

# LA SEPTIMA CUERDA EN LA GUITARRA (\*)

Por ANTONIO ESPINÓS GUERRERO

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

*La REVISTA DE OBRAS PUBLICAS, en su número de diciembre de 1976, publicaba un artículo sobre la guitarra flamenca, suscrito por el mismo autor que el del presente, en el que se estudiaba la geometría de la guitarra y su correcto dimensionamiento, al tiempo que se daba una razón para mantener su forma actual.*

*Este nuevo artículo puede considerarse como una continuación del anterior, en el que, partiendo del estudio de la física de la guitarra, se llega a conclusiones que determinan dispositivos en dicho instrumento de cuerda, que mejorará su sonido en tal forma que, sin duda, puede llegar a producir tal revolución en la construcción de la guitarra, por la perfección conseguida, que habrá pasado a la historia el abanico tan primordial en la misma, sin el cual dicho instrumento se escucha difícilmente por no producir sonido adecuado.*

Los primeros maestros constructores de guitarras, es decir, los más antiguos *luthiers*, debieron de tener una sensibilidad especial y una mente receptiva poco común para intuir, con muy pobres conocimientos técnicos, formas y dispositivos en la guitarra que se aproximasen a lo que podía disponer la física del sonido.

Sus sucesores merecen también el mayor elogio, por haber preservado un arte con tanto cariño, sin ningún ánimo de hacerlo por adelantar una ciencia como la acústica de los instrumentos de cuerda. De hecho, más que una ciencia han desarrollado un culto plagado de nociones peculiares prácticas de pseudociencia, con una extensión tal, que en muchos casos supera en número a las que se producen en el campo de la Medicina.

Hoy día la ciencia de la acústica, bastante desarrollada, permite su aplicación al conocimiento, comprensión y fabricación de guitarras.

En esencia, la guitarra consiste en un juego de cuerdas montadas sobre una caja de madera que contiene un espacio de aire casi cerrado. Alguna energía de las vibraciones, inducidas mediante el ataque con los dedos a las cuerdas, se comunica a la caja y al espacio de aire en donde se establecen las vibraciones correspondientes. Estas a su vez ponen en vibración el aire entre el instrumento y el oyente; en otras palabras, producen ondas sonoras que llegan a sus oídos. Esta es la definición fundamental, puesto que el sonido de la guitarra—dejando a un lado la acústica del local donde se interpreta y la habilidad del artista que ejecuta— depende de la transferencia de vi-

bración de la cuerda a la caja de resonancia, y de ésta al aire.

Este problema, aparentemente sencillo, resulta ser un verdadero laberinto de cosas desconocidas que, al entrar tantas variables en juego, la solución matemática es prácticamente imposible, por lo que es preciso moverse artísticamente y con ideas, cuyos supuestos, al ser aplicables, eliminan parte de dichas variables y faciliten la solución del problema.

Los materiales de que se forma una guitarra son bien conocidos:

- Seis cuerdas de nailon calibrado y estirado, de las cuales tres de ellas son entorchadas.
- Dos finas chapas de madera, planas y de igual espesor en toda su longitud, que, unidas por otra madera, forman la caja armónica.
- Un diapasón, las clavijas para dar tensión y un puente encima de la tapa superior para anclar las cuerdas que han de someterse a tensión.

Finalmente, en madera también, el abanico en la parte posterior de una de las tapas.

Otros materiales que se emplean son el barniz y los pegamentos que, con los anteriores, forman el conjunto de los que lleva la guitarra, sin existir evidencia definida que demuestre que, varios siglos atrás, cualquiera de los materiales mencionados a los que hoy día tenemos a nuestra disposición hayan sido mejores.

No obstante, la perfección a que se ha llegado, se sigue investigando para descubrir nuevos materiales que puedan resultar más eficaces que los ya conocidos, aunque al pare-

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de marzo de 1978.

cer la búsqueda es muy lenta y fatigosa, sin resultados por el momento que superen a los conocidos desde hace bastantes años.

Podría adelantar aquí algo, para señalar un punto que ilustra la sutileza de algunos de los problemas que surgen en el proceso de comprender la guitarra.

Hemos hablado antes del abanico, que está formado por unas finas tiras de madera pegadas debajo de la tapa superior y que corren desde la apertura de la misma, llamada embocadura, hasta el extremo inferior. Sin dichas molduras la guitarra no suena, por lo que este abanico es un factor muy importante en la producción y mejora del tono del instrumento que tanto tiempo lleva tocándose.

El tono de una guitarra puede ser bastante alterado por los pequeños cambios de posición del abanico, cuya función acústica ha sido objeto de estudio durante muchos años.

Aunque los modos de vibración de las tapas presentan una gran diversidad a lo largo de toda la escala de frecuencias, el puente sometido a tensión debe tener siempre algún movimiento para poder resistir la fuerza de tensión de las cuerdas. En la parte inferior, es decir, en su contacto con la tapa superior, su movimiento es prácticamente nulo, presentando, por tanto, en cierto sentido, un eje horizontal sobre el que gira todo el puente y su apoyo deformando la tapa superior de la guitarra en la forma de la figura (fig. 1).

A pesar de la vigorosa vibración de la cuerda en su movimiento, su sonido propiamente dicho, es decir, el de la misma cuerda, sería prácticamente inaudible, por tener muy poca superficie, para poner en movimiento una cantidad apreciable de aire, lo que trae como consecuencia la imposibilidad de hacer música con una cuerda sin un amplificador. Lo que sucede

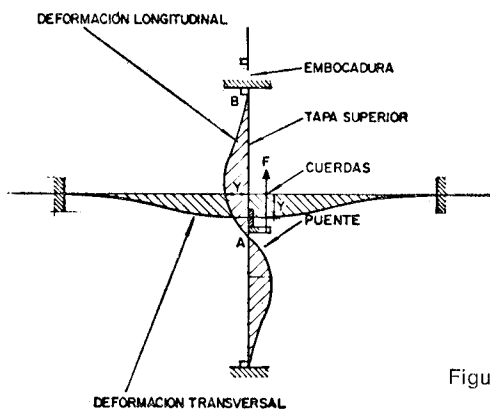


Figura 1.

es que una parte de la energía suministrada por el intérprete a la cuerda se comunica al cuerpo de la madera de la guitarra a través del movimiento del puente, dispersándose el resto en forma de calor. Las vibraciones de la cuerda, atacada en cualquier instante por las manos del que actúa, incluyen docenas de armonías energéticas que decaen según aumenta la frecuencia. Cada una de las frecuencias presentes obliga a vibrar la caja de madera a un ritmo particular, dependiendo la amplitud de la vibración de la fuerza impulsora.

Si se tratara solamente de esto, las cosas resultarían bastante sencillas, puesto que todos los tonos se amplificarían en la misma forma. Pero la estructura de la madera misma tiene multitud de frecuencias en las que tiende a vibrar de una forma natural. Si la frecuencia de resonancia de la madera coincide con la frecuencia de una armonía de cuerda se producirá un aumento en la transferencia de energía de la cuerda a la caja y una mayor amplificación del tono. Por ello, la respuesta real de una guitarra al hecho de ejecución de varias notas es un asunto enormemente complejo con el que tiene que enfrentarse un guitarrista, que, si es un buen artista, en forma inconsciente, automática e intuitiva, compensa cada vez que ejecuta el toque.

Aunque el fabricante de guitarras tenga el mayor interés por todas estas resonancias de la madera, generalmente, dada la complejidad del tema, solamente toma como guía adecuada la resonancia más baja, que se conoce como resonancia principal.

Es también de gran interés la frecuencia natural más baja del aire encerrado dentro del espacio de la caja, que se conoce como resonancia principal del aire.

Las buenas guitarras, construidas con esmero, madera adecuada y dimensionamiento correcto, tienen su resonancia principal dentro de la nota completa LA, de frecuencia 110 ciclos por segundo, que corresponde a la de la quinta cuerda afinada, que es dos octavas más baja que la frecuencia de acorde normal de la nota LA, con sus 440 vibraciones por segundo.

Dentro de la caja de la guitarra está la cámara de aire o cavidad de resonancia, que comunica directamente con el exterior a través de la embocadura circular en la tapa superior. El aire encerrado parece añadir resonancia medible a una escala de tonos que rodean a una nota.

La frecuencia del tono de aire se puede controlar por el volumen de aire encerrado en la caja del instrumento y la superficie del círculo de la embocadura. A mayor volumen de aire más baja es la frecuencia, resultando mayor según aumente el diámetro de la embocadura o tarraja. Estas dos variables se pueden calcular aproximadamente.

Las resonancias a que nos estamos refiriendo pueden estudiarse por las curvas de sonoridad creadas por F. A. Saunders, que en realidad son curvas que representan la intensidad total, puesto que muestran en cada frecuencia que se mide las intensidades combinadas de todas las armonías.

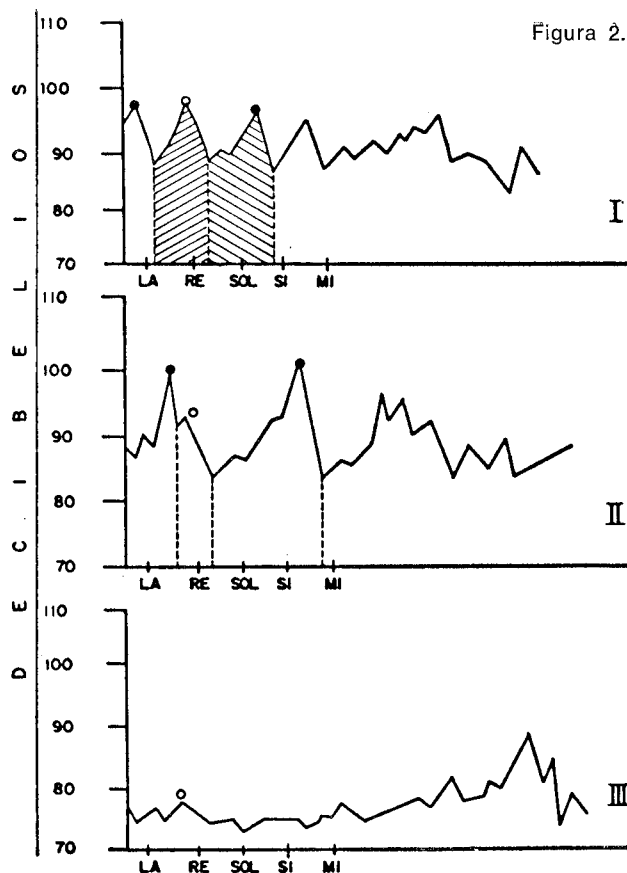
Para la guitarra, como para cualquier instrumento de cuerda, se puede medir su sonoridad en todos los niveles que podamos alcanzar, al señalar las notas que corresponden a los intervalos de semitono a todo lo largo de la escala para producir el tono más alto posible en cada nota. Esta medida se hace con un sonómetro, de la misma forma en que se emplea para medir los niveles de aplausos en un teatro, registrando la sonoridad de cada tono, pudiendo descubrir que una guitarra es mucho más sonora en unas notas que en otras y que, por más esfuerzos que se hagan, no se puede conseguir el que todas ellas registren un mismo nivel de sonoridad.

Así, con estas medidas del sonómetro, se pueden representar la curva de sonoridad de una guitarra, en uno de cuyos ejes la medida es la del sonido en decibelios, que en definitiva es el nivel de presión acústica, y en el otro los intervalos musicales que corresponden a las cuerdas de la guitarra afinadas.

Para mejor comprensión se han representado las curvas de sonoridad de tres guitarras (figura 2). La superior puede representar una magnífica guitarra artesana; la segunda, una guitarra de tipo medio, y la tercera, a una de las construidas en serie y de muy pobre calidad.

En la primera la resonancia principal de la madera, representada por el punto negro, y la del aire, representada por un círculo, se separan aproximadamente una quinta musical, es decir, siete semitonos, que es una de las características principales de una buena guitarra. El espaciamiento representado es el óptimo y la fuerza de la madera muy aceptable a tono con la resonancia del aire. Las áreas de resonancia de la madera, formada por las curvas

Figura 2.



descendentes con un máximo en su mayor resonancia, sobrepasan el área de la resonancia del aire en pequeñas proporciones, es decir, que existe un equilibrio.

En la curva segunda situada en el centro representa la que corresponde a una guitarra mediana; las principales resonancias de la madera y del aire están separadas un intervalo musical mayor, ofreciendo dos áreas de fuerte resonancia para la madera, con un campo de pobre resonancia entre ellas, que corresponde al aire.

En la curva inferior, que corresponde a una guitarra de muy pobre calidad, además de la separación de sus resonancias principales de madera y aire en más de una octava (doce intervalos musicales), se ve un área de fuerte resonancia de aire, con la madera contribuyendo prácticamente muy poco en forma de refuerzo resonante.

Una octava por debajo de la resonancia principal de la madera se presenta casi siempre una fuerte sonoridad, que se conoce con el nombre de sonido fundamental.

Para la teoría de la acústica es bien conocido el principio de que si una armonía de un

tono complejo es fortalecida, el oído escuchará la nota en conjunto con un aumento en su sonoridad, pero con un pequeño cambio en la calidad sin variación alguna en cuanto a la intensidad del tono. Por este proceso el punto máximo del sonido de la madera es intensificado por el tono de su resonancia principal en una octava hacia arriba. La armonía de la resonancia principal de la madera ayuda a los tonos bajos de la guitarra, por lo que resulta tan agradable un buen toque empleando los bordones.

La armonía de la resonancia principal del aire no aparece en las curvas de los buenos instrumentos porque cae por debajo de las notas más bajas. Al espaciar las resonancias principales de la madera y del aire los siete semitonos los máximos de la curva se ensanchan de tal forma que los máximos del tono de aire caen prácticamente en el centro de la octava, entre la resonancia de la madera y su sonido fundamental. Esta es una de las características de una buena guitarra, por lo que cuando esto no se produce así es preciso el modificarla para obtener un instrumento aceptable. De ello nos ocuparemos más adelante.

Por lo explicado se sabe con suficiente aproximación cómo debe ser una buena guitarra cuando está terminada, por el conocimiento de dónde deben encontrarse sus resonancias, es decir, la de la madera y la del aire. La pregunta que de inmediato surge es que cómo se logran estos propósitos durante el proceso de fabricación, para que quede una guitarra con las condiciones deseables de resonancia.

Además de mano artesana cuidadosa y dimensionamiento exacto, es el medir las frecuencias de los tonos llamados "tape-tones" que se obtienen en las tapas superior e inferior de la guitarra, antes de ser fijadas definitivamente a la caja armónica. Estos tape-tones, que son tonos obtenidos a base de pequeños golpes en dichas tapas completamente sueltas, tienen una relación entre ambas que, para que sea la mejor, depende, en la mayoría de los casos, además de la calidad, del correcto espesor de la madera.

Hoy día existen métodos para medir dichas frecuencias por medio de un preamplificador magnético activado por un generador de audiodiferencia que puede ser variado de 20 a 20.000 ciclos por segundo. Es importante el sujetar la tapa que va a vibrar por uno de sus

puntos nodales, que es donde no hay vibración y que fácilmente se determinan.

Ahora la pregunta que se han hecho durante cientos de años todos los que de una manera o de otra tienen o han tenido una relación activa con la guitarra, fundamentalmente los fabricantes, y que siempre se ha contestado de muchas maneras diferentes a la siguiente formulación: ¿qué sonidos deben producir las dos tapas de la guitarra antes de unirse para formar el instrumento?

Las diferentes opiniones que han existido han sido para todos los gustos; hay quienes sostienen que la tapa posterior debe tener un tono más bajo que la superior, otros la idea contraria y unos más se pronuncian por la igualdad de tonos.

Estas opiniones tan simplistas y contradictorias han pasado a la historia por los descubrimientos habidos para los instrumentos de cuerda en general, con una caja armónica formada por dos tapas y una armadura que las une (como en el caso de la guitarra).

Dichos descubrimientos han determinado que en la escala de 120 a 600 ciclos por segundo puede haber uno, dos y hasta tres puntos altos de resonancia en la tapa inferior, y quizá dos o tres más de esa cantidad en la superior. Cuando los puntos altos de la tapa superior o frontal alternan con los de la posterior, y los puntos altos adyacentes están a medio tono aproximadamente uno de otro, hay un buen instrumento. Cuando los puntos altos coinciden o están separados más de un tono, el instrumento es malo. Además, la media de las frecuencias de los "tape-tones" de las tapas frontal y posterior resulta ser de unos siete medios tonos por debajo de las frecuencias de la madera de la guitarra terminada.

Así, pues, para construir una guitarra que tenga una buena condición, en lo que a su sonido se refiere, hay que determinar las frecuencias de las tapas frontal e inferior, para corregirlas adelgazándolas si es preciso en algunos puntos, con el objeto de que las frecuencias de ambas cumplan con las condiciones ya expresadas para un buen instrumento de cuerda.

La solución tan simplemente expresada se complica bastante en la guitarra, al tener la tapa frontal el abanico incorporado, con el objeto de que la tracción de las cuerdas que produce un momento en dicha tapa pueda ser soportado por la misma sin deformación perma-

nente de alguna entidad. Lo que con ello se ha hecho ha sido aumentar, en definitiva, la inercia de la tapa que va a vibrar. Por ello, si para variar la frecuencia necesitamos adelgazar dicha tapa, estamos operando en un sentido negativo al disminuir la inercia, que va a dar lugar a una deformación permanente más acusada, con un sonido peor por vibración imperfecta de la tapa superior.

En consecuencia, el abanico nos da dos cualidades contradictorias. Por un lado, si es el adecuado para soportar la tensión de las cuerdas, puede no serlo para marcar una frecuencia conveniente a un espesor menor, dando todo ello por resultado el azar en las guitarras, que construidas igualmente unas salgan mejor que otras, en lo que a su sonoridad respecta.

Por ello, el abanico necesario en la guitarra presenta muchos problemas que van a dar por resultado guitarras igualmente construidas que van a tener curvas de sonoridad dispares.

A la vista de todo ello, parece que lo más conveniente es el reconsiderar el abanico, su función, construcción, etc., para tratar de que cumpliendo el objeto para el que ha sido creado, sustituirlo por otras formas o dispositivos que, resolviendo el problema, no perturben el sonido que, con rigurosa perfección, debe tener la guitarra.

Lo primero que se puede pensar es que si el abanico para soportar la tensión de las cuerdas perturba pegado a la tapa superior; independicemos, pues, esa pequeña estructura de dicha tapa, con lo que los tape-tones medidos en dicha madera los podamos corregir para que sean los más adecuados por dar el espesor conveniente que produzca las frecuencias más correctas.

Veamos con pequeño cálculo lo que sucede.

El puente inferior, con sus seis cuerdas ancladas, está sometido a la tensión de afinado en las mismas, como suma de la que está sometida cada una de ellas.

Cuerdas	Kg tensión $\times L^2$	$L = 66 \text{ cm}$
1	18,215	8
2	13,764	6
3	13,627	6
4	16,276	7
5	14,289	6
6	14,121	6
Total .....	90,292	39

Esta es la tensión de las cuerdas en forma estática, que, cuando se pulsán para el toque por la presión de los dedos, y con un margen prudencial, podemos aumentar en una cuerda 3 Kg, que para mayor seguridad tomaremos como 5 Kg.

Así, tenemos una tensión total de 44 Kg, correspondiendo 39 Kg a la tensión de las cuerdas en reposo y 44 Kg al aumentar 5 Kg en una cuerda cualquiera para producir el toque.

El punto de aplicación de la resultante de todas esas fuerzas se determina por un polígono funicular, teniendo que hacer uno para cada cuerda que se pulsa en que, además de la tensión estática, le añadimos los 5 Kg que representa la dinámica del toque.

En la figura 3 se representan todos los polígonos, viendo que la resultante está en cada caso entre las cuerdas tercera y cuarta, por lo que, si tomamos el centro del puente como punto de aplicación, la aproximación es más que suficiente a nuestros fines, dado que la separación entre cuerdas es escasamente 1 cm, por lo que el error en la aplicación, según se ve en el dibujo, pueden ser por defecto o exceso de unos pocos milímetros.

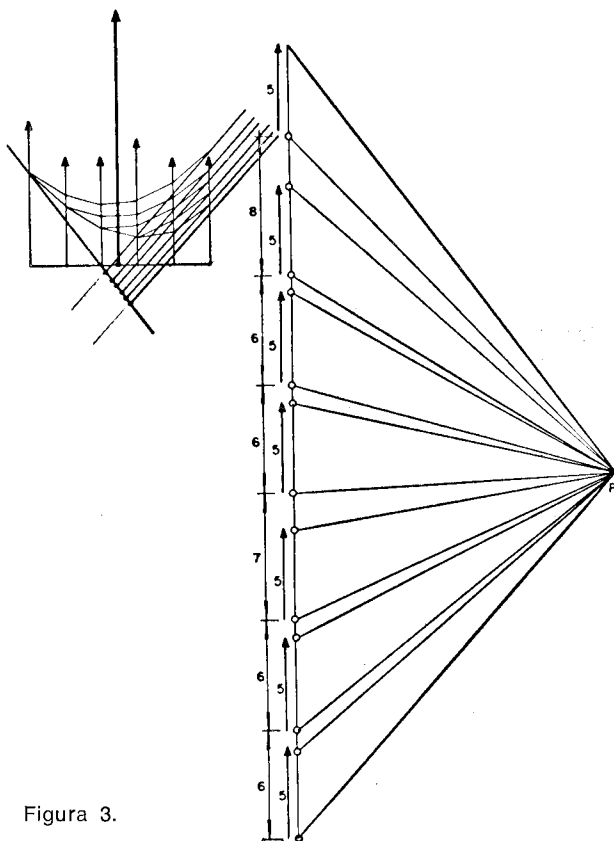


Figura 3.

La deformación que se produce en la tapa superior sin el abanico podemos calcularla, en una hipótesis desfavorable, como si se tratase de una tira de una longitud de 30 cm, que es la distancia del extremo inferior a la embocadura, con un ancho de 24 cm, que es aproximadamente el ancho en la garganta, y con un espesor  $e$ .

La figura 4 ilustra el esquema que se presenta.

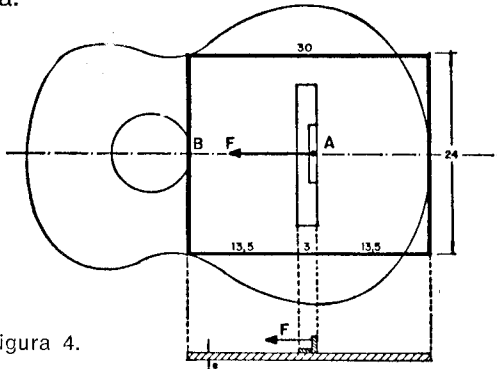


Figura 4.

La deformación que va a sufrir va a ser semejante y aproximada a la representada en la figura 1, en la que va a tener su máximo a un tercio de la longitud  $AB$  a partir de  $A$ .

La deformación máxima viene dada por:

$$\text{máx} = \frac{M}{4 E I} \cdot \frac{L^2}{9} \left( \frac{1}{2/3} - \frac{1}{2} \right) = \frac{M \cdot L^2}{216 E I}$$

$E$  = coeficiente de elasticidad de la madera

$I$  = momento de inercia de la sección

$$\text{máx} = \frac{1 \times F}{216 E} \times \frac{30^2}{1/12 \times 24 \times e^3}$$

$$\text{Para } \begin{cases} F = 44 \\ E = 120.000 \end{cases} \quad e = \begin{cases} 0,15 \text{ cm} \\ 0,20 \text{ cm} \\ 0,22 \text{ cm} \\ 0,25 \text{ cm} \\ 0,40 \text{ cm} \\ 0,60 \text{ cm} \end{cases} \quad \text{máx} = \begin{cases} 0,23 \text{ cm} \\ 0,10 \text{ cm} \\ 0,077 \text{ cm} \\ 0,05 \text{ cm} \\ 0,012 \text{ cm} \\ 0,004 \text{ cm} \end{cases}$$

Como este caso estudiado es algo más desfavorable que el real que para su espesor normal de 0,22 cm, la deformación permanente obtenida será aproximadamente 0,07 cm, que, al estar empotrada la tapa en su borde, ha de reducir esta cifra, por lo que podemos tomar como cifra aproximada la de 0,5 mm por deformación máxima, que en su mayor parte debe de absorber el abanico que, en definitiva, lo que hace es aumentar la inercia de la tapa superior.

Por mucho que se aumente la inercia siempre existirá una deformación permanente que, sin duda, llegará a ser tan pequeña que podrá despreciarse por no perturbar, puesto que la anulación es imposible, ya que la inercia debería ser infinita.

A primera vista se comprende que el abanico, formado por unas tiras de madera en forma más o menos radial desde la embocadura al puente, no responde mecánicamente a la mejor forma para paliar la deformación, puesto que más o menos podemos con mucha aproximación intuir cómo ha de ser ésta.

En sentido longitudinal, como se ha presentado en la figura 1 con su máximo a un tercio del puente inferior, y en sentido transversal, de acuerdo con la misma figura.

Si con vértice en el punto señalado como máximo de la deformación levantamos una altura de 1 mm y tomamos ese punto como vértice de un cono, cuya base es el contorno de la guitarra comprendido por una horizontal por el puente y otra por el extremo inferior de la embocadura, nos dará un perfil de la tapa superior aproximadamente muy cercano al más adecuado, con una deformación máxima permanente menor de una décima de milímetro que posiblemente no sea excesiva (fig. 5).

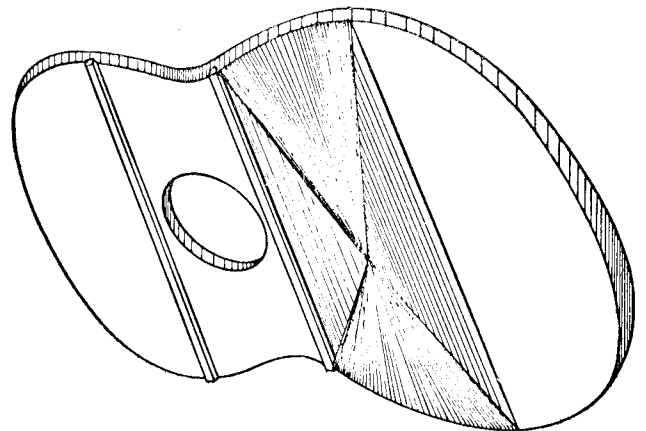


Fig. 5.—Reverso de la tapa superior de la guitarra.

Igualmente debía de hacerse en la tapa superior del puente hacia el extremo de la caja armónica, pero en la cara contraria, por lo que quedaría dicha tapa como se expresa en la fig. 6.

Este, teóricamente, es el mejor abanico que se puede construir, es decir, que tomando una madera de 4 mm rebajarla en la forma de la figura, que probablemente dará un mejor resul-

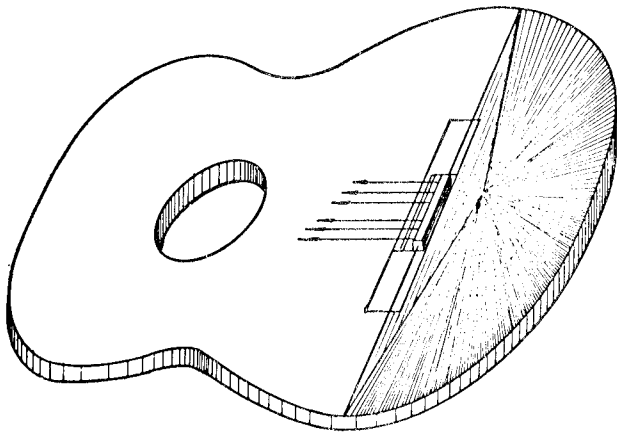


Fig. 6.—Anverso de la tapa superior de la guitarra.

tado que el abanico actual. Quedaría así una fibra central de 2 mm con una figura un poco levantada de menos de 1 mm, tanto en el reverso de la tapa superior, desde el puente a la embocadura, como en el anverso, desde el puente al extremo de la caja.

Ahora bien, una pregunta surge de inmediato. Si el abanico no existiese la deformación permanente será alrededor de medio milímetro arriba y abajo de la tapa superior. ¿Qué deformación permanente sería aceptable? ¿Qué magnitud de la deformación debe de absorber el abanico por aumento de la inercia de la tapa? Esto es imposible saberlo ni dar unas normas. Es el azar el que guía dependiendo de la calidad de la madera, lo que da como consecuencia la diferencia en sonido en guitarras igualmente construidas.

Así pues, podemos determinar, para saber si tenemos una buena guitarra, las curvas de resonancia de madera y aire. Para llegar a ella hemos debido determinar previamente los tape-tones de las tapas superior e inferior, corrigiendo el espesor de la madera hasta encajar sus resonancias con los máximos alternados en ambas tapas.

Hasta aquí es todo perfecto y medible para obtener una buena guitarra.

Posteriormente, para soportar el esfuerzo de la tensión de las cuerdas, se construye el abanico, y los tape-tones y demás cuerdas de resonancia serán lo que resulte al azar, puesto que para reducir su espesor, si fuese necesario para encajar los tape-tones, pudiese suceder que esa reducción de espesor, al modificar la inercia, diese lugar a una deformación permanente que perturbase seriamente el volver la tapa su-

perior a su equilibrio, con el consiguiente perjuicio en la producción del sonido.

Así pues, el abanico en la actual construcción de la guitarra es un mal necesario, puesto que sin él no tendremos sonido aceptable, aunque su mejor calificación sea la de un elemento necesario, pero perturbador, de muy difícil control, habiéndose llegado a un dimensionamiento considerado como el mejor a través de los tiempos, y según cada constructor de guitarras con su modelo, que da lugar a que resulten instrumentos que igualmente construidos no sean homogéneos.

Resumiendo lo expuesto resulta:

a) La curva de sonoridad de una buena guitarra debe producirse separando la resonancia principal de la madera de la del aire en una quinta musical, es decir, siete semitonos.

b) Las áreas que deja la curva de sonoridad, formadas por sus partes descendentes con su máximo en la resonancia principal de la madera, deben de estar equilibradas con las de resonancia del aire de la caja armónica.

c) Los tape-tones, es decir, los sonidos registrados a base de pequeños golpes, con frecuencias de 120 a 600 ciclos por segundo para ambas tapas de la guitarra antes de ensamblarse, deben producirse de forma que los puntos altos de resonancia de la tapa superior alternen con los de la tapa inferior, al tiempo que los puntos altos adyacentes se sitúan a medio tono uno del otro.

d) Los tape-tones de la tapa superior se modifican seriamente al aumentar su inercia por la construcción del abanico, para soportar con deformación aceptable la tensión de las cuerdas.

El problema, pues, que se presenta con una complejidad superior, tiene difícil solución incluso empleando los mejores conocimientos de mecánica, para construir guitarras estándar con un mismo patrón, puesto que lo que no podemos corregir *a priori* es la calidad de la madera, que, como hemos visto al incorporar el abanico, tenemos dos efectos contradictorios, teniendo que aceptar una solución al azar que dará resultados variables unas veces mejores y otras peores, dentro de una gama de calidades que, en las guitarras artesanas de maestros *luthiers* como los existentes actualmente, son buenas, pero no homogéneas, por lo que solamente algunas se pueden calificar de superiores.

La dificultad, pues, que presenta la guitarra,

dando lugar a un problema sin solución adecuada, es la que se deriva de la tensión de las cuerdas. Sin dicha tensión las cuerdas no vibran en su nota musical correspondiente para producir música armónica, y si tiene la tensión correspondiente para los efectos señalados, la deformación permanente en la tapa superior perturba el sonido, lo que ha de corregirse de una forma imperfecta con el abanico, puesto que no se pueden prever los resultados en una forma precisa.

La mecánica fundamental de la guitarra es la que relaciona la deformación permanente producida por la tensión de las cuerdas con la vibración de la tapa superior.

Por otro lado, existe una dependencia entre dicha mecánica y la acústica de la guitarra.

Dado que tanto la deformación como la frecuencia de vibración a magnitudes iguales en el dimensionamiento de la madera son distintas, debido a la fibra y orientación de la misma en que la igualdad, mejor dicho, la identidad en dos pedazos de madera del mismo tronco, no existe, la mecánica de cada guitarra es diferente y, por tanto, su acústica, creándose un azar en que, por la orientación de la fibra de la madera, se producen mejores o peores condiciones acústicas, sin poder determinar *a priori* la calidad en el resultado. Esta complejidad de la madera, siempre heterogénea en su formación, podemos paliarla, siempre que seamos capaces de modificar su estado de tensión a voluntad, de forma que dos partes de madera distintas, en cuanto a la orientación de sus fibras, no en cuanto a su calidad, podamos hacerlas vibrar en la misma onda.

Desde hace varios siglos se ha actuado en la guitarra modificando sus curvas, dimensiones, aumentando su número de cuerdas, pero sin atacar un punto tan oscuro y mal resuelto como es su mecánica, en que, con algún cambio de sección o posición, todo lo que se ha hecho ha sido poner el abanico para aumentar la inercia de la tapa. Esta mala solución se viene conservando desde hace más de doscientos años con una tradición considerada como la mejor, en la que cada constructor tiene la suya particular. Se puede estimar que este problema no ha sido pensado hasta la fecha, en que planteado surge inmediatamente la pregunta de si existe otra solución distinta de la que se viene empleando del abanico.

No hay una solución, sino varias, que para

obtenerlas no hay más que partir de las causas que producen los efectos, para actuar sobre aquéllas de forma que nos permitan obtener resultados lógicos y acordes con los que queremos llegar. Son las que siguen:

a) La tensión producida en las cuerdas, para que suenen en cada nota de acuerdo con las vibraciones que han de producirse, da lugar a un par o momento en el centro de la tapa superior que produce un efecto de deformación permanente que resulta un grave inconveniente, el cual se supera imperfectamente y sólo en parte con el abanico. Si somos capaces de crear un dispositivo que nos produce un par o momento regulable a voluntad, pero de sentido contrario habremos resuelto el problema, puesto que podremos anular el momento que crea tantas dificultades.

b) El par producido por la tensión de las cuerdas da lugar a una deformación permanente. Si establecemos un dispositivo regulable a voluntad que nos produzca deformación en el mismo punto, pero con sentido contrario, podemos llegar hasta anular dicha deformación, e incluso si nos conviene pasarnos, dando deformación en sentido contrario, para buscar un equilibrio cuando se produzca el toque.

Ambos dispositivos, reglados por el que ejecuta el toque de la guitarra, darán lugar a una mejora en la calidad del sonido en forma tan trascendental, que hará homogéneas las guitarras igualmente construidas, eliminando casi totalmente el azar de que anteriormente hemos hablado.

Dentro de la solución a) se pueden adoptar algunas variantes. Una fija y otra variable a voluntad. Para ello, en ambas soluciones, la tapa superior de la guitarra, con su puente encima de ella y sin abanico, le adosamos en su reverso otro puente, sujeto de la misma forma que está el que sirve para el anclado de cuerdas, de igual o de mayor altura, puesto que ello no va a influir más que la fuerza actuando en el mismo, sea igual a la de tensión, suma de la totalidad de las cuerdas, o inferior proporcionalmente a la mayor altura de este nuevo puente colocado.

El dispositivo fijo consiste en una madera que, dispuesta según la figura 7, esté sometida a compresión al tensar las cuerdas, dando lugar a una reacción en el puente situado en el interior que produce un momento en la tapa superior de sentido contrario al que tiene lugar en el puente al que van ancladas las cuerdas



tensadas. Esta madera, que puede ser un cuadrillo de madera de poca sección, bien ajustado entre el puente del interior y el extremo inferior de la guitarra, ha de producir efectos semejantes, pero mejorados, a los del abanico, con la ventaja de que podemos obtener los tape-tones más adecuados. Únicamente puede tener el inconveniente de que puede afectar algo a la limpieza en la vibración de la tapa superior, por estar dependiendo de una pequeña estructura rígida.

Si a dicha madera se le aplica un tensor que pueda empujar el puente del interior, aumentando o disminuyendo el momento que ha de producir en la tapa que canta, habremos conseguido una guitarra de sonido variable, puesto que, a voluntad, podremos actuar sobre la tapa superior no solamente anulando el momento producido por las cuerdas, sino curvando más la tapa superior y haciendo que prevalezca el momento de sentido contrario, facilitando la capacidad de reacción de la tapa superior a la deformación producida por el toque. Con este dispositivo se puede anular totalmente la deformación permanente producida por el momento creado por la tensión de las cuerdas y trabajar con la tapa superior sin deformación alguna en estado de reposo o de toque.

Ahora bien, los problemas que puede presentar el tensor rígido actuando sobre el puente, en relación con la vibración de la tapa superior, dando lugar a fenómenos desconocidos por la rigidez del sistema, es lo que parece puede eliminarse, puesto que hay otro dispositivo mucho más adecuado que es el poner una *séptima cuerda a la guitarra*.

En el siglo IX, Ziryab; en el XVI, Vicente Espinel, y en el XVIII, un autor desconocido, aumentaron el número de cuerdas de la guitarra para mejorar la armonía del instrumento alcanzando mayor número de tonos. La séptima cuerda que ahora se preconiza no tiene el sentido ni el objeto de las puestas anteriormente por los autores citados; el principio en que se basa es el de mejorar la calidad del sonido, variándolo a voluntad y situando al nivel que más convenga a cada toque. La séptima cuerda, situada como se indica en la figura 8, puede ser tensada con la tracción más conveniente, para que la curva de sonido de la guitarra sea la mejor, o la que más nos guste. La vibración de la tapa superior no se ve de esta manera influenciada por el dispositivo que va a anular

el momento que produce la tensión de las cuerdas, puesto que la cuerda en el interior de la caja no constituye una estructura rígida, sino flexible, que puede asimilar las vibraciones mejor que el abanico.

La tensión en la séptima cuerda la podemos dar a voluntad de forma que la resultante que se produzca, compuesta con la de las otras cuerdas de la guitarra, caiga en la fibra media de la madera de la tapa superior (fig. 9), con lo que dicha tapa estará en perfecto equilibrio sin deformación permanente alguna y, en consecuencia, cumpliendo con exactitud las mejores condiciones determinadas por la medida y corrección de frecuencias de los tape-tones, por lo que el azar de obtener mejor o peor sonido queda eliminado.

El puente actual en la guitarra tiene alrededor de 1 cm de altura y la tensión a que está sometido, como hemos dicho, la podemos suponer de unos 44 Kg.

Si el puente para situar la séptima cuerda lo hacemos con unos 3 cm, la tensión que ha de soportar esta cuerda para mantener el equilibrio será de unos  $\frac{44}{3} = 15$  Kg, lo que se puede obtener empleando una cuerda semejante a la tercera, cuya carga de rotura es de unos 21 Kg, con la que se habrá resuelto el problema.

Existe un inconveniente que los fabricantes de guitarras deben resolver. Es el del acceso al interior de la caja armónica para cambiar la cuerda si se rompe. Probablemente pueda hacerse con algún dispositivo en uno de los costados, en que pueda abrirse alguna ventana que después pueda cerrarse con buen ajuste.

Normalmente, debe actuarse para que el problema señalado anteriormente no se presente, es colocando esta séptima cuerda con una calidad de hilo de acero de alta resistencia o cable que, con una gran seguridad, sepamos que no se ha de romper, dada la pequeña tensión a que va estar sometido, unos 15 Kg.

Para la solución b) podemos adoptar otro dispositivo de cuerda que podemos poner para obtener los mismos resultados, es decir, anular la deformación que se va a producir por tensión de las cuerdas en la tapa superior, creando a voluntad una deformación de sentido contrario que anulará, de acuerdo con nuestra conveniencia, el todo o parte de la producida incluso con la del toque. Podemos optar hasta

Figura 8.  
Dispositivo  
de cuerda.

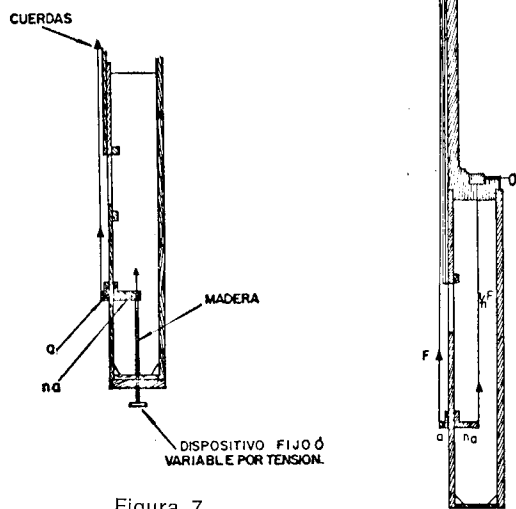


Figura 7.

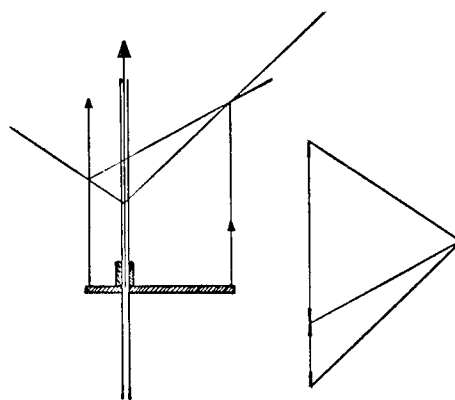


Figura 9.

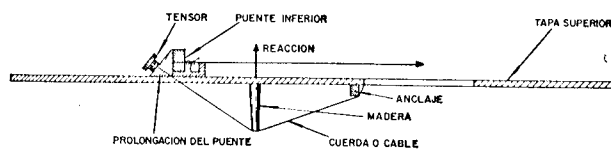


Figura 10.

llegar a obtener valores negativos que aumenten la cabida de aire en la caja armónica.

El dispositivo es muy simple (fig. 10). Un pequeño trozo de madera situado a un tercio del puente inferior a la embocadura, que es donde se supone con suficiente aproximación que está localizada la máxima deformación de la tapa superior, y que al tensar la séptima cuerda desde el puente inferior produce una compresión en el trozo de madera, cuya reacción hacia la tapa superior ha de producir, a nuestro deseo, la deformación de sentido contrario a la que dará lugar la tensión de las cuerdas, anulando ésta en la medida más conveniente y en la magnitud más adecuada, hasta que al pulsar las cuerdas afinadas den el sonido que consideremos mejor. En esta solución no es necesario el poner un nuevo puente, ya que solamente hace falta el original que lleva la guitarra. Lo único que hay que hacer como modificación que se ve es añadir una pequeña adición al puente inferior, como se señala en la figura 10, para poder anclar la séptima cuerda

dando la tensión que se precise por medio de un dispositivo sencillo, de los muchos que se pueden adoptar.

Se pueden seguir inventando dispositivos que produzcan el efecto apetecido, aunque, en definitiva, unos u otros no han de hacer otra cosa que partir del principio de anular el efecto no adecuado producido por el momento a que da lugar el movimiento del puente inferior, que hasta la fecha, y desde hace siglos, está resuelto de forma poco razonable por el procedimiento del abanico.

Resumiendo todo lo señalado anteriormente, parece ser que la teoría nos enseña que podemos construir una guitarra con el mejor sonido que, manteniendo su forma y dimensión, modifique su estructura interior por supresión del abanico, sustituyéndole por un dispositivo que anule el par producido en la tapa superior por la tensión de las cuerdas.

Al parecer, y en teoría, como mejor se consigue es poniendo una séptima cuerda a la guitarra.