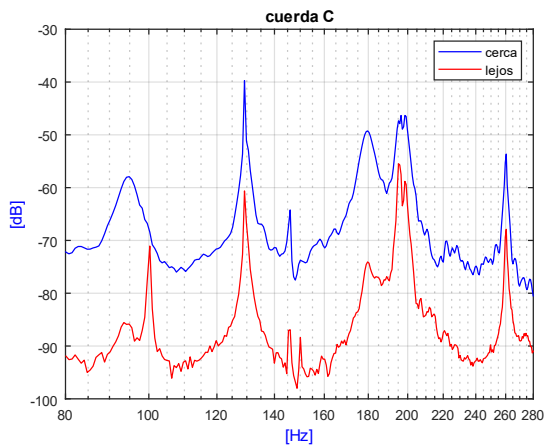
Imagen 8. Medidas con micrófono en campo cercano

Por otro lado, en los tres casos (puente, cuerpo y presión sonora) vemos que el matalobos no solo afecta a la frecuencia de 180 Hz, sino que también hay una atenuación notable cerca de la frecuencia 160 Hz. Veamos esto en la medición de presión sonora para la cuerda C.



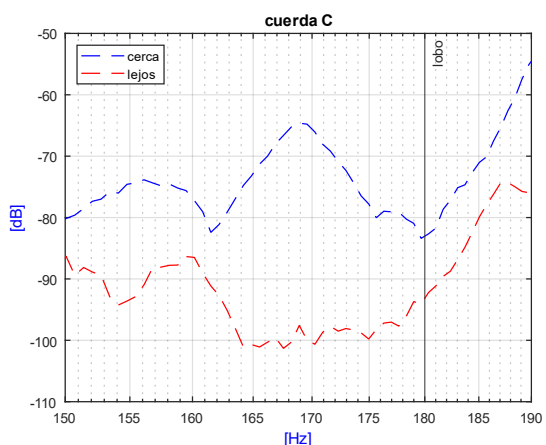
Con todas estas pruebas, podemos asegurar la gran desventaja del matalobos, y es que no solo atenúa la frecuencia deseada, si no que, según su instalación, puede alterar el comportamiento de otras frecuencias.

Seguidamente, realizamos la comparación entre campo lejano y cercano. La primera comparación será sin el matalobos.



Lo primero que nos llama la atención es el que la frecuencia de resonancia del aire ya no tiene tanta fuerza, dejando ver correctamente la frecuencia de resonancia de sol, a los 100 Hz. Además, vemos como la nota lobo a los 180 Hz ya no tiene tanta presencia de lejos.

Ahora, vamos a poner el matalobos y haremos zoom donde se produce el fenómeno.



De cerca vemos la anomalía que comentábamos antes: el matalobos atenúa también una frecuencia cercana a 160 Hz. Si embargo este efecto no lo vemos cuando medimos lejos del instrumento. Directamente se ve atenuada toda esa zona, desde los 160 hasta 180 hercios.

Con estas dos pruebas podemos concluir que conforme nos vamos aumentando la distancia de medición, más se ven atenuadas las componentes de resonancia del instrumento.

Por último, comprobamos si influía la posición del matalobos al colocarse pegado al puente,



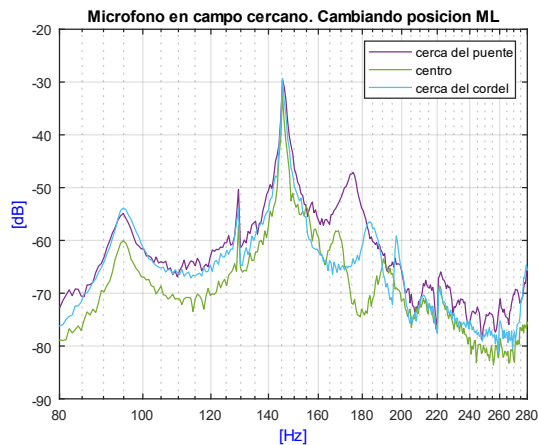
Imagen 9. Matalobos pegado al puente

en el centro de la cuerda (como con todas las mediciones anteriores) o lo más cerca posible del cordal.

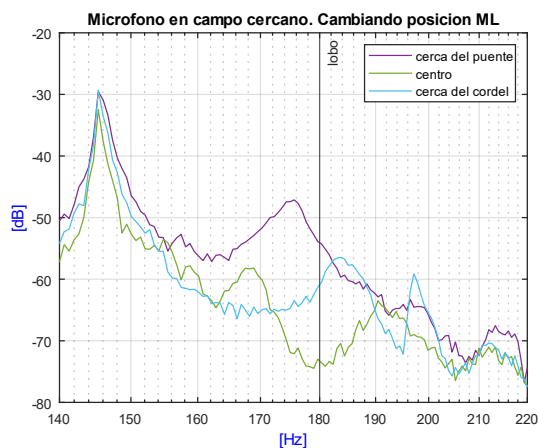


Imagen 10. Matalobos cerca del cordal

Tras analizar los datos en ambas posiciones, obtuvimos unas conclusiones un tanto sorprendentes.



Si se colocaba el matalobos en la parte superior, no conseguía hacer desaparecer la nota lobo, además de que la desplaza hacia la izquierda, dato verdaderamente llamativo ya que volvemos a asegurar la importancia de la posición del matalobos. Los datos obtenidos en la posición central fueron los esperados, pudimos observar cómo se llega a cancelar dicha nota. Colocando el matalobos junto al cordal, obtuvimos que volvía a aparecer la frecuencia del lobo, pero esta vez un tanto atenuada y desplazada hacia la derecha. Veámoslo con un poco de zoom.

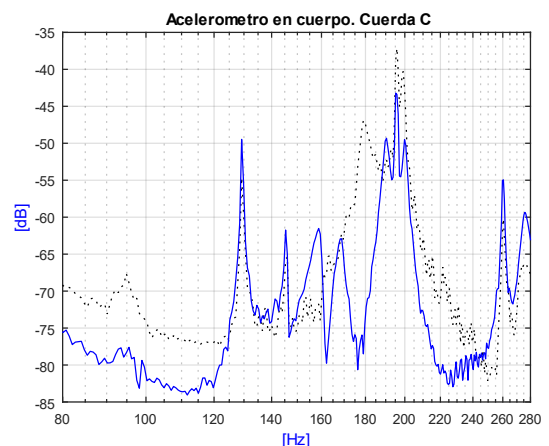


Por lo que podemos concluir que no solo es necesario una precisa colocación de este objeto para poder eliminar la nota, sino que además podemos alterar la frecuencia del tono lobo según la disposición del matalobos. Por lo que, músicos con desconocimiento de este suceso pueden llegar a colocarlo de manera errónea y conseguir el efecto contrario al buscado.

Conclusión

El trabajo escrito en este artículo se trata de una investigación inicial de cómo lidiar el problema nota lobo en el violonchelo, así como el análisis del matalobos, un dispositivo utilizado para atenuar y en algunos casos eliminar la nota. Los resultados obtenidos han sido por un lado los esperados, pero por otro han sido interesantes y sorprendentes. En cuanto al análisis golpeando en el cuerpo del chelo sin excitar las cuerdas, observamos dos picos de frecuencias notables. Uno de ellos se trataba de la frecuencia de la cavidad del aire del instrumento, mientras que el otro se trataba la frecuencia de resonancia del cuerpo de madera.

También, observamos otros picos de tamaño inferior relacionados con las notas, pero también un pico inusual alrededor de 199 Hz (próxima de la frecuencia de la cuerda sol), que indicaba que el instrumento amplificaba estas frecuencias más de lo normal. Veamos el siguiente caso:



Si observamos la respuesta en frecuencia cuando pulsamos la cuerda C y medimos vibraciones en el cuerpo, podemos ver el fenómeno. La frecuencia de sol en 196 Hz, vemos que se divide en tres picos debido a amplificaciones del instrumento en frecuencias cercanas. Pero por otro lado vemos como el matalobos no solo atenúa la frecuencia lobo (180Hz) sino que también afecta a la frecuencia

160 Hz e incluso la de la frecuencia de resonancia del aire (95 Hz). Una vez más vemos el problema del matalobos: afecta a más parte del espectro del que inicialmente queríamos atenuar.

Las mediciones realizadas con el micrófono demostraron que aparecía una mayor existencia del valor de la frecuencia de resonancia del aire del instrumento, lo cual era de esperar.

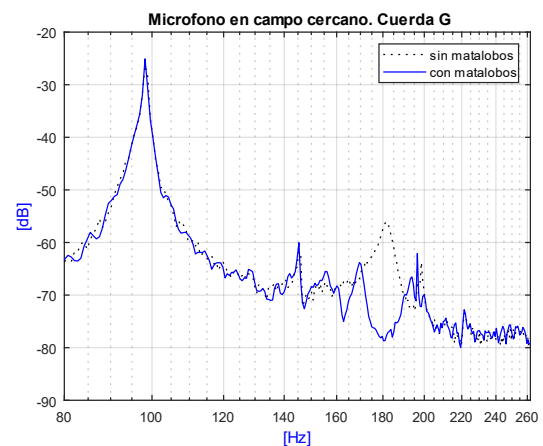
Respecto al matalobos su colocación en la parte superior nos ha indicado que no consigue eliminar la nota loba. Además, amplifica la nota causando un problema a aquellos músicos que desconocen este efecto.

En cuanto a la colocación próxima al cordal, la nota lobo volvió a aparecer desplazada ligeramente a la derecha, lo que indica que esta posición puede alterar la frecuencia del tono. Además, se vio como al contrario que la colocación en la parte superior, ahora la nota se veía un tanto atenuada.

Con esto podemos deducir que la posición del matalobos influye en cómo cambia la frecuencia de resonancia en la que se actúa, así como de su eficacia.

Como era de esperar, en la posición central se observó como la nota lobo lograba cancelarse. Esto sugiere, que la posición idónea para colocarlo es en centro, aunque esto variara entre distintos violonchelos.

Así que estos sucesos demuestran que el matalobos es sensible a su ubicación en el violonchelo.



Por lo que concluimos que, el matalobos es capaz de reducir la nota lobo del instrumento, aunque su colocación puede alterar el resultado buscado por el violonchelista.

Bibliografía

[Frecuencias notas](#)

[Aitchison Cellos](#)

[Controlling the Wolf Note](#)

[Research References](#)

[The Physics of the Wolf Note](#)

[University of Cambridge](#)

[Strings Magazine](#)

[Cello Discovery](#)

[String Works](#)

[Blog de Phil Keenan](#)

[Transmission Line Based Plucked String Model](#)