

LA AFINACIÓN Y LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

Juan Menduiña Fernández

Parte de este artículo ya ha sido publicado en la página web del **Sistema Menduiña**, si bien insistir y extenderse sobre algunos aspectos de los fundamentos teóricos puede tener interés para el músico, habida cuenta la inquietud que existe acerca del sonido de sus instrumentos. Por otro lado, este artículo, en cierta forma es la continuación de otro anterior, publicado en marzo de 2006 **“La afinación de la orquesta y el tiro de la guitarra dos polémicas sin resolver”** al que haré referencias para contestar a cuestiones que no quedaron suficientemente claras en esa primera publicación.

La inquietud por mejorar la sonoridad de la guitarra y sus características de afinación ha sido permanente, como lo demuestran las numerosas patentes (más de 200) realizadas en los últimos años, como curiosidad recogemos los autores de algunas de ellas por ser músicos destacados y/o fabricantes de prestigio:

Narciso Yepes 1964
Michael Kasha 1967
Melchor Rodríguez 1973
Melchor Rodriguez 1980
José Ramirez Martinez 1984
Manuel González Contreras 1988
Antonio Losada Ordoñez 1989
Santos Bayón Ruiz 1994
Mariano y Felipe Conde Cavia 1998

En unos casos son para añadir más cuerdas al instrumento, en otros para conferir a algunos de sus elementos de mayor resistencia mecánica y en la mayoría de los casos para mejorar su sonido.

¿A qué se debe esta necesidad de innovar?, ¿qué sonido se busca en la guitarra?, aparentemente todos coinciden en pedir mayor volumen sonoro y mejor afinación, sin embargo, con relación al primero (volumen sonoro) hemos podido comprobar que no en todos los casos es así, ya que al introducimos en los matices del timbre cada guitarrista tiene una apreciación diferente del sonido y un hecho que se produce cuando subimos el volumen, es que perdemos parte de la magia de esa delicadeza característica de la guitarra. Por tanto, tenemos el dilema ¿mantenemos el timbre y la fragilidad de sonido o aumentamos el volumen?; una expresión que hemos observado es la de oír a los guitarristas “suena muy fuerte pero no suena a guitarra”.

Actualmente, se están fabricando instrumentos con la hibridación de madera y materiales sintéticos, como la fibra de carbono, la crítica que hacen es que no tienen un timbre bonito.

Un instrumento puede tener gran capacidad de generar sonido, con muchos decibelios, pero si ese sonido contiene muchas frecuencias no ajustadas, no es un buen instrumento, generado muchos anarmónicos, es decir armónicos anárquicos. En contraste podemos tener un instrumento que genere menos decibelios pero que emita frecuencias puras con sus armónicos y sin embargo, su sonido llegue muy lejos. Un ejemplo, lo tenemos cuando se reúnen un grupo de personas todas hablando a la vez, generalmente la voz que sobresale es la más clara, no necesariamente la de mayor volumen. Es decir, estamos ante lo que conocemos como proyección. Por tanto, la pregunta clave es ¿como ha de ser el sonido de un instrumento? y en el caso que nos ocupa el sonido de la guitarra ¿Qué sonido queremos en la guitarra?

Creo que queda en cierta forma claro que lo que buscaban los inventores que me han precedido era dotar a la guitarra de mayor proyección, no en todos los casos pero si en algunos. Para conseguir resultados, hemos estudiado los procesos que configuran la generación del sonido y el tipo de sonido, por esta razón hemos tenido que utilizar la matemática y la física, estudiando detalladamente su funcionamiento, conocer los parámetros que controlan su sonido, dónde se genera, cómo se transforma la energía de pulsación de la cuerda en movimiento ondulatorio de vibración.

Como todos sabemos, hasta el siglo XVIII, la arquitectura, música y matemáticas se estudiaban conjuntamente, el patrón de unión de estas disciplinas eran los criterios de las proporciones, Pitágoras, Ptolomeo, Descartes (Compendio musical), Galileo (Discurso), sin embargo, las nuevas teorías de armonía, con las que trabajó Euler y d'Alembert, fueron demasiado matemáticas para los músicos y se fueron separando, la música también evolucionaba y progresaba, (Bach, Haendel, Mozart, Beethoven) y así tenemos la situación en la que la matemática es demasiado compleja para los músicos y la música, demasiado musical para los matemáticos. Sin embargo, lo cierto es que esta separación ha sido aparente por que compositores y músicos han continuado utilizando los criterios de simetrías, progresiones musicales o los criterios de proporciones, por ejemplo, el que aporta el número de Fibonacci (Leonardo de Pisa), Chopín (1810-1849) decía que la fuga era lógica pura. Posiblemente, la demanda musical del gran público, haya condicionado que el músico hasta muy recientemente se hubiese estancado en explotar solamente los criterios matemáticos sencillos, sin llegar a los nuevos desarrollos matemáticos.

En el caso que nos ocupa, hemos utilizado la matemática junto con la física para entender el funcionamiento de un instrumento de cuerda, como es la guitarra, que como luego comentaremos es extrapolable a cualquier instrumento. No es el objetivo de este artículo presentar los desarrollos físico-matemáticos, simplemente expondremos sencillos ejemplos que nos hagan reflexionar sobre algunos aspectos de la construcción y adecuación de los instrumentos a lo largo de la historia. Por esta razón, la hemos dividido en cuatro apartados aunque lo cierto es que todos ellos están muy relacionados entre si y son los siguientes:

Primero, sencillos ejemplos de la influencia que tiene la forma y dimensiones del instrumento sobre el sonido. Segundo, la influencia que tiene las estructuras internas de los instrumentos sobre el sonido que emiten. Tercero, analizaremos someramente si los instrumentos construidos antes de 1939 y los construidos actuales siguiendo esos patrones están ajustados a la frecuencia de afinación (La 440 Hz). Cuarto, reflexionaremos si la frecuencia de referencia actual (440 Hz) es la adecuada.

Para entender, cómo influye la forma de un instrumento sobre el sonido, vamos a poner sencillos e intuitivos ejemplos: Tenemos un tubo y una campana, ambos contruidos con el mismo metal y el mismo grosor de paredes, es fácil comprobar que suenan diferente, en función de la forma que tengan, así con solo cerrar el tubo por unos de sus extremos ya cambia el sonido. Si además, ajustamos sus diámetros y sus curvas a las frecuencias armónicas de afinación, por ejemplo, en la campana, tendremos una afinada a una determinada nota, con al menos dos armónicos de octava, uno grave y el otro el correspondiente a la octava aguda, consiguiéndose además, una mayor duración del sonido, por una auto-alimentación de los armónicos y por tanto, una mejor y mayor sonoridad y por supuesto con una mayor proyección que en el fondo es lo que buscamos. Por supuesto, sobra decir que el tamaño de la campana influye sobre la frecuencia que emite, una campana grande emite un sonido más grave que una más pequeña.

Otro ejemplo, es el de las copas más o menos llenas de agua, la frecuencia emitida, (la nota musical) es diferente en función de la cantidad de agua que pongamos, por tanto, la longitud del borde vibrante y el espacio vacío condicionan la nota, además, podemos fácilmente comprobar como existen volúmenes que están ajustados a notas (frecuencias) de los doce intervalos y otros volúmenes que son intermedios y no emiten frecuencias ajustadas es lo que conocemos como notas desafinadas.

También lo podemos comprobar con un ejemplo con el todos estamos muy familiarizados, que es el sonido que se genera cuando llenamos una botella o un tubo, a medida que se va llenando va cambiando el sonido, es una secuencia continua hacia los tonos más agudo, en este efecto sonoro habrá frecuencias ajustadas a notas de acuerdo con una referencia de afinación y otras que son intermedias, es lo mismo que decir, que existen volúmenes ajustados (afinados) y otros intermedios que no lo son (desafinados).

Exactamente igual podríamos hacer con una cuerda, una lengüeta de vibración, o con una membrana o con el aire que contiene un instrumento de viento.

Por tanto, los volúmenes de resonancia grandes nos dan notas graves y los más pequeños más agudos, hecho con el que estamos muy familiarizados simplemente con observar los instrumentos de cuerda, viento, percusión, etc, de una orquesta.

La segunda cuestión que planteamos al principio, era la de la influencia que tiene las estructuras internas de los instrumentos sobre el sonido que emiten. La respuesta más inmediata la tenemos en las diferentes formas de los instrumentos de viento que nos dan sonidos de timbres diferentes y aunque son formas que nosotros podemos observar, la estructura interna en este caso coinciden ya que es por donde va pasando el sonido generado por la boquilla. En los instrumentos de percusión el músico conoce que en función del punto de golpeo o el apagamiento de una zona de la membrana hace que cambie la frecuencia emitida y el timbre. En los instrumentos de cuerda las estructuras internas son fundamentales para la generación del sonido. Porque lo mismo que las curvas en los instrumentos de viento hacen variar los timbres y la claridad del sonido, como consecuencia de los efectos de rebote del aire en las paredes, aumentando o disminuyendo la velocidad del aire vibrante o de cómo el percusionista varía el sonido en función del punto de percusión o del cambio de tensión de la membrana, exactamente igual la presencia de elementos en una tapa armónica condiciona el sonido del instrumento.

En los instrumentos de cuerda, los dos parámetros fundamentales que se deben estudiar son: la distribución de los esfuerzos generados al tensar las cuerdas y sus características de vibración de donde y como se genera el sonido. La duración de un instrumento en el tiempo, era virtud incuestionable, primero, por que el constructor no soportaría la crítica de que le dijese que sus instrumentos se rompen y por él mismo por que desea que sus instrumentos se perpetúen como resulta lógico.

En la guitarra, la dirección de esfuerzo dominante es el de tracción, sin embargo, al ir atadas las cuerdas, en el puente de la tapa, en un punto inferior al hueso, existe una componente de presión negativa, en la parte delantera, es decir, el puente se hunde hacia la caja y otra deformación positiva (levantamiento) en la parte trasera donde se anudan las cuerdas. Por tanto, unido al efecto de tracción tenemos otro de flexo-rotación, esto justifica las estructuras de varetajes que conocemos.

Los sistemas anteriores a Antonio Torres Jurado, pegaban dos varetas rectas delante y detrás del puente, para evitar las deformaciones, siendo su innovación el utilizar un sistema en abanico, para compensar estas deformaciones, por esta razón, para demostrar que todas las tensiones se repartían en la tapa armónica, construyó una guitarra con aros y fondos de cartón. Este sistema de construcción ha evolucionado con numerosas modificaciones, sin embargo, en su esencia es el mismo que más se sigue utilizando hasta la fecha.

Recientemente, han aparecido sistemas de malla, unos de forma regular y otros irregulares que pretenden ser una mezcla del sistema anterior con el sistema en abanico. En otros casos, se está acudiendo a materiales híbridos (naturales-fibras de carbono), que indudablemente cuestionan aquellos estudios que achacaban el bien sonar del instrumento a la vejez de la madera. En cualquier caso, lo cierto es que el denominador común de todos estos diseños es el compensar estos dos efectos de deformación de la tapa armónica, tracción y el de flexo-rotación.

Actualmente y gracias a la capacidad de cálculo que nos da el uso de los ordenadores, ha sido posible crear un diseño más estilizado, compatibilizando la distribución de los esfuerzos que tiene que soportar la tapa armónica con los efectos de vibración y la forma de propagación a lo largo de la tapa (movimiento ondulatorio) que son al final los responsables de generar el sonido.

El tercer punto que proponíamos al principio era el de si los instrumentos construidos antes de 1939 y los construidos actuales siguiendo esos patrones antiguos están ajustados a la frecuencia de afinación (La 440 Hz). Una vez señalada la relación volumen-forma-estructura del instrumento con el sonido surge una pregunta; ¿la guitarra esta ajustada a la frecuencia de afinación actual? Sobre este tema existe un interesante artículo que coincide con algunas de nuestras ideas sobre que los instrumentos están desactualizados (Eduardo Thénon) en el que se cuestiona la identidad acústica de la guitarra en función de la respuesta a los diferentes tonos de afinación. De este artículo sacamos las siguientes frases:

(...) Torres pudo haber diseñado la caja de resonancia de manera que amplificara los armónicos de generadores afinados por el diapason de 404 ciclos, (...)

(...) las guitarras modernas resuenen sobre la base de un diapasón antiguo, significaría que son instrumentos desactualizados. Esta es una conclusión grave, pero surge del análisis realizado y no creemos conveniente disimularlo (...)

(...) la nueva identidad acústica será aquella que haga coincidir el La de resonancia o armónico de construcción con el La normal en uso. Así, se obtendría el juego de resonancias capaz de dar riqueza armónica, sin perder por ello la condición de instrumento actualizado (...)

Además se evitarían de ese modo los choques armónicos presentes en la guitarra hoy (...). También se evitará de ese modo la "solución" de eliminar la resonancia del instrumento como manera de superar las reverberaciones indeseables (...)

¿Surge esto solamente se produce en la guitarra? el volumen de un clarinete de un oboe por ejemplo ¿esta ajustados?, la caja de resonancia, la tapa armónica, o el arpa del piano ¿realmente ajustados?

Parece como si en el colectivo de los músicos, existiese una insatisfacción, los mismos directores parece que constantemente tienen la tendencia a subir la frecuencia de afinación de toda la orquesta, esto nos lleva a el cuarto punto que propusimos ¿la frecuencia de referencia actual (La = 440 Hz) es la adecuada? y con esto enlazamos con el artículo y las reflexiones sobre lo expuesto en la publicación "La afinación de la orquesta y el tiro de la guitarra dos polémicas sin resolver". De esta publicación podemos entresacar las siguientes frases:

Andrés Segovia, defendió siempre el "tiro" de 660 mm (66 cm) e incluso mayores, con él han coincidido y coinciden los guitarristas flamencos y otros muchos; en el otro extremo de la polémica se encuentran un numeroso grupo de interpretes que demandan el "tiro" de 650 mm (65 cm), incluso menores aduciendo razones anatómicas.

Concluía diciendo que ambas partes tienen sus razones, sin embargo, no siempre han sido bien interpretadas, ni justificadas, no parece lógico que cinco milímetros repartidos de forma progresiva entre doce trastes sea la causa de esta polémica. La verdad es que pensar que las diferencias anatómicas de un guitarrista a otro, por el tamaño de sus manos, marcan mayores diferencias que la de estos los cinco milímetros repartidos entre 325 ó 330 mm. Continuando con la mencionada publicación, en otro punto se recoge a manera de ejemplo, la relación entre las distancias nodales y las frecuencias emitidas:

(...) una cuerda de nailon (nylon) tiene un módulo elástico muy diferente a la que tiene una de acero, sin embargo, ajustadas las dos a una determinada frecuencia de afinación, ambas tienen la misma progresión nodal (trastes) y la misma progresión musical (frecuencias), por tanto, la progresión de frecuencias y la progresión de distancias nodales, es independiente del material empleado, (...)

Dicho de otra forma; la progresión musical es una función de λ (Mersenne) ya que para pasar de un semitono a otro dividimos o multiplicamos por λ , lo mismo ocurre con la distribución de trastes o distancias nodales que multiplicamos o dividimos por λ en función de la distancia que queramos obtener.

Argumentaba, que en la polémica de los guitarristas sobre cual era la longitud de la cuerda ("tiro") adecuada, que ambas partes tienen sus razones, los defensores del tiro de 660 mm. por estar ajustado a la frecuencia de afinación de 440 Hz (659 mm) y los que defienden el tiro de 650 mm., también tienen razón, ya que defienden de una forma inconsciente la frecuencia que se ajusta a los Armónicos Universales (650; 645 mm). Relacionado con la defensa de los Armónicos Universales está el Instituto Schiller, que lleva años defendiendo a los músicos que utilizan su voz (tenores, barítonos, sopranos, etc.). Básicamente defienden la afinación utilizada por Verdi y defendida por el gobierno Italiano de la época. En esta dirección se encuentran declaraciones y actos programados en defensa de la afinación "científica o filosófica".

(...) los científicos más destacados en esta área, han fundamentado nuevamente la coherencia del La = 432 (que corresponde a un Do5 = 256) con las leyes que gobiernan el universo físico, desde la organización de nuestro sistema solar, hasta la producción de la voz humana. Desde una visión científica avanzada, ellos han demostrado que cualquier otra afinación, basada en el La = 440, 443, ó 450 no solo no refleja la ley natural sino que la viola, produce daños reales en la voz humana.

Una pequeña matización el La = 432 no está ajustado a los Armónicos Universales aunque si el (Do5 = 256) sin embargo el La debe ser La = 430.54 Hz. Otra pequeña aclaración, la representación matemática ejes X, Y de la progresión armónica es una curva hiperbólica que pertenece a la familia de las cónicas a las que también pertenece la elipse, que como todos sabemos es la forma de los orbitales. ¿No se podría repetir esta demanda de los músicos que utilizan su voz (tenores, barítonos, sopranos, etc.) algo parecido a lo de la guitarra que demanden los Armónicos Naturales por sus características anatómicas? ¿No ocurrirá lo mismo con la insatisfacción de los músicos en general con su instrumento? Se dice que los "metales "tiran" hacia arriba de la orquesta" ¿no será que existe de forma inconsciente y generalizada esa insatisfacción? En los instrumentos de cuerda, incluido el piano he observado que los tonos más graves generan más anarmónicos ¿no será esta la razón de que "metales 'tiran' hacia arriba de la orquesta"? (los tonos graves son los que hacen retremblar los cristales).

Resumiendo, la polémica está servida al cuestionar si los instrumentos están bien ajustados a la escala definida desde el La = 440. Hz. y además ¿no existirá una demanda inconsciente del músico de acercarse a los Armónicos Naturales o Universales?.

Conclusiones

- 1.La inquietud por la innovación es un hecho que se recoge por las patentes realizadas por músicos y luthieres y que se debe de continuar.
- 2.La matemática está unida a la música desde la composición de las obras, hasta la construcción de los instrumentos.
- 3.Las dimensiones y formas internas y externas de los instrumentos influyen en su sonido y sólo la matemática y la física podrán mejorarlos.
- 4.El acuerdo de Londres de afinar a La = 440. Hz. cuestiona la actualidad de los instrumentos construidos de acuerdo a diseños de épocas anteriores.
- 5.Por último surge la pregunta si la frecuencia de referencia la actual de La = 440. Hz. ¿ es la adecuada?