

Sonidos de guitarra: de las vibraciones de la madera a una mini planta de energía

Jesús Alejandro Torres

Cuando un guitarrista asiste a una fiesta, usualmente se le pide que toque. El problema, sin embargo, es que será en una guitarra prestada. Si el guitarrista normalmente toca una guitarra eléctrica y la guitarra prestada es acústica (o viceversa), hay un gran problema porque a pesar de que las guitarras eléctricas y acústicas parecen ser el mismo instrumento para la mayoría de la gente, son instrumentos muy diferentes. En realidad, incluso hay diferencias en cómo los músicos usualmente las tocan. ¿Alguna vez has visto a un músico tocando una guitarra eléctrica sentado en una silla?. Por otro lado, ¿recuerdas a algún músico tocar de pie una guitarra acústica al interpretar una pieza clásica? (Ver Archivo multimedia 1 y Archivo multimedia 2 en acousticstoday.org/torresmedia).

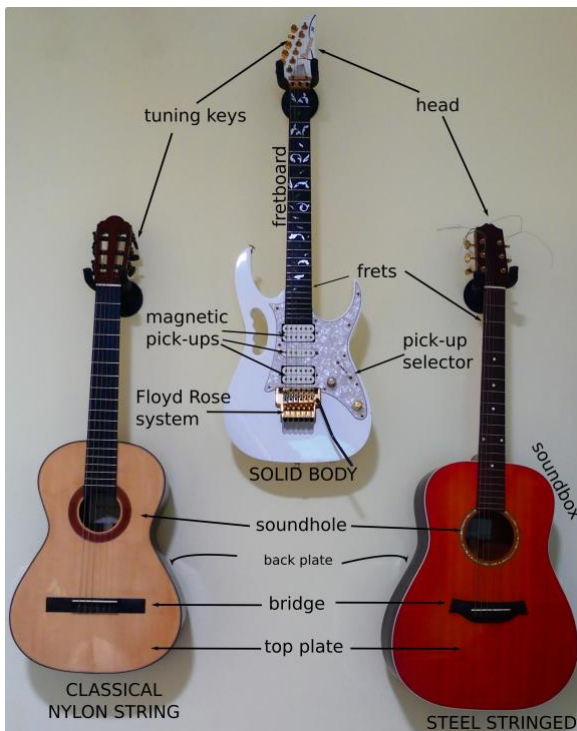


Figura 1. Anatomía de tres diferentes tipos de guitarra. Izquierda: Guitarra acústica con cuerdas de nylon. Centro: Guitarra eléctrica. Derecha: Guitarra acústica con cuerdas de acero.

Todas las guitarras tienen detalles interesantes en común, así como muchas diferencias. Por ejemplo, el largo de cuerda vibrante (medido del puente a cada traste, ver partes de la guitarra en

la Figura 1) es fijo porque los trastes no pueden moverse. La Figura 2 muestra a detalle este largo de cuerda limitado por los trastes. En contraste, los instrumentos de cuerda frotada (como el violín) no tienen trastes. Como resultado, los violinistas pueden imponer cualquier largo de cuerda vibrante sin las distancias impuestas por la posición de los trastes. Por lo tanto, instrumentos sin trastes permiten más expresividad en la música porque el intérprete tiene más libertad de brincar de una nota a otra. Sin embargo, el uso de trastes facilita a los principiantes tocar la guitarra porque no hay necesidad de adivinar la posición exacta del dedo para obtener una nota bien afinada.

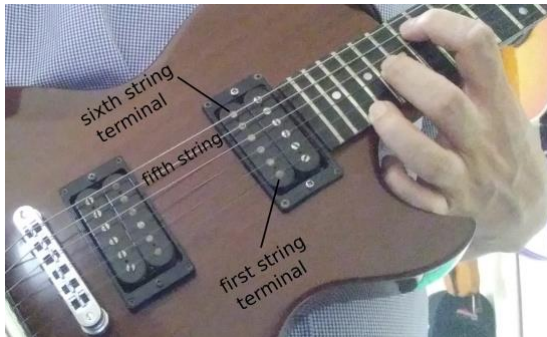


Figura 2. El largo de cuerda vibrante en las guitarras es ajustado presionando las cuerdas contra los trastes de metal. Las etiquetas muestran cómo la cuerda vibrante interactúa con un número de diferentes terminales dependiendo del lado de su deflexión.

Desarrollo histórico de la guitarra

French (2008) señala que los antropólogos creen que los precursores más antiguos de los instrumentos de cuerda evolucionaron de los arcos usados por cazadores al inicio de la historia de la civilización. Es razonable inferir que tres tipos de instrumentos musicales evolucionaron de estos arcos de caza: cuerda golpeada (ejemplo: el piano), cuerda frotada (ejemplo: violín), y cuerda pulsada: la guitarra emergió de esta última. De hecho, instrumentos con claras similitudes a la guitarra moderna pueden ser vistos en inscripciones hechas en piedra de 3,300 años de antigüedad en Alaca Huyuk, Turquía (ver tinyurl.com/mvybc2rs). Por lo tanto, de una cierta manera, la evolución del diseño de un instrumento como la guitarra probablemente no es tan diferente a la evolución de los seres vivos, con cambios lentos y un tanto aleatorios a lo largo del tiempo y a través de muchas culturas.

Sin embargo, diferentes hipótesis han sido propuestas para explicar la evolución de la guitarra. Algunas personas dicen que viene de los antiguos griegos, mientras otras personas piensan que la guitarra viene de instrumentos egipcios antiguos. Actualmente no hay un consenso acerca del origen directo de la guitarra desde algún instrumento antiguo en particular. Lo que sí se sabe es que las partituras más antiguas que pueden ser tocadas en guitarra fueron escritas en el siglo XVI, de acuerdo a Chapman (1993), quien también ilustró algunos instrumentos antiguos parecidos a la guitarra (también ver Bucur, 2016).

Durante el siglo XVIII, los instrumentos de cuerda tales como la vihuela española, un pariente cercano de la guitarra, perdieron popularidad porque carecían de potencia sonora en comparación con otros instrumentos de cuerda tales como el violín (cuerda frotada) o el piano (cuerda golpeada). Sin embargo, la producción de instrumentos de cuerda pulsada era significativamente más sencilla que la de los otros, y esto ayudó a incrementar su popularidad.

En la primera mitad del siglo XIX, en busca de un sonido más potente para la guitarra acústica, Antonio de Torres propuso el diseño clásico. Lo conocemos ahora con un largo de cuerda de 65 cm y una caja acústica que incluía barraje interno. Estas adaptaciones lograron un aumento en la sonoridad al tener tapas y fondos fuertes pero más delgados (ver las partes de la guitarra en Figura 1). La Figura 3 muestra una notable réplica de la guitarra más icónica hecha por de Torres, llamada “La cumbre”. El proceso de hacer esta réplica, incluyendo todo sus detalles artísticos, le tomó al guitarrero Abel García López nueve años. El Archivo Multimedia 1 (en acousticstoday.org/torresmedia) muestra una interpretación de esta guitarra tocada por Abel García Ayala (ver más en youtu.be/1UkoiSm32Rs).



Figura 3. Izquierda: réplica de “La Cumbre”, una guitarra icónica construida en 1884 por Antonio de Torres. Copia hecha por Abel García López. Los detalles artísticos de la boca son incrustaciones. Derecha: La guitarra completa. Fotografía por José Pita, usada bajo permiso

Más tarde, el sonido producido por las guitarras acústicas fue puesto nuevamente en desventaja cuando amplificadores que usaban válvulas de vacío (o sencillamente “bulbos”) fueron desarrollados. Para 1931, Rickenbacker y Beauchamp añadieron un sensor bajo las cuerdas para capturar su vibración y enviar la señal generada hacia el amplificador, produciendo entonces el primer sonido de guitarra eléctrica. Esto es discutido en detalle por Wilmering et al. (2020), quien también comparte notas del desarrollo de muchos otros efectos de sonido.

Las primeras guitarras eléctricas estaban equipadas con pastillas magnéticas de una sola bobina (ver pastilla central en la guitarra eléctrica de la Figura 1). Estas pastillas eran sensibles no solo a las vibraciones de las cuerdas sino también a otros campos magnéticos externos, produciendo entonces un poco de ruido en el sonido de la guitarra. Para reducir el ruido, una segunda bobina fue añadida a la primera para mejorar la relación señal a ruido. El problema con estas pastillas de doble bobina (llamadas “humbucker”) era la falta de respuesta en las frecuencias agudas. Aun así,

humbuckers fueron ampliamente usados en las guitarras Gibson Les Paul (ver tinyurl.com/2ptuzc5d), y aun son usadas actualmente por guitarristas. Una de estas guitarras fue usada en la Figura 2. Archivo Multimedia 2 (en acousticstoday.org/torresmedia) contiene un pequeño ejercicio demostrando algunas características típicas al tocar una guitarra eléctrica.

Afinando las cuerdas

La teoría acerca del comportamiento vibratorio de cuerdas pulsadas puede ser encontrada en libros a cerca de fundamentos de vibraciones mecánicas y acústicas, o incluso en algunos acerca de física general. También hay trabajos de investigación especialmente enfocados en las cuerdas de guitarra. Por lo tanto, en vez de discutir estos temas en detalle aquí, se explicarán algunas consideraciones prácticas usadas por guitarristas para obtener los diferentes matices en las notas obtenidas por las cuerdas de la guitarra.

Nominalmente, las guitarras tienen seis cuerdas vibrantes afinadas en mi_2 (82.4 Hz), la_2 (110 Hz), re_3 (146 Hz), sol_3 (196 Hz), si_3 (247 Hz) y mi_4 (330 Hz), que generan las notas musicales. Las guitarras acústicas pueden usarse con cuerdas de nylon o de acero (dependiendo del estilo musical), pero las guitarras eléctricas invariablemente usan cuerdas de acero por razones que son discutidas más adelante en “La guitarra eléctrica” (ver Figura 1). Aunque la mayoría de las guitarras tienen seis cuerdas, algunos modelos añaden una séptima cuerda, típicamente afinada en si_1 (61.7 Hz), para tocar notas más graves que E2. Además, músicos de diferentes estilos musicales, que van desde música clásica hasta el blues, intencionalmente modifican la afinación estándar para algunas piezas al ajustar la tensión de las cuerdas usando la maquinaria.

De acuerdo a las leyes pioneras publicadas por Mersenne (1636) acerca de los sonidos musicales de una cuerda vibrante, sabemos que la afinación de una cuerda depende de su diámetro, material, largo, y tensión. Como se mencionó antes, los trastes son responsables de limitar el largo de la cuerda vibrante en las guitarras (Figura 2). Por lo tanto, para cambiar de nota, se presiona la cuerda en un traste diferente. En adición a esto, variaciones graduales de las notas de la guitarra pueden ser hechas sin involucrar el cambio de un traste presionado. La técnica más común para producir un cambio sutil en la afinación de una nota consiste en deslizar el dedo que está presionando la cuerda sobre el traste, una técnica conocida como Bending. Al hacer Bending, la tensión aumenta significativamente en comparación con un pequeño aumento en el largo de cuerda, produciendo entonces un aumento en frecuencia. Ver Paté et al. (2012) para un breve glosario de técnicas para la guitarra eléctrica y la etiqueta en el Archivo multimedia 2 (en acousticstoday.org/torresmedia).

Jalar cuerdas de acero puede lograr variaciones de hasta un tono (ver etiqueta de Bending en Archivo multimedia 2 en acousticstoday.org/torresmedia) o incluso un poco más; mientras que el cambio en cuerdas de nylon es menos perceptible, aunque enteramente factible. Ver Lewis et al. (2014) para un análisis más exhaustivo de los efectos de la variación de tensión en una cuerda de nylon. En una técnica más sofisticada empleada en guitarras eléctricas, el puente puede ser movido, permitiendo cambios dramáticos en la tensión de las cuerdas (ver el final de Archivo multimedia 2 acousticstoday.org/torresmedia).

Controlando armónicos en cuerdas pulsadas.

Si la cuerda es pulsada cerca del puente, las vibraciones son ricas en armónicos. Sin embargo, debido a que los armónicos de alta frecuencia usan mucha de la energía vibratoria de la cuerda, las notas decaen rápidamente. A medida que la cuerda es pulsada más cerca de su centro, el contenido armónico disminuye, pero la duración de la nota aumenta (ver Figura 4). Es necesario considerar estas características para obtener una simulación realista del tono de la guitarra, como se demuestra en Torres y Rendón (2013). Debido a que los músicos aprenden empíricamente que pulsando la guitarra en diferentes partes de la cuerda crea diferentes sonidos, intencionalmente varían la posición de la mano que pulsa para controlar tanto el contenido armónico como la duración de las notas.

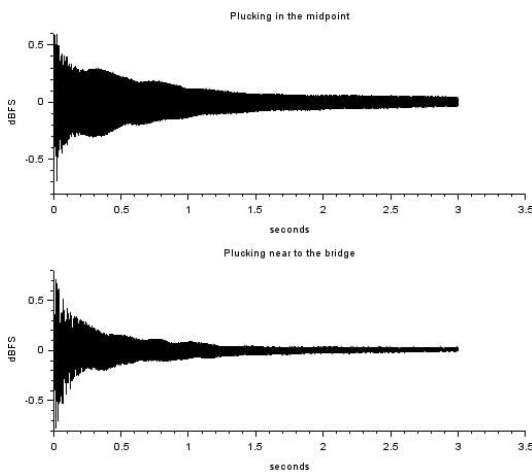


Figura 4. Primeros 3 segundos del sonido producido al puntear la primera cuerda abierta de una guitarra con cuerdas de metal. Las amplitudes son expresadas como decibeles relativos a una escala completa. El contenido de la gráfica de la cuerda punteada cerca del puente (abajo) desaparece más rápidamente que cuando la cuerda es punteada en el centro (arriba), pero el contenido armónico de la de abajo es mayor.

Además de la ubicación del pulsado, la técnica del mismo y el ángulo de ataque también son importantes (Fletcher y Rossing, 2012). Predominantemente, las uñas (Tirando) y las yemas de los dedos (Apoyando) son usados para pulsar guitarras de cuerdas de nylon (ver Archivo Multimedia 2 en acousticstoday.org/torresmedia). Las cuerdas de metal son pulsadas por medio de una plumilla, que es una pieza delgada de plástico o metal sostenida por los dedos. (Una plumilla de metal es mostrada en los primeros segundos de Archivo Multimedia 2 en acousticstoday.org/torresmedia). Hay algunas técnicas en las cuales ambos estilos son combinados. Por ejemplo, si la cuerda es pulsada con una plumilla e inmediatamente después las vibraciones son amortiguadas por el

pulgar de la misma mano, la vibración producida solo contiene armónicos de alta frecuencia. En particular, en las guitarras eléctricas amplificadas con distorsión, esta técnica causa un efecto particularmente espectacular referido a menudo como armónico artificial (ver etiquetas en Archivo Multimedia 2 en acousticstoday.org/torresmedia).

Una vez que las cuerdas están instaladas en la guitarra y tensadas, ni el diámetro ni las propiedades del material parecen permanecer constantes. En realidad, toma varios días para las cuerdas recién instaladas alcanzar una afinación estable. Por lo tanto, los guitarristas con experiencia no suelen cambiar las cuerdas el día de una presentación importante. También, conforme transcurre el tiempo, las cuerdas siguen cambiando porque el contenido armónico es afectado, mientras que el amortiguamiento del material aumenta. Entonces, conforme pasa el tiempo, las cuerdas se desgastan gradualmente porque son usadas, hasta que se rompen o hasta que su comportamiento deja de ser el sonido agradable que debería ser para el músico. Luego de esto, las cuerdas necesitan ser reemplazadas.

La capacidad de la cuerda vibrante de generar ondas sonoras por sí sola es escasa porque su superficie de contacto con el aire, el medio de propagación, es muy limitado. Por esta razón, una vez que las cuerdas han sido pulsadas, sus vibraciones deben de ser recolectadas de alguna manera por otros sistemas responsables de la amplificación del sonido. En las guitarras acústicas, una pequeña fracción de la energía de vibración de la cuerda es extraída por el puente para perturbar toda la caja de resonancia. En las guitarras eléctricas, las vibraciones de las cuerdas son recolectadas a través de pastillas magnéticas que generan una señal eléctrica que es enviada a un amplificador externo.

La caja de resonancia.

Hay muchos diseños diferentes, incluso entre guitarras acústicas. La Figura 1 compara la diferente orientación de las clavijas en los dos diferentes tipos de guitarras acústicas mostradas. La caja de resonancia de una guitarra de cuerdas de acero es un poco más grande y está sujeta a una mayor tensión que una guitarra de cuerdas de nylon (ver Figura 1 y Figura 5). Para que la caja de resonancia de una guitarra de cuerdas de acero esté preparada para soportar más tensión, el diseño interno de la tapa incluye un barraje en X en vez del típico barraje de abanico en las guitarras de cuerdas de nylon.

La Figura 5 muestra una visualización interna de los tipos de guitarras acústicas usando luz infrarroja (Torres et al., 2010). Aunque los refuerzos de la tapa proveen funciones estructurales, también afectan radicalmente el sonido del instrumento porque alteran el comportamiento vibratorio de la tapa. La tapa es ampliamente responsable de la amplificación del sonido en la guitarra acústica, como se muestra en las simulaciones hechas por Torres y Torres-Torres (2015). El Archivo Multimedia 4 (en acousticstoday.org/torresmedia) muestra un modo de vibración de la tapa en frecuencias medias, con deflexiones claramente limitadas por el barraje en abanico de la guitarra acústica.

Figura 5. Estructura interna de las guitarras acústicas de la Figura 1. La guitarra con cuerdas de nylon muestra el diseño clásico de Antonio de Torres de barraje en abanico (izquierda). La guitarra con cuerdas de acero muestra el barraje en X (derecha). Luz infrarroja puesta en el interior de las guitarras fue usada para revelar la estructura.

Un extracto musical tocado en una guitarra acústica hecha de madera nunca sonará exactamente igual al mismo extracto tocado en otra guitarra acústica, incluso si ambos instrumentos tienen el mismo diseño y el mismo tipo de cuerdas. ¿Por qué el sonido de cada guitarra acústica es único? Esto es porque la caja de resonancia es responsable de amplificar el sonido de las guitarras acústicas, y la respuesta de cada caja de resonancia a las cuerdas es única. Para explicar más acerca de esto, es necesario analizar el funcionamiento de la guitarra acústica más a detalle.

Para analizar el desempeño de una guitarra, es muy útil analizar su comportamiento vibratorio en el dominio de la frecuencia. Con este propósito, las vibraciones son medidas en términos de movimiento por unidad de fuerza introducida al instrumento. El procedimiento típico consiste en golpear el puente con un martillo de impacto, medir la velocidad causada como respuesta, y relacionar ambas señales (velocidad/fuerza) para obtener así una función de transferencia llamada



movilidad del puente. Una medición obtenida de esta manera de la réplica de “La Cumbre” es mostrada en la Figura 6 donde, con un poco de experiencia, la contribución de los dos principales sistemas vibratorios pueden ser fácilmente identificados. Los tres primeros picos bien separados son causados por un fuerte acomplamiento de resonancias tipo Helmholtz con la caja, y los picos más allá de éstos son resultado principalmente de resonancias de la caja misma.

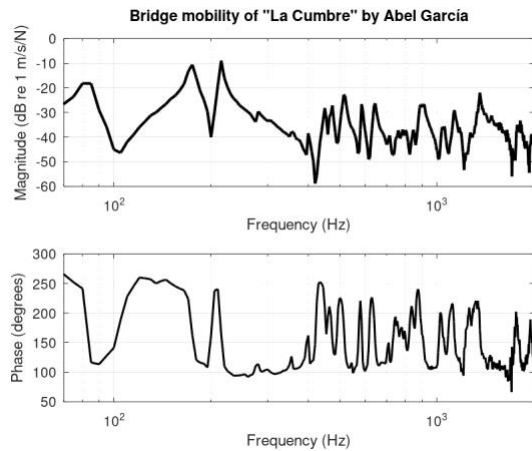


Figura 6. Movilidad del puente en la réplica de “La Cumbre”. Esta es una medida típica usada por científicos para estudiar el comportamiento vibratorio de un instrumento

El aire encerrado en la caja de resonancia soporta la amplificación de las frecuencias bajas del instrumento, principalmente a través de resonancias que se parecen a aquellas producidas cuando uno sopla aire a través de una botella abierta. De hecho, si la cantidad correcta de flujo de aire es dirigido a la boca de una guitarra acústica, se puede oír el sonido de la frecuencia amplificada por esta resonancia (Archivo multimedia 3 en acousticstoday.org/torresmedia). Tal comportamiento es el primero que emerge en la respuesta de una guitarra acústica y usualmente aparece alrededor de los 100 Hz. La movilidad de la réplica de “La Cumbre” (Figura 6) revela una frecuencia particularmente baja para esta resonancia, coincidiendo con la frecuencia fundamental de la nota mi₂ (82.4 Hz). El Archivo Multimedia 1 (en acousticstoday.org/torresmedia) contiene una pieza tocada en la tonalidad de Mi usando la réplica de “La Cumbre”.

El resto de las frecuencias del sonido de una guitarra acústica, en el rango medio y alto, son emitidas por la madera misma. Esto implica que casi todo el sonido de la guitarra depende del comportamiento modal de la caja de resonancia. Esto, a su vez, depende de tanto el diseño de la caja de resonancia como de las propiedades de la madera. Por lo tanto, el mismo diseño usando diferentes materiales resultará en guitarras con diferentes respuestas, pues son diferentes todas las muestras de madera, incluso si son del mismo árbol (ver Torres y Torres-Martínez, 2015). Aunado a esto, la mayoría de los procesos al construir una guitarra acústica de madera son hechos a mano, y hay muchos diseños. Como resultado, cada caja de resonancia del cuerpo de una guitarra es única (Skrodzka et al, 2011).

Para explicar la relación entre las vibraciones de la caja y el sonido generado, necesitamos aprender un poco más sobre el comportamiento modal de la estructura. La caja de resonancia de una guitarra tiene varias resonancias que no mantienen relación una con otra, lo cual es diferente de las relaciones en las cuerdas que muestran una serie armónica. En la caja de resonancia, las resonancias dependen de la geometría de la estructura, la masa, las propiedades elásticas e

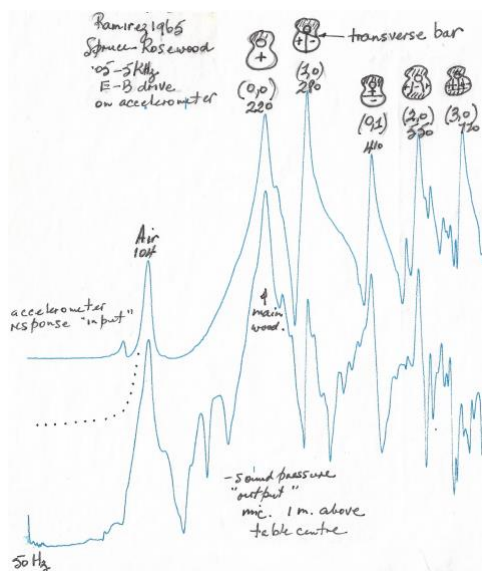
incluso las variaciones en humedad (Torres et al., 2014). Sin embargo, los primeros modos de una guitarra acústica tienden a ser similares a pesar de las variaciones del barraje interno.

La Figura 7 son mediciones de una guitarra Ramirez de 1965, impreso por Graham Caldersmith en 1980, donde él etiqueta algunos picos con sus correspondientes modos de vibración. El Archivo multimedia 5 (en acousticstoday.org/torresmedia) muestra la visualización progresiva de los dos primeros modos en una guitarra experimental (con costillas rígidas para aislar las vibraciones de su tapa) correspondientes al modo (0,0) y (1,0). Ambos modos están dibujados a mano sobre los dos picos más grandes de la respuesta graficada en la Figura 7. Los armónicos de las notas pulsadas que coincidan con las frecuencias de resonancia de la caja, serán selectivamente amplificadas por modos con una gran eficiencia de radiación (Torres y Boullosa, 2011), pero los armónicos cuyas frecuencias estén lejos de las resonancias, serán poco amplificadas. Más detalles sobre eficiencia de la guitarra están disponibles en Torres y Boullosa (2009).

Figura 7. Respuesta mecánica (arriba) y acústica (abajo) de resonancia de una guitarra Ramírez de 1965. La imagen fue escaneada de la gráfica original que fue impresa mecánicamente por Graham Caldersmith en 1980. Él incluyó dibujos hechos a mano de los modos de vibración más bajos y sus frecuencias (expresadas en Hz) así como algunas especificaciones sobre la configuración experimental.

La guitarra eléctrica.

Una revisión general de la funcionalidad de la guitarra eléctrica está disponible en libros acerca de instrumentos musicales (por ejemplo Fletcher y Rosing, 2012; Bucur, 2016). En la mayoría de las



guitarras eléctricas, solo las vibraciones de las cuerdas son percibidas por la pastilla magnética. Debido a que no hay necesidad de las vibraciones del cuerpo de la guitarra, un cuerpo sólido sustituye a la caja de resonancia. Lo que es más, debido a que la energía de las vibraciones permanece en las cuerdas, el decaimiento de las notas en una guitarra eléctrica es más lento que

en una guitarra acústica (Paté et al., 2014). Por lo tanto, los intérpretes de guitarras eléctricas usualmente amortiguan las vibraciones de las cuerdas al presionarlas gentilmente contra el puente mientras están siendo pulsadas usando la técnica de amortiguamiento con la palma (puedes escuchar el sonido producido por esta técnica en el Archivo Multimedia 2 en acousticstoday.org/torresmedia). Por otro lado, la increíble sensibilidad a pequeñas vibraciones en las cuerdas, junto con la energía acústica externa provista por su amplificador, puede lograr un sostenimiento infinito de las cuerdas debido a su retroalimentación.

El entender los principios operativos de las guitarras eléctricas requiere una buena cantidad de física y matemáticas que son discutidas en Horton y Moore (2009), y que no son considerados aquí. Es importante entender que el mecanismo básico de estas guitarras involucra una pastilla electromagnética que consiste de un delgado cable conductor enrollado en forma de bobina alrededor de un imán permanente. El cable está pegado al cable de modo que no hay movimiento relativo entre ellos. Debido a que las cuerdas de metal están muy cerca a la pastilla, están dentro de su campo electromagnético, resultando esto en una interacción sin contacto entre las cuerdas vibrantes y el campo magnético de la pastilla. Por ende, si cuerdas de nylon fueran pulsadas en una guitarra eléctrica, el instrumento simplemente no funcionaría.

Las cuerdas que perturban a la pastilla magnética generan señales sin relación alguna con las ondas amplificadas por el cuerpo de una guitarra acústica. En realidad, las notas generadas por una guitarra eléctrica no son como las de ningún otro instrumento musical. Incluso la onda generada por cada terminal de la misma guitarra eléctrica tiende a ser diferente para cada una de las cuerdas.

Para ilustrar por qué, vamos a analizar las vibraciones de la quinta cuerda de una guitarra eléctrica estándar y su interacción con las terminales de la pastilla (ver etiquetas en la Figura 2). Imaginemos que las oscilaciones ocurren en un plano que es paralelo a la parte superior de la pastilla. Además de la interacción de la cuerda con su terminal de la pastilla correspondiente, durante las deflexiones hacia un lado, la cuerda estará más cerca de la terminal de la sexta cuerda. Cuando la cuerda se mueva en la dirección opuesta, tendrá interacciones con la terminal de la cuarta, tercera, segunda y primera cuerda. Por lo tanto la señal es muy asimétrica, con un gran contenido armónico para cada onda. También, tal asimetría será diferente para cada cuerda dependiendo de su posición sobre la pastilla. Estas interacciones han sido descritas elegantemente por Horton y Moore (2009).

La señal peculiar generada por la pastilla es sólo una parte del sonido típico de una guitarra eléctrica. En adición a esto, el desempeño del amplificador usado para producir las ondas sonoras es extremadamente importante. Es interesante considerar que cuando la guitarra eléctrica fue desarrollada, la única manera de amplificar el sonido era con el uso de bulbos. Este tipo de amplificadores (llamado amplificador de bulbos) no tiene un comportamiento lineal, por lo tanto, su señal de salida no es una versión más grande de su señal de entrada. Más bien, la onda se distorsiona. Sin embargo, debido a que no había ninguna otra opción para escuchar el sonido de una guitarra eléctrica, los amplificadores de bulbos fueron muy importantes durante la definición del sonido original de este nuevo instrumento.

Con el desarrollo de los amplificadores de estado sólido algunos años después, la señal podía ser amplificada evitando la distorsión y el sonido característico obtenido a través de los tubos. Es interesante, no obstante, que los guitarristas nunca aceptaron el sonido libre de distorsión de los amplificadores de estado sólido, y han mantenido la manufactura de los amplificadores de bulbos hoy en día en la búsqueda del sonido original (con la inherente distorsión a través de los bulbos). Se estima que los amplificadores de bulbos consumen tres de cada cuatro bulbos de audio producidos mundialmente (Barbour, 1998).

La amplificación a través de bulbos causa distorsión bajo dos circunstancias: aumentando el volumen del amplificador, o enviando una señal potente desde la guitarra (Ver Archivo Multimedia 2 en acousticstoday.org/torresmedia). Usualmente, los guitarristas tratan de encontrar el volumen exacto donde el amplificador, al tocar las cuerdas sutilmente, produce un sonido claro y sin distorsión, mientras que un ataque agresivo produce saturación. Una discusión muy ilustrativa sobre esto fue publicada por Keeports (2017).

Una de las más notables adiciones a la guitarra eléctrica fue un sistema mecánico para cambiar la posición del puente durante una presentación. Es instalado en varios modelos, y todos los guitarristas lo conocen por el nombre de su inventor: el sistema Floyd Rose (Rose 1979) (Figura 1). Este ingenioso mecanismo permite cambios dramáticos en la tensión de las cuerdas al mover el puente y devolverlo a su posición original. El desempeño del sistema Floyd Rose en la guitarra eléctrica de la Figura 1 es observado al final del Archivo multimedia 2 (en acousticstoday.org/torresmedia).

Conclusiones

Si se asume que el rol principal de la guitarra es producir sonidos musicales, con lo que se ha establecido en este artículo, la conclusión podría ser que la guitarra acústica y la guitarra eléctrica son dos instrumentos casi sin relación. Prueba de ello es que el sonido de los dos instrumentos es inconfundiblemente diferente. El Archivo Multimedia 6 (en acousticstoday.org/torresmedia) muestra una breve demostración comparando las mismas notas tocadas en una guitarra de cuerdas de acero y una guitarra de una sola bobina.

El rápido desvanecimiento de los armónicos de alta frecuencia en el sonido de la guitarra acústica implica que cuando varias notas son tocadas a la vez, hay una mezcla clara y bien definida de sonidos. Debido a esta característica, la guitarra acústica puede ser considerada un instrumento polifónico, lo que significa que varias notas pueden ser tocadas al mismo tiempo. Los intérpretes de guitarras acústicas pueden tocar acordes completos para proveer acompañamiento musical, y con más habilidad, una melodía puede ser tocada en la misma guitarra al mismo tiempo. Por lo tanto, el apoyo de instrumentos adicionales (tales como el piano o el bajo) no es requerido. La mayoría de las piezas escritas para guitarra acústica fueron concebidas sin involucrar instrumentos adicionales.

Por el contrario, los armónicos de alta frecuencias están presentes por un mayor tiempo en las notas dadas por la guitarra eléctrica, debido a la configuración de la pastilla magnética y la

respuesta no lineal del amplificador de bulbos. Aunque es posible obtener acordes limpios con la configuración adecuada en las guitarras eléctricas, la característica que la volvió popular es identificada cuando el sonido es distorsionado. Bajo tales condiciones, la guitarra eléctrica es empleada como un instrumento monofónico, lo que significa que el mezclar varias notas al mismo tiempo tiende a ser poco agradable o considerado como ruido. Sin embargo, líneas melódicas hermosas pueden ser creadas con el acompañamiento de al menos un bajo. Ocasionalmente algunos matices o ritmos también pueden ser tocados usando dos o máximo tres notas tocadas al mismo tiempo, pero es poco usual el tocar simultáneamente las seis cuerdas, caso contrario a la guitarra acústica.

Es común que los jóvenes estudiantes de guitarra intenten tocar tanto la guitarra acústica como la eléctrica. Pero estudiar cada una requiere diferentes técnicas y mucho esfuerzo. Luego, después de cierto punto, un tipo de guitarra seduce al músico más que el otro tipo. ¿Cómo es que esta elección ocurre?. Es difícil de explicar, pero sin duda parte de la personalidad del guitarrista se verá reflejada en el tipo de guitarra elegida: acústica o eléctrica.

Agradecimientos

Gracias a Abel García López, Abel García Ayala y a José Pita por todo el material relativo a la guitarra “La Cumbre”, y a Angela McPherson por compartir el invaluable material escrito y medido por Graham Caldersmith. De igual manera a Darío Pérez por la versión en español de este artículo.

Referencias

Barbour, E. (1998). The cool sound of tubes. *IEEE Spectrum* 35(8), 24-35.

Bucur, V. (2016). *Handbook of Materials for String Musical Instruments*. Springer, Cham, Switzerland.

Chapman, R. (1993). *The Complete Guitarist*. Dorling Kindersley Publishing, London, UK.

Fletcher, N. H., and Rossing, T. D. (2012). *The Physics of Musical Instruments*. Springer Science and Business Media, New York, NY. French, R. M. (2008). *Engineering the Guitar: Theory and Practice*.

Springer Science and Business Media, New York, NY.

Horton, N. G., and Moore, T. R. (2009). Modeling the magnetic pickup of an electric guitar.

American Journal of Physics 77(2), 144-150. Keeports, D. (2017). The warm, rich sound of valve guitar amplifiers.

Physics Education 52(2), 1-7.

Lewis, W. J., Smith, J. R., Lewis, W. J., and Smith, J. R. (2014). The effect of string tension variation on the perceived pitch of a classical guitar.

Exchanges: The Interdisciplinary Research Journal 2(1), 53-81. Mersenne, M. (1636). Harmonie universelle, contenant la théorie et la pratique de la musique, S. Cramoisy, Paris, France. Available at <https://tinyurl.com/mrjbarmx>.

Paté, A., Le Carrou, J. L., and Fabre, B. (2014). Predicting the decay time of solid body electric guitar tones. The Journal of the Acoustical Society of America 135(5), 3045-3055.

Paté, A., Navarret, B., Dumoulin, R., Le Carrou, J. L., Fabre, B., and Doutaut, V. (2012). About the electric guitar: A cross-disciplinary context for an acoustical study. Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference, 11th Congrès Français D'Acoustique: 2012 IOA Annual Meeting, Nantes, France. April 23-27, 2012. Available at <https://tinyurl.com/46p6u558>. Accessed May 10, 2022.

Rose, F. D. (1979). Guitar Tremolo Method and Apparatus. US Patent No. 4,171,661, US Patent and Trademark Office, Washington, DC, October 1979. Available at <https://tinyurl.com/ybd3w7df>. Accessed May 10, 2022.

Skrodzka, E., Łapa, A., Linde, B. B., and Rosenfeld, E. (2011). Modal parameters of two incomplete and complete guitars differing in the bracing pattern of the soundboard. The Journal of the Acoustical Society of America 130(4), 2186-2194.

Torres, J. A., and Boullosa, R. R. (2009). Influence of the bridge on the vibrations of the top plate of a classical guitar. Applied Acoustics 70, 1371-1377.

Torres, J. A., and Boullosa, R. R. (2011). Radiation efficiency of a guitar top plate linked with edge or corner modes and intercell cancellation. The Journal of the Acoustical Society of America 130(1), 546-556.

Torres, J. A., and Rendón, P. L. (2013). A simple method for synthesizing and producing guitar sounds. European Journal of Physics 34(3), 503-510.

Torres, J. A., and Torres-Martinez, R. (2015). Evaluation of guitars and violins made using alternative woods through mobility measurements. Archives of Acoustics 40(3), 351-358.

Torres, J. A., and Torres-Torres, D. (2015). Changes in wave propagation in a guitar top plate due to the fan bracing and the bridge. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería 31(4), 228-234.

Torres, J. A., de Icaza-Herrera, M., and Castaño, V. M. (2014). Guitar acoustics quality: Shift by humidity variations. Acta Acustica united with Acustica 100(3), 537-542.

Torres, J. A., Hernandez, G., Granados, A., and Garcia, A. (2010). Internal visualization of finished guitars and their sound. Proceedings of Meetings on Acoustics 11(1), 035005.

Wilmering, T., Moffat, D., Milo, A., and Sandler, M. B. (2020). A history of audio effects. Applied Sciences 10(3), 1-27



Jesús Alejandro Torres es investigador de instrumentos de cuerda. Su trabajo para obtener el título en ingeniería mecánica (2003), así como el grado de maestría (2006), doctorado (2010) y postdoctorado se enfocó en experimentación y simulaciones computarizadas del comportamiento vibroacústico de la guitarra acústica. Desde el 2011, el Dr. Torres ha dirigido el Laboratorio de Acústica en la Escuela de Ludería de México, donde expandió sus intereses al estudio del violín. Actualmente imparte un curso de dos semestres de Acústica. También es un intérprete entusiasta de la guitarra eléctrica.