

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús estableties per la següent llicència Creative Commons:  http://cat.creativecommons.org/?page_id=184

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

WARNING. The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Facultat de Filosofia i Lletres

Departament d'Art i Musicologia

2016

Fernando Marín Corbí

Tesis doctoral

LA VIHUELA DE ARCO HISPANA

**Las cuerdas de tripa y la reflexión en el cóncavo como
aspectos esenciales en la producción de su sonido**

Tesis para optar al título de Doctor en Musicología

Dirección

Directores: Maricarmen Gómez Muntané, John Griffiths, Francisco Javier Martínez Gómez

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Facultat de Filosofia i Lletres

Departament d'Art i Musicologia

2016

Fernando Marín Corbí

Tesis doctoral

LA VIHUELA DE ARCO HISPANA

**Las cuerdas de tripa y la reflexión en el cóncavo como
aspectos esenciales en la producción de su sonido**

Firma la Tesis

Fernando Marín Corbí

Firman la dirección

Maricarmen Gómez Muntané

John Griffiths

Francisco Javier Martínez Gómez

ÍNDICE

<i>PREFACIO</i>	1
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. LA VIHUELA DE ARCO Y SU SONIDO	
2.1. FENOMENOLOGÍA DEL SONIDO EN EL MUNDO DE LAS VIHUELAS DE ARCO	
2.1.1. Concepto de la formación y percepción del sonido en la Antigüedad	11
Conclusión	18
2.1.2. Cualidades del sonido armónico y virtud simpática	18
2.1.3. Cualidad sonora y virtud simpática de los materiales	21
Conclusión	22
2.2. FENOMENOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN DEL SONIDO EN LA VIHUELA DE ARCO ..	23
Conclusión	24
3. LAS CUERDAS	
3.1. LAS CUERDAS COMO GENERADORAS DEL SONIDO EN LA VIHUELA DE ARCO	25
3.1.1. Tipos de cuerdas de tripa según su función o registro	29
3.1.2. Punto de ruptura de la cuerda	35
3.1.3. La cuerda falsa	36
3.1.4. Acción del arco sobre la cuerda	42
Conclusión	45
3.2. LA TRIPA COMO MATERIAL PARA LA ELABORACIÓN DE LAS CUERDAS DE LOS INSTRUMENTOS MUSICALES	47

3.2.1. Elaboración de las cuerdas	51
Conclusión	55
3.3. EL OFICIO DE HACER CUERDAS DE VIHUELA	57
3.3.1. Inconvenientes de la actividad del gremio para la salud pública	64
3.3.2. Calidad de las cuerdas	65
Conclusión	69
4. EL CÓNCAVO: ACÚSTICA Y ESTÉTICA.....	71
4.1. PROPIEDADES ACÚSTICAS DE LAS CAVIDADES O DEL CÓNCAVO, DE LA CAJA DE RESONANCIA Y DEL ECO DEL SONIDO	71
4.1.1. Propiedades sonoras del material de la caja de resonancia o cóncavo	71
4.1.2. Propiedades armónicas y reflexión de sonido en el cóncavo	77
4.1.3. Propiedades, características y proporciones que debe tener el cóncavo para su favorable respuesta acústica	81
4.1.4. Proporciones sonoras del cóncavo	82
4.1.5. Proporciones del cóncavo aplicadas a los instrumentos de cuerda	85
4.1.6. Propiedades acústicas del cóncavo: reflexión especular del sonido	89
4.1.6.a. <i>Cóncavo de superficie elíptica</i>	92
4.1.6.b. <i>Cóncavo de superficie parabólica</i>	96
4.1.6.c. <i>Cóncavo de superficie esférica</i>	98
4.1.6.d. <i>Cóncavo de superficie hiperbólica</i>	100
Conclusión	102
4.2. RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES ARMÓNICAS DEL CÓNCAVO Y LAS DEL SISTEMA MUSICAL	103
4.2.1. El monocordio y su división	103
Conclusión	109
4.3. TRAZAS GEOMÉTRICAS PARA EL DISEÑO DEL PLANO DEL CÓNCAVO	111

5. ACÚSTICA Y PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL SONIDO

5.1 EL CONCEPTO DE LA DULZURA DEL SONIDO	117
Conclusión	119
5.2. PERCEPCIÓN FISIOLÓGICA DEL SONIDO	121
5.2.1 Funcionamiento fisiológico del oído.....	121
5.2.1.a. <i>El oído externo</i>	121
5.2.1.b. <i>El oído medio</i>	123
5.2.1.c. <i>El oído interno</i>	123
Conclusión	126
5.3. MODELO PARA LA PRACTICA MUSICAL DE LA VIHUELA DE ARCO HISPANA	127
5.3.1 Sonoridad de la vihuela de arco	129
Conclusión	131
6. FASE PRÁCTICA.....	133
6.1. CARACTERÍSTICA ACÚSTICA DE LAS CUERDAS MEDIANTE SONOMETRIA.....	133
6.1.1. Cuerdas empleadas en las pruebas	134
6.1.2. Resultados	139
Conclusión	145
6.2. REFLEXIÓN DEL SONIDO A PARTIR DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PLANO DEL CÓNCAVO DE LA VIHUELA.....	147
6.2.1 Simulación de la reflexión en el cóncavo a partir del plano de la vihuela.....	147
Conclusión	148
6.3. REFLEXIÓN DEL SONIDO EN EL CÓNCAVO DE LA VIHUELA MEDIANTE SIMULACIÓN 3D	149
6.3.1 Escaneo digitalizado del cóncavo de la vihuela.....	149
6.3.2 Simulación computerizada de la respuesta acústica del cóncavo de la vihuela	153
6.3.2.1 Elaboración del modelo del cóncavo en 3D	153
6.3.2.2 Análisis modal. Modos de vibración de la estructura del cóncavo	155

6.3.2.3 Medición de la vibración en el puente. Fuente de excitación	159
6.3.2.4 Reflexión en el cóncavo. El cóncavo como recinto	161
6.3.2.5 Auralización en el interior del cóncavo	166
Resultados.....	170
Tablas comparativas de resultados de la auralización	175
Conclusión	187
7. CONCLUSIONES GENERALES	189
8. APÉNDICE: CITAS EN FUENTES LITERARIAS	193
9. BIBLIOGRAFÍA	199
10. MATERIALES EN SOPORTE CD	
10.1 TABLAS Y GRÁFICAS DE LAS SONOMETRÍAS DE LAS CUERDAS Y DE LA INTERPRETACIÓN MUSICAL CON LA VIHUELA	
10.2 TABLAS Y GRÁFICAS DE LA MEDICIÓN DE LA VIBRACIÓN EN EL PUENTE	
10.3 TABLAS Y GRAFICAS DE LA SIMULACIÓN DE LA REFLEXION EN EL CONCAVO	
10.4 ANIMACIÓN DE LA SIMULACIÓN	
10.5 TRACKS DE AUDIO (SONOMETRÍA DE LAS CUERDAS Y DE LA PIEZA MUSICAL)	
11. CD DE AUDIO (SELECCIÓN DE GRABACIONES CON LA VIHUELA DE ARCO)	
TRACK 01: Recercada segunda (D. Ortíz, <i>Tratado de glosas</i> , 1553)*	
TRACK 02: Recercada primera (D. Ortíz, <i>Tratado de glosas</i> , 1553)*	
TRACK 03: Recercada tercera (D. Ortíz, <i>Tratado de glosas</i> , 1553)*	
TRACK 04: Fabordon del 6º tono y glosado en el tiple (A. Cabezón, 1551)*	
TRACK 05: Recercada quarta (D. Ortíz, <i>Tratado de glosas</i> , 1553)*	
TRACK 06: Recercada quinta (D. Ortíz, <i>Tratado de glosas</i> , 1553)*	
TRACK 07: La Espagna (D. Ortíz, <i>Tratado de glosas</i> , 1553)**	
TRACK 08: Fabordon del 1º tono y glosado en el tiple (A. Cabezón, 1551)**	
TRACK 09: Fabordon del 5º tono (A. Cabezón, 1551)**	
TRACK 10: Fabordon del 1º tono y glosado en voces intermedias (A. Cabezón, 1551)**	
TRACK 11: Mort Ma Prive par sa Cruëlle (Venegas de Henestrosa, 1510-1570)***	
TRACK 12: Ricercare Tono II (Marco Antonio Cavazzoni, ca. 1490- 1560)***	

* QTZ2075, ** LMG2097, *** Inédito

PREFACIO

Las necesidades que el campo de la interpretación musical exige hoy en día hace que sea cada vez más común que los músicos deban desempeñar a la vez funciones de investigador o incluso se conviertan en musicólogos. Abordar el estudio de un instrumento musical antiguo como en este caso es la vihuela de arco –es decir, del que se tienen prácticamente pocos vestigios físicos conservados–, y especialmente la cuestión de su sonido y su práctica musical, requieren sin duda la especialización en múltiples campos de investigación y el dominio de muchas destrezas específicas. Por ello, la presente Tesis plantea una interesante propuesta de visión metodológica combinando de manera multidisciplinar varios campos como son el de la musicología, la música práctica, la violería, la tecnología científica de la ingeniería mecánica o la vibroacústica. Lo que nos proponemos es poner en contraste las ideas y teorías antiguas sobre el sonido en la época de las vihuelas de arco con los experimentos científicos en ingeniería vibroacústica relativos al comportamiento acústico de diferentes aspectos de dicho instrumento. Al margen de los resultados a los que lleguemos y las conclusiones que se extraigan, el objetivo principal es abrir nuevas vías de investigación con un punto de vista diferente que nos puedan proporcionar más información sobre los instrumentos antiguos y nos permitan comprenderlos mejor y como consecuencia valorarlos mejor.

AGRADECIMIENTOS

El ambicioso objeto de estudio de esta Tesis requirió más de cinco años de esfuerzo, dedicación y trabajo, pero también pasión y gran ilusión por parte de un gran número de personas y grupos de trabajo sin cuya ayuda por su colaboración, dedicación, paciencia y profesionalidad hubiese sido imposible llevarla a cabo. Señalo entre ellos al violero e historiador Javier Martínez González, que construyó las vihuelas; el fabricante de cuerdas y músico Joan Xandrich Bagué, que elaboró las cuerdas de tripa; la cantante Nadine Balbeisi; los musicólogos doctores M^a Carmen Gómez Muntané y John Griffiths; los doctores en ingeniería Francisco Javier Martínez Gómez, Jorge Santolaria Mazo y Javier Oscar Abad Blasco del Departamento de ingeniería mecánica de la Universidad de Zaragoza; Joaquín Lasierra Liarte y Ángel Javier Omella Milián del equipo de vibroacústica del citado Departamento; la doctora Cristina Acín Tresaco de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza; el ingeniero de sonido Jaume Montcusí y el corrector de estilo Isidoro Gracia Cerdán. A todos ellos y a las personas y entidades que colaboraron con su ayuda facilitándome el acceso a información del Archivo Municipal de Toledo, Archivo di Stato di Roma, Archivo di Stato di Venezia, Archivo Histórico de Protocolos Notariales de Zaragoza y Archivo Municipal de Barcelona así como a la adquisición de las tripas de los animales para la elaboración de las cuerdas, deseo expresarles mi más sincero agradecimiento.

Asimismo se lo deseo expresar por su incondicional apoyo y ayuda a mis padres Fernando Marín y M^a Salud Corbí; así como a mis amigos los doctores en Física Fernando Naranjo, Fernando Villate y el ingeniero Alberto González.

INTRODUCCIÓN

Nuestra Tesis se centra en el modelo de instrumento musical de cuerda conocido como vihuela de arco, que aparece representado mayoritariamente desde el siglo XV hasta su general caída en desuso a principios del siglo XVII. Inicialmente en España y más tarde en otros centros europeos, se trataba de un instrumento musical de tamaño variable que se tocaba generalmente apoyado, según su tamaño, en el hombro, en las piernas o en las rodillas. Los que se apoyaban sobre las piernas o rodillas del músico debido a su mayor tamaño, constituyen el verdadero objeto de nuestro estudio y son, en realidad, una extensión de las vihuelas medievales que se tocaban por toda Europa, generalmente sostenidas en el brazo, y que erróneamente se han designado en castellano moderno como ‘fídulas’. Este término no era utilizado en aquel entonces, ya que el mismo instrumento era conocido como *viola* en italiano, *vieille* en francés y *fiedel* en alemán.

Uno de los instrumentos musicales de uso más extendido en Europa durante los siglos XVI y XVII fue la vihuela. Sobre el origen etimológico del término existe cierta controversia, aunque los autores más respetables coinciden en una derivación del término bajo-latino y occitano ‘vitula’,¹ siendo el término ‘viola’ tanto italiano como occitano-catalán. El término ‘vihuela’ (vigüela, viyuela, vigella, viella, vieille, etc., según sea el espacio lingüístico-cultural), posee un valor genérico y se utiliza para denominar cualquier tipo de instrumento de cuerda con mango y caja de resonancia, como la fídula medieval, la viola de arco, la lira da braccio o la vihuela, en caso de omitir la especificación ‘de arco’. He adoptado el adjetivo de ‘hispana’ a imitación del término que usa Johannes Tinctoris en su tratado *De inventione et usu musicae* (Nápoles, 1481-83) –cuando al comienzo de cuyo libro cuarto afirma ser un invento ‘hispanorum’– para distinguir esta tipología específica del resto de violas europeas de la época.

Las nuevas vihuelas grandes del siglo XV eran cordófonos más o menos polivalentes que poco a poco se fueron desarrollando en dos tipologías según la manera de tañerlas, ya fueran pulsadas con los dedos o frotadas con una vara arqueada tensada por crines de caballo. Nos referimos a la vihuela de mano y la vihuela de arco, respectivamente.

Los estudiosos del tema como Werner Bachmann,² Ian Woodfield³ o Christopher Page⁴ coinciden en que el modelo de cordófono con el que se puede identificar la vihuela de arco se puede localizar en la Península Ibérica, especialmente al sur de la antigua Corona de Aragón y

¹ Ver Pierre Bec, *Vièles ou Violes? Variations philologiques et musicales autour des instruments à archet du Moyen Age (xie-xve siècle)*, París, Klincksieck, 1992, p. 45, y Joan Corominas, *Diccionario de Autoridades*, tomo VI, Madrid, 1739, p. 491.

² Werner Bachmann, *The origins of bowing and the development of bowed instruments up to the thirteenth century*, Londres, Oxford University Press, 1969.

³ Ian Woodfield, *The early History of the Viol*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984.

⁴ Christopher Page, *Voces and Instruments of the Middle Ages*, Berkeley, University of California, 1986.

en general en todos sus territorios. A pesar de que los ejemplos de modelos más antiguos conservados aparecen efectivamente representados en la iconografía perteneciente al sur del territorio de la Corona de Aragón, la afirmación de Woodfield⁵ de que se localizan en la zona que corresponde a Valencia se puede considerar un tanto atrevida, como defiende John Griffiths.⁶

Dado que los instrumentos musicales antiguos originales que se han conservado son escasísimos, su representación iconográfica en las obras de arte se puede considerar la fuente de información más importante que conservamos sobre ellos. Aunque existen cientos de modelos de vihuelas representados sobre todo en obras pictóricas, de los cuales apenas se repiten dos iguales, sin embargo se pueden identificar rasgos comunes que los distinguen de los modelos europeos, como se puede observar en los ejemplos registrados en los trabajos de catalogación realizados por Bernard Ravenel⁷ o Jordi Ballester.⁸ Al observar los modelos iconográficos y coincidiendo con la opinión de autores como Ian Woodfield⁹, Bernard Ravenel¹⁰ o Ian Harwood¹¹, se pueden apreciar algunos rasgos que caracterizan este tipo de vihuelas hispanas; por ejemplo que poseen un mango algo más largo en comparación con otros modelos europeos, una caja resonante más pequeña, menos profundidad del cóncavo, fondo plano, hombros elevados en la unión de los aros con el mango –hecho que requiere una diferente técnica de construcción para encajar los aros en el zoque– y, en algunos casos por el particular diseño, tamaño y posición de los orificios armónicos de la tapa y la ausencia de alma. La conclusión de que la mayoría de estas vihuelas no tenían alma se puede deducir por la fisionomía del modelo; en la mayoría de los casos presentan unos orificios u oídos en la tapa armónica que son demasiado pequeños, o bien están muy alejados del centro de gravedad donde es prácticamente imposible introducirla con un almero desde el exterior, o simplemente están cerrados por bocas, lazos o rosas. Según Ian Harwood, incluso muchos de los modelos de violas del siglo XVI nunca tuvieron alma, ya que no se han encontrado indicios de las marcas que éstas dejan en la blanda madera bajo las tapas armónicas en los ejemplares conservados.¹² El ‘violón’ del convento de Ávila, único ejemplar español de modelo de vihuela de arco conservado, tampoco mostró indicios de tener alma, como asegura en su estudio Javier Martínez.¹³

Particularmente preferida en España, es aquí donde la vihuela alcanza su punto álgido de desarrollo durante el siglo XVI, tanto en su forma organológica como en su técnica interpretativa característica. Mientras que para la vihuela de mano fueron escritos numerosos libros con abundantes piezas musicales –siete de ellos fueron publicados en España entre 1536 y

⁵ Ibídem, p. 61.

⁶ John Griffiths, «La vihuela en la época de Isabel la Católica», *Cuadernos de música iberoamericana*, vol. 20, 2010, p. 12.

⁷ Bernard Ravenel, *Vièles à archet et Rebecs en Europe au Moyen Age (fin Xe siècle, début XVIe siècle): définition des archétypes en vue de leur reconstitution*, Tesis doctoral, Universidad de Strasburgo, 1983.

⁸ Jordi Ballester, *Iconografia musical a la Corona d'Aragó (1350-1500): els cordòfons representats en la pintura sobre taula. Catàleg iconogràfic i estudi organològic*, Barcelona, Els llibres de la frontera, 1995.

⁹ Ian Woodfield, *The History of the Viol...*, p. 69.

¹⁰ Bernard Ravenel, *Vièles à archet et Rebecs en Europe au Moyen Age...*, pp. 301 y 313.

¹¹ Ian Harwood, «An introduction to renaissance violins», *Early Music*, vol 2, nº 4, (oct. 1974), pp. 234-246.

¹² Ibídem, p. 237, ver también Ian Wooldfield, op. cit., p. 125.

¹³ Javier Martínez González, *El arte de los violeros españoles, 1350-1650*, Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016, p. 346.

1576–, para la vihuela de arco apenas encontramos unas pocas piezas, junto con consejos e indicaciones sobre el arte de tañer este instrumento, en un par de tratados publicados en Italia y dedicados a ella en particular. Uno es de Diego Ortiz (*Tratado de glossas...*, Roma, 1553) y otro de Sylvestro Ganassi (*Regola Rubertina y Lettione seconda...*, Venezia, 1542-43). Encontramos en el siglo XVI otros autores que, aunque en menor medida, han tratado el tema en algún capítulo de sus obras, como por ejemplo Sebastian Virdung,¹⁴ Martin Agricola,¹⁵ Jörg Weltzel,¹⁶ Hans Gerle,¹⁷ Hans Judenkünig,¹⁸ o Giovanni Maria Lafranco.¹⁹ Siendo notablemente más abundante la información conservada sobre cómo tañer, improvisar y componer piezas en la vihuela de arco que las piezas específicamente compuestas para este instrumento, la tarea de restaurar la práctica musical del instrumento y sus propiedades sonoras resulta más interesante que recopilar un repertorio específico, como en el caso de la vihuela de mano en que ese repertorio ya ha sido recopilado prácticamente en su totalidad.

ESTADO DE LA CUESTIÓN Y JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

En lo relativo a fuentes de información coetáneas a la época de las vihuelas, son mucho más numerosas las europeas en general que las hispanas en particular (a señalar que la mención al término ‘hispana’ la encontramos en el tratado de Johannes Tinctoris, al servicio de la corte aragonesa de Nápoles). Por este motivo y, teniendo en cuenta que los autores escribían en un lugar, publicaban sus obras en otros donde existían imprentas y hablaban de asuntos de otros lugares, o que los músicos e instrumentos viajaban de unos países a otros para trabajar en las casas nobles más en auge, hemos completado la limitada información de las fuentes españolas con sus correspondientes europeas.

Existen estudios modernos excelentes que incluyen reflexiones sobre el repertorio, manera de tañer y posible sonoridad de las vihuelas de arco como son los de Keith Polk,²⁰ Karel Moens,²¹ Anne Emanuelle Ceulemans²² o John Bryan.²³ Sin embargo, la mayoría de las monografías dedicadas específicamente a los instrumentos de arco antiguos; como los de Ian Woodfield, Werner Bachmann, Christopher Page,²⁴ Pierre Bec, Bernard Ravenel o Christian

¹⁴ Sebastian Virdung, *Musica Getutscht*, Basilea, Michael Furter, 1511.

¹⁵ Martin Agricola, *Musica Instrumentalis Deudsche*, Wittemberg, Georg Rhau, 1528.

¹⁶ Jörg Weltzell, Biblioteca Universitaria de Munich, cod. IV, MS 718 (1523-24), ff. 93v-148v.

¹⁷ Hans Gerle, *Musica Teutsch auf die Instrument der grossen und kleinen Geygen auch Lautten*, Nürmberg, Formschneider, 1532.

¹⁸ Hans Judenkünig, *Utilis et compendiaria introductio, qua ut fundamento iacto quam facillime musicum exercitium, instrumentorum et lutine, et quod vulgo Geygen nominant, addiscitur, y Ain schone kunstliche Underweisung in disem Büechlein, leychtlich zu begreyffen den rechten Grund zu lernen auff der Lautten und Geygen*, Viena, Hanns Singryener, 1523.

¹⁹ Giovanni Maria Lafranco, *Scintelle di Musica*, Brescia, Ludovico Britannico, 1533.

²⁰ Keith Polk, *German Instrumental Music of the Late Middle Ages. Players, Patrons and Performance Practice*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

²¹ Karel Moens, *Die Viola da gamba: Alte Streichinstrumente: Katalog*, Stadt Herne, der Oberstadtdirektor, 1980.

²² Anne Emanuelle Ceulemans, et alia, *Avatars de la modalité, du XVe au XVIIe siècle*, Paris, Eska, 1996.

²³ John Bryan, «'Verie sweete and artificiall': Lorenzo Costa and the earliest viols», *Early Music*, vol. 36 nº1, pp. 3-18.

²⁴ Christopher Page, *Voces and Instruments of the Middle Ages*, Berkeley, University of California, 1986.

Rault,²⁵ están enfocados desde un punto de vista principalmente teórico o filológico y no desarrollan de modo satisfactorio el aspecto físico y práctico. En especial la cuestión sobre el sonido de estos instrumentos queda prácticamente desatendida.

En cuanto al aspecto práctico, la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha sobre la acústica de los instrumentos de cuerda están centrados en los violines del siglo XVIII y se basan casi exclusivamente en el análisis de los modos de vibración de las tapas armónicas y los fondos, conocidos como patrones de ‘Chladni’. En esta línea, los trabajos de científicos como George Bissinger,²⁶ Michael E. McIntyre, James Woodhouse²⁷ o Carleen Maley Hutchins²⁸ suponen una gran aportación a la comprensión del funcionamiento acústico de estos instrumentos. Uno de los inconvenientes de estos experimentos es que se realizan únicamente sobre las tapas y fondos del instrumento por separado, funcionando aisladamente del resto del instrumento, es decir, en condiciones diferentes al funcionamiento acústico del instrumento en situación real. Estudios de simulación 3D y computación de los modos de vibración del aire del interior de violines fueron realizados por George Bissinger (1996)²⁹ y Colin E. Gough (2010).³⁰ Respecto a la utilización del método de escanear digitalmente en tres dimensiones con un lector laser o mediante resonancia electromagnética (Barry Young, *Ingeniería inversa: ¿Por qué violines del 1730 suenan mejor que otros?* (Julio de 2014): <http://blog-es.faro.com/blog/2014/07/25/ingenieria-inversa-por-que-violines-del-1730-suenan-mejor-que-otros/>), se aplicó también en el estudio de violines de 1730 y finalmente los datos se usaron para copiar los modelos fabricando nuevos instrumentos idénticos a los originales. A parte de que este método no tenía en cuenta la influencia en el sonido de las diferentes densidades y calidades de las maderas, el objetivo final no era estudiar el comportamiento acústico del instrumento sino hacer una copia del modelo original.

En lo referente a estudios sobre cuerdas, existen muchos que han sido dedicados al comportamiento de las mismas como cuerpos elásticos, describiendo sus propiedades mecánicas y vibratorias, sus parciales armónicos y sus fórmulas de relación entre la tensión, la masa, la resistencia, la amortiguación o la elasticidad. Colin E. Gough, Neville H. Fletcher, Thomas D. Rossing, Erik V. Jansson, Patrizio Barbieri y otros autores trabajaron ampliamente el tema. En general, estos estudios tienen por objeto entender y mejorar el rendimiento de las cuerdas para instrumentos modernos de uso actual. Sin embargo, muy pocos estudios se han hecho con cuerdas de tripa natural y menos con cuerdas graves o bordones fabricados con procesos documentados históricamente y haciéndolos funcionar colocados en instrumentos también fabricados con igual rigor histórico.

²⁵ Christian Rault, «Géométrie médiévale, tracés d'instruments et proportions harmoniques», en *Instruments à cordes du Moyen Âge: actes du colloque de Royaumont*, 1994, vol. 11, Grâne, Creafis, (1999), pp. 49-76.

²⁶ George Bissinger, «Experimental Violin Acoustics», *Journal American Lutherie*, nº 7. (1986), pp. 6-13.

²⁷ Michael E. McIntyre, y James Woodhouse, «The Acoustics of Stringed Musical Instruments», *Interdisciplinary Science Reviews*, vol. 3, nº 2, (1978), pp 157-173.

²⁸ Carleen M. Hutchins, «Acústica de las tablas del violín», *Revista Investigación y Ciencia*, ed. en español de *Scientific American*, nº 63, dic. (1981), pp. 54- 64.

²⁹ George Bissinger, «Acoustic normal modes below 4 kHz for a rigid, closed violin-shaped cavity», *Journal of the Acoustical Society of America* nº 100, vol. 3, (1996), pp. 1835-1840.

³⁰ Colin E. Gough, «Computed cavity-air modes of a conventional and Le Gruere violin and coupling to corpus modes», *Journal of the Acoustic Society of America*, nº 127, vol. 3, p. 1792 (2010) y POMA 9, 035006 (2015), <http://dx.doi.org/10.1121/2.0000043>

Nosotros hemos fabricado unas cuerdas graves utilizando tripa natural y siguiendo instrucciones mencionadas en fuentes históricas, analizando posteriormente las características acústicas de éstas y otras cuerdas captando mediante un sonómetro su respuesta en condiciones reales de ejecución musical con una vihuela de arco. Por otro lado, hemos realizado un escaneo digital en 3D del volumen del instrumento, utilizando los datos procesados para estudiar con un análisis modal de frecuencias, mediante simulación por computador, el comportamiento de la masa de aire en el interior de la concavidad de la caja de resonancia que entendemos que es en gran medida responsable, mediante su reflexión especular, de la formación de las características del sonido del instrumento. Para contextualizar adecuadamente el resultado de estos experimentos, hemos recopilado la información más significativa referente al fenómeno acústico, y concretamente a dicho fenómeno relacionado con instrumentos de cuerda antiguos, seleccionada de las fuentes históricas que pudieran haber estado al alcance en el entorno de la práctica musical de las épocas en las que estos instrumentos estaban en uso.

Con nuestro estudio pretendemos abrir una nueva vía de investigación explorando estos dos aspectos del funcionamiento acústico de los instrumentos de arco antiguos, a la vez que los ponemos en contraste con la información histórica que se conserva sobre dicho funcionamiento. A quienes nos dedicamos a la interpretación históricamente contextualizada de la música, nos interesa sobre todo que el sonido de un instrumento antiguo se asemeje lo más posible a lo que pudo ser en su época y no esté influido por estéticas sonoras posteriores.

Numerosos tratados antiguos contienen algunas alusiones a las cuerdas de tripa (Juan Egidio de Zamora, Ugolino de Orvieto, Bartolomeo Ánglico, Sebastian Virdung, etc.), o a las vihuelas (Juan Bermudo, Silvestro Ganassi, Luis Milán), e incluso al sonido que producen (Aristóteles, Albertus Magnus, Konrad von Megenberg, entre otros), pero por sí solas estas menciones son, aunque de enorme importancia, relativamente escasas para formarse un concepto satisfactorio sobre el fenómeno del sonido en las vihuelas de arco. Sin embargo, sobre todo en dos grandes teóricos, el aragonés Pablo Nassarre y el francés Marin Mersenne, se puede encontrar una recopilación de abundante información sobre este asunto, apoyada en citas de fuentes de otras épocas especialmente de la Edad Media. Del primero es fundamental su *Escuela Música según la práctica moderna*, que lo convierte en uno de los más importantes estudiosos y teóricos del período Barroco. El segundo hace una aportación extraordinaria al fenómeno del sonido a través de sus estudios de matemáticas, física y astronomía, que plasma en su teoría sobre la música y los instrumentos musicales en su obra *L'Harmonie universelle*, también de este período. Para dar coherencia a nuestro estudio, he optado por organizar toda la información recopilada sobre el tema de la fenomenología del sonido en estos instrumentos mayoritariamente en torno a las citas de estos dos autores, ordenándola por temas a modo de hilo conductor, comparándolas y apoyándolas con numerosas citas de otros autores como Alberto Magno, Bonaventura Cavalieri o Giordano Ricatti. La selección de las fuentes de información no españolas utilizadas para este estudio se justifica, bien por referirse a información relativa a aspectos generales y que afectan comúnmente a toda tipología de vihuela, bien por la alusión específica a la tipología hispana (como es el caso de Tinctoris), o bien por la fuerte influencia que tuvo el modelo hispano en la tipología europea por razones políticas-culturales.

Ya que el sonido es una interpretación subjetiva que nos formamos de la impresión sensorial que recibimos de un fenómeno físico-acústico, la clave de este estudio está en reproducir las condiciones de dicho fenómeno más que en averiguar cómo lo percibimos. Para un enfoque adecuado del acercamiento al tema, esta Tesis propone un trabajo de investigación interdisciplinar en el que la información de las fuentes históricas se pueda contrastar con el conocimiento y la experimentación científica en el campo de la ingeniería mecánica y la física acústica, como se muestra en el Capítulo 6 correspondiente a la fase práctica y experimental.

ENFOQUE ADECUADO PARA LA OBSERVACIÓN

Supongamos que contemplamos una pintura antigua en la que aparece representada una vihuela del siglo XVI. A partir de ese momento somos conscientes de que de la obra representada queda un testimonio bastante convincente, mientras que del sonido como fenómeno que pudo haber producido el instrumento no queda nada en absoluto. El sonido es efímero, no existe nada más que en el instante en que se produce; es una impresión sensorial subjetiva de un fenómeno físico-acústico extemporáneo, a diferencia de una pintura cuya representación se mantiene.

Para poder hacer un estudio dinámico de los cordófonos representados en las obras de arte que trascienda la observación, la catalogación y la comparación iconográficas, sobre todo si la intención es la recreación del sonido mediante la construcción del ejemplar de un instrumento, el propósito esencial no debería ser el simple análisis del modelo allí representado —que podría ser incluso producto de la fantasía del artista que plasma, por ejemplo, una vihuela en una pintura—, sino el conjunto de elementos, condiciones y conocimientos sobre construcción de vihuelas que el artesano, el fabricante de instrumentos de aquella época, supiera transmitir al artista cuya obra es una valiosa fuente de información al respecto.

En este tipo de estudio, al analizar el caso de una pintura en la que aparece representada una vihuela de arco, por ejemplo, sería menos significativo el valor estético de la imagen del instrumento representado que lo que el pintor pudiera haber captado y transmitido con su arte sobre la fenomenología y las peculiaridades esenciales de este tipo de instrumento musical. Incluso en ocasiones, una imagen deformada o poco fiel a la realidad puede llegar a expresar o dar a entender una idea, una funcionalidad o una característica mejor de lo que lo haría una copia exacta del modelo representado.

Lo más probable es suponer que el pintor y el constructor de vihuelas de la época compartieran una misma visión del mundo, unas mismas creencias científicas, una metodología y una explicación del funcionamiento de los fenómenos naturales basadas en leyes avaladas por las autoridades del pasado. Estos conocimientos les permitirían coincidir a ambos en la búsqueda de soluciones a problemas técnicos concretos, en la elaboración de diseños y en la utilización de los métodos, los materiales y las técnicas de construcción. Algo tan simple, por ejemplo, como tomar medidas o trazar un círculo les permitiría hablar el mismo lenguaje –el geométrico al utilizar el compás– y basarse en las mismas leyes y principios al dibujar un plano y acabar representando o construyendo una vihuela.

Si lográramos hacer coincidir a uno y a otro en el mayor número posible de estos aspectos condicionantes, probablemente el resultado final de ambos sería muy parecido; de

forma que, cuanto más sepamos sobre dichos condicionantes, más cerca estaremos de poder fabricar un instrumento parecido a los que se hacían o se representaban en la época.

Desde un punto de vista similar, tanto un observador del pasado como uno actual seguramente coincidirían en que una vihuela de arco era y sigue siendo un instrumento musical, es decir, un objeto que sirve para hacer música, sonar, deleitar al oído produciendo o emitiendo sonidos. El objetivo de su recreación debería ser doble: por un lado, restaurar su función, volverlo a hacer sonar, y, por otro, que su aspecto coincidiera con el de su representación, al igual que el objetivo primordial para un artífice de la antigüedad sería sin duda que el instrumento funcionara óptimamente, que cumpliera bien su función. Una buena vihuela, pues, sería la que sonara bien según las exigencias de aquel tiempo.

En resumen, para dar coherencia al discurso de la hipótesis sobre cómo podría haber sonado una vihuela de arco antigua, lo primero que me propongo es elaborar una idea históricamente contextualizada sobre el fenómeno del sonido y su percepción en general (apdos. 2.1 y 2.2). A continuación, sobre la generación del sonido en las cuerdas de tripa, los materiales y sus propiedades acústicas (apdos. 3.1 y 3.2), y también sobre la producción del sonido en el cóncavo o caja de resonancia de las vihuelas en virtud de sus proporciones geométricas y armónicas (apdos. 4.1 y 4.2). Finalmente apoyaré todo ello en unas gráficas que recogen los resultados de unos experimentos prácticos realizados sobre las propiedades vibratorias y acústicas de diferentes cuerdas de tripa (apdo. 6.1 y anexo 10.1), y una simulación por computadora de la respuesta acústica de la caja de resonancia de una vihuela de arco reproducida según un modelo histórico (apdos. 6.2 y 6.3), incluyendo el estudio de las características acústicas del modelo 3D (apdos. 6.2.1 y 6.3.2), expresado en tablas y gráficas (anexos 10.3 y 10.4).

Existen numerosos datos que prueban que la tripa de ovino era el material utilizado para la elaboración de las cuerdas durante todo el periodo en que se usaron estos instrumentos, incluso las de los registros mas graves, y que el tipo de tripa era seleccionado en función de dichos registros, como tratamos de demostrar (apdo. 3.1.1.) aportando, entre otra, la información que procede del Archivo del estado de Roma que lo confirma. En concreto, la tripa de animales más viejos para los registros graves resulta ser efectivamente más elástica y sonora, como afirman las fuentes y a la luz de los resultados obtenidos en los experimentos realizados (apdo. 6.1). La forma de las cajas de resonancia o cóncavos de las vihuelas influye en la calidad y característica acústica de la producción del sonido en estos instrumentos, debido al factor de la reflexión especular de las ondas del sonido en su interior, como asímismo veremos (apdos. 6.2 y 6.3).

Las propiedades acústicas de las cuerdas de tripa y del diseño geométrico de la caja de resonancia son dos factores fundamentales en el resultado sonoro que no se han tenido hasta ahora debidamente en cuenta a la hora de reproducir la práctica musical en las vihuelas. Por este motivo, los experimentos científico-prácticos suponen una aportación muy valiosa en este campo de la investigación. El objetivo de este estudio es demostrar que estos aspectos influyen de forma decisiva en la producción del sonido de las vihuelas de arco y contribuyen a conformar las características acústicas propias del instrumento.

Por todo ello, en primer lugar, sería de gran utilidad saber qué entendían los antiguos por sonido, cómo creían que se producía, dónde y por qué, qué lo hacía agradable o desagradable a la percepción, qué factores y elementos de la construcción y morfología de las vihuelas contribuían a un resultado sonoro u otro y cuáles de estos resultados eran preferibles o estéticamente aceptables.

2. LA VIHUELA DE ARCO Y SU SONIDO

2.1. FENOMENOLOGÍA DEL SONIDO EN EL MUNDO DE LAS VIHUELAS DE ARCO

2.1.1. Concepto de la formación y percepción del sonido en la Antigüedad

Para comprender bien el funcionamiento acústico de un instrumento musical antiguo de cuerda frotada como es la vihuela de arco, es necesario hacerse una idea de cómo se genera y se propaga por el aire el sonido que éste produce, así como la forma en que llega hasta nuestro oído. Desde el punto de vista de la metodología científica moderna, el investigador se ve condicionado por las limitaciones científicas y las herramientas de su época. Al que investigaba estos fenómenos en tiempos pasados lo condicionaba el sistema científico vigente en su época y el lenguaje que utilizaban los que escribían sobre estos temas, que son nuestra fuente de transmisión de información. Nos interesa, sobre todo, el concepto que se formaron sobre este fenómeno las personas que construían, tocaban y escuchaban dichos instrumentos, ya que este conocimiento determinaría el producto sonoro final. Ésta es la llave que nos ayuda a desarrollar una sensibilidad, por así decir, paralela a la que guiaba a los actores de nuestro escenario histórico.

La preocupación por el fenómeno de la audición y la formación del sonido ha estado en la mente de filósofos y teóricos desde muy antiguo. Las aportaciones de estos pensadores en este campo, aunque pertenezcan a diferentes épocas y ámbitos, contribuyeron a formar una buena parte de la base teórica que permite la comprensión del mundo fisico-acústico de las vihuelas, ya que los autores que hablaban de éstas se refieren a dichos pensadores y sus ideas de forma reiterada y sistemática para la construcción de sus teorías.

Ya desde la Edad Media, los sabios heredaron del pensamiento griego una clara idea de que el sonido lo producen oscilaciones del aire que llegan al oído. Alberto Magno explica con detalle el fenómeno de la audición en una versión del siglo XIII del tratado *De anima* de Aristóteles, dedicado al mismo tema. En un fragmento de esta obra, Alberto Magno describe cómo el aire encerrado en el tímpano es puesto en movimiento por las percusiones del medio aéreo –habiéndose este puesto en vibración previamente al ser pulsado–, y cómo las propiedades de calidez y sequedad que comparten la naturaleza del aire y la de la piel del tímpano u órgano auditivo, hacen posible la transmisión del sonido a través del nervio auditivo. Las condiciones sonoras de sequedad y calidez de la piel del tímpano son comparadas con las de las cuerdas musicales:

Sonatium enim motium est unius aeris continui usque ad auditum: & si sit aliquid intercipiens sonum in aere, non auditor sonus: & ideo sonans longe non auditur, quia aerem usque ad auditum movere non potest: & diximus supra, quod cessante motu cessabit sonus (...)

Qualiter sonus venit ad auditum aura, et qualiter auris connatur ad tarem? Habeat ad audiendum.

Auditus autem sonorum sit in aëre per eandem causam quae dicta est aër enim quidam connaturaliter tenetur in aure, et connaturalis est auris tympano: tympanum autem auris voco nervum audientem, qui expanditur in interiori auris: qui quando pulsatur ab aëre qui est in aure, sit auditus: aër enim qui est in aurem, continuus est ēri qui est extra: et ideo ab exteriori moto aéri movetur interior auris: et ille movet nervum auditum: et facit natura atera auris dura, ut bene percutiant percussa: et exteriora auris facit lata, ut ubique hauriant sonum: et facit foramina tortuosa, ut prohibeatur aér exire: et purgationem capitatis quae est choleta e purgatio, facit descendere per aures, ut es calido sicco auris tympanum et latera sicca et dura conserventur, sicut pellis tympani sicca bene sonat, et emollita sonum perdit. Similiter autem faciunt chorda musicorum. Quia haec connaturalitas ad soni subiectum non est penitus in toto corpore animalis, propter hoc non secundum totum corpus audit, alias secundum omnia membra. Quia etiam non penitus secundum omnia membra transita aér ad interiora nervi auditius pars enim movenda ad auditum, non pene in omnibus membris connaturalalem in ie habet aërem: nec ipsum animatum in omnibus membris habet connaturalitatem ad percipientes sonos in aëre generatos.³¹

Parecida reflexión hace Bartolomeus Anglicus cuando describe cómo la concavidad del pabellón cartilaginoso del oído, por su cierta dureza y sequedad, está diseñada para captar mejor el sonido, y cómo éste se propaga mejor por un aire frío y seco que por uno húmedo:

...[el oído] Es duro y seco porque mejor reciba el sueno [sonido] de las cosas sonantes como campanas y otros metales según que dicen Aristoteles y Constantino que suenan mejor cuando viento el cierzo que es frío y seco que no cuando reina solano que es húmedo.³²

Señalemos que el teórico y músico Pablo Nassarre supone un claro testimonio de lo arraigadas que estaban algunas de estas ideas de la Antigüedad, al menos hasta mediados del siglo XVIII:

«[...] mas cláaramente lo expresa Alberto Magno, diciendo: Que el sonido es un movimiento del ayre continuo hasta el oído».³³

³¹ Albertus Magnus, *Opera Omnia* (s. XIII), vol. III, *De Anima*, liber II, trac., III, *De auditu...*, cap. XVII-XXII, ed. de P. Jammy, Lugduni (Lyon), sumptibus C. Prost, 1651, cap. XX, pp. 93-94: «El sonido es un movimiento del aire continuo hasta el oído; y si algo intercepta el sonido en el aire, el sonido no se escucha, y, por lo tanto, lo que suena muy lejos, no se escucha, porque el aire no puede moverse de tan lejos hasta el oído, y lo que hemos dicho más arriba, que cuando cesa el movimiento el sonido cesará. (...) Cómo llega por el aire el sonido al oído, y qué hay connatural en él para oír. El oír los sonidos mediante el aire tiene la razón ya dicha: también está en la oreja (oído) y connatural con la oreja es el tímpano. Llamo tímpano al nervio (membrana) que se halla en su interior, y que cuando es pulsada por el aire que se encuentra en la oreja, capta el sonido, pues el aire que hay en la oreja es continuación del que está fuera, y, por tanto, vibra debido a que el aire exterior mueve al que está dentro y por lo mismo mueve al tímpano de naturaleza tensa para que pueda ser percutida por el aire, mientras que el que está fuera es dilatado y de todas partes capta sonido, teniendo tortuosa su entrada para que el aire no pueda salir y al mover el de la cabeza que está seca y limpia, la hace descender por las orejas para que con el aire caliente y seco el tímpano y sus laterales se mantengan secos y tensos ya que la piel seca del tímpano suena bien y la húmeda (*floja*) pierde sonido. *Algo parecido sucede con las cuerdas musicales*, pues esta connaturalidad con el sonido no se da en absoluto en todo el cuerpo del animal. Porque no oye con todo el cuerpo, es decir, con todos los miembros del cuerpo, ya que no por todos los miembros del cuerpo se mueve el aire hacia el nervio *auditivo* (tímpano) de modo que pueda mover para oír, pues no en todos los miembros se da un aire connatural ni todo lo animado en todos sus miembros tiene una connaturalidad para captar todos los sonidos generados en el aire».

³² Bartholomaeus Anglicus, *De proprietatibus rerum* (c. 1250), Oxford, Bodleian Library, MS Bodley 749 (2771), ed. Giovanni Tomaso Favio, Toledo, Gaspar de Ávila, 1529, L. III, cap. XVIII, *Del oydo o potencia auditiva*, fol. VIIr.

La aportación de Nassarre, aunque pertenece al siglo XVIII, es de un enorme valor documental ya que hace una recopilación de citas de textos antiguos –en idioma original, traducidos y, en ocasiones comentados– en torno al tema del sonido en general y, en particular, de los instrumentos de cuerda.

Marco Vitruvio, en su tratado *De Arquitectura* del año 15 a. C. (editio princeps: Roma, Giovanni Sulpicio da Veroli, 1486) se refiere al comportamiento de esas oscilaciones o vibraciones del aire en el espacio, comparándolo con las ondas producidas en el agua cuando se arroja una piedra en un estanque, al hablar sobre la acústica de los teatros griegos:

La voz no es otra cosa, que un aliento que fluye, y hiriendo el ambiente se hace sensible al oído. Muevese por infinitas olas circulares, al modo de cuando en un estanque de agua quieta, si se arroja una piedra, se levantan infinitas olas circulares, que del centro se van dilatando mientras les dura la fuerza, si no lo impide la estrechez del lugar, o algún otro embarazo que no las dexa libertad para llegar a las orillas; antes bien chocando con algún impedimento, el retroceso de las primeras repele las siguientes, embarazando su extensión.³⁴ De la misma forma hace la voz sus olas en círculo; solo con la diferencia que en el agua se forman llanas sobre la superficie, pero la voz las mueve por grados hacia todas partes en rededor.³⁵

Con este símil, Vitruvio pretendía explicar el fenómeno de la propagación del sonido comparando el estanque de agua con el volumen de masa de aire.

En esta concepción de la producción del sonido es necesario, para que el aire se pueda poner en movimiento, percutirlo con cierta energía. El hecho de percutir o «herir» un cuerpo para poner el aire en movimiento coincide con el símil de arrojar una piedra en el caso del estanque de agua, y con «herir» la cuerda en el caso del instrumento. Y así lo expresa Nassarre en Zaragoza a principios del siglo XVIII, citando a Alberto Magno: «Potencial es, la virtud que se halla de poderse formar en el cuerpo herido, como en la cuerda...».³⁶

Ese movimiento del aire puede llegar a ser escuchado porque una cantidad de aire encerrado, moviendo su «prisión», comunica este movimiento al aire vecino exterior hasta llegar al oído, tras ser repelido en su percusión por la superficie sólida de un cóncavo. Así lo expone Aristóteles en su *De Anima*:

Concava autem refractione multos ictus post primus efficiunt, cum id, quod motum est, non possit exire. Praeterea auditur in aere, & in aqua, sed minus. non est autem soni potestas penes aerem, vel aquam: sed opostet ictum fieri solidorum interse, & erga aerem. Hoc autem fit, quando aer percussus permanent, nec dissipatur. Id circo si celeriter & vehementer percutiatur, sonum edit:

³³ Pablo Nassarre, *Escuela Música, según la practica moderna*, vol. I, L. I, cap. VI, *En que se dice que sea sonido instrumental, de su formación, y divisiones...*, Zaragoza, Herederos de Diego de Larumbe, 1724, p. 8. Véase la nota 31.

³⁴ Véase Séneca, *Nat. Quaest.*, Lib. I.

³⁵ Marco Vitruvio, *Los diez libros de Arquitectura*, L. V, cap. III, ed. y tr. J. Ortiz y Sanz, Madrid, Imprenta Real, 1787, p. 114.

³⁶ Cita de Albertus Magnus en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VI, p. 18.

nam opus est, ut motus percutientis anticipet disipationem aeris, perinde ac si quis acervum seu cumulum arenae dilatum celeriter percutiat.³⁷

Esta idea es secundada por Marin Mersenne en el siglo XVII. Con ella se avanzaba el concepto de diferencia de nivel de presión del aire que maneja la acústica moderna:

Ce qui rend ce mouvement capable d'estre ouy, n'est autre chose que quand il esbranle une quantité d'air enfermé capable d'esbranler sa prison, et de se communiquer a l'air voisin exterieur iusques à ce qu'il arrive à l'oreille.³⁸

Otra interesante idea que nos transmite Mersenne sobre la propagación del sonido a través del aire la toma de Demócrito y Epicuro: implica la existencia de partículas aéreas, por así decir, compuestas por átomos que están presentes en la sustancia aérea y en los cuerpos sonoros. Estas partículas salen de los cuerpos por los poros de forma que, siendo golpeadas por dichos cuerpos o por otras partículas, entran en movimiento produciendo el sonido. Como nos prueba Mersenne en sus escritos, estas teorías seguían teniendo validez en el pensamiento científico de mitad de siglo XVII:

Democrite, Epicure et quelques autres de leur secte ont estimé que le Son qui se fait par la rencontre, ou le battement de toutes sortes de corps n'est autre chose qu'un mouvement, ou une saillie de petits corps composez d'atomes, qui sortent des corps qui font le Son, comme les rayons sortent du Soleil, ou qui sont dans l'air, et qui estant frappez par le mouvement des corps, s'estendent de tous costez par les pores, ou les petits vuides dudit air, iusques à ce qu'ils ne rencontrent plus de vuide, et qu'ils soient arrestez par les petits corpuscules, ou atomes qui composent la substance de l'air.³⁹

Una de las características que posee el sonido es la de ser agudo o grave. La diferencia entre estas dos cualidades radica en la velocidad del movimiento del aire ya que, según Aristóteles, el movimiento del aire en los sonidos agudos es más rápido y en los graves más lento:

Diferentiae vero eorum quae sonant, in sono, qui actu est, patesiunt ut enim sine lumine colores non cernuntur, ita sine sono acutum & grave *non percipitur*. Haec autem dicuntur per translationem ab iis quae sub tactum cadunt. Acutum enim brevi tempore multum movet sensum. Grave autem longo tempore parum. Non igitur *acutum est velox: & grave, tardum: sed illius*

³⁷ Aristóteles, *De Anima* (s. IV a. C.), L. II, cap. VIII, tex. 79, p. 72: «En una concavidad se producen por refracción muchos golpes que se suceden después del primero, ya que lo que fue movido no puede salir. Además, se oye en el aire, pero menos en el agua; no hay posibilidad de sonido en el aire o en el agua, sino que el sonido se da entre dos sólidos que chocan entre sí, o contra el aire. Sin embargo, esto sucede cuando el aire golpeado permanece y no se disipa. Por tanto, si se golpea con fuerza y rapidez, se produce sonido, pues se necesita que el movimiento de quien golpea se anticipe a la disipación en el aire, como si alguno golpeara aceleradamente un montón esparrido de arena».

³⁸ Marin Mersenne, *Harmonie universelle*, L. I, *De la nature et des proprietes du son, determiner si le son se fait devant qu'il soit receu l'oreille, c'est-à-dire devant qu'il soit ouy, et s'il est different d'avec le mouvement de l'air*, París, Sébastien Cramoisy, 1636, p. 2: «aquellos que hace este movimiento capaz de ser escuchado, no es otra cosa que cuando se sacude una cantidad de aire encerrado capaz de sacudir su prisión, y de comunicarse al aire vecino exterior hasta al que llega al oído».

³⁹ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *De la nature et des proprietes du son, PROPOSITION II, COROLLAIRE, Determiner comme se fait le mouvement et le son, et d'où vient que plusieurs mouvements tres-vistes et tres-repides ne font nul Son qui puisse estre ouy, comme sont les mouvements de plusieurs rouës, et d'autres corps qui se meuvent dans l'air ou dans l'eau: et que plusieurs mouvements tres-petits font de grands sons*, pp. 3-6.

propter celeritatem fit motus talis: huius autem, propter tarditatem ac. Videntur proportione responderé acuto & obtuso, quod in tactu cernitur. Acutum enim quasi pungit: obtusum vero quasi pellit: quoniam alterum brevi, alterum longo tempore movet. Unde fit, ut alterum fit velox, alterum tardum.⁴⁰

Esta misma explicación de Aristóteles la cita Pablo Nassarre en su *Escuela Musica* expresando con sus propias palabras que:

todo lo agudo se percibe más en poco tiempo, que lo grave en mucho, por ser el movimiento del sonido agudo más veloz, que el sonido grave, que es más tarde. [...] Aquel se dice agudo, que en poco tiempo mueve mucho el sentido del oído, y aquel es grave que en mucho tiempo mueve poco.⁴¹

El hecho de formarse el sonido agudo y el grave por la velocidad del movimiento del aire, o por el número de percusiones producidas en él, también lo encontramos reflejado en el tratado de Mersenne:

Or puis que chaque son est determiné quant au grave, ou à l'aigu par le nombre des battemens de l'air.⁴²

La velocidad del movimiento del aire, por tanto, determina la altura del sonido que produce, es decir, cuanto más rápido sea aquel más agudo será el sonido, y a su vez, cuanto más grave sea el sonido, más lento y más pesado será el movimiento del aire que lo produce. Por otro lado, el aire encerrado y en contacto con el órgano auditivo es el que le transmite la vibración procedente del medio aéreo haciendo posible su audición. Estos conceptos acústicos, previamente expresados por Aristóteles (ver notas 37, 40 y 41), le sirven a Nassarre como fundamento de su teoría del sonido:

El movimiento del ayre es más veloz en los agudos, y esta mayor velocidad llegando a los oídos más pronta, mueve la membrana, con el ayre conatural, que está encerrado dentro de los órganos.⁴³

⁴⁰ Aristóteles, *De Anima...*, L. II, cap. VIII, p. 75, tex. 86: «Las diferencias entre aquellos que producen sonidos, se ponen de manifiesto en el sonido en acto, desaparecen lo mismo que desaparecen los colores cuando no hay luz, y así si no hay algún sonido agudo o grave no los percibimos. Decimos esto por comparación de aquellas cosas que se perciben por el tacto. Lo agudo, efectivamente, mueve el órgano mucho en poco tiempo, mientras que lo grave lo mueve poco en mucho tiempo. Y no es que lo agudo sea rápido y lo grave lento, sino que la diferencia de cualidad entre el movimiento de lo uno y de lo otro es el resultado de su rapidez y su lentitud respectivamente, pudiendo compararlos a un ángulo agudo u obtuso lo que se percibe por el tacto. El agudo, cual si fuera un pinchazo, y el obtuso como si fuera un empujón, ya que el primero sucede rápidamente, y el otro necesita más tiempo, por lo que uno parece veloz y el otro, lento».

⁴¹ «Aristóteles. 2. *De anima*: Sicut intangibilibus illut dicitur acutum, quod in modico tempore multum movet sensum tactos, et illud grave quod in multo tempore parum movet eundem sensum. Ita in sono, ille dicitur acutus, qui in modico tempore multum movet auditum, et ille gravis, qui in multo tempore paucum movet eundem sensum, et propter Islam causam accidit, dicit. Philop. Quod autem est velox valde, hebes vel gravis tamdum», Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VII, *De las diferencias que hay entre el sonido grave, y el agudo*, p. 21.

⁴² Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. IV, *Des instruments à chordes*, PROPOSITION XI, p. 210: «De ahí, pues, que cada sonido esté determinado en cuanto, al grave o al agudo, por el número de batidos del aire».

⁴³ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VII, *De las diferencias que hay entre el sonido grave, y el agudo*, p. 22.

Como los sonidos graves son más pesados, o tardos, como dice el Filosofo,⁴⁴ es lo más natural inclinarse a lo más profundo.

Esta forma dinámica de concebir el sonido es una idea que también es compartida por Mersenne, para quien los graves son «pesados» y «tardos» («tardiveté et de la pesanteur»):

Il y a des sons plus simples les uns que les autres; ce que l'on peut dire du proslambanomenes, parce que les battemens ou mouvements dair dont il est composé sont plus proches de l'unité et du repos, dont la nete est la plus éloignee; de sorte que les sons du milieu sont composez de ces deux extremes, à raison qu'ils participent de la tardiveté et de la pesanteur de l'un, et de la vitesse de l'autre.⁴⁵

Cuando, de la descripción del sonido en términos de movimiento mecánico del aire se pasa a sus características por efecto de su recepción o decodificación en el oído, se entra en el aspecto de la percepción subjetiva. Nassarre habla de «claridad» y «oscuridad» en el sonido, percibidas al incidir el movimiento del aire en el «órgano» del aparato auditivo:

Tanto cuanto más agudo [...] tanto más claro se percibe, porque a proporción de la agudeza, se aumenta la velocidad del ayre. Y al contrario el sonido grave, que quanto mas grave [...] es mas oscuro por su profundidad. [...] los agudos se perciben con más claridad, que los graves, pero los graves se oyen de más lejos.⁴⁶

Siempre según Nassarre, una consecuencia de la percepción de la «ligereza» y «claridad» características de los sonidos agudos, a diferencia de los graves que son más pesados, es que hacen la articulación de las palabras o de los sonidos más nítida o inteligible:

porque las voces graves, quanto mas profundas, son mas pesadas, y mueven mas ayre, como dice Anglico.⁴⁷ [...] y por eso las voces delgadas, y las de poco cuerpo son las que hazen mas inteligibles las palabras, que articulan.⁴⁸

Este concepto de «oscuridad» en los graves, contrario al de claridad, tiene una manifiesta connotación negativa para el teórico aragonés, ya que suena al oído con una cierta «displicencia» :

⁴⁴ «Aristóteles. 2. de anima: Acutum est velox valde, et habes, vel grave tardum», citado por Nassarre en nota al margen en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. IX, *De las diferencias que hay entre los sonidos naturales, y artificiales*, p. 30. Misma cita Arist. Anima 2.

⁴⁵ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. II, *Des Chants*, PROPOSITION VI, p. 100: «hay unos sonidos más simples que otros; cosa que se puede decir del proslambanómenes, porque los batidos o movimientos del aire de que se compone son mas próximos a la unidad y al reposo, donde la nete es la más distante; de suerte que los sonidos de en medio están compuestos de aquellos de los extremos, de forma que participan de la tardanza y la pesantez de uno, y de la velocidad del otro».

⁴⁶ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VII, *De las diferencias que hay entre el sonido grave, y el agudo*, p. 22.

⁴⁷ «Bartholomeus Anglicus, libro 5, cap. 20. de voce: Gravitas Vocis sequitur tarditatem, et aer multus movetur tarde», cit. en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIII, *De las voces menos agudas y graves, y de la variedad con que se hallan, y sus qualidades*, p. 49.

⁴⁸ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIII, *De las voces menos agudas y graves, y de la variedad con que se hallan, y sus qualidades*, pp. 49-50.

Siempre que se forma consonancia, que consta de dos sonidos en la linea de los sonidos graves, aunque el uno sea agudo respectivamente del otro, como una tercera o quinta, suena con alguna displicencia del oído, siendo la causa, que como los dos sonidos son profundos, son oscuros, y no halla en aquella obscuridad el deleite el oído.⁴⁹

A causa de que el sonido se produce por la puesta en movimiento del aire mediante percusión violenta, es de común entendimiento que, cuanto más próximo se estuviera de su fuente, con más violencia e imperfección se percibirá dicho sonido y, en extremo, si la fuente sonora estuviera muy cerca de la membrana auditiva. Por esta razón, se concibe que el sonido se percibirá más dulce y más nítido a cierta distancia o lejanía de donde éste se produce, siendo el movimiento del aire en dicho punto más «sosegado». Se entiende así que para que el sonido llegue a formarse con cierta calidad es necesario que haya cierto espacio de aire entre la fuente sonora y la membrana auditiva u órgano receptor, según lo expone Nassarre:

Pero el sonido artificial arroja la especie más clara, por estar más distante de la potencia auditiva, y tener su despedimiento más en derechura el ayre: De lo dicho se infiere la causa de percibirse mas dulcemente la música de lexos [...] dize el Filósofo [...] que cuando se yere la cuerda de un Instrumento, o canta alguna voz humana, al proferir el sonido, ha de aver precisamente alteración en el ayre, y esta necesariamente ha de ser con violencia, y quanto mas cerca de los oídos fuere esta violencia, tanta con mas alteración moverá el ayre, al que está encerrado en la membrana, que es donde se forma el sonido, y esta misma alteración dexa con alguna imperfección el deleyte, que causa. Pero cuando viene de lexos llega más sosegado el Ayre, y no altera tanto al que está dentro, formándose el sonido con más dulzura por el mayor sosiego.⁵⁰

Una aplicación práctica de esta observación la propone el mismo autor al recomendar al intérprete de vihuela que no «hiera» las cuerdas con mucha fuerza, ya que produciría así un sonido imperfecto que causaría «displacencia» al oído:

Que el Músico, cuando pulsa un instrumento, no yera las cuerdas con sobrada violencia, porque no se formará el sonido con perfección, siendo con excesso el modo de herir, pues ofende al oído por la violencia del ayre.⁵¹

Este hecho lo había expresado ya Aristóteles,⁵² al asegurar que si el movimiento del órgano sensorial era demasiado fuerte desaparecía la «proporción idónea» y, por lo tanto, el sentido, al igual que cuando se pulsan violentamente las cuerdas desaparece la armonía y el tono:

Perspicuum etiam ex his est, cur aliquando sensibilium exsuperantiae corrumpint sensoria [a] nam si fortior sit motus sensorio, dissolutior ratio: hoc autem erat sensus: ut dissoluitur concentus ac tonus, fidibus si [cordae] [...] vehementer pulsentur.⁵³

⁴⁹ Ibídem, vol. I, L. I, cap. VII, p. 22.

⁵⁰ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. IX, *De las diferencias que hay entre los sonidos naturales, y artificiales*, pp. 29-30.

⁵¹ Ibídem, pp. 29-30.

⁵² Aristóteles, *De Anima...*, L. II, cap. XII, pp. 90-92.

⁵³ Ibídem, tex. 123, p. 91: «A partir de estas explicaciones queda claro, además, por qué los excesos de los sensibles destruyen los órganos de la sensación: en efecto, si el movimiento del órgano resulta demasiado fuerte,

CONCLUSIÓN

Algunos autores antiguos como Aristóteles, Demócrito, Epicuro, Alberto Magno o Bartholomeus Anglicus dedicaron en sus obras una notable cantidad de alusiones relativas al sonido y los pormenores del fenómeno de la audición. Las reflexiones de estos autores antiguos dejan claro el concepto que estos tenían sobre la formación y propagación del sonido, que en términos generales consistía en una excitación que, mediante la percusión de un cuerpo elástico, ponía en movimiento vibratorio las partículas de aire situadas entre una fuente y un órgano receptor. Es muy interesante observar cómo muchas de estas reflexiones coinciden con algunos descubrimientos teóricos modernos sobre la formación y propagación de las ondas sonoras, sobre todo el concepto de moléculas de aire de Demócrito. La mayoría de los teóricos musicales desde la Edad Media hasta avanzado el siglo XVII, como es el caso del Padre Nassarre, por su condición de formación eclesiástica, tenían acceso a estos textos antiguos y los conocían con precisión en sus versiones originales del Griego y Latín, como se comprueba en las numerosas citas que a ellos hacen en sus tratados. En el caso de España, así ocurrió con autoridades en música como Isidoro de Sevilla, Bartolomeo Ramos de Pareja, Juan Bermudo o Pedro Cerone. Los grandes teóricos enciclopédistas que, con diferencia, más han tratado el aspecto de los instrumentos musicales y sus propiedades acústicas, como es el caso de Nassarre o Mersenne, basaron su concepción del fenómeno acústico y de la percepción auditiva en las reflexiones hechas por aquellos autores antiguos. Puesto que dicho concepto acústico determinaba el modo de proceder y de elaborar los materiales y elementos que formarían las peculiaridades concretas de los instrumentos musicales de cuerda de la época, la valiosa información aportada por estos autores nos ayuda a acercarnos de alguna manera a una contextualización adecuada para entender la sonoridad de la época.

2.1.2. Cualidades del sonido armónico y virtud simpática

Se deduce de las fuentes mencionadas que, para los sabios antiguos, el sonido se produce por un movimiento del aire y se percibe al llegar éste al oído. El aire, por lo tanto, es el elemento o medio conductor entre la fuente sonora y el órgano humano que capta el sonido. Si tenemos en cuenta el concepto que en la Antigüedad se tenía sobre la composición del mundo físico de la naturaleza y las propiedades del aire, advertiremos su importancia a la hora de entender cómo pensaban por entonces que se formaba el sonido, qué cualidades tenía y cómo era percibido.

La teoría de la *Armonía universal*, por la cual se concibe el mundo compuesto de cuatro elementos —que se corresponden a su vez con los cuatro humores corporales, cuyas combinaciones, proporciones e influencias determinan la naturaleza de las cosas y de los

desaparece la proporción idónea —y esto es el sentido— al igual que desaparecen la armonía y el tono si se pulsan violentamente las cuerdas».

fenómenos–, es muy antigua y aparece como una constante en los textos de los teóricos de la música (Boecio,⁵⁴ Aegidius de Zamora,⁵⁵ Hyeronimus de Moravia,⁵⁶ etc.). Durante el Renacimiento, esta visión del mundo ejerce una gran influencia en el pensamiento artístico hasta el punto de que, incluso a finales del siglo XVII, se sigue utilizando aún con mucha fuerza como recurso para explicar los fenómenos naturales. Nassarre,⁵⁷ por ejemplo, cita la famosa obra de Georgius Venetus *De Harmonia Mundi*⁵⁸ para describir estos fenómenos relativos a la virtud simpática en relación con el sonido. Según él, las cualidades del elemento del aire serían las del calor y la humedad y se corresponderían con las del humor de la sangre:

Compónese el Universo Mundo de cuatro Elementos, Ayre, Fuego, Agua y Tierra, y este pequeño mundo de cuatro humores, los cuales podemos decir, son elementales, por contener las mismas cualidades, que los elementos, estos son sangre, cólera, flema y melancolía. Tiene la sangre las mismas *qualidades del Ayre, que son, calor y humedad*. La cólera representa al Fuego, pues tiene las cualidades de calor, y sequedad. La flema sigue las cualidades del Agua, porque es fría, y húmeda. La melancolía a la Tierra, porque es de calidad fría, y seca.⁵⁹

Los antiguos introdujeron el concepto de «virtud simpática» porque creían que unos elementos influían en otros debido a la similitud de sus naturalezas, así como la armonía de las proporciones actuaba sobre los elementos, las cosas y las personas. De esta forma, para Nassarre, la armonía de los planetas influía en los humores de las personas y la música tenía la propiedad de curar el cuerpo y el espíritu al guardar con ellos «similitud de proporciones»:

La causa de la influencia de los Astros es la *virtud armónica*, por ser semejante la que se halla en el hombre, a la que tienen ellos. *De la similitud de proporciones nace la virtud simpática*, y mediante esta comunican los cielos sus influencias [...] porque siempre que una cosa consta de la misma proporción, que otra; es semejante en los efectos; y tanto con más fuerza, cuanto más semejante es en cantidades, y cualidades. El aprovechar la Musica para muchas curaciones, assi corporales, como espirituales, nace de esta causa.⁶⁰

Con este concepto transmitido por el teórico aragonés sobre la fenomenología acústica,⁶¹ es lógico poder pensar que el oído, el órgano que percibe el sonido, pudiera tener las mismas cualidades o fuera de la misma naturaleza que el aire, vehículo por el que se propaga dicho sonido: «la virtud simpática nace de la similitud de proporciones, [...] el oído tiene las mismas

⁵⁴ Anicius Manlius Severinus Boethius (s. vi), *De Institutione Musica*, 5 vols., ed. Godofredus Friedlein, Leipzig, B. G. Teubner, 1867.

⁵⁵ Johannes Aegidius de Zamora (s. XIII), *Ars Musica*, ed. Michel Robert-Tissot, *Corpus scriptorum de musica*, vol. 20, Roma, American Institute of Musicology, 1974, pp. 30-122.

⁵⁶ Hieronymus de Moravia (París, s. XIII), *Tractatus de musica*, ed. S. M. Cserba, *Freiburger Studien zur Musikwissenschaft*, vol. 2, Regensburg, Pustet, 1935.

⁵⁷ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. V, *De la segunda parte de la música, llamada humana, en que se contienen las proporciones armónicas del hombre*, pp. 12-17.

⁵⁸ Francesco Giorgio Veneto, *De Harmonia Mundi totius cantica tria*, 4 vols., ed. facsímil: Bernardini, Venezia, Vitali, 1525.

⁵⁹ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. V, *De la segunda parte de la música, llamada humana, en que se contienen las proporciones armónicas del hombre*, p. 13.

⁶⁰ Ibídem, p. 17.

⁶¹ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales*, pp. 25-28.

qualidades, que el ayre, que es cálido, y húmedo, como dice el filósofo en el segundo del Anima». ⁶²

Estas propiedades del aire, es decir, de la sustancia donde se produce el sonido y por la cual éste se transmite, habrían de ser similares a las del cuerpo que genera el sonido y a las del que lo recibe, es decir, deberían estar en proporción armónica o poseer «virtud simpática» para que sea óptima y agradable la percepción del sonido. Se produciría, por así decir, una especie de conductividad del sonido al tener similares naturalezas la fuente sonora, el medio de propagación y el órgano receptor del sonido. Estas propiedades serían las de calidez y humedad, y según estén más presentes la una o la otra, se producirían diferentes efectos en el sonido, llegando a ser este oscuro o áspero si no se cumplen dichas condiciones:

De lo dicho se ha de inferir, que *para que el sonido sea perfectísimo, se han de hallar las qualidades de calido, y humedo en el cuerpo donde yere el aire*, que el ayre las tiene naturalmente, *y en el oido, que recibe el sonido*, pero si el cuerpo donde yere el ayre tuviere menos porcion de calido, o careciere de esta calidad, aunque aya sonido armonico, por la calidad humeda, conviniendo en esta con el ayre, y el oido, será muy obscuro el sonido, por no convenir en la calida; y de aquí resulta displicencia en el que oye por faltar la virtud simpatica, que solo se halla, cuando convienen en todas las qualidades.

Otras veces oímos *sonidos asperos, y procede de faltar en el instrumento*, o cuerpo, donde yere el ayre *la calidad humeda*, o en parte, o en todo.⁶³

Todo cuerpo, al estar compuesto de una mezcla de los citados cuatro elementos entre los que se incluyen el fuego y el agua, es decir, la calidad cálida y húmeda, y al contener aire en el interior de sus porosidades sería susceptible de producir sonido. El hecho de contener los cuerpos partículas o átomos de aire en su interior, haría que el sonido se comunicara a través de ellos mediante la fricción de dichas partículas con las que componen el medio aéreo. Mersenne afirma que la intervención del elemento del fuego, al igual que el del agua, causaría también una gran diferencia en el sonido, tanta al menos como la que causa el movimiento del aire:

Mais parce que l'on croit que toutes sortes de corps enferment et continent de l'air dans leurs pores, et [p. 7] que les Philosophes ordinaires tiennent que tout corps mixte est composé des quatre Elemens, a sçavoir de la terre, de l'eau, de l'air, et de feu [...] que l'eau et le feu, qui sont dans les corps contribuent aussi à la difference des sons [...] le feu est plus mobile que l'air, et consequemment qu'il doit pour le moins apporter une aussi grande difference aux sons que le mouvement de l'air.⁶⁴

⁶² Nassarre se refiere aquí a Aristóteles, al cual cita en la nota superior al margen Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales*, p. 25: «Auditus autem connaturalis est aerius».

⁶³ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales*, p. 25.

⁶⁴ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *De la nature et des proprietez du son, PROPOSITION III*, pp. 6-7: «Pero puesto que se cree que toda suerte de cuerpos encierran y contienen aire en sus poros, y [p. 7] que los filósofos ordinarios mantienen que todo cuerpo mixto está compuesto de los cuatro Elementos, a saber, de tierra, agua, aire y fuego [...] que el agua y el fuego, que están en los cuerpos contribuyen también a la diferencia de los sonidos [...] el fuego es más móvil que el aire, y consecuentemente debe al menos aportar una diferencia tan grande a los sonidos como el movimiento del aire».

2.1.3. Cualidad sonora y virtud simpática de los materiales

En el caso de que el cuerpo donde se produce el sonido sea un instrumento musical –una vihuela de arco, por ejemplo–, el material con el que ésta está hecha, la madera, también debería tener las mencionadas cualidades sonoras. Nassarre habla de la madera para elaborar la caja de resonancia, donde se produce el sonido, atribuyéndole las cualidades sonoras de cálida y húmeda, siendo óptima a este efecto la de nogal. La afirmación de que la madera de nogal reúne las condiciones o cualidades sonoras por estar bajo la influencia del planeta Júpiter, al igual que éste influye sobre el aire y el «número sonoro», pone de manifiesto la importancia para Nassarre de la visión cosmológica de la armonía universal e influencia de los planetas:

La experiencia enseña, que una de las maderas que es muy al caso es la del nogal, y aunque ay otras mas duras, y fuertes, sobre ser lo suficiente esta, es mas ajustada a las qualidades sonoras, *por ser templadamente calida, y humeda*; y convenir con la potencia auditiva, y del ayre, que son quien causa, y en donde se forma el sonido. [...] y es por tener el planeta Júpiter dominio en ella, y sobre todo numero sonoro.

Predomina tambien dicho planeta al ayre, que es de sus mismas qualidades, calido, y húmedo.⁶⁵

También la madera destinada a la fabricación de la tapa armónica debe poseer las citadas mismas cualidades que toda «materia sonora». El tipo de madera recomendada por Nassarre para este efecto es la de pino abeto:

Qualidades que devén convenir caliente, y humedo en toda materia sonora, y por eso las tapas de los Instrumentos, que son de Pino avete, por estar tambien atemperadas estas qualidades en dicha madera, son las mejores.

He dicho que convienen las qualidades de calido, y humedo a toda materia sonora, y es razon, por convenir el ayre con ellas, el cual forma el sonido.⁶⁶

Las cuerdas, como veremos en el Capítulo 3 especialmente dedicado a ellas, son otro factor esencial en la producción del sonido. El material del que se fabrican también debe estar en «simpatía» con las propiedades del aire, según Nassarre:

Las cuerdas de nervio, que se usan en arpas, vihuelas, y otros instrumentos, conviene su materia, mas en iguales proporciones, con las qualidades del ayre, y por eso aunque la materia no es tan dura, no es menos sonora que la del metal, y a menos violencia, forma con mas dulzura el sonido.⁶⁷

El concepto de «dulzura» como descripción de la calidad del sonido aparece mencionado en éste y otros autores de diferentes épocas (véase apdo. 5.1).⁶⁸

⁶⁵ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicos en general*, pp. 450-451.

⁶⁶ Ibídem, p. 451.

⁶⁷ Ibídem.

⁶⁸ Véase el apartado 5.1. «El concepto de la dulzura del sonido», pp. 116-118.

CONCLUSIÓN

El concepto del mundo como un todo armónico compuesto de cuatro elementos y humores, cuyas armónicas proporciones rigen la composición de las sustancias y las cualidades de las cosas, es una herencia antigua que, a través de los textos latinos medievales, ha permeado e influido en los autores hasta avanzado el siglo XVII. Los teóricos del Renacimiento, sobre todo los musicales, incluyen estas teorías como fundamentos de la armonía en sus tratados, como se aprecia en el caso de Ramos de Pareja, Juan Bermudo o Pedro Cerone. Teniendo en cuenta que la mentalidad de esta época gira en torno a estos preceptos, la bondad del sonido para estos autores dependería, por tanto, de cuantas más proporciones armónicas se pudieran concertar en los elementos que participen en su formación, como pueden ser los materiales, el aire mismo o el órgano auditivo, principalmente. Estudios acústicos modernos como los de J. Vassilantonopoulos, George Bissinger o Thomas Rossing, han comprobado que efectivamente estas proporciones armónicas y la influencia de factores como la humedad o la temperatura del aire son causas que afectan a una óptima respuesta acústica en materiales y recintos. Sin embargo, lo que nos interesa en realidad es cómo pensaban los autores sobre el fenómeno sonoro en la época de las vihuelas para entender su manera de obrar.

2.2. FENOMENOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN DEL SONIDO EN LA VIHUELA DE ARCO

Si el sonido se forma mediante cierta percusión que mueve el aire, al abordar el fenómeno de la producción del sonido en los instrumentos musicales de cuerda sería una buena cuestión saber cómo se puede, en un instrumento como la vihuela de arco, poner ese aire en movimiento. Para Nassarre esto ocurre mediante la intervención de varios de sus componentes, especialmente las cuerdas y la caja de resonancia.⁶⁹

En primer lugar, se produce la citada percusión en la cuerda en tensión, que pone el aire en movimiento. Éste, una vez salido de su estado de reposo, golpea todo cuerpo que encuentra a su paso incluida la cuerda misma que lo puso en movimiento, de forma que la mantiene en vibración durante un tiempo más:

El cuarto modo de formarse el sonido es en los instrumentos de cuerda; pues herida esta mueve, y con su movimiento mueve al ayre, y el ayre movido la yere a ella, de donde se forma el sonido mediante esta percusión. [...] que después de formado dicho sonido, queda reflexión, [...] pues cuando el sonido es formado, siendo el cuerpo sonoro cuerda, queda resonancia, o reflexión, [...] se forma el sonido al herirla, porque comueve el ayre de su circunferencia con el movimiento, y como dice el mismo Tosca⁷⁰ las vibraciones de ayre hace tremulo al cuerpo sonoro, hasta que se quiega, y sosiega el ayre, y estas vibraciones son la causa de la resonancia, o reflexión del sonido.

Una vez puesta en movimiento la cuerda por su percusión, ésta transmite la vibración a la caja de resonancia donde, interpretando Nassarre la cita de Aristóteles,⁷¹ tienen lugar las repercusiones del aire allí encerrado que, tras haberse introducido por los poros de la madera de la tapa y no pudiendo salir libremente, rebota en el interior de la concavidad gracias a las maderas sólidas que la forman mientras dure el impulso con que se había puesto en movimiento:⁷²

Es pues, que herida la cuerda, mueve con violencia al ayre, el cual movido, no solo buelve a herir el cuerpo de la cuerda, sino es que se introduce en el concavo por los poros de la tapa, y violentando al que está dentro del concavo, resultan de este movimiento en las maderas solidas, de que está fabricado el instrumento, suaves golpes, que continuan el sonido; y el durar más, o menos tiempo, consiste en la violencia menos, o mas, de herir las cuerdas [...] y de un herir a otro herir, se van minorando los movimientos hasta acabarse [...] dixe, se introduce el ayre por los poros de la tapa al concavo del Instrumento, el cual dilata el sonido con el movimiento del que esta introducido en el concavo; porque el Filosofo nos lo da a entender asi en el libro segundo de

⁶⁹ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VI, *En que se dice que sea sonido instrumental, de su formación y divisiones...*, p. 20.

⁷⁰ Doctor Tosca, Lib. I, cap., Prop. I, tract. 6, cit. en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VI, *En que se dice que sea sonido instrumental, de su formación y divisiones...*, p. 20.

⁷¹ Aristóteles, *De anima...*, Libro II, cap. VIII, tex. 79, p. 72: «Concava autem reflexione faciunt multos ictus, post primum non potente exire, quod motum est». Véase la nota 37.

⁷² Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VIII, *Del eco del sonido y sus diferencias*, p. 27.

anima,⁷³ diciendo, resuenan dentro del concavo muchos golpes, no pudiendo salir todo el ayre, que se introduxo de una vez, y esto mismo confirma la experiencia [...] que poniendo la mano suavemente sobre la tapa del Instrumento, se percibe por el tacto algún leve movimiento en ella, como que tiembla, y que es esto, sino es la violencia, con que se introduce el ayre por sus poros? Y el desasosiego, que causa al que está introducido por no poder salir a un tiempo?

El fenómeno del comportamiento del volumen de aire contenido dentro de la caja de resonancia –que tiene lugar al golpear y rebotar éste en las paredes y fondo de la concavidad–, ocurre según Nassarre debido a que el aire allí contenido, no pudiendo salir libremente en su movimiento, origina las percusiones y repercusiones del sonido:

Lo dice claramente Juan Gramatico⁷⁴ por estas palabras: Fórmase el sonido, luego que es herido el cóncavo, porque el ayre que esta dentro, siendo violentado por el que le hiere, desasosegado, ya yere en una parte, ya en otra, por no poder salir, repitiendo golpes dentro del cóncavo.⁷⁵

CONCLUSIÓN

Según estas ideas que expresa Nassarre –apoyadas por otros autores de la Antigüedad como Aristóteles–, puesto que el sonido se transmite por las vibraciones de las partículas que componen la masa de aire, el volumen de aire encerrado en la concavidad que forma la caja de resonancia de una vihuela, al rebotar en un lugar y otro de sus paredes, iría dando forma y cualidad definitivas al sonido producido por dicha vihuela. A pesar de que los estudios modernos sobre acústica de instrumentos de cuerda han hecho más incapié, sobre todo, en los modos de vibración de las tapas armónicas, la idea de que el sonido se forma en el cóncavo tiene mucho sentido y está muy poco estudiada actualmente. La intuición de estos pensadores antiguos merece una mayor atención por parte de nuestras investigaciones a la hora de entender por qué construían las vihuelas de la manera que lo hacían en el pasado.

⁷³ «Aristóteles. 2. *De Anima*, cap. 4, text. 78: Concava autem reflexione faciunt multos ictus, post primum non potente exire, quod motum est», cit. en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VIII, *Del eco del sonido y sus diferencias*, p. 27.

⁷⁴ «Joan Gramaticus., 2. *De Anima*, cap. 59. Concavum percussum ideo sonum edit, quia aer, qui ex iis exire nequit, prius percussus propter concavitatem ejus, quod ipsum ambit, nunc ad has nunc ad illas concave partes latus plus sonat, quan plures ictus faciat», cit. en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones de los Instrumentos musicales en general*, p. 456.

⁷⁵ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones de los Instrumentos musicales en general*, p. 456.

3. LAS CUERDAS

3.1. LAS CUERDAS COMO GENERADORAS DEL SONIDO EN LA VIHUELA DE ARCO

Parece claro que el primer lugar donde se genera la vibración que produce el sonido en los instrumentos de cuerda es en la cuerda misma: «En los instrumentos de cuerda, el cuerpo sonoro es la cuerda».⁷⁶ Entendemos aquí por sonido una energía vibratoria, una potencia sonora de una vibración trasmisida por la cuerda que se hace audible mediante un resonador o amplificador que lo reproduce, que sería la tapa o la caja armónica del instrumento.

A finales del siglo XIII, Juan Gil de Zamora (Aegidius de Zamora) menciona en su tratado *Ars Musica* un posible origen etimológico de la palabra *chorda* ('cuerda'), afirmando que su raíz procede de la palabra *cors* ('corazón'), siendo común a ambas el sentido de pulso. Este tipo de metáforas muy comunes en tratados medievales tenían un valor poético que ensalzaba el poder sobrenatural que los antiguos atribuían a la música. Sobre el material de que están hechas las cuerdas, Aegidius de Zamora menciona los tendones, y afirma que cuanto más secas y tensas sean aquellas, más amplio es el sonido que producen:

Chorda autem est dicta a corde, quia sicut pulsus cordis est in pectore, ita pulsus chordarum est in cithara. Has primo Mercurius excogitauit idemque prior in nerois sonum exstrinxit, ut dicit Isidorus. Chordae autem quanto sunt magis siccae et etiam magis tensae, tanto amplius sunt sonorae.⁷⁷

En su tratado *Declaratio musicae disciplinae* (1430/40), Ugolino de Orvieto afirma que las cuerdas o nervios instrumentales pueden estar más tensos o flojos según la voluntad de quien los coloque en el instrumento. De esta forma, cuanto más tensos estén, más rápido vibran y, por consiguiente, el sonido que producirán será más agudo. Por el contrario, cuanto más flojas estén las cuerdas el sonido será más grave por ser el movimiento en ellas más lento.⁷⁸

Cada vez que se pulsa la cuerda produce múltiples percusiones en el aire circundante a la misma haciéndola vibrar, siendo las velocidades de dichas percusiones tan seguidas que no es posible contarlas, produciéndose así un sonido continuo. Según Ugolino de Orvieto,⁷⁹ dicho

⁷⁶ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones de los Instrumentos musicos en general*, p. 457.

⁷⁷ Johannes Aegidius de Zamora, *Ars Musica...*, cap. XVII, *De cuiuslibet instrumenti per se inuentione ac constitutione, et generali musicae distinctione*, pp. 117-118: «La palabra Chorda 'cuerda' procede de cors 'corazón' puesto que así como en el pecho tiene lugar el pulso del corazón, en la cítara tiene lugar el pulso de las cuerdas. El dios Mercurio fue el inventor de estas y el primero que obtuvo sonido a partir de tendones, según nos cuenta Isidoro. Cuanto más secas y más tensas están las cuerdas más amplio es el sonido que producen».

⁷⁸ Ugolinus Urbevetanus, *Declaratio musicae disciplinae* (s. XV), L. V, cap. VIII, *De soni definitioni...*, ed. Albert Seay, *Corpus Scriptorum Musicae*, 7, Roma, American Institute of Musicology, 1959-1962, pp. 109-110.

⁷⁹ Ibídem.

sonido no es uno solo sino múltiple, ya que solo así es posible que mueva al tímpano y hacerse sensible al oído (véase el Apéndice de citas I; manifiestos decimocuarto y decimoquinto).

En el capítulo IX titulado «De cordarum seu nervorum instrumentalium subtilitate et grossitie» del mencionado tratado, Ugolino de Orvietto⁸⁰ explica una serie de conclusiones sobre los efectos que causan en el sonido las diferentes combinaciones de características de grosor, tensión y aspecto de las cuerdas de tripa o «nervios instrumentalis» (véase el Apéndice de citas II).

Allí se describe, por ejemplo, que una cuerda o nervio delgado y de superficie uniforme produce silbidos en el movimiento del aire causando un sonido agudo que, a tensión constante, será más agudo cuanto más delgada sea la cuerda. Si la superficie de la cuerda fuera deforme, bajo las mismas condiciones el sonido sería menos agudo al producir un movimiento menos tremolante a causa de su deformidad. También se dice que el sonido causado por un nervio delgado de superficie deforme causará un sonido más tenue que si tuviera la superficie lisa, o que las cuerdas gruesas con movimiento lento generan sonidos graves que serán tanto más graves cuanto mayor sea la resistencia del medio y más deforme sea la superficie de la cuerda, pues el movimiento que produzca será mas lento y menos tremolante y provocará menos percusiones en el aire.

Según Nassarre, la propiedad de vibración que posee la cuerda o nervio se la comunicaría al aire que la rodea, es decir, al ponerse en movimiento desplazaría el aire inmediatamente en contacto con ella con la misma energía con que se originó:

El cuarto modo de formarse el sonido es en los instrumentos de cuerda; pues herida esta mueve, y con su movimiento mueve al ayre, y el ayre movido la yere a ella, de donde se forma el sonido mediante esta percusión.⁸¹

Puesto que la masa de aire está en contacto directo con los cuerpos contenidos en el espacio que éste ocupa, a su vez, el aire volvería a golpear a la cuerda en su oscilación haciéndola vibrar y causando resonancia o repercusión del sonido:

pues cuando el sonido es formado, siendo el cuerpo sonoro cuerda, queda resonancia, o reflexión, [...] se forma el sonido al herirla, porque comueve el ayre de su circunferencia con el movimiento, y como dice el mismo Tosca⁸² las vibraciones de ayre hace tremulo al cuerpo sonoro.⁸³

Entendemos aquí, que esta repercusión del movimiento de la cuerda en el aire y viceversa describe la fase de la mecánica vibratoria generadora del sonido y no de su resultado final al ser trasmisida al puente y caja de resonancia del instrumento. Es decir, que si bien es cierto que la

⁸⁰ Ugolinus Urbevetanus, *Declaratio musicae disciplinae...*, L. v, cap. ix, *De cordarum seu nervorum instrumentalium subtilitate et grossitie*, pp. 112-118.

⁸¹ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. vi, *En que se dice que sea sonido instrumental, de su formación y divisiones...*, p. 20.

⁸² Doctor Tosca, Lib. I, cap. Prop. I, tract. 6., citado por Nassarre en nota al margen en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. vi, *En que se dice que sea sonido instrumental, de su formación y divisiones...*, p. 20.

⁸³ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. vi, *En que se dice que sea sonido instrumental, de su formación y divisiones...*, p. 20.

cuerda suena y transmite sonido directamente al aire, el instrumento suena una vez las maderas de su caja de resonancia han entrado en vibración transmitida por la cuerda al puente.

Para Nassarre, el tamaño de la cuerda, que al igual que los demás componentes del instrumento debe estar en proporción con el sonido que produzca, determina la cantidad de aire que mueve. Es decir, cuanta más masa o cuerpo tenga, más aire moverá:

La cantidad del ayre que mueve quando es herida, está en proporción igual con ella. [...] La cuerda, que es el cuerpo sonoro, forma el sonido, o agudo, o grave, según la cantidad del cuerpo de ella. [...] siempre en proporción igual; pues quanto mayor es el cuerpo de la cuerda, tanta mas cantidad de ayre mueve quando es herida, y tanto quanto menor, tanto menos cantidad de ayre mueve.⁸⁴

De la combinación de las dos características observadas anteriormente, es decir, del tamaño que tenga la cuerda y de cómo la masa de aire es movida por aquella en proporción a su tamaño, se deriva la circunstancia de que una cuerda que sea más larga que otra, suponiendo que ambas tengan el mismo grosor y estén sometidas a la misma tensión, pondrá en movimiento una cantidad de aire mayor debido a la mayor superficie de contacto que tiene con la masa de aire, como asegura Mersenne. Por otro lado, en el caso de ser ambas cuerdas de igual longitud, si la primera es más gruesa moverá más masa de aire que la que sea más delgada:

Quant a la longueur, on peut dire que de deux chordes esgales en grosseur, celle qui est plus longue et qui neantmoins est à l'unisson de l'autre, fait un son plus grand en longueur, parce qu'elle frappe d'avantage d'air, à raison qu'elle en frappe un plus long, [...] quand une plus grosse chorde frappe l'air, comme il arrive aux grosses chordes de luth, elle bat une plus grande surface d'air, qu'une chorde plus deliée de mesme longueur, mais la solidité de l'air qui respond à ladite surface est aussi plus grande, et consequemment la solidité accompagne tousiours la largeur.⁸⁵

Para Nassarre, las características y, sobre todo, el volumen del cuerpo de dichas cuerdas determinarían, además de la cantidad de masa de aire que sean capaces de mover, la naturaleza del sonido que produzcan; así, la cuerda más delgada o más corta, que producirá un sonido más agudo, moverá una cantidad de aire menor (aunque más rápidamente) que una más gruesa y viceversa; otra más gruesa moverá más cantidad de aire más lentamente, produciendo un sonido más grave:

Y en las cuerdas la que tiene el sonido agudo mueve poco ayre, cuando es herida, porque es pequeño cuerpo, así en longitud, como en latitud, y las que forman el sonido grave, son sus

⁸⁴ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones de los Instrumentos musicos en general*, p. 457.

⁸⁵ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *De la nature et des proprietez du son*, PROPOSITION VII, pp. 12-13: «En cuanto a la longitud, se puede decir que de dos cuerdas iguales en grosor, aquella que es más larga y que está al unísono con la otra, hace un sonido mayor en longitud, porque ella golpea con ventaja el aire, por razón de que ella lo percute en una más larga [...]. Cuando una cuerda más gruesa percute el aire, como ocurre con las cuerdas gruesas del laúd, ella bate una superficie de aire más grande que una cuerda más delgada de la misma longitud, pero la masa del aire que responde a dicha superficie es también más grande, y consecuentemente la masa acompaña siempre a la longitud».

cuerpos más largos, y mas gruesos, y por eso mueven más ayre, y en más tiempo, por ser cuerpos más pesados.⁸⁶

En el caso de que haya varias cuerdas en un instrumento y de ser todas de igual longitud, Nassarre asegura que será el grosor de la cuerda el que determine la altura del sonido que produzca, o dicho de otra forma, la proporción de grosor que guarden entre ellas determinará el intervalo de sonido que generen:

Digo de las vihuelas, guitarras, violines, vihuelas de arco, y de todos los demas instrumentos, que tienen las cuerdas en longitud iguales (digo en la formación de un sonido de puente a puente) que la proporcion que devan guardar en orden a la gruesez, ha de ser la misma de la consonancia en que estan, como en la guitarra española, que la prima forma tercera mayor con las terceras, la qual consonancia es de la proporcion superbipartiens tercias, que se halla de 5 a 3, esta es proporcion armonica discreta; la misma proporcion se ha de guardar en la diferencia de la gruesez de las cuerdas, y esta es geometrica, porque es continua. Y para que esten en su justa cantidad, de cinco partes que tenga de gruesez la tercera, ha de tener tres la prima.⁸⁷

Esta adecuación que debe guardar la proporción del grosor de las cuerdas con la del intervalo que generan, la advierte también en el siglo XVII el físico y matemático Giordano Ricatti, hablando de las cuerdas del violín (en la fórmula abajo ‘M’ es la masa de la cuerda y ‘T’ el tiempo de vibración):

Due corde prossime del violino formano quinta, e perciò M:m::T:t::3:2,, proporzione, in cui hanno da corrispondersi le grossezze di due corde vicine nel mentovato stromento (*Schediasma*, VI).⁸⁸

La proporción de grosor que han de guardar las cuerdas entre sí, según Ricatti, ha de estar además en relación directa con la frecuencia de la vibración que ellas produzcan:

Le grosseze adunque delle corde hanno da riferirsi nella proporzione dei tempi delle loro vibrazioni, e l'esperienza fatta sopra le corde del violino mi ha resto certo, che la pratica si conforma colla teorica (*Prefazione*, XIII).⁸⁹

Entre los instrumentistas de cuerda existía mucha flexibilidad a la hora de seleccionar el grosor o la tensión de las cuerdas para un instrumento y el método que usaban para ello era de prueba empírica, como se observa en las recomendaciones para encordar laúdes de John Dowland⁹⁰ y

⁸⁶ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VII, *De las diferencias que ay entre el sonido grave y agudo*, p. 23.

⁸⁷ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. VI, *De cómo se hallan en la musica, muchas quantidades continuas, y Geometricas*, p. 401.

⁸⁸ Giordano Ricatti, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche fiscomatematici del conte Giordano Riccati nobile trevigiano*, *Schediasma VI*, Bologna, [Sa]n Tommaso d'Aquino, 1632; ed. facsímil: London, Lightning Source UK Ltd, 2011, p. 130: «Dos cuerdas próximas del violin formando quinta, y por tanto M:m::T:t::3:2, proporción, en la cual han de corresponderse el grosor de dos cuerdas vecinas en el mencionado instrumento».

⁸⁹ Giordano Ricatti, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche...*, *Prefazione*, XIII: «El grosor de las cuerdas han de referirse aún en la proporción de los tiempos de sus vibraciones, y la experiencia hecha sobre las cuerdas del violín me ha dejado cierto, que la práctica se conforma con la teoría».

⁹⁰ John Dowland, *Other Necessary Observations belonging to the Lute*, en Robert Dowland, *Variety of lute lessons*, Londres, Thomas Adams, 1610, ff. D-D2.

Tomas Mace⁹¹, entre otros. En el caso de las cuerdas graves, no es necesario que éstas tengan tanta tensión como las cuerdas agudas para su funcionamiento acústico; de hecho, el incremento de la rigidez del material que acusan en la medida en que éstas son más gruesas, las hace menos flexibles y, por lo tanto, menos sonoras. Riccatti afirma al respecto, tras haber examinado las cuerdas en diversos clavicémbalos y espinetas, entre ellos un ejemplar construido en el año 1559, que las cuerdas graves eran un poco más cortas de lo que debieran ser en relación con sus frecuencias de vibración, y de ahí deducía que las cuerdas graves estaban un poco menos tensas que las agudas en proporción a su grosor:

Preso ad esaminare un gravicembalo lavorato da Vito de' Trasuntini l'anno 1559, ho trovato, che le grossezze delle corde stanno quasi esattamente di mezzo fra I due stabiliti confini, e che le predette corde acquistano eguali forze vive, mentre che oscillano. In tutti gravicembali, e le spinette da me osservati, poste al parangone le corde gravi colle acute, le ho rinvenute alquanto più corte di quello richiede la proporzione fra I tempi delle loro vibrazioni. Da ciò ne nasce la conseguenza, che le corde gravi relativamente alle loro grossezze sono un po meno tese delle corde acute (*Prefazione*, XIII).⁹²

3.1.1. Tipos de cuerdas de tripa según su función o registro

Los diferentes usos –en registros y funciones acústicas– que se den a las cuerdas de un instrumento, exigirán diferentes características y prestaciones mecánicas o vibratorias de su material para su óptimo comportamiento. Una de las características que debería poseer una cuerda de tripa para producir sonidos agudos, además de ser delgada o tener menos cuerpo, es la de tener un alto rendimiento o resistencia mecánica, mientras que para registros medios o graves el factor que debería acompañar al mayor grosor de la cuerda es el de tener mayor flexibilidad, y, por tanto, menor coeficiente de rigidez del material. Para satisfacer estas necesidades específicas ya resolvieron los antiguos fabricar cuerdas de diferentes características con tripas de diversas clases.

Según la información extraída de unas actas notariales sobre las actividades del gremio de maestros de hacer cuerdas de tripa en Roma durante los siglos XVI y XVII, recopilada por Patrizio Barbieri,⁹³ las tripas o intestinos usados para fabricar las cuerdas primas o *cantarelás*, eran las de cordero de no más de un año de edad, llamado en Italia *agnello*, ya que las cuerdas

⁹¹ Thomas Mace, *Musiks Monument*, Londres, T. Ratcliffe & N. Thompson, 1676: *Second Part, The lute made it easy*, pp. 65-68.

⁹² Giordano Riccatti, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche...*, *Prefazione*, XIII: «Puesto a examinar un clavicémbalo hecho por Vito de Trasuntini en el año 1559, he encontrado que el grosor de las cuerdas estaba casi exactamente en medio entre los dos límites establecidos, y que las dichas cuerdas poseían iguales fuerzas vivas, mientras oscilan. En todos los clavicémbalos y las espinetas observadas por mí, puestas en comparación las cuerdas graves con las agudas, las he encontrado más bien un poco más cortas de lo que requiere la proporción de sus tiempos de vibración. De lo que nace la consecuencia, que las cuerdas graves relativamente a su grosor son un poco menos tensas que las cuerdas agudas».

⁹³ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», *Studi Musicali*, XXXV.1 (2006), pp. 3-128, *Appendix 2*, pp. 71-128.

fabricadas con este material tienen como propiedad combinar la máxima delgadez del calibre con la mayor resistencia mecánica.⁹⁴

Las cuerdas de registro medio o *tenori*, sin embargo, se fabricaban de intestinos de corderos de más de tres años de edad; *castrato o pecora*, compuestas de dos hilos o hebras, y los bordones y los bajos, *bordoni e bassi*, se fabricaban de intestinos de corderos adultos y cabras de más de tres años; así como los *pecore y capre*, compuestos de tres, cuatro y cinco hebras:

Et le budelle dellei castrati li debba fare ò tenori di doi fili [...], et delle pecore et capre farne bordoni et bassi di tre ò quattro fila.⁹⁵

Item convengono che delle capre, et pecore esso ms. Rosato debbia fare li bordoni e bassi di tre, di 4 et di 5 et ducento dozzine di tenore di pecora di due fila quali sono compresi in detta vendita.⁹⁶

Para el registro medio y agudo, existía también un tipo de cuerdas reforzadas (*rinforzati*), que se elaboraban mediante alta torsión. Este procedimiento les otorgaba un incremento en la flexibilidad y, por tanto, una reducción de la rigidez para lograr así una óptima respuesta vibratoria, aunque el sonido producido no fuera tan intenso o tan puro. Registros sobre la existencia de la fabricación de este tipo de cuerdas se encuentran ya desde 1599 en el Archivo del Estado de Roma: «cento dozzine di corde di leuto, cioè tenori e canti renforzati; 52 cordoni grossi»,⁹⁷ o en 1657 en la Biblioteca Nacional de Madrid: «Dos docenas de bordoncillos para segundas y terceras del violin... para el violin medio mazo de cuerdas renforzadas, otro medio de bordoncillos gordos y delgados».⁹⁸

Otro posible procedimiento de elaboración de cuerdas adecuadas para registros medios es el del trenzado. En Ugolino de Orvieto, activo hacia mediados del siglo XV, encontramos información sobre cuerdas de tripa trenzadas de manera diferente a las de superficie lisa. En ellas (*nervus rotundus uniformiter difformiter*) el calibre se deforma en intervalos equidistantes haciéndolas más elásticas y resistentes, aunque produciendo un sonido menos incisivo que en las ordinarias o *nervus rotundus uniformiter* (véase Apéndice de citas II).⁹⁹

Algunos autores como John Dowland¹⁰⁰ o Tomas Mace¹⁰¹, hacen mención a este uso de diferentes tipos de cuerdas, de diversa naturaleza y procedencia, según el registro o función que se le dieran en el instrumento. Estos tipos de cuerdas eran: para las cuerdas delgadas y

⁹⁴ Ibídem, p. 5.

⁹⁵ Ibídem, p. 82, fuente: Roma, Archivio di Stato, notai capitolini 30, v. 84, f. 215, año 1617: «y de las tripas de los castrati deben hacer los tenori de dos hilos..., y de los pecore y cabras se harán bordones y bajos de tres o cuatro hilos».

⁹⁶ Ibídem, p. 82, fuente: Roma, Archivio di Stato, notai capitolini 30, v. 88, f. 20, año 1618: «conviene que de las cabras y pecore el señor Rosato debe hacer los bordones y bajos de tres, de 4 y de 5 y doscientas docenas de tenores de pecore de dos hilos los cuales son comprendidos en esta venta».

⁹⁷ Ibídem, p. 78, fuente: Roma, Archivio di Stato, notai capitolini 28, v. 47, f. 92, año 1599: «cien docenas de cuerdas de laúd, de las cuales tenores y primas reforzadas; 52 cordoni (bordones) gruesos».

⁹⁸ Ibídem, p. 164, fuente: Madrid, Biblioteca Nacional de España, Ms. 14047/184, año 1657.

⁹⁹ Ugolinus Urbevetanus, *Declaratio musicae disciplinae...*, L. V, cap. IX, *De cordarum seu nervorum instrumentalium subtilitate et grossitatem*, pp. 114 y *septima conclusio*, pp. 115-116.

¹⁰⁰ John Dowland, *Other Necessary Observations belonging to the Lute*, en Robert Dowland, *Variety of lute lessons...*, ff. D-D2.

¹⁰¹ Thomas Mace, *Musiks Monument...*, Second Part, *The lute made it easy*, pp. 65-68.

procedentes de Alemania, los ‘Monnekin’ o ‘minikin’ y ‘Mildorpe’, para los registros medios los ‘Venice Catlins’ –fabricados en Lombardía y enviados a Venecia–, y para las cuerdas graves o bajos procedentes de Nurenberg o Strassburgo, los ‘lyons’ o los ‘pistoys’, estos últimos teñidos de un color rojo oscuro, según Mace.¹⁰² Estos datos sobre la práctica del uso de cuerdas en los tratados teóricos se pueden contrastar con el registro de la existencia de estas cuerdas en las actas de los archivos notariales, como los mencionados del archivo del estado de Roma o el ‘Legado Barbieri’ de la Biblioteca Nacional de Madrid.¹⁰³ A este respecto las investigaciones de Patricio Barbieri¹⁰⁴ o Mimmo Peruffo¹⁰⁵ sirven de referencia.

Respecto a los registros más graves, en los archivos estatales romanos encontramos, recopilados por P. Barbieri, testimonios de la fabricación de cuerdas gruesas de tripa pura de animales viejos, *castrati y pecore*, para las cuartas del violín («et anco bassi grossi per quarte di violino»), fechados en 1677 e incluso en 1743:¹⁰⁶

Item si dichiara, che le corde grosse fatte di castrato, e pecore siano tenuti essi venditori di farne primieramente corde dette mezzane di chitarra, e tenori à due fila, et anco à tre fila, et anco bassi grossi per quarte di violino.¹⁰⁷

[...] quaranta di mazzi di quarte migliori tutte bianche.¹⁰⁸

De estos datos se puede concluir que, incluso a mitad del siglo XVIII, había algunos instrumentistas que usaban exclusivamente la tripa para encordar todo el instrumento.

Esta información sobre tipos de cuerdas según su uso específico la podemos contrastar con una documentación sobre encargos de cuerdas realizados para los músicos de la Capilla Real registrados en España en 1665.¹⁰⁹

En la lista de retribuciones correspondientes a Antonio de Zulueta por el trabajo realizado como violero de la Capilla Real en Madrid entre los años 1657 y 1665 (véase Tabla I)¹¹⁰,

¹⁰² Ibídem, p. 66.

¹⁰³ Mimmo Peruffo: «The mystery of gut bass strings in the 16th and 17th centuries: The role of loaded-weighted gut», Vol. XXIX nº 2, May 1994, *Lute Society of America Quarterly*, pp. 5-14.

¹⁰⁴ Patricio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», *Studi Musicali*, XXXV.1 (2006), pp. 3-128 y «Roman and Neapolitan Gut Strings 1550-1950», *The Galpin Society Journal*, vol. 59 (may, 2006), pp. 147-181.

¹⁰⁵ Ver los estudios a este respecto de Mimmo Peruffo: «The mystery of gut bass strings in the 16th and 17th centuries: The role of loaded-weighted gut», Vol. XXIX nº 2, May 1994, *Lute Society of America Quarterly*, pp. 5-14.

¹⁰⁶ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005»..., Appendix 2, pp. 100 y 108.

¹⁰⁷ Ibídem, p. 100, fuente: Roma, Archivio di Stato, notai capitolini 16, v. 140, f. 729, año 1677: «Asimismo, se declara que las cuerdas gruesas hechas de castrato y pecore se exija a los vendedores que se hagan primeramente cuerdas medias de guitarra, y tenores de dos hilos, y también de tres hilos, y también bajos gruesos para cuartas de violín».

¹⁰⁸ Ibídem, p. 108, fuente: Roma, Archivio di Stato, notai capitolini 10, f. 244, año 1743: «cuarenta mazos de cuartas mejor todas blancas».

¹⁰⁹ Asenjo Barbieri, Francisco, *Biografías y Documentos sobre Música y Músicos Españoles*, (Legado Barbieri), ed. Emilio Casares, vol. I, Madrid, Fundación Banco Exterior, 1986, p. 509, Fuente: *Legado Barbieri*, Madrid, Biblioteca Nacional, MSS. 14.047¹⁷⁹⁻²⁰¹

¹¹⁰ Registro de retribuciones al trabajo de Antonio de Zulueta como violero de la Capilla Real entre 1657 y 1665, en cartas de pago para el señor Agustín Ximénez, tesorero de dicha capilla, por Domingo de Zulueta testamentario y heredero de dicho violero, 31 de agosto de 1665, en Asenjo Barbieri, Francisco, *Biografías y Documentos sobre Música y Músicos Españoles*..., pp. 509-19.

aparecen registradas las entregas a varios músicos¹¹¹ de la Capilla de 144.5 mazos y gruesas, 95.5 macitos, 66 madejas, 36 docenas y unos 43 encordados, todos ellos de cuerdas para sus instrumentos (aproximadamente un total de más de 2376 docenas de cuerdas).¹¹²

Las anotaciones se registran cada tercio de año y comienzan con el título: «Cuenta con Antonio Zulueta, violero de la Real Capilla de S. M. de las cuerdas e instrumentos que tiene dados y aderezados por orden de su Ilma. El señor patriarca en el segundo tercio y último de este año de 1660». ¹¹³

Entre los tipos de cuerdas figuran: cuerdas de Roma, cuerdas de Florencia, cuerdas reforzadas, bordones, bordoncillos delgados, bordones gruesos, bordoncillos de dos hilos, de tres hilos, de cuatro, de seis, de ocho y hasta una madeja de bordones de cincuenta hilos.

Tabla 1 Cuerdas registradas en la Capilla Real de Madrid entre 1657 y 1665						
	Macitos	Mazos	Gruesas	cuerdas	madejas	docenas
Cuerdas de Roma	56	25				
Cuerdas de Florencia	0.5	45	8			7
Reforzadas (Roma)	21	15.5		1		10
primas				1	8	
segundas					2	
cuerdas	15.5	18	0.5	3	2	9
encordado		1		17		
Bordoncillos delgados		4.5	1	10		9
Bordoncillos de 2 hilos		0.5	1			
Bordoncillos de 3 hilos		0.5				
Bordoncillos de 4 hilos		0.5			1	
Bordoncillos de 6 hilos					12	
Bordoncillos de 8 hilos					5	
bordones	2.5	18	4.5	11	35, 1(50 hilos)	1
TOTAL	95.5	129.5	15	43	66	36

¹¹¹ Músicos de la Capilla Real que figuran citados en esta lista: Francisco de Baldés (Lira), Juan Hidalgo (arpa y claviarpa), Francisco Hidalgo, Cornelio Segre (violón), Lucas de Gabriel (violín), Bernabé del Vado (violín), Martín Gómez (violín), Bartolomé del Vado (violones), Juan del Vado (violín, arpa), Tomás Gallo (violín), Leandro (arpa), Martinico (arpa), Filiberto van Breque (archilaúd), Guillermo Beronés (vihuela), Carlos Patiño (guitarra), Martín de Armendariz, Lucas de Gabriel (violín) e Ignacio Cert (vihuelas de arco, violín).

¹¹² De estas unidades de medida de comercialización al por mayor, la gruesa equivalía a 12 docenas, que son 144 unidades, y el mazo, era una unidad indeterminada de cantidad que podía equivaler aproximadamente a una gruesa; como se ve en el registro que dice: “dos mazos de cuerdas de Roma de a doce docenas cada uno” (Asenjo Barbieri, Francisco, *Biografías y Documentos sobre Música y Músicos Españoles...*p. 514), y también a juzgar por el precio del producto; 42 reales el mazo de Florencia y 38 el de Roma en ambos casos. El macito de cuerdas equivaldría a la mitad de un mazo, que valía 21 reales el de cuerdas de Florencia y 18 el de Roma, ver Asenjo Barbieri, *op.cit.*, pp. 509-519.

¹¹³ Asenjo Barbieri, Francisco, *Biografías y Documentos sobre Música y Músicos Españoles...*, p. 509.

Las cuerdas procedentes de Florencia eran notablemente más caras que las procedentes de Roma –42 reales el mazo de Florencia y 38 el de Roma– , hecho que hace pensar que fueran más valiosas o apreciadas por los músicos seguramente por su calidad.

El tipo de cuerdas reforzadas se entrega mayoritariamente a los músicos Bernabé del Vado, Juan del Vado, Martín Gómez o Tomás Gallo para el violín o el violón, y también a Francisco de Valdés para su lira y Juan Hidalgo para su arpa. En ocasiones se especifica «reforzadas de Roma», como se ve en el registro en el que figura la entrega a Don Ignacio (músico de bigüelas de arco) de «medio mazo de cuerdas reforzadas de Roma» en el tercio segundo del año 1659.¹¹⁴

Las cuerdas llamadas bordones o bordoncillos, en todas sus clases o grosos –delgados, gruesos, de dos, tres, cuatro, seis, ocho o cincuenta hilos–, aparecen claramente separados del resto de cuerdas en las entregas, por lo que su uso tenía otro fin que el de éstas. Además se especifican madejas o mazos para primas, segundas, terceras o cuartas etc., distinguiendo un tipo de cuerda particular para un tipo de uso específico, como se lee en la entrega al señor Cornelio Segre de «unas cuerdas para primas del violón» en 1660, o «dos madejas para primas y dos de segundas» a Tomás Gallo y «dos madejas de primas...un macito de cuerdas reforzadas...y unos bordones gordos para tercera» para la vihuela de arco de D. Ignacio Cert en 1658.¹¹⁵

Particularmente, la mención al número de hilos en la composición de los bordones es muy relevante a la hora de comparar los grosos y características de los diferentes tipos de cuerdas en uso. Estos datos se pueden contrastar con los que figuran en el Archivo del estado de Roma citados en las páginas anteriores. En la lista de cuentas del violero Zulueta figura que se entregan «media gruesa de bordoncillos de dos hilos...» a Francisco Baldes (1660),¹¹⁶ «bordoncillos de dos hilos» a Juan Hidalgo (1658),¹¹⁷ «otro medio de bordoncillos de a tres, otro medio de bordoncillos de a cuatro» a Juan Hidalgo (1659),¹¹⁸ «dos madejas de cuerdas gordas de seis y de ocho» a Tomás Gallo (1658),¹¹⁹ «una madeja de bordones de a ocho hilos» a D. Ignacio Cert (1657),¹²⁰ «dos madejas de ocho hilos para tercera y cuarta del violón» al mismo Cert (1659),¹²¹ y especialmente reveladora «una madeja de bordón de a 50 hilos» a Tomás Gallo para el violón (1664).¹²²

Este dato de una cuerda de tripa compuesta de 50 o más hilos (hebras o tripas), coincide con la mención que hace Mersenne al bordón grave para la sexta cuerda de la viola de arco.¹²³

En muchas ocasiones se puede ver esta preferencia de los músicos al escoger ciertos tipos de cuerdas para sus instrumentos. Por ejemplo encargaban:

¹¹⁴ Ibídem, p. 519.

¹¹⁵ Ibídem, p. 517.

¹¹⁶ Ibídem, p. 509.

¹¹⁷ Ibídem, p. 517.

¹¹⁸ Ibídem, p. 519.

¹¹⁹ Ibídem, p. 516.

¹²⁰ Ibídem, p. 515.

¹²¹ Ibídem, p. 518.

¹²² Ibídem, p. 514.

¹²³ Ver cita 206 de Marin Mersenne (*Harmonie universelle...*), en el capítulo 3.2.1.

«bordoncillos delgados para segundas de los violones» (Bartolomé del Vado, 1658),¹²⁴ «bordones para segundas y terceras de los violones» (Martín Gómez, 1658), «cuerdas de Florencia que escogió para la claviarpa» (Juan Hidalgo, 1658), «bordones gordos para tercera» (D. Ignacio, 1658), «cuerdas reforzadas para el violon...bordoncillos delgados para segundas de los violones» (Bartolomé del Vado, 1658),¹²⁵ «medio mazo de cuerdas reforzadas para el violón...y unos bordoncillos para segundas» (Lucas Gabriel, 1658),¹²⁶ «un mazo de cuerdas reforzadas y medio mazo de bordones para segundas de bigüelas...y mas dos madejas de ocho hilos para terceras y cuartas del violón» (D. Ignacio, 1659),¹²⁷ «bordoncillos para segundas del violín» (Martín Gómez, 1659),¹²⁸ «para la lira...un mazo de cuerdas de Florencia y medio mazo de bordoncillos delgados» (Francisco Valdés, 1659),¹²⁹ «para la lira dos macitos de cuerdas de Roma... media gruesa de bordoncillos de dos hilos...» (Francisco Baldés, 1660),¹³⁰ «para el violín un macito de cuerdas reforzadas de Roma » (Bernabé del Vado, 1659),¹³¹ «bordones gruesos para el violón» (Cornelio Segri, 1661),¹³² «para el arpa un mazo de cuerdas de Florencia» (Martinico, 1662), «cuerdas de Florencia para la lira... un mazo de cuerdas de Florencia y otro de bordoncillos (Francisco de Valdés, 1661 y 1662),¹³³ «cuerdas reforzadas para el violín» (Martín Gómez, 1662), «cuerdas de Florencia para el arpa» (Martinico, 1662), «la lira...un mazo de cuerdas reforzadas de Roma» (Francisco de Valdés, 1662), «para el archilaúd un mazo de cuerdas de Florencia y medio de bordoncillos (Filiberto, 1662),¹³⁴ «para el arpa dos macitos de cuerdas de Roma» (Martinico, 1662), «cuerdas de Roma para la lira» (Francisco Valdés, 1663), «para el violón una encordadura de bordones» (Tomás Gallo, 1663),¹³⁵ «para los violones un mazo de bordones gordos y otro de cuerdas reforzadas», (Tomás del Gallo, 1664), «para los violones un mazo de bordones gordos y otro de cuerdas reforzadas» (Bernabé del Vado, 1664), «para el arpa y la claviarpa tres mazos de cuerdas de Roma y uno de bordones» (Juan Hidalgo, 1665), «un mazo de cuerdas reforzadas para su vigüela» (Guillermo Baronés, 1665),¹³⁶ «Dos macitos de cuerdas de Roma para la claviarpa» (Juan Hidalgo, 1657), «para el arpa en el año de 1657...dos mazos de cuerdas de Roma...un macito de cuerdas reforzadas de Roma» (Francisco Hidalgo, 1657), «un mazo de cuerdas reforzadas y unos bordones para los violones» (Martín Gómez, 1657),¹³⁷ «un macito de cuerdas de Roma [dos guitarras]» (Juan Hidalgo, 1658), «cuerdas de Roma para el archilaúd» (Filiberto Manbrace, 1658), «un macito de cuerdas reforzadas, media gruesa de bordones para segundas y terceras de los violones...» (Martín Gómez, 1658).¹³⁸

¹²⁴ Asenjo Barbieri, Francisco, *Biografías y Documentos sobre Música y Músicos Españoles...*, p. 517.

¹²⁵ Ibídem.

¹²⁶ Ibídem.

¹²⁷ Ibídem, p. 518.

¹²⁸ Ibídem.

¹²⁹ Ibídem, p. 519.

¹³⁰ Ibídem, p. 509.

¹³¹ Ibídem, p. 519.

¹³² Ibídem, p. 511.

¹³³ Ibídem.

¹³⁴ Ibídem, p. 512.

¹³⁵ Ibídem, p. 513.

¹³⁶ Ibídem, p. 514.

¹³⁷ Ibídem.

¹³⁸ Ibídem, p. 517.

En ocasiones, a un solo músico se le llegan a dar hasta dos mazos de cuerdas y uno de bordones cada tercio de año aproximadamente para sus instrumentos, como es el caso de Juan de Valdés entre el primer y segundo tercio del año 1662.¹³⁹

Este dato, junto al de que a veces se enceraban los arquillos también cada tercio de año¹⁴⁰, aproximadamente, nos dan idea de la gran actividad de música instrumental que había en la Capilla Real de Madrid en esta época.

3.1.2. Punto de ruptura de la cuerda¹⁴¹

El sistema que se usaba en la práctica para afinar una vihuela era el de tensar las cuerdas de forma que se llevara al límite de ruptura la cuerda prima, como se observa en la recomendación del vihuelista Luis Milán. Esta manera de proceder puede tener varias explicaciones; una de ellas podría ser que, consiguiendo subir al máximo el límite del registro agudo tensando la cuerda más delgada todo lo que esta permita, los graves queden tan altos que su respuesta acústica sea óptima, debido a que se reducen los inconvenientes ocasionados por la rigidez y la poca flexibilidad del material al poder usar cuerdas de calibre más delgado:

En cuanto a lo primero que es dar su verdadera entonación a la vihuela para que esté bien templada [...] subiréys la prima tan alto quanto lo pueda suffrir: y después templaréys las otras cuerdas al punto de la prima (*Declaración*, f. iijv).¹⁴²

Otra explicación, esta dada por Ricatti, consiste en que llevando la cuerda al límite de tensión que pueda soportar, ofrece sus máximas capacidades de rendimiento mecánico-acústico, transmitiendo a las partículas que la componen una vibración muy viva y «espirituosa»:

Le corde sonore vogliono esser tese sì fattamente, che per poco che si accresca la loro tensione, si rompano [...] e quindi sì fatte corde di varia grossezza si debbono stirare con forze proporzionali alle loro basi. Il gagliardo distendimento delle corde rende viva, e spiritosa la palpitazione delle parte minime componenti esse corde, nella quale il sono principalmente consiste.¹⁴³

El límite en el punto de ruptura de una cuerda se podía aumentar incrementando el número de hilos de tripa que la componen sin que signifique necesariamente que la cuerda sea más gruesa; es decir, al aumentar el número de las fibras se la hace más resistente que otra del mismo grosor compuesta de menos hilos de tripa, como atestigua un documento de 1786, citado por Barbieri,

¹³⁹ Ibídem, p. 511.

¹⁴⁰ “echado cordas a un arquillo” a Tomás Gallo, en Ibídem, p. 511 y 512.

¹⁴¹ Sobre el concepto de ruptura véase Mimmo Peruffo, «The mystery of gut bass strings in the 16th and 17th centuries: The role of loaded-weighted gut», Vol. XXIX nº 2, May 1994, *Lute Society of America Quarterly*, pp. 5-14.

¹⁴² Luis Milán, *Libro de mvfica de vihuela de mano. Intitulado El maefiro...*, *Declaración*, f. iijv, Valencia, Francisco Díaz Romano, 1536; ed. facsímil: Madrid, Sociedad de la Vihuela, 2008.

¹⁴³ Giordano Ricatti, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche...*, *Schediasma VI*, p. 122: «Las cuerdas sonoras quieren estar tensas de forma, que por poco que se incremente su tensión, se rompan [...] y entonces se hacen cuerdas de varios grosores se deben tensar con fuerzas proporcionales a sus bajos. El gallardo distendimiento de las cuerdas otorgan viva y espirituosa la palpitación de las partes minimas de las cuerdas, en las cuales consiste principalmente el sonido».

donde el laudero Giovanni Antonio Marchi compara la resistencia una cuerda así elaborada con la dureza de la madera de abeto compuesta de muchas vetas finas:¹⁴⁴

La natura stessa ci dimostra, che l'abete di vena fina è più forte, perchè è composto di più linee, e così pure la tela benchè sia sotile è di Maggior durata, come pure una corda, che parimente sia composta di più fili, di quello sia un'altra Della stessa grossezza, ma di meno fili.¹⁴⁵

3.1.3. La cuerda falsa

Si las cuerdas son el lugar donde se genera el sonido en los instrumentos de cuerda, las imperfecciones que pueda haber en ellas, tanto en su composición como en su morfología, afectarán a la calidad o perfección del sonido que produzcan.

Es importante que la proporción que guarden los gruesores de las diferentes cuerdas de un instrumento entre sí sea correcta. Afirma Nassarre que, de lo contrario, podría producirse un resultado acústico no deseado, un sonido «oscuro»:

Tambien advierto, que la causa de tener algunos sonidos obscuros, consiste en no guardar la proporcion la cuerda en su gruessez, segün debe corresponder a la de su longitud; y esta es la diferencia que halla el oido.¹⁴⁶

La proporción que debe guardar el grosor con respecto a la longitud de la cuerda influye, por lo tanto, también en el sonido que produce dicha cuerda, siendo este último imperfecto, «oscuro», según Nassarre, en caso de ser la cuerda más gruesa en proporción a su longitud, y «tenue» en caso contrario:

Si la cantidad de la gruesez de una cuerda no correspondiere en la devida proporcion con la de la longitud, no serà el sonido de ella perfecto, o tan sonoro; porque si excediere la cantidad en la gruesez, serà oscuro, y si es menos, será muy tenue.¹⁴⁷

Siguiendo a Nassarre, para que las proporciones de grosor entre las cuerdas funcionen correctamente, no solo es necesario fijar como constante la longitud de la cuerda, sino también las propiedades del material con las que están fabricadas, aunque de este tema se hablará con más detalle en el apartado dedicado al material de las cuerdas (apdo. 3.2):

¹⁴⁴ Patrizio Barbieri, «Roman and Neapolitan Gut Strings 1550-1950», *The Galpin Society Journal*, vol. 59 (2006), p. 166.

¹⁴⁵ Roberto Regazzi, *Il manoscritto liutario di G. A. Marchi*, Bologna, 1786, ed. Sala Bolognese, Bologna, Forni, 1986, pp. 68-71: «La naturaleza misma que demuestra que el abeto de veta fina es más fuerte porque está compuesto de más líneas, y por lo que la tela aunque sea fina es de mayor durabilidad, así como lo es una cuerda que igualmente sea compuesta de más hilos que lo sea otra del mismo grosor, pero de menos hilos».

¹⁴⁶ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. VI, *De proporciones, De cómo se hallan en la musica, muchas quantidades continuas, y Geometricas*, p. 403.

¹⁴⁷ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. I, *En que se trata de la cantidad continua y discreta generalmente*, p. 361.

Las vihuelas [...] la materia de que son las cuerdas, pues en todos estos instrumentos se practican de nervio, como en el arpa [...] lo mismo que digo para uno, se ha de entender para todos.¹⁴⁸

Nassarre emplea aquí el término «nervio» probablemente por influencia de los textos latinos («nervum»), pero se puede ver claramente que se refiere a la tripa o intestino de animal, ya que en otro pasaje de su *Escuela Musica*, expone como causa de salir el sonido «oscuro» o salir falsa la cuerda el que los intestinos no estén «bien purificados» o limpios de grasa «cuando se tuercen» para elaborarla. Respecto a este material del que se componen las cuerdas, afirma que debe también tener virtud simpática o estar en proporción igual con las cualidades del aire, vehículo transmisor del sonido pues, de lo contrario, saldría el sonido imperfecto:

En las cuerdas, como tener una el sonido obscuro, o ser falsa [...] La causa de salir falsas muchas de las cuerdas, que vulgarmente llamamos de vihuela, [...] La primera el no estar purificados bien los intestinos, cuando se tuerçen; pues cualquiera porcion crassa, por leve que sea, que quede, hara todo aquel continente de la cuerda falsa el sonido [...] La segunda causa es, no estar en igual proporción las cualidades de la materia, con las del ayre. Las cualidades del ayre son calor y humedad, y estas mismas han de tener todos los cuerpos sonoros; pues por la similitud de la proporción con el ayre tienen la virtud simpática de lo armónico. [...] y porque sucede, o por accidente de la res, o de aqueya parte suya donde se fabrica la cuerda, tener algunos grados más o menos de calor, o de humedad, que el ayre disconviene con el, no hallándose en la devida proporción: y como el sonido es calidad que se deduce del ayre, y del cuerpo herido, y el oido recibe esta calidad del ayre, de aquí sale en que percibiendo el oido esta calidad infecta, nota su imperfección por no poderse proporcionar con semejantes sonidos la potencia auditiva.¹⁴⁹

Una manera de comprobar empíricamente si la cuerda es falsa o no antes de probarla en el instrumento, la encontramos descrita desde principios del siglo XVI en autores como Sebastian Virdung,¹⁵⁰ Hans Gerle,¹⁵¹ o Silvestro Ganassi.¹⁵² El método sugerido por este último, por ejemplo, consistía en hacer vibrar la cuerda «percutiéndola» con un dedo mientras se la sujetaba por los extremos con ambas manos. La forma de la onda que ésta describía al vibrar determinaba la calidad de la cuerda, siendo falsa si no definía dos arcos nítidos paralelos, tremolando de forma que afectaba a su armonía, como si estuviera enferma:

Modo di conoscere la corda falsa.— Auertisse che uolendo conoscere l'effetto della corda falsa tu teneria l'ordine medemo de quanto el tenir & percotere la ditta corda disopraditto & domostrato & se la corda sera falsa la fara uno effetto contrario de quello della corda giusta che si come la corda giusta e conosciuta nel moto ouer effettosuo causar due virgole espicate da uno capo al altro della corda con bona fermezza & il corpo suonetissimo apparente come un ombra l'effetto de la corda falsa fara piu uirgole & non ferme mas era tremante simile al paralitico lequal uirgole te dimostra

¹⁴⁸ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, p. 461.

¹⁴⁹ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VII, *De las diferencias que hay entre El sonido grave, y el agudo*, p. 24.

¹⁵⁰ Sebastian Virdung, *Musica Getutscht*, Basilea, Michael Furter, 1511; ed. facsímil: Leo Schrade, Kassel, Bärenreiter, 1931.

¹⁵¹ Hans Gerle, *Musica Teusch auf die Instrument der grossen und kleinen Geygen auch Lautten*, Nürnberg, Formschneider, 1532.

¹⁵² Silvestro Ganassi, *Lettione seconda*, Venezia, 1543.

ouer significa una simile infermeza & non fermeza come nell' effetto de la corda giusta, dellaqual infermezza falsi manifesta il simile essere nella sua armonia (cap. II, f. B).¹⁵³

El método de reconocer la cuerda falsa propuesto por Sebastian Virdung, también consiste en hacerla vibrar pulsándola mediante el pulgar, mientras se sujetla con ambas manos por los extremos. La reacción de la cuerda a este movimiento determina si ésta es falsa o buena, describiendo una vibración y un dibujo limpio y uniforme en el caso último:

Mit eyner raynen guten gleichen sayten unnd die must du also erkennen wan du ein gebündlin saitten uff Trust so nim die sayte für dich so lang als du ir Bedorstest uff die laute unnd span die von eyn wenig in deynen baiden henden Schlage dann mit einem daumen auff die Saite also das sye Citern wirt und prummen So sye dan zittert und so vill du der selben sayten widerschlagung oder erscheinung minder sichst. So vill ist sie dester besser, So vill du ir mer sichst, So vill ist sye dester Böser die hatt dann aynen kor allain und haisset die quintasayt als so Stett.¹⁵⁴

Este modo de operar era conocido también ya en el siglo XVI en España. El procedimiento que asegura que una cuerda sea buena para colocarla en la vihuela mencionado por Luis Milán, coincide exactamente con los arriba descritos:

Secundariamente ha de ser encordada de cuerdas que sean buenas y no falsas. Y para conocer la cuerda que no sea falsa haréys desta manera. Estiraréys con dos dedos de cada mano la cuerda de vihuela: [...] y así estirada darle eis con otro dedo como quien la quiere tañer y si la dicha cuerda haze como que son dos cuerdas es buena: y si haze como que son más de dos cuerdas es mala: y no debe ponerse en la vihuela.¹⁵⁵

La cuestión de las características del material con que están hechas las cuerdas del instrumento parece que es determinante en el sonido que éstas produzcan. Mersenne asegura que poniendo dos cuerdas en un mismo instrumento bajo las mismas condiciones de tensión, grosor, longitud y afinadas al unísono, si una es de cáñamo no producirá tanto sonido como una de tripa o de latón. La explicación que da al hecho de que varias cuerdas tensadas al unísono moviendo la misma cantidad de aire y a la misma velocidad, suenen unas más fuertes que otras, se basa en el comportamiento de las partículas de aire contenidas en los poros del material y en la superficie de fricción, de forma que una cuerda de cáñamo obtiene un sonido más débil, oscuro, o sordo

¹⁵³ Silvestro Ganassi, *Lettione seconda...*, cap. II, f. B. Ganassi juega con las palabras «infermeza» y «non fermeza» comparando la no firmeza de la cuerda con la enfermedad de un paralítico: «Modo de conocer la cuerda falsa. Cap. II. Se advierte que queriendo conocer el efecto de la cuerda falsa tu tomaras el orden medio del tener y el percutir la dicha cuerda como en lo sobredicho y demostrado y si la cuerda fuere falsa le hará un efecto contrario a aquel de la cuerda justa, que si como la cuerda justa es conocida del movimiento o su efecto, causar dos comas espigadas de uno al otro extremo de la cuerda con buena firmeza y el cuerpo sonorísimo parecidas como una sombra, el efecto de la cuerda falsa hará más comas y no firmes, sino temblorosas similares al paralítico las cuales comas te demuestra o significa una enfermedad similar y no firmeza como en el efecto de la cuerda justa, de la cual enfermedad falsa manifiesta el ser similar en su armonía».

¹⁵⁴ Sebastian Virdung, *Musica Getutsch...*, 1511, p. 70: «con una cuerda igual, buena y pura, y debes reconocerla cuando tomes un manojo de cuerda, toma una cuerda para ti, tan larga como necesites para el laúd y ténsala un poco en ambas manos, percútela entonces con un pulgar de forma que tiemble, entonces verás en las repercusiones o reflejos si son menos, será esta tanto mejor, cuanto más veas, será esta tanto peor, esta tiene entonces un solo orden simple y se llama quinta cuerda como está».

¹⁵⁵ Luis Milán, *Libro de música de vihuela de mano. Intitulado El maestro...*, Declaración, ff. iiijv-iiij.

debido a las irregularidades de los filamentos que forman su superficie y a las características de la percusión de las partículas de aire contenidas en el interior de sus poros:

une chorde de chanvre tendue sur un mesme instrument ne fait pas tant de bruit qu'une chorde de boyau ou de leton, encore qu'elles soient toutes à l'unisson, et esgales en grosseur et longueur, [...] differentes chordes tenduës à l'unisson, les unes sonnent plus fort que les autres, encore qu'elles frappent une esgale quantité de l'air d'une esgale vitesse. Ie diray seulement icy qu'une partie de l'air entre dans les pores de la chorde de chanvre, dont il est battu plus mollement, et que quantité de petits filaments qui sont sur la superficie de cette chorde, ou plusieurs autres inegalitez rendent le Son plus obscur, plus mol, plus foible et plus sourd: à quoy l'on peut adiouster que l'air interieur de la chorde donne de particulieres qualitez au Son qu'elle faite.¹⁵⁶

La naturaleza de la tripa de animal que compone el material con que están fabricadas las cuerdas, hace difícil que éstas sean completamente homogéneas y, por tanto, causa que tengan numerosas imperfecciones en su materia. Estas características hacen que su respuesta acústica no corresponda exactamente con unos cálculos teóricos muy exactos, como afirma Ricatti, de forma que la experiencia y percepción empíricas tengan un valor más relevante para la práctica:

Tratandosi di corde di minugia, che sono soggette a moltisime imperfezioni, io non credo, che si possa pretendere fra la teorica, e la practica più agiustata conformità, e ciò tanto più, quanto il cantino, siccome mi asserviva un perito Suonatore, era un po troppo sottile.¹⁵⁷

Las cuerdas hechas con tripa de animal son más propensas a la desafinación que otras hechas de metal, como afirma Pietro Cerone:

Instrumentos con cuerdas de tripa son faciles de se destemplar

Porque aquellas cuerdas [de tripas] son de tal suerte y naturaleza, que con mas facilidad se estenden, que no hazen las otras de azero, las de laton, o las de cobre: y asi causan que los instrumentos adonde estan puestas, sean mas subgetas a la templadura.¹⁵⁸

Según las propiedades del material y las características de las cuerdas, se producirán unos efectos u otros en la formación del sonido de los instrumentos de cuerda. Su vulnerabilidad a los

¹⁵⁶ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *De la nature et des proprietez du son*, PROPOSITION VII, pp. 13-14: «una cuerda de cáñamo tensada sobre un mismo instrumento no suena tan fuerte como una cuerda de tripa o de latón, aunque estén todas ellas al unísono, y sean iguales en grosor y longitud, [...] diferentes cuerdas tensadas al unísono, unas suenan más fuerte que otras, aunque ellas golpeen una cantidad igual de aire a la misma velocidad. Yo diré solamente aquí que una parte del aire entra dentro de los poros de la cuerda de cáñamo, donde es batido más débilmente, y que la cantidad de pequeños filamentos que hay sobre la superficie de esta cuerda, u otras desigualdades dan un sonido más oscuro, más débil y más sordo: de lo que se puede ajustar que el aire interior de la cuerda da particulares calidades al sonido que ella hace».

¹⁵⁷ Giordano Ricatti, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche...*, *Schediasma VI*, p. 130: «Tratándose de cuerdas de tripa, que están sujetas a muchísimas imperfecciones, no creo que se pueda pretender sobre la teoría y la práctica más ajustada conformidad, y tanto más cuanto la prima, como me asevera un perito tañedor, era un poco demasiado delgada».

¹⁵⁸ Pietro Cerone, *El Melopeo y Maestro...*, Nápoles, Juan Bautista Gargano y Lucrecio Nucci, 1613, L. xxi, p. 1042.

cambios de humedad y temperatura, como asegura Nassarre, también influyen decisivamente a este efecto:

Los sonidos de la voz humana llevan ventaja a los instrumentales en la consonancia, y estabilidad; pues no están sujetos a subirse, ni baxarse, por las mudanzas de tiempos, como sucede en los de las cuerdas. Pues estas con el calor y sequedad se baxan, y con la humedad se suben¹⁵⁹ [...] cuando las cuerdas de un Instrumento se baxan por el calor, tanto cuanto más graves son los sonidos, tanto más se baxan, y tanto cuanto más agudos, tanto menos, y al contrario.¹⁶⁰

Las tensiones y longitudes que se den a las cuerdas en la concepción de un instrumento, dice Nassarre que son «a voluntad del artífice». Éstas deben adecuarse a la resistencia del material y al tono que se le quiera dar, sirviendo de referencia el de la «voz natural del hombre», sobre todo si el instrumento ha de servir para acompañar a la voz «cuando canta». Esta medida de cuerda es la de la longitud de cuerda vibrante:

En los instrumentos de cuerda es la longitud a voluntad del Artífice, según el tono que quisiere darle al Instrumento; porque unos de una especie estan mas baxos, o mas altos de tono. Digo según lo natural que pueden resistir las cuerdas. Toda longitud, que fuere menos, està mas alto de tono, y toda la que fuere mas, està mas bajo. Todos aquellos Instrumentos, que sirven para acompañar la voz natural quando canta, estan ordinariamente en un tono, que es el que se llama tono natural, por conformarse con la voz natural del hombre [...] tienen la medida de la longitud una misma, aunque [...] unos estan octava abajo de la voz natural, y otros en igual proporcion con ella, los que estan en igual tono, tienen la proporcion dupla (en quanto a su longitud) con los que estan octava abajo, esta longitud se entiende no del cuerpo del Instrumento, sino es de la cuerda [...] de aquella distancia de donde a donde se forma el sonido, como de puente a puente.¹⁶¹

En cualquier caso, el fenómeno acústico producido por las cuerdas es un asunto complejo. El funcionamiento mecánico de las cuerdas en un instrumento no coincide exactamente con la teoría sobre sus propiedades físico-acústicas, y el factor de la rigidez del material es decisivo en esa falta de adecuación acústica. Según Patrizio Barbieri, las cuerdas de un instrumento musical no se comportan según el modelo de cuerda ideal, es decir, no son perfectamente flexibles, y su coeficiente de rigidez las hace inarmónicas:

1. On an ideal string, i. e. one is perfectly flexible, the partials emitted are whole number multiples of the fundamental.
2. In reality, however, the strings used on musical instruments are not perfectly flexible. For strings of small stiffness, allowed to vibrate freely alter excitation and with their extremities hinged on fixed supports, a satisfactory approximation is the following:

$$f_n = nf_0 (1 + bn^2)$$

¹⁵⁹ Debe tratarse de un error de redacción, pues la experiencia muestra que son el calor y la sequedad los que hacen contraer la tripa con que está hecha la cuerda, aumentando su tensión y subiendo así el tono que produce.

¹⁶⁰ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. IX, *De las diferencias que hay entre los sonidos naturales, y artificiales*, p. 30.

¹⁶¹ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones de los Instrumentos musicos en general*, pp. 454-455.

3. With high levels of stiffness, the string becomes a bar capable of vibrating by its own elasticity without the aid of the external force F. The phenomena already described for the stiff string will be markedly accentuated.¹⁶²

Según Ricatti, existen dos tipos de rigidez entre las propiedades de las cuerdas o fibras elásticas: una llamada natural, que consiste en la resistencia de la cuerda a dejarse alargar ante una fuerza que la ponga en tensión. La otra, llamada artificial, es una reticencia a dejarse distender de nuevo una vez que cesa la fuerza que la puso en tensión:

Due rigidità vogliono nelle corde distinguersi: l'una, che chiamo naturale, consiste in quella ripugnanza, che ha la corda a lasciarsi allungare, anche prima che le venga applicata veruna forza tendente; l'altra, che chiamo artificiale, s'eguaglia all' accrescimento di ripugnanza per essere ulteriormente distesa, che dalla forza, o peso tendente nella corda proviene.¹⁶³

Parece que existen, según Barbieri, al menos dos factores decisivos en esta inadecuación armónica de la cuerda: el primero es la «inharmonicity» debida a la rigidez del material, mediante la cual una cuerda más gruesa sufre una desafinación mayor que otra menos gruesa al ser acortada a la misma distancia que ésta, siendo ambas de igual composición material y longitud:

As was observed in s1 for the monochord, the first factor concerns inharmonicity. Given two Strings of equal length and material, and of different diameter, from (1) it follows that when their lengths are reduced by the same percentage, it is the string of the greater diameter that will undergo the greater percentage increase of frequency.¹⁶⁴

El otro factor consiste en un fenómeno que se da en las guitarras y que Barbieri llama «desafinación». Este fenómeno se produce debido a que la cuerda más gruesa se desafina más al ser acortada en el mismo traste que otra más delgada, por tener aquella menos tensión en proporción a su grosor:

The second factor concerns the phenomenon known in guitars as «detuning». If we stop two strings at the same fret, the absolute increase in specific tension (due to the slight lengthening they

¹⁶² Patrizio Barbieri, *The Inharmonicity of musical string instruments (1543-1993)*, Firenze, Leo S. Olschki, 1998, pp. 383-384:

«1. En una cuerda ideal, es decir, en una que sea perfectamente flexible, los parciales emitidos son números enteros múltiplos de la fundamental.

2. En realidad, de cualquier forma, las cuerdas usadas en instrumentos musicales no son perfectamente flexibles. Para cuerdas de poca rigidez, permiten vibrar libremente tras ser excitadas y con sus extremos sujetos en soportes fijos, una aproximación satisfactoria sería la siguiente:

$$f_n = nf_0 (1 + bn^2)$$

3. Con altos niveles de rigidez, la cuerda se convierte en una barra capaz de vibrar por su propia elasticidad sin la ayuda de una fuerza externa F. El fenómeno ya descrito para la cuerda rígida se ve marcadamente acentuado».

¹⁶³ Giordano Ricatti, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche..., Schediasma I, Della proporzione fra le distensimi delle corde, e le forze che le producono*, p. 1: «Dos tipos de rigidez quieren distinguirse en las cuerdas: una, que llamo natural, consiste en aquella resistencia que la cuerda tiene a dejarse alargar, aunque le venga aplicada cualquier fuerza tensora; la otra, que llamo artificial, se iguala al incremento de resistencia para ser ulteriormente distendida, que proviene de la fuerza o peso tensor de la cuerda».

¹⁶⁴ Patrizio Barbieri, *The Inharmonicity of musical string instruments...*, p. 407: «Como se observó en s1 para el monocordio, el primer factor concierne a la inharmonicity. Dadas dos cuerdas de igual longitud y material, y de diferente diámetro, de (1) se sigue que cuando sus longitudes se reducen en el mismo porcentaje, es la cuerda de mayor diámetro la que sufre el mayor porcentaje de incremento de frecuencia».

undergo) sis very nearly the same for both; whereas the corresponding relative increase of frequency is greater for the lower string, given that it is less taut than the higher one (for tuning reasons) and hence presents a greater relative increase of specific tension.¹⁶⁵

3.1.4. Acción del arco sobre la cuerda

En los instrumentos de cuerda, la manera en que ésta se pone en movimiento para producir el sonido es «hiriéndola» o accionándola artificialmente. Ahora bien, como dice Nassarre,¹⁶⁶ esta acción puede producirse mediante la intervención directa de los dedos o a través de un objeto; plectro, pluma, arco, etc.:

Dos modos ay de pulsar los instrumentos, uno inmediata, y otro mediatamente. [...] Inmediatamente pulsa el Musico [...] como es en las arpas y vihuelas, que con los dedos hiere las cuerdas que forman los sonidos. Mediante son todos aquellos, que se vale de otro Instrumento para herir las cuerdas, como es el arco, para los violines, y demás Instrumentos semejantes, y de plumas, como para las cítaras, y clavicordios.¹⁶⁷

No parece difícil de imaginar que, según sea el medio con que se accione o hiera la cuerda, la naturaleza del sonido que se produzca será muy diferente en unos casos y otros en virtud de la interferencia que esta acción ejerza sobre la vibración de la cuerda. Es lógico pensar que, cuando se interviene en la cuerda para hacerla sonar, al mismo tiempo se está impidiendo que actúe libremente. En el caso de la intervención del arco, esta interferencia tiene lugar durante todo el tiempo en que se está produciendo el sonido de forma que la acción de dicho arco juega un papel muy importante en el resultado sonoro final. A pesar de ello, apenas se hace mención a este asunto en tratados antiguos probablemente debido a que se trata de un problema físico muy complejo y avanzado para la ciencia de la época. Nuevamente aquí, lo que nos interesa es la opinión de los teóricos más próximos a la época en que funcionaban estos instrumentos y, sobre este tema, Nassarre comenta que, comparado con la acción de pulsar la cuerda, en el caso de la intervención del arco el impulso es menor pero dura más el sonido:

Todos los que tienen cuerdas de nervio, o se hieren con los dedos o con arco; porque suenan a menos violencia que las de metal; pero ay gran diferencia en el movimiento de la cuerda quando se hiere con arco, a quando se hiere con los dedos, porque mueve con menos impulso la que con arco, por ser mas largo el movimiento.¹⁶⁸

Si bien mediante la acción del arco se consigue que el sonido sea continuo durante un determinado espacio de tiempo –mientras que al pulsarla el sonido decae rápidamente tras cesar el impulso provocado en la cuerda–, esta acción constante de contacto del arco con la cuerda

¹⁶⁵ Ibídem, pp. 407-408: «El segundo factor concierne al fenómeno conocido en guitarras como «desafinacion» (detuning). Si cortamos dos cuerdas en el mismo traste, el incremento absoluto en tensión específica (debida al ligero acortamiento que sufren) es muy similar o igual en ambas; mientras que el incremento relativo correspondiente en frecuencia es mayor en la cuerda más grave, dado que está menos tensa que la más aguda (por razones de afinación) y por eso presenta un incremento relativo de la tensión específica mayor».

¹⁶⁶ Pablo Nassarre, *Escuela Música..., vol. I, L. IV, cap. XV, De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, pp. 458-465.

¹⁶⁷ Ibídem, p. 463.

¹⁶⁸ Ibídem.

interfiere en su libre vibración. El efecto que la acción de frotación del arco produce sobre el sonido de la cuerda, a diferencia del que produce su pulsación, lo encontramos descrito en un pasaje del capítulo dedicado a los instrumentos de cuerda por Mersenne en la *Harmonie universelle*. Uno de los puntos clave parece ser que la fricción del arco incide siempre en una dirección, mientras que los movimientos oscilatorios de la cuerda se producen de izquierda a derecha y de derecha a izquierda:

Que celle que l'on touche avec l'archet, fait autant de retours contre le mouvement de l'archet, que si elle estoit touchée d'une plume ou du doigt. Mais puis que l'archet pousse tousiours la chorde d'un mesme costé, tandis que son coup se fait de droit à gauche, ou de gauche à droit [...] que la chorde fait de tremblemens dessous l'archet.¹⁶⁹

De esta forma la cuerda, estando bajo la presión y el frotamiento del arco y, no pudiendo hacer sus vibraciones libremente, se ve afectada en su movimiento por la fricción de aquel:

Que les chordes ne feroient point de son, ou qu'elles ne feroient pas le mesme son, si l'archet ou quelqu'autre force les pousooit tellement de droit à gauche, ou de gauche à droit, qu'elles ne peussent avoir leurs retours libres, [...] dans les sons que fait l'archet en touchant et en pressant la chorde, car les tours et les retours de la chorde se pouvent aussi bien faire de haut en bas, et de bas en haut.¹⁷⁰

El sonido de la cuerda en los instrumentos de arco, por tanto, estaría compuesto de varios movimientos, incluyendo el de la acción del arco sobre él, lo que lo diferenciaría del de los de cuerda pulsada:

Le son que fait la chorde par le moyen de l'arquet, est different de celuy qu'elle fait quand on la touche du doigt ou de la plume, [...]. C'est pourquoy l'on peut dire que le son de la Viola, et des autres instrumens à archet, est composé de trois ou quatre sortes de mouvemens, à sçavoir de celuy de la chorde et de l'air libre, et de celuy de l'air constraint ou enfermé, et de l'archet qui gouverne celuy de la chorde comme l'on veut.¹⁷¹

La consecuencia más significativa del efecto de esta acción del arco sería que el movimiento, la fricción y su presión contra la cuerda, ayudados por la porosidad discontinua de las crines del arco, afectarían a la forma en que la cuerda mueve al aire y, por tanto, alterarían las cualidades del sonido:

¹⁶⁹ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. IV, *Des instruments à chordes*, PROPOSITION VIII., Determiner si la chorde qui est touchée et pressée par l'archet, fait autant de tours et de retours en mesme temps que celle qui est touchée du doigt, lors qu'elles sont à l'unisson, p. 196: «que aquella que se toca con el arco, hace tantos retornos contra el movimiento del arco, como si estuviera tocada con una pluma o con el dedo. Pero puesto que el arco empuja siempre la cuerda desde un mismo lado, mientras que su golpe se hace de derecha a izquierda, o de izquierda a derecha [...] que la cuerda hace oscilaciones debajo del arco».

¹⁷⁰ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. IV, *Des instruments à chordes*, PROPOSITION VIII..., p. 196: «que las cuerdas no harán algún sonido, o no harán el mismo sonido, si el arco o cualquier otra fuerza las empuje tanto, de derecha a izquierda, o de izquierda a derecha, que no puedan tener sus retornos libres [...] en los sonidos que hace el arco tocando y presionando la cuerda, porque las idas y retornos de la cuerda se pueden hacer tambien de arriba abajo, y de abajo arriba».

¹⁷¹ Ibídem: «El sonido que hace la cuerda por medio del arco, es diferente de aquel que hace cuando se la toca con el dedo o la pluma, [...] es porque se puede decir que el sonido de la viola, y de otros instrumentos de arco, está compuesto de tres o cuatro clases de movimientos, a saber; de aquel de la cuerda y el aire libre, y de aquel del aire contenido o encerrado, y del arco que gobierna aquel de la cuerda como se ve».

Et parce que les brins de crin qui sont la soye de l'archet ne sont pas continus, l'air qui est meu par la chorde, s'insinuë aysément parmy lesdits crins, dont le mouvement et la pression alterent les qualitez du son. [...] que les atomes de l'air, ou de la chorde qui sont meus se mestent avec le mouvement de ceux du crin, l'on ne trouvera nullement estrange que le son qui se fait par ces deux mouvemens, soit different de celuy qui se fait par les seuls tremblemens de la chorde.¹⁷²

Según Ricatti,¹⁷³ a pesar de que la acción de la fricción del arco se produce en cuerdas de diferente grosor y que, en virtud de dicho grosor, la superficie del arco que está en contacto con la cuerda es mayor, parece que la fricción es igual en todas las cuerdas y la acción del arco permanece constante. Esto es debido, en parte, a que la fuerza ejercida mediante el arco se distribuye igualmente por todas las partes en que toca la cuerda, y a que la presión del arco sobre las partículas iguales de la cuerda se reparte en razón inversa entre la superficie total y el número de ellas:

Egli è d'uopo premettere, che quantunque l'arco tocchi una maggior superficie nelle corde più grosse, nulladimeno la sua azione è constante, purchè si usi pari forza a premer l'arco sopra le corde. Questa forza si distribuisce ugualmente a tutte le parti tocatte, e quindi due particelle uguali in corde differenti soffrono pressioni in ragione inversa delle totali superficie combacciate dall'arco. Facendo l'arco suonare la corda col mezzo del fregamento, ed essendo questo in proporzione composta della pressione sostenuta da particole uguali, che sta reciprocamente come le intere superficie, e del numero d'esse particole, che sta direttamente come le intere superficie; ne segue che il fregamento è pari rispettivamente a tutte le corde, e che l'azione dell'arco è constante.¹⁷⁴

De cualquier forma, lo más relevante de la mediación del arco en el proceso de producción del sonido es que, como dice Mersenne, gracias a ello se consigue que el sonido se pueda mantener más tiempo, y además poderlo hacer más fuerte o suave a voluntad mientras éste dura:

de choses qui sont particulières à l'archet; par exemple qu'il tient le mesme son aussi long-temps, et aussi foible ou aussi fort que l'on veut.¹⁷⁵

Esta particularidad de poder modificar el sonido a voluntad, en su volumen y calidad, la menciona también Nassarre como una cualidad exclusiva de los instrumentos de arco, siendo su efecto agradable al oído y adecuado para acompañar la voz:

¹⁷² Ibídem: «Y porque los pelillos de la crin que son la cerda del arco no son continuos, el aire que es movido por la cuerda, penetra fácilmente por medio de dichas crines, donde el movimiento y la presión alteran la calidad del sonido. [...] que los átomos de aire, o de la cuerda que son movidos se añaden a los movimientos de aquellos de la crin, no se encontrará extraño que el sonido que se produce por estos dos movimientos, sea diferente de aquel que se produce por las simples vibraciones de la cuerda».

¹⁷³ Giordano Ricatti, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche...*, *Schediasma VI*, pp. 122-146.

¹⁷⁴ Ibídem, p. 129: «Es necesario decir que, aunque el arco toque una mayor superficie en las cuerdas más gruesas, sin embargo su acción es constante, porque se usa igual fuerza para presionar el arco sobre las cuerdas. Esta fuerza se distribuye igualmente a todas las partes tocadas, y luego dos partes iguales en cuerdas diferentes sufren presión en razón inversa de la superficie total implicada del arco. Haciendo el arco sonar la cuerda por medio de la fricción, y siendo esto en proporción compuesta por la presión sostenida de partículas iguales, que es directamente como la superficie entera, se sigue que la fricción es igual respectivamente en todas las cuerdas, y que la acción del arco es constante».

¹⁷⁵ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. IV, *Des instruments à chordes*, *PROPOSITION VIII...*, p. 196: «cosas que son particulares al arco; por ejemplo, que mantiene el sonido tanto tiempo, y tan suave o tan fuerte como se quiera».

Una excelencia tienen todos los Instrumentos de arco, [...] y es en todos los que tienen cuerdas de nervio; que el sonido es mas y menos, según la voluntad del músico; pues si quiere herir con violencia, hace que suene mucho, y si hiere con menos, es menos el sonido; circunstancia en que el oído halla mayor deleite, con la variedad de ser mas, y menos. Por eso semejantes Instrumentos son mas al caso para acompañarlos con las voces naturales.¹⁷⁶

CONCLUSIÓN

En este capítulo hemos visto cómo los autores de diferentes fuentes, mediante un conocimiento científico basado en la observación empírica, confirman que existían diversas clases de cuerdas de tripa y que, según fuera su factura, tenían unas propiedades vibratorias u otras y se empleaban en diferentes usos. También hemos encontrado que las diferencias en el material, grosor, torsión, aspecto o tensión de las cuerdas les otorgaban unas características acústicas variables. Según algunas de estas descripciones sobre el funcionamiento mecánico de estas cuerdas se podría concluir que: un cuerpo elástico como es una cuerda formada por fibras de tripa torsionadas, al ser estimulado mediante la percusión o fricción de las cerdas tensas de un arco, comienza a vibrar y a transmitir dicha vibración tanto a las partículas de aire próximas a su superficie como a las del material de la caja del instrumento, poniendo en vibración todo el sistema y con él el volumen de aire del interior de la caja de resonancia, que empieza a rebotar produciendo el sonido. Teniendo en cuenta las limitaciones que del conocimiento científico sobre estos temas tenían los autores estudiados, y de que la acústica moderna no coincide exactamente con todas sus teorías, es así como se deduce de las ideas expuestas a lo largo de este capítulo que las cuerdas generan y son principio del sonido en la vihuela de arco. Insistimos en que hacer una restauración del fenómeno acústico de las vihuelas de arco basada en los conocimientos científicos modernos cambiaría completamente el sentido, la lógica y el resultado de la manera de proceder de aquellos autores y nos alejaría de nuestro objetivo de poder entenderla.

¹⁷⁶ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, p. 464.

3.2. LA TRIPA COMO MATERIAL PARA LA ELABORACIÓN DE LAS CUERDAS DE LOS INSTRUMENTOS MUSICALES

El material más común con el que se elaboraban las cuerdas de los instrumentos musicales en el pasado era la tripa o los intestinos de animal. Según Werner Bachmann las cuerdas de un laúd grande egipcio del siglo XIV a. C., resultaron ser de tripa retorcida de animal.¹⁷⁷ Aunque sea difícil de comprobar la afirmación de Bachmann, existen referencias literarias muy antiguas que hacen mención al uso de la tripa de animal como uso para cuerdas musicales. Incluso en la Antigüedad clásica se menciona la tripa de oveja torsionada para la composición de las cuerdas de la lira, como se dice en *La Odisea* de Homero, del siglo IX a. C.:

Como un tañedor diestro de vihuela (lira) sube con la clavija el intestino de la oveja, bien seco y retorcido; que antes ató de la una y la otra parte.¹⁷⁸

Estas alusiones a las cuerdas de tripa que aparecen en fuentes antiguas eran bien conocidas por los músicos, contribuyendo así a consolidar la extensión de esta práctica en la época que nos interesa. Por ejemplo Pietro Cerone, en su tratado *El Melopeo y Maestro* (Nápoles, 1613), cita un fragmento mitológico donde se atribuye a Orfeo la invención de la lira de siete cuerdas al colocar éste unos nervios torcidos y tensados en el caparazón seco de una tortuga:

Orfeo (...) como hallase una tortuga, y después de secada y endurecida a los rayos del Sol, la estirase a caso con alguna fuerza, oyó que resultó sonido, aunque pequeño, de los duros niervos [nervios]; (...) y por eso añadió a lo hueco de la tortuga un braço, por el qual descendían quattro cuerdas estendidas, hechas y torcidas de aquellos niervos...

Oracio Venusino que canta esta manera. *Turque testudo, resonare septem Callida nervis.*¹⁷⁹

En otro fragmento del mismo tratado, Cerone asegura que el laúd de Boecio en el año 520 tenía las cuerdas de tripa:

Cerca al Laud, yo puedo relatar lo que tengo leydo en el suplimiento de las Cronicas del R. P. fray Jacobo de Bergamo; y es que Boecio Romano, siendo confinado en Pavia en cárcel perpetua de Theodorico Rey, por no querer aconsentir a los Arrianos herejes, para recrear avezes su alma, cerca los años de nuestra salud 520, halló en ella el modo de tañer el laud con las cuerdas de niervos [nervios], o tripas.¹⁸⁰

¹⁷⁷ Werner Bachmann, *The origins of bowing and the development of bowed instruments up to the thirteenth century*, Londres, Oxford University Press, 1969, p. 79, fuente: Hans Hickmann, «Harfe», *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, vol. V, Kassel, Bärenreiter-Verlag / J. B. Metzler, Stuttgart, 1956, col. 1516.

¹⁷⁸ Homero, *La Odisea*, (s. VIII a. C.), Libro XXI, ed. Gonçalo Perez, Venecia, Imprenta Francisco Rampazeto, 1562, p. 702.

¹⁷⁹ Pietro Cerone, *El Melopeo y Maestro...*, L. II, p. 247.

¹⁸⁰ Ibídem, p. 249.

Otro ejemplo posterior de un importante músico que menciona estas fuentes y que sirve para mostrar la universalidad de estas ideas en toda Europa es Leopold Mozart.¹⁸¹ Mozart cita un pasaje del canto del *Himno a Hermes* de Homero,¹⁸² en el que las cuerdas de la lira son mencionadas como hechas de intestinos de oveja, afirmando además que los antiguos ponían, «como hoy en día», cuerdas de tripa a sus instrumentos:

Homero aus der Lobgesange des Mercur [...] über sieben durch richtige verhältnisse unter sich übereinstimende Seyten, die von ausgezogenen Schafdärmen gemacht sind.¹⁸³

Bachmann afirma que, si bien en Oriente se usaba también la seda para fabricar cuerdas para instrumentos musicales, «la predominancia en Europa de las cuerdas de tripa durante la Edad Media es absoluta», especialmente en instrumentos de arco, por su sonido más dulce y suave. Durante esta época, la mayoría de las cuerdas se elaboraban con «intestinos de oveja torsionados», como describe Hugo von Trimberg (1260-1309) en un poema didáctico de *Der Renner*:

So getan spil ist tvgent hagel / wén ein mit eines pferdes zagal / Streichet vber vier schafes darm
[vv. 12404-12406].¹⁸⁴

En el capítulo del Génesis de la *General Estoria* (siglo XIII) de Alfonso X el Sabio, encontramos una referencia sobre la predilección de las cuerdas de tripa a las de seda (L. I, cap. XVI), citada por Juan Carlos Ayala.¹⁸⁵ Allí se describe cómo las cuerdas hechas de animales «no se rompen tan pronto, y hacen mayores voces y mejores sones» que las de seda (aunque no sabemos aquí si se refiere a seda como en el caso de los laudes árabes que menciona Zyriab en la cita de más abajo, si a pelo de caballo o a qué exactamente, en cualquier caso no a tripas de animal):

Onde fue el primero que assacó cítolas e viyuelas e farpas e muchos otros estrumentos para esto. E primeramente guarníolos con sedas de bestias, fasta que buscando más en este saber falló la manera de las cuerdas de los ganados, que se tiran más e mejor que las sedas de las bestias e non crieban tan afina como ellas, e fazen mayores voces e mejores sones. Desí los que vinieron después trabajáronse ya más e assacaron las maneras de las cuerdas de la seda, que son la flor de las voces e de los sones en los estrumentos que con cuerdas de ganados se tañen.¹⁸⁶

¹⁸¹ Leopold Mozart, *Versuch einer gründliche Violinschule*, Augsburgo, Johann Jakob Lotter, 1756; ed. facsímil: Greta Moens-Haenen, Kassel, Bärenreiter, 1995, *Der Anleitung zweiter Abschnitt, Von dem Ursprunge der Musik, und der musikalische Instrumenten*, pp. 10-19.

¹⁸² Homero, *Batracomomaquia*, (s. VIII a. C.) ed. Antonia García Velázquez, Madrid, Akal, 2000, p. 127, cit. también en Werner Bachmann, *The origins of bowing....*, p. 79.

¹⁸³ Leopold Mozart, *Versuch einer gründliche Violinschule....*, p. 18, fuente: Homero, *Batracomomaquia*, (s. VIII a. C.), *Himno IV a Hermes*, v. 41 ss.: «Homero del canto de alabanza a Mercurio [...]: siete cuerdas afinadas bien proporcionalmente entre ellas, las cuales son de la extracción de los intestinos de oveja».

¹⁸⁴ Hugo von Trimberg, *Der Renner: Ein Gedicht aus dem XIII. Jahrhunderte* (s. XIII), ed. *Historischen Vereine Daselbst*, 4 vols., Bamberg, J. C. Dresch, 1833, p. 143: «Así tañó virtuosamente, cuando con una ¿cola? De caballo, frotaba sobre tripas de oveja».

¹⁸⁵ Juan Carlos Ayala Ruiz, «Las cuerdas de vihuela: una mirada a los aspectos cotidianos, literarios y comerciales», *Hispanica Lyra*, VIII (2008), p. 10.

¹⁸⁶ Alfonso X el Sabio, *General Estoria* (ca. 1270-1284), ed. Pedro Sánchez-Prieto Borja., 2 vol., Madrid, Biblioteca Castro, 2001, Primera Parte. Génesis. Libro I, capítulo XVI. *De los fechos de la música*, pp. 22-23.

En cuanto al tipo de animal del que procedía la tripa para la elaboración de cuerdas para instrumentos musicales, si bien durante la Edad Media predomina la oveja, a partir del Renacimiento es el cordero o carnero el más usado. A finales del siglo XV, Johannes Tinctoris¹⁸⁷ afirma que las cuerdas de las *violas* se fabrican comúnmente de intestinos de carnero: «His autem chordis ex arietum intestinis communiter factis».¹⁸⁸

Como excepción a esta tendencia en el tipo de animal de cuyas tripas se elaboraban las cuerdas, encontramos una alusión a las cuerdas de tripa de cachorro de león, preferidas por su dulzura y resistencia, en el testimonio del músico de laúd de origen persa Zyriab, durante el califato cordobés en el siglo IX:

Mi laúd pesa un tercio menos que el de Isaac. Las cuerdas que uso son de seda que no se ha hilado con agua caliente, operación que las debilita y relaja. El bordón y la tercera las fabrico de intestino de león, y por eso tienen más dulzura, limpieza y sonoridad que las hechas con tripas de otros animales. Esas cuerdas mías, de tripas de león, son más fuertes y soportan mejor que las otras la pulsación del plectro.¹⁸⁹

Otra excepción se refiere a las cuerdas hechas con intestinos de lobo. Esta cita la encontramos a mediados del siglo XIII en un texto de Bartholomaeus Anglicus, que explica que las cuerdas hechas con intestinos de este animal, puestas en violas o cítaras que tienen cuerdas de intestinos de oveja, corrompen a estas últimas:

corde facte de intestinis luporum in viella vel in chitara cum cordis factis de intestinis ovium eas destruunt et corruptunt.¹⁹⁰

Por lo demás, Christopher Page¹⁹¹ afirma que en fuentes europeas datadas desde el siglo V, y a lo largo de toda la Edad Media, se menciona el uso de intestinos, nervios, o tendones como material del que estaban compuestas las cuerdas, aunque la gran mayoría de las alusiones son a la tripa, teniendo todos ellos una composición química muy similar basada en el colágeno.¹⁹²

No solo las cuerdas de las vihuelas y arpas eran de tripa, sino que su uso se extendía a otros instrumentos. Como se ve en un contrato con fecha de 1502 procedente del Archivo Histórico de Protocolos Notariales de Zaragoza, el constructor de Zaragoza Mahoma Moferriz

¹⁸⁷ Karl Weinmann, *Johannes Tinctoris (1445-1511) und sein unbekannter Traktat «De inventione et usu musicae»*, Regensburg, F. Pustet, 1917, pp. 27-46, cit. también en Anthony Baines, «Fifteenth-century Instruments in Tinctoris's *De Inventione et usu Musicae*», *The Galpin Society Journal*, 3 (mar., 1950), p. 22.

¹⁸⁸ Johannes Tinctoris, *De Inventione et usu Musicae*, p. 41: «Las cuerdas se hacen comúnmente de intestinos de carnero».

¹⁸⁹ Julián Ribera y Tarragó, *La música árabe y su influencia en la española*, Valencia, Pre-texto, 2000, pp. 103-104.

¹⁹⁰ Bartholomaeus Anglicus, *De proprietatibus rerum* (ca. 1250), Oxford, Bodleian Library, MS Bodley 749 (2771), ed. Giovanni Tomaso Favio, Toledo, Gaspar de Ávila, 1529, L. XVIII, cap. LXVI, *De los animales: Del lobo y de sus propiedades*, f. xi, véase también Bartholomaeus Anglicus, *On the Properties of Things*, 3 vols., ed. John Trevisa, Oxford, Clarendon Press, 1975-1988; cit. en Christopher Page, *Voces and Instruments of the Middle Ages*, Berkeley, University of California, 1986, p. 235: «Las cuerdas hechas de intestinos de lobo en la viella o cítara junto con cuerdas hechas de intestinos de oveja las destruyen y corrompen».

¹⁹¹ Christopher Page, *Voces and Instruments...*, p. 214.

¹⁹² Ephraim Segerman, «A primer on the History and Technology of Strings»:
<http://www.nrinstruments.demon.co.uk/StrPrim.html>, (última consulta, 25/4/2013).

se compromete a construir un claviórgano para el obispo de «Placencia», asegurándose de que «las cuerdas de la arpa sean de cuerdas de tripa»:

Eadem die [12 de septiembre de 1502] que yo Mahoma Moferiz, moro, vecino de Zaragoza, maestro de hacer claviórganos, prometo y me obligo hacer al Reverendo Señor don Gutierrez de Toledo, de Placencia, o a quien su poder hubiere, un claviórgano con su arpa y las cuerdas de la arpa sean de cuerdas de tripa.¹⁹³

Unos años más tarde, en 1511, Sebastian Virdung, hablando sobre cuerdas para laúdes, violas de arco y arpás, afirma que las cuerdas se hacían de tripas o intestinos de ovejas, y cita a Boecio como referencia de antecedentes:

Und die selben sayten allesamt & lauten Die sollen von den saiteten seyn die man auss den dermen o& auss den ingeweide & schaffe machet wie wol sie Boetius und an& musici nervos haissen gleich als ob sie auss den andern & thiere weren gemacht das mag villicht von zenen also gewesen sein das man sie aus den andern gemacht hat aber iezundt macht man die selbe saiten 8 lauten auch 8 grossen und claimen geigen auch harfpffen von des harpfen(tiues?) auch des drum scheirs? alle allain auss den schaffee dermen.¹⁹⁴

En un fragmento literario de fray Miguel Pérez de Heredia de 1605, se confirma que las cuerdas de la vihuela o laúd son de tripa de «carneros, ovejas, o corderos» cuando parafrasea el pasaje citado anteriormente de Bartholomaeus Anglicus sobre la mala influencia de las cuerdas de tripa de lobo:¹⁹⁵

Y dizen algunos que si de una tripa de lobo se hazen cuerdas para un instrumento y se pone alguna dellas en la vihuela o laúd donde estan las demás que son de carneros, o uejas, o corderos, que reconociendo las otras cuerdas a las del lobo de puro miedo quedan mudas, y no suenan en el instrumento.¹⁹⁶

Pietro Cerone, hablando sobre la estabilidad en la afinación de los diferentes instrumentos, confirma que las cuerdas de tripas son de intestinos de animal:

No ay instrumento que sea mas sugeto a la templadura, que los instrumentos que tañen mediante las cuerdas de tripas, llamadas de algunos cuerdas animadas; por aver sido entrañas de animales.¹⁹⁷

Otra confirmación del uso de tripa o intestinos de animal, por tener «numerosas fibras que le proporciona más resistencia a la tensión necesaria para la armonía», se puede encontrar en la *Harmonie universelle* (1636), donde Mersenne afirma, además, que lo habitual es usar la tripa

¹⁹³ Pedro Calahorra Martínez, *Música en Zaragoza en los siglos XVI y XVII*, vol. I, Zaragoza, Institución «Fernando el Católico», 1977: Archivo Histórico de Protocolos notariales de Zaragoza, actas notariales..., vol. I, p. 105.

¹⁹⁴ Sebastian Virdung, *Musica Getutsch...*, 1511, p. 72: «Y las mismas cuerdas de toda clase de laúdes, estas deben ser de las cuerdas hechas de las tripas o de los intestinos de ovejas, como bien las llaman nervios Boecio y otros músicos, como también puedan ser de otros animales o hechas de nervios, pero se hacen las mismas cuerdas de laúdes y violas (de arco) grandes y pequeñas, también de arpás, [...] todas ellas únicamente de intestinos de oveja».

¹⁹⁵ Véase Luis Robledo et alii, *Aspectos de la cultura musical en la Corte de Felipe II*, Madrid, Alpuerto, 2000, p. 209.

¹⁹⁶ Fray Miguel Pérez de Heredia, *Libro de los sermones de los Santos, cuyas fiestas celebra la Iglesia por todo el discurso del año*, Salamanca, Antonia Ramírez y Pedro Cosío, 1605.

¹⁹⁷ Pietro Cerone, *El Melopeo y Maestro...*, L. xxi, p. 1042.

de oveja, siendo reconocida como más apropiada que otras en la fabricación de cuerdas para instrumentos de música:

L'on peut faire les chordes des instruments de Musique de [...] et des boyaux, ou intestines des animaux, qui ont plusieurs fibres, qui les rendent assez forts pour endurer la tension nécessaire à l'harmonie. Mais l'on use ordinairement des boyaux de mouton, fait que l'on les ait reconnus plus propres à cela que les autres.¹⁹⁸

También existe una referencia a las cuerdas de un «claviarpa»,¹⁹⁹ otro instrumento de tecla, para el que la corte de Madrid encargó en 1658 a los fabricantes de cuerdas de tripa de Florencia cinco docenas de cuerdas: «cinco docenas de cuerdas de Florencia que escogió para la claviarpa».

3.2.1. Elaboración de las cuerdas

Respecto al proceso mediante el cual los intestinos de un animal se convierten finalmente en cuerdas musicales, encontramos también numerosas alusiones en textos literarios. En unos comentarios de Bruno el Cartujano a los salmos, datados en el siglo XII, se encuentran alusiones al proceso de elaboración de cuerdas sonoras de tripa de animal como metáfora para una buena vida espiritual. En ellos se mencionan los intestinos de carnero que, tras ser limpiados de la grasa, adelgazados y tensados, producen un sonido dulce:

Sicut enim intestina arietum cum prius pinguia sint et grossa, et ad nullum sonum utilia, separata a pinguedine exiccantur, et ad gracilitatem perveniunt, et sic inde corde fierent, que dulcem sonum reddunt [...] ita quoque sancti cum hic per nimiam afflictionem iejuniorum et vigilarum graciles in carne fiant, et macri, per hoc in futuro ad hoc dignitatis attingent ut ad modum cordarum dulcissimum melos pure conscientie et corpore glorificationis reddant.²⁰⁰

En un pasaje de *Le bon berger* (1379) de Jean de Brie, encontramos ya mención a las delgadas cuerdas de tripa bien lavadas, secas, torsionadas y pulidas, para hacer sonar los instrumentos de cuerdas como viellas, arpás, rotas, laúdes, guitarras, rabeles, «choros», «almaduries», zanfoñas, cítolas y otros:²⁰¹

¹⁹⁸ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. i *Des Instruments, PROPOSITION II, Expliquer la mat, et la maniere dont on fait les chordes des instrument*, p. 3: «Se pueden hacer las cuerdas de los instrumentos de música de [...] y de las tripas, o de los intestinos de los animales, que tienen más fibras que las hacen bastante fuertes para soportar la tensión necesaria para la armonía. Pero se usan ordinariamente las tripas de cordero, puesto que se las ha reconocido más apropiadas para ello que otras».

¹⁹⁹ Patrizio Barbieri, «Roman and Neapolitan Gut Strings 1550-1950», *The Galpin Society Journal*, vol. 59 (2006), p. 178, fuente: Madrid, Biblioteca Nacional, Ms. 14047/184, año 1658.

²⁰⁰ Bruno el Cartujano, comentario sobre el Salmo 150:4 (s. XII), Grenoble, Biblioteca Municipal, MS 341, f. 379, citado en Christopher Page, *Voices and Instruments...*, pp. 224-225: «Así como los intestinos de carnero se separan de la grasa, se secan y se hacen más delgados para hacer las cuerdas que dan un sonido dulce, [...] así ocurre con los Santos, cuando adelgazan y se liberan de la carne con inmensas aflicciones de ayuno y vigilia, para llegar a un estado de dignidad en que, como las cuerdas, producen una dulcísima melodía de conciencia pura y glorificación del cuerpo».

²⁰¹ Véase Pierre Bec, *Vièles ou violes? Variations philologiques et musicales autour des instruments à archet du Moyen Age (XIIe-XVe siècle)*, París, Klincksieck, 1992, p. 226.

Les menues cordes des boyaux bien lavés, sechez, tors, rez, essuez et filez sont pour la melodie des instrumens de musique, de vielles, de harpes, de rothes, le luthz, de guiterres, de rebecx, de choros, de almadurias, de synphonies, de cytholes, et de autres instrumens que l'on fait sonner par dois et par cordes.²⁰²

Unas instrucciones procedentes del siglo XIII, que explican cómo elaborar cuerdas de tripa, las encontramos en un manuscrito de autor anónimo del *Secretum Philosophorum*. Según dichas instrucciones, se lavaban bien los intestinos de la oveja, después se los dejaba en agua o lejía medio día o más hasta que la carne se desprendiera fácilmente del material de la cuerda que es como el tendón. Luego se ponían en lejía fuerte o vino tinto dos días. Después se secaban con un paño de lino y se unían tres o cuatro torsionándolos hasta que fuera suficiente. Más tarde se dejaban secar extendidos en una pared. Posteriormente, se descolgaban y se colocaban en un lugar que no fuera ni muy seco ni muy húmedo:²⁰³

Ad faciendum cordas lire! Cum autem volumus facere cordas lire [...] recipe intestina ovium et lava ea munde et pone ea in aqua vel in lexivia per dimidium vel plus usque caro se separat leviter a materia corde que est similis quasi nervo. Post depone carnern de materia cum penna vel cum digito mundo. Post pone materiam in lescivia ford vel rubio vino per II dies. Post extrahe et sieca cum panno lineo et iunge III vel IV simul secundum quantitatem quam volueris habere et atturna ea usque sufficiat. Et extende ea super parietem et permitte sicare.²⁰⁴

El procedimiento para la elaboración de las cuerdas de tripa descrito por Mersenne en la «Proposición II» del «Primer libro de los instrumentos», es notablemente similar al que figura en las fuentes medievales citadas anteriormente. Según dicha proposición, se las sumerge un día antes de tensarlas en las clavijas para limpiarlas de la grasa y todo lo superfluo, dejando únicamente el tejido de la membrana de tres tipos de fibras: las rectas, las transversales y las oblicuas; después se las extiende húmedas y mojadas en las clavijas, y se atornilla el hilo sobre los clavos o clavijas:

Mes ils les font tremper un iouravant que de les torde sur leurs chevilles, afin de les nettoyer, et d'en oster la graisse, et tout ce qui est de superflu, et de laisser la seule mèmbrane tissue de 3 fortes fibres, à sçavoire des droites, des tranvesantes, et des obliques, dont elle prend sa force; et puis il faut les tendre toutes moites, et moüillées sur lesdites chevilles que l'on eloigne de la longueur [...] et entortillent le fil sur leurs cloux, ou leurs chevilles en allant et en revenant d'une

²⁰² Jean de Brie, *Le bon berger ou, Le vray régime et gouvernement des bergers et bergères* (1379), ed. facsímil: París, L. Liseux, 1879, cap. II, p. 35: «Las delgadas cuerdas de tripa bien lavada, secada, torsionada, pulida, enjugada e hilada, son para la melodía de los instrumentos de música; viellas, arpás, rotas, el laúd, guitarras, el rebec, «choros», «almadurias», zanfoñas, cítolas, y otros instrumentos que se los hace sonar con los dedos y las cuerdas».

²⁰³ Christopher Page, *Voces and Instruments...*, pp. 234-235.

²⁰⁴ Anónimo (s. XIII), *Secretum Philosophorum*, Cambridge, Trinity College, MS 0.1.58 (s. xv), f. 92v: «Haciendo cuerdas para lira [...] si se quiere hacer cuerdas para lira [...] toma los intestinos de la oveja y lávalos bien limpios, después déjalos en agua o lejía medio día o más hasta que la carne se desprenda fácilmente del material de la cuerda que es como el tendón. Después retira la carne del material limpiamente con una púa o un dedo limpio. Luego ponlo en lejía fuerte o vino tinto dos días. Después retíralo y sécalo con un paño de lino y une 3 o 4 juntos según la cantidad que deseas tener y luego torsionalos hasta que sea suficiente. Después extiéndelos en una pared y déjalos secar. Luego descúélgalos y colócalos en un lugar que no sea ni muy seco ni muy húmedo, pues la excesiva sequedad los destruye fácilmente, así como la humedad».

cheville à l'autre iusques à ce qu'ils ayent fait passer autant de boyaux par-dessus, comme il en faut pour la grosseur de leurs cordes.²⁰⁵

El calibre o grosor deseado para la cuerda se logra añadiendo fibras de tripa. Por ejemplo, Mersenne menciona el uso de siete fibras para el más delgado de los embobinados, o doce para los más gruesos, a los que llama «montants», y más adelante concluye, «que las cuerdas sextas del bajo de viola da gamba y las décimas de las grandes tiorbas son elaboradas con cuarenta y ocho, cincuenta y sesenta tripas, hilos o fibras de tripa, lo que las hace cuatro o cinco veces más gruesas que el más grueso de los embobinados»:

Par exemple le plus deliées de les raquettes sont composées de sept boyaux, et les plus grosses de 12 que l'on appelle montants [...]: d'où il est aisé de conclure que les sixiesmes des basses de viole, et les dixiesmes des grans tuorbes sont faites de 48 ou de 50 et 60 boyaux, car elles sont du moins 4 ou 5 fois aussi grosses que la plus grosse des raquettes.²⁰⁶

Este testimonio es de enorme interés por su precisa información sobre las características de las cuerdas graves de los instrumentos de cuerda, tanto respecto al material como a su calibre.

De manera general, diferentes grosores de cuerdas requerían diferentes tipos de tripas para su elaboración. Además, según las características del material, se requerían más o menos fibras para elaborar cuerdas del grosor deseado. Según los documentos aportados por P. Barbieri, las cuerdas más delgadas -llamadas primas o cantarelitas- se elaboraban con intestinos de corderos jóvenes que no superaban el año de edad, llamados *agnello* en Italia.²⁰⁷ Estas cuerdas permiten una mayor resistencia mecánica para un calibre más delgado.

Las cuerdas de grosor intermedio usadas para registros centrales (*tenori*) se fabricaban de intestinos de corderos de más de tres años de edad; *castrato* o *pécora*, y se elaboraban torsionando dos hilos o hebras de tripa.²⁰⁸

Et le budelle dellei castrati li debba fare ò tenori di doi fili [...], et delle pecore et capre farne bordoni et bassi di tre ò quattro fila.²⁰⁹

²⁰⁵ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I *Des Instruments, PROPOSITION II, Expliquer la mat, et la maniere dont on fait les chordes des instrument*, p. 3: «Pero es preciso ponerlas a remojo un día antes de torsionarlas en las clavijas, con el fin de limpiarlas y eliminar la grasa y todo lo que sea superfluo, y dejando solamente el tejido de la membrana de tres clases de fibras; a saber, las rectas, las transversales y las oblicuas, de donde ella toma su fuerza; y después se las ha de extender bien húmedas y mojadas sobre las dichas clavijas a lo largo de su longitud, y atornillando el hilo sobre sus clavos, o sus clavijas yendo o viniendo de una clavija a otra hasta haber hecho pasar tanta tripa por encima como se necesite para el grosor de las cuerdas».

²⁰⁶ Ibídem, p. 3: «Por ejemplo, la más delgada de las bobinas está compuesta de siete tripas, y las más gruesas de 12 que se llaman montants [...]: de donde es fácil de concluir que las sextas de los bajos de viola, y las décimas de las grandes tiorbas están hechas de 48 o de 50 y 60 tripas, ya que son al menos 4 o 5 veces más gruesas que la más gruesa de las bobinas».

²⁰⁷ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., p. 5.

²⁰⁸ Ibídem, p. 82.

²⁰⁹ Archivo del Estado de Roma, 30 notas capitulares, año 1617, v. 84, f. 215: «y de las tripas de los castrati deben hacer los tenori de dos hilos [...] y de los pecore y cabras se harán bordones y bajos de tres o cuatro hilos».

Para las cuerdas de mayor grosor, como los bordones para registros graves (*bordoni* y *bassi*), se usaban los intestinos de corderos adultos y cabras de más de tres años (*pecore* y *capre*), elaborándolas con tres, cuatro y cinco hilos o tripas:²¹⁰

Item convengono che delle capre, et pecore esso ms. Rosato debbia fare li bordoni e bassi di tre, di 4 et di 5 et ducento dozzine di tenore di pecora di due fila quali sono compresi in detta vendita.²¹¹

Una información muy interesante a cerca de las cuerdas de tripa de animal viejo la encontramos en M. Radau, que se podría considerar como la continuidad de la tradición napolitana de fabricación de cuerdas de tripa transmitida a París por el fabricante Nicolas Savaresse a principios del siglo XIX. En ella se sugiere que tal vez serían las tripas de cordero viejo el secreto de las famosas cuerdas napolitanas, por ser los intestinos, ya de por sí más resistentes, más gelatinosos, aglutinándose mejor en la torsión, dando unas cuerdas más homogéneas y menos susceptibles a los cambios de humedad:

Paris, d'excellentes la ou ré de violon avec les intestins d'agneaux, surtout lorsqu'ils deviennent un peu vieux. C'est qu'en Italie on y mange beaucoup plus d'agneaux [...]. Ne serait-ce pas alors parce que leurs intestins, déjà assez résistants, sont plus gélatineux que ceux du mouton; que les fils qu'en on tire se collent mieux ensemble lors de la torsion, donnent alors une corde plus homogène, bien cylindrique, d'un diamètre égal au moins dans toute la longueur soumise à la vibration et alors moins accessible aux variations de température et d'humidité?²¹²

Siguiendo con el proceso de elaboración de las cuerdas, según la información proporcionada por Radau, una vez tensadas las tripas se las torsiona varias veces, y una vez «torsionadas suficientemente», se las frota y se las pule tanto con «lino o cuerdas de cáñamo» como con una yerba que es una especie de «cola de caballo que se llama Presle», y, finalmente, se las deja secar a fin de que sean «propias para los instrumentos musicales»:

Si tont qu'elles ont esté tendues, ont les tord à plusieurs fois, et apres qu'elles ont esté assez tordues, on les essuye, on les frotte, et on les polist, tant avec des linges, ou des cordes de chanure [...] qu'avec une herbe qui est une espece de queuë de cheval, qu'ils appellent Presle, et finalement ils les font seicher, afin qu'elles soient propres pour les instruments de Musique.²¹³

²¹⁰ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., p. 82.

²¹¹ Archivo del Estado de Roma, 30 notas capitulares, año 1618, v. 88, f. 20: «Asimismo, convenimos que de las cabras y pécoras, el señor Rosato debe hacer los bordones y bajos de tres, de 4 y de 5 y doscientas docenas de tenores de pécoras de dos hilos los cuales son comprendidos en esta venta».

²¹² M. R. Radau, «Industrie du Boyaudier», *Le Moniteur Scientifique*, 8, (1866), p. 452: «París, excelentes las o res de violín con intestinos de corderos, sobre todo los que se hacen un poco viejos. Es que en Italia se come mucho más cordero [...]. ¿No sería entonces que los intestinos, ya de por sí bastante resistentes, son más gelatinosos que los de oveja; que los hilos que se sacan se aglutan mejor al unirse en la torsión, dando así una cuerda más homogénea, bien cilíndrica, de un diámetro igual por toda su longitud sometida a la vibración y menos vulnerable a las variaciones de temperatura y humedad?».

²¹³ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. i *Des Instruments, PROPOSITION II, Expliquer la mat, et la maniere dont on fait les chordes des instrument*, p. 3: «Una vez están tensadas, se las torsiona varias veces, y después que se han torsionado lo suficiente, se las seca, se las frota, y se las pule tanto con tiras, o cuerdas de cáñamo [...] como con una hierba que es una especie de cola de caballo, que se llama presle, y, finalmente, se las deja secar, a fin de que sean apropiadas para los instrumentos de música».

El grado de torsión en una cuerda se puede medir por el ángulo que forman los pliegues de las fibras en su superficie, formados por las contracturas del material al girar sobre sí mismo. En el caso de alta torsión, este ángulo es superior a 45º, y se considera de baja torsión el inferior a 30º. Se ha de tener en cuenta que una cuerda delgada requiere más vueltas que una gruesa para alcanzar el mismo ángulo de torsión. Para conseguir cuerdas más gruesas con un alto coeficiente de elasticidad y uniformidad, se juntaban dos o más cuerdas de la misma clase y se volvían a torsionar haciendo un trenzado.

Este sistema para elaborar cuerdas de tripa mediante alta torsión, de características diferentes a las normales «de superficie lisa», lo encontramos descrito ya a mediados del siglo XV por Ugolino de Orvieto.²¹⁴

Este tipo de cuerdas así elaboradas muestran irregularidades en el calibre a lo largo de su superficie,²¹⁵ como afirma Barbieri²¹⁶ produciendo un sonido «menos intenso y definido» que en las ordinarias (véase Apéndice de citas II; cit. *Ugolinus Urbevetanus*, p. 116).

En el citado capítulo ix de dicho documento titulado «De cordarum seu nervorum instrumentalium subtilitate et grossitie», Ugolino de Orvieto explica todos los efectos que causan en el sonido las diferentes combinaciones de características de grosor, tensión y aspecto de las cuerdas o «nervios» de tripa «instrumentalis» (L. V, cap. IX) (véase el Apéndice de citas II).

CONCLUSIÓN

Queda atestiguado por el testimonio de un buen número de fuentes, ya desde las medievales hasta las de la época del Barroco, que los intestinos de ovino y, especialmente, de ovejas y carneros eran utilizados para la fabricación de las cuerdas de las vihuelas. En las descripciones que se conservan del proceso de elaboración de dichas cuerdas, se observa gran coherencia en el procedimiento, que generalmente consistía en limpiar y raspar las tripas, torsionarlas en fibras a lo largo, tensarlas y dejarlas secar para, finalmente, pulirlas. Las propiedades y características sonoras de las cuerdas elaboradas con este material, incluyendo diferentes tipos de tripa según la función de la cuerda, se encuentran también documentadas y nos dan información de lo preciado de este elemento en cuanto a su contribución a la peculiaridad sonora de las vihuelas de la época.

²¹⁴ Ugolinus Urbevetanus, *Declaratio musicae disciplinae...*, L. v, cap. ix, *De cordarum seu nervorum instrumentalium subtilitate et grossitie...*, pp. 112-118.

²¹⁵ Ibídem, p. 113.

²¹⁶ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., p. 158.

3.3. EL OFICIO DE HACER CUERDAS DE VIHUELA

Al tratarse de un oficio artesanal y en ocasiones familiar, los conocimientos sobre los métodos y procedimientos de la fabricación de cuerdas quedaban generalmente reservados a la trasmisión oral de padres a hijos o de maestros a aprendices. Este hecho hace que la información conservada sobre la manufactura de cuerdas en la Edad Media sea muy escasa. En España, la documentación que se conserva apunta hacia una cierta semejanza con técnicas y prácticas empleadas en otras partes de Europa. Por esta razón, hemos incorporado aquí información sacada de fuentes europeas con la finalidad de poder completar y resolver ciertas incógnitas en el ámbito español por alusión y comparación. Las referencias más antiguas de que disponemos que confirman el uso de tripa para instrumentos musicales proceden de Italia.

La manufactura de cuerdas de tripa para instrumentos musicales se puede encontrar documentada, como atestigua Barbieri,²¹⁷ en Florencia ya desde el año 1216,²¹⁸ o desde 1329 en Venecia, donde el Gran Concejo de Venecia prohibía a los fabricantes de cuerdas operar en medio de la ciudad por razones de salud pública (*Archivio di Stato di Venezia, spiritus c. 38*):²¹⁹

Quod illi de cordis budelarum, non possint facere artem cordarum budellarum in corpore civitatis.²²⁰

En la Península Ibérica, se pueden encontrar citas referentes a los gremios de triperos en el Archivo Municipal de Barcelona ya desde el año 1326, como ésta que recoge Antonio Campmany:

Corderos de vihuela: Este oficio cuya formación en matricula gremial se ignora mereció particular atención de parte del gobierno municipal según cita la Rúbrica de Ordenaciones fol. 237). Se publicó un edicto en el año 1524 sobre la ley y bondad de las cuerdas, el lugar destinado para comprar las tripas y la justa repartición del material entre los individuos del oficio. En 1326 se les separó el sitio propio donde debían trabaxar y en 1329 se repitió el primer bando con algunas adiciones. En 1339 se promulgó otro para que no se pudiese ejercer el oficio dentro de las atarazanas En 1344 fueron dados estatutos sobre el vendage público de las tripas, la labor de las cuerdas y su largo.²²¹

En concreto en los folios del año 1404 (ff. 92-93r; véase Fig. 1),²²² se mencionan y regulan en un bando municipal las actividades y comercios de este gremio de corderos o maestros de hacer cuerdas de vihuela, haciendo alusión a las ordenanzas de venta de tripas e intestinos para la fabricación de cuerdas:

²¹⁷ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., pp. 3-128.

²¹⁸ Robert Davidshon, *Storia di Firenze*, Florencia, Sansoni, 1973, vol. 4, parte II, pp. 66-67.

²¹⁹ Bartolomeo Cecchetti, «Apunti sugli strumenti musicali usati dai veneziani antichi», *Archivo Veneto*, n. s., XVIII, vol. 35, parte I, Venecia (1888), p. 76.

²²⁰ Concejo Mayor de Venecia, 24 octubre de 1329, *Spiritus*, c. 38 (actual numeración ivi c. 39): «Aquellos de cuerdas de tripa, no pueden elaborar su arte de hacer cuerdas de tripa en el cuerpo de la ciudad».

²²¹ Antonio Campmany y Montpalau, *Memorias históricas sobre la marina, comercio y artes de la antigua ciudad de Barcelona*, Madrid, Imprenta de Don Antonio de Sancha, 1779, pp. 139-140, fuente: Rúbrica de Ordenaciones, f. 237.

²²² Consell de Cent, *Registros de Ordinaciones*, 1404, Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, ff. 92-93r.

[Die martis, XXIX die january, anno a nativitate domini millesimo CCCC IIII, Bernardi Cadireta,
escribano publico, etc.]

Ban de mogues e de budells: Ara hoiats per manament del noble veguer e del honorable batle de la ciutat de Barchinona, ordonaren los consellers e pròmens de la dita ciutat que aquells qui hagen o hauran mogues o budells qui sien covinents a fer cordes que les porten vendre en loch publich, ço es, a saber, al rech de la mar, al(s) mestres qui fan les dites cordes, e que aquella venda no gosen fer negun dia ans de tercia. Et que los señors compradors...²²³

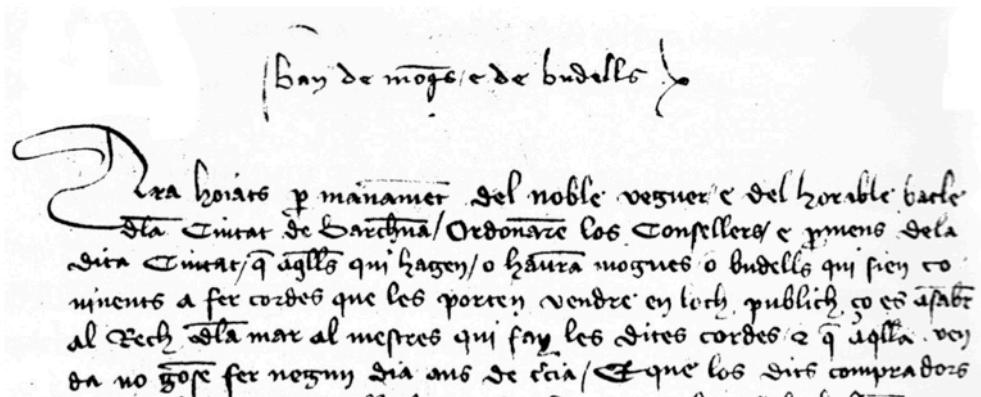


Figura 1. Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, f. 92, párr. 2.

Unas líneas más abajo, en el párrafo quinto, incluso se especifica el tipo de animal cuya tripa es conveniente para hacer cuerdas, mencionando la oveja, la cabra o el macho cabrío, y se advierte que «no mezclen ni vendan otras tripas ni intestinos que no sean convenientes para hacer cuerdas», como son las de los animales citados, ni de otra bestia (Fig. 2):

Item que algun qui vene de les dites moques o budells, no gos mesclar ni vendre algunes altres moques ne budells qui no sien covinents a fer cordes, ço es de ovella, de cabra, o de boch, ne d'altre bestia, sots ban de XX solidos.²²⁴

²²³ *Consell de Cent, Registres de Ordinacions*, 1404, Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, f. 92: «Martes, XXIX de enero, año del Señor de mil CCCC IIII, Bernardi Cadireta, escribano público, etc. Bando de tripas e intestinos [...]. Sea conocido de todos (escuchad ahora) por mandato del noble corregidor y del honorable alcalde de la ciudad de Barcelona, ordenan los consejeros y autoridades de dicha ciudad que los que tengan o tuvieran tripas o intestinos que sean convenientes para hacer cuerdas, que las llevan vender en lugar público, esto es, a saber, la acequia del mar, a los maestros que hacen dichas cuerdas, y que esa venta no osen hacer ningún día antes de tercia. Y que los señores compradores....».

²²⁴ *Consell de Cent, Registres de Ordinacions*, 1404, Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, f. 92v: «Asimismo, que quienquiera que venda las dichas tripas o intestinos, no ose mezclar ni vender otras tripas e intestinos que no sean los apropiados para hacer cuerdas, a saber, de oveja, de cabra, de macho cabrío ni de otra bestia, bajo multa de veinte sueldos».

*Irem que alguns qui ven dels dites moques o budells no gosan
olar ni vendre algunes als moques ne budells qui no sien conuenient
a fer cordes co es de ouella de cabra o de boví ni d'altre bestia per
les q[ue]s de ex polo*

Figura 2. Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, f. 92v, párr. 5.

Muy interesante es la advertencia de que aquellos que también hagan «cuerdas de algodón, no utilicen este material para hacer cuerdas de instrumentos» (Fig. 3):

Item quels mestres que faran les dites cordes facen cascuna corda de aytal largaria con hauran los dits budells e nos qui a lur part vendran. E que d'aquells qui seran covinents a fer cordes de cotó no traguen algun fil per fer cordes d'esturments. E que la braça de la corda haia viij palms justos de cana de Barchinona.²²⁵

*Irem quels mestres qui fazan les dites cordes facan cascuna corda
de ayral largaria con hauran los dits budells e nos qui a lur part
vendran. E que d'aquells qui sian conuenient a fer cordes de cotó no tra-
guen aligm fil p fer cordes d'esturments e que la braça de la corda
haia viij palms justos de cana de Barchina. E que d'aquells*

Figura 3. Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, f. 92v, párr. 2.

En el archivo de la Biblioteca del Ateneo de Barcelona,²²⁶ se encuentra un manuscrito que recoge las ordenaciones del gremio de los maestros de hacer cuerdas de viola de la dicha ciudad desde el año 1410 (Ms 27) (Fig. 4):

Libre en lo qual están continuades les ordinacions fetes per los magnifichs conselles y consell de trenta sis de la p[rese]nt ciutat de Barcelona a favor dels Mestres de la co[n]fraria dels cordes de cordas de viola.²²⁷

²²⁵ Consell de Cent, *Registres de Ordinacions*, 1404, Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, f. 92v: «Asimismo que los maestros que harán las dichas cuerdas hagan todas las cuerdas de la misma largada que tengan los dichos intestinos y los que les lleguen. Y que de aquellos que sean aptos para hacer cuerdas de algodón no extraigan ningún hilo para hacer cuerdas de instrumentos. Y que la braza de la cuerda tenga nueve palmos justos de caña de Barcelona».

²²⁶ Confraría de Corders de Barcelona, *Libre en lo qual estan continuades les ordinacions fetes per los magnifichs conselles y consell de trenta sis de la p[rese]nt ciutat de Barcelona en favor dels mestres de la Co[n]fraria dels cordes de cordas de viola*, Barcelona, Biblioteca de l'Ateneu Barcelonès, Ms. 27, 41 ff., años 1410-1722, <<http://mdc.cbuc.cat/cdm/ref/collection/manuscritAB/id/42183>> (última consulta, 25/4/2013).

²²⁷ Confraría de Corders de Barcelona, *Libre en lo qual estan continuades...*, Ms. 27, f. preliminar: «Libro en el que están contenidas las ordenanzas hechas por los magníficos consejeros y consejo de treinta y seis de la presente ciudad de Barcelona a favor de los Maestros del gremio de los corderos de cuerdas de vihuela».



Figura 4. *Libre de les ordinations dels mestres de la Co[n]fraria dels cordes de cordas de viola*,
Barcelona, Biblioteca de l'Ateneu Barcelonès, Ms. 27, f. preliminar 1.

En estas ordenaciones se regula la venta de tripas e intestinos por parte de los carniceros a los maestros corderos, a precio de «tres sueldos la docena»:

Dijous a deu de Juliol any de la nativitat de nostre senyor Mil quatracens y deu fonch publicada la ordinacio [...] fou estat ordenat que tot corder o corders que acostuman de fer cordes de budells en la dita ciutat ha quessen de comprar dels carnicer o, carnicers totas las moças e ventres e budells ab sos drets per preu de tres sous la dotzena sots ban de vint sous segons la dita ordinacio.²²⁸

En uno de los fragmentos del manuscrito se contempla el caso de que en el tiempo en el que los intestinos son más gruesos, no sufren los perjuicios que esto ocasiona al oficio de hacer cuerdas:

²²⁸ Confraria de Corders de Barcelona, *Libre en lo qual estan continuades...*, Ms. 27, f. 3r: «Jueves a diez de julio del año de la Natividad de Nuestro Señor mil cuatrocientos diez fue publicada la ordenanza [...] fue estar ordenado que todo cordero o corderos que suelen hacer cuerdas de tripas en la dicha ciudad que han de comprar del carnicero o los carniceros todas las madejas, tripas e intestinos a su derecho por precio de tres sueldos la docena bajo multa de veinte sueldos según la dicha ordenanza».

Perçó que en lo temps quels dits ventres son pus grossos no puguessen restar car seria cosa prejudicial e molt damnosa als dits corders.²²⁹

En otro lugar de las ordenanzas, se prohíbe cortar, vender o dar las dichas tripas o intestinos a toda persona de cualquier condición que no sea maestro del gremio de hacer cuerdas de viola, bajo multa de veinte sueldos:

Item que de aquells qui compran de les dites mocas y budells no gos tallar vendrer ne donar ni llanzar los dits budells a [persona de qualche condicio sia, sino als Mestres qui obran de les dites cordes [de viola] be y llealment. E qui contra farà pagará per ban quascuna vegada vint sous.²³⁰

En el Archivo Histórico de Protocolos Notariales de Zaragoza, existe un testimonio sobre la existencia del oficio de fabricante de cuerdas para vihuela en Zaragoza que se remonta al año 1485:

Pedro de Barcedo, *hacedor de cuerdas de vihuela*, es testigo de la cesión en arriendo de unas casas efectuada por el capítulo de frailes del convento del Carmen (AHPZ, Notario: Gaspar Barrachina, año 1485, ff. 188-188v).²³¹

Durante el siglo XVI se registran más nombres de «maestros de hacer cuerdas de vihuelas» en diferentes contratos con maestros violeros o carníceros para fijar las condiciones de la obtención de las tripas o el suministro de las cuerdas; así, algunos en Zaragoza como: Juan Desto (1531), Johannes Ferran (Barcelona, 1541),²³² Juan Bernaldino (1571), Antonio Desideri (1597), Juan de Navarro (1571), Pedro de Neyra (1572), o Tomás Sipión (1597).²³³

Desde 1517 se encuentran estos documentos de contratos de arrendación de intestinos para la fabricación de cuerdas de vihuela custodiados en el Archivo Histórico (de Protocolos Notariales) Provincial de Zaragoza, como recoge Pedro Calahorra,²³⁴ en los siguientes fragmentos documentales:

Primo, dicho Juan ha de dar a dicho Juan Bernaldino los intestinos de carnero, todos los que el dicho Bernaldino quisiere cada día, buenos y limpios y repasados la primera vez, y de estos

²²⁹ Confraría de Corders de Barcelona, *Libre en lo qual estan continuades...*, Ms. 27, f. 2v: «Por eso, que en el tiempo que los dichos intestinos sean más gruesos no pudiesen ocasionar cosa perjudicial seria y mucho daño a los dichos corderos».

²³⁰ Confraría de Corders de Barcelona, *Libre en lo qual estan continuades...*, Ms. 27, f. 6v: «Asimismo, que de aquellos que compran las dichas tripas e intestinos no osen cortar, vender ni dar, ni tirar las dichas tripas a toda persona de cualquier condición que no sea sino a los maestros que obran las dichas cuerdas [de vihuela] bien y legalmente, y quien haga lo contrario pagará por multa cada vez veinte sueldos».

²³¹ Miguel Ángel Pallarés Giménez, «Aportación documental para la historia de la música en Aragón en el último tercio del siglo XV», *Nassarre*, VIII. 2 (1992), pp. 171-244.

²³² Francisco Baldelló, «Constructores de instrumentos musicales en Barcelona: Confradía dels Corders de Corda de Viola», *Anuario Musical*, XXIV (1969), pp. 199-203, en José Luis Romanillos Vega y Marian Harris Winspear, *The vihuela de mano and the spanish guitar, a dictionary of the makers of plucked and bowed musical instruments of Spain (1200-2002). String makers, Shops, Dealers & Factories*, Guijosa, Sanguino, 2002, pp. 134 y 256.

²³³ Pedro Calahorra Martínez, *Música en Zaragoza en los siglos XVI y XVII...*, pp. 332-337, e *Historia de la Música en Aragón, siglos I al XVII*, Zaragoza, Librería General, 1977, pp. 65-66, también en José Luis Romanillos Vega y Marian Harris Winspear, *The vihuela de mano and the spanish guitar...*, pp. 40, 98, 134, 256, 267, 268 y 388.

²³⁴ Pedro Calahorra Martínez, *Música en Zaragoza en los siglos XVI y XVII...*, pp. 332-337.

francos de arrendación; y más le ha de dar casa y lugar para haberlas de hacer, sin pagar alquiler ninguno; y más le ha de dar todos los aparejos necesarios que hubiere menester, que son los siguientes: telares para labrar las dichas cuerdas de vihuela, un telar largo y otro corto y lebrillos de que hubiere menester, y un cosio, y una tinaja para tener lejías y toda el agua, la que necesario tuviere de Ebro [tachado: y más toda la agua que hubiere menester, que sea la agua de Ebro] para labrar dichas cuerdas [...] obligado que de la mitad de todas las cuerdas que yo labraré de dichos intestinos que me dará, hayan de ser del dicho maese Juan Navarro, y de aquella parte que al dicho Juan Navarro le viniere, le haya de dar y pagar por cada gruesa de dichas cuerdas de cualquier suerte que sean [añadido: pues sean de instrumentos] a cuatro reales.²³⁵

[Juan de Navarrete, violero, es el arrendador] de los intestinos que proceden y procederán de las carnes de carnero, cabrón, cabra y oveja que matarán en el desollador de la presente ciudad, (y acogiendo al recién citado Pedro de Neyra y a Juan de Labaya), violeros, vecinos de la dicha ciudad en las dos terceras partes de la dicha arrendación.²³⁶

Que en cada semana, durante el tiempo infrascripto, me habéis de dar cuatro gruesas de cuerdas de vihuela como yo las pidiere y cuatro *cuerdas de arco*, las dos de a dieciocho y las otras dos de a veinte.²³⁷

En un acta notarial que se encuentra en el Archivo Histórico de Protocolos Notariales de Zaragoza, de 1537,²³⁸ aparece el inventario de los bienes registrados a la muerte del violero Miguel de Terradas, que como otros violeros, también hacía cuerdas de vihuela. En dicho inventario aparecen, entre numerosos enseres, herramientas, maderas para tapas (ciprés y abeto), clavijas e instrumentos, un gran número de alusiones a la pertenencia de cuerdas de vihuela o utensilios para fabricarlas, y se mencionan:

Así mismo un saco con cabos de cuerdas, [...] dos plegadores de cuerdas,²³⁹ [...] un axibo de plegar cuerdas,²⁴⁰ [...] dos cubos de hacer lexía para cuerdas con sus banquos, [...] seis cuencos de tierra para hacer cuerdas,²⁴¹ [...] una arquilla con cuerdas de biguelas.²⁴² [...] Tres arquillas llenas de cuerdas de vihuela, [...] una arquilla de noguera con cuerdas de vihuela, [...] un saco de cuerdas biejas,²⁴³ [...] dos ganchos con siete madexas de cuerdas de arco,²⁴⁴ [...] dos telares de hacer las cuerdas, [...] un torno de hacer las cuerdas,²⁴⁵ [...] en el stablo un telar de hacer cuerdas, [...] un torno de hacer las cuerdas de vihuela, [...] un telar de hacer cuerdas, [...] un tirador de cuerdas,²⁴⁶ [...] cincuenta y cinco gruesas de cuerdas.

²³⁵ Archivo Histórico de Protocolos Notariales de Zaragoza, actas notariales. Notario Lorenzo de Villanueva, 29 de junio de 1571, f. 693v.

²³⁶ Loc. cit., Notario Martín Español, 14 de mayo de 1574, ff. 274 y 276.

²³⁷ Loc. cit., Notario Sebastián Moles, mayor, 13 de marzo de 1572, f. 88v.

²³⁸ Loc. cit., Notario Jacobo Talayero, 19 de junio de 1537, ff. 264r-275r.

²³⁹ Ibídem, f. 264v.

²⁴⁰ Ibídem, f. 266r.

²⁴¹ Ibídem, f. 267v.

²⁴² Ibídem, f. 268r.

²⁴³ Ibídem, f. 268v.

²⁴⁴ Ibídem, f. 269r.

²⁴⁵ Ibídem, f. 269v.

²⁴⁶ Ibídem, f. 270r.

En otra acta notarial del mismo archivo de 1597,²⁴⁷ se menciona la gama completa del tipo de cuerdas disponibles (primas, segundas, terceras y bordones), además de la posibilidad de hacerlas al estilo florentino o al napolitano:

Antonio Desideri y Alexandro Cosi y Tomás Sipión le han de dar [...] todas las cuerdas de guitarra, vihuela y de estos instrumentos como sean primas, segundas y terceras que hicieren durante tiempo de dos años [...] como sean a la florentina o napolitana [...] que si [...] quisieren que los sobredichos les den bordones, que son cuerdas.²⁴⁸

Sobre la misma época, encontramos en las ordenanzas del gremio de cordeleros de Granada, publicadas en el año 1552,²⁴⁹ información sobre los requisitos que se les exigían a los oficiales de dicho gremio; entre ellos, el de saber hacer una «encordadura» de «vihuela de arco», y que la madeja de cuerdas de tripa fuera entera y midiera «tres varas» (véase Fig. 5):

Item, ordenamos, que el oficial ha de saber hacer una encordadura de un tenor, y otra de discante, y otra de harpa, y otra de *viguela de arco*, y otra de guitarra. [...] Que la madeja tenga tres varas, y que no vaya en pedaços...

Sobre el tipo de tripa para fabricar las cuerdas, exigían las citadas ordenanzas que se usara exclusivamente la de carnero, además de prohibir que se hilaran al torno en su elaboración:

Que no hagan cuerdas de almaçen, que son de hiladas al torno. [...] como la lana, ni hazer de machos, ni de cabra, ni de oveja, *salvo de solo carnero*.

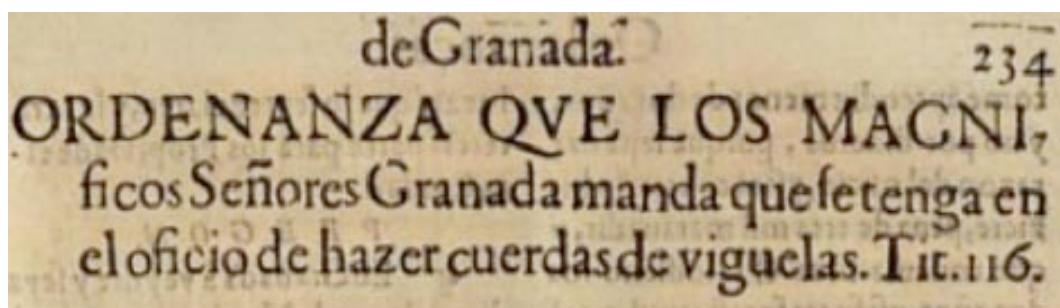


Figura 5. *Ordenanzas que los muy ilustres y muy magníficos señores de Granada..., 1552*, p. 234.

²⁴⁷ Pedro Calahorra Martínez, *Música en Zaragoza en los siglos XVI y XVII...*, pp. 335-336.

²⁴⁸ Archivo Histórico de Protocolos Notariales de Zaragoza, actas notariales. Notario Diego Casales, 17 de mayo de 1597, f. 776.

²⁴⁹ *Ordenanzas que los muy ilustres y muy magníficos señores Granada mandaron guardar para la buena gouernacion de su Republica, impressas año de 1552*: Impresas en Granada, en la Imprenta Real de Francisco de Ochoa, en la calle de Abenamar, Año de 1672, que se han buelto a imprimir por mandado de los señores Presidente, y Oydores de la Real Chancillería de esta ciudad de Granada, año de 1670, añadiendo otras que no estauan impressas, Granada: Francisco de Ochoa, 1672, p. 234., Real cancillería de Granada, Reproducción digital del original conservado en la Biblioteca de la Universidad de Granada, <http://books.google.es/books/about/Ordenanzas_que_los_muy_ilustres_y_muy_ma.html?hl=es&id=JmpNk9eRGuA> (última consulta: 8-4-2013).

En resumen, de las fuentes examinadas se deduce que las cuerdas de los instrumentos musicales se hacían de numerosos hilos de intestinos de animales limpios, tendidos húmedos, torsionados y dejados secar. La fabricación de estas cuerdas era una manufactura que pertenecía al oficio de maestros de hacer cuerdas de vihuela y su actividad estaba regulada en las ordenanzas de los gremios de artesanos, entre los cuales, algunos violeros también fabricaban cuerdas. En general, había diferentes tipos de cuerdas según su uso, siendo éstas de diferentes tipos de animal o compuestas de diferente número de hilos o diferente tipo de tratamiento o torsión, según fueran destinadas para primas, medias o bordones. Hemos podido encontrar detallada información sobre los pormenores de las cuerdas, su fabricación y el gremio de artesanos en archivos de protocolos notariales, ordenanzas de gremios de artesanos y otros documentos históricos que registran inventarios, compra y venta de cuerdas y regulación sobre su fabricación y mercado.

3.3.1. Inconvenientes de la actividad del gremio para la salud pública

La mencionada prohibición de 1329²⁵⁰ que el Concejo Mayor de Venecia levantó contra el oficio de fabricantes de cuerdas para no operar en medio de la ciudad por motivos de salud pública, es una circunstancia que se repite en la historia de este gremio. Es por este motivo por lo que, como atestigua en 1651 Paolo Zacchia,²⁵¹ desde finales del siglo XVI en Roma los maestros corderos o *cordari* habían de residir cerca del río Tíber. El antiguo nombre de una de las calles romanas que desembocaba en dicho río, *Via dei cordari*, así lo confirma.²⁵²

También en España se encuentran menciones al perjuicio para la salud causado por esta actividad gremial. Por ejemplo, en unas ordenanzas de la ciudad de Valladolid de 1549,²⁵³ se prohíbe vaciar en calles y plazas el «caldo de las tripas con que se hacen las cuerdas de vihuela», por motivos de limpieza y salud debido a los malos olores:²⁵⁴

Otrosy ordenamos y mandamos, asy por la limpieza del pueblo como por la salud, por el daño que en él suelen los malos olores causar, que ninguna persona vazie por las calles e plazas desta villa, ny a las puertas de sus casas, caldo de tripas de que se hacen las cuerdas de vihuela, so pena a que por cada vez que lo contrario se le probare haber hecho, que pague tres reales, los dos para el Fiel de la limpieza o persona que lo acusare, y el uno para los jueces que lo sentenciaren.²⁵⁵

En una carta de 1703, el gremio de «corderos de viola» de la ciudad de Barcelona se defiende de la acusación de haber sido posible causa de la mala salud que sufría la comunidad del monasterio de Santa Clara, el hedor proveniente de los mataderos de la arboleda próximos al

²⁵⁰ Archivio di Stato di Venezia, *spiritus*, c. 38. (Véase p. 57 y notas 219 y 220).

²⁵¹ Paolo Zacchia, *Quaestionum medico-legalium*, Amsterdam, J. Blaeu, 1651, p. 365: «...seu chordas pro instrumentis musicis ex anumalium intestinis praeparantes..., ut hic Romae de prioribus fit, ubi prope Tyberim habitant, ut fluminis commoditate proprias domos expurgant, & ut sua ipsorum arte publicae sanitati non noceant. Nam si artem exercere, per quam malus odor vicinis fiat, etiam in domo sua prohibetur quis exercere».

²⁵² Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., p. 7.

²⁵³ Mosquera de Molina, Comendador Juan, *Ordenanzas con que se rige y gobierna la república de la muy noble y leal ciudad de Valladolid (1549)*, Valladolid, Thomas de Santander, 1763.

²⁵⁴ Juan Carlos Ayala Ruiz, «Las cuerdas de vihuela: una mirada a los aspectos cotidianos...», art. cit., p. 12.

²⁵⁵ Mosquera de Molina, Comendador Juan, *Ordenanzas... de la ciudad de Valladolid...*, ordenanza II, cap. 4.

monasterio, en los cuales trabajan los «individuos» del gremio de los corderos. Este documento es muy importante porque nos da datos sobre la localización de dichas oficinas, desde el año 1597, y también de las de la ciudad de Zaragoza, que estarían a un «tiro de piedra» del palacio arzobispal, y dos conventos de religiosas:

Lo Syndich de la Confraria dels Corders de Viola de la present Ciutat, diu haver tingut noticia, que la Illustre Abadessa, y Monestir de Santa Clara de esta Ciutat, [...] als 17. de Janer del present any de 1703 possarien en noticia de V. E. que la extraordinaria, y gran falta de salut, [...] se hauria de ocasionar, en part del fetor que exalarian las oficinas que te V. E. construidas en la Arboleda cerca de los Escorxadors en las cuales treballan los individuos de dita Confraria dels Bodells sels entregan en dits Escorxadors, las cordas de viola [...]. Que las ditas Officinas foren manadas fabricar per V. E. en lo lloch ahont vuy se troban, en lo any 1597, [...] En la Ciutat de Zaragoza, se troban construidas las oficinas dels Corders de Viola a un tir de pedra del Palau Archiepiscopal, de las Casas de la Deputació, y Ciutat, y de dos Convents de Religiosas lo un intitulat de Nostra Senyora del Tabas, y altre de nostra Senyora de la Mercè, sens que may se haja experimentat y menos aparegut que fossen prejudicials a la salut del circumveynat.²⁵⁶

3.3.2. Calidad de las cuerdas

Durante el siglo XVI, Roma era el foco más importante de fabricación de cuerdas de tripa en Europa. A pesar de ello, existen testimonios que aseguran que la calidad de las cuerdas procedentes de Alemania, y en concreto de Múnich, era muy superior, como confirma el testimonio aportado por Clifford M. Brown²⁵⁷ mediante una carta de Lorenzo da Pavía a Isabella d'Este:²⁵⁸

Al presente se trova a Venecia uno todescho el quale à protato un poco de corde de liuto bonissime e forte e d'ogne sorte e sono corde de Mónaco che sono le melio che se faceno.²⁵⁹

²⁵⁶ Confraria dels Corders (Barcelona), *Exm. Senyor, lo syndich de la Confraria dels Corders de Viola de la present ciutat... / [Pi, De Riu]*, 1703, Biblioteca de Cataluña, f. bon. 10323., <<http://books.google.es/books?id=kcfKN9cPO0AC&pg=PR2&lpg=PR2&dq=confraria+del+corders+de+viola&sour ce=bl&ots=PEF5cGMbDL&sig=cIz0I5ckSWZbv2fwQDRMN9D4ORI&hl=es&sa=X&ei=3hN5UbjXJpCWhQfym4 DgAw&ved=0CD0Q6AEwAQ>> (última consulta: 8-4-2013): «El síndico de la Cofradía de los Corderos de Viola de la presente ciudad, dice haber tenido noticia que la ilustre abadesa, y monasterio de Santa Clara de esta Ciudad, [...] a 17. de enero del presente año de 1703 pondrian en noticia de V. E. que la extraordinaria, y gran falta de salud, [...] se habría ocasionado, en parte por el hedor que exhalarían las oficinas que tiene V. E. construidas en la arboleda cerca de los mataderos en los cuales trabajan los individuos de dicha Cofradía de las tripas que les entregan en dichos mataderos, las cuerdas de viola [...]. Que las dichas oficinas fueron mandadas fabricar por V. E. en el lugar en donde hoy se encuentran, en el año 1597, [...]. En la ciudad de Zaragoza, se encuentran construidas las oficinas de los Corderos de Viola, a un tiro de piedra del palacio arzobispal, de las Casas de la Diputación, y Ciudad, y de dos conventos de religiosas uno llamado de Nuestra Señora de Altabás, y otro de nuestra Señora de la Merced, sin que jamás se haya experimentado y menos aparecido que fuesen prejudiciales a la salud del vecindario circundante».

²⁵⁷ Clifford M. Brown, *Isabella d'Este and Lorenzo da Pavia: documents for the history of art and culture in Renaissance Mantua*, Ginebra, Droz, 1982.

²⁵⁸ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., p. 11.

²⁵⁹ Clifford M. Brown, *Isabella d'Este and Lorenzo da Pavia:..., carta de Lorenzo de Pavía a Isabella d'Este, 29 de diciembre de 1500*, documento 34, p. 53: «en estos momentos se encuentra en Venecia un alemán el cual ha traído algo de cuerdas de laúd buenísimas y fuertes y de toda clase y son cuerdas de Múnich que son las mejores que se hacen».

Las cuerdas de buena calidad, sobre todo las primas, eran por tanto muy valoradas y buscadas. Este hecho lo confirma el exigente celo con que se guardaba el control de calidad en la fabricación de dichas cuerdas, ya que según la documentación aportada por Barbieri,²⁶⁰ en 1599, el estatuto del gremio de los corderos o maestros de hacer cuerdas (*cordari*) de la ciudad de Roma, prohibía en el artículo 5 hacer, comprar o vender cuerdas compuestas de tripa cortada en dos longitudinalmente, y en el artículo 6 se prohibía hacer, comprar o vender cuerdas delgadas (*tenori* o *canti*) reforzadas, compuestas de un solo hilo de tripa en lugar de dos.²⁶¹ Estas dos condiciones prácticamente obligaban a fabricar las cuerdas delgadas exclusivamente con tripas de animales jóvenes.

Son varias las menciones a la calidad de las cuerdas procedentes de Italia, sobre todo para las cuerdas «finas». En un texto de finales del siglo XVIII de Eugenio Larruga, se hace mención a un maestro cordero italiano, Nicolás Silbestro, que parece haber sido el responsable de la introducción en Madrid de la manufactura de cuerdas «finas» de tripa para instrumentos musicales. Allí se puede leer que, mientras que en el país se fabricaban excelentes bordones o cuerdas gruesas de «superior calidad» a los extranjeros, las primas era mejores las italianas:

Fábricas de cuerdas para instrumentos de música. El establecimiento de esta manufactura en Madrid se debe a Nicolás Silbestro, Italiano: tuvo principio en 1732; y en el de 34 llegó a tener cinco tornos corrientes. Las cuerdas salieron tan buenas como las que venían de fuera del Reyno a estilo Romano [...].

Antes de venir el italiano, había en Madrid, como en el día, algunos fabricantes de bordones, pero no de cuerdas finas. Ellos eran, y son de superior calidad a los que trabajan fuera del Reyno; mas las cuerdas delgadas que ahora se hacen no tienen consumo por su mala calidad. Consiste mucho su mala fábrica en la estación del tiempo, pues en el invierno se desgracian muchas.

Esta fábrica es muy útil por el empleo que hace de los intestinos de carneros, y otros ganados, los que regularmente fuera de lo que se emplea en morcillas, longanizas &c. todo se desperdicia.²⁶²

La calidad de los intestinos de los animales jóvenes procedentes de Italia, era una de las causas por las que las cuerdas más delgadas o primas se pudieran seguir fabricando de 2 o 3 hilos de tripa; el hilo de tripa equivale al grueso de un intestino, como se lee en la *Enciclopedia Tecnológica* de Francisco Mellado, de mediados del siglo XIX:

Todos los corderos se matan durante el primer año, y siendo sus intestinos entonces poco gordos todavía, pueden hacerse con ellos primas de tres hilos (1. Entiéndese por hilo el grueso de un intestino).²⁶³

²⁶⁰ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., Appendix 2, pp. 78-79.

²⁶¹ Archivo del Estado de Roma, notas capitulares, RCA, año 1599, v. 1245, f. 281.

²⁶² Eugenio Larruga, *Memorias políticas y económicas sobre los frutos, comercio, fábricas y minas de España, con inclusión de los reales decretos, órdenes, cédulas, aranceles y ordenanzas expedidas para su gobierno y fomento*, vol. III, Madrid, Antonio Espinosa, 1788, pp. 87-88.

²⁶³ Francisco de Paula Mellado, *Enciclopedia tecnológica, diccionario de artes y manufacturas, de agricultura, de minas etc., Descripción de todos los procedimientos industriales y fabriles*, Madrid, Establecimiento Tipográfico de Mellado, 1857, tomo II, p. 810.

El poder hacer primas de tres hilos o tripas depende de la calidad de los intestinos con los que se elaboran las cuerdas, para lo cual la época del año en que se hagan también influye, siendo los elaborados en primavera de poca calidad:

Las primas que se hacen desde junio a septiembre son generalmente perfectas en su calidad: son un poco menos blancas y menos transparentes que las fabricadas en la primavera: son por lo general bastante unidas y compactas y no presentan el aspecto granujiento que las de la primavera.²⁶⁴

Si bien una de las diferencias a la hora de elaborar una cuerda delgada o una más gruesa está en el número de tripas o hilos que se empleen en la torsión, es decir, cuantas más tripas se sumen más gruesa saldrá la cuerda al final, un factor interesante a tener en cuenta también es el tipo de tripa utilizado para ello. Una tripa más resistente será más apropiada en el caso de las primas o más delgadas, y una más elástica lo será en el caso de las más graves o bordones:

de las causas que existen para que un intestino que no tiene la fuerza necesaria para formar una buena prima, pueda sin embargo producir excelentes segundas y terceras.²⁶⁵

Esto es así debido a que la tensión a la que se someten las diferentes cuerdas no aumenta proporcionalmente a su grosor ni las necesidades de sus propiedades elásticas o acústicas; una cuerda tres veces más gruesa que otra, por ejemplo, no precisa más tensión sin embargo para que funcione acústicamente, de forma que el exceso de resistencia que tiene le produce poca flexibilidad para que «vibre libremente» y produzca «sonidos agradables»:

Las cuerdas no sufren una tensión proporcional a su grosor, porque la segunda solo resiste medio kilogramo más que la primera, sin embargo de tener doble masa, y la tercera, que todavía experimenta menos tensión, tiene tres veces la masa que la prima.

Teniendo tres hilos esta, la segunda tendrá cinco o seis y la tercera ocho o nueve, suponiendo que todas se hacen con la misma clase de intestinos, y, por consiguiente, la segunda deberá tener dos veces la fuerza de la primera y la tercera tres veces, fuerza que es completamente superflua, puesto que no la exige la tensión. Este exceso de fuerza no es un defecto para la calidad de la resistencia, pero es perjudicial para la del sonido; porque no basta que una cuerda resista a la tensión que se quiere, [...], sino que es necesario también que sea blanda y que vibre convenientemente para producir sonidos agradables.²⁶⁶

La resistencia de las cuerdas a la vibración influye directamente en la calidad del sonido, siendo las cuerdas gruesas más rígidas, de menor calidad en el sonido:

Las segundas y terceras [...] la poca flexibilidad de estas cuerdas, indica que se han hecho con intestinos demasiado resistentes, en cuyo caso producirán un sonido de mala calidad.²⁶⁷

²⁶⁴ Ibídem, tomo II, p. 810.

²⁶⁵ Ibídem.

²⁶⁶ Ibídem.

²⁶⁷ Ibídem, p. 815.

Según la citada *Enciclopedia*, era concretamente en Nápoles donde se fabricaban este tipo de cuerdas graves con la tripa más blanda y elástica. Este dato se puede contrastar con el mencionado por Calahorra sobre los triperos zaragozanos del siglo XVI cuando hablan de cuerdas al estilo napolitano (véanse las notas 247 y 248). Según Mellado:

Esto se comprende fácilmente, porque siempre que una prima sea mas resistente que otra del mismo grosor, consistirá en que tiene mayor densidad, y como será mas tosca o pesada, su vibración ha de ser mas difícil. Lo propio sucede con la segunda y la tercera, las cuales, no debiendo experimentar mayor tensión que la prima, *pueden fabricarse con intestinos de menos Resistencia: así se hacía en Nápoles durante los primeros meses de la temporada.*²⁶⁸

Para las cuerdas más delgadas, sin embargo, menciona Mellado su procedencia de Francia, argumentando ser la tripa más delgada más resistente de forma que empleando para su elaboración menos fibras se consigue mejor calidad en la cuerda:

Todo el año se matan muchos carneros en Francia. Los intestinos de estos son generalmente bastante gordos y con ellos pueden fabricarse segundas de tres hilos, que reúnen las dos cualidades de Resistencia y buen sonido. El grueso de un intestino no contribuye a su mayor fuerza, pues tiene mas Resistencia uno pequeño que uno gordo. Esto explica por qué las primas de tres hilos son mejores que las de dos, y explica también como las segundas de tres son mejores que las de seis. Hay muchos departamentos en Francia en que los carneros son muy pequeños: esto sucede principalmente en los alrededores de Lion. En esta ciudad solo se fabrican primas de tres hilos.²⁶⁹

Una de las características que hace que una cuerda no sea óptima para su uso musical es que no produzca los parciales enteros de los armónicos naturales de su frecuencia fundamental al ponerse en vibración. Esto se puede deber, entre otras cosas, a una irregularidad en el grosor o densidad en sus diferentes partes. La propia morfología de los intestinos puede causar este efecto, ya que «el extremo delgado está en la parte del duodeno y el grueso en la parte del ilión», siendo un poco más gruesa de un extremo que de otro «resultando malas las quintas de esta desigualdad de grosor» (p. 811).

Una solución para compensar esta desigualdad natural de los intestinos en la fabricación de las cuerdas es alternar su posición para su torsión, como se sugiere Mellado:

Reunidos todos los intestinos finos susceptibles de formar primas de tres hilos, se van separando a un lado los que tienen un grueso desigual, y a otro, todos aquellos que de un extremo a otro tienen el mismo grosor.

Sepáranse luego los blancos de los de color, con objeto de hacer con estos cuerdas encarnadas o azules, y también se apartan al mismo tiempo para destinarlos para terceras de violín y cuerdas gruesas de harpa [...]. Al torcer las cuerdas, es preciso colocar los intestinos de modo que un extremo grueso haga pareja con otro delgado.²⁷⁰

²⁶⁸ Ibídem, p. 811.

²⁶⁹ Ibídem.

²⁷⁰ Ibídem, p. 813.

CONCLUSIÓN

El hecho de que la actividad de fabricar cuerdas musicales con los intestinos de animal estuviera regulada mediante ordenanzas gremiales, significa que tenía un notable peso dentro de las profesiones artesanales. Esto suponía que había aprendices y maestros y un control de calidad del producto y su venta, así como del suministro de la materia prima.

Se deduce de todas estas citas de documentos sobre tripas y maestros corderos una gran coherencia en cuanto al material, las características, los procesos de tratamiento y los pormenores de comercialización de las cuerdas para instrumentos musicales, que podría ser un indicio de ciertas constantes en su naturaleza esencial, uso y función. En las diversas fuentes documentales citadas a lo largo de este capítulo aparecen notables datos relativos a información específica sobre cuerdas de tripa. Por ejemplo, encontramos que las cuerdas primas, que eran fabricadas con tres o cuatro hilos de intestinos de corderos jóvenes, tenían mucha fama por su calidad las procedentes de Múnich, Lyon o Roma, y eran compradas a precio caro en España para su uso en vihuelas, por ejemplo. Las cuerdas más graves y los bordones, que se hacían de más hilos de tripa menos resistente de animales más viejos, eran más famosas por ser mejores las fabricadas en Nápoles o incluso en España mismo, donde se fabricaba un buen número de ellas a juzgar por los datos que figuran en los archivos históricos citados a lo largo de este capítulo sobre su elaboración y venta.

4. EL CÓNCAVO: ACÚSTICA Y ESTÉTICA

4.1. PROPIEDADES ACÚSTICAS DE LAS CAVIDADES O DEL CÓNCAVO, DE LA CAJA DE RESONANCIA Y DEL ECO DEL SONIDO

Casi toda la información relativa al sonido que se encuentra en los textos antiguos hace referencia a la propagación de las ondas sonoras por el medio aéreo y sus reflexiones al chocar con los obstáculos. El factor de la propagación de las ondas sonoras por los materiales de que se componen las superficies, por ejemplo, las fibras de la madera, en virtud de su coeficiente de elasticidad, rigidez o amortiguación, no aparecen mencionados más que respecto a la bondad de ciertos materiales a dicho fin, y aunque éste y otros factores son variables que contribuyen a la formación del sonido, no se deben tener en mayor consideración que en la que aparecen citados en las fuentes, ya que el objetivo de nuestro estudio no es la búsqueda de la perfección del sonido, sino una aproximación al modelo ideal buscado por los antiguos.

De lo que sí se hace mención en las fuentes es de otro elemento determinante para la formación del sonido en las vihuelas de arco: la caja de resonancia. Esta no es otra cosa que una concavidad hecha de un material rígido –una madera más rígida y resonante, por ejemplo, que la de la tapa armónica–, llamada por los antiguos «cónico», en cuyo interior se producen las reflexiones del sonido modulando así su resultado final. Sobre el uso, definición y función del término «cónico», lo entendemos aquí como lo expresaron los antiguos, es decir, como un espacio hueco en forma de concavidad comprendido entre paredes y un fondo que, mediante diversas reflexiones de las ondas sonoras, y en virtud de sus propiedades geométricas, actúa como un resonador filtrando y amplificando el sonido. Se trata de un concepto filosófico planteado por autores como Aristóteles, Averroes u otros, que supone una definición completamente independiente de su posterior aplicación a instrumentos musicales y que sirvió como base ideológica para los constructores de vihuelas de la época que estudiamos. Aunque en un principio, los instrumentos de cuerda de la antigüedad se fabricaban con una caja de resonancia vaciada a partir de una sola pieza de madera, la cual se tapaba por su abertura al exterior bien con una piel de animal tensa o con otra tapa fina de otra madera más ligera, las escasas menciones que del citado fenómeno de la función acústica del cónico hacen en sus escritos los teóricos que hablan sobre instrumentos musicales, se refieren a una época en la cual ya estaba generalizada la práctica de fabricar las cajas de resonancia con piezas de madera finamente cortadas, dobladas y encoladas formando un cubo geométrico hueco. Este último tipo de vihuelas llamadas «de piezas», es la que exclusivamente tenemos en cuenta en nuestro estudio, presentando seguidamente las escasas citas de que disponemos donde se menciona la influencia de la caja de resonancia en su sonido.

4.1.1. Propiedades sonoras del material de la caja de resonancia o cónico

La madera de la que está hecha la caja de resonancia en los instrumentos de cuerda participa en la formación del sonido por sus propiedades vibratorias. Según nos cuenta Nassarre:

En los instrumentos de cuerda, no solo es tremulo el cuerpo sonoro, sino es que también la madera de que se compone el concavo.³⁶⁰

Respecto al material del que debe estar hecho el cóncavo para que el instrumento tenga buena sonoridad, la dureza parece ser una de sus propiedades determinantes. La concavidad, además, debe tener la capacidad de albergar suficiente aire en su interior para que se produzcan los movimientos del mismo, como también asegura Nassarre,³⁶¹ citando a Aristóteles y Averroes:

En quanto a la materia (según la doctrina de los Filosofos) ha de ser solida, según Aristóteles, y Averroes, dize por estas palabras,³⁶² que todo Instrumento sonoro, o cuerpo ha de tener tres condiciones solidez, dureza y latitud, para que el ayre pueda espaciarse en sus movimientos.³⁶³

Especificamente para lograr una buena sonoridad del instrumento, las maderas adecuadas para fabricar dicho cóncavo, siempre según Nassarre,³⁶⁴ han de ser bien sólidas, poco porosas y de superficie lisa, factores que las hacen más resonantes, a diferencia de las características que ha de poseer la tapa armónica, que debe ser de madera más porosa, concretamente de pino abeto:

También es circunstancia, para que el instrumento salga sonoro, que las maderas, que forman el concavo sean fuertes, y solidas, menos la tapa, que importa sea de madera porosa; de pino avete son las más al caso,³⁶⁵ pero la madera, que forma los lados, especialmente importa que sea muy solida; pues con eso será menos porosa, y más resonante, y que esté bien labrada en la parte interior; [...] Pues dize Paulo Beneto,³⁶⁶ ha de estar llana, y suave, porque de esta suerte haze mejor sonido, y no aspero.³⁶⁷

La superficie sobre la que se refleje el sonido o golpee el aire debe ser lisa, tersa, llana, suave o estar bien pulida para un mejor efecto acústico; de esta forma el sonido será mejor y menos «aspero». Acerca de esta circunstancia encontramos mención en la obra de Bounaventura Cavalieri en la que habla de la reflexión especular del sonido en superficies de sección cónica:

Como per il contrario potiamo invigorire il suono, si che sia sentito più gagliardo, che non si sentirebbe [...] che scorrendo la voce sopra d'una tersa superficie, senza interrompimento alcuno, fuol farsi sentiré più gagliarda dell'ordinario [...] overo un muro, che sia ben pulito, [...] che sia tal superficie Elittica, fatta nel modo di sopra, che farà quel miglior effetto, che sia possibil fare;

³⁶⁰ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. vi, *En que se dice que sea sonido instrumental, de su formación y divisiones...*, pp. 20-21.

³⁶¹ Ibídem, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicaos en general*, pp. 449-457.

³⁶² Averroes, *De Anima*, 1. cap. 143: «Sonora tres condiciones habere devent, lenta, dura, lata, quae possunt procedere per suum divisiones aeris», cit. en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicaos en general*, p. 449.

³⁶³ Ibídem, p. 450.

³⁶⁴ Ibídem, vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales...*, pp. 25-28.

³⁶⁵ Ver también sobre este aspecto Konrad von Megenberg, *Das Buch der Natur*, (ca. 1349), cap. IV, *Von den Paumen, 5 Von den Tannen*, l. 15-128, ed. Franz Pfeiffer, Stuttgart, Karl Aue, 1861, p. 314 (Abies resinosa).

³⁶⁶ Paul. Benet. Lib. *De anima*, cap. 14: «Plana faciunt meliorem, quan aspera», cit. en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales...*, p. 27.

³⁶⁷ Pablo Nassarre, loc. cit.

[...] che il resto della stanza sia ben pulito, e liscio, e sia di superficie elittica per un verso, e dritta per l'altro.³⁶⁸

También Mersenne menciona el requisito de que una superficie esté «perfectamente pulida» o lisa para que la reflexión del sonido se produzca con mayor efecto:³⁶⁹

et finalment si quelqu'un trouve l'art de disposer les Sons en autant de manieres que l'on peut disposer la lumiere par le moyen des differentes figures, *et du poli* que l'on donne à toutes sortes de corps (dont ie parleray dans le livre de la voix, où ie monstreray comme il faut descrire l'ellipse, l'hyperbole, et la parabole pour reflexir le Son, et pour ayder à la voix).³⁷⁰

et le son qui se fera au poinct F se reflechira au poinct G [...], et que l'Ellipse *soit parfaitement polie*, il sera aussi clairement oyiy de G en F.³⁷¹

Sobre el uso de la madera del *pino avete* como condición para la fabricación de la tapa armónica coincidía Nassarre con los antiguos. En un pasaje del capítulo dedicado a los áboles de su *Libro de la Naturaleza*, escrito a mediados del siglo XIV, Konrad von Megenberg afirma que la madera de abeto es inadecuada para la fabricación de fondos o cajas de fíbulas, liras y otros instrumentos,³⁷² ya que por sus propiedades aéreas y porosidad no retiene bien el aire del cual proviene el sonido. Sin embargo, esta madera hace una buena tapa armónica, pues al golpear el aire en las fuertes cuerdas, se filtra lentamente por la blanda tapa haciendo el sonido dulce:

(Abies resinosa). [...] aber vörheinz holz ist voler kiens und da macht man lieht auz. Die drei paum haizent ze latein nach enander abies alba, abies citrina, abies resinosa. [...] auz tänneim holz werdent niht guot päuchzuo saitenspil, sam zuo fideln, zuo leiren und zuo andern dingen, dar umb, daz derlai holz von seiner lüftigen natur gesträutes leibes ist und vol gar kleiner leiplöchel, diu wir an uns swaizlöchel haizent, und dar umb helt ez den luft niht vast, da von der don kümt, aber ez werdent gar gout pödem an sölchen dingen auz tänneim holz, dar umb, wenn sich der luft gestozen

³⁶⁸ Bonaventura Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio overo Trattato delle Settioni Coniche, Et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Fredo, Suono, e moto ancora*, Bolonia, 1632 (edición digital del facsímil: <http://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/3841078>), cap. XXXIV-XXXV, pp. 131-133: «Como por el contrario podemos vigorizar el sonido, que no se escuchaba, de forma que se escuche más gallardo [...] que deslizando la voz sobre una superficie tersa, sin impedimento alguno, viene a hacerse escuchar más gallarda de lo ordinario [...] o un muro, que esté bien pulido, [...] que sea tal superficie Elíptica, hecha del modo de arriba, que hará el mejor efecto que sea posible hacer; [...] que el resto de la estancia sea bien pulido, y liso, y sea de superficie elíptica, por un lado, y recto, por el otro».

³⁶⁹ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *De la nature et des proprietes du son, PROPOSITION XXVI, Expliquer comme se fait l'Echo, ou la reflexion des Sons*, pp. 48-56.

³⁷⁰ Ibídem, p. 50: «y, finalmente, si alguien encuentra el arte de disponer los sonidos de tantas maneras como se puede disponer la luz por medio de las diferentes figuras, y del pulido que se le da a toda clase de cuerpos (donde hablaré en el libro de la voz, donde mostraré como se describe la elipse, la hipérbole, y la parábola para reflejar el sonido, y para ayudar a la voz)».

³⁷¹ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *Livre de la voix, PROPOSITION XXV*, p. 34: «y el sonido que se hará en el punto F se reflejará en el punto G [...], y que la elipse esté perfectamente pulida, será también claramente oido de G a F».

³⁷² El motivo por el que la caja de resonancia se fabricaba de maderas más duras y densas, a parte del mencionado por Megenberg, es porque es más resistente y dura más. Se entiende que el pino aquí sería demasiado frágil, por ejemplo, para darle la forma de las curvas de los aros y probablemente se partiría al doblarlo. Con la llegada del mercado de maderas exóticas procedentes de África y América, sobre todo a partir del siglo XV se comenzaron a usar maderas mas densas, duras y flexibles como el ébano o el palosanto, sobre todo para los aros y el fondo, que permitían hacer láminas y tablas más delgadas y doblarlas con facilidad conservando una gran resistencia y consistencia en el cóncavo del instrumento.

ha tan die starken saiten in der ping päuchen, so zinzelt er langsam durch die linden pödem, und da von wirt daz gedoen stiez.³⁷³

Mersenne³⁷⁴ confirma esta opinión de la superioridad de la madera del pino abeto sobre todas las demás, en lo que se refiere a estas propiedades resonantes, por ser ligera y porosa, siendo además a este propósito, cuanto más seca mejor:

et entre les bois le sapin (est) le plus leger et le plus aérien de tous est aussi le plus resonant, et le estre massif et lourd l'est moins : et entre les sapins le plus sec et le plus devestu de son humidité terrestre se trouve le plus resonant.³⁷⁵

La tapa de madera porosa, según Nassarre, tendría el objeto de dejar filtrar el aire en el interior de la caja de resonancia para, una vez dentro, hacer allí el eco gracias a la solidez de las paredes del cóncavo:³⁷⁶

siendo las paredes del concabo de madera solida. [...] en los cóncavos de los Instrumentos de cuerda queda dicho, que las tapas importa sean de madera porosa, para la introducción del ayre, que forma eco en lo interior del concabo.³⁷⁷

Un dato más sobre la madera de pino abeto como óptima para la confección de la tapa armónica lo aporta Nassarre acerca de la veta de la misma. Dice que es más adecuada cuanto más junta tuviera dicha veta, además de ser conveniente reforzar la tapa encolándola con lienzo:

Que la madera para las tapas, era la mas al caso la del Pino avete, y tanto mas a propósito será, quanto mas menuda tuviera la beta. Ha de ser delgada y lisa, tanto por la parte interior, como por la exterior [...]. Tambien será muy conveniente el que una lista de lienço delgado, y fuerte, se encole en medio, desde un extremo al otro, [...] para mayor firmeza y solidez.³⁷⁸

En un fragmento de *Il manoscritto liutario*,³⁷⁹ se encuentra un testimonio donde el laudero Giovanni Antonio Marchi habla en los mismos términos sobre la dureza de la madera de abeto compuesta de muchas vetas finas:

La natura stessa ci dimostra, che l'abete di vena fina è più forte, perchè è composto di più linee.³⁸⁰

³⁷³ Konrad von Megenberg, *Das Buch der Natur*, (ca. 1349)..., cap. IV, *Von den Paumen*, 5 *Von den Tannen*, I. 15-128, p. 314: «(abies resinosa) [...] pero la madera está llena de poros y eso la hace ligera. Los tres árboles se llaman en latín en orden, abies alba, abies citrina, abies resinosa. [...] de pino abeto no son buenos para cóncavos de instrumentos de cuerda como violas, liras y otras cosas, puesto que la mencionada madera por su naturaleza aérea y de cuerpo lleno de pequeños poros, que llamamos swaizlöchel, no mantiene el aire en su interior del cual proviene el sonido, pero saldrán bien buenas tapas y esas cosas de madera de abeto porque, cuando el aire es impulsado por las fuertes cuerdas hacia la tabla, este se filtra lentamente por la tapa de resonancia, y de ahí saldrá el sonido dulce».

³⁷⁴ Marin Mersenne, *Harmonie universelle*..., L. I, *De la nature et des proprietes du son*, PROPOSITION I, pp. 1-3.

³⁷⁵ Ibídem, p. 2: «y entre las maderas el abeto (es) la más ligera y aérea de todas y también la más resonante, y al estar masiva o pesada lo es menos: y entre los abetos el más seco y más desprovisto de humedad terrestre resulta el más resonante».

³⁷⁶ Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. I, cap. IX, *Del eco del sonido y sus diferencias*, pp. 34-40.

³⁷⁷ Ibídem, pp. 38-39.

³⁷⁸ Ibídem, vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, p. 460.

³⁷⁹ Roberto Regazzi, *Il manoscritto liutario di G. A. Marchi*..., 1986, p. 68.

Las maderas para la fabricación del cóncavo de los instrumentos de cuerda, además de tener que ser fuertes y lisas, también han de ser delgadas para su óptimo funcionamiento acústico. Una vez más Nassarre insiste sobre el hecho de que la de la tapa armónica deba ser de pino abeto:

Los instrumentos de cuerda, la materia de que se fabrican es madera, [...]. Todos aquellos que son de madera, se han de elegir las maderas fuertes para fabricarlos, y que sean lisas; pues es circunstancia, según la doctrina de los Filosofos. Las tapas de los Instrumentos, sobre quienes cargan las cuerdas, ha de ser una madera porosa, y según la experiencia enseña, la mas al caso es el pino avete, importa que sea delgada, para que sea mas resonante en el concavo el sonido.³⁸¹

Estas maderas nobles y sólidas producirían en el interior del cóncavo un sonido «dulce y apacible» al ser modulado dicho sonido con los rebotes o reflexiones del aire en su tersa superficie:

El ser mas solidas las otras maderas, que forman el concavo, no importa menos, por la razon de que herida la cuerda, mueve el ayre, y con el dicho movimiento entra por los poros de la tapa en el concavo, y mueve al que ocupa este, con el movimiento hiere ya en los extremos de la longitud, ya en los de la latitud; y este blando movimiento del ayre, que hiere en la materia lisa y solida, causa el sonido *dulce y apacible*. Todo esto lo confirma Aristóteles,³⁸² pues dice, que por el movimiento del ayre dentro del concavo, hiriendo ya en una, ya en otra parte, haze muchos sonidos, por no poder salir el ayre que fue movido.³⁸³

Que las maderas sólidas sean además delgadas, influye también en el mayor volumen del sonido producido, debiendo ser incluso la tapa –que no es de madera tan densa como el resto de la caja–, moderadamente delgada:

Advierto, que importa que esten bien unidas las piezas, y que sean delgadas; [...] que las maderas sean delgadas, siendo solidas, es causa de oirse mayor el sonido; y la madera de la tapa, aunque no es tan solida, conviene el que sea tambien delgada, porque con mas facilidad pueda entrar el ayre que es herido con la cuerda por sus poros en el concavo. Queda a la direccion del Artífice la delgadez de las maderas, de modo que puedan resistir la violencia de las cuerdas.³⁸⁴

Una receta que revela Nassarre, para que las maderas sean más solidas y duraderas y se puedan dejar más lisas, es que sean cortadas en cuarto menguante de luna, en consonancia con la idea de virtud simpática e influencia de los astros. Es de suponer que el efecto de la luna sobre los fluidos haría retraerse a la savia y la humedad de la madera en el momento de cortarse, resultando esta más seca y ligera. Estas creencias se siguen teniendo en cuenta hoy día por los artesanos, incluso para la recogida de la uva en las cosechas de los vinos, y también para cortar

³⁸⁰ Patrizio Barbieri, «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», art. cit., p. 166: «La naturaleza misma que demuestra que el abeto de veta fina es más fuerte porque está compuesto de más líneas».

³⁸¹ Pablo Nassarre, loc. cit. vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicos en general*, p. 450.

³⁸² Aristóteles. 2. *De Anima*, cap. 4: «Concava autem reflexionem faciunt multos ictus, post primum non potente exire, quod motum est», cit. en Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicos en general*, p. 450.

³⁸³ Ibídem.

³⁸⁴ Ibídem.

árboles, como por ejemplo el boj, que se vuelve azul si no se corta en menguante de luna, aunque la tecnología moderna tiene más en cuenta el método de cortar la madera:

Conviene tambien que las maderas sean cortadas en menguante de Luna; porque cada una de ellas, de cualquiera especie que fuere, es mas solida, y permanente; y el Artífice podra dexarla mas lisa, porque por la parte interior del concavo importa que lo esté, por la reflexion del sonido.³⁸⁵

En cuanto al tipo de madera sólida para la fabricación del cóncavo, exceptuando la de la tapa que queda dicho que sea de pino abeto, asegura Nassarre que la de nogal es la más adecuada, siendo la causa que sus cualidades de «templada» calidez y humedad están en virtud simpática con las cualidades sonoras:

La experiencia enseña que una de las maderas que es muy al caso es la del Nogal, y aunque ay otras mas duras, y fuertes, sobre ser lo suficiente esta, es mas ajustada a las cualidades sonoras, por ser templadamente calida, y humeda.³⁸⁶

La tapa armónica, según Nassarre, debe tener orificios –por ejemplo, oídos o rosetas– para «despedir» el aire que se mueve dentro del cóncavo por la reflexión,³⁸⁷ influyendo también éstos en la calidad del sonido:³⁸⁸

Tambien importa, para mayor perfeccion de las voces del Instrumento, que tenga algunos despedideros el ayre del cóncavo por la tapa (sea con rosas, u otro modo).³⁸⁹

Este «despedidero», sería lo que convertiría al cuerpo del instrumento en una cavidad resonante o cóncavo, como describen Arns y Crawford en un trabajo de acústica sobre cavidades resonantes.³⁹⁰

El tamaño que tuvieran estos orificios o «despedideros» del aire produciría diferentes efectos en la formación del sonido. Nassarre explica, al hablar del cóncavo de las campanas, cómo un orificio de salida del aire más pequeño de lo que necesite éste para salir, produciría un sonido más oscuro:³⁹¹

³⁸⁵ Ibídem.

³⁸⁶ Ibídem.

³⁸⁷ Hoy en día, la acústica de los instrumentos de cuerda contempla los movimientos de la tapa armónica ejerciendo como una membrana moviendo el aire tanto hacia un lado como hacia el otro de la extensión de su superficie, y asimismo sus modos de vibración, que estudian Chladní y otros. Nosotros nos limitamos aquí a trasladar los pensamientos de la época basados en el concepto de reflexión en el cóncavo para contextualizar coherentemente el fenómeno tal y como por entonces se entendía.

³⁸⁸ Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, pp. 458-465.

³⁸⁹ Ibídem, p. 461.

³⁹⁰ Robert G. Arns y Bret E. Crawford, «Resonant cavities in the history of architectural acoustics», *Technology and Culture*, vol. 36, m.^o 1 (jan., 1995), Baltimore, The Johns Hopkins University Press p. 104.

³⁹¹ Pablo Nassarre, loc. cit. vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, pp. 449-457.

siendo el extremo baxo el menor en circunferencia, [...] seria mucho menos, y mas obscuro el sonido; porque como mueve el ayre con violencia en el concavo, por razon del golpe, siendo el despedidero menos, avia de ser menos el eyre que saliera, y menos el que llegara al oido.³⁹²

Respecto al espesor que se debe dar a la madera para la confección de la tapa armónica, afirma que debe ser mayor en los violines que en las vihuelas, por razón de la tensión de las cuerdas:³⁹³

La tapa ha de ser de mas cuerpo, que la de las vihuelas, por quanto las cuerdas están mas tiradas (tensas), y violentan el puente; y asi teniendo cuerpo, pueda resistir.³⁹⁴

En los instrumentos de la familia de los violines, al fabricarse la caja de resonancia con escotaduras –unos semicírculos cóncavos en ambos lados a la altura del puente para poder pasar el arco sin impedimento de tropezar en la tapa– se le da más bóveda a la tapa y al fondo para compensar la pérdida de volumen en la anchura ocupada por la superficie de dichos semicírculos. Para esta compensación, propone Nassarre la proporción quíntupla:

Se acostumbra a dar mas profundidad por medio del cóncavo, vaciando la tapa, y el suelo, y es por la razón, de que como se quita de latitud con los semicírculos, se le da mas de hondura. Y el Artifice, que esto quisiere hacer con perfeccion, debe procurar este en proporción quíntupla esta parte por donde se la da mas profundidad al cóncavo, comparándola con la latitud del extremo inferior.³⁹⁵

4.1.2. Propiedades armónicas y reflexión del sonido en el cóncavo

Esta cavidad o cóncavo modula el sonido en los instrumentos de cuerda aumentando su armonía, su volumen y su claridad. Según Nassarre, si las proporciones de dicho cóncavo no estuvieran en armonía con las del aire, el oído y la cuerda el sonido que este produciría sería «oscuro» o imperfecto:³⁹⁶

No es circunstancia necesaria para la formación del sonido en el concavo, *pero es para lo mas armonioso y claro.* [...] Vease lo que dice Alberto Magno,³⁹⁷ pues afirma, que heridos los instrumentos sobre el concavo, se aumenta el sonido, y así mismo la armonía. Y dice Paulo Beneto³⁹⁸ en su Filosofía Natural, que herido el instrumento sobre el concavo hace sonido grande , porque en el ay encerrado ayre [...] es para el aumento de la armonia. [...] Si este no estuviere en

³⁹² Ibídem, p. 454.

³⁹³ Ibídem, vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, pp. 458-465.

³⁹⁴ Ibídem, p. 464.

³⁹⁵ Ibídem.

³⁹⁶ Ibídem, vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales*, pp. 25-28.

³⁹⁷ Albertus Magnus, 2. *De Anima*. Trac., III, cap. XIX: «Musica instrumenta omnia fere, sonant super concavum quia sonus ad sonum continue reddit, et fit harmonia», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales...*, p. 26.

³⁹⁸ Paul. Benet., lib. *De anima*, cap. 14: «Concava percussa reddunt magnum sonum, quia in eis includitur aer.», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales...*, p. 26.

proporción sonora, formara el sonido obscuro, por no convenir en las proporciones, con la cuerda, ayre y oído.³⁹⁹

El principio por el cual se produce esta circunstancia de aumentar la armonía en el cóncavo, se debe a un fenómeno basado en la reflexión del sonido: el eco, que como explica Mersenne, no es otra cosa que el reflejo del sonido en los cuerpos sólidos, como ocurre con la luz en los espejos:⁴⁰⁰

et ce que nous appellons Echo, est le Son rendu et renouoyé par l'instrument qui multiplie le Son, et le reflechit comme les miroirs reflechissent la lumier.⁴⁰¹

Nassarre se refiere al eco, citando a Aristóteles y a Simplicio, como al aire que es repelido por los cuerpos sólidos empujando en forma de onda al circundante y devuelto al oído desde la fuente sonora, tanto más tarde cuanto más lejos se halle dicho cuerpo:⁴⁰²

Y dando principio con la doctrina del Filosofo, en el segundo de anima, que dize: Alli ay eco, cuando un ayre impeliendo a otro comienza el uno, donde el otro termina⁴⁰³ [...] que el ayre, que movido con violencia, al tiempo de formarse el sonido, sea con la voz, o con otro Instrumento, hace su movimiento recto hasta que encuentra con cuerpo solidio, [...], de cuyo herir en dicho cuerpo, resulta el movimiento del ayre contiguo al cuerpo, donde yere, y retrocediendo, vuelve a traer el sonido a los oídos. [...] donde termina un ayre, comienza otro, [...] es el retrocesso, por aver sido repelido del cuerpo, donde hirió [...] que el ayre no solo yere en un cuerpo, sino es en tantos, quantas veces repite el sonido. Yere en el primero, y haze su retrocesso una porción de aquel ayre, passa otro porción a herir a otro cuerpo mas lexos, y retrocede, y otra porción se dilata mas, hasta encontrar con otro cuerpo, de donde haze el ultimo retrocesso. [...] Simplicio,⁴⁰⁴ que hiriendo el ayre en el primer cuerpo, violenta al que está contiguo, de la cual violencia resulta porción para el retrocesso, y pasar adelante para herir en el segundo cuerpo. Y lo mismo resulta de este, que del herir en el primero.

[...] el cuerpo, donde hiere el ayre; pues tanto, quanto mas lexos estiviere, tanto mas tardará a volver el sonido, y tanto quanto cerca, bolverá mas pronto; [...] formándose el sonido dentro del oído [...] haze relación la similitud de proporción, que ay en la longitud de lo que camina el ayre, con la del oído.⁴⁰⁵

³⁹⁹ Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales...*, pp. 25-26.

⁴⁰⁰ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *De la nature et des proprietes du son, determiner si le son se fait devant qu'il soit receu l'oreille, c'est-à-dire devant qu'il soit ouy, et s'il est different d'avec le mouvement de l'air*, pp. 1-3.

⁴⁰¹ Ibídem, p. 3: «Y eso que nosotros llamamos Eco, es el sonido dado y renovado por el instrumento que multiplica el sonido, y lo refleja como los espejos reflejan la luz».

⁴⁰² Pablo Nassarre, loc. cit. vol. I, L. I, cap. X, *Del eco de los sonidos y sus diferencias*, pp. 34-40.

⁴⁰³ Aristóteles. 2. *De Anima*, texto 80: «Echo autem fit, quando ab aere, uno facto, propter vas, quod terminavit, et prohibuit frangi, iterum aer repellitur», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. I, cap. X, *Del eco de los sonidos y sus diferencias*, p. 34.

⁴⁰⁴ Simplicio, *De echo*: «Simplitus reflexionem fieri censem ex eo, quod commota parte aeris proximo corpori obsessenti, iterum commovetur totus aer in contrarium, voces versus auditum et multiplicatur sonus usque ad illum, iterumque auditur», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. I, cap. X, *Del eco de los sonidos y sus diferencias*, p. 34.

⁴⁰⁵ Ibídem, vol. I, L. I, cap. X, *Del eco de los sonidos y sus diferencias*, pp. 34-35.

Al producirse la reflexión, se crea una diferencia entre el volumen del sonido de dicha reflexión –el eco– y el del sonido mismo o procedente directamente de su fuente original, siendo este último de más «cuerpo» que el primero, aunque ambos sean de igual proporción en número, es decir, de la misma frecuencia o altura. Mediante este fenómeno, Nassarre explica que se generan varios sonidos resultantes del original, cuyas cantidades o volúmenes guardan diversas proporciones entre sí:

Mueve el ayre el instrumento, o cuerpo, el que lleva continuo movimiento hasta la potencia auditiva, donde se forma; pues tanta, quanta mas fuere la distancia del principio de su movimiento, tanta menos será la cantidad del ayre, que llega al oído, [...] de donde se infiere claramente aver desigualdad de quantidades entre dos sonidos de igual proporcion en numero [...] porque el sonido de la reflexion, o eco, es de menos cuerpo que el que se oyó en su primera formación, por venir de mas lexos, que es menos la cantidad del ayre, que llega al oído, y assi comparadas estas dos quantidades del ayre, son desiguales.⁴⁰⁶

En concreto, Nassarre habla de tres cantidades o sonidos que se forman en la producción del eco: el que llega al oído directamente de la fuente de donde se produce, el que va de la fuente hasta el cuerpo donde rebota y el procedente de dicho cuerpo donde rebota hasta el oído, siendo el sonido de la reflexión más tardío y de menos cuerpo, por proceder de más lejos que el que llega al oído directamente de la fuente del sonido⁴⁰⁷:

Tambien se hallan otras tres quantidades desiguales, a mas de las del accidental sonido, las que son mensurables, por ser de movimiento: la primera es desde el cuerpo de su primera formación, hasta la potencia auditiva, la segunda hasta el cuerpo lexos, donde yere, y la tercera el retrocesso del ayre, que repele dicho cuerpo hasta el oído. [...] Aun es menor cantidad la del retrocesso, por la menos violencia con que buelve, y por la diversión de la larga distancia, y por esso quando de mas lexos buelve, es mas atenuado el sonido, que causa la reflexion. Siendo estas tres quantidades del ayre tan desiguales, lo han de ser las proporciones, y assi de este modo se halla la proporcion desigual, contenida de la igual. [...] es mayor la cantidad del tiempo, que ay desde el primer sonido hasta el de la reflexion, o eco, que el que ay desde que es herido el cuerpo, hasta que se forma en el oído; porque como la reflexion viene de mas lexos, es necesario ser mas la cantidad del tiempo, para poderse formar dicha reflexion de sonido en la potencia auditiva.⁴⁰⁸

En esta misma línea, el matemático boloñés Bonaventura Cavalieri, hablando sobre las reflexiones del sonido en superficies de secciones cónicas, describe este fenómeno inspirado por la idea de Vitruvio de las vasijas acústicas de los teatros griegos:

che la voce vadi a ferir nel vaso, non per linea retta, ma si ben flessuosa, per la dilatatione delle onde dell'aria, come per la caduta del fasso segue delle onde dell'acqua, dalla cui concavità si

⁴⁰⁶ Ibídem, vol. I, L. IV, cap. III, *De las proporciones en general, y de sus divisiones, y partes*, p. 378.

⁴⁰⁷ Es notable cómo se asemejan estas reflexiones de Nassarre a los conocimientos de la acústica moderna. Ciertamente por la velocidad constante de propagación de las ondas sonoras, la información que nos llega al oído procedente directamente de la fuente llega antes que la de sus rebotes en otros cuerpos de un recinto al tener que recorrer más espacio que las primeras, como se puede comprobar por el desfase en los micrófonos de una grabación situados en diferentes lugares de una sala respecto de la fuente sonora, o la detección de posición de los objetos por parte del oído interno al discriminar y seleccionar la información según el tiempo que tarda en llegarle, como se lee en los artículos sobre la fisiología y funcionamiento del órgano auditivo que mencionamos en el apartado 5.2.

⁴⁰⁸ Ibídem.

rifletta poi nella cella, e di nuovo nel vaso, facendosi una reciprocatione di voce per questi riflesi, et un'echo quanti infinita, uscendo tuttavia per le apertura dinanzi, che si devono fare pur nelle celle, secondo Vitruvio, e spargendosi per l'Auditorio, essendo ese celle à guisa di coperti da forni.⁴⁰⁹

Según Nassarre, las dimensiones de la estancia donde se producen las reflexiones afectarían a la calidad del sonido que se genere en su interior, siendo las estancias más cortas «más armoniosas» al enriquecerse el sonido con la rápida reflexión de su eco y por la mayor proximidad al oído de los puntos de donde provienen los sonidos. Este fenómeno se puede comprobar actualmente en ingeniería de acústica de edificaciones y tiene que ver con los tiempos de reverberación óptimos, ya que al ser la velocidad de propagación del sonido constante, en ámbitos demasiado grandes la reflexión sufre un retardo que provoca confusión de sonidos con los que salen directamente de la fuente:

Otra singularidad tiene el eco de los ámbitos cortos, y es que los sonidos, [...] son mas armoniosos, que en un ámbito grande; porque la voz, que parece poca en un templo, parece mucha en una estancia pequeña, y el instrumento, que en una iglesia tiene poca voz, en un ámbito corto tiene mucha: [...] porque como el eco en semejantes ámbitos vuelve tan pronto al oído, aumenta la armonía del sonido.⁴¹⁰

Estas reflexiones o rebotes del sonido, que se producen dentro de la concavidad, al originar distintos sonidos derivados del primero que se escuchan en diferentes grados de armonía, son la causa de que el sonido modulado por el eco dentro del cóncavo sea de más dulzura que el «mismo sonido» original, como asegura Nassarre:

hiriendo el ayre en las paredes, y siendo repelido, con esta violencia, como no puede pasar adelante, por ser ámbito cerrado, mueve todo el continente, y este de una parte en otra, ya yere en las bobedas, ya en las paredes [...] que se oye la repetición del eco con mucha mas suavidad, y dulzura, que el mismo sonido [...] que se oye en distintos grados de armonía, yendo en disminución mientras dura.⁴¹¹

En este fenómeno de reflexión del sonido en el interior de la caja de resonancia o cóncavo de los instrumentos de cuerda, el aire, según Nassarre, después de rebotar con velocidad en todo lugar que encuentra a su paso y que le impide salir de donde está encerrado, llega a un punto en el cual no tiene más remedio que salir de él:

Hallanse las formaciones de los sonidos en los cóncavos con diferencia, pues en los Instrumentos de cuerda so forma con reflexión, [...] porque después de formado, dura por algún espacio de tiempo, y es por la razón dicha arriba, que herida la cuerda, mueve al ayre, el qual se introduce por

⁴⁰⁹ Bonaventura Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio..., De i Vasi Teatrali di Vitruvio*, cap. XXXVI, p. 145: «que la voz vaya a herir en la vasija, no por línea recta sino sinuosa, por la dilatación de las ondas en el aire, como por la caída del (*fasso*) sigue de las ondas del agua, en cuya concavidad se refleja después en la celda y de nuevo en la vasija, haciéndose una reciprocación de voces por esta reflexión, y un eco tan infinito, saliendo a todas partes por la apertura delantera, que se debe hacer más en las celdas, según Vitruvio, y esparciéndose por el auditorio, siendo esas celdas a manera de cubiertas de hornos».

⁴¹⁰ Pablo Nassarre, loc. cit, vol. I, L. I, cap. x, *Del eco de los sonidos y sus diferencias*, p. 38.

⁴¹¹ Ibídem, p. 36.

los poros de la tapa del cóncavo, y con su introducción el que está dentro se mueve, y con el desasosiego hiere con velocidad ya en una parte, ya en otra, hasta que queda sola aquella cantidad dèl, que es necesaria para llenar el cóncavo.⁴¹²

El momento exacto en el que el aire se ve forzado a salir de su recinto sería cuando su propia presión lo expulsa al no caber más cantidad de él en el espacio que ocupa. En este último aserto, Nassarre parece adelantarse al concepto físico moderno de «superación de la atmósfera» en la presión del aire para el funcionamiento acústico de la caja de resonancia de los instrumentos de cuerda.

Este aspecto de presión del aire, en relación con la reflexión del sonido en la cuerda, lo encontramos también en un pasaje de la *Harmonie universelle*, donde Mersenne explica cómo el aire, excitado por las vibraciones de la cuerda, se refleja o rebota contra la misma adquiriendo una tensión superior de tal forma que cuando lo golpea la cuerda, dicho aire va más rápido y hace sus retornos con más frecuencia que aquella u otros cuerpos por los cuales es herido:

le nombre des battemens de l'air, et que la chorde ne le peut battre qu'un certain nombre de fois dans un mesme temps, il est necessaire que l'air ayant été battu se reflechisse sur la chorde, et qu'en faisant son retour elle luy donne un nouveau mouvement; ce que l'on peut concevoir en deux manieres, car l'on peut dire que l'air a une plus grande tension c'est-à-dire qu'il est tellement disposé, que quand il est frappé il va plus viste, et a ses retours plus frequens que la chorde, ou les autres corps par lesquels il est frappé.⁴¹³

4.1.3. Propiedades, características y proporciones que debe tener el cóncavo para su favorable respuesta acústica

Una gran parte de las características del sonido de la vihuela de arco se debe al comportamiento del aire repercutiendo dentro del cóncavo o caja de resonancia. Por ello, para Nassarre, en la fabricación de estos instrumentos conviene mucho saber qué características debe tener dicho cóncavo, qué forma, qué proporciones, tanto en su dimensión como en cantidad de materia, para que el sonido que genere sea el acústicamente deseado:

Los instrumentos de cuerda, importa saber al artífice, la magnitud del cuerpo, según la especie de que fuere, para poder repartir las cantidades, proporcionandolas, la latitud con la longitud, y la profundidad del concavo, y assi mismo las cantidades de la materia, o maderas, de que se

⁴¹² Ibídem, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, p. 456.

⁴¹³ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. IV, *Des instruments à chordes, PROPOSITION XI, Determiner pourquoi une chorde touchée à vuide fait plusieurs sons en mesme temps*, p. 210: «el número de batidos del aire, y que la cuerda no lo puede batir más que un cierto número de veces a un mismo tiempo, es necesario que el aire, habiendo sido batido se refleje sobre la cuerda, y que haciendo su retorno ella le dé un nuevo movimiento; lo que se puede concebir de dos maneras, por lo que se puede decir que el aire tiene una mayor tensión, es decir, que está dispuesto de tal forma que cuando es herido va más rápido, y tiene sus retornos más frecuentes que la cuerda, u otros cuerpos por los que es herido».

fabrica, digo en quanto a lo grueso, o proporcionandolas, según el concavo. [...] pues todo es necesario para la bondad de las voces del instrumento.⁴¹⁴

Para este autor, «materia», «forma», «magnitud» y «cónico» definen las características del cuerpo del instrumento musical según los antiguos sabios:

Todo instrumento musical, según el cuerpo, se compone de *materia, forma, magnitud determinada* y *concavo*, según Boecio, y Alejandro Aproditio.⁴¹⁵

Para la construcción de instrumentos musicales, Nassarre recomienda valerse de «reglas matemáticas». Apoyándose en Aristóteles, afirma que las dimensiones de longitud, latitud y profundidad del cónico deben guardar entre sí proporciones armónicas:

Es mas seguro valerse de las reglas matemáticas, que son infalibles, [...]. Y valiéndome de la universal doctrina de Aristóteles, dare principio a esta materia con ella, pues dice, que todo cuerpo termina en tres dimensiones, que son en longitud, latitud y profundidad.⁴¹⁶ [...] estas tres dimensiones, pues todas ellas devén observar las proporciones musicales, o sonoras, conviniendo las de la longitud, con las de la latitud, y ondura del cónico.⁴¹⁷

4.1.4. Proporciones sonoras del cónico

En general, se llama proporción a una relación entre magnitudes o cantidades expresada en número. Las proporciones podían ser aritméticas, geométricas o armónicas según la naturaleza de la comparación. En la Antigüedad, el sistema utilizado para medir objetos era por comparación de proporciones. Los intervalos musicales, debido a la comparación entre los espectros de las frecuencias que los componen, también se miden de esta forma. Por ejemplo, la razón 2:1 equivale a la octava, la 3:2 a la quinta, etc. Estas divisiones naturales corresponden con los cálculos realizados por Pitágoras y otros, y obedecen a la composición natural de los parciales en los espectros frecuenciales de los sonidos fundamentales. Al adecuar los recintos y concavos a estas proporciones armónicas se tenía la creencia de que el resultado sonoro sería óptimo.

Siguiendo las instrucciones de Nassarre y su inspiración en el número, se entiende que lo que hace que el aire repercutiendo dentro de un recinto produzca un sonido o «eco» más o menos «dulce» o «deleitable», radica en las proporciones que guarden entre sí las dimensiones de dicho recinto o concavidad:

⁴¹⁴ Pablo Nassarre, loc. cit. vol. I, L. IV, *De Proporciones*, cap. I, *En que se trata de la cantidad continua y discreta generalmente*, p. 361.

⁴¹⁵ Ibídem, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, p. 449.

⁴¹⁶ Aristóteles. *Phisica* 4, cap. 1: «Corpus one terminatur tribus demensionibus longitudine, et latitudine, et profunditate», cit. en Pablo Nasarre, loc. cit., vol. I, L. IV, *De Proporciones*, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, p. 449.

⁴¹⁷ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, *De Proporciones*, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, p. 449.

Y advierto, que el tener el eco mas o menos dulzura, no consiste en ser mayor, o menor el concabo, sino es en estar bien o mal proporcionado; porque si las proporciones en el fueren sonoras, será mucho mas deleytable dicho eco.⁴¹⁸

De esta forma, cuantas más relaciones de proporción armónica existan entre las diversas partes de una concavidad, más ventajas tendrá el sonido que se produzca en su interior en cuanto a su calidad acústica. Esto se aplica también en las salas de audición y templos, tal como se deduce de estas dos citas:

La primera causa de oírse con mas suavidad el eco, es de que haze relación a las proporciones sonoras, que tiene la fabrica, pues apenas se hallara alguna, que dexe de contener mas, o menos proporciones armónicas de partes a partes de ella, y tantas, quantas mas tuviere, tanta mas será la dulzura, y suavidad del eco.⁴¹⁹

[...] que unos sonidos son mas suaves y deleytables, en unos templos, que en otros, [...] es la cuasa el estar el todo de la fabrica en proporciones sonoras, como su longitud, latitud y altura.⁴²⁰

El cuidado de construir las estancias y salas según proporciones armónicas y razones matemáticas se remonta a bien antiguo. Un ejemplo de ello son los teatros griegos, de cuyo testimonio encontramos información en el Libro V *De Arquitectura*, de Marco Vitruvio⁴²¹:

Esa fue la razón de haber los Arquitectos antiguos dispuesto en declivio las gradas de los teatros, y acomodadas a la naturaleza de la voz, procurando por razón música y matemática que cualquiera voz que saliese de la escena llegase clara y suave al oido de todo el concurso. Así que de la manera misma que los instrumentos de ayre, sean de metal o cuerno, acordados ayudan a los de cuerda; así los antiguos por la armonía acordaron la disposición de los teatros a la calidad de la voz para darla aumento.⁴²²

Para entender mejor a qué se refiere exactamente Nassarre con «proporciones sonoras» o proporciones armónicas, y cómo estas pueden influir en el resultado acústico de la caja de resonancia de una vihuela, podemos encontrar información en el libro cuarto de su *Escuela Música*,⁴²³ madurada a través del pensamiento de sabios de la Antigüedad como Euclides⁴²⁴ o Alberto Magno. En general, sobre qué sea proporción, se refiere a una comparación o razón entre dos cantidades:

Proporcion [...] Alberto Magno, dize: Ser una similitud entre dos quantidades; dilata mas Euclides, pues dize: Que es una similitud entre dos quantidades de qualesquier modos que fueren, pues serán de un mismo genero. [...] dividese la proporcion en proporcion igual, y proporcion

⁴¹⁸ Ibídem, vol. I, L. I, cap. X, *Del eco del sonido y sus diferencias*, p. 38

⁴¹⁹ Ibídem, p. 36.

⁴²⁰ Ibídem, p. 37.

⁴²¹ Marco Vitruvio, *De Arquitectura libri decem* (s. I a. C.), ed. Princeps: Roma, Giovanni Sulpicio da Veroli, 1486.

⁴²² Marco Vitruvio, *Los diez libros de Arquitectura...*, L. V, cap. III, pp. 114-115.

⁴²³ Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. III, *De las proporciones en general, y de sus divisiones, y partes*, pp. 375-382.

⁴²⁴ Euclides. *Lib. 5. De Geometría*: «Elementos. Est autem proportio duarum, quatecumque fuis, ejusdem generis eris alterius ad alterum habitudo», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. III, *De las proporciones en general...*, p. 375.

desigual. [...] Desigual es aquella, que ay entre una cantidad mayor, a otra menor [...] supone que una cantidad contiene a otra.⁴²⁵

Hablando sobre la armonía de la música, Nassarre afirma que esta tiene su fundamento en aquellas proporciones de cantidades que resultan al comparar unos sonidos con otros, a la manera de un pequeño «mundo armónico»:

Parece ser un breve epílogo de esta general harmonia la de la Musica, pues son tantas sus cantidades iguales, y desiguales, grandes, y pequeñas, que parece un abreviado Mundo harmonico [...] y son sus diversas cantidades las que causan los efectos harmoniosos por las proporciones. [...] pero en la Musica, que forma consonancias, se consideran dichas cantidades, comparadas un sonido con otro; porque no puede aver consonancias sin diversidad de cantidades.⁴²⁶

Esas cantidades, comparadas unas con otras, parecen no ser otras que las ratios o razones de las consonancias aceptadas en el sistema de temperamento musical vigente en la época, que coinciden con la serie armónica del espectro natural de los sonidos. De esta forma, dice Nassarre que de la comparación de una cantidad de número 3 con otra de número 2 resulta la consonancia de quinta, o de la comparación entre las cantidades de 9 a 8 resulta la segunda mayor:

El sonido de la Musica se percibe por el sentido del oído; pero lo juzga la razon por los numeros, según Salinas.⁴²⁷ [...] Comparada una cantidad con otra, que es un sonido con otro distinto, entre quienes se forman la consonancia, y disonancia, percibense por el sentido, pero juzgalos la razon por numeros, pues la misma cantidad que ay del numero 3 al numero 2, es la que ay entre dos sonidos, que forman quinta, y la misma cantidad que ay del numero 9 al numero 8, es la que ay en el tono sexquioctavo, o segunda, especie disonante, [...] que un numero mayor se compone de otros menores, de modo que el numero 20 se compone de cinco veces 4, de 4 veces 5, de 2 veces 10, etc. [...] se ve esto mismo en la Musica, pues la octava, o cualquiera otra especie consonante, o disonante hallamos ser compuesta de dos extremos; pero considerandola como es en si, es sola una consonancia.⁴²⁸

Las consonancias o «especies consonantes» de dicho sistema serían la octava, que se encuentra en proporción dupla o de 2 partes a 1 parte; la quinta, que está en proporción de 3 partes a 2; la cuarta, en proporción de 4 a 3; la tercera mayor de 5 a 4; la tercera menor de 6 a 5; la sexta mayor de 5 a 3 y la sexta menor de 8 a 5:

Entre las especies consonantes [...] las que se tienen por perfectas son octava, y quinta, y los especulativos añaden la quarta, o diatessaron. Las imperfectas son tercera mayor, menor, sexta mayor y menor, [...]. La cantidad de la octava es proporcion dupla, y se halla de seis a tres, y de

⁴²⁵ Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. III, *De las proporciones en general, y de sus divisiones, y partes*, pp. 375-376.

⁴²⁶ Ibídem, vol. I, L. IV, *De Proporciones, cap. I, En que se trata de la cantidad continua y discreta generalmente*, p. 365.

⁴²⁷ Salinas. *Libro I. De Música*, cap. 3: «Sensus tamen et ratio, sic se habent in harmonica, ut quidquid ille probat in sonis hac ira se habere ostendat in numeris», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. II, *En que trata del número, y sus qualidades*, p. 367.

⁴²⁸ Ibídem, vol. I, L. IV, cap. II, *En que trata del número, y sus qualidades*, pp. 367-368.

dos a uno. La quinta, es de la proporcion sexquialtera, la cual se halla de tres a dos [...]. La especia quarta, o diatessaron [...] se halla de 4 a 3, en proporcion sexquitercia, [...] la tercera mayor es de la proporcion sesquiquarta, cuya similitud de quantidades son al 5, y el 4. [...]. La tercera menor es la proporcion sexquiquinta, que se halla de 6 a 5, [...] la sexta mayor es de la proporcion super bipartiens tertias, que es la que se halla de 5 a 3, [...] la sexta menor es de la proporcion super tripartiens quintas, que se halla de 8 a 5.⁴²⁹

4.1.5. Proporciones del cóncavo aplicadas a los instrumentos de cuerda

Una vez determinado lo que se entiende por proporciones sonoras, podemos ver cómo se aplican dichas proporciones a la construcción de la caja de resonancia del instrumento. En general, para Nassarre valdría aplicar cualquier proporción que supusiera una consonancia en música, como son la «dupla» (2:1); «sesquialtera» (3:2); «sesquitercia» (4:3), etc.:

En cuanto a las qualidades, el concabo deve estar para convenir en la proporción de longitud, latitud y ondura, en proporción dupla, en sexquialtera, o en sexquitercia, o en cualquiera otra proporción de número sonoro, como son aquellos que constituyen consonancia en la Musica, pues en cualquiera de estas que esté, saldrá el instrumento bueno.⁴³⁰

Si el instrumento es una vihuela, su cóncavo genera los sonidos tanto graves como agudos, para cuya comparación de cantidades, siguiendo el argumento de Nassarre, el cóncavo debe estar debidamente proporcionado:

en las vihuelas [...] donde se forman todos los sonidos graves, y agudos sobre un solo concavo, y esa es la causa, de que tiene la cantidad igual, guardando la devida proporcion en la gravedad, y agudeza de cada uno.⁴³¹

Aunque el tamaño del cóncavo debe ser proporcionado a los sonidos que en él se deban producir, también hay una relación directa entre el volumen de dichos sonidos y la claridad y suavidad con que se perciben, de forma que al producirse demasiada «cantidad» de sonidos en un cóncavo excesivamente amplio, estos serían menos claros, o, por otro lado, un cóncavo reducido produciría menos cantidad de sonidos y estos serían, sin embargo, más suaves:

porque en los instrumentos artificiales, sobre cuyos concavos se pueden formar muchos sonidos, si este es angosto, todos son debiles, y si dilatado, tanto mayores serán, y de mayor cantidad.

En un Arpa, que tuviere muy angosto el concavo, todos los sonidos, que sobre el se forman, serán de menor cantidad, aunque mas suave. Si fuere el concavo mas dilatado, serán de mayor cantidad, pero puede serlo tanto, que por el exceso de la cantidad no sean tan claros.⁴³²

⁴²⁹ Ibídem, pp. 372-373.

⁴³⁰ Ibídem, vol. I, L. I, cap. VIII, *De la causa de las imperfecciones de los sonidos instrumentales*, p. 26.

⁴³¹ Ibídem, vol. I, L. IV, *De Proporciones*, cap. I, *En que se trata de la cantidad continua y discreta generalmente*, p. 366.

⁴³² Ibídem, p. 366.

Por esta razón, según este autor, un instrumento concebido para producir sonidos graves deberá poseer un cóncavo amplio mientras que, por el contrario, uno que esté pensado para producirlos agudos, habrá de tener un cóncavo menos dilatado en proporción con la naturaleza de dichos sonidos:

Por eso los cóncavos de los violines son menores, que los de otros instrumentos; pues es conveniente, que siendo voces agudas, por lo que mueven el aire con mas velocidad, sea el cóncavo pequeño, para que sea mas resonante el sonido, y claro; porque tanto mas, y mas claro será, quanto mas ajustado estuviere a las proporciones sonoras.⁴³³

Las proporciones «sonoras» exactas que deben guardar entre sí las tres dimensiones del cóncavo en los instrumentos de cuerda, es decir su latitud, longitud y profundidad según las regula Nassarre, son: la proporción dupla (2:1), la sexquialtera (3:2), la *sexquitercia* (4:3), la sexquiquinta (6:5), la sexquicuarta (5:4) y la *super tripartiens quintas* (8:5). El artesano podrá elegir para ello cualquiera de ellas, estableciendo sin embargo como primera regla que haya proporción dupla entre la longitud y la anchura del cóncavo:

Sea la primera regla, el que la longitud del concavo esté con la latitud en proporción dupla, [...] en aquellos instrumentos, que son iguales en longitud las cuerdas [...] el concavo [...] tendrá la obligación de observar las proporciones sonoras en longitud, latitud, y ondura, y de estas le quedará facultad al Artífice para elegir las que quisiere, y son las que ahora diré. Proporción dupla de dos a uno, proporción sexquialtera de tres a dos, proporción sexquitercia de cuatro a tres, proporción sexquiquinta de seis a cinco, proporción sexquicuarta de cinco a cuatro, y proporción super tripartiens quintas, que es de ocho a cinco.⁴³⁴

Estas proporciones coinciden con las consonancias del sistema musical vigente, herencia de Pitágoras y Boecio⁴³⁵ y expresadas por Jerónimo de Moravia⁴³⁶ en la Edad Media, como se lee en la traducción que de ese tratado hizo Laura Weber.⁴³⁷ Dice Moravia que «el *diapason* en sonido es la dupla en número, como 2:1 y 4:2. El *diapente* en sonido es la sexquialtera en número, como 3:2 y 6:4. El *diatessaron* en sonido es la sexquitercia en número, como 4:3. El tono en sonido es la sexquioctava en número, como 9:8», y así sucesivamente.

Parece ser que de todas las proporciones, la dupla es la más apropiada para el resultado sonoro más adecuado, como se aprecia en la recomendación que hace Nassarre de su uso en la fabricación del cóncavo de la lira de arco, por la dificultad que tiene este instrumento para que se formen en él las consonancias:

⁴³³ Ibídem, vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, p. 463.

⁴³⁴ Ibídem, vol. I, L. I, cap. VIII, *De la causa de las imperfecciones de los sonidos instrumentales*, p. 26.

⁴³⁵ Anicius Manlius Severinus Boethius, *De Institutione Musica...*

⁴³⁶ Hieronymus de Moravia, *Tractatus de musica...*

⁴³⁷ Laura Weber, *Intellectual Currents in Thirteenth Century Paris: A Translation and Commentary on Jerome of Moravia's «Tractatus de musica»*, Ann Arbor, Proquest, 2009, p. 344.

La lira, que es también instrumento de arco, solo dire de ella, que en orden del cóncavo se observen las proporciones sonoras de su longitud, latitud, y profundidad, todas duplas [...] por lo dificultoso que es en la formación de sus consonancias.⁴³⁸

En el caso particular de las vihuelas, los extremos inferior y superior de los cóncavos han de tener forma de semicírculo. Entendemos que Nassarre se refiere aquí a una descripción general y no a una forma geométrica exacta, ya que no siempre se cumple en la práctica:

La forma de semejantes instrumentos (como tan vulgares) todos saben, que el extremo baxo está en forma de semicírculo, y lo mismo el alto...⁴³⁹

Sin embargo, entre el extremo bajo del cóncavo y el superior existe diferencia de tamaño. Respecto a estas particularidades, Nassarre describe las proporciones que han de tener las diferentes partes de dicho cóncavo: la longitud con la anchura máxima debe guardar la proporción dupla, la anchura del extremo superior con la del inferior deberá tener cuatro partes de cinco, en el medio debe ser de proporción tres a uno entre la longitud y la anchura, y de profundo debe ser dos quintas partes de la anchura máxima de la parte inferior:

Las proporciones sonoras, que se devén guardar en semejantes figuras, son las siguientes: la mayor latitud del extremo baxo del cóncavo, ha de estar en proporción dupla con la longitud, y el extremo superior, que ha de ser de menos latitud, ha de estar en proporción sexquiquarta, con el inferior. Y el medio de los dos extremos en proporción, con la longitud de todo el cóncavo. La profundidad de él ha de estar en dupla sexqualteria con la latitud de los dos extremos; y hablando practicamente, vuelvo a decir, que la latitud del extremo inferior de todo el cóncavo, ha de tener la mitad que es la dupla. Y el extremo de arriba, ha de tener de anchura quattro partes, teniendo cinco el de abajo, de modo, que tenga una quinta parte menos el de arriba, por el medio de tres partes que tenga de largo, ha de tener una de ancho, que es la tripla. La hondura de cinco partes en que se divide la latitud del extremo inferior, ha de tener dos no mas de profundidad, lo mismo ha de ser por el extremo superior, que dividido en cinco partes lo ancho, se le den dos de profundidad, que una, y otra son dupla sexqualteria.⁴⁴⁰

Nassarre propone aquí una teoría de modelo ideal de proporciones para un instrumento que, aunque tenga mucho sentido científico, luego en la práctica vemos que no siempre se aplica, ya que los instrumentos representados conocidos tienen todos formas muy diferentes y no todos siguen estas indicaciones de forma exacta.

La explicación científica según la cual la producción de los sonidos agudos y graves requiere diferentes características en la forma del cóncavo, la basa Nassarre nuevamente en el pensamiento de Aristóteles. Sobre esta materia afirma no solo que los sonidos graves necesitan un mayor espacio para formarse y, por consiguiente, un concavo más «dilatado», sino que esta parte más dilatada del cóncavo debe estar en el extremo inferior del instrumento al ser la tendencia natural de los sonidos graves moverse hacia abajo por la gravedad, mientras que los agudos, por el contrario, mueven el aire hacia arriba:

⁴³⁸ Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, p. 465.

⁴³⁹ Ibídem, p. 461.

⁴⁴⁰ Ibídem, pp. 461-462.

En los fisicos nos enseña el Filosofo ser natural el mover lo grave azia la parte baxa, y lo leve, o agudo azia la parte contraria, que es azia arriba.⁴⁴¹ [...] Esta es la causa de estar los mas instrumentos en forma piramidal, porque siendo el extremo inferior del concavo mas dilatado, pueda con los sonidos graves dilatarse el ayre, por ser natural mover azia la parte inferior por la gravedad, y poco dilatado azia la parte superior, por mover los sonidos agudos el ayre arriba naturalmente.⁴⁴²

Según esta idea de que los sonidos agudos se mueven hacia las partes superiores y los graves hacia las inferiores, Nassarre explica que las cajas de resonancia de los instrumentos musicales, donde se deben generar todos los sonidos que en ellos se produzcan, deban tener una forma que sea progresivamente más estrecha hacia el extremo superior y más ancha hacia el inferior. Una desproporción en la lógica de estas dimensiones produciría sonidos muy fuertes y desapacibles al oído en caso de excederse en las dimensiones del cóncavo, o muy débiles en caso contrario:

Como la reflexion se forma dentro del concavo, hiriendo ya en una parte, ya en otra el ayre, si fuera igual, no serian iguales las quantidades de los sonidos; porque los graves, si fuera poco dilatado, serian muy leves; y los agudos, si tuviera mas dilatación de lo que han menester, serian fuertes, y poco apacibles al oído. Pero estando en disminución el concavo de la parte inferior a la superior, se forman los sonidos con igualdad de quantidades, según la agudeza, y la gravedad de cada uno. Todo lo mismo declara Aristóteles, que lo grave (en quanto al sonido) necesita de mas dilatación de lugar y el agudo necesita de agudo angulo de menos dilatación.⁴⁴³ [...] De todo lo dicho se ha de inferir que todo instrumento musical debe ser por el extremo inferior mas dilatado, que por el extremo superior, y aun en las guitarras, y violines, que se distinguen en la forma de otros, para hacerse según arte, ha de ser menos dilatado por la parte superior.⁴⁴⁴

La vihuela de arco, por sus peculiaridades específicas, se debe diferenciar en la factura del cóncavo de otros instrumentos de cuerda. Para Nassarre, el cóncavo de este instrumento comparte ciertas características con el del violín y otras con el de la vihuela de mano. Esta forma específica de la caja de resonancia de la vihuela se debe a que los sonidos agudos y graves característicos en ella requieren mayor o menor dilatación del cóncavo para que tengan espacio adecuado para formarse:

En los violones y vihuelas de arco [...] en orden al cóncavo, se han de guardar las mismas proporciones que dexo dichas del violin, no obstante que son de mayor cuerpo, solo se devan diferenciar en la profundidad, la que será acertado poner en proporción quíntupla con lo mas dilatado, que es el extremo baxo, y por la parte que tienen mas profundidad, que es por el medio, en quadrupla con la latitud mayor. Y es darse mas profundidad a estos, que a los violines, es porque son voces graves las de estos, [...] y necesitan de que tenga el ayre mas dilatación en el cóncavo. Tambien ha de ser el extremo superior, menos dilatado que el inferior, porque aunque

⁴⁴¹ «Aristóteles. *Phisica* 8, cap. 2: «Gravia et levia moventur ad loca opposita, ad propria vero gravia deorsum, levia rursum», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, p. 452.

⁴⁴² Ibídem, p. 452.

⁴⁴³ Aristóteles. *Prob. Sect.* cap. 2: «Quippe tum ut grave obtuso, sic acutum acuto angulo simile habeatur», cit. en Pablo Nassarre, loc. cit., vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, p. 452.

⁴⁴⁴ Ibídem, p. 453.

son las voces de estos instrumentos graves (respecto de los violines), pero también ay agudas; y por las razones dichas, todas las voces agudas necesitan de menos angulo.⁴⁴⁵

Para nuestro autor, el secreto para la obtención de una buena sonoridad mediante el uso de las proporciones armónicas se basa una vez más en el concepto de «virtud simpática», como veríamos respecto a los materiales y elementos:

Conviniendo pues el concavo del instrumento en el número sonoro de la proporción, saldrán todos sus sonidos perfectísimos, el que no saldrá bueno, si su concavo no estuviere en proporción sonora, y serán sus sonidos oscuros, y no hallará el oído deleite en ellos, por desconvenir en la proporción con el concavo, y faltar por des conveniencia la virtud simpática.⁴⁴⁶

Esta virtud simpática se refiere a las proporciones del cóncavo de igual forma que a las de las estancias, salas o templos:

Según las proporciones que huviere en las fabricas de los Templos, porque en aquellos, que estuvieren fabricados según las proporciones sonoras, como son proporciones duplas, sexquialteras, o sexquitercias, o qualesquier otras, que constituyeren consonancias, no ay duda [...] qualquier instrumento sonara mucho mejor: Pero aquellos Templos, que estuvieren fabricados con proporciones, que no constituyen consonancias, como no convienen en proporciones armónicas, les falta la virtud simpática, y por eso no halla tanto deleite el oído en los Instrumentos, que suenan en ellos.⁴⁴⁷

Finalmente Nassarre, vincula las proporciones sonoras con el resultado óptimo acústico ese «deleite» del oído que describe una vez más como de «gran dulzura» debido a la contribución en la formación del sonido del eco producido en una estancia bien proporcionada:

Así como es proferido un sonido solo con la voz natural, si se repara con atención, estando las partes principales del ámbito en proporción sonora, se percibe el eco con gran dulzura.⁴⁴⁸

4.1.6. Propiedades acústicas del cóncavo: reflexión especular del sonido

El conocimiento que tenían los antiguos sobre las propiedades acústicas de concavidades y salas estaba fundamentado en los principios de la catóptrica y la geometría, como afirma Mersenne,⁴⁴⁹ establecidos, sobre todo, por las teorías de Arquímedes⁴⁵⁰ y Euclides.⁴⁵¹ Esta concepción

⁴⁴⁵ Ibídem, vol. I, L. IV, cap. XV, *De las proporciones que devén observar los Artífices en las fabricas de los Instrumentos Arpa, Vihuelas, Guitarras, y todo Instrumento de Arco*, pp. 464-465.

⁴⁴⁶ Ibídem, vol. I, L. I, cap. VIII, *De las causas de las imperfecciones de los sonidos instrumentales*, pp. 26-27.

⁴⁴⁷ Ibídem, p. 28.

⁴⁴⁸ Ibídem, vol. I, L. I, cap. IX, *Del eco del sonido y sus diferencias*, p. 38.

⁴⁴⁹ Marin Mersenne, *Harmonie universelle...*, L. I, *De la nature et des proprietes du son, PROPOSITION XXVI, Expliquer comme se fait l'Echo, ou la reflexion des Sons*, pp. 48-56.

⁴⁵⁰ Arquímedes, *De conoidibus et sphaeroidibus* (s. III a. C.), ed. tr.:Archimedis *Opera non nulla a Federico Commandino urbinate nuter in latinum conversa et commentariis illustrata*, Venecia, Paolo Manutio, 1558.

⁴⁵¹ Euclides, *Opera Omnia; Elementa...*(Alexandria, ca. 300)...ed. Rodrigo Zamorano, Sevilla, Alonso de la Barrera, 1576.

acústica se basaba en los efectos del eco que las ondas del sonido experimentan al reflejarse sobre las superficies de los cuerpos, de forma similar a la reflexión especular de los rayos luminosos:

Expliquer comme se fait l'echo, ou la reflexion des sons [...] si la reflexion des sons se fait fait comme celle de la lumiere, que les geometres reglent dans la catoptrique suivant les differentes incidences du rayon qui tombe sur les corps dont les plans sont droits, concaves et convexes.⁴⁵²

Las leyes de la geometría y la catóptrica determinaban las propiedades de reflexión de los rayos que inciden sobre superficies cóncavas con forma esférica, elíptica, parabólica o hiperbólica, de manera que se podía deducir la respuesta acústica de concavidades fabricadas con dichas características. Estas ideas transmitidas por los pensadores griegos son llevadas a su máximo apogeo a mitad del siglo XVII por autores como Marin Mersenne o Bonaventura Cavalieri que explican estos fenómenos acústicos:

Conoide iperbolico, [...] superficie di questi corpi, come la elittica, si chiama ancor superficie dello Sferoide, la Parabolica, superficie del conoide Parabolico e così le altre; nomi, che sono in uso appresso d'Archimede, come si può vedere nel libro, *De conoidibus, et spheroidibus, dell'istesso.*⁴⁵³

Algunos estudios modernos sobre física acústica revelan que las proporciones geométricas de los recintos, por sí solas, contribuyen efectivamente a una óptima respuesta acústica en salas. Según Stamatis L. Vassilantonopoulos y John N. Mourjopoulos, la simulación por computadora y la representación virtual aural de recintos construidos con una armonía en las proporciones geométricas mostraban una óptima propagación del sonido y reducción de la absorción auditiva:

Past studies make clear that the geometric properties alone were sufficient to ensure good acoustics [...] together with optimal sound propagation and reduced audience absorption. [...] computer-aided simulation of building acoustics provide well-established tool [...] especially when are accompanied by auralisation for the virtual representation of these spaces.⁴⁵⁴

A pesar de ello, que sea cierto o no que los antiguos coincidieran en sus conocimientos sobre acústica con la opinión de la ciencia moderna, no es tan relevante como el hecho de que el resultado sonoro al que llegaran aquellos, sea cual fuere, habría sido sin duda fruto de aplicar

⁴⁵² Marin Mersenne, loc. cit., L. 1, *De la nature et des proprietes du son*, PROPOSITION XXVI, p. 48: «Explicar cómo se forma el eco, o la reflexión de los sonidos [...] si la reflexión de los sonidos se produce como la de la luz, que los géometras reglan en la Catóptrica según las diferentes incidencias de los rayos que dan sobre los cuerpos donde los planos son rectos, cóncavos o convexas».

⁴⁵³ Bonaventura Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio...*, cap. XXII, p. 65: «Conoide hiperbólica, [...] la superficie de este cuerpo, como la elíptica, se llama también superficie de la esfera, la parabólica, superficie del conoide parabólico y así las otras; nombres, que están en uso según Arquímedes, como se puede ver en el libro, *De conoidibus, et spheroidibus*, del mismo»

⁴⁵⁴ Stamatis L. Vassilantonopoulos y John N. Mourjopoulos, «A study of ancient greek and roman Theater acoustics», *Acta acustica united with acustica*, vol. 89 (2003), p. 123: «Pasados estudios dejan claro que únicamente las proporciones geométricas fueron suficientes para asegurar buenas acústicas [...] juntamente con una óptima propagación del sonido y una absorción reducida de la audición. [...] la simulación por computadora de la acústica de las edificaciones proporciona una herramienta bien establecida [...] especialmente cuando es acompañada de una representación virtual de estos espacios».

dicho conocimiento y procedimiento a la fabricación de cóncavos. Es decir, sus conocimientos condicionaban su manera de fabricarlos.

Los objetivos de la aplicación de los mencionados conocimientos sobre geometría y catóptrica a la fabricación de salas y cóncavos eran, como asegura Cavalieri, fundamentalmente los de mejorar sus condiciones acústicas; es decir, escuchar mejor o con más intensidad los sonidos que se producían dentro de dichas salas o cavidades:

Como potiamo sentir quel suono, che per altro non s'udirebbe, ò sentir meglio quello, che debolmente si sente.⁴⁵⁵

Como per il contrario potiamo invigorire il suono, si che sia sentito più gagliardo, che non si sentirebbe.⁴⁵⁶

En ocasiones, la intención podía ser la de optimizar el recinto para la amplificación de la voz y lograr una mayor claridad e inteligibilidad del discurso hablado, sin necesidad de esfuerzo, como dice Mersenne, incluso si la sala es muy larga y las voces muy suaves:

Determiner comme il faut bastir les sales, ou les galeries, pour ouyr distinctement à l'une des extremitez tout ce qu'on dit à l'autre, encore qu'elles soient tres-longes, et que les voix soient tres-foibles et tres-petites.⁴⁵⁷

[...] que ie prends du 2. livre des Coniques de Monsieur Mydorge [...] dans le traité de l'Echo, lequel enseignera comme les Arquitectes doivent bastir des lieux propres pour entendre toutes les voix de ceux qui parleront dedans ou dehors, quoy qu'elles soient éloignées d'une ou de deux lieuës.⁴⁵⁸

La figure de cette ellipse monstre quelle forme il faut donner à la sale ou à la galerie, d'où l'on veut estre entendu de bien loin, encore qu'on parle bien bas.⁴⁵⁹

La forma que debían tener las superficies de los recintos donde se reflejaban las ondas sonoras para una óptima funcionalidad acústica, según Mersenne, era la descrita por una de las secciones del cono, es decir; la esfera, la elipse, la parábola o la hipérbole:

⁴⁵⁵ Bonaventura Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio...*, cap. XXXIII, p. 129: «Cómo podemos escuchar aquel sonido, que no es audible por otro, o escuchar mejor aquello, que se escucha débilmente».

⁴⁵⁶ Ibídem, cap. XXXIV, p. 131: «Cómo por el contrario podemos vigorizar el sonido, que no se escuchaba, de forma que se escuche más gallardo».

⁴⁵⁷ Marin Mersenne, op. cit., L. I, *Livre de la voix*, PROPOSITION XXIII, p. 32: «Determinar como se han de edificar las salas o las galerías para oír distintamente en uno de los extremos todo lo que se dice en el otro, aunque estén muy alejados, y las voces sean muy suaves y pequeñas».

⁴⁵⁸ Ibídem, PROPOSITION XXVII, p. 35: «[...] tomo del 2. Libro de las Cónicas de Monsieur Mydorge [...] en el tratado del eco, el cual enseñará como los Arquitectos deben edificar los lugares apropiados para escuchar todas las voces de aquellos que hablen dentro o fuera, que estén remotos en una o dos leguas».

⁴⁵⁹ Ibídem, PROPOSITION XXV, p. 34: «La figura de esta elipse muestra que forma se le ha de dar a la sala o galería donde se quiere ser escuchado de bien lejos, aunque se hable bien bajo».

Expliquer toutes les figures propres pour faire des Echo artificiels, ce qui appartient aux sections coniques, et leurs principales propietez.

Encore que les concaves spheriques, et les paraboliques puissent servir à faire des echo, comme ie monstre dans le livre de la voix, [...] et l'hyperbole, [...] depuis la 23. Proposition iusque à la 32, neamoins le concave elliptique est le plus propre de tous pour pour ce sujet.⁴⁶⁰

El cono se forma, según este autor, con la revolución del triángulo rectángulo al girar sobre el eje de uno de sus catetos. Las curvas esféricas, parabólicas, elípticas o hiperbólicas se generan al ser cortado dicho cono por planos a diferentes ángulos:

Quant aux differentes sections, ou coupes des cones, celle qui suit apres le triangle produit est faite par un plan qui coupe le cone parallele à la base, et engendre le cercle: si la section du cone est parallele à l'un des costez du triangle coupé par l'axe, elle est appellee parabole: quand il est tellement coupé que le diametre de la section estant prolongé rencontre l'un des costez du triangle prolongé, elle est nommée hyperbole; et finalment lors que le diametre de la section coupe ou rencontre tellement les deux costez du triangle sous un sommer, que le plan coupant n'est pas parallele à l'horizon, ny sous contraire a la base, elle s'appelle ellipse.⁴⁶¹

4.1.6.a. Cónexo de superficie elíptica

Una de las figuras más apropiadas propuesta por Mersenne para las bóvedas o paredes de la sala o recinto, a fin de que el sonido se refleje en un punto al otro extremo del foco de emisión, es la de la elipse. Los rayos provenientes de uno de los focos de la elipse, tras reflejarse en la superficie de la misma, irían a reunirse al otro foco:

Cette proposition contient l'un des plus beaux secrets des mechaniques, et de la catoptrique, [...] que la voûte de la sale ou de la galerie soit faite en ovale, c'est-à-dire quelle ait la figure d'une ellipse, d'autante que les sons qui vont frapper la voûte elliptique, quand celuy qui parle est dans un certain lieu donné, se reflechissent tous à l'autre extremité, au point qui est opposé en droite ligne au lieu precedent : on appelle ces [...] deux focus de l'ellipse, [...] que tous les rayons qui partent de l'un des focus, et qui tombent sur la surface de l'ellipse sont reflechis à l'autre focus.⁴⁶²

⁴⁶⁰ Ibídem, L. I, *De la nature et des propietez du son*, PROPOSITION XXVIII, *Expliquer toutes les figures propres pour faire des Echo artificiels, ce qui appartient aux sections Coniques, et leurs principales propietez*, p. 59: «Explicar todas las figuras propias para hacer ecos artificiales, que aparecen en las secciones cónicas, y sus principales propiedades. Además de los cóncavos esféricos, y los parabólicos pueden servir para hacer el eco, como yo mostré en el libro de la voz, [...] y la hipérbole, [...] según la 23. Proposición. Hasta la proposición 32, sin embargo, el cóncavo elíptico es la más apropiada de todas para este objeto».

⁴⁶¹ Ibídem, L. I, *Livre de la voix*, PROPOSITION XXXI, *Corollaire*, p. 40: «En cuanto a las diferentes secciones, o cortes de conos, esa que sigue después del triángulo producido está hecha por un plano que corta el cono paralelo a la base, y engendra el círculo. Si la sección del cono es paralela a uno de los lados del triángulo cortado por el eje, esta se llama parábola. Cuando está cortado tal que el diámetro de la sección siendo prolongado se encuentra con uno de los lados del triángulo prolongado, esta se denomina hipérbole; y, finalmente, cuando el diámetro de la sección cortada donde encuentra tanto los dos lados del triángulo bajo una cumbre, que el plano cortante no es paralelo al horizonte, ni bajo el contrario a la base, esta se llama elipse».

⁴⁶² Ibídem, PROPOSITION XXIII, p. 32: «Esta propuesta contiene uno de los más bellos secretos de la mecánica y la catóptrica, [...] que la bóveda de la sala o de la galería sea hecha en oval, es decir, que tenga la figura de una elipse, de forma que los sonidos que golpean la bóveda elíptica, cuando aquel que habla está dentro de un cierto lugar dado, se reflejan todos a la otra extremidad, al punto que está opuesto en línea recta al lugar precedente: se llama a estos

Según Cavalieri, una superficie cóncava de forma elíptica convertiría en convergentes los rayos o las ondas sonoras que se expanden por el recinto de forma divergente, al reflejarse en ella:

Habbiamo, che la superficie cónvava elittica fà le divergenti da l'un de suoi fochi, con il riflettere, esser convergenti all'altro foco.⁴⁶³

El efecto que una concavidad de superficie elíptica produciría sobre las ondas sonoras que se reflejaran en ella, sería el de hacerlas converger en un punto o foco, concentrándose allí el sonido. Siguiendo a Mersenne, si se habla o toca un instrumento situado en el punto G, el sonido irá a parar a la superficie BCA, o BDA, y se reflejará en el punto F (Fig. 6):

Les poincts où les rayons de la lumier et du son se reflechissent, quand ils viennent de l'un ou l'autre desdits foyers. [...] le principal effet de l'ellipse, qui sert particulierement aux sons; car si celuy qui parle, ou qui touche quelque instrument est au poinct G, le son qui ira de G à la superficie BCA, ou BDA, se reflechira au poinct F, et le son qui se fera au poinct F se reflechira au poinct G.⁴⁶⁴

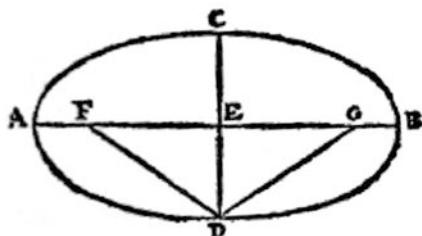


Figura 6. Trayectoria y reflexión del sonido en una concavidad
(M. Mersenne, *Harmonie universelle, Livre de la voix, prop. XXV*, p. 34)

Según este autor, una manera de trazar una elipse para diseñar una superficie cóncava con esta forma, es proyectando las líneas que parten de uno de sus focos sobre la superficie de dicha elipse con longitud igual a su diámetro mayor. En la Figura 7 se ve cómo EC EB, EA dan los segmentos que marcan los puntos por los que debe ser descrita la elipse:

Il est aysé de tracer toutes sortes d'ellipses avec un compas particulier, que l'on appelle compas Elliptique, ou avec deux filets, car puisque toutes les lignes que viennent des focus et qui vont frapper la surface concave de l'ellipse pour se reflechir à l'un des focus, sont égales au grand

[...] dos focos de la elipse, [...] que todos los rayos que parten de uno de los focos y que dan en la superficie de la elipse, son reflejados en el otro foco».

⁴⁶³ Bonaventura Cavalieri, op. cit., cap. XXII, pp. 67-68: «Tenemos que la superficie cónvava elíptica hace las divergentes de uno de sus focos, con el reflejarse, ser convergentes al otro foco».

⁴⁶⁴ Marin Mersenne, op. cit., L. I, *Livre de la voix, PROPOSITION XXV*, p. 34: «Los puntos donde los rayos de la luz o del sonido se reflejan cuando vienen de uno u otro de los dichos focos. [...] el principal efecto de la elipse que sirve particularmente a los sonidos; porque aquel que habla o toca cualquier instrumento está en el punto G, el sonido que irá de G a la superficie BCA o BDA, se reflejará en el punto F, y el sonido que se hará en el punto F se reflejará en el punto G».

diamètre... l'ellipse sera descrite, comme l'on void en cette figure, dans laquelle EC EB, et EA representent le mesme filet qui marque les points par où il faut d'escrire l'ellipse:⁴⁶⁵

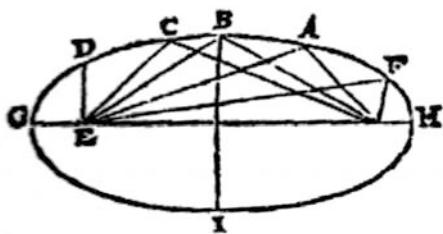


Figura 7. Forma de trazar una elipse para generar una superficie cóncava
(M. Mersenne, *Harmonie universelle, Livre de la voix, prop. XXV*, p. 35)

En opinión de Mersenne, los artesanos no habrían utilizado el compás para trazar elipses, ya que éste solo describe segmentos parciales de círculo y la composición de la elipse no consiste en la unión de fragmentos de círculo:

Les artisans ne font pas des ovales, ou des ellipses avec leur compas, lequel d'escrit seulement deux portions de cercle pour les deux costez, [...] car la vraye ellipse n'est pas faite des parties d'un ou de plusieurs cercles, mais d'autres parties qui luy sont propres et particulières, et qui peuvent estre appeles elliptiques.⁴⁶⁶

Las propiedades de reflexión de la superficie elíptica serían las de reunir en un foco los rayos procedentes del otro, de forma que, al construir una sala o un cóncavo con estas características, se escuche en uno de los dichos focos el sonido procedente del otro con claridad, sin que se oiga así en los puntos intermedios. De esta forma, según Mersenne, siendo la elipse AMBN (Fig. 8), con focos en L e I, lo que se diga en el punto I se escuchará con distinción en el punto L tras reflejarse en los laterales BG y NH, sin que se escuche entre L e I:

Ie viens a l'explication de la 6. Figure, qui fait comprendre les proprietez de l'ellipse AMBN, dont les 2. Foyers sont L & I, & partant si l'on suppose un miroir concave de cette forme, [...] i lest certain qu la chandelle, out elle autre lumiere que l'on voudra, estante Dans l'un desdits foyers, par exemple, en L, envoyra tellement ses rayons sur les costez de l'ellipse BG y NH, qu'ils se reflechiront tous à l'autre foyer I, de sorte que [...] si l'on dispose una selle ou une galerie suivant cette figure, ce l'on dira au point I s'entendra fort distinctement au point L, quoy que l'on ne puisse rien ouïr entre I & L.⁴⁶⁷

⁴⁶⁵ Ibídem, p. 35: «Es fácil trazar toda clase de elipses con un compás especial que se llama compás elíptico, o con dos hilos (*filets*), puesto que todas las líneas que vienen del foco y que van a dar a la superficie cóncava de la elipse para reflejarse en uno de los focos, son iguales al diámetro mayor [...] la elipse será descrita como se ve en esta figura, en la cual EC EB, y EA representan el mismo hilo que marca los puntos por donde se ha de describir la elipse».

⁴⁶⁶ Ibídem: «Los artesanos no hacen ovales o elipses con el compás, el cual describe solamente dos porciones de círculo por los dos lados, [...] pues la verdadera elipse no está hecha de partes de uno o más círculos, sino de otras partes que le son propias y particulares y que pueden ser llamadas elípticas».

⁴⁶⁷ Marin Mersenne, op. cit., L. 1, *D'e l'utilité de l'Harmonie, PROPOSITION V, Expliquer par figures ce qui a esté dit en discourse*, p. 31: «Yo voy a la explicación de la figura 6. Que permite comprender las propiedades de la elipse AMBN, donde los 2 focos son L & I y partiendo de que se supone un espejo cóncavo de esta forma, [...] y es cierto

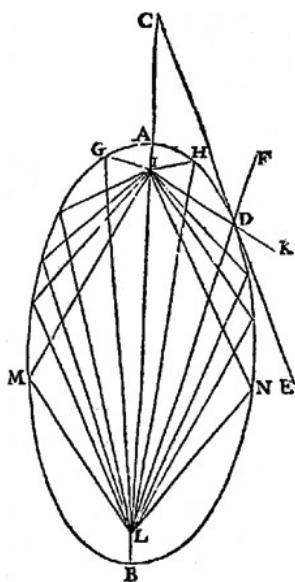


Figura 8. De la reunión de los rayos en el foco de la elipse

(M. Mersenne, *Harmonie universelle, D'e l'utilité de l'Harmonie, prop. v*, p. 31)

Siguiendo la teoría de Cavalieri, la reflexión del sonido producida por la superficie elíptica sería entonces óptima para escuchar con nitidez, en un punto concreto, un sonido único que no esté muy lejano:

Prima fà di considerare se il suono, che si hà da sentiré, è un solo, e vicino, overo se è un solo, e lontano assai, overo se sono più suoni insieme, [...] Se adunque il suono sarà un solo, e vicino, non è dubio alcuno, che farà d'ogni' altro più atto lo Specchio Elittico, metendo l'orecchio in un de' fochi, è nell'altro standovi il corpo sonante.⁴⁶⁸

Por líneas convergentes se entiende las que, prolongadas indefinidamente llegan a cortarse en un punto, y divergentes las que parten de un mismo punto:

Linee rette adunque, over raggi luminosi ò linee sonore, calde, fredde. & c. Saranno da noi chiamate convergenti, quando indifinitamente prolionate, anderanno tutte ad unirsi in un dato punto: l'istesse chiamaremi divergenti, quando tutte si partiranno da un dato punto commune; parallele poi chiamaranno.⁴⁶⁹

que la vela, o cualquier otra luz que se quiera, estando dentro de uno de los dichos focos, por ejemplo, en L, enviará así sus rayos sobre los lados de la elipse BG y NH, de forma que se reflejarán todos en el foco I, de suerte que [...] si se dispone una sala o una galería siguiendo esta figura, aquello que se diga en el punto I se escuchará bien claramente en el punto L, aunque no se pueda oír nada entre I & L».

⁴⁶⁸ Bonaventura Cavalieri, op. cit., cap. XXXIII, p. 129: «Primero ha de considerarse si el sonido, que se ha de escuchar, es uno solo, y cercano, o si es uno solo, y bastante lejano (assai) o si el sonido suena además a la vez (più suoni insieme), [...] Si entonces el sonido es uno, y próximo, no hay duda alguna, que hará de todos más apto el espejo elíptico, poniendo el oído en uno de los focos, y en el otro estando el cuerpo sonoro».

⁴⁶⁹ Ibídem, cap. XXXIII, p. 67.

4.1.6.b. Cónexo de superficie parabólica

Otra de las formas que se puede dar a la superficie de la concavidad del recinto es la de la parábola. Según Cavalieri, su efecto sobre las líneas sonoras es parecido al de la elipse salvo que la superficie parabólica hace converger en un punto las líneas sonoras que vienen paralelas al eje axial, mientras que la elíptica las puede recibir divergentes:

Transferendo la prima proprietà della Parabola, dimostrata al cap. 9. Alla superficie parabolica, diremo, che questa, ricevendo nella sua concavità le rette linee parallele all'asse, riflettendole poscia tutte al suo foco, le fa à quello convergenti.⁴⁷⁰

En la superficie de la parábola, todos los rayos paralelos que inciden sobre el cóncavo que ésta forma se reúnen en un foco determinado. En opinión de Mersenne, por ejemplo, en la parábola BCD, los rayos paralelos OL y FA se reflejan en el foco E tras reflejarse en el cóncavo BAC (Fig. 9):

Ie commence donc par la parbole BDC [...]. Or Tous les rayons paralleles, par exemple OL & FA, qui tombent sur le concave de la parbole BAC, se reflechissent au foyer E.⁴⁷¹

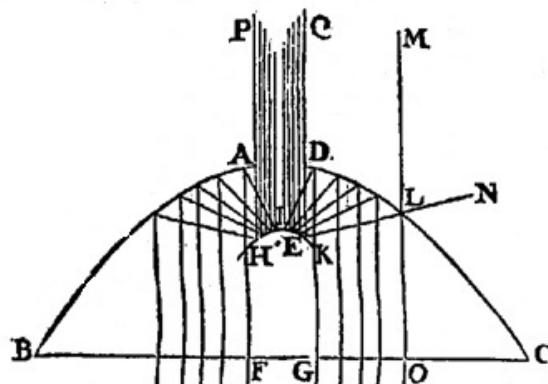


Figura 9. Del cóncavo de la parábola (M. Mersenne, *Harmonie universelle*, *D'e l'utilité de l'Harmonie*, prop. V, p. 28)

Para Mersenne tanto la elipse como la parábola tendrían en común el hecho de reunir en un punto las líneas sonoras, mientras que sería una condición exclusiva de la parábola, para que esto ocurra, recibir dichas líneas paralelas al eje axial de la misma:

⁴⁷⁰ Ibídém, p. 66: «Transfiriendo la primera propiedad de la parábola, demostrada en el cap. 9, a la superficie parabólica, diremos que está recibiendo en su concavidad las líneas rectas paralelas al eje axial, reflejándose después todas en su foco, las hacen convergentes a aquel».

⁴⁷¹ Marin Mersenne, op. cit., L. I, *D'e l'utilité de l'Harmonie*, PROPOSITION V, *Expliquer par figures ce qui a esté dit en discourse*, p. 28: «Yo comienzo entonces por la parábola BDC [...] Donde todos los rayos paralelos, por ejemplo OL y FA, que dan sobre el cóncavo de la parábola BAC, se reflejan en el foco E».

Qui ressemble au focus de la parabole, en ce que l'un et l'autre ressemblent tous les rayons dans un mesme point, [...] qu'il faut que les rayons qui tombent sur la parabole soient paraleles à son axe, ce qui n'est pas requis aux rayons qui tombent sur l'ellipse.⁴⁷²

Una manera de construir la parábola, para «reunir las voces en un mismo lugar», sería uniendo los puntos obtenidos al cortar, mediante la apertura del compás a las distancias tomadas desde el foco donde convergerían las líneas sonoras a diversos puntos marcados sobre el eje axial, las líneas perpendiculares al mismo en dichos puntos. Siguiendo a Mersenne, el eje axial estaría representado por CA y el foco sería A. La apertura del compás sería tomado desde el punto B a cada punto marcado sobre el eje CI tras haber dividido CA o AI en más partes iguales prolongando líneas perpendiculares a CI (Fig. 10):

Expliquer comme il faut décrire la parabole pour ramasser les voix en un mesme lieu. [...] supposer le lieu, par exemple A, où l'on veut amasser les voix (que l'on peut appeler focus, [...] parce que les rayons du soleil se reflechissent dans ce lieu par le moyen d'une glace de moroir parabolique) et le sommet C, puis il faut décrire CB égal à CA, et prolonger l'axe CA vers I tant que l'on voudra; en apres il faut diviser CA ou AI en plusieurs parties égales et tirer des lignes qui soient perpendiculaires à CI sur les pointcs de chaque division, comme IE [...] les pointcs où ces lignes qui seront coupees par les arcs décrits du foyer A, comme du centre commun, à l'ouverture du compas prise de l'intervalle de B à chaque point marqué sur l'axe CI, monstraront les lieux par lesquels la parabole doit estre décrite, comme l'on void aux pointcs E, par lesquels passent les arcs, dont le centre est A, et les rayons de C à I [...].⁴⁷³

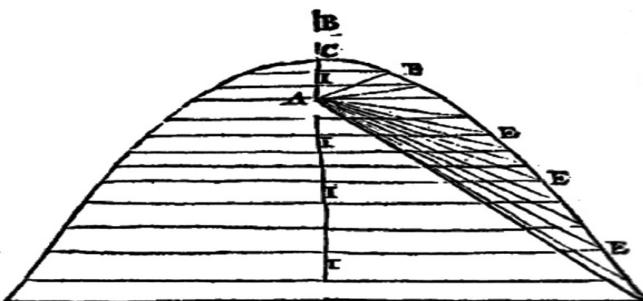


Figura 10. Sobre la descripción de la parábola (M. Mersenne, *Harmonie universelle*, *Livre de la voix*, prop. XXIX, p. 37)

Como propiedad acústica de la superficie parabólica, se producirían «ecos» si uno «se imaginara que la voz» se prolongara por rayos sonoros imitando a las líneas paralelas N O, L p, G a, H q, e

⁴⁷² Marin Mersenne, op. cit., *D'e l'utilité de l'Harmonie*, PROPOSITION XXIII, p. 32: «Que se parece al foco de la parábola en que el uno y el otro reúnen todos los rayos en un mismo punto, [...] es preciso que los rayos que caen sobre la parábola sean paralelos a su eje, lo que no es requisito de los rayos que caen sobre la elipse».

⁴⁷³ Ibídem, L. I, *Livre de la voix*, PROPOSITION XXIX, *Expliquer comme il faut décrire la parabole pour ramasser les voix en un mesme lieu*, p. 37: «Explicar cómo se ha de describir la parábola para reunir las voces en un mismo lugar. [...] suponer el lugar, por ejemplo A, donde se quiere reunir las voces (que se puede llamar foco, [...] porque los rayos del sol se reflejan en el lugar por medio de un cristal de espejo parabólico) y la cima C, después se ha de describir CB igual a CA, y prolongar el eje CA sobre I tanto como se quiera; después se ha de dividir CA o AI en más partes iguales y sacar líneas que sean perpendiculares a CI sobre los puntos de cada división, como IE [...] los puntos donde las líneas que son cortadas por los arcos descritos del foco A, como del centro común, a la apertura del compás tomado del intervalo de B a cada punto marcado sobre el eje CI, mostrarán los lugares por los que la parábola debe ser descrita, como se ve en los puntos E, por los cuales pasan los arcos, donde el centro es A y los rayos de C a I».

I r, que, chocando en su concavidad, irían a reflejarse al punto e. Según Mersenne, si se colocara el oído en dicho foco o punto e se oirían perfectamente los sonidos que se produjeran en los puntos N, L, G (Fig. 11):

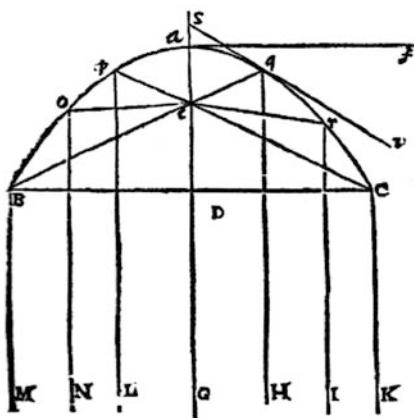


Figura 11. De la superficie parabólica para hacer el eco (M. Mersenne, *Harmonie universelle, Livre de la voix, prop. XXVIII*, p. 60)

La parabole B a C peut aussi servir pour faire des echo, si l'on s'Imagine que la voix en puisse estre si esloignée que les lignes vocales, qui tombent sur sa concavité imitent les lignes paraleles, [...] dont les rayons sonores N O, L p, G a, H q, et I r se reflechiront au point e, ou se fera l'echo: de sorte que l'oreille qui sera en e oyra parfaitemment les sons des luths ou des autres instruments que l'on touchera aux points N, L, G, etc.⁴⁷⁴

4.1.6.c. Cóncono de superficie esférica

Dice Mersenne que una sección de una esfera tiene casi las mismas propiedades de reflexión que la parábola, de forma que, como es difícil hacer y pulir superficies parabólicas, se pueden usar las esféricas, teniendo en cuenta que con una sexta parte de la circunferencia basta para lograr casi el mismo efecto de reflexión que se consigue en la parábola. En la figura 12, la sección de la superficie esférica válida para las propiedades de reflexión mencionadas sería la determinada por los puntos QAO, formando un cóncono donde los rayos R, L, M, se concentrarían en el foco K:

Mais pars qu'il est difficile de faire & de polir des surfaces paraboliques, l'on peut user des sphériques, comme ie monstre par cette 4. Figure BAC, laquelle represente la moitié d'une sphere concave, & a quasi les mesmes proprietez que la parabole [...] les rayons paralleles RLM & c. Tombans sur le concave QAO, se reflechissent vers K, & qu'ils bruslent particulierement entre K &

⁴⁷⁴ Ibídem, L. 1, *De la nature et des propietez du son, PROPOSITION XXVIII*, p. 60: «La parábola B a C puede también servir para hacer los ecos, si se imagina que la voz puede prolongarse tanto como las líneas vocales que caen sobre la concavidad imitando las líneas paralelas, [...] donde los rayos sonoros N O, L p , G a, H q, e I r se reflejarán en el punto e, donde se hará el eco: de suerte que el oído que estuviere en e oirá perfectamente los sonidos de los laúdes o de otros instrumentos que se toquen en los puntos N, L, G, etc.».

I, c'est à dire, entre la 4. & la 5. Partie du diametre, car nul rayon, excepté celuy de l'axe LA, n'est reflechi précisément à la quatriesme partie K. [...] de sorte que la portion d'un moindre cercle concave ou convexe mise au point I ou K, sera quasi le mesme effet que les petites paraboles. [...] la sixiesme partie de la circonference QO suffisoit, parce que tous les autres rayons paralleles tombans sur une plus grande partie ou portion, n'aydent nullment la vûe.⁴⁷⁵

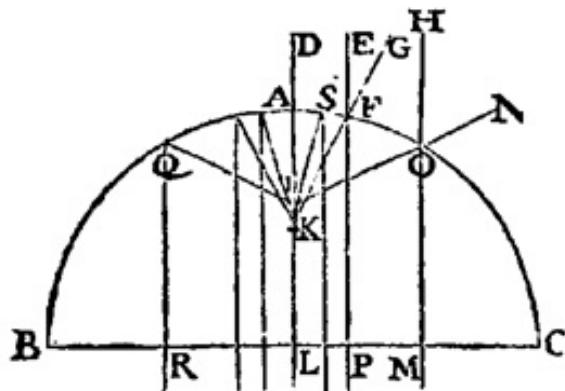


Figura 12. De la superficie espérica (M. Mersenne, *Harmonie universelle*, *D'e l'utilité de l'Harmonie*, prop. V, p. 30)

También para Cavalieri, una superficie cóncava esférica tendría propiedades parecidas a la parabólica siempre que se la considerara en una sección de la misma próxima a su cima, y tendría su foco a la mitad de su radio, es decir, haría converger en dicho foco solo las líneas sonoras paralelas que se reflejaran en una determinada sección de su superficie:

Finalmente noi habbiamo, che la superficie cónvava Sferica farà le parallele prossimamente convergenti, overo farà le prossimamente divergenti parallele, ogni volta, che la portion di superficie sferica, che sarà presa, non molto si alarghidalla cima di esta [...] questa [...] prossimamente unirà quelle riflesse in un punto, che alla similitude de gli altri possi chiamar foco di esso circolo, che è alla metà del semidiámetro.⁴⁷⁶

⁴⁷⁵ Ibídem, L. I, *D'e l'utilité de l'Harmonie*, PROPOSITION V, *Expliquer par figures ce qui a esté dit en discourse...*, p. 30: «Pero como es difícil hacer y pulir superficies parabólicas, se pueden usar las esféricas, como yo muestro mediante esta figura 4. BAC, la cual representa la mitad de una esfera cóncava, y tiene casi las mismas propiedades que la parábola [...] los rayos paralelos RLM & c. Incidentes sobre el cóncavo QAO, se reflejan contra K, & que caen particularmente entre K & I, es decir, entre la 4. & la 5. Parte del diámetro, porque ningún rayo, excepto el del eje LA, se refleja precisamente en la carta parte K. [...] de suerte que la porción de medio círculo cóncavo o convexo metido en el punto I o K, será casi el mismo efecto que las pequeñas paráolas. [...] la sexta parte de la circunferencia QO sobraría, porque todos los otros rayos paralelos incidentes sobre una parte o porción más grande, no ayudan nada a la voz».

⁴⁷⁶ Bonaventura Cavalieri, op. cit., cap. XXIII, p. 68: «Finalmente tenemos que la superficie cóncava esférica hará las paralelas próximamente convergentes, o hará las próximamente divergentes paralelas, cada vez que la porción de superficie esférica, que será acotada, no se aleje mucho de la cima de esta [...] esta [...] próximamente unirá aquellas reflejadas en un punto, que por la similitud de los otros puede llamarse foco del círculo, que es a la mitad del radio».

4.1.6.d. Cónexo de superficie hiperbólica

La última forma de sección cónica que puede adoptar la superficie del cóncavo es la hipérbole. Para Mersenne, una de las propiedades de dicha superficie –estando pulida– es que, como se ve en la Figura 13, todos los rayos que inciden sobre la hipérbole EIC se reunirán en el foco A reflejándose en el foco interior H:

La septiesme figure n'est pas moins considerable que les precedentes, car elle explique les proprietez de l'hyperbole FIC, dont le focus ou l'omblig est au point H. Or la premier proprieté qui fait à mon sujet, consiste en ce que tous les rayons qui tombent tellement sur le concave poli de l'hyperbole EIC, que s'ils n'estoient point empeschez, ils iroient tous se ioindre & s'unir au foyer A, se reflechissant au foyer interieur H, come l'on void en xv, qui retourne d'v en H, au lieu d'aller en A.⁴⁷⁷

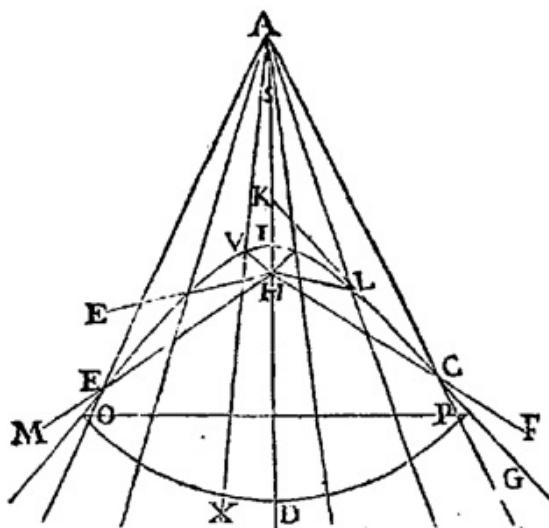


Figura 13. De las propiedades de reflexión de la hipérbole.

(M. Mersenne, *Harmonie universelle, D'e l'utilité de l'Harmonie*, prop. v, p. 32)

La propiedad principal de la reflexión de la superficie cóncava hiperbólica, según Cavalieri, sería la de hacer converger en su foco interior los rayos convergentes exteriores, y hacer diverger en su foco exterior los divergentes del interior:

⁴⁷⁷ Marin Mersenne, op. cit., L. 1, *D'e l'utilité de l'Harmonie*, PROPOSITION V, *Expliquer par figures ce qui a été dit en discourse...*, pp. 31-32: «La séptima figura no es menos considerable que las precedentes, pues ella explica las propiedades de la hipérbole FIC, donde el foco o el ombligo está en el punto H. Ahora bien, la primera propiedad que hace a mi objeto consiste en que todos los rayos que así caen sobre el cóncavo pulido de la hipérbole EIC, que no están nada impedidos, irán todos a juntarse y unirse en el foco A, reflejándose en el foco interior H, como se ve en XV, que retornan de V a H, en lugar de ir a A».

Si hà, che la superficie cónica iperbolica fà convergenti al fuoco suo interiore quelle, che dentro di lei incontrandola sono convergenti nel foco esteriore; e dal corol. Si hà, che l'istessa fà divergenti dal suo foco esteriore le divergenti dall'interiore.⁴⁷⁸

Lo mismo dice Mersenne:

Le concave de l'hyperbole réussissant tous les rayons tendans vers son foyer extérieur dans son foyer interieur.⁴⁷⁹

Con esta propiedad de la reflexión de la hipérbola, se obtendría el resultado acústico de hacer las voces más «fuertes» y más «inteligibles», siendo útil allí donde la parábola o la elipse no puedan tener aplicación:

Or parce que la figure de l'hyperbole est grandement utile pour rendre les voix plus fortes et plus intelligibles, et qu'elle peut servir en plusieurs lieux où l'ellipse et la parabole seroient inutiles, il faut en enseigner la description.⁴⁸⁰

La hipérbola serviría para «reforzar la voz y los conciertos» (Fig. 14):

Expliquer la manière dont il faut décrire toutes sortes d'hyperboles pour renforcer la voix, et les concerts.⁴⁸¹

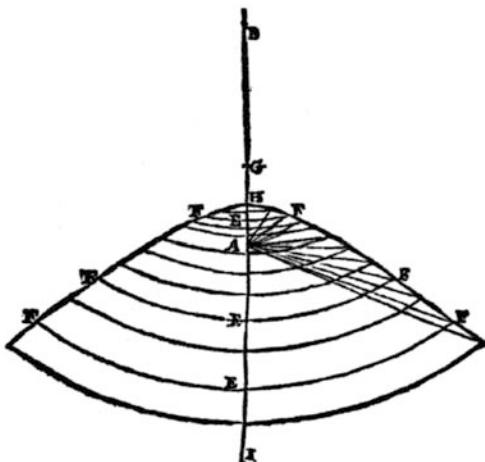


Figura 14. De la descripción de la hipérbole para reforzar la voz
(M. Mersenne, *Harmonie universelle, Livre de la voix, prop. XXX*, p. 39)

⁴⁷⁸ Bonaventura Cavalieri, op. cit., cap. XXIII, p. 67: «Se tiene que la superficie cónica hiperbólica hace convergentes a su foco interior aquellas, que encontrándose dentro de ella son convergentes en el foco exterior; y en el corolario. Se tiene que la misma hace divergentes a su foco exterior las divergentes del interior».

⁴⁷⁹ Ibídem, L. I, *D'e l'utilité de l'Harmonie, Corollaire I*, p. 34: «El cóncavo de la hipérbola reúne todos los rayos tendentes a su foco exterior dentro de su foco interior».

⁴⁸⁰ Ibídem, L. I, *Livre de la voix, corollaire*, p. 38: «Ahora bien porque la figura de la hipérbola es grandemente útil para emitir las voces más fuertes e inteligibles, y que ella puede servir en más lugares donde la elipse y la parábola sean inútiles, se ha de enseñar su descripción».

⁴⁸¹ Ibídem, L. I, *Livre de la voix, PROPOSITION XXX*, p. 39: «Explicar la manera en que se ha de describir toda clase de hipérbolas para reforzar la voz y los conciertos».

Una interesante propiedad de reflexión de la superficie de la hipérbola, siempre según Mersenne, consiste en que su superficie convexa retarda la concurrencia y la unión de los rayos tendentes a su foco interior, reenviándolos a su foco exterior:

La 2. propriété se void aux rayons AC, & AE, & c. Qui de divergens qu'ils estoient s'encartent encore davantage en F & en M: & s'ils viennent tellement de M en E & de F en C & c., qu'ils tendente vers le foyer interieur H, le convexe de l'hyperbole les renvoie d'E & de F au foyer exterier A, *de sorte q'il retarde leur concurrente & leur union*, au lieu que le concave l'aduance.⁴⁸²

CONCLUSIÓN

Gracias a los testimonios de los autores citados a lo largo de este apartado, hemos podido recopilar y estudiar información disponible sobre cómo las características de la caja de resonancia, las cualidades de los materiales, las dimensiones y las proporciones del cóncavo influyen en el sonido de un instrumento. Hemos observado que este hecho se debe a que en el interior del cóncavo es donde se produce la reflexión o el eco del sonido. Sobre todo, al final del apartado hemos recopilado datos concretos sobre las propiedades de reflexión del sonido en superficies de sección cónica en general. Aunque esta documentación no está relacionada de forma específica con las cajas de las vihuelas, supone una información muy relevante sobre los conocimientos científicos que se tenían en la época sobre cómo las formas y características de las paredes de un recinto o cóncavo afectaban al comportamiento en su interior de las ondas sonoras. Autores como Cavallieri o Mersenne estudiaron a fondo las propiedades de reflexión de las ondas sonoras en superficies de diferente formas correspondientes a las diferentes secciones cónicas, observando que la superficie de forma esférica, por ejemplo, concentra las ondas sonoras en un punto o foco, aumentando allí la intensidad del sonido. Otras formas como la elíptica o la parabólica serían, según estos autores, óptimas para escuchar con nitidez un sonido en un punto o foco no muy alejado de la fuente sonora, sin que se escuche así en otras zonas del recinto del cóncavo. Las superficies lisas que conforman las paredes del cóncavo de una vihuela tienen, en muchos de sus tramos, alguna de estas formas correspondientes a los diferentes tipos de sección de un cono. Dependiendo de la diferencia entre estos tramos, siendo su concavidad más parecida a una esfera, una elipse una parábola u otra forma –siempre según estos autores– reflejaría el sonido de un modo u otro de acuerdo con las propiedades de estas figuras.

⁴⁸² Ibídem, L. I, *D'e l'utilité de l'Harmonie*, PROPOSITION V, Expliquer par figures ce qui a esté dit en discourse..., p. 33: «La 2. propiedad se ve en los rayos AC, & AE, & c. que de divergentes que son se escoran todavía más en F & en M: & si vienen tanto de M a E & de F a C & c., que tienden al foco interior H, la convexidad de la hipérbola los reenvía de E & de F al foco exterior A, de suerte que retarda su concurrencia y su unión, en lugar que el cóncavo».

4.2. RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES ARMÓNICAS DEL CÓNCAVO Y LAS DEL SISTEMA MUSICAL

4.2.1. El monocordio y su división

Desde la Antigüedad el hombre, para orientarse y entender el mundo en que habitaba, hacía cálculos y medidas valiéndose de inventos como el astrolabio, instrumento con el cual los astrólogos proyectaban sobre el plano de una especie de medalla circular calibrada la posición exacta de los astros. De esta forma, podían orientarse averiguando en cada momento la posición del sol, la luna, las estrellas, los cometas y los planetas, solo con girar una rueda esmeradamente calibrada. Del mismo modo, para averiguar la conveniencia de las armonías de los sonidos de su sistema musical, los medianamente concienzudamente ordenándolos mediante otro instrumento llamado el monocordio.

El monocordio, que al igual que el astrolabio fue usado ya por los antiguos griegos para hacer minuciosos cálculos matemáticos, consistía en una tabla o caja calibrada sobre la que se tensaban una o varias cuerdas que se dividían con unos puentecillos determinando intervalos de parciales armónicos de los sonidos fundamentales. Mediante este procedimiento, los teóricos de la música fueron elaborando diferentes métodos de afinación y temperamento de los sonidos del sistema musical a lo largo de la historia de la música.

Sobre todo durante la Edad Media y el Renacimiento, el monocordio no era un instrumento de uso exclusivamente teórico, sino que los cantantes se servían de él para entonar correctamente, como se puede comprobar en las indicaciones de Bartolomeo Ramos de Pareja (*Musica Practica*, Bolonia, 1482) sobre cómo cortar la cuerda en un punto, percutirla para hacerla sonar e imitar el sonido producido con la voz al unísono:

Copulandi vocem cum instrumento modo subtilis [...]. Deinde digito superposito in secunda litteras scilicet *b* comprimens chordam cum ligno percutiensque desuper chordam soni qualitatem notet; deinde ipse vocem emittat chordae sono unisonam et aequalem.⁴⁸³

Los cálculos realizados por pensadores griegos como; Arixto, Dydimo, Pitágoras o Ptolomeo,⁴⁸⁴ sirvieron en la Edad Media de base teórica para la elaboración de sistemas de temperamento a partir principalmente de Boecio,⁴⁸⁵ y sentaron los fundamentos de la práctica de los sistemas de afinación del Renacimiento.

⁴⁸³ Bartolomeus Ramos de Pareja, *Musica Practica*, Bolonia, Baltasaris de Hiriberia, 1482, ed. Johannes Wolf, Leipzig, Breitkopf & Härtel, 1901, *prologus*, cap. VII, ff. 15-16: «Juntando la voz con el instrumento de forma sutil [...] luego superponiendo el dedo en la segunda letra, a saber *b*, comprime la cuerda, y percutiéndola con madera nota la calidad del sonido de la parte superior de la cuerda; después con la voz imita el sonido de la cuerda al unísono igualmente».

⁴⁸⁴ J. Murray Barbour, *Tuning and Temperament: A historical survey*, Nueva York, Dover, 2004 (ed. orig.: East Lansing, Michigan State Press, 1950), pp. 1-2.

⁴⁸⁵ Anicius Manlius Severinus Boethius (s. VI), *De Institutione Musica...*

El teórico musical Jerónimo de Moravia, en su *Tractatus de Musica*⁴⁸⁶ de mediados del siglo XIII, describe con detalle la división del monocordio para el sistema de afinación musical basándose en el cuarto libro del *De musica* de Boecio (Fig. 15):

Puesto que dividimos una cuerda por regla segúrn las arriba mencionadas consonancias [...] segúrn Boecio en el cuarto libro de Música [...] esta división mostrará los tonos necesarios en los tres géneros de canto.⁴⁸⁷

Sea AB una cuerda tensada. Sea la regla para dividir en las proporciones propuestas como sigue, [...] divídase AB en cuatro partes por tres puntos, los cuales son, C, D, E. [...] De lo que AB será lo más grave, esto es, proslambanomenos, y DB mese. Puesto que es la mitad del total, e igual que el espacio de Ab a DB es el doble, entonces BD es doble en altura de AB. [...] Por tanto, EB será el nete hyperboleon [...] puesto que AC, CD, DE, EB son partes iguales, AB es cuatro de esas partes y CB es tres. Entonces AB es la sexquitertia de CB [...]. De nuevo, si sustraigo una novena parte, AF, del todo AB, FB será ocho partes. Entonces FB será hypate hypaton, a la que AB, proslambanomenos, contiene la proporción sexquiocava, un tono en música.⁴⁸⁸

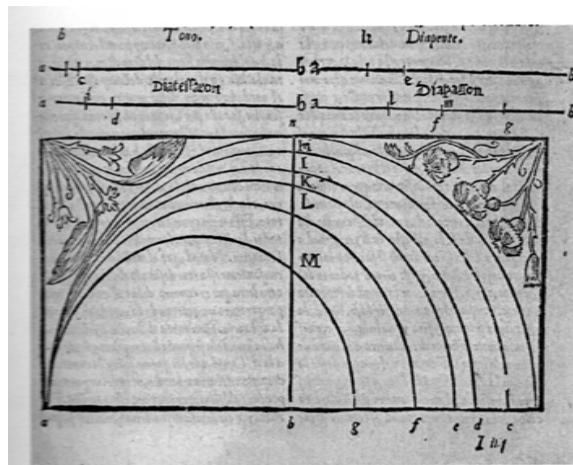


Figura 15. Severinus Boethius,
De Institutione Musica..., siglo IX, f. Lxvij.

La base principal de este sistema de afinación predominante desde la Edad Media y durante parte del Renacimiento, es el sistema establecido por Pitágoras. El sistema pitagórico, como explica J. Murray Barbour,⁴⁸⁹ está basado en la octava y la quinta, los dos primeros intervalos de la serie armónica utilizando la razón 2:1 para la octava y 3:2 para la quinta. En esta afinación,

⁴⁸⁶ Hieronymus de Moravia (París, s. XIII), *Tractatus de musica...*

⁴⁸⁷ Laura Weber, *Intellectual Currents in Thirteenth Century Paris: A Translation and Commentary on Jerome of Moravia's «Tractatus de musica»*, p. 472.

⁴⁸⁸ Ibídem, pp. 477-478.

⁴⁸⁹ J. Murray Barbour, *Tuning and Temperament...*

las tercera mayores están una coma⁴⁹⁰ diatónica (alrededor de 1/9 de tono) más altas que las tercera puras de la serie armónica (cap. I, p. 1).

Según Barbour la manera más simple de construir un monocordio en temperamento igual es elegir una razón correcta para el semitono y aplicarla doce veces.⁴⁹¹ Para colocar los trastes en el laúd, Vincenzo Galilei⁴⁹² usó la razón 18:17 para el semitono, diciendo que el traste decimosegundo estará en la mitad de la cuerda. Según él ninguna otra fracción servirá, pues 17:16 dará muy pocos trastes y 19:18, demasiados. Puesto que 18:17 representa 99 cents,⁴⁹³ 17:16 105 cents, y 19:18 94 cents, Barbour afirma que Galilei estaba en lo cierto con su confirmación.

Sin embargo, los temperamentos más usados durante la Edad Media y el Renacimiento estaban basados en los principales intervalos del sistema pitagórico. En este sentido, uno de los sistemas de afinación que más combina la teoría y la práctica de la época, en tanto que incluye los intervalos naturales de uso común a la vez que respeta en esencia los cálculos de Pitágoras, es el propuesto por Ramos de Pareja (*Musica Practica*, 1482). El monocordio de Ramos de Pareja⁴⁹⁴ no difiere perceptiblemente de la afinación pitagórica. En sus propias palabras, la afinación pitagórica, tal como la muestra Boecio, es «útil y agradable para los teóricos, pero agotadora para los cantantes y tediosa para la mente. Pero como hemos prometido satisfacer a ambos [...], simplificaremos la división del monocordio» (cap. II, f. 4).

El monocordio, como Ramos de Pareja lo afinó en realidad, tiene sus cuatro tercera puras situadas entre Sib-RE, FA-LA, DO-MI, y SOL-SI. Este temperamento supone, para Barbour, un equivalente simplificado de la afinación pitagórica desplazada en seis grados de la escala por el lado descendente.⁴⁹⁵

El procedimiento para la «división elemental» del monocordio, como lo explica Ramos de Pareja, consiste en emplazar, en una cuerda o «nervio» tensada sobre una madera cóncava, las letras *a* y *q* a los extremos donde se fija la cuerda en la caja. Después se toma el punto medio entre dichos extremos y se posiciona la letra *h*, obteniendo la proporción dupla, y así sucesivamente con todos los parciales de proporciones de longitud de cuerda:

Monochordi elementaris divisio seu compositio [...]. Sumator itaque cuiusvis longitudinis nervus sive chorda, quae super lignum aliquid habens concavitatis extendatur; locus autem extremus, qui nervus alligatur, punto *a* signetur. Alius locus e regione procul positus, quo nervus trahitur et torquetur, punto *q* signetur. Quantitas autem *q a*, idest totius chordae longitudo, in duas partes dividatur aequales et aequal distantiae punctus *h* littera notetur.⁴⁹⁶

⁴⁹⁰ «La coma ordinaria (sintónica o Ptolomeica) es el intervalo que existe entre una tercera mayor justa, con razón 5:4, y el ditono Pitagórico o tercera mayor, con razón 81:64. La razón de la coma [...] es 81:80», ibídem, p. v, Prefacio.

⁴⁹¹ Ibídem, p. 57.

⁴⁹² Vincenzo Galilei, *Dialogo della musica antica e moderna*, Florencia, Giorgio Marescotti, 1581.

⁴⁹³ El ‘cent’ es la unidad mínima empleada actualmente para medir intervalos y que equivale a una centésima parte de semitono temperado igual.

⁴⁹⁴ Bartolomeus Ramos de Pareja, op. cit., cap. II, ff. 4-5.

⁴⁹⁵ J. Murray Barbour, *Tuning and Temperament...*, p. 91.

⁴⁹⁶ Bartolomeus Ramos de Pareja, op. cit., cap. II, f. 4: «La división elemental del monocordio para su composición [...] se demuestra así una cuerda o nervio de cualquier longitud, que se extiende sobre la madera que tiene cierta

Hacia el final del tratado, Ramos detalla nuevamente la división de las proporciones en el monocordio, esta vez asignándoles una magnitud determinada: la totalidad de la cuerda tendría 24 «dígitos» (¿pulgadas?), la sección dupla 12, la sexquiáltera 18 (que significa el diatésaron en «sinfonía») y así sucesivamente:

Est enim chorda in tota sui longitudine exempli gratia quatuor cum viginti digitorum, quae *q a* punctis terminatur. Cum igitur eam medio secamus littera *h* sectionem signantes, *q h* duodecim digitorum ad *q a* viginti quatuor in dupla collatione respondet. [f. 77] [...] cum vero *h a* medium dividimus quantitatem littera *d* in medio consignantes, chorda *d q* 18 digitorum ese constat, quae ad totam comparata sesquitertiam servit proportionem. Inde ergo est, quod *a d* diatessaron est symphonia.⁴⁹⁷

Ludovicus Fogliano (*Musica theorica...*, Venecia, 1529), realizó divisiones del monocordio basándose en Pitágoras y Euclides,⁴⁹⁸ incluyendo las proporciones dupla para el diapasón, sesquiáltera para el diapente, sesquitercia para el diatésaron, etcétera (Fig. 16):

Quo tantum genera proportionum veteres & praesertim pythagorici: ad músicas consonantias aptaverunt: videlicet. Multiplex & superarticulare: ex multiplice quidem duplam ad Diapason applicantes: ex superarticulare vero: sesquialteram ad diapenten: & sesquitertiam ad Diantessaron fore aptas putavere.⁴⁹⁹

concavidad, al extremo al que está atado el nervio, se señala con el punto *a*. En el otro lugar de la región donde se tira y se enrolla el nervio se señala con el punto *q*. Ahora la cantidad de *q a*, es decir, la totalidad de la longitud de la cuerda, se divide en dos partes iguales y a igual distancia se anota el punto con la letra *h*.

⁴⁹⁷ Ibídem, *Tractatus*, parte III, ff. 76-77: «Sea una cuerda en toda su longitud, por ejemplo, de veinticuatro dedos (pulgadas), la cual termina en los puntos *q a*. Entonces cortamos en medio con la letra *h* señalando las secciones *q h* doce dedos, que a los veinticuatro de *q a* responde en proporción dupla. [f. 77] [...] dividimos en el medio exacto de la cantidad *h a* y asignamos la letra *d*, la cuerda *d q* consta de 18 dedos, que comparada con toda ella sirve de proporción sexquiértercia. Donde es, por tanto, que *a d* es la sinfonía diatesarón».

⁴⁹⁸ Euclides, *Opera Omnia; Elementa...*, y *Los seis libros primeros de la Geometría*, (Alexandria, ca. 300).

⁴⁹⁹ Ludovico Fogliano, *Musica theorica, sectio prima*, Venecia, Antonium & Fratres de Sabio, 1529, sect. II, cap. I, p. xir: «Las únicas especies de proporciones que establecieron los antiguos y especialmente los pitagóricos fueron, a saber: las múltiples y superarticulares; de múltiple la dupla que se aplica a la octava, de superarticular; la sexquiáltera que es diapente, y sexquiértercia al diatesarón fueron las que se adecuaban».

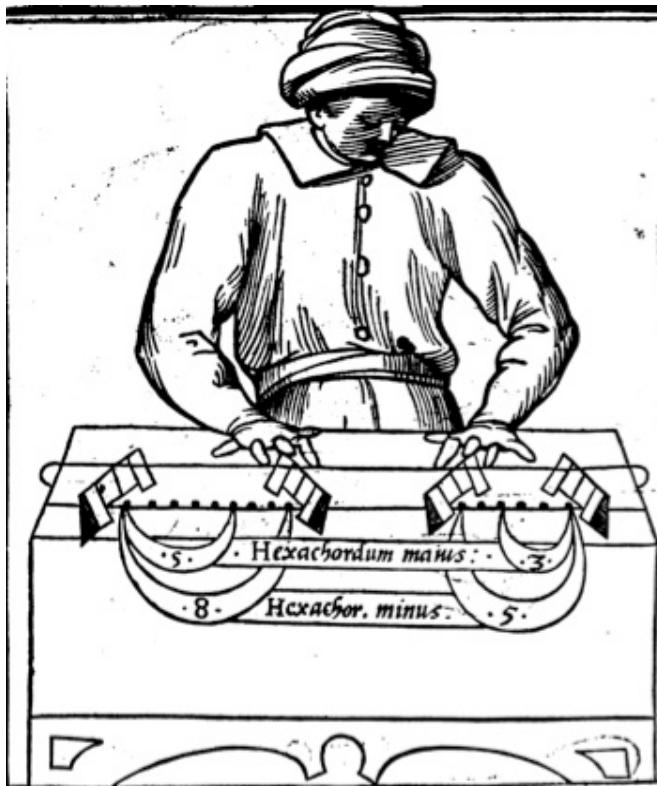


Figura 16. Ludovico Fogliano *Musica theorica...*, sec. II, p. XIV, CII.

Uno de los pocos tratadistas del Renacimiento que escribió sobre violas de arco, Sylvestro Ganassi,⁵⁰⁰ tenía un método para obtener semitonos iguales en la vihuela de arco mediante divisiones lineales, usando las razones de la entonación justa para su escala básica. Según Barbour, su monocordio podía haberse afinado como sigue: con LA siendo la fundamental, desde la tercera menor DO con razón 6:5; desde FA y SOL como cuarta y quinta perfectas con DO con las respectivas razones 4:3 y 3:2. Divide el espacio entre LA y DO en tres partes iguales para SIb y SI, y el espacio entre DO y FA lo divide en cinco partes iguales para DO#, RE, MIb y MI: así FA# estará a mitad entre FA y SOL, y SOL# estará a mitad entre SOL y la octava LA. La construcción será incluso más fácil si comenzamos con DO: de FA y SOL como cuarta y quinta perfectas con DO; divide el espacio entre DO y FA en cinco partes iguales, entre FA y SOL en dos partes iguales, y entre SOL y la octava DO en cinco partes iguales.⁵⁰¹

Su vihuela tenía solo ocho trastes. Para posicionarlos, situó un punto donde caería naturalmente SOL, el décimo traste; el segundo traste se debe situar más alto que 8/9 por la anchura del traste, y el primero más alto que 17/18 por la misma razón. Similarmente el sexto traste debe situarse más bajo que 17/24 (Fig. 17).

⁵⁰⁰ Sylvestro Ganassi, *Lettione seconda pur prattica di sonare il violone d' arco da tasti*, Venecia, 1543.

⁵⁰¹ J. Murray Barbour, op. cit., p. 141.

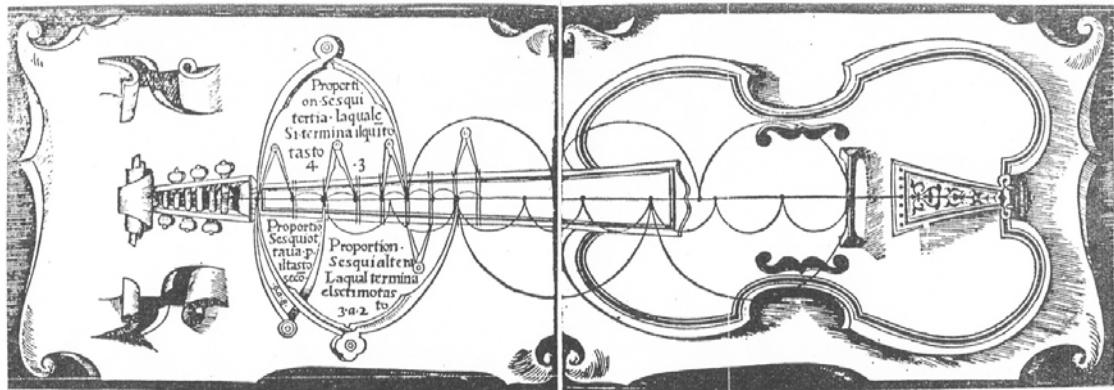


Figura 17. Sylvestro Ganassi, *Lettione seconda...*, Venecia, 1543, f. B VII.

Parece como si la anchura del traste fuera alrededor de la mitad del 1% de la longitud de la cuerda. Este temperamento haría a Sib y SI más altos en algo como la mitad de una coma, y Mib mas bajo en la misma cantidad. Por lo tanto, Ganassi abogó por estos tres valores temperados (p. 142).

Barbour considera que Juan Bermudo,⁵⁰² quien también formó semitonos iguales en la vihuela mediante el método de Grammateus, hizo una auténtica contribución a la teoría de la afinación en el capítulo «Sobre la vihuela de siete ordenes sobre la cual todos los semitonos pueden ser tocados» (f. cix) de su *Declaración de instrumentos musicales* (Fig. 18), un método para expertos ejecutantes. Según él, SOL es la fundamental y hay 10 trastes. Las notas desde Mib al SOL incluido se forman por una sucesión de quintas puras. Las terceras SOL-SI y LA-DO# son 2/3 de coma menores que un tono mayor. Entonces RE y MI forman cuartas puras con LA y SI, respectivamente, y SOL# es una cuarta bajo DO#. La geometría, que consiste solo en divisiones lineales, Barbour asegura que es fácil de seguir.⁵⁰³

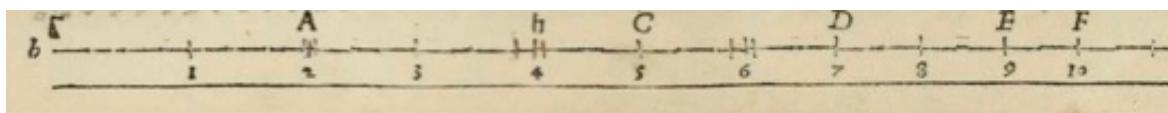


Figura 18. Juan Bermudo, *Declaración de instrumentos musicales*, Osuna, 1555 , f. cix, v.

John Dowland es otro autor que defendía el sistema de afinación con fuerte tendencia pitagórica. En su cuenta para trastear el laúd («fretting the lute»),⁵⁰⁴ DO, RE, FA, SOL y LA tienen una afinación pitagórica, y también su compatriota Tomas Morley solo mencionaba el monocordio pitagórico, en opinión de Barbour.⁵⁰⁵ En España, los principios pitagóricos de

⁵⁰² Juan Bermudo, *Declaración de instrumentos musicales*, Osuna, Juan de Leon, 1555, libro IV, cap. LXXXVI, ff. cix-cx.

⁵⁰³ J. Murray Barbour, op. cit., p. 164.

⁵⁰⁴ Robert Dowland, *Variety of lute lessons*, Londres, Thomas Adams, 1610, *Belonging to lute playing, of fretting the lute*, f. D2.

⁵⁰⁵ J. Murray Barbour, op. cit., p. 153.

afinación seguían teniendo mucho valor sobre todo a nivel práctico, como vemos en la división del monocordio de Ramos de Pareja arriba descrita. Teóricos de siglos posteriores como por ejemplo Nassarre se basan también mucho en estas ideas.

CONCLUSIÓN

A lo largo de la historia de la música se observa, en los temas sobre afinación y temperamento, una especie de debate entre teoría científica y la práctica musical respecto al arte de combinar sonidos armónicamente. A pesar de que existen ciertas leyes naturales mediante las cuales algunos intervalos entre sonidos se combinan con proporciones armónicas perfectas, como la octava, la quinta o la cuarta justas, la propia naturaleza física de los sonidos hace que el sistema de afinación no sea perfecto y no cierre completamente de forma coincidente el círculo de octavas y quintas. Este hecho hace que los músicos calcularan mediante la división del monocordio innumerables sistemas para compensar este desajuste viéndose obligados a tomar decisiones para sacrificar unos aspectos en favor de otros, según las necesidades prácticas o los criterios estéticos. Hemos seleccionado los sistemas de afinación de los autores cuyos criterios más se ajustan a una contextualización viable para la práctica de la vihuela de arco, bien directamente porque hacen referencia a ella o bien porque la contemplan, en la división del monocordio, con intervalos factibles para esa práctica en la época.

En lo que todos estos sistemas de división práctica del monocordio están de acuerdo es en que, para el mayor número de consonancias que se empleaban en la música de la época con la vihuela de arco, las proporciones más comunes son las de la serie armónica natural calculadas por Pitágoras o Euclides, basadas en proporciones de números enteros como 2:1, 3:2, 4:3, etc., por lo que los sonidos generados dentro del cóncavo del instrumento resultantes de estas divisiones coinciden con las proporciones geométricas de su composición, originando cierta simpatía o sintonía armónica.

4.3. TRAZAS GEOMÉTRICAS PARA EL DISEÑO DEL PLANO DEL CÓNCAVO

Siempre que el diseño de las cajas armónicas de los instrumentos de cuerda se basa en las proporciones geométricas, éstas logran dar una lógica y solidez tanto a su estructura arquitectónica como a las proporciones y parciales armónicos de los sonidos que se forman en su interior.

El origen de este método de diseñar los instrumentos de cuerda mediante razones geométricas la podemos encontrar en la cultura árabe que permeaba al-Ándalus en la Edad Media, fruto del conocimiento de antiguos sabios, como Euclides,⁵⁰⁶ heredado a través de las escuelas de traductores de dicha cultura. La transmisión de estos conocimientos se mantuvo vía maestro-aprendiz, como modo de proceder artesanal para elaborar planos y fabricar moldes, en los talleres de construcción de instrumentos musicales que proliferaron sobre todo en el Renacimiento.

Según Christian Rault,⁵⁰⁷ se pueden encontrar dos evidencias teóricas de estos diseños geométricos para un laúd en los tratados de *Kitab al-Adwarde Safî al-Dîn Abd al-Mu'min*, de 1334, y de Henri-Arnault de Zwolle, ca. 1440 (Figs. 19 y 20).⁵⁰⁸

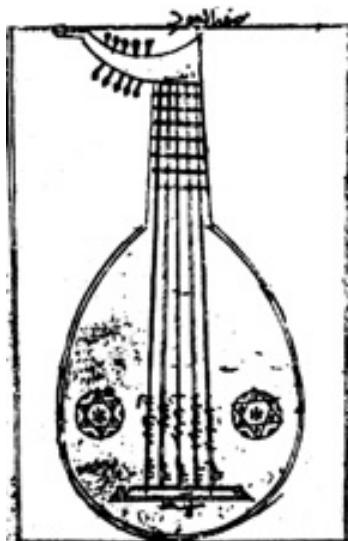


Figura 19. Christian Rault, «Géométrie médiévale, tracés d'instruments...», p. 54.

⁵⁰⁶ Euclides, *Opera Omnia; Elementa...*, Alexandria, (ca. 300)...

⁵⁰⁷ Sobre este tema ver también: Kevin Coates, *Geometry, Proportion, and the Art of Lutherie: A Study of the Use and Aesthetic Significance of Geometry and Numerical Proportion in the Design of European Bowed and Plucked String Instruments in the Sixteenth, Seventeenth and Eighteenth Centuries*, Oxford, Clarendon Press, 1985.

⁵⁰⁸ Christian Rault, «Géométrie médiévale, tracés d'instruments et proportions harmoniques», en *Instruments à cordes du Moyen Âge: actes du colloque de Royaumont, 1994*, vol. 11, Grâne, Creafis, (1999), p. 61.

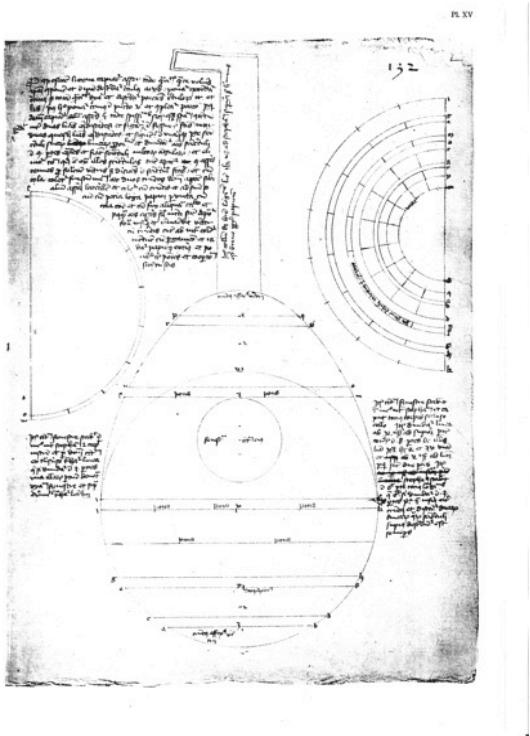


Figura 20. Henri-Arnault de Zwolle, París, Biblioteque Nationale,
Ms. Lat. 7295 (ca.1440), f.132.⁵⁰⁹

Mediante el uso del compás a diferentes aperturas correspondientes con las proporciones deseadas, haciendo diferentes combinaciones de figuras geométricas, se puede elaborar cualquier diseño de caja armónica de instrumento de cuerda (Fig. 21).

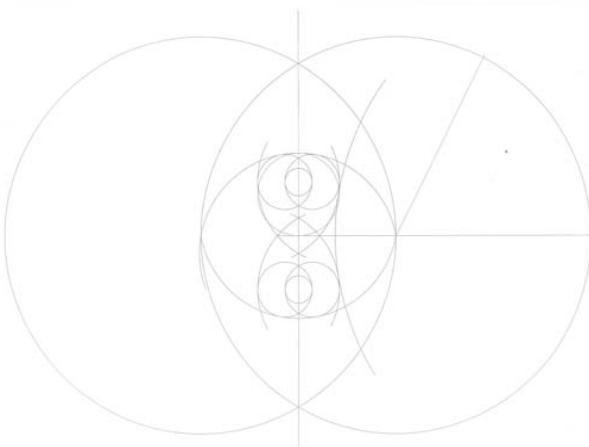


Figura 21. Diseño geométrico para una vihuela basada en un modelo de 1361, Javier Martínez (violero).
(ver el modelo en la imagen correspondiente de la Figura 22 de la p. 113).

⁵⁰⁹ George Le Cerf y Edmond-René Labande, *Instruments de musique du xv^e siècle: Les Traités d'Henri-Arnaut de Zwolle et de divers anonymes* (Paris: Bibliothèque Nationale, MS. Latin 7295), París, Auguste Picard, 1932, ed. Documenta Musicologica, IV, Kassel, Bärenreiter, 1972. pl. xv.

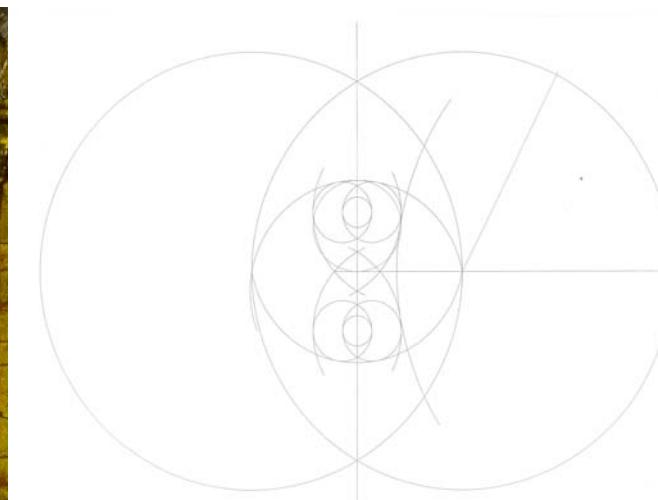
El uso del compás y la regla para la elaboración de las trazas de los planos en la construcción de los instrumentos, sin embargo, determina las formas de sus contornos. En el momento que se empiezan a regular las normas para construir dichos instrumentos en las ordenanzas del gremio de los violeros, podemos encontrar información sobre estas prácticas. Por ejemplo, en las ordenanzas del oficio de violero de Toledo (1617),⁵¹⁰ entre otras normas, aparecen los requisitos para superar el examen de los aspirantes a maestros. En ellos se exigía, previo a la construcción del instrumento, la traza del plano solo con la ayuda del compás y la regla, lo que determina la composición exclusivamente a base de figuras geométricas determinadas:

Una biguela llana de seis ordenes con sus tamaños reglas y compases y se entiende que para aacer la
a de hacer primero el molde de papel y lo ha de aacer en presencia de los vehedores y examinadores
para averlo de aacer no a de tener sino un cuchillo delante y compas y regla y un cartabón y no ha de
usar de patrón sino por lo que supiere y entendiere del dicho arte.⁵¹¹

A continuación mostramos algunas imágenes de vihuelas en que se ha observado efectivamente que guardan estas proporciones y que por lo mismo hemos tenido este en cuenta para su reconstrucción (Figs. 22-25).



Figura 22, Pere Serra, Zaragoza, 1361-
1365 (Museo Provincial de Zaragoza)



Javier Martínez, Zaragoza, 2011.

⁵¹⁰ Archivo Municipal de Toledo, carta de oficios, Ordenanzas de Bigoleros..., 1617, “Fondo Histórico, caja núm. 1769”, ed. E. Sáez Sánchez, «Ordenanzas de los gremios de Toledo II», *Revista de Trabajo*, 10 (1944), pp. 1233-1241; 1 (1945), pp. 39-49; 7-8 (1945), pp. 689-700; 5 (1946), pp. 495-505; 1 (1947), pp. 24-32; y 5 (1947), pp. 518-522.

⁵¹¹ José Luis Romanillos Vega y Marian Harris Winspear, *The vihuela de mano and the spanish guitar...*, pp. 442-443.

detalle.

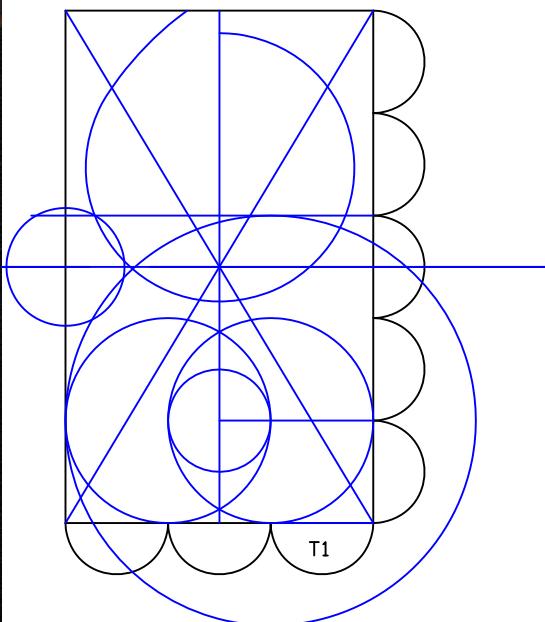


Figura 23, Hans Baldung Grien, Madrid, Javier Martínez, Zaragoza, 2013.
1541(Museo del Prado) detalle.

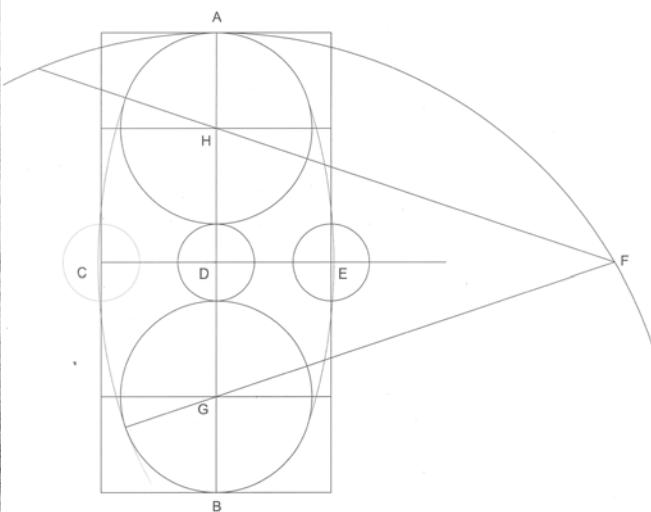
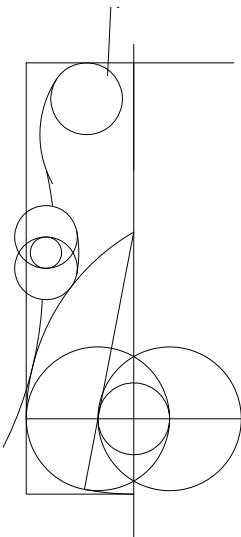


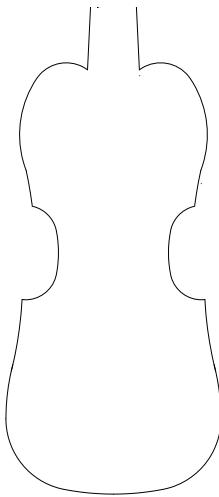
Figura 24, Valencia, 1480, Museo de
Bellas Artes de Valencia., Javier Martínez, Zaragoza, 2012.



Figura 25, anónimo, ca. 1550, Catedral de Cuenca.



Javier Martínez, Zaragoza, 2005.



5. ACÚSTICA Y PERCEPCIÓN SUBJETIVA DEL SONIDO

5.1. EL CONCEPTO DE LA DULZURA DEL SONIDO

En textos literarios de muy diferentes épocas y naturalezas, encontramos algunas alusiones relativas a la descripción cualitativa del fenómeno sonoro en diferentes contextos. Lo relevante de ellas es que se trata de impresiones subjetivas hechas por personas que en su época escucharon alguna vez determinados instrumentos, y que han quedado reflejadas en los textos literarios. Estas menciones suponen de alguna manera un dato más, aunque escaso, que podemos añadir al estudio de este fenómeno, cuyo máximo valor es la proximidad directa al fenómeno en cuestión. El término que más aparece en ellas, con diferencia, para referirse a un sonido agradable de cualquier naturaleza es el de «dulzura», que es utilizado en los mismos contextos y de la misma manera en diferentes épocas. Damos aquí algunos ejemplos que se corresponden a períodos en los que estaban en uso las vihuelas mencionados a lo largo de esta Tesis. Toda vez que hemos encontrado una mención a la bondad de la calidad del sonido a lo largo de nuestro estudio, hemos observado que se ha utilizado el término de «dulce» para referirse a ella.

La descripción de una experiencia sensorial auditiva agradable como algo «dulce» aparece muy a menudo en fuentes literarias. En ocasiones se hace mención al término como característica del sonido de la vihuela de arco:

Ante infermus *dulces sonitus* fiat de musicorum generibus, sicut campanuda, vidula, rota et similibus.⁴²³

La vihuela de arco faze *dulces vayladas*.⁴²⁴

Con una sua *vivuela dulcemente sonò* alcuna stampita.⁴²⁵

En un pasaje del *Libro de buen Amor* del Arcipreste de Hita, las menciones a los sonidos o «voces» de la vihuela de arco se describen como «dulces» y «sabrosos». Esta es una clara alusión a un concepto de deleite estético vinculado al placer del sentido del gusto:

«vozes dulces, sabrosas, claras e bien puntadas».⁴²⁶

⁴²³ Pierre Bec, *Vièles ou violes? Variations philologiques et musicales autour des instruments...*, p. 115. La cita corresponde a Constantinus Africanus, *Opera Medica* (ca. 1070), *De morbidum cognitione et curatione*, L. I, cap. XVI, *De stupore mentis*, p. 14, Basilea, Henricum Petrum, 1536: «Ante el enfermo hacer dulces sonidos de generos musicales, como la campanuda, vidula, rota y similares».

⁴²⁴ Arcipreste de Hita, Juan Ruiz, *Libro de buen amor* (ca. 1351), ed. Lidia Pons y Joaquín Fontanal, Gerona, Hijos de José Boch, 1976, copla 1231, p. 339.

⁴²⁵ Pierre Bec, op. cit., p. 214. La cita en Giovanni Boccaccio, *Il Decamerone* (ca. 1351-53), ed. princeps: Venecia, Christophorus Valdarfer, 1471, *Introduzione*, Novella, 7, giornata 10.

⁴²⁶ Arcipreste de Hita, Juan Ruiz, op. cit., copla 1231, p. 339.

Este sentido se puede apreciar también en una cita de Wenrico von Trier del siglo XII, donde se compara el «dulce uso» mediante el que las vísceras del ser humano sirven al hombre con la dulce «divina resonancia» de las cuerdas de la lira o la cítara:⁴²⁷

Viscera corpore nostro dulcem dant usum delicias hominum. Quadam divina resonat dulcedine chorda apte iuncta lyrae, psalterio, citharae.⁴²⁸

El término «dulce», aparece en otras ocasiones como referido a una especie de claridad y armoniosidad acústica en relación con la textura y las propiedades de las cuerdas del instrumento:

Y por eso tienen más *dulzura*, limpieza y sonoridad que las hechas con tripas de otros animales.⁴²⁹

Chorde sunt intestine animalium exsiccata et attenuata, *dulciter* sonancia.⁴³⁰

Sic inde corde fierent, que *dulcem* sonum reddunt, [...] ut ad modum cordarum *dulcissimum* melos pure conscientie et corpore glorificationis reddant.⁴³¹

Cuando el aire es impulsado por las fuertes cuerdas hacia la tabla, este se filtra lentamente por la tapa de resonancia, y de ahí saldrá el sonido dulce (*süez*).⁴³²

Las cuerdas de nervio, que se usan en arpas, vihuelas, y otros Instrumentos, conviene su materia, [...], y a menos violencia, forma con mas *dulzura* el sonido.⁴³³

La referencia a un sonido «dulce» puede aparecer, además de vinculado al hecho de provenir de un instrumento como una vihuela o a la bondad del material del que estén hechas sus cuerdas, como causa de las condiciones acústicas del recinto donde se genera el sonido o del medio por el que este se propaga. Lo explica reiteradamente Nassarre:

Y este blando movimiento del ayre, que hiere en la materia lisa y solida, causa el sonido *dulce* y *apacible*.⁴³⁴

Y advierto, que el tener el eco mas o menos *dulzura*, no consiste en ser mayor, o menor el concabo, sino es en estar bien o mal proporcionado; porque si las proporciones en el fueren sonoras, será mucho mas deleytable dicho eco.⁴³⁵

⁴²⁷ Christopher Page, *Voices and Instruments...*, p. 224.

⁴²⁸ Wenrico von Trier, *Hermannii contracti conflictus ovis et lini*, c. 1088, l. 307-10: «Las vísceras (intestinos, estómago) de nuestro cuerpo dan dulce uso a las delicias del hombre, como la divina resonancia de la dulzura de las cuerdas bien templadas de la lira, salterio, cítara».

⁴²⁹ Julián Ribera y Tarragó, *La música árabe y su influencia en la española...*, pp. 103-104; la referencia a Zyriab, en el apartado 3.2 de esta Tesis.

⁴³⁰ Christopher Page, op. cit., pp. 226-227. La cita corresponde a Honorius Augustodunensis (siglo XII), comentario sobre el salmo 150:4, cod. Vinodob. 928, f. 188.

⁴³¹ Ibídem, pp. 224-225. Para la referencia a Bruno el Cartujano véase la nota 200 (apdo. 3.2.1).

⁴³² Konrad von Megenberg, *Das Buch der Natur...*(ca. 1349), cap. IV, *Von den Paumen*, 5 *Von den Tannen*, 1.15-128, p. 314. La cita completa en la nota 284 (apdo. 4.1.1).

⁴³³ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. IV, cap. XIV, *En que se trata de las dimensiones, de los Instrumentos musicales en general*, pp. 450-451.

⁴³⁴ Ibídem, p. 450. La cita en la nota 294 (apdo. 4.1.1).

[...] tanta mas será la dulzura, y suavidad del eco; [...] se percibe el eco con *gran dulzura*.⁴³⁶

Se oye la repetición del eco con mucha mas suavidad, y *dulzura*.⁴³⁷

De lo dicho se infiere la causa de percibirse mas *dulcemente* la música de lexos [...] dize el Filósofo [...], formándose el sonido con más *dulzura* por el mayor sosiego.⁴³⁸

CONCLUSIÓN

El sonido que produce un instrumento musical, al fin y al cabo, termina siendo una impresión sensorial que nos formamos de un fenómeno físico-acústico y, por lo tanto, está sujeta a la subjetividad de cada individuo que lo percibe. Sin embargo, aunque no se conserven las condiciones exactas en las que se produjo, el testimonio y las descripciones de personas que recibieron esas impresiones se convierte en algo muy valioso, a pesar de su subjetividad. Es muy notable, por la asiduidad con la que aparece en las citas referidas al sonido, el uso del adjetivo «dulce» como sinónimo de agradable, sobre todo al referirse al deleite del sentido del oído. De hecho, la mayoría de las veces que se hace referencia a un sonido agradable se lo califica como «dulce», en ocasiones añadiendo el calificativo de «suave» o «apacible», por oposición a los de «fuerte» y «desapacible». Aunque este adjetivo se pudiese descalificar a sí mismo al perder credibilidad por su frecuente uso, no deja de ser una información valiosa, ya que siempre se usa para enaltecer la experiencia sensorial sublime, suave y delicada, que se da de forma mesurada y armónica; cuando algo no lo es, es descrito como desagradable, desapacible, fuerte y ofensivo. Se puede decir que, si bien estas descripciones no nos dan una idea exacta o concreta de cómo era el sonido de estos instrumentos, al menos muestran que, para la gente que los escuchaba, no era lo contrario a lo que describen –áspero, hiriente u ofensivo–.

Para entender mejor este aspecto subjetivo del fenómeno sonoro, nos proponemos abordar algunos aspectos sobre el funcionamiento fisiológico de la función auditiva en el apartado siguiente.

⁴³⁵ Ibídem, vol. I, L. I, cap. X, *Del eco del sonido y sus diferencias*, pp. 34-40. Véase también la nota 329.

⁴³⁶ Ibídem, pp. 36 y 38; y para las citas completas véanse notas 330 y 359.

⁴³⁷ Ibídem, p. 36. La cita en la nota 322 (apdo. 4.1.2).

⁴³⁸ Pablo Nassarre, *Escuela Música...*, vol. I, L. I, cap. IX, *De las diferencias que hay entre los sonidos naturales, y artificiales*, pp. 29-34. La cita en la nota 50 (apdo. 2.1.1).

5.2. PERCEPCIÓN FISIOLÓGICA DEL SONIDO

A lo largo de los apartados anteriores hemos visto diversas alusiones al fenómeno del sonido, sus características e incluso algunas descripciones subjetivas del mismo relativas al fenómeno acústico de las vihuelas de arco. Sin embargo, el sonido no solo tiene un componente físico-acústico, sino que también es lo que se percibe de forma subjetiva y sensorial. A pesar de que el sonido no es otra cosa que la transmisión de una energía en forma de ondas vibratorias a través de las moléculas de un medio, lo que finalmente lo convierte en percepción sonora es la sensación provocada por el nervio auditivo al ser interpretada dicha energía por nuestro cerebro. Por ello, conviene saber cómo se produce en realidad esa transmisión o codificación de información sonora y cómo funciona nuestro órgano encargado de la audición.

5.2.1 Funcionamiento fisiológico del oído

Nos proponemos describir cómo el oído humano capta la información sonora del medio y la traduce a impulsos neuronales en el cerebro a partir de información contenida en los concienzudos estudios de los autores más relevantes en esta materia como son Eric D. Young⁴³⁹, F. Alton Everest⁴⁴⁰, James D. Pickles⁴⁴¹ o Jerry V. Tobias⁴⁴² entre otros.

5.2.1.a. El oído externo

El ser humano capta la información sonora trasmisita por el medio aéreo, en primer lugar, mediante una especie de antena o estructura cartilaginosa adherida al canal del oído externo llamada pabellón auricular, cuyos pliegues y cavidades dirigen las ondas sonoras hacia la entrada del canal auditivo. Hay dos oídos, situados de manera opuesta uno a cada lado de la cabeza.

Al final del conducto auditivo se encuentra el tímpano. El oído externo recoge el sonido del exterior y lo conduce al tímpano que, actuando como una especie de membrana o pistón, transmite las fluctuaciones de presión sonora del aire convirtiéndolas en movimientos mecánicos de los huesecillos del oído medio. El estímulo de estos movimientos mecánicos provoca descargas neuronales que encuentran su camino al cerebro y crean una sensación sonora.

El oído humano no puede detectar sonidos más suaves que el golpeteo de las partículas de aire contra el tímpano, en el cual genera dicho golpeteo un movimiento increíblemente pequeño: solo una centésima de millonésima de centímetro, o la décima parte del diámetro de una molécula de hidrógeno.⁴⁴³

El efecto de resonancia que producen las reflexiones del sonido en las cavidades del

⁴³⁹ Eric D. Young, *Hearing and Signal Processing*, en *Physiological acoustics, Springer Handbook of Acoustics*, Thomas Rossing, New York, Springer, 2014, cap. XII, pp. 429-457.

⁴⁴⁰ F. Alton Everest, *The ear and the perception of sound*, en *The Master Handbook of Acoustics*, 4^a ed., Elkhart, McGraw-Hill, 2001, cap. III, pp. 41-81.

⁴⁴¹ James D. Pickles, *An introduction to the physiology of hearing*, 2^a. ed., San Diego, Academic Press, 1988.

⁴⁴² Jerry V. Tobias, *Foundations of modern auditory theory*, 2 Vols., New York, Academic Press, 1970 y 1972.

⁴⁴³ Ver F. Alton Everest, op. cit., cap. III, pp. 42.

pabellón auricular y en el canal auditivo incrementa la presión sonora en el tímpano a ciertas frecuencias. El máximo o pico de esta amplificación del sonido se encuentra cerca de la frecuencia a la cual este conducto de unos tres centímetros es un cuarto de la longitud de onda, unos 3,000 Hz. Para las frecuencias importantes del habla (2,000 a 3,000 Hz), la presión sonora en el tímpano se incrementa en unos cinco decibelios.⁴⁴⁴ Este hecho hace del oído externo una herramienta óptima para la audición de sonidos contenidos en dicho rango.

El frente de onda sonora puede considerarse como una multiplicidad de rayos sonoros provenientes de una fuente orientada a un ángulo horizontal y vertical específicos. Cuando estos rayos golpean el pabellón auricular, son reflejados por las diversas rugosidades, circunvoluciones y superficies del mismo, permitiendo que algunas de las reflexiones se dirijan hacia la entrada del canal auditivo. Llegado este punto, estos componentes reflejados se combinan con los no reflejados o directos a la entrada del canal auditivo.

Esencialmente, se producen múltiples vías sonoras a través del pabellón auricular debido a las reflexiones. Los sonidos reflejados alcanzan el canal auditivo tras varios retardos, dependiendo de la vía que tomen. La no-linealidad acústica característica de la fisionomía del oído genera nuevos armónicos que no están presentes en el sonido recibido en el tímpano. La cantidad de distorsión producida es modesta a niveles bajos, pero deviene apreciable a altos niveles. Con sonidos de más alto nivel, la presencia de armónicos aurales se hace incluso más obvia.

La sensibilidad direccional del oído externo es generada por el sonido reflejándose en las estructuras del pabellón auricular. Información direccional concerniente a la fuente del sonido viene superpuesta en el contenido mismo del espectro de la onda sonora, de forma que la presión del sonido resultante en el tímpano permite al cerebro interpretar tanto el contenido del sonido como la dirección de la que procede. El cerebro desestima el componente fijo del canal del oído y traduce las multiformes funciones de trasferencia en percepciones direccionales.

Otra función direccional mas obvia del pabellón auricular es la discriminación de ‘hacia delante’ y ‘hacia atrás’, la cual no depende de la codificación y decodificación. A frecuencias más agudas (longitudes de onda más cortas), el pabellón auricular es una barrera efectiva. El cerebro utiliza esta diferenciación de delante-detrás para transmitir una percepción general de dirección.

Componentes de señal próximos a 500 y 8,000 Hz son percibidos como provenientes directamente de frente, mientras que componentes próximos a 1,000 y 10,000 Hz son interpretados como provenientes de atrás.⁴⁴⁵ Los dos oídos, situados en posición opuesta, funcionan juntos en la localización binaural de forma estereofónica. Hay dos factores involucrados en este fenómeno: la diferencia de intensidad y la diferencia en el tiempo de llegada o fase del sonido alcanzando los dos oídos. El sonido que llega primero crea en el oyente la principal percepción de dirección. A esto se le llama «ley del primer frente de onda».

⁴⁴⁴ Ibídem, p. 43.

⁴⁴⁵ Ibídem, p. 67.

5.2.1.b. *El oído medio*

En realidad, lo que nos permite oír es la información que llega al cerebro a través del nervio auditivo. Las terminaciones nerviosas y las células que envían impulsos neuronales al cerebro produciendo la percepción sonora, están contenidas en la parte interna del oído que está cubierta de líquido. Dado que la sinopsis de las células es un proceso químico, éste debe producirse en dicho medio líquido. El problema que surge es que las vibraciones del sonido en el aire no son absorbidas eficientemente por estructuras llenas de fluido como es el oído interno. Sin la ayuda de algún equipo muy especial, el sonido que se origina en el aire rebota en el agua, como la luz en un espejo, perdiéndose gran parte de la energía en la superficie de separación entre los dos medios debido a su diferencia de densidad.

El reto consiste en transformar la baja impedancia acústica del aire (la baja resistencia a que la energía de las ondas se propague por las partículas del medio) en la alta impedancia de la cóclea u oído interno (alta resistencia a la propagación de las ondas por las partículas del medio líquido), para lograr conectar tanta energía en la cóclea como sea posible. El oído medio se encarga de realizar esta transmisión de energía gracias a la acción de pistón del tímpano y la ventana oval por un lado, y de palanca mecánica de tres huesecillos situados a lo largo de una cavidad llena de aire, por otro. Los tres huesecillos (martillo, yunque y estribo) forman una conexión mecánica entre el tímpano y la ventana oval, la cual está en contacto íntimo con el fluido del oído interno. Si no existiera oído medio, la media de la captura de presión sonora de la ventana oval sería de alrededor de 15 a 30 dB menor debido al desajuste de impedancias entre el aire y los fluidos cocleares.

La trompa de Eustaquio desempeña una segunda función nivelando la estática presión del aire del oído medio con la presión atmosférica exterior, de forma que el tímpano y las delicadas membranas del oído interno puedan funcionar adecuadamente. La energía no es absorbida eficazmente en el tímpano a bajas frecuencias. A altas frecuencias el área efectiva se aproxima al receptor ideal, pero es todavía entre 10 y 15 dB menor que el rendimiento en el tímpano. A pesar de que el oído externo y el medio no alcanzan el rendimiento ideal, son útiles para transmitir el sonido a la cóclea.⁴⁴⁶

5.2.1.c. *El oído interno*

La vibración del tímpano activa los huesecillos del oído medio. El movimiento del estribo, que está unido a la ventana oval, pone en vibración el fluido del oído interno. El sonido al actuar en la ventana oval causa el establecimiento de ondas estacionarias en la membrana basilar. Sonidos de baja frecuencia resultan de máxima amplitud cerca del extremo lejano de la membrana basilar, mientras que sonidos de alta frecuencia producen picos cerca de la ventana oval.

Las ondas creadas sobre la membrana basilar en el conducto lleno de líquido del oído interno, estimulan las terminaciones nerviosas en forma de pelillos que transmiten señales al

⁴⁴⁶ Ver Eric D. Young, *Hearing and Signal Processing...*, cap. XII, pp. 433.

cerebro en forma de descargas neuronales; unas 15.000 células ciliadas externas con unos 140 diminutos pelillos llamados estereocilios que sobresalen de cada una. Además, hay cerca de 3.500 células ciliadas internas, cada una con unos 40 estereocilios adjuntos. Estos estereocilios son los verdaderos transductores de energía sonora en descargas eléctricas.⁴⁴⁷

El oído y el cerebro tienen la notable capacidad de reunir todas las reflexiones que llegan dentro de aproximadamente 50 ms después del sonido directo y las integran para dar la impresión de que todo este sonido proviene de la dirección de la fuente original, a pesar de que reflexiones de otras direcciones estén involucradas. Retardos muy cortos (menos de 1 ms) contribuyen a nuestro discernimiento sobre la dirección de una fuente mediante tiempos ligeramente diferentes de llegada a nuestros dos oídos. Los retardos superiores a este tiempo no afectan a nuestro sentido direccional.

En una habitación, la energía sonora reflejada que llega al oído dentro de 35 ms se integra con el sonido directo y es percibida como parte del mismo en oposición al sonido reverberante. Dentro del rango de 5 a 35 ms de retardo del sonido, se debería incrementar más de 10 dB por encima del sonido directo para que sonase como un eco.⁴⁴⁸ Conforme se incrementa gradualmente, el nivel de reflexión sobre el umbral en el cual el oyente comienza a detectar una diferencia en el sonido se imprime en el sonido combinado una sensación de espaciosidad.

La cóclea contiene el aparato de transducción del oído mediante el cual la energía del sonido se convierte en actividad eléctrica en las células nerviosas. La conversión se produce en las células de transducción, llamadas células ciliadas internas, y se transfiere a las neuronas por el nervio auditivo que conecta al cerebro. Sin embargo, la función de la cóclea es más que la de un mero transductor: también hace un análisis de frecuencias en el que un sonido complejo, como en el habla o en la música, se separa en sus frecuencias parciales.

Las intensidades sonoras acústicas que varían en un rango de 60 a 100 dB se asignan a la excitación neuronal en un rango dinámico mucho más limitado.⁴⁴⁹ De esta forma, la sensibilidad coclear debe ser alta a bajos niveles sonoros para permitir que los sonidos suaves sean escuchados, y debe ser reducida a altos niveles sonoros para mantener la capacidad de respuesta sin que se produzca saturación.

La cóclea se compone de tres cámaras llenas de un líquido de solución salina (cloruro de sodio y potasio) enrolladas en espiral y juntas: *scala timpani*, *scala vestibuli* y *scala media*. El órgano de Corti contiene las células ciliadas que, conectadas mediante sinapsis química a las células del nervio auditivo, transmiten la información al cerebro.

El movimiento del estribo produce una señal de presión sonora en la cóclea que resulta en la vibración de los fluidos de la *scala timpani* y *scala media* sobre la membrana basilar. Esta vibración acaba estimulando las células ciliadas a través de la apertura y cierre de los canales de transducción, produciendo la activación del nervio auditivo.

La energía sonora produce una diferencia de presión entre el *scala vestibuli* / *scala media* y el *scala timpani*, lo que provoca un desplazamiento vertical de la membrana basilar. El

⁴⁴⁷ F. Alton Everest, *The ear and the perception of sound...* cap. III, p. 49.

⁴⁴⁸ Ibídem, p. 74.

⁴⁴⁹ Ver Eric D. Young, *Hearing and Signal Processing...*, cap. XII, p. 434.

desplazamiento se sintoniza cuando el movimiento producido por el sonido de una frecuencia particular es máximo en un lugar determinado de la longitud de la cóclea.

El desplazamiento de un punto cualquiera sobre la membrana basilar ocurre en forma de una oscilación vertical (perpendicular a la superficie de la membrana); la fase relativa (o temporalidad) de las oscilaciones de los puntos adyacentes es tal, que el desplazamiento global parece una onda en movimiento, frecuentemente descrito como similar a las ondas que se propagan a partir de un objeto arrojado en una piscina de agua.

Los estereocilios forman en la cóclea un haz precisamente organizado que consta de varias filas de cilios (normalmente tres) en forma de V o de W , de longitud gradual, de modo que los cilios en la fila más cercana al borde lateral de la célula ciliada son los más largos, y los de las filas adyacentes son sucesivamente más cortos. Cada fila consta de 20 a 30 cilios precisamente alineados con los cilios de filas adyacentes⁴⁵⁰.

La transducción se produce cuando el movimiento vertical de la membrana basilar se convierte en un movimiento compartido de los estereocilios. La sensibilidad de la cóclea se regula a lo largo de los diferentes niveles de sonido. La ganancia es alta a bajos niveles sonoros y disminuye a niveles sonoros superiores; como resultado, la salida varía en un rango dinámico menor que la entrada, lo cual se denomina compresión. La diferencia entre la ganancia a los niveles de sonido más altos y la producida a bajos niveles de sonido, refleja un proceso de amplificación, a menudo llamado el amplificador coclear⁴⁵¹.

Cuando sonidos complejos multitonales u otros estímulos con múltiples componentes de frecuencia se presentan en el oído, hay interacciones entre los componentes de frecuencia que son importantes en la formación de las respuestas. En términos de procesamiento del sonido, las principales funciones realizadas en la cóclea son el análisis frecuencial, la compresión y la supresión. La mayoría de las propiedades de la percepción del sonido incluyen el análisis de frecuencias como un componente fundamental. La compresión es importante para extender el rango dinámico de la audición. La supresión es importante para mantener la calidad de la representación espectro-temporal, al menos a niveles sonoros moderados, y es el primer ejemplo de interacción entre frecuencias en el sistema auditivo. La supresión se puede ver en la membrana basilar como una reducción en el movimiento de la membrana a una frecuencia causada por la adición de una segunda frecuencia y, por lo general, se explica como resultado de la compresión en la relación de entrada y salida de la membrana basilar. La importancia de la supresión para respuestas a estímulos complejos es que mejora la separación tonotópica de los componentes del estímulo.

La representación del sonido en el nervio auditivo es la aportación de un complejo de vías neuronales en el sistema auditivo central. La representación del estímulo auditivo proporcionado al cerebro por el nervio auditivo es de carácter espectro-temporal. Es decir, las respuestas de las fibras del nervio auditivo proporcionan una representación exacta de la distribución momento a momento de la energía a través de la frecuencia del sonido que entra en el oído.

⁴⁵⁰ Ibídem, p. 443.

⁴⁵¹ Ibídem, p. 439.

Una segunda función del sistema auditivo central inferior es la interacción binaural. La localización de las fuentes de sonido es calculada por el sistema auditivo a partir de pequeñas diferencias de los sonidos en los dos oídos. Esencialmente, un sonido se retrasa en llegar al oído que se encuentra en el lado de la cabeza mas alejado de la fuente y es allí menos intenso.

Un tercer aspecto de procesamiento central es que la representación del sonido cambia de una descripción espectro-temporal del estímulo, como en el nervio auditivo, y se mueve a representaciones derivadas, tales como las que representan objetos auditivos.

CONCLUSIÓN

El sonido que percibimos es una impresión sensorial que interpreta nuestro cerebro como traducción de un fenómeno acústico. Las condiciones físicas de dicho fenómeno –como son las diferencias de presión del aire, energía y velocidad de las moléculas, efectos de reflexión, características del espectro frecuencial, etc. – son determinantes para caracterizar el sonido de una vihuela de arco: sin embargo, la clave del resultado sonoro está en los procesos químicos, mecánicos y neuronales que se producen en las diferentes partes del oído interno. Allí se identifican y disciernen las frecuencias que llegan mezcladas al pabellón auditivo a través del aire, y se generan los colores, los timbres, las alturas, la sensación de posición, de distancia y de eco que contribuyen a formar la caracterización sonora específica de un instrumento musical. A pesar de que lo más valioso para el estudio del sonido de una vihuela sean las condiciones acústicas arriba mencionadas, cuando se habla de sonido y características sonoras se han de tener en cuenta todos estos aspectos fisiológicos, neuronales y sensoriales de la percepción sonora.

5.3. MODELO PARA LA PRÁCTICA MUSICAL DE LA VIHUELA DE ARCO HISPANA

El sonido que produce un instrumento musical no se puede concebir de forma completamente aislada de su ejecución en la práctica musical. Dicha práctica determina en cierta forma el sonido del instrumento, es decir, que una vihuela de arco del siglo XV, por ejemplo, al margen de sus diferencias morfológicas⁴⁵² sonaba con su peculiaridad característica, en parte debido al hecho de ser tocada de una cierta forma al interpretar determinadas piezas musicales compuestas a dicho efecto.

Para poder contextualizar la interpretación musical de la vihuela de arco hispana, el modelo elegido para su estudio en los experimentos prácticos –sonometría de cuerdas y simulación de reflexión en el cóncavo (véase capítulo 6)–, es la reproducción de la vihuela de un fresco de 1550 de la Catedral de Cuenca. La técnica que he desarrollado para su práctica musical, y que le da a este instrumento su característica peculiaridad sonora, está basada en los comentarios e indicaciones que algunos autores relacionados con la vihuela de arco como Tinctoris, Ganassi, Ortíz o Castiglione han hecho sobre cómo tañer e imitar o acompañar el canto con dichos instrumentos.

El teórico y compositor franco-flamenco Johannes Tinctoris, un referente importante para la música de su época, describe con detalle en un fragmento de su conocido tratado *De inventone et usu Musicae* (1481) los instrumentos musicales de uso en el momento. Tinctoris utiliza el nombre genérico de «lira» para referirse a los cordófonos con forma de laúd y afirma de la vihuela de fondo plano, ser éste un invento hispano, siendo en Italia y España donde se practicaba comúnmente este instrumento. La variante de vihuela frotada con arco tiene diferente disposición de las cuerdas y el arco está confeccionado con una «cuerda» hecha de crines de caballo.⁴⁵³ Sobre el uso y la práctica de estos instrumentos de arco, incluido el rebec de tres cuerdas, Tinctoris describe en otro fragmento del tratado (pp. 45-46) una crónica en la que él mismo es testigo de cómo en la ciudad de Brujas aconteció que dos «hermanos flamencos», Carolus y Johannes, interpretaban una música polifónica a dos vihuelas de arco, repartiéndose la cantilena del tenor y las consonancias en la viola, imitándose alternativamente con tanta pericia que causaba gran gozo, alegría y afecto del espíritu, inflamando ardientemente el corazón del teórico flamenco.

La práctica de tocar música con cuatro vihuelas de arco la encontramos mencionada en el libro de *El Cortesano* de Baldasare Castiglione (*Il Cortegiano*, Venezia, Aldo Manizio, 1528), como una de las excelentes formas de deleitar el ambiente cortesano de Urbino a principios del siglo XVI. Según Castiglione, esta música deleita porque es «extrañamente suave y artificiosa», y asegura que «el cantar assienta muy bien» en estos instrumentos.⁴⁵⁴

⁴⁵² Por ejemplo, del siglo XV se conservan numerosas representaciones de modelos de vihuelas de arco con tapa armónica y puente planos, e incluso con órdenes de dobles cuerdas, como nuestra reconstrucción del modelo de la Figura 24 del capítulo anterior. Se podría pensar que un instrumento así, debido a su menor ángulo y tensión de las cuerdas y la forma sin bóvedas de la tapa, tendría unas características sonoras que compartiría a la vez tanto con las de las vihuelas de mano como con las de arco.

⁴⁵³ Karl Weinmann, *Johannes Tinctoris (1445-1511) und sein unbekannter Traktat «De inventione et usu musicae»*, Regensburg, F. Pustet, 1917, p. 42.

⁴⁵⁴ Baldasare Castiglione, *El Cortesano*, ed. Amberes, Martinus i Nutius, 1561, L. II, cap. I, f. 75r.

El uso de las vihuelas de arco para tocar polifonía o acompañar el canto lo encontramos también mencionado en los tratados de Sylvestro Ganassi, *Regola Rubertina* (1542) y *Lettione seconda* (1543).⁴⁵⁵

Según Ganassi, las obras que en su época se escuchaban en música pertenecían a la segunda generación de compositores franco-flamencos.⁴⁵⁶ A pesar de ello, Ganassi menciona las obras de Josquin y otros compositores flamencos de cincuenta años atrás alabando los diversos modos de contrapunto en que estaban compuestas, calificándolas de divinas. El compositor de referencia del momento para Ganassi era el maestro de capilla del emperador Carlos V, Nicolas Gombert, calificado de «divino» en su profesión «como se puede juzgar por sus obras».⁴⁵⁷

El modo para afinar o «acordar» las voces de la polifonía practicado por el maestro Gombert y descrito por Ganassi (cap. XI, f. XII) es tomado como modelo por este último para «acordar» el conjunto de vihuelas de arco:

Pero para acordar dichos instrumentos en conjunto o entre si, tendrás el mismo orden que hace el excelente Gombero.⁴⁵⁸

A este efecto, es decir, para afinar cuatro o más vihuelas de arco o «lirones» en conjunto, indica Ganassi que se han de comprobar las proporciones en las dimensiones de los instrumentos, de forma que si no estuvieran bien proporcionados, como en una capilla «mal dispuesta», se afinarán con el contrabajo compensando este desajuste bajando el tono más grave lo más posible que permita «todavía ser escuchado». Para ello, se alargará la longitud de cuerda vibrante desplazando el puente de su posición habitual hasta situarlo más cercano al cordal. Se puede de esta forma, según Ganassi, alargar o acortar la longitud de la cuerda acercando o alejando el puente al cordal, a la vez que se ponen cuerdas más gruesas o más finas para subir o bajar el tono del instrumento.

El simple aumento de tensión en la cuerda para subir o bajar el tono de un instrumento, sobre todo si la distancia es mayor de un tono, en efecto descompensa las proporciones de los sonidos y afecta notablemente al timbre y la dulzura del sonido perjudicando, finalmente, a la armonía del conjunto. De forma que en esta práctica de deslizar el puente a diferentes posiciones y seleccionar grosorres de cuerda adecuados, se debe tener muy en cuenta la manera en que afecta a estos aspectos de timbre y armonía que intervienen en la sonoridad del conjunto.

Si las violas estuvieran proporcionadas, dice Ganassi que se procederá a afinarlas en un tono tan alto como lo permita el subir la altura de las cuerdas delgadas, de manera que estas no sufran con la tensión, no se rompan y duren más tiempo, causando así, además, una armonía

⁴⁵⁵ Sylvestro Ganassi, *Regola Rubertina*, Venecia, 1542; *Lettione seconda pur pratica di sonare il violone d'arco da tasti*, Venecia, 1543.

⁴⁵⁶ Ibídem, cap. XI, f. XII.

⁴⁵⁷ Ibídem.

⁴⁵⁸ Ibídem, cap. XI, f. XIII.

«más dulce».⁴⁵⁹ Esta recomendación coincide con la práctica de la época de subir la cuerda prima de la vihuela hasta el punto de ruptura, como advierten Luis Milán y otros.⁴⁶⁰

Esta información sobre la alteración de longitudes, grosores y tensiones a que eran sometidas las cuerdas por los músicos de la época es muy relevante a la hora de hacerse una idea sobre la sonoridad y armonía producida por estos instrumentos de arco, ya que aportan un factor dinámico a la reconstrucción del objeto estudiado.

5.3.1. Sonoridad de la vihuela de arco

Sobre la sonoridad de las vihuelas de arco con que se practicaba la música en el Renacimiento se sabe muy poco en realidad, aunque es posible establecer unos criterios para poder imaginarse dicha sonoridad siguiendo las precisas instrucciones y descripciones que algunos expertos de la época dejaron de los pormenores de esa práctica. No obstante, algunas de estas reglas o modos de proceder pueden suponer una discrepancia con las prácticas habituales de hoy en día en materia de práctica de la música instrumental.

Sylvestro Ganassi, en su citada *Regola Rubertina*, coincide con la idea estética del Renacimiento en la cual los instrumentos deben imitar la voz humana. En el caso de las vihuelas de arco y el conjunto de vihuelas, especialmente, el modelo era el *ensemble* de polifonía vocal cuyo paradigma máximo en la época era la sonoridad franco-flamenca.

Sobre cómo se puede imitar la voz con un instrumento de arco, Ganassi ofrece algunas instrucciones específicas afirmando que, de acuerdo con el significado del texto y según sea la música alegre o triste, se marcará con el arco alternativamente fuerte y piano, o de forma «mediocre» en este último caso (cap. II, f. VI). Ganassi compara al tañedor de vihuela con un orador que, «con audacia de exclamación, gestos y movimientos», debe esforzarse en imitar siempre el reír, el llorar, y todo «efecto impreso en la música por las palabras» que pueda contener el texto. Para hacer el efecto conforme a la música triste y «afligida», se debe conducir el arco de modo ligado e incluso hacer temblar el brazo del arco y la mano del mango, y de esta forma «hacer el movimiento y dar el espíritu» al instrumento en proporción que sea conforme al tipo de música. Ganassi advierte que, de forma similar al orador, el tañedor no aplicará a la música alegre el arco ligado y movimientos similares conformes a la música triste, sino que, por el contrario, en la música alegre se debe marcar con el arco de modo proporcionado a tal música.⁴⁶¹

Esta manera de tañer con la vihuela de arco es descrita de forma similar por Diego Ortíz (*Tratado de Glosas...*, Roma, 1553), al recomendar que se toque «dulcemente» haciendo sonar

⁴⁵⁹ Ibídem, cap. XII, f. XIII.

⁴⁶⁰ Luis Milán, *Libro de música de vihuela de mano. Intitulado El maestro..., Declaración*, f. iijv, Valencia, Francisco Díaz Romano, 1536: «En quanto a lo primero que es dar su verdadera entonación a la vihuela para que esté bien templada [...] subiréys la prima tan alto quanto lo pueda suffrir; y después templaréys las otras cuerdas al punto de la prima».

⁴⁶¹ Sylvestro Ganassi, *Regola Rubertina*, cap. II, f. VI.

«la voz» unas veces de un modo y otras de otro, aderezando con algunos adornos y sin dar «golpes» con la mano del arco.⁴⁶²

Que la música polifónica vocal flamenca se interpretaba en ocasiones con laúdes o vihuelas es un hecho que podemos comprobar, por ejemplo, en una información aportada por el poeta Guillaume Crétin⁴⁶³ cuando, en su lamento (*déploration*) a la muerte del compositor flamenco Johannes Ockeghem († 1497), relata que el músico Hayne cantó el motete *Ut heremita solus* acompañándose él mismo al laúd.⁴⁶⁴

Una de las prácticas musicales más apreciadas en la época que implicaba voces y vihuelas era la de acompañar una voz con la vihuela de arco, bien para cantar una parte de un madrigal acompañando las otras con la vihuela o bien para recitar acompañado.

Ganassi, en su tratado *Lettione seconda*, pone un ejemplo de madrigal dispuesto en tablatura para dicho efecto, es decir ser cantado y tocado a la «viola», y menciona a dos ilustres personajes de su época diestros en esta materia: Juliano Tiburtino y Lodovico Lasagnino Fiorentino.⁴⁶⁵

Esta práctica es mencionada por Baldasare Castiglione como una de las habilidades que un buen cortesano debía poseer. Según Castiglione, de entre las maneras de música mejores para practicar por un cortesano, la mejor era cantar con una vihuela (*cantare alla viola*), porque así se aprecia «toda la dulzura» consistente en el canto solo, entendiéndose con más atención el «buen modo y el ayre» y dando más «gracia» a las palabras que cuando muchos cantan.⁴⁶⁶ De esta manera de cantar con una vihuela, la variante que juzga mejor es la que llama vulgarmente del «recitar», por dar tanta «gracia» y «fuerza» a las palabras que es «maravilla».⁴⁶⁷

Ganassi asegura que, si bien no es de la naturaleza de la viola común esta práctica de acompañar el recitado, ya que no resultará el madrigal con el efecto verdadero y la precisión que fue «determinada» por el compositor, no deberá ser «juzgada mal».⁴⁶⁸

Aunque la naturaleza de esta práctica sea más bien la del laúd, ya que este puede «romper» o desglosar «la parte figurada contra la parte tenida» que el dicho «violón» no puede hacerlo a causa del arco –si bien es verdad que «practicándolo» en modo de la práctica de la lira de siete cuerdas si puede imitar tal cosa, aunque diferente es la «cosa natural» de la «artificial»–

⁴⁶² Diego Ortiz, *Tratado de glosas sobre cláusulas y otros géneros de puntos en la música de violones nuevamente puestos en luz*, Roma, Valerio e Luigi Dorico, 1553, f. 3v.: «...la gracia y los efectos que ha de hacer la mano esta en el que tañe en tocar dulcemente que salga la voz unas veces de un modo otras de otro mezclando algunos quiebros amortiguados y algunos pasos, la mano del arquillo que no de golpes sino que lo tire sesgo y la mano izquierda haga la armonía máximamente quando hay dos o tres semínimas en una regla que no se nombre sino la primera y las otras pasen sin herir la mano del arquillo».

⁴⁶³ Antoine Ernest Roquet, *Déploration de Guillaume Crétin sur le trépas de Jean Ockeghem...*(ca. 1495), París, A. Claudin, 1864, p. 34.

⁴⁶⁴ *The new Oxford History of Music*, vol. III, ed. Dom Anselm Hughes y Gerald Abraham, Londres, Oxford University Press, 1960, p. 253.

⁴⁶⁵ Sylvestro Ganassi, *Lettione seconda pur prattica di sonare il violone d'arco da tasti*, Venecia, 1543, cap. XVI, f. F.

⁴⁶⁶ Baldasare Castiglione, op. cit., L. II, cap. I, f. 74v.

⁴⁶⁷ Ibídem, L. II, cap. I, f. 75r.

⁴⁶⁸ Sylvestro Ganassi, op. cit., cap. XVI, f. F.

en tal práctica no importará que el instrumento no fuese «excelente en su grado», y servirá como imitante del efecto del laúd.

Tal práctica se realizará de forma que, respetando el no ser su naturaleza, «se hará faltar y a veces hacer de más de aquello que estará en la composición», es decir, se añadirá y quitará todo lo que convenga para adaptar el madrigal a la comodidad de la práctica de la viola, y todavía, que las cuerdas «de más en consonancia te pudiera sustentar la armonía igual que a las palabras y demás». Respecto al arco, no podrá hacer alguna consonancia a dos por estar «ocupado el arco en las cuerdas, y queriendo practicar tal armonía de consonancia a dos y con cantar la tercera parte será necesario ocupar o practicar tres o cuatro cuerdas, de forma que la consonancia viene a ser a tres» (ff. F-FI). Aquí se refiere a que, tocando con el arco las notas necesarias para la consonancia que acompaña la voz del canto, no será necesario y aún más sonará mejor de acuerdo con la letra siempre que estén las notas exactas de la composición, conviniendo mejor a veces quitar o añadir alguna. Así, asegura Ganassi que será aceptado que «bien dejaras alguna cosa y aun hagas más de aquello que será la cosa compuesta porque tal cosa la harás por acomodo del instrumento»; y es que para tocar dos partes y cantar la tercera con un poco de ayuda de «artificio» se puede servir con dicho instrumento en «recitar las cosas a tres» con cantar una parte y «tocar las dos en tal modo» (f. FII).

Ganassi insiste, finalmente, en que sabiendo que «la viola en esto no es su naturaleza», tal «artificio» será concedido así como se hace en la «lira de siete cuerdas», que es en la práctica del «decir y bajo acompañado con el sonido de la lira» (f. FII).

A pesar de esto, y por si se quisiera practicar alguna composición que fuese a cuatro o a cinco y queriendo tocar cuatro partes y cantar la quinta, Ganassi ofrece una posibilidad en la que será necesario «acomodarse» de un arco más largo de lo ordinario que sea de forma que las crines «vengan a estar poco tensas», para adaptarse más fácilmente a las cuerdas que son necesarias para las consonancias; después el arco se podrá «endurecer» (tensar) con los dedos a propósito de cada cual para ocupar menos cuerdas y aún una cuerda solo. Además, será necesario acomodar un batedor sobre el mango de los trastes que no sea muy curvado, al igual que la cejuela y el puente, así que «te sea más cómodo con el arco tuyo para hacer dichas consonancias» (f. FI-FII).

Ganassi insiste una vez más: «yo te digo que en este modo de practicar dicho instrumento que te he terminado, será un modo acomodado a la viola común», que servirá «sin que tu cambies el arco ni falte» nada de lo necesario (f. FI-FII).

CONCLUSIÓN

Uno de los aspectos que definen la sonoridad de un instrumento musical es su funcionalidad. De ella depende el repertorio que se interprete y las técnicas y recursos para la manera de tocarlo. También intervienen en la característica sonora del instrumento ciertas variables, como por ejemplo si se toca a solo, en conjunto homogéneo o heterogéneo, instrumental o vocal, acompañando la voz o las voces del canto, con un carácter íntimo o extrovertido, para un público numeroso o en la intimidad privada, etc. Para contextualizar adecuadamente todos estos

factores con la práctica musical de la vihuela de arco, los testimonios de los autores que le dedicaron algunas líneas explicativas sobre como tañerla, hacerla sonar de un modo u otro y como imitar la voz nos proporcionan una inestimable ayuda.

Según estos testimonios, la vihuela de arco era utilizada de manera que se adecuara a la sonoridad de la voz o el canto, ya sea en conjunto de vihuelas imitando la polifonía vocal o bien como acompañamiento de la voz de forma solista. Esta práctica musical, que se acerca más al modelo vocal que al instrumental, caracteriza con su tratamiento específico y técnico la peculiaridad sonora de dicho instrumento.

6. FASE PRÁCTICA

En los capítulos anteriores hemos aportado una serie de referencias a documentación histórica relativa a la vihuela de arco y su sonido que nos sirve de marco teórico, a modo de contextualización para su estudio. En este capítulo pretendemos abordar el asunto del sonido de la vihuela de arco de forma práctica, mediante experimentos con cuerdas y analizando el instrumento en funcionamiento acústico real.

Para ello ha sido preciso hacer una reconstrucción de un modelo de vihuela de arco que tenga en cuenta todos los factores que puedan afectar al sonido tal y como era concebido en la época en que se usaba el instrumento, entre otros la elaboración del diseño del plano a partir de leyes geométricas, los materiales y su forma de trabajarlos y las cuerdas. El modelo elegido para su construcción, es decir, el que hemos usado en los experimentos llevados a cabo en esta Tesis, es el que aparece en la Fig. 25 del apartado 4.3, que se representa en un fresco de la catedral de Cuenca que data aproximadamente de hacia 1550. Se trata de una vihuela de arco de hombros elevados, aros y fondo de nogal español y taraceas en la tapa armónica. Hemos elegido la opción carente de alma para una mayor coherencia con la tipología específica y su sonoridad.

6.1. CARACTERÍSTICA ACÚSTICA DE LAS CUERDAS CAPTADA MEDIANTE SONOMETRÍA

Con objeto de comparar la respuesta acústica de cuerdas fabricadas con diferentes tipos de tripa y elaboradas utilizando diversos tratamientos, procedí a realizar un experimento consistente en un análisis espectral capturando su funcionamiento en situación real mediante un sonómetro analizador que permite evaluar el comportamiento acústico de las cuerdas bajo distintas formas de excitación (pulsadas y con arco).

El experimento consistió en colocar sucesivamente cada una de las cuerdas en la vihuela de arco seleccionada para dicho estudio (la reconstrucción del modelo representado en el fresco de 1550 de la catedral de Cuenca,⁴⁶⁹ con un tiro o longitud de cuerda vibrante de 670 mm, una altura de puente de 75 mm y a una tensión aproximada en las cuerdas de 7 kg), y hacerla sonar mediante la pulsación con la yema del dedo de 8 a 12 veces, seguidas de una pausa cada vez, y repetir la operación esta vez accionándola mediante la intervención del arco. La pausa entre ejecuciones era suficiente para que se extinguiera la reverberación causada por la energía vibrante residual en la cuerda (amortiguamiento).

⁴⁶⁹ Ver modelo en la Fig. 25.

El sonido producido por cada cuerda era recogido por un micrófono *GRAS 26CA* situado a una distancia de unos 50 cm del orificio u oído armónico derecho de la vihuela, y captado por un sonómetro integrador promediador (tipo I) *SoundbookSamurai*⁴⁷⁰ que proporciona datos de nivel sonoro por frecuencias de tercio de octava (espectro sonoro). Estos espectros sonoros presentan, de manera gráfica o tabulada, los niveles sonoros en decibelios (dB) en cada banda de tercio de octava normalizada correspondientes a los diversos instantes del suceso; como en el momento del ataque o la caída de la nota, o cuando la vibración de la cuerda alcanzaba su punto máximo de energía.

Con carácter previo y posterior a las distintas mediciones, el equipo de medida fue calibrado a 1000 Hz con un calibrador sonoro (clase I) *RION NC-47*. Después, repetimos toda la operación bajo las mismas condiciones con la siguiente cuerda, quitando la anterior y sustituyéndola por la nueva afinándola a la misma frecuencia, y así sucesivamente.

6.1.1. Cuerdas empleadas en las pruebas

Se eligieron un total de 9 cuerdas en función del tipo de tripa, edad y procedencia del animal con cuyos intestinos se había fabricado la cuerda, proceso de fabricación (industrial o artesanal), etc. A cada ejemplo de cuerda le asignamos un número. La *cuerda 1* estaba elaborada con la tripa de un carnero macho trashumante de Guadalaviar (Teruel) de unos 4 años de edad; la *cuerda 2* se fabricó con la tripa de carneros viejos de 4 años y un mes, procedentes del matadero de Logroño; la *cuerda 3* se elaboró con tripa procedente de animales de Escocia que venden en bolsas para la elaboración de embutidos; la *cuerda 4*, con la tripa procedente de Irlanda también para embutidos; la *cuerda 5* se elaboró con los intestinos extraídos de la necropsia que se realizó para esta ocasión en la Facultad de Veterinaria de Zaragoza a unos animales de 9 años de edad procedentes de Zaragoza; la *cuerda 6* estaba elaborada por la industria Sofracob, S. L.; la *cuerda 7* estaba hecha también con la misma tripa de Logroño que la *cuerda 2*; la *cuerda 8* estaba hecha con la misma tripa de Escocia que la *cuerda 3*; y finalmente, la *cuerda 9* estaba elaborada con una nueva remesa de la misma tripa procedente del matadero de Logroño.

Las tripas para la elaboración de las *cuerdas 1* y *5* fueron limpiadas por nosotros mismos, y las cuerdas fueron elaboradas con un procedimiento manual y artesanal de acuerdo con las instrucciones extraídas de la documentación histórica.

Las *cuerdas 3, 4* y *8* venían ya limpias y en salmuera para su uso en la elaboración de embutidos.

Las *cuerdas 2, 7* y *9* fueron limpiadas de la misma forma que las anteriores exclusivamente para el experimento, ya que la tripa de animales viejos no se usa con fines alimentarios.

⁴⁷⁰ El sonómetro cumple los requisitos recogidos en la norma UNE-EN 60651, los recogidos en la norma UNE-EN 60804 y con lo establecido en la Orden Ministerial de 16 de diciembre de 1998 (*BOE*, núm. 311). Los filtros de banda de octava y de fracción de octava cumplen los requisitos recogidos en la norma UNE-EN 61260.

La *cuerda 6* estaba fabricada con un proceso muy industrial por la empresa Sofracob, S. L., con mucho tratamiento, y ofrecía un aspecto muy poco natural comparado con las otras.

Las *cuerdas 1, 2 y 3* tenían un calibre superior a 2,60 milímetros y se usaron para la cuerda 6^a de la vihuela (RE), la de registro más grave, equivalente a una frecuencia de 138.3 Hz.

Las *cuerdas 4, 5, 6, 7 y 8* tenían un calibre menor, de unos 2,30 milímetros, excepto las *cuerdas 6 y 9*, que tenían un calibre de aproximadamente 1,90 milímetros, y fueron usadas para la cuerda 5^a de la vihuela (SOL), equivalente a una frecuencia de 184.4 Hz.

Las *cuerdas 1, 3, 4 y 8* fueron teñidas de ocre mediante inmersión de la tripa en solución acuosa con un pigmento rico en óxido férrico, que según la opinión de algunos autores (M. Peruffo,⁴⁷¹ F. Marín),⁴⁷² podía haber sido utilizado históricamente en la elaboración de los registros graves para optimizar el funcionamiento de las cuerdas más gruesas al aumentar la densidad de la tripa.

Cuando pulsamos la cuerda con el dedo, al ejemplo del experimento le asignamos la letra *A*, y cuando la accionamos con el arco le asignamos la letra *B*, de forma que la *cuerda 1* pulsada con el dedo equivale al ejemplo *1A*; la cuerda 1 accionada mediante la fricción del arco equivale al ejemplo *1B*, y así sucesivamente.

⁴⁷¹ Mimmo Peruffo, «The mystery of gut bass strings in the 16th and 17th centuries: The role of loaded-weighted gut», *Lute Society of America Quarterly*, vol. XXXIX, n.^o 2 (1994), pp. 5-14.

⁴⁷² Fernando Marín, «Un factor en la recreación de la vihuela de arco del gótico: hipótesis de reconstrucción de las cuerdas de tripa», *Nassarre. Revista Aragonesa de Musicología*, XXVII (2011), pp. 47-58.



Figura 26. Cuerdas de tripa del matadero de Logroño (cuerdas 2, 7 y 9).



Figura 27. Cuerdas de tripa industriales Sofracob s/l (cuerda 6).



Figura 28. Cuerdas de tripa de Irlanda y Escocia con pigmento (cuerdas 3 y 8).



Figura 29. Cuerda de tripa de carnero trashumante de Guadalaviar (cuerda 1).



Figura 30. Cuerdas de tripa de animales de 9 años (cuerda 5).

6.1.2. Resultados

Una de las diferencias generales que se pueden observar entre las características acústicas de las diferentes cuerdas usadas en el experimento es que, cuando se tocan las cuerdas de la vihuela con el arco, producen un sonido que tiene más energía en las frecuencias altas. Se muestra más irregular en las frecuencias bajas en comparación con el sonido producido por las mismas cuerdas al ser pulsadas, como se puede observar en las Figs. 31 y 32, y en los datos representados en las gráficas de las sonometrías del Apéndice 10.

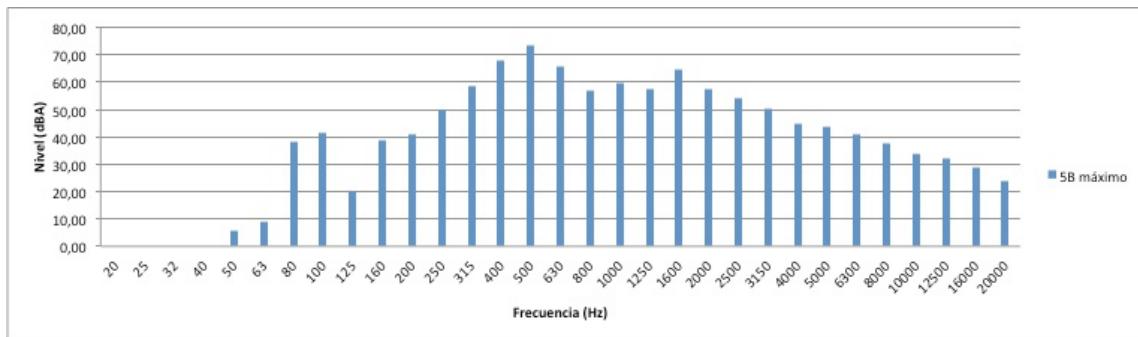


Figura 31. Gráfica de la característica acústica de la cuerda 5B (con arco) en el dominio de la frecuencia en el instante de indicador máximo.

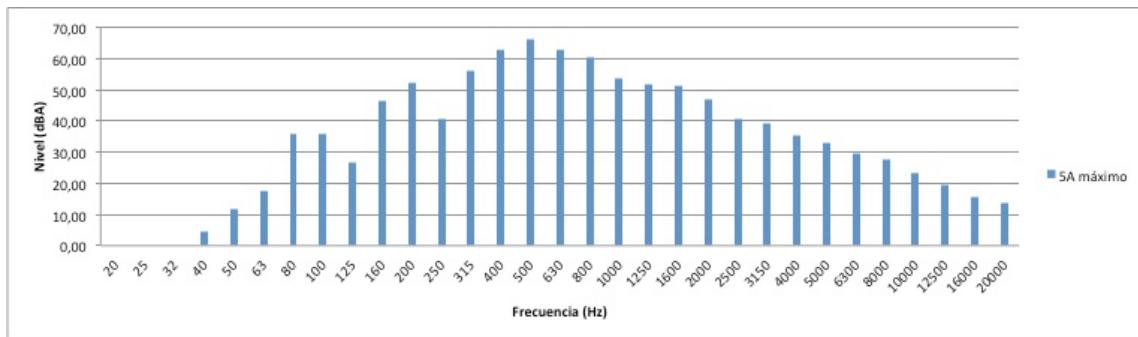


Figura 32. Gráfica de la característica acústica de la cuerda 5A (pulsada) en el dominio de la frecuencia en el instante de indicador máximo.

Un aspecto a destacar de los resultados de las pruebas de sonometría es que, en algunos casos, ciertas cuerdas (como se aprecia en los ejemplos de las cuerdas 7, 8, 9 y también 4A), tanto al ser pulsadas como tocadas mediante la acción del arco, producen un sonido de mayor rango frecuencial en comparación con las otras de forma que, por ejemplo, a 20 o 32 Hz en la zona de frecuencias graves (véase Fig. 33) o a 20.000 Hz en la zona de las agudas muestran todavía energía, mientras que en otras cuerdas (como por ejemplo en el caso de la 6, Fig. 37) a estas frecuencias la energía desaparece. Esto implica una mayor riqueza en el espectro armónico del sonido producido por aquellas.

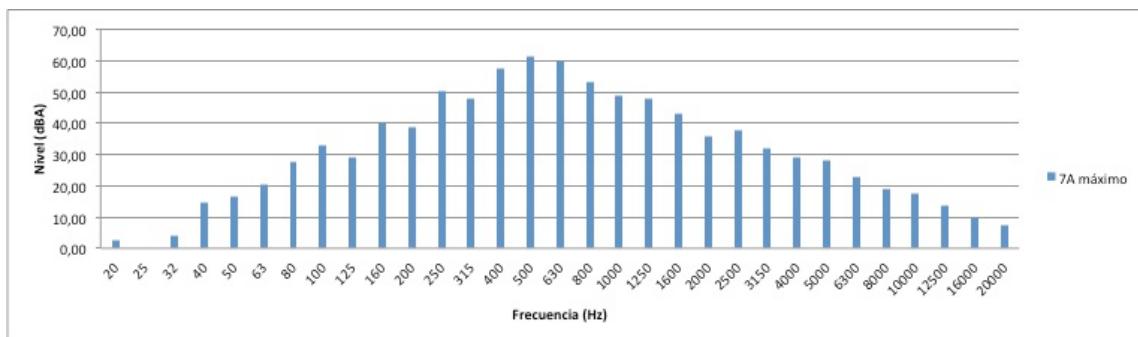


Figura 33. Gráfica de la característica acústica de la cuerda 7A (pulsada) en el dominio de la frecuencia en el instante de indicador máximo.

Por otro lado, cuando las cuerdas se pulsan hay más información frecuencial en el espectro, mientras que se pierde información cuando se la toca con el arco. Quizá debido al efecto de interferencia de la fricción del arco sobre la cuerda, lo que restringe su vibración.

En el caso de las cuerdas 2 y 3, el sonido decrece muy rápidamente después de ser pulsadas, mientras que en las cuerdas 7 y 8, no decrece tan rápido. Esto puede ser debido al calibre tan grueso que poseen, ya que este factor reduce las propiedades vibratorias de la cuerda puesto que el material con el que estaban fabricadas era el mismo.

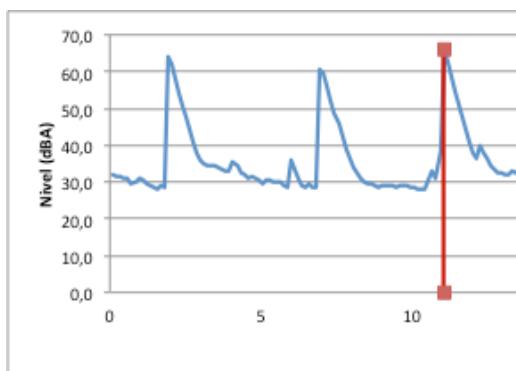


Figura 34. Característica acústica de la cuerda 2A en el dominio del tiempo.

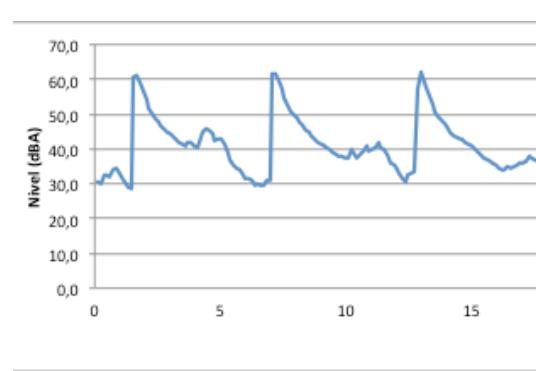


Figura 35. Característica acústica de la cuerda 8A en el dominio del tiempo.

Las gráficas de la característica acústica de las cuerdas 7 y 6 son muy similares. Si tenemos en cuenta que la cuerda 6 tiene un calibre de 1,9 milímetros, mientras que la cuerda 7 tiene un calibre de 2,3 milímetros, esta última tiene un importante incremento de tensión para la misma afinación con respecto a la anterior. De ello se deduce que el material y el tratamiento con que

está elaborada la cuerda 6 intervienen en sus propiedades vibratorias y elásticas de tal manera que la hacen funcionar de forma acústicamente similar con unas condiciones mucho más favorables que las de la cuerda 7. Dicho de otro modo, la cuerda 7 es de una naturaleza tal, que bajo unas condiciones mucho más adversas –un calibre mucho mayor que la hace menos elástica–, funciona de manera acústicamente muy similar a la cuerda 6, cosa que no ocurriría si la cuerda 6 tuviera el mismo calibre que la cuerda 7, ya que su tensión aumentaría considerablemente reduciendo sus propiedades vibratorias.

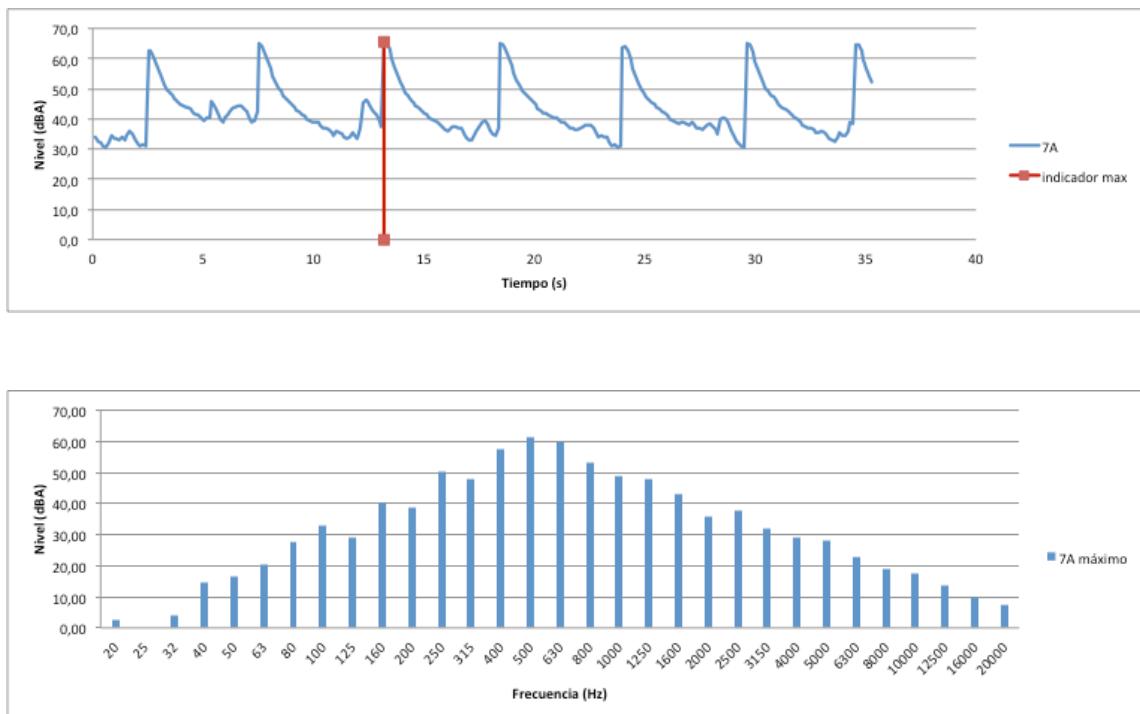


Figura 36. Característica acústica de la cuerda 7A (pulsada).

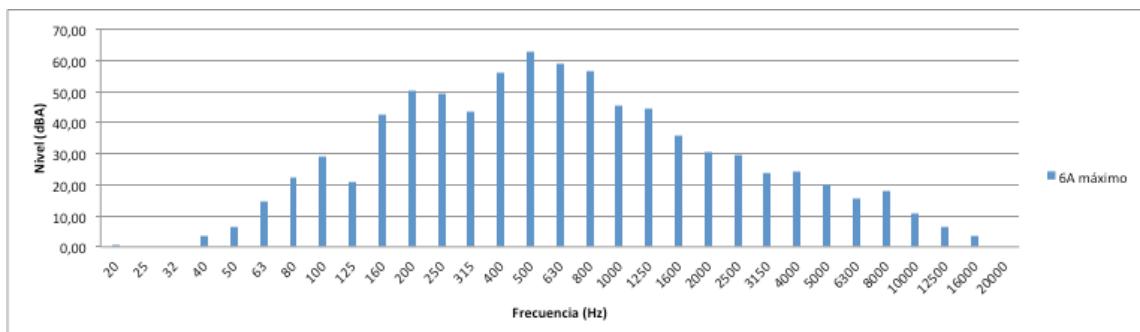
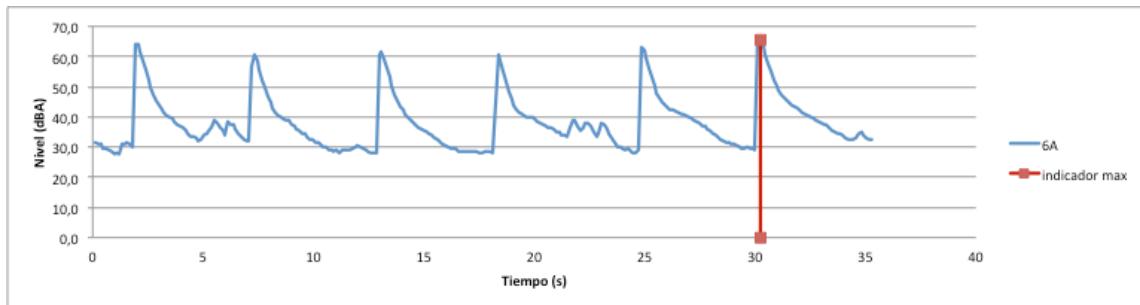


Figura 37. Característica acústica de la cuerda 6A (pulsada)

Si comparamos la gráfica de la cuerda 6 con la de la cuerda 9, es decir, su equivalente en calibre pero fabricada con la tripa de animales viejos procedente del matadero de Logroño, observamos que en la gráfica del dominio del tiempo la curva de esta última es más regular y suave, es decir, la naturaleza del material le otorgaría a la cuerda 9 mayor estabilidad y calidad en sus propiedades vibratorias.

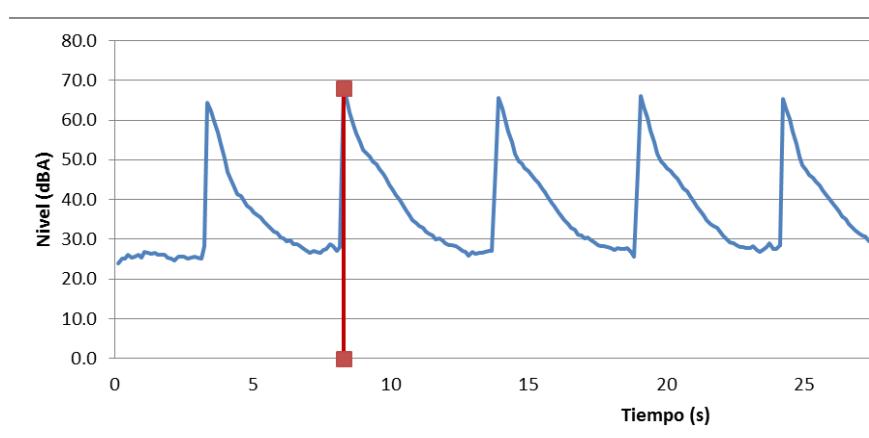


Figura 38. Característica acústica de la cuerda 9A (pulsada) en el dominio del tiempo.

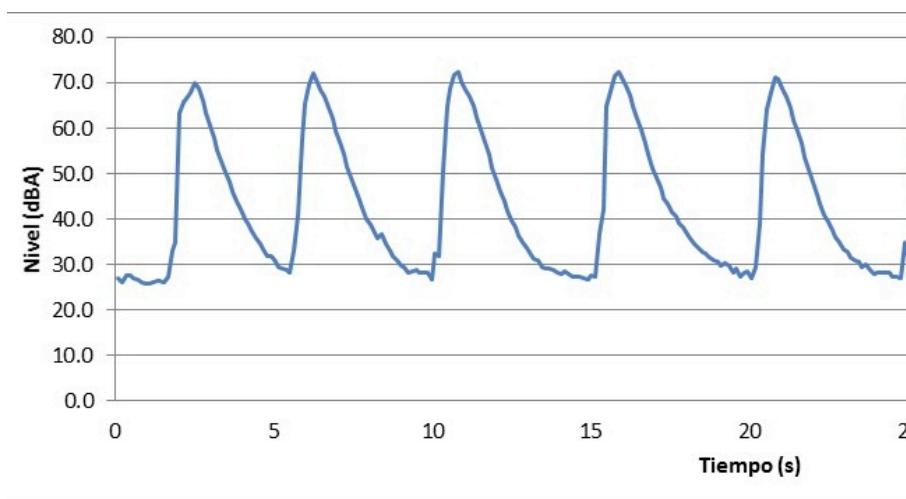


Figura 39. Característica acústica de la cuerda 9B (con arco) en el dominio del tiempo.

Además, la cuerda 9 comparada con la 6 alcanza mayor intensidad a su excitación, destacando las frecuencias duplas de 100, 200 y 400 Hz. Su característica acústica, comparada con la de la cuerda 6 de distinto material, sería de mayor estabilidad, armonicidad y mayor riqueza y volumen sonoros.

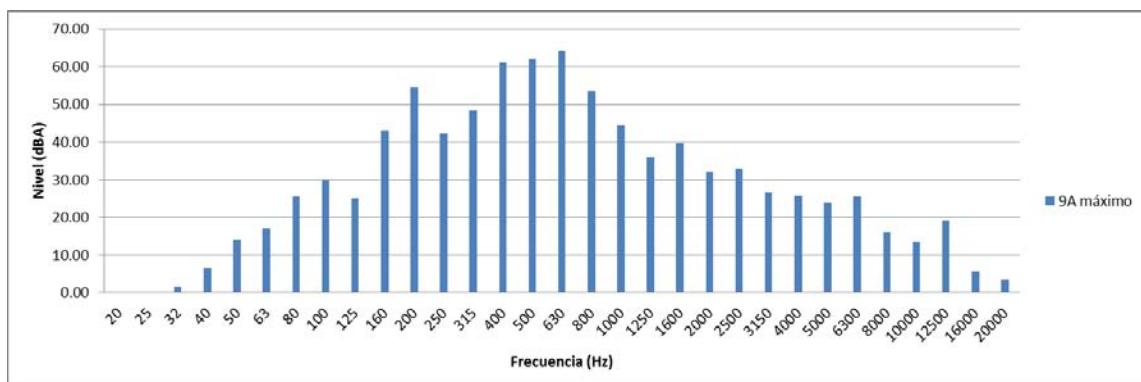


Figura 40. Característica acústica de la cuerda 9A (pulsada) en el dominio de la frecuencia.

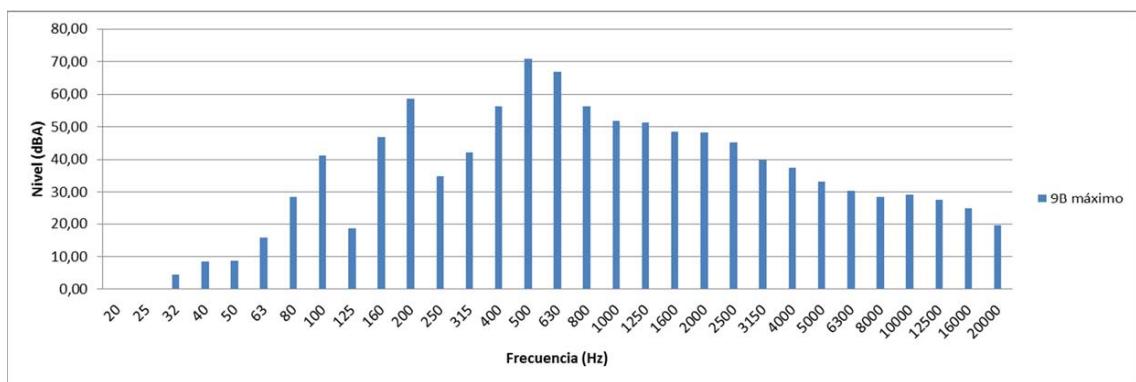


Figura 41. Característica acústica de la cuerda 9B (con arco) en el dominio de la frecuencia.

Las cuerdas 2 y 8 muestran una característica acústica muy irregular en las frecuencias que son excitadas al ser tocadas con el arco.

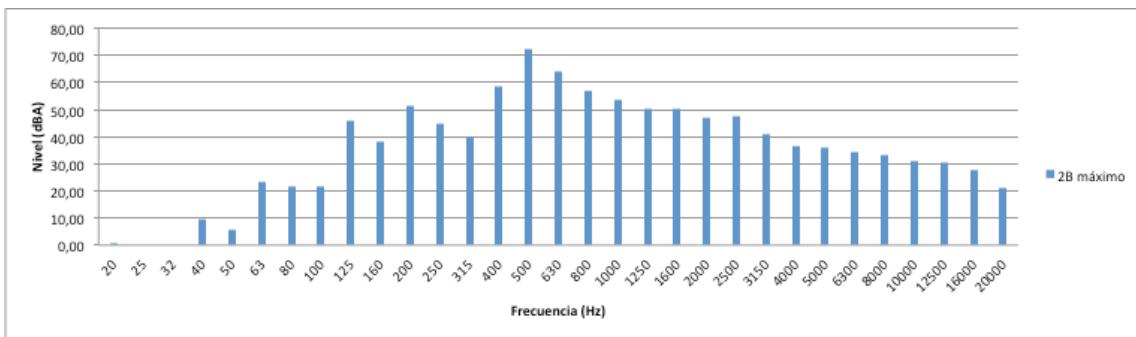


Figura 42. Característica acústica de la cuerda 2B (con arco) en el dominio de la frecuencia.

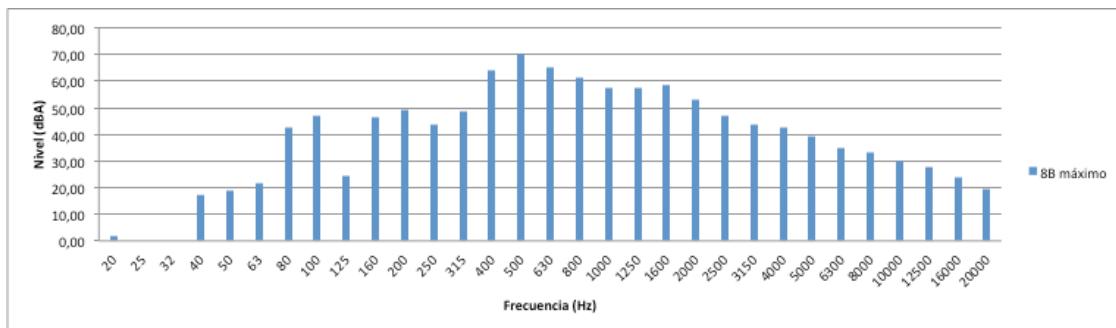


Figura 43. Característica acústica de la cuerda 8B (con arco) en el dominio de la frecuencia.

Posteriormente, y para probar el funcionamiento de las cuerdas en situación real, procedimos a tocar y grabar un fragmento musical del repertorio de vihuela de arco, con las cuerdas 2 y 9 colocadas en la vihuela (escúchese el CD grabado que figura en los anexos de esta Tesis).

CONCLUSIÓN

Los resultados de las pruebas de sonometría demuestran que diferentes tipos de cuerdas producen diferentes espectros de frecuencias como característica del sonido que emiten dichas cuerdas. Estas variaciones en la características de la composición frecuencial influyen determinantemente en el timbre y propiedades del sonido, de forma que factores como el tipo de tripa del animal con que se fabrican las cuerdas, el proceso de elaboración y tratamiento, el calibre, etc., influyen en la característica acústica de las cuerdas.

La elaboración de cuerdas con intestinos de carneros adultos, naturalmente procesados y artesanalmente elaboradas según las instrucciones descritas en los documentos históricos, sin la intervención de ningún elemento moderno o industrial, producen un sonido cuyas características son efectivamente muy propicias para el uso musical específico de la vihuela de arco.

6.2. REFLEXIÓN DEL SONIDO A PARTIR DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL PLANO DEL CÓNCAVO DE LA VIHUELA

Antes de construir un instrumento de cuerda, lo primero que se suele hacer es un dibujo del diseño de la planta del instrumento. Este diseño, como vimos en el apartado 4.3, se realiza en un plano sobre papel generalmente basándose en figuras geométricas básicas posibles de trazar con un compás y una regla. Hoy en día, los diseñadores, ingenieros y arquitectos utilizan programas de ordenador como el *Autocad* para elaborar sus diseños. La ventaja que tiene el uso de estos programas es que las trazas que generan se describen con modelos lineales o de volúmenes compuestos de infinidad de puntos que reciben unas precisas coordenadas determinadas respecto de un eje axial y que, al ser computadas digitalmente, se pueden manipular en ficheros con programas de simulación.

Con estas premisas, procedimos a hacer un estudio acústico del recinto determinado por las trazas geométricas diseñadas para la vihuela de arco mediante el programa de *Autocad*. Para ello, el fichero digital generado por el programa de diseño se sometió a una simulación mediante la elaboración de un modelo acústico basado en el comportamiento de las reflexiones del sonido (*ray tracing*) producidas en el espacio comprendido por el mencionado recinto. Mediante este estudio se pueden calcular factores como las prestaciones acústicas, la distribución del campo sonoro o los tiempos de reverberación escalados para determinadas frecuencias normalizadas, en el recinto del cóncavo.

6.2.1 Simulación de la reflexión en el cóncavo a partir del plano de la vihuela

Inspirándonos en las teorías de la reflexión especular de las ondas sonoras (*ray tracing*) sobre superficies de sección cónicas expuestas en el apartado 4.1.6 de nuestra Tesis, tomamos el diseño geométrico realizado con el programa *Autocad* para la elaboración del plano del modelo de la vihuela y utilizamos los datos para realizar una simulación del comportamiento acústico del recinto en 2 dimensiones comprendido por los límites de su área. Con el programa *Radii2D* (*Room Acoustic Design with the Image Theory in 2D*) usado para el estudio y diseño acústico de recintos, calculamos la distribución del número de reflexiones y la distribución del campo sonoro para un sonido de 50 dB que, puesto que la absorción de los materiales en este caso es un parámetro cuya contribución, por coherencia en el planteamiento de la hipótesis de recinto con comportamiento especular clásica, consideramos despreciable en el resultado.

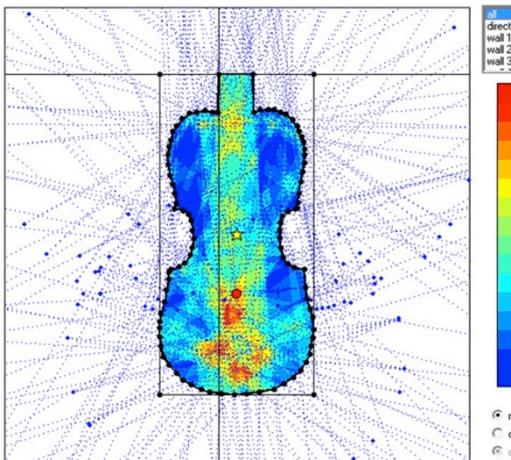


Figura 44. Distribución del número de reflexiones

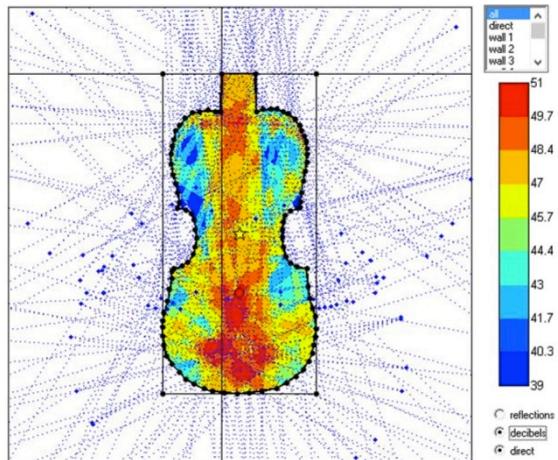


Figura 45. Distribución del campo sonoro

CONCLUSIÓN

Como vimos en el apartado 4.3, el diseño del cóncavo de los instrumentos musicales se elaboraba mediante trazas geométricas sobre un plano previo a su construcción con piezas de maderas. Posteriormente, en el apartado 4.1.6 vimos las propiedades de reflexión de varios tipos de superficies con formas de sección cónica, que son las que pueden adoptar las paredes o bóvedas de un recinto como puede ser, por ejemplo, el cóncavo de una vihuela. La simulación realizada por el programa de diseño acústico que hemos visto en el presente apartado está elaborada a partir del diseño del plano realizado para construir la vihuela de arco usada como modelo en el estudio de esta Tesis. Como se puede observar en las Figuras 44 y 45, la distribución del numero de reflexiones y del campo sonoro se concentran en un área situada aproximadamente hacia el centro del lóbulo inferior de la vihuela, que sería el lugar donde la densidad del sonido reflejado es más elevada debido a la focalización geométrica. De cualquier forma este análisis, aunque está correctamente inspirado en las ideas de los teóricos antiguos, considera las reflexiones sonoras únicamente en dos dimensiones, por ello, y puesto que el cóncavo de la vihuela es un recinto con volumen (3D), consideraremos esta simulación como una primera aproximación que nos aporta tendencias, y estudiaremos el caso de la reflexión en tres dimensiones en el siguiente apartado.

6.3. REFLEXIÓN DEL SONIDO EN EL CÓNCAVO DE LA VIHUELA MEDIANTE SIMULACIÓN 3D

El comportamiento de las partículas de aire moviéndose en el interior de la concavidad de la vihuela, como se deriva de los apartados precedentes (4.1.1 y 4.1.2), determina las características del sonido que produce el instrumento. Asimismo, el diseño geométrico y las proporciones del cóncavo en cuyo interior se producen las reflexiones de las ondas sonoras, influyen en dicho resultado acústico (véanse apartados: 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5, 4.2 y 4.3). Por este motivo, y para contrastar la información aportada por los teóricos sobre estos aspectos (ver apartado 4.1.6), decidimos hacer una simulación de la reflexión de las ondas del sonido en el interior del cóncavo de la vihuela. Para ello, realizamos previamente un escaneo digital en tres dimensiones del volumen de la caja de resonancia del instrumento y posteriormente, se procesó la información para guardarla en un archivo que pudiera ser leído por un programa de software que ejecutara la simulación.

6.3.1 escaneo digitalizado del cóncavo de la vihuela

Para la digitalización del volumen del cóncavo de la vihuela empleamos un cabezal de proyección de franjas de luz blanca modelo *SIDIO* de la empresa *Nub3D*. Se digitalizó con una resolución de 0,1mm de distancia entre puntos. Respecto a la tecnología de digitalización, utilizamos una técnica conocida en inglés como *fringe projection*. Esta técnica consiste en proyectar una patrón de franjas alternativas blancas y negras con un proyector de luz y capturar el reflejo que producen con una cámara. El sistema debe estar calibrado previamente, de modo que sea capaz de obtener las coordenadas X Y Z de los puntos capturados del área iluminada.



Figura 46. Escaneado de vihuela.

Hay muchas alternativas para realizar la proyección del patrón en el escaneo. El sistema que hemos usado utiliza una forma de identificar píxeles correspondientes basada en una codificación del patrón proyectado que hace que la combinación de secuencia de blanco y negro sea única para cada pixel. Una vez hecho esto, desplaza el patrón lateralmente con objeto de poder aplicar otra técnica llamada *phase shifting* para aumentar la precisión de los puntos capturados.

De forma general, el sistema tiene la característica de que permite mover el objeto a digitalizar en cualquier momento, para lo cual se hace uso de marcadores (pegatinas con un círculo blanco) que el sistema usa para alinear capturas sucesivas siempre que se vean al menos los tres mismos marcadores en dos capturas sucesivas. Así se van “cosiendo”, por así decir, las áreas capturadas con el mismo sistema de referencia. Como en el caso de la vihuela se trataba de un objeto en el que no era aconsejable poner pegatinas ni ser manipulado, se usó para el registro un segundo proyector que reflejaba un patrón de luz sobre el objeto que cumplía la misma función que las pegatinas. Este proyector (que en la foto de la Fig. 47 se ve que es el que está encima de la mesa de la máquina de medir por coordenadas), no puede moverse respecto al objeto durante la digitalización. Al ser necesario escanear la vihuela por los dos lados, primero se escaneó un lado y después el otro, guardando la información como archivos diferentes y uniéndolos después por mínimos cuadrados las dos partes. Para la optimización de las nubes de puntos capturadas por separado y su alineación, se utilizó el software *Polyworks*. Después, también con este software, se obtuvo la malla a partir de la nube de puntos y se guardó la información procesada con formato *STL*, que es el archivo que sirve para realizar la posterior simulación.

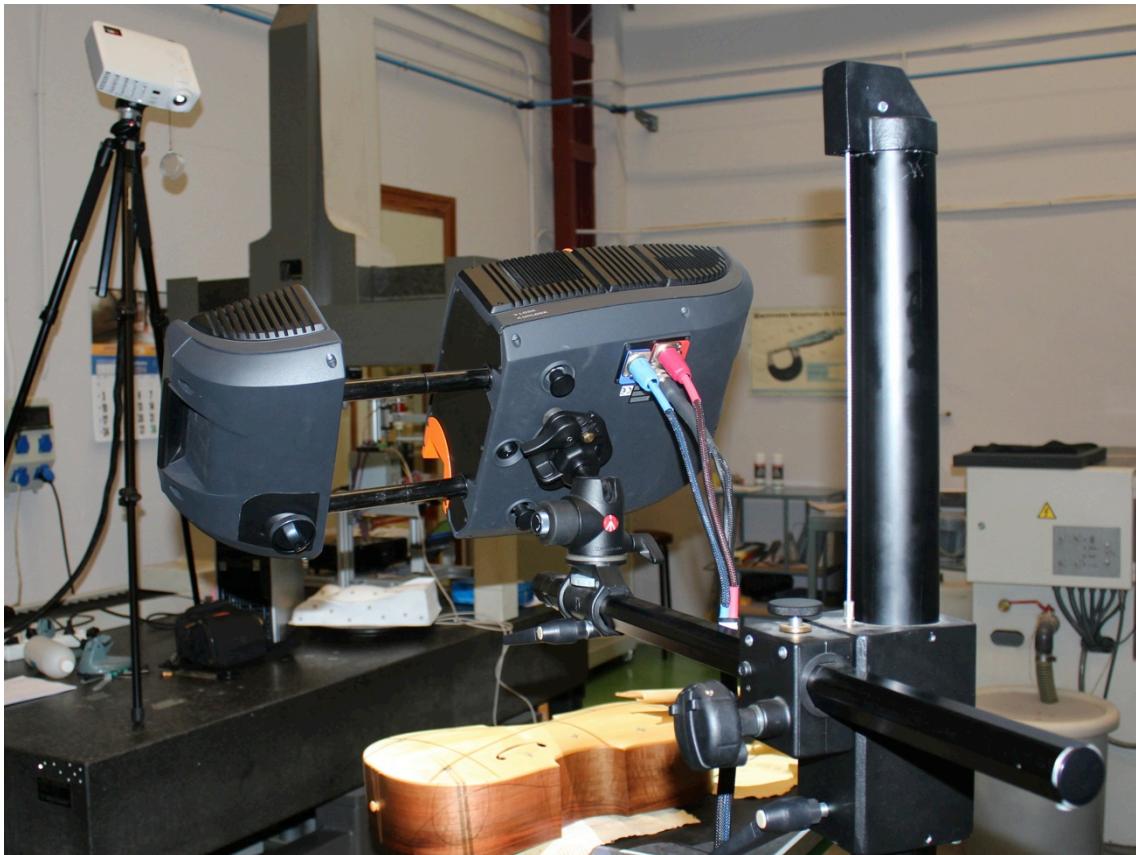


Figura 47. Escaneado de vihuela. Impresora láser 3D

Para optimizar el procesamiento de los datos y adecuarlo al *software* utilizado para la simulación por el equipo de *vibroacustica*⁴⁷³, se adaptaron versiones de diferente tamaño del archivo de digitalización en los que malla tuviera menos puntos. También se realizó una versión del modelo en formato CAD obtenido por ingeniería inversa, tratado y depurado a partir de la malla de la digitalización, es decir, se construyó una imagen 3D del modelo del volumen del cóncavo del instrumento a partir de la discretización de la geometría obtenida en la digitalización en el escaneado. Este proceso de modelización se describe con más detalle en el apartado 6.3.2.1.

⁴⁷³ Solidworks y Odeon 13 Combined Simulation.

6.3.2 Simulación computerizada de la respuesta acústica del cóncavo de la vihuela

Para medir la respuesta acústica, tanto en el interior del concavo de la vihuela como en la estructura de los materiales que la forman, puede procederse de dos maneras: hacer mediciones en el instrumento en situación de excitación real, o bien mediante simulación de un modelo digitalizado. En el primer caso, habría que colocar un gran número de sensores por toda la superficie e interior del instrumento, lo que supondría serios problemas de tipo práctico (tanto operacionales como económicos), dado el elevado coste del instrumental. La segunda opción, que es la que hemos utilizado, consiste en la fabricación de un modelo digital en 3D que es copia altamente fiel del modelo físico (reconstrucción de vihuela), teniendo en cuenta todos los factores posibles como son las propiedades vibratorias y de absorción de los materiales (maderas de pino abeto y nogal europeo), grosor, etc. La elaboración de este modelo, como se explica en el punto 6.3.1 de la Tesis, comienza con el escaneado del instrumento mediante impresora láser por barrido de capas. Posteriormente, con el archivo de malla digitalizada de puntos obtenido se construye un modelo 3D mediante ingeniería inversa que es copia del modelo físico original.

6.3.2.1 Elaboración del modelo del cóncavo en 3D

Una vez obtenido el fichero digitalizado de extensión *.stl* con la malla de puntos correspondiente al escaneado 3D de la vihuela, con el programa *FreeCad* se exportan las mallas como módulos de *python* al fichero «*SalidaCarasPy.py*», obteniendo un fichero de extensión *.dxf* con las caras como elementos *3Dface*. A continuación, con el programa *Autocad* se completa el modelo con elementos *3Dface* suprimiendo elementos de la zona del mástil y se cierra adecuadamente. Después se incluyen elementos en los oídos armónicos de la caja cerrando por completo la superficie del modelo. Se incluyen 2 elementos rectangulares en la zona de apoyo del puente y se cambia el eje de coordenadas.



Figura 48. Modelo CAD 3D de la vihuela utilizado para el análisis modal de su estructura

De esta forma, se procede a elaborar un modelo en 3D del volumen del cóncavo del instrumento tratado y depurado para poder ser utilizado en SolidWORKS y posteriormente procesado en el módulo *SolidWorks Simulation* de análisis por elementos finitos (FEM). Los parámetros de la discretización de la geometría y la malla final empleada para el análisis modal son los mostrados en la tabla correspondiente a la Fig. 49.

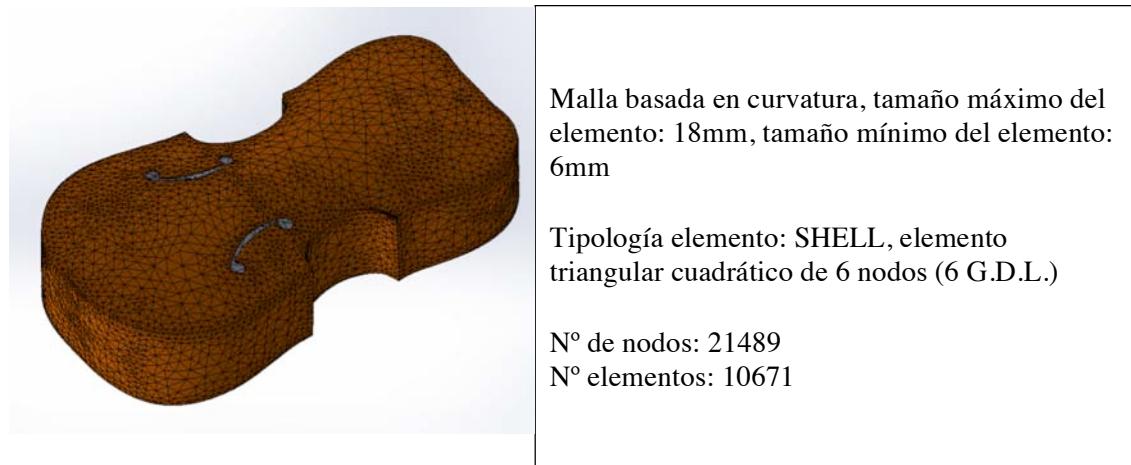


Figura 49. Malla y parámetros de discretización del modelo

La manera de realizar esta, por así decir, reconstrucción de las superficies de las paredes, suelo y bóvedas del recinto es mediante la composición a base de pequeñísimas áreas triangulares que se forman al ir uniendo los puntos finitos de la malla agrupándolos de tres en tres. De esta forma se construyen áreas correspondientes a las bóvedas del instrumento formadas de pequeñísimas fracciones de dicha área en forma de triángulo. El número de elementos que componen la totalidad del sistema de discretización usado en este caso para el análisis acústico con *Odeon 13 combined* es de 25.432 triángulos, mas 2 elementos para la superficie de las patas del puente.



Figura 50. Vihuela de arco

Figura 51. Modelo 3D. Volumen interior

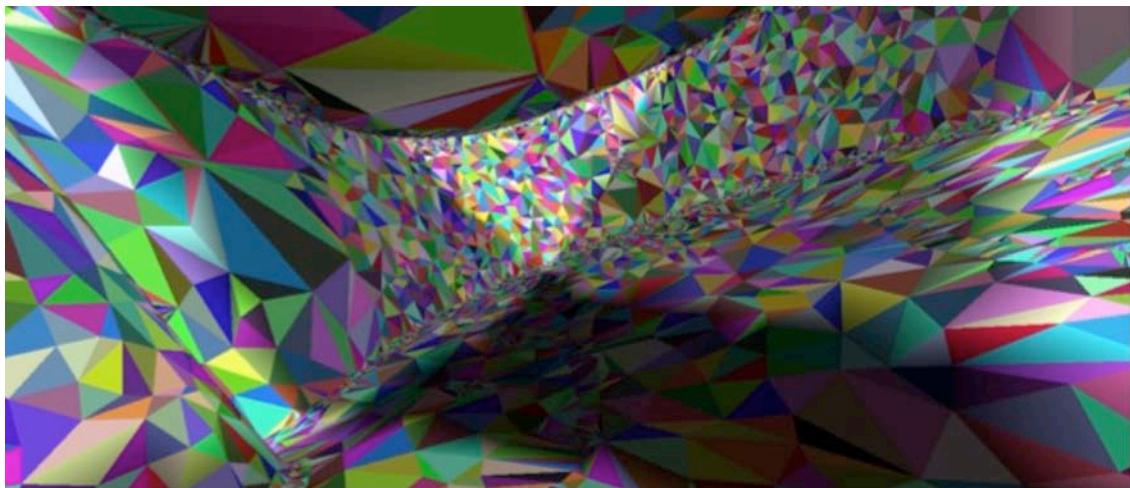


Figura 52. Formación de áreas por triángulos

6.3.2.2 Análisis modal. Modos de vibración de la estructura del cóncavo

Una vez obtenido el modelo 3D del cóncavo de la vihuela, y al poder observar la estructura que forman la unión del fondo, los aros y la tapa armónica del instrumento, uno de los experimentos interesantes que podemos realizar es el análisis de los modos de vibración. El análisis modal es un proceso que permite estudiar y describir las propiedades dinámicas y vibroacústicas de un instrumento musical. Estudia cómo la estructura que conforma el instrumento, vibrando a unas determinadas frecuencias, reacciona y se deforma bajo condiciones de resonancia.

En situación de excitación real, en este complejo fenómeno intervienen simultáneamente los modos de vibración de la cuerda puesta en vibración, los de los elementos integrantes de la estructura del instrumento vibrando a sus frecuencias naturales, los de la masa de aire del interior de la caja también vibrando a su frecuencia natural, sus intensidades de vibración y las magnitudes de su amortiguamiento estructural, todo ello comportándose como un todo integrado.

La estructura del instrumento, comportándose como un conjunto que integra todos sus modos de vibración, potencia cualquier nota que se encuentre cercana a las frecuencias naturales de la estructura de las maderas y del aire interior. De esta forma, la vibración generada por las cuerdas se verá amplificada para aquellas notas musicales específicas cercanas a las frecuencias naturales del instrumento que, dicho de manera sencilla, son las correspondientes a los sonidos que emite el instrumento sin la intervención las cuerdas cuando, por ejemplo, lo hacemos vibrar excitándolo mediante un golpe.

De los cientos de modos de vibración que se producen en la estructura de un instrumento musical de cuerda –como ocurre en los violines, violas, violoncellos y, en este caso, también en la vihuela de arco–, aquellos que contribuyen emitiendo la parte más significativa de la energía sonora al exterior del instrumento son sorprendentemente muy pocos. En este sentido, es interesante resaltar que determinados modos de baja frecuencia, si bien son percibidos como vibraciones por el intérprete, no emiten demasiada energía sonora, por lo que pueden ser

obviados para centrarnos exclusivamente en aquellos modos que implican una importante emisión sonora. En el caso de los instrumentos de arco por el efecto tanto de la resonancia de la caja como del aire contenido en ella, amplifican hasta las vibraciones prácticamente inaudibles.

Conocemos numerosos estudios sobre los modos de vibración de las tapas armónicas y fondos de violines, violas o guitarras, basados en las teorías y experimentos de Ernst Chladni y otros,⁴⁷⁴ pero la mayoría no tiene en cuenta las tablas como unidas a un sistema complejo de estructura del instrumento. Estudios similares al nuestro de simulación 3D y computación de los modos de vibración del aire del interior de un violín fueron realizados por George Bissinger (1996)⁴⁷⁵ y Colin E. Gough (2010), este último publicado en 2015.⁴⁷⁶ En nuestro caso, realizamos las mediciones tomando el cóncavo del instrumento como una estructura compuesta de aros y fondo de nogal, tapa armónica de pino abeto y rellena de aire en su interior. La prueba corresponde, por tanto, al modelo 3D del cóncavo de una vihuela de arco reconstruida según un modelo de 1550 digitalizado por el proceso descrito en el punto 6.3.1. El programa de software utilizado para la simulación fue *Solidworks simulation*. De cualquier forma, una medición científicamente rigurosa de los modos de vibración debería tener en cuenta la intervención de muchos otros factores, entre ellos la oscilación de la tapa directamente hacia el lado exterior, la presión de las cuerdas sobre el puente o la masa del mango, donde, al comenzar a vibrar e intervenir en el proceso modificándolo constantemente, pasarían a ser nuevas fuentes de excitación del sistema convirtiendo la medición en un asunto enormemente complejo.

Para el proceso de análisis se han utilizado las propiedades de los materiales mostradas en las Tablas 01 y 02, que siguen a continuación.

Pieza	Nº	Material		Espesor (mm)
Tapa Armónica	1	Pino abeto alemán	Picea Abies	3
Aros	2	Nogal Español	Juglans regia	1,8
Fondo	3	Nogal Español	Juglans regia	2,7

Tabla 01: Características de los materiales del modelo

Pieza	Nº	Mod. Elast	Res. Comp	Res Flex Estat
Tapa Armónica	1	110.000 kg/cm ²	450 Kg/cm ²	710 kg/cm ²
Aros	2	113.000 kg/cm ²	590 Kg/cm ²	970 kg/cm ²
Fondo	3	113.000 kg/cm ²	590 Kg/cm ²	970 kg/cm ²

Tabla 02: Características mecánicas de los materiales del modelo

Los resultados del análisis modal realizado para el modelo de la vihuela son los que aparecen en las Figs. 53 a 62, donde se muestran los diez primeros modos, como sólido elástico, de la

⁴⁷⁴ Véase el apartado sobre el “estado de la cuestión”, así como las citas 25-27 y 296.

⁴⁷⁵ George Bissinger, «Acoustic normal modes below 4 kHz for a rigid, closed violin-shaped cavity»...

⁴⁷⁶ Colin E. Gough, «Computed cavity-air modes of a conventional and Le Gruere violin and coupling to corpus modes»..., <<http://dx.doi.org/10.1121/2.0000043>>.

vihuela. Al ser analizado en condiciones libre-libre (sin apoyos) se obtienen 6 modos como sólido rígido, que no son de interés en el estudio aquí abordado.

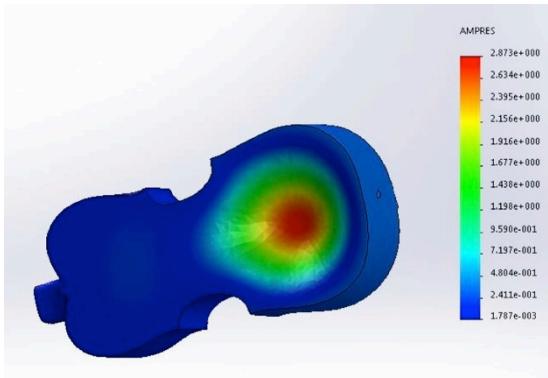


Figura 53. Modo 1 Flexión tapa posterior, primer modo local en zona inferior, frecuencia: 106.7 Hz

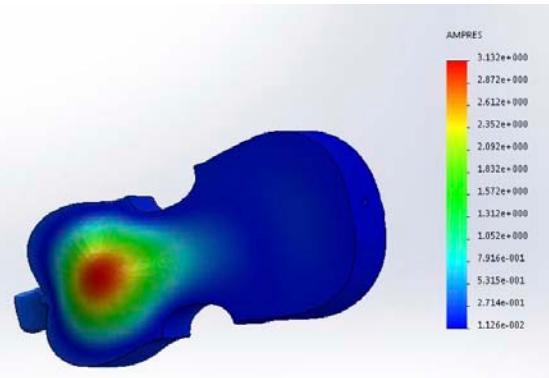


Figura 54. Modo 2 Flexión tapa posterior, primer modo local en zona superior, frecuencia: 147.93 Hz

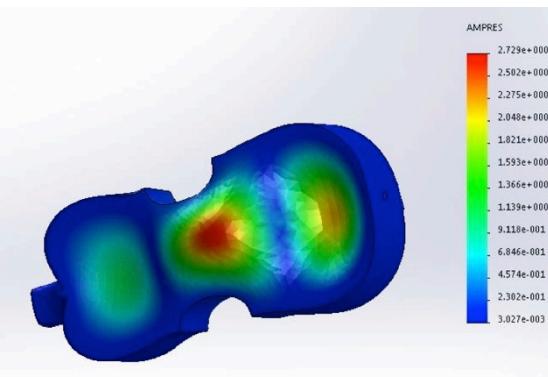


Figura 55. Modo 3 Flexión tapa posterior, modo global, frecuencia: 183.56 Hz

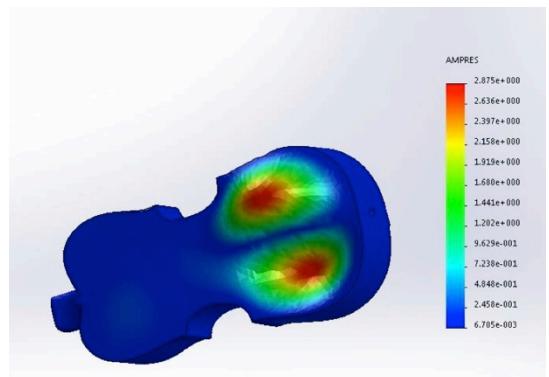


Figura 56. Modo 4 Flexión tapa posterior, segundo modo local en zona inferior, frecuencia: 219.79 Hz

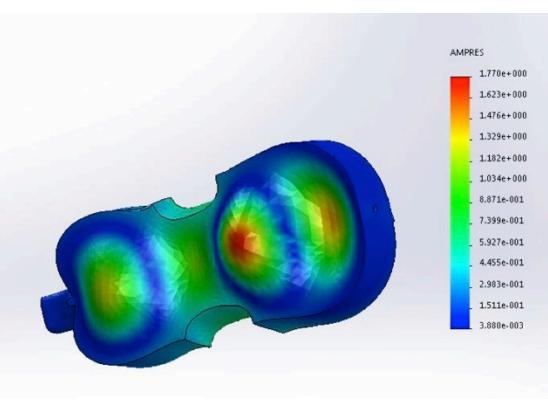


Figura 57. Modo 5 Flexión tapa posterior, segundo modo global, frecuencia: 229.93 Hz

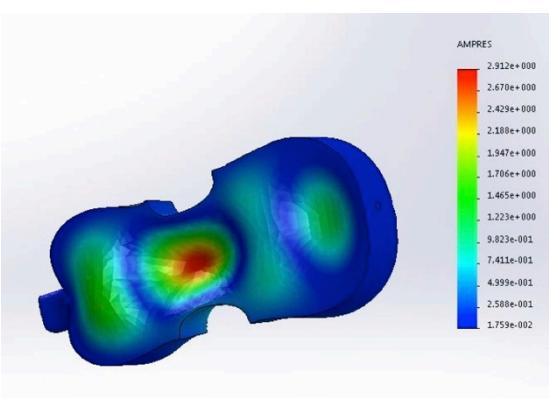


Figura 58. Modo 6 Flexión tapa posterior, tercer modo global, frecuencia: 255.01 Hz

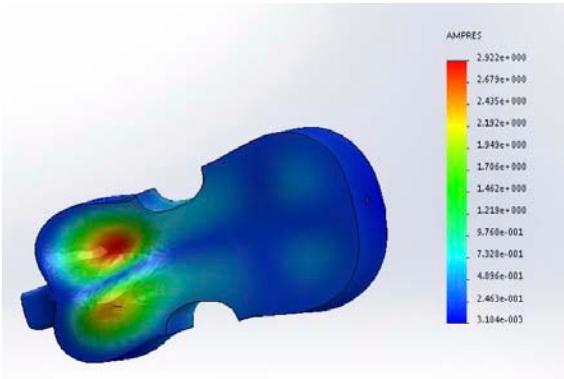


Figura 59. Modo 7 Flexión tapa posterior, segundo modo local en zona superior, frecuencia: 277.98 Hz

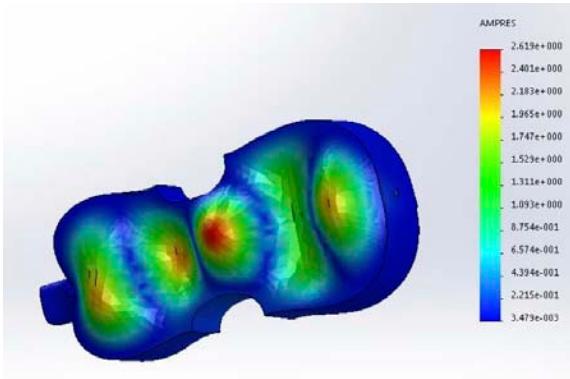


Figura 60. Modo 8 Flexión tapa posterior, cuarto modo global, frecuencia: 310.39 Hz

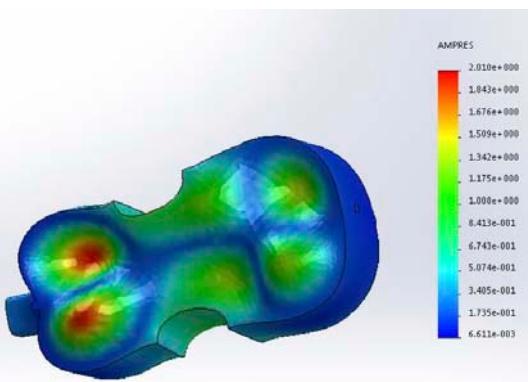


Figura 61. Modo 9 Flexión tapa posterior, quinto modo global, frecuencia: 318.23 Hz

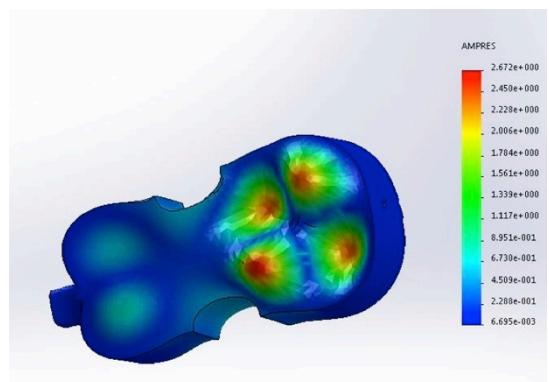


Figura 62. Modo 10 Flexión tapa posterior, tercer modo local en zona inferior, frecuencia: 350.36 Hz

Con el análisis modal numérico realizado obtuvimos las frecuencias naturales de vibración del cóncavo de la vihuela, lo que nos permitirá poder correlacionar la respuesta vibratoria de la misma con los espectros sonoros que corresponden a la excitación de las cuerdas mediante la medición que se verá en el apartado 6.3.2.5 de la auralización. Así mismo, la determinación de los rangos frecuenciales de los modos de vibración de la vihuela nos permitirá ajustar posteriormente los parámetros de análisis de dicha medición de la respuesta vibratoria de la vihuela mediante el vibrómetro laser. Las formas modales, además, nos indican qué zonas de la estructura son las que vibran a cada frecuencia presentando así una mayor influencia en la respuesta vibratoria y, en consecuencia, en el comportamiento sonoro del instrumento.

6.3.2.3 Medición de la vibración en el puente. Fuente de excitación

Para poder poner en funcionamiento el sistema de simulación del modelo digital del cóncavo es preciso establecer una fuente de excitación. Entendemos que es el puente el que trasmite la vibración de las cuerdas a la caja de resonancia del instrumento; éste lo hace a través de la superficie que tiene de contacto con la tapa armónica en la base de sus patas mediante las que se apoya sobre dicha tapa. Para comprobar este hecho y poder tomar medidas, medimos con precisión la situación exacta de la superficie de las patas del puente y la reprodujimos en el modelo escaneado.

Para el experimento, colocamos una pequeña pegatina reflectante a la que dirigimos el rayo laser sensor de un acelerómetro *Polytec PDV 100*, colocado a unos 1,5 metros de distancia, para capturar las microvibraciones producidas en la base del puente por la excitación de las cuerdas al ser pulsadas con el dedo y frotadas con el arco. Las fuentes de excitación obedecían a las frecuencias de un Re (sexta cuerda de la vihuela) y un Sol graves (quinta cuerda de la vihuela) al igual que hicimos con el experimento de la sonometría de las cuerdas de tripa (véase el apartado 6.1 de la Tesis), usando para ello las cuerdas de tripa de animales viejos del tipo 9 en el experimento citado.



Figura 63. Vibrómetro láser digital Polytec PDV 100 utilizado para la medición de vibraciones sin contacto en el puente de la viola

Optamos por realizar el análisis vibratorio mediante un sistema láser sin contacto para evitar las posibles perturbaciones que la utilización de un acelerómetro convencional podría introducir en la medida como consecuencia de la incorporación de la masa del acelerómetro a la superficie del instrumento, ya que podría afectar a la respuesta vibratoria del puente.

La señal medida con el laser fue registrada mediante el equipo *SCADAS Recorder SCR01*, y tratada mediante el software *Test Lab Signature*, ambos de la empresa LMS.



Figura 64. Proceso de medición de vibraciones en la zona del puente de la viola al pulsar la cuerda



Figura 65. Proceso de medición de vibraciones en la zona del puente de la viola al tocar con el arco la cuerda

Los resultados mostraron que, efectivamente existía vibración en la base del puente y que correspondía al espectro de la frecuencia de la nota producida por la cuerda que se ponía en vibración: 70 Hz y 92 Hz para un Sol y un Re graves respectivamente. De esta forma se pudo usar este punto de la superficie de la tapa armónica como fuente de excitación del sistema.

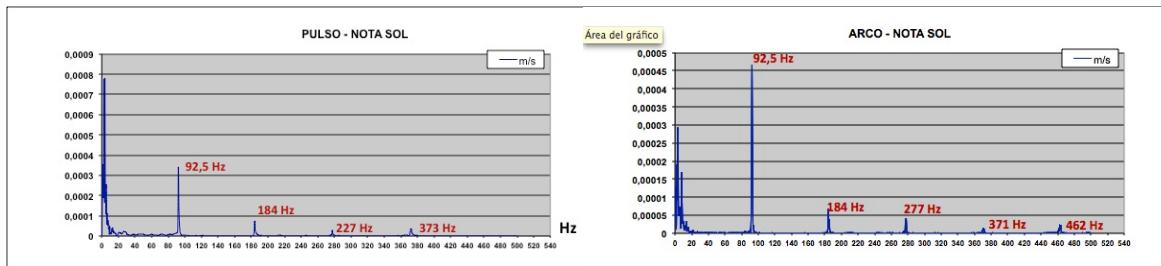


Figura 66. Espectro obtenido de la Vibración con la cuerda Sol pulsada

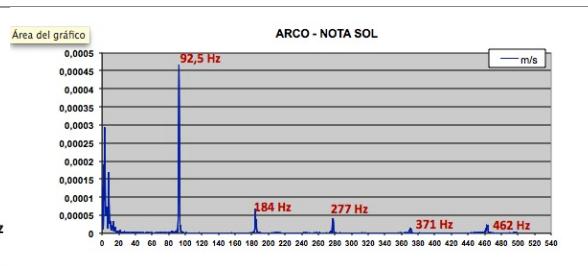


Figura 67. Espectro obtenido de la Vibración con la cuerda Sol con arco

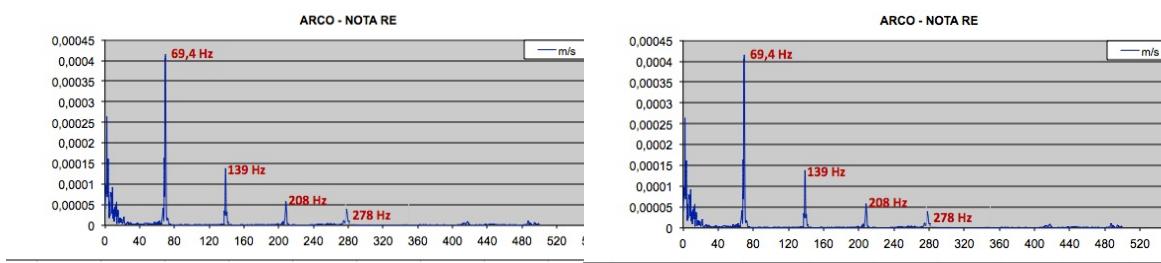


Figura 68. Espectro obtenido de la Vibración con la cuerda Re pulsada

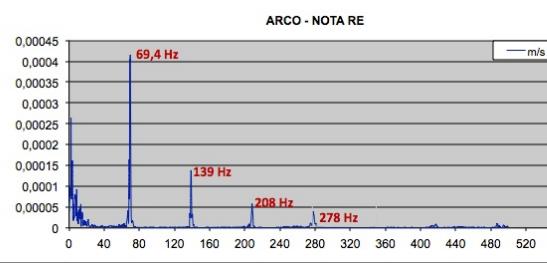


Figura 69. Espectro obtenido de la Vibración con la cuerda Re con arco

6.3.2.4 Reflexión en el cóncavo. El cóncavo como recinto

Como venimos diciendo, el punto de vista sobre la acústica de concavidades e instrumentos con caja de resonancia que nos interesa en este estudio es el que pudieron tener quienes concibieron dichos instrumentos en la «época de las vihuelas». Las gentes de la época concebían el cóncavo de un instrumento como un recinto rígido y resonante, según se deduce de lo que dicen Aristóteles o Alberto Magno, entre otros (véanse apartados 2.1.1, 2.2, 4.1 o 4.2 de esta Tesis).

Tomando el modelo 3D del cóncavo de la vihuela escaneado como un recinto rígido resonante, procedimos a simular las reflexiones sonoras producidas al excitar el sistema en el punto donde el puente descansa sobre la tapa armónica mediante el programa *Odeon 13 combined* (Odeon Room acoustic software) de simulación acústica de recintos. Nuevamente advertimos que, para averiguar lo que realmente ocurre acústicamente en el interior del cóncavo, habría que tomar en cuenta multitud de factores que intervienen en el fenómeno donde, tanto las paredes como el fondo, la tapa, el puente etc., pasarían a convertirse en nuevas fuentes de excitación variables en cada instante afectando al resultado constantemente. Este hecho, que por un lado hace enormemente compleja la simulación, nos desviaría del modelo que tenían en mente quienes fabricaron sus instrumentos en la época que nos ocupa.

En la simulación se podía observar cómo, incluso en una animación a tiempo real, los rayos sonoros procedentes del foco situado en la base del puente como fuente de excitación se dispersaban en todas direcciones hasta chocar contra un primer obstáculo, como es el fondo de la vihuela, donde eran repelidos continuando su trayectoria en la dirección reflejada por dicho obstáculo. En las imágenes que siguen utilizamos el color rojo para representar los rayos provenientes directamente de la fuente, el azul los correspondientes a la primera reflexión, y así sucesivamente con los colores. En la imagen que corresponde a la Fig. 73 se puede observar el instante en que algunas reflexiones ya han salido al exterior de la caja por los orificios armónicos.

Es así como se puede observar el comportamiento acústico del recinto formado por el cóncavo del instrumento en tanto a sus propiedades de reflexión –como consecuencia de su diseño geométrico–, calculando las diferentes reflexiones de los rayos sonoros en un tiempo determinado. Éste es un ejemplo visual de simulación de las teorías expuestas en los apartados 4.1 y 4.2.

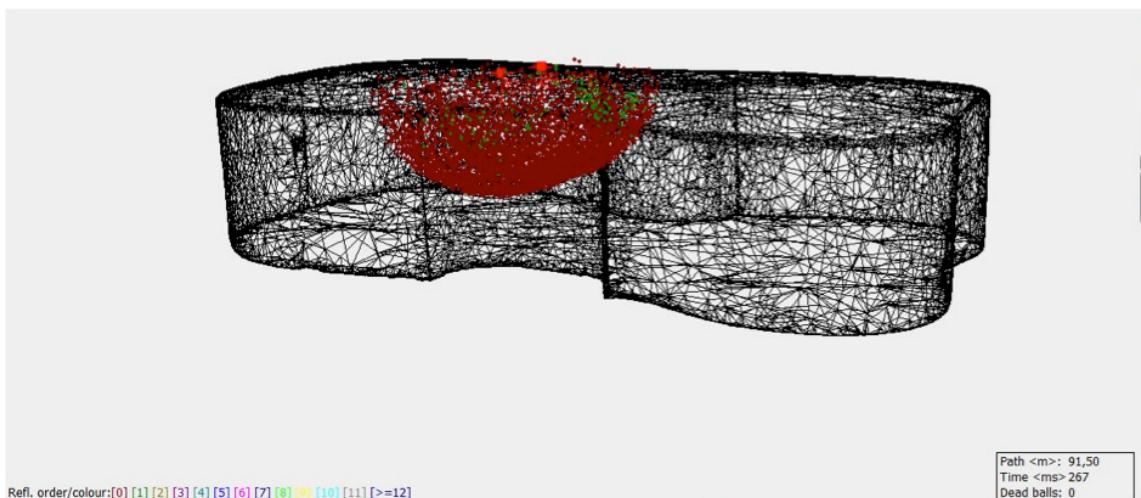


Figura 70. Reflexiones directas al instante 0,000267 seg

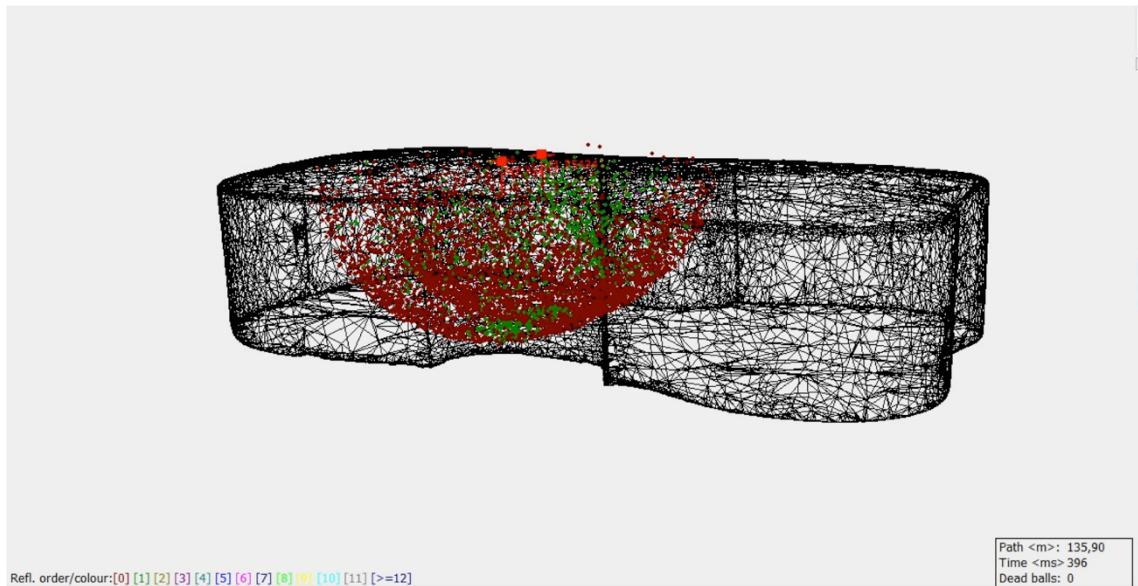


Figura 71. Reflexiones al instante 0,000651 seg

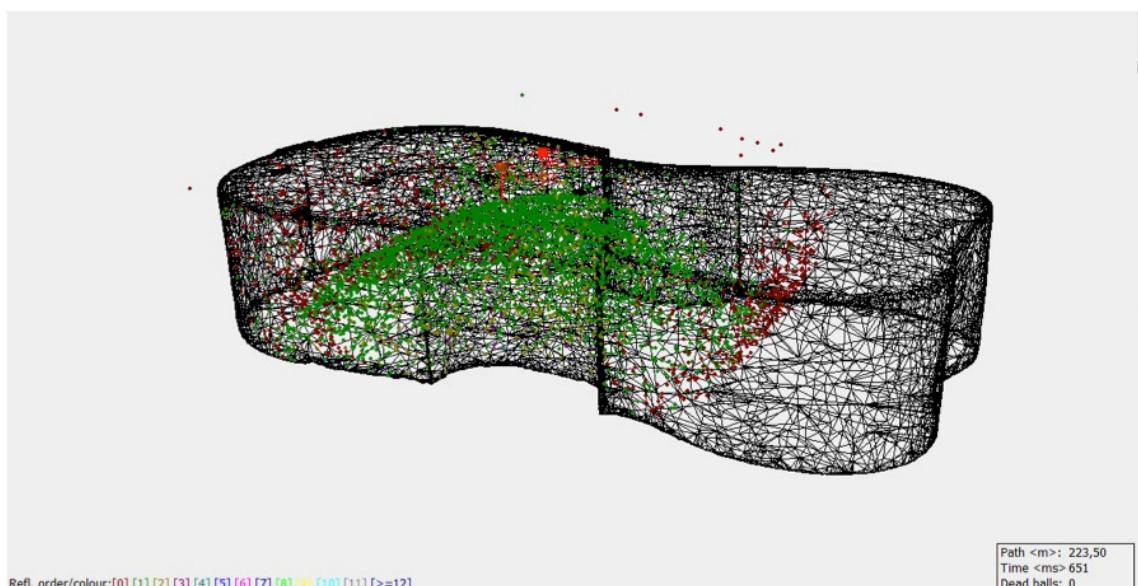


Figura 72. Reflexiones del primer rebote al instante 0,000396 seg

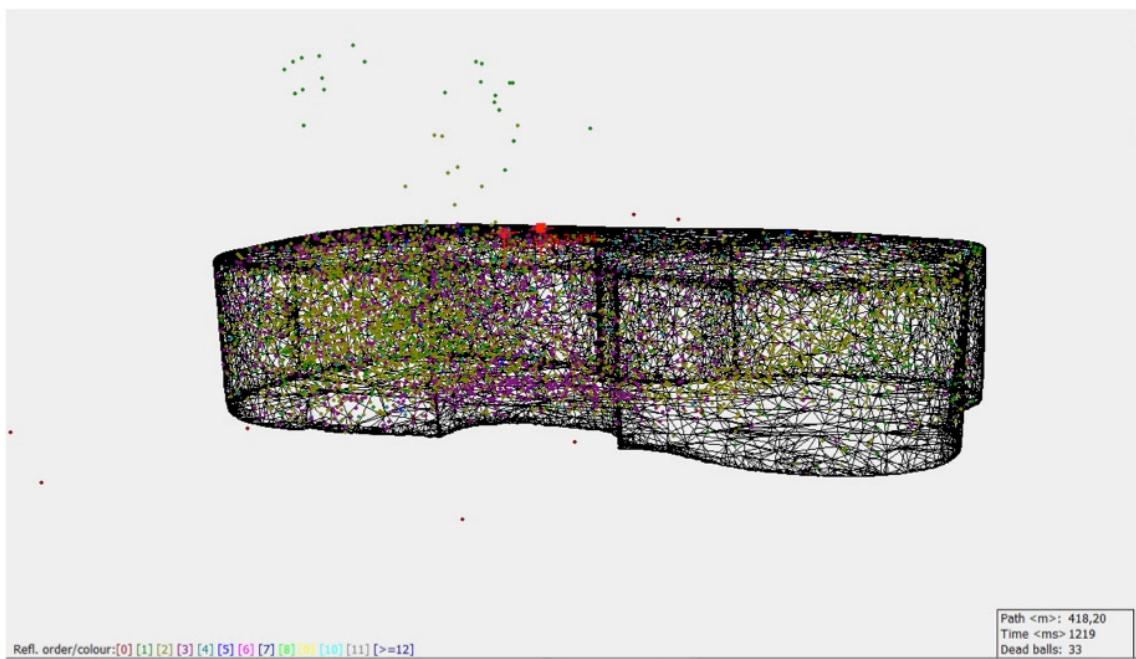


Figura 73. Reflexiones al instante 0,001219 seg

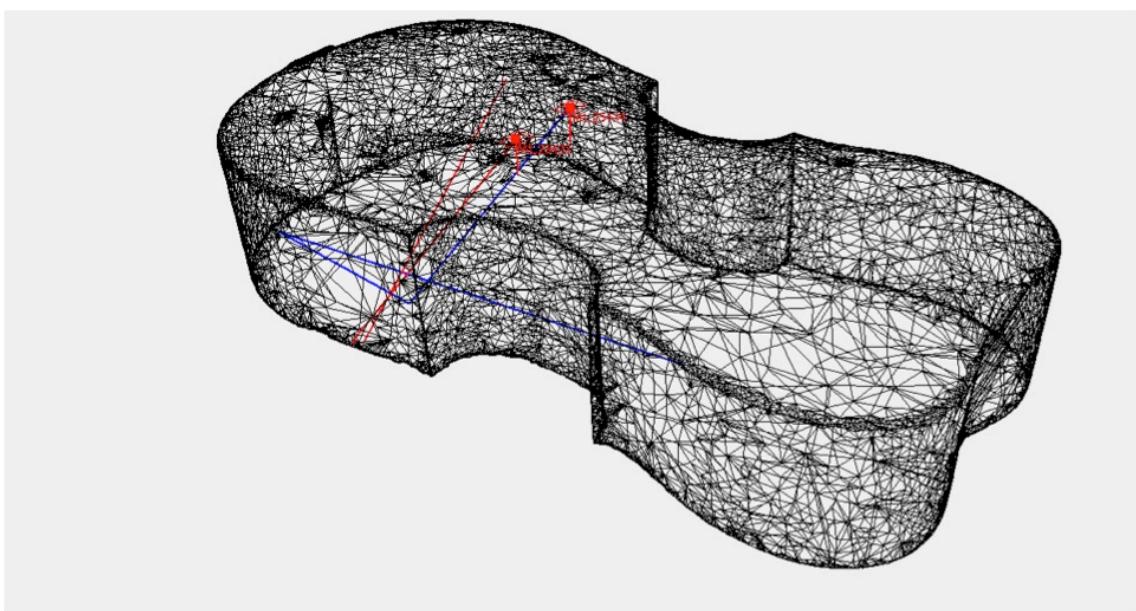


Figura 74. T: 0,001191 seg, rayos: 2 reflexiones: 3

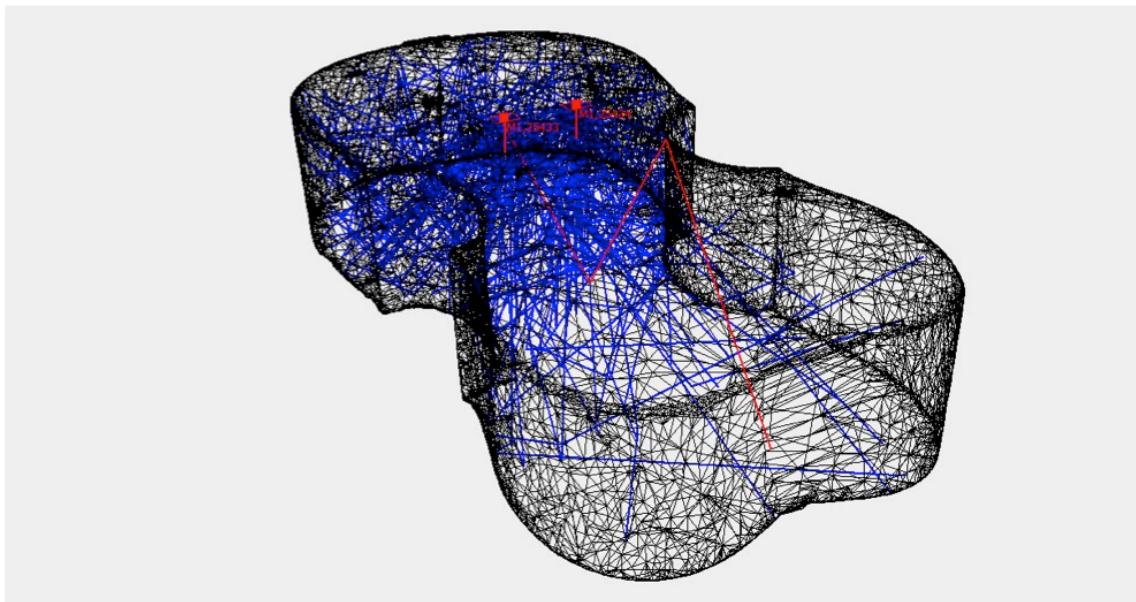


Figura 75. T: 0,001514 seg, rayos: 130 reflexiones: 3

6.3.2.5 Auralización en el interior del cóncavo

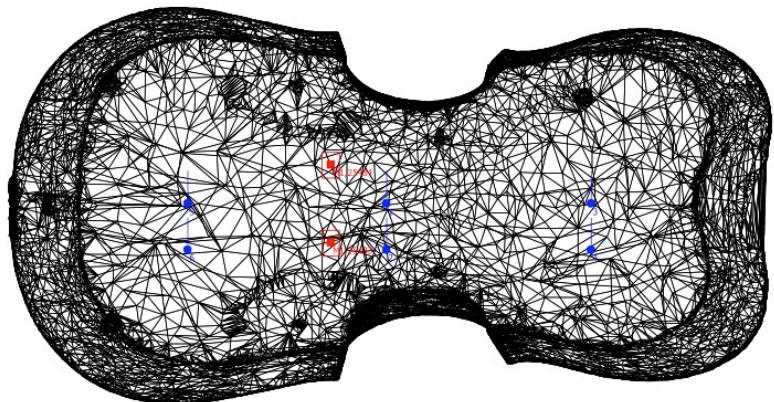
El objetivo de este experimento consiste en simular, a partir del modelo 3D del cóncavo de la vihuela, su comportamiento acústico considerándolo como un recinto, siguiendo los principios básicos de la acústica antigua de reflexión de ondas sonoras denominada acústica de rayos. Es decir: que al pulsar o tocar con el arco las cuerdas se produce una excitación (vibración), como consecuencia de la respuesta de las cuerdas, que es transmitida a través de las bases del puente hacia el interior del instrumento produciéndose allí numerosas reflexiones.

EXCITACIÓN (CUERDAS) -> RESPUESTA ACÚSTICA DEL INSTRUMENTO CONSIDERADO COMO RECINTO.

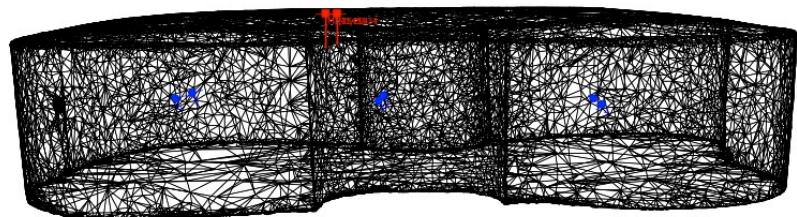
La validez de esta simulación es limitada ya que la consideración del instrumento como un recinto no tiene en cuenta la respuesta de las paredes del instrumento que; al excitarse como consecuencia del efecto del campo sonoro interior, se convierten a su vez en fuentes sonoras emitiendo, en función de sus características mecánicas, tanto hacia el interior del instrumento como hacia el exterior (respuesta que se ha podido ver en el análisis modal de la vihuela del apartado 6.3.2.2). En nuestro caso es no obstante la adecuada, ya que analiza la acústica del recinto en virtud de sus propiedades de reflexión basadas en su diseño geométrico.

Siguiendo nuestro planteamiento, se modeliza exclusivamente la fase inicial de la generación de sonido en la que se consideran diversos tipos de fuentes excitadoras correspondientes a distintas notas musicales generadas por el espectro de las cuerdas. Esta excitación acústica es simulada mediante el software *Odeon 13 combined* siguiendo las leyes de la acústica de rayos, generándose así sucesivas reflexiones en las paredes interiores del instrumento que dan lugar a un campo sonoro no uniforme en el interior del volumen del mismo como consecuencia de su estructura.

Para poder evaluar y medir esta variabilidad espacial y frecuencial del campo sonoro en diferentes lugares del interior del cóncavo de la vihuela, posicionamos seis receptores en seis puntos del interior del volumen del modelo del instrumento (son los puntos azules que se ven en la parte inferior de las Figs. 76 y 77). Nuestro objetivo consistía en capturar el número de reflexiones recibidas en los lugares correspondientes a la posición de los puntos al provocar la excitación en la fuente de cuatro espectros de emisión: 6B, 9B, 6A y 9A (corresponden a los espectros de las cuerdas descritas en el apartado 6.1).



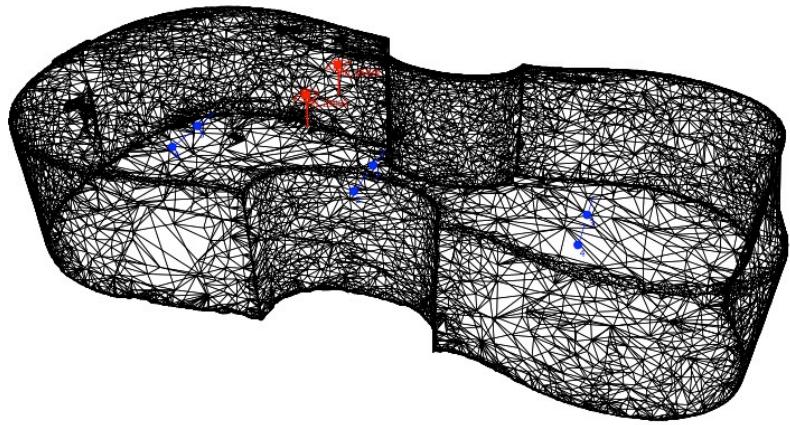
Odeon©1985-2015 Licensed to: Univ. Zaragoza - EUIT Industrial, Spain Restricted version - research and teaching only!



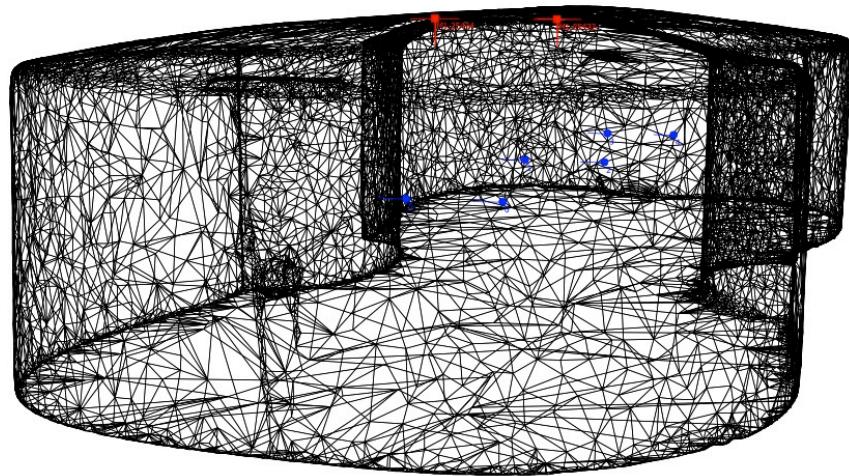
Odeon©1985-2015 Licensed to: Univ. Zaragoza - EUIT Industrial, Spain Restricted version - research and teaching only!

Figura 76. Posición de los receptores (en azul) y fuentes (en rojo) en el interior del cóncavo

En la Fig. 77 se puede ver la posición de los receptores en el interior del cóncavo de la vihuela. El receptor está representado con una bolita a la que está adherido un palito (--o). Su posición indica la dirección hacia la que está orientado el receptor. Vendría a ser como la nariz de un oyente situado en el punto del receptor mirando hacia la dirección del palito.



Odeon©1985-2015 Licensed to: Univ. Zaragoza - EUIT Industrial, Spain Restricted version - research and teaching only!



Odeon©1985-2015 Licensed to: Univ. Zaragoza - EUIT Industrial, Spain Restricted version - research and teaching only!

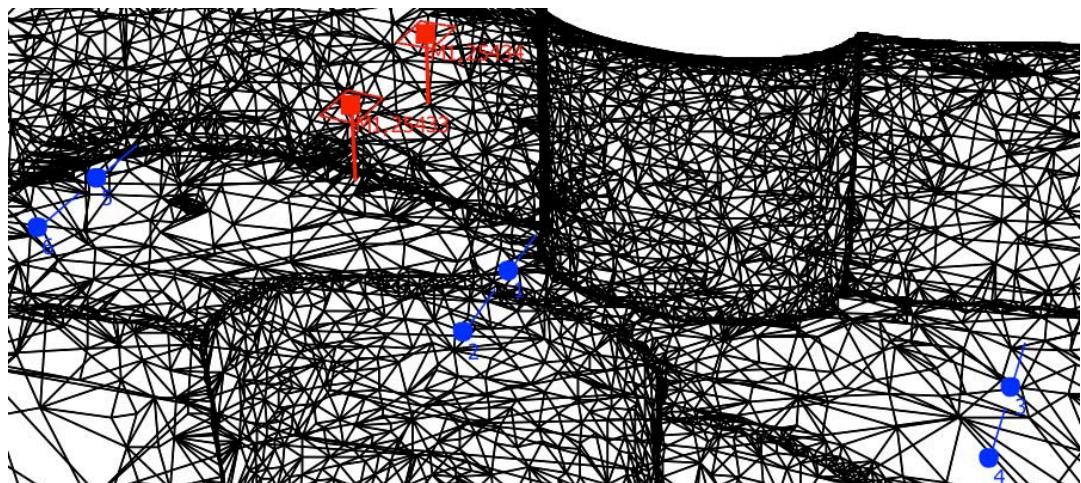


Figura 77. Posición de los receptores en el interior del cóncavo. Visión de cortes de sección

De la simulación realizada para la auralización se han seleccionado, por su interés, los siguientes parámetros:

a) EDT-Early Decay Time (s)

Este parámetro es utilizado para caracterizar la acústica de recintos y determina el DESCENSO EN EL NIVEL DE PRESIÓN SONORA que se produce en distintos puntos del interior de un recinto desde el momento en que la fuente sonora cesa. En nuestro caso ocurre en el interior del cóncavo de la vihuela y va asociado a la respuesta del instrumento a la excitación generada por las cuerdas. Es decir, al pulsar la cuerda la excitación se irá amortiguando hasta cesar totalmente. El EDT nos dará idea de la respuesta de la vihuela considerada como recinto.

El EDT es un parámetro muy relacionado con TR (tiempo de reverberación), parámetro que también se considerará en el estudio (T30), con la salvedad de que EDT mide la reverberación percibida (subjetiva) y TR la reverberación real (objetiva). Por este motivo, para determinar el grado de «viveza», de un recinto, es más fiable considerar el valor de EDT. El EDT es un parámetro concebido para caracterizar la acústica de recintos, no de instrumentos musicales; utilizado para este caso nos da una idea cualitativa del comportamiento acústico del instrumento en función de su estructura.

b) T30 (s)

Existen diversos tipos de TIEMPO DE REVERBERACIÓN de entre los cuales se ha seleccionado el T30 por ser el más adecuado para el estudio planteado. Al igual que el EDT, el tiempo de reverberación nos permite, con los matices diferenciadores descritos para el EDT, caracterizar el campo reverberante de recintos, que es el que se genera cuando cesa la excitación. Al cesar, los niveles de presión sonora van decreciendo paulatinamente, de manera diferenciada según el punto considerado del interior del recinto, como consecuencia del proceso de absorción de la energía sonora causado por las múltiples interacciones que se producen en el interior del recinto.

c) SPL (dB)

El NIVEL DE PRESIÓN SONORA (Sound Pressure Level /SPL) es la variación local que se produce en un determinado punto de un recinto (en nuestro caso en los distintos receptores ubicados en el interior del modelo de la vihuela) respecto a la presión atmosférica, generado por la onda sonora asociada a la pulsación de las cuerdas.

d) SPL (Directo) (dB)

Es el NIVEL DE PRESIÓN SONORA (Sound Pressure Level /SPL) asociado a las ondas sonoras que llegan de manera directa desde la fuente sonora (la de la excitación del puente por las cuerdas) hasta los distintos receptores, es decir, sin considerar la energía sonora correspondiente a las distintas reflexiones que se producen en el interior de la vihuela.

De esta forma, en el interior de la vihuela podemos tomar para cada receptor i considerado la siguiente fórmula:

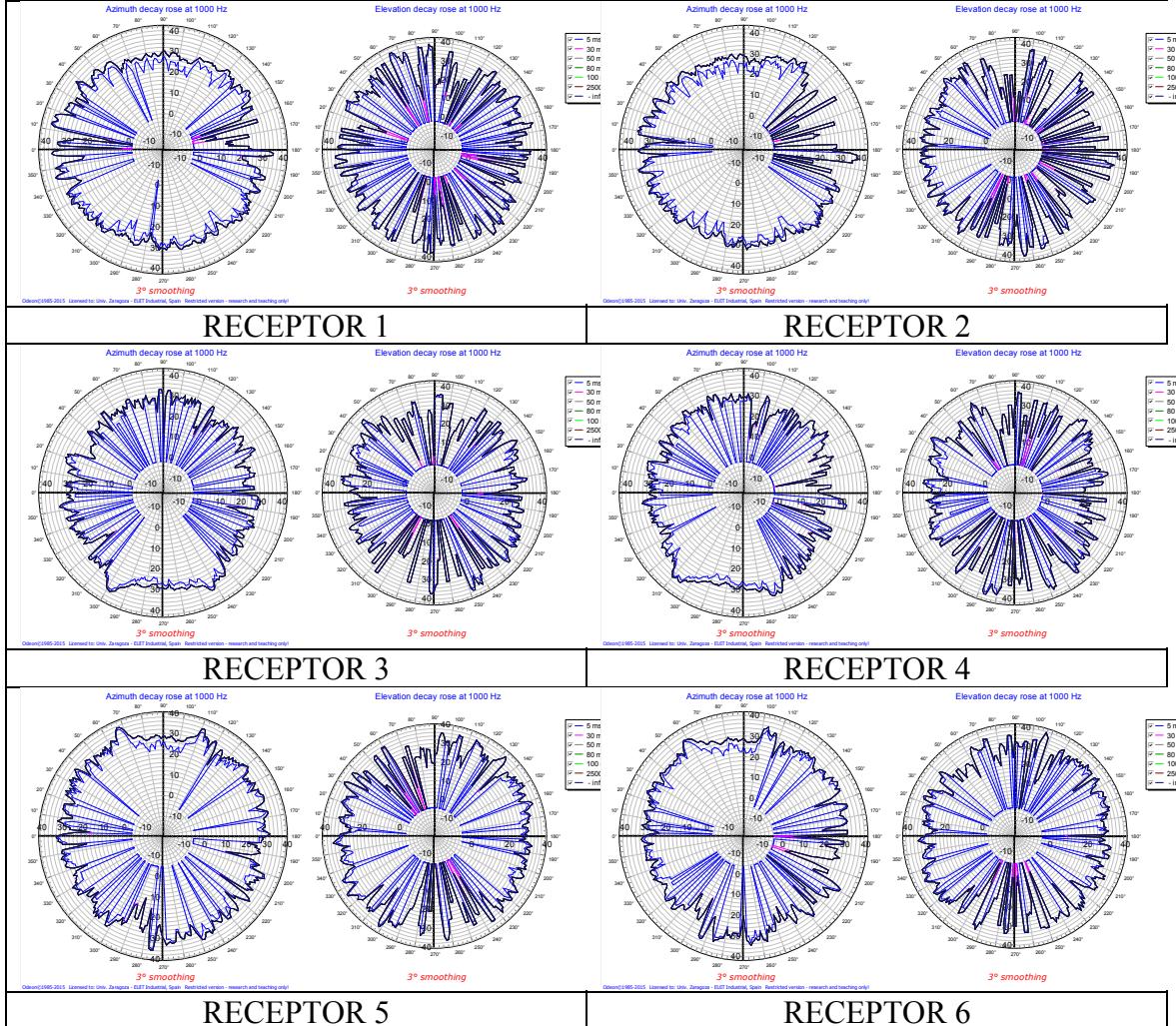
$$\text{SPL}_{\text{Receptor } i} = \text{SPL}_{\text{Receptor } i} \text{ (Directo)} + \text{SPL}_{\text{Receptor } i} \text{ (Reflejado)}$$

Si disponemos del valor **SPL Receptor i** y del **SPL(Directo) Receptor i**, podemos evaluar la importancia del sonido reflejado respecto del sonido total que llega a cada receptor como consecuencia de la estructura del recinto, a saber, el cóncavo de la vihuela.

RESULTADOS

Al analizar los resultados de la simulación, se percibe que la característica acústica en el interior del instrumento varía tanto en función de la posición como de las características frecuenciales de la excitación. En concreto, las características acústicas del recinto causadas por las reflexiones del sonido son muy diferentes según los diferentes puntos del cóncavo, como muestran las capturas del campo sonoro en los 6 receptores (véase Fig. 78).

Figura 78. COMPARATIVA DE DECAY ROSES PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES. FUENTE 9A



En estos gráficos (Fig. 78) se pueden observar las características del campo sonoro emitido por el espectro de la cuerda 9A a una frecuencia de 1000 Hz en distintos espacios de tiempo a su llegada a cada uno de los 6 receptores ubicados en el interior de la vihuela y su distribución entorno al receptor. Estos datos nos permiten caracterizar la calidad y distribución espacial de

las reflexiones entorno a cada receptor en función de la geometría de la vihuela considerada como recinto. Así el receptor 2, que está situado en el centro del instrumento hacia uno de los extremos laterales y orientado hacia dicho extremo, recibe por el oído izquierdo mucha menos energía sonora comparado con el receptor 4. Esto puede deberse al menor número de reflexiones que llegan al receptor 2 por su posición enfrentada a la pared convexa del aro de la vihuela –que refleja los rayos de manera divergente– y con el oído hacia el lado largo del recinto, mientras que el receptor 4 está más próximo a las paredes cóncavas del extremo superior, que reflejan los rayos de manera convergente concentrándolos en esa zona (véanse las Figs. 79 y 80).

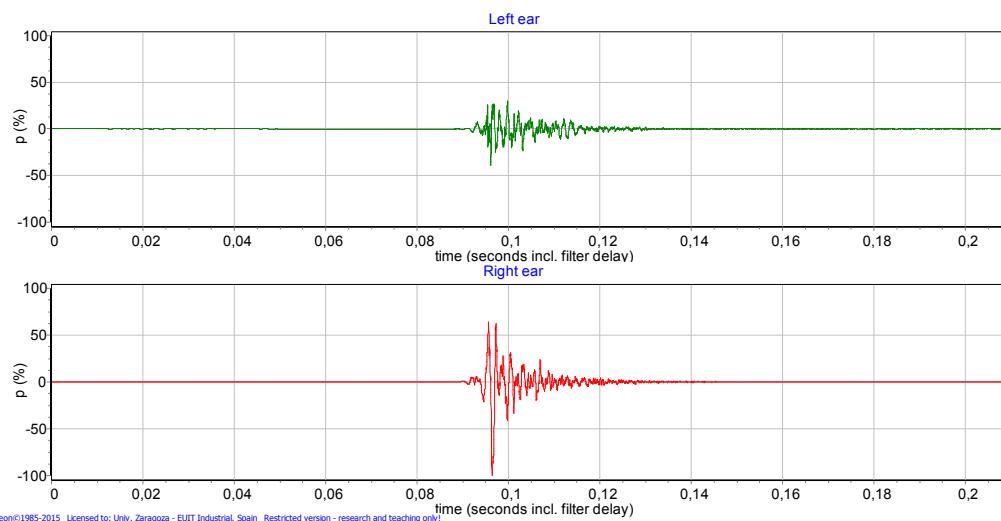


Figura 79. Percepción sonora en el Receptor 2. Fuente 6B

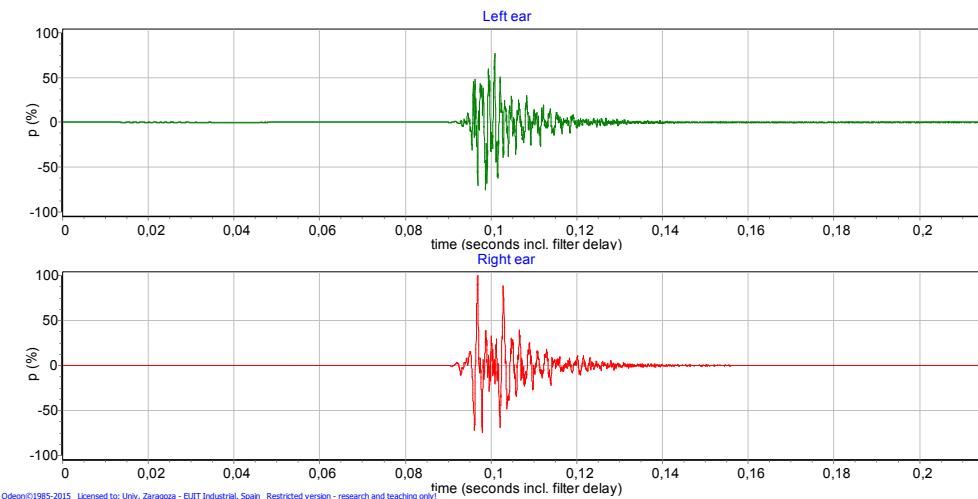


Figura 80. Percepción sonora en el Receptor 4. Fuente 6B

En las gráficas que siguen de *Decay Roses*⁴⁷⁷ (Figs. 81 y 82) donde se ve el nivel de presión sonora del campo reverberante en función del ángulo de incidencia en el receptor, se puede apreciar la influencia del efecto de su proximidad al aro convexo del lado izquierdo en las reflexiones del campo sonoro captado. En la sección vertical y horizontal de los *Decay Roses* correspondientes al receptor 2 –orientado hacia el aro de la pared lateral en la zona central del instrumento–, se aprecia cómo recibe mayor energía sonora desde un ángulo de 0°, en cambio el receptor 4, situado hacia el extremo superior y orientado hacia la superficie cóncava del aro, lo hace desde un ángulo de 310°.

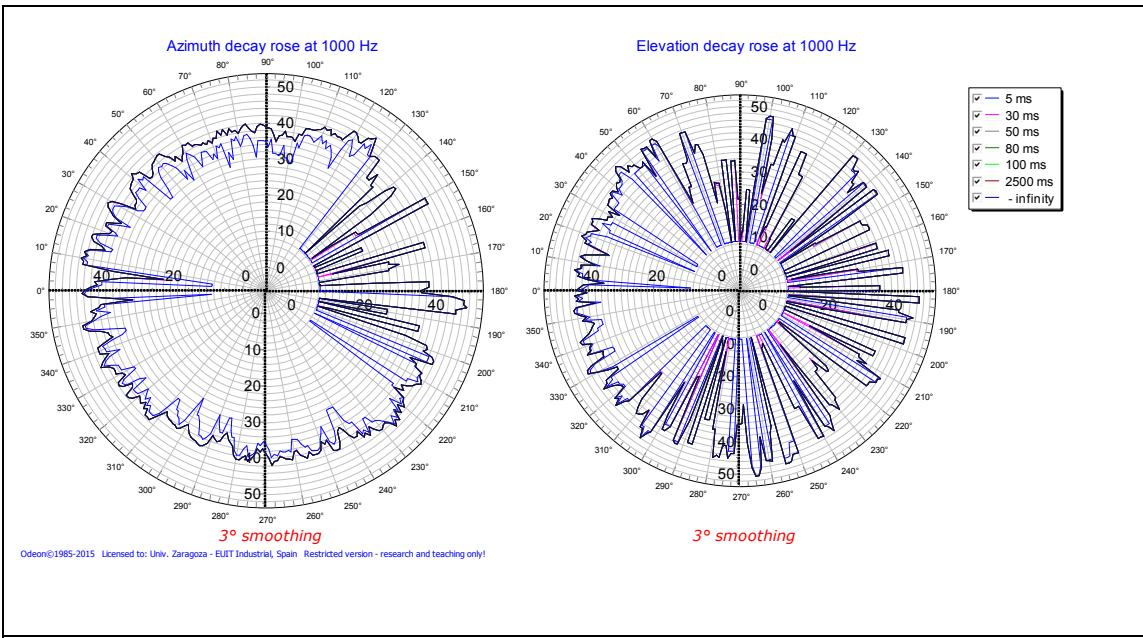


Figura 81. Decay Roses del Nivel de presión sonora en el Receptor 2. Fuente 6B

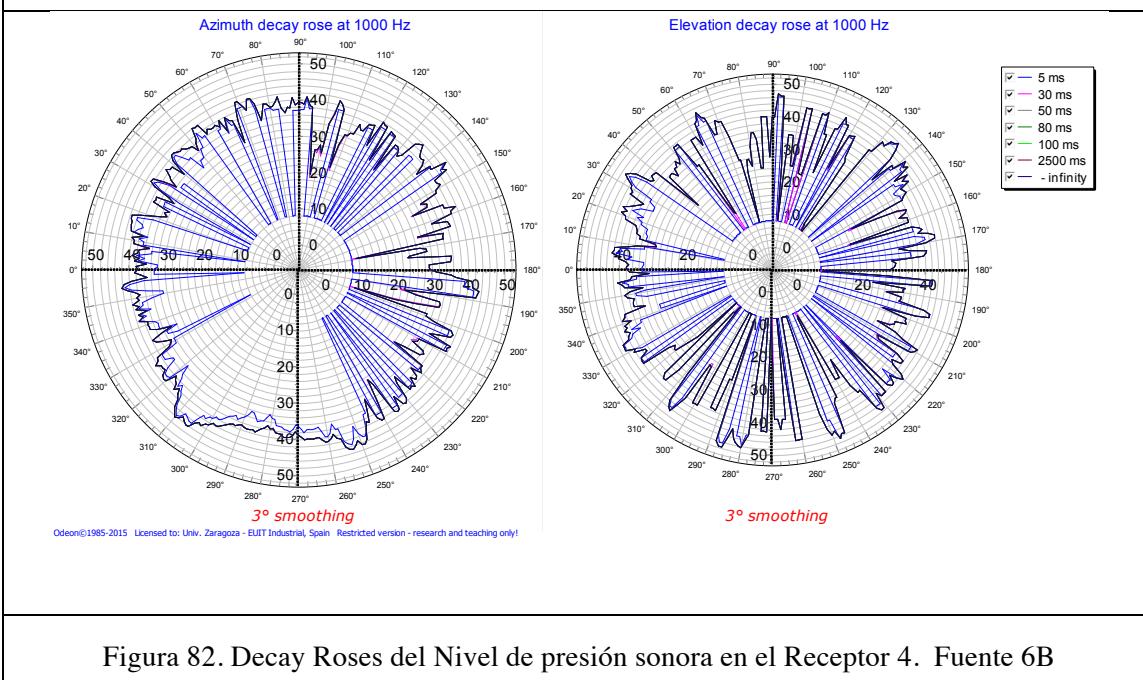


Figura 82. Decay Roses del Nivel de presión sonora en el Receptor 4. Fuente 6B

⁴⁷⁷ La primera rosa *Azimuth*, corresponde al corte aural en sentido horizontal del campo sonoro que llega al receptor orientado hacia el punto de 0°. La segunda *Elevation*, corresponde al corte en sentido vertical del mismo campo.

Otra de las peculiaridades que se pueden apreciar en esta simulación es la diferencia de nivel de presión sonora del campo reverberante entre una fuente y otra –por ejemplo la del espectro de la cuerda 9B respecto del de la cuerda 9A– en el mismo punto de recepción, por ejemplo en el receptor 5. Aquí vemos que en el primer caso correspondiente a la cuerda 9B (Fig. 83), la energía sonora es mayor –de hasta casi 40 dB– comparada con la del caso de la cuerda 9A. Es decir, que tocada con arco, el número de reflexiones y, por tanto, la energía sonora, es mayor en el mismo punto de la vihuela que al ser pulsada.

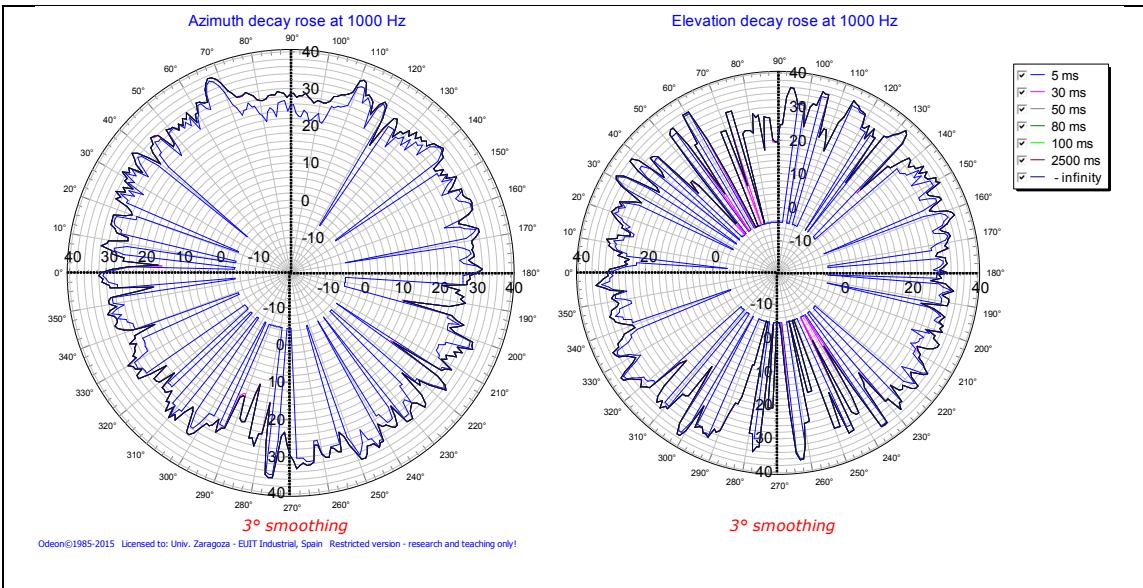


Figura 83. Decay Roses del Nivel de presión sonora de la Fuente 9A en el Receptor 5.

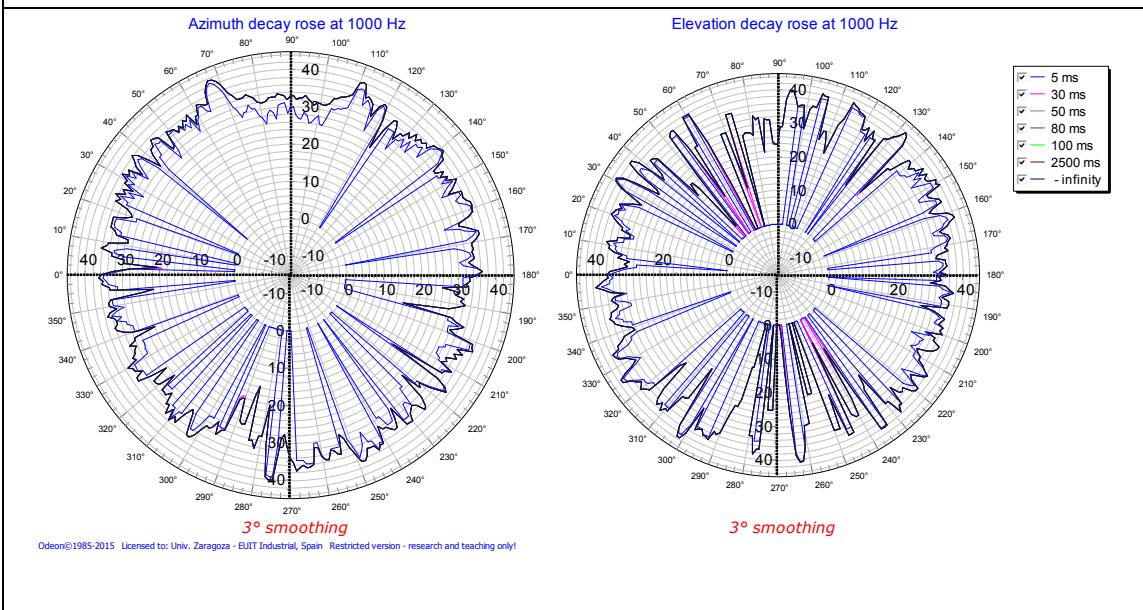
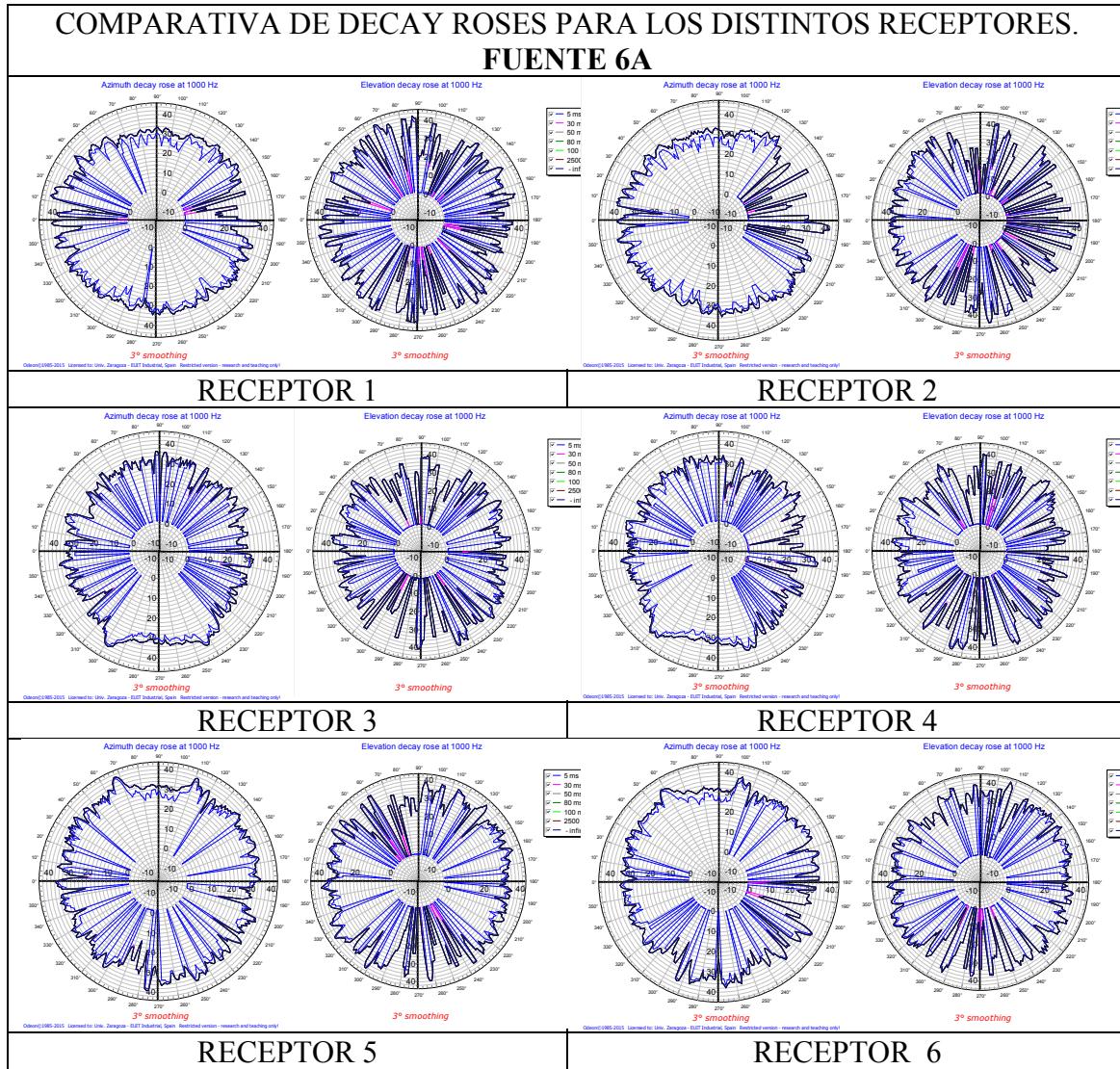


Figura 84. Decay Roses del Nivel de presión sonora de la Fuente 9B en el Receptor 5.

Una simulación de este tipo tiene la ventaja de que se puede colocar un receptor en cualquier punto del interior del recinto y medir cualquier característica del campo sonoro reverberante en ese punto. Además, se pueden colocar tantos receptores como se quiera. También la fuente de excitación sonora se puede modificar, como por ejemplo el espectro de cualquier cuerda que tengamos registrado a las frecuencias que se deseen. Incluso, el modelo 3D del instrumento, que en este caso está escaneado de un instrumento real, una vihuela, se puede modificar también. Obviamente, la tecnología tiene sus límites y cuantos más parámetros introduzcamos en la simulación más tiempo y memoria necesitarán en las computadoras cuya capacidad para este tipo de cálculos complejos supone un obstáculo. Cabe señalar, nuevamente, que ésta es una simulación concebida desde el punto de vista de la acústica antigua, es decir; de la teoría de reflexión de rayos en un recinto rígido en virtud de sus propiedades geométricas. Por lo tanto, de la energía disipada por las condiciones de contorno, no hemos tenido en cuenta la que se reinvierte como fuentes emergentes del sistema, aunque si lo hemos hecho con la disipada por las propiedades de absorción de los materiales (véase Tabla 02).

TABLAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS DE LA AURALIZACIÓN

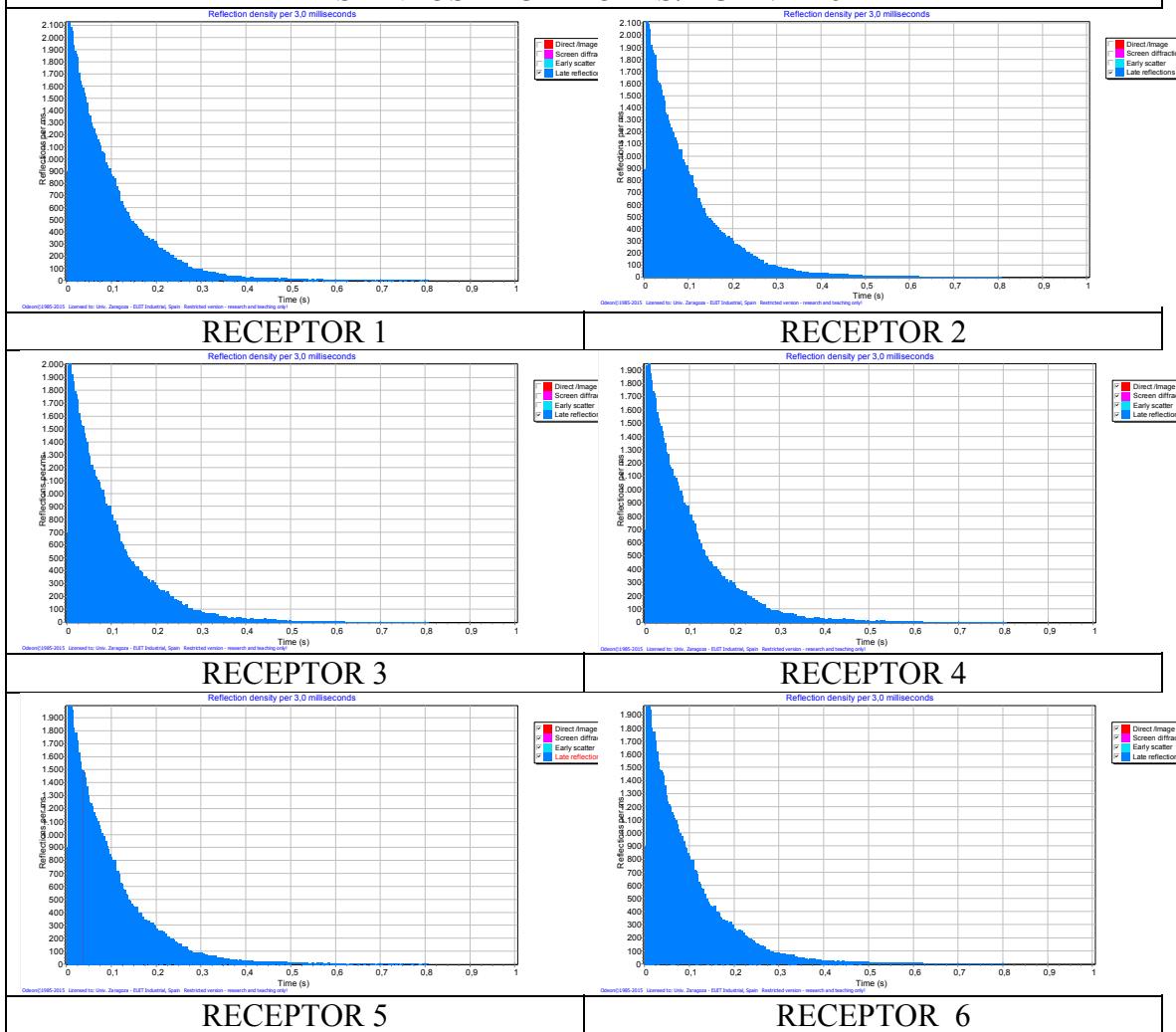
SIMULACIÓN CON LA FUENTE DEL ESPECTRO DE LA CUERDA 6A



Azimuth Decay Roses (receptor i)

Tomando como fuente de emisión el espectro de la cuerda 6A, estos gráficos nos muestran la energía sonora que llega, a una frecuencia de 1000 Hz, en distintos intervalos de tiempo a cada uno de los 6 receptores ubicados en el interior de la vihuela y cómo se distribuye entorno al receptor. Estos datos nos permiten caracterizar la calidad y distribución espacial de las reflexiones entorno a cada receptor en función de la geometría de la vihuela considerada como recinto.

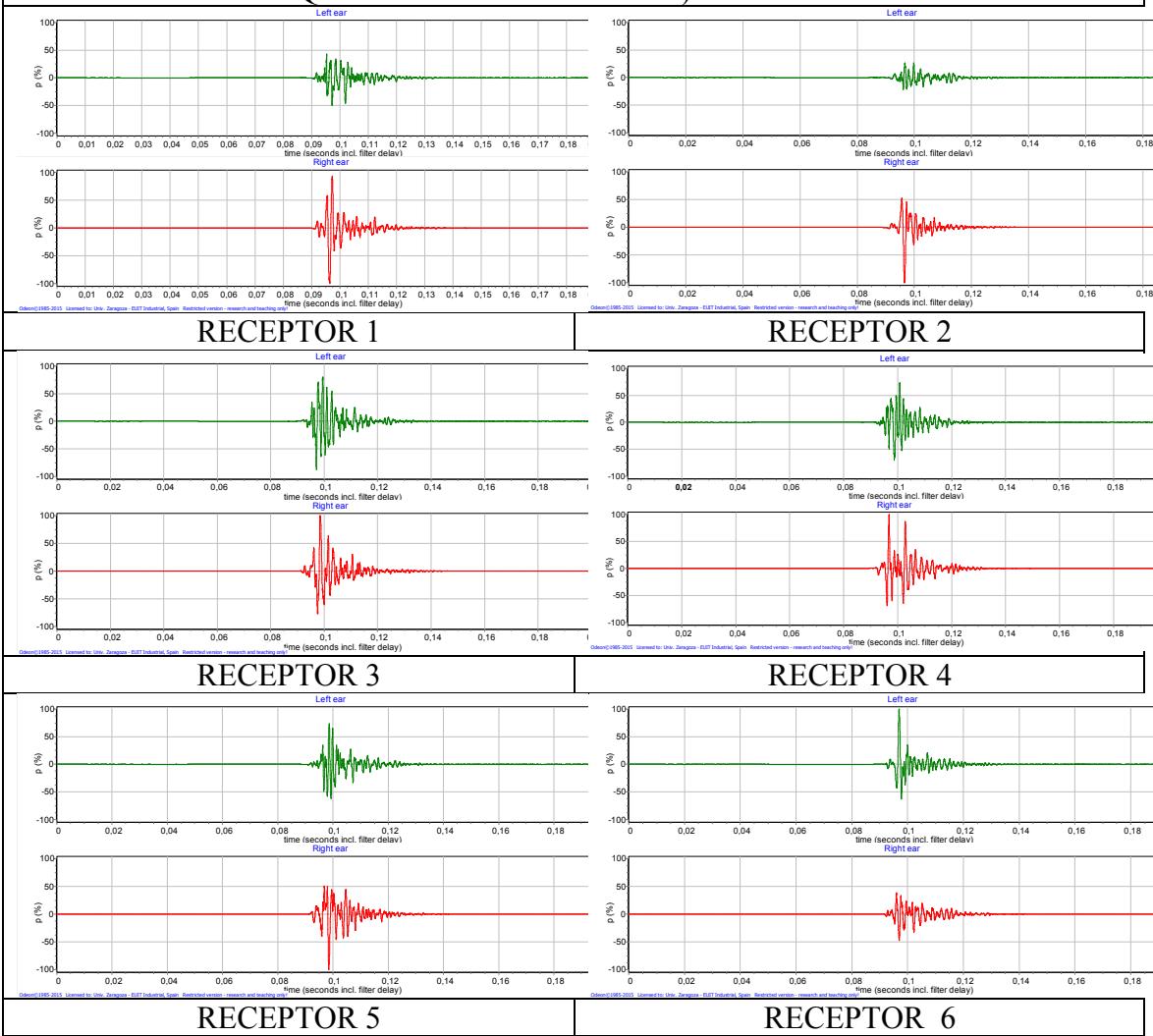
COMPARATIVA DE LA DENSIDAD DE REFLEXIONES /3,0 ms PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES. FUENTE 6A



Reflection Density (receptor i)

Estas figuras nos muestran los gráficos de la densidad de reflexiones (Reflection Density) para los distintos receptores.

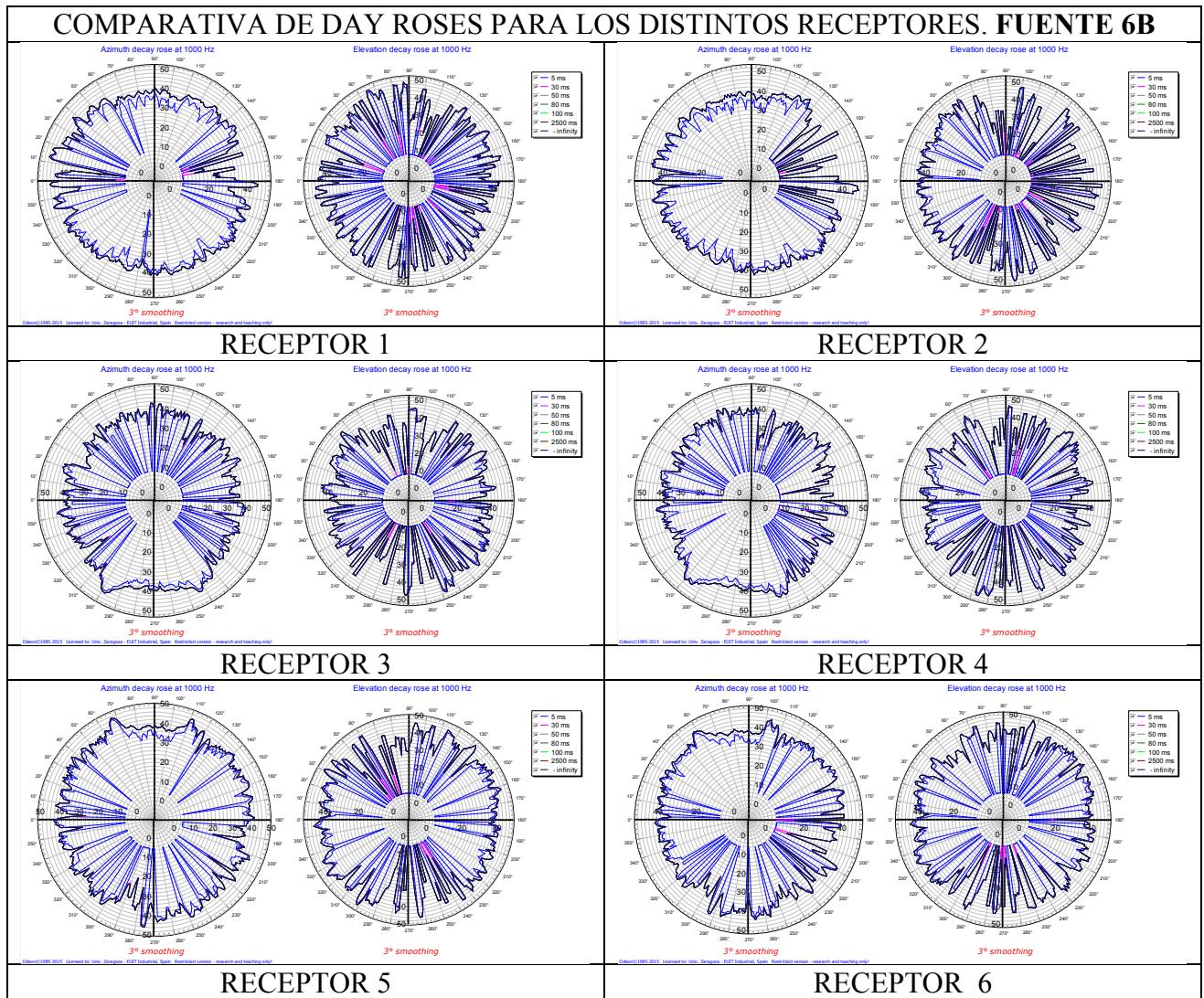
PERCEPCIÓN SONORA PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES (OÍDO IZQUIERDO/OÍDO DERECHO). FUENTE 6A



Percepción sonora

Este gráfico nos muestra la evolución temporal de la percepción sonora, considerando la vihuela como recinto, para los distintos receptores.

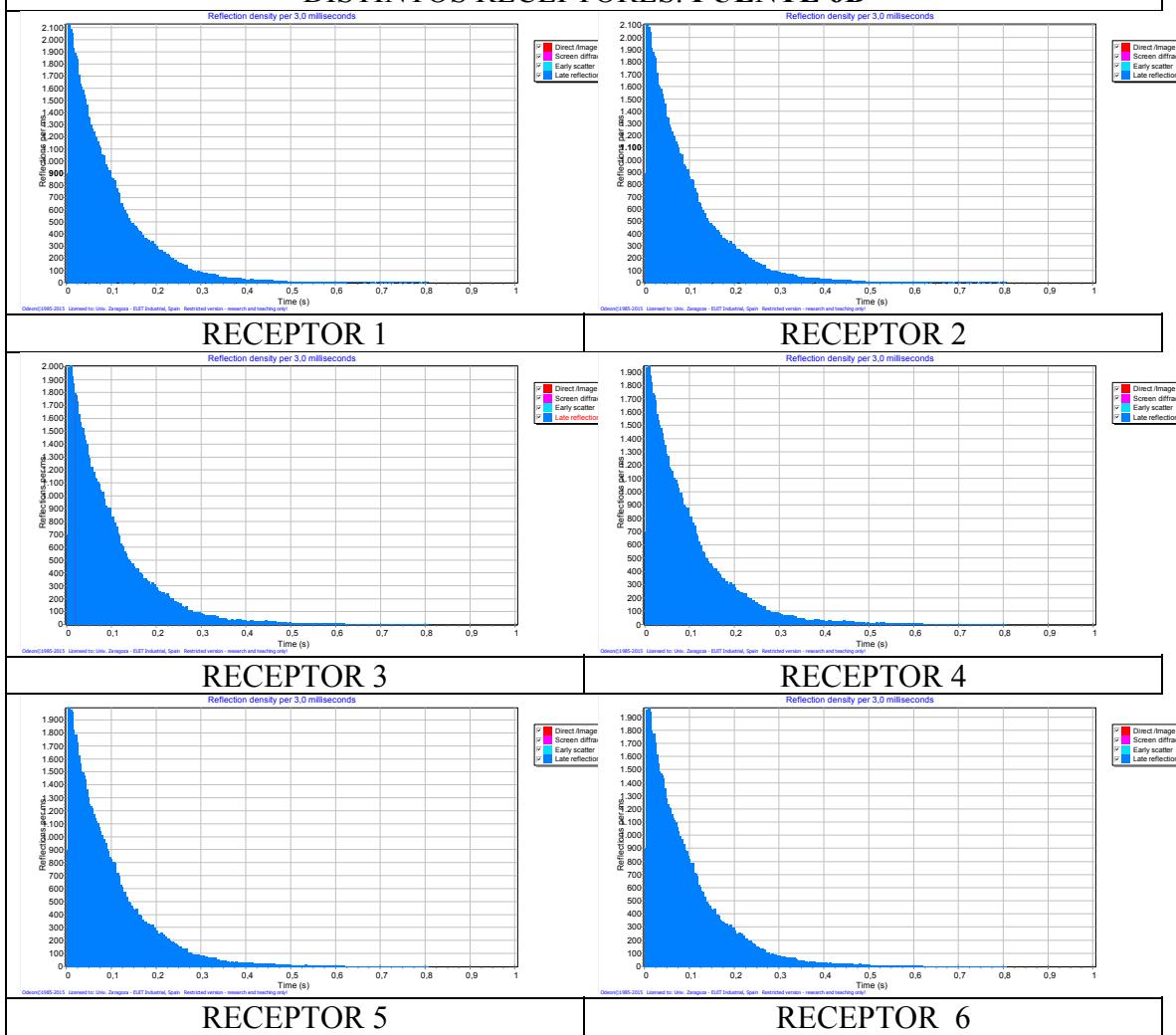
SIMULACIÓN CON LA FUENTE DEL ESPECTRO DE CUERDA 6B



Azimuth Decay Roses (receptor i)

Tomando como fuente de emisión el espectro de la cuerda 6B, estos gráficos nos muestran la energía sonora que llega, a una frecuencia de 1000 Hz, en distintos intervalos de tiempo a cada uno de los 6 receptores ubicados en el interior de la vihuela y cómo se distribuye entorno al receptor. Estos datos nos permiten caracterizar la calidad y distribución espacial de las reflexiones entorno a cada receptor en función de la geometría de la vihuela considerada como recinto.

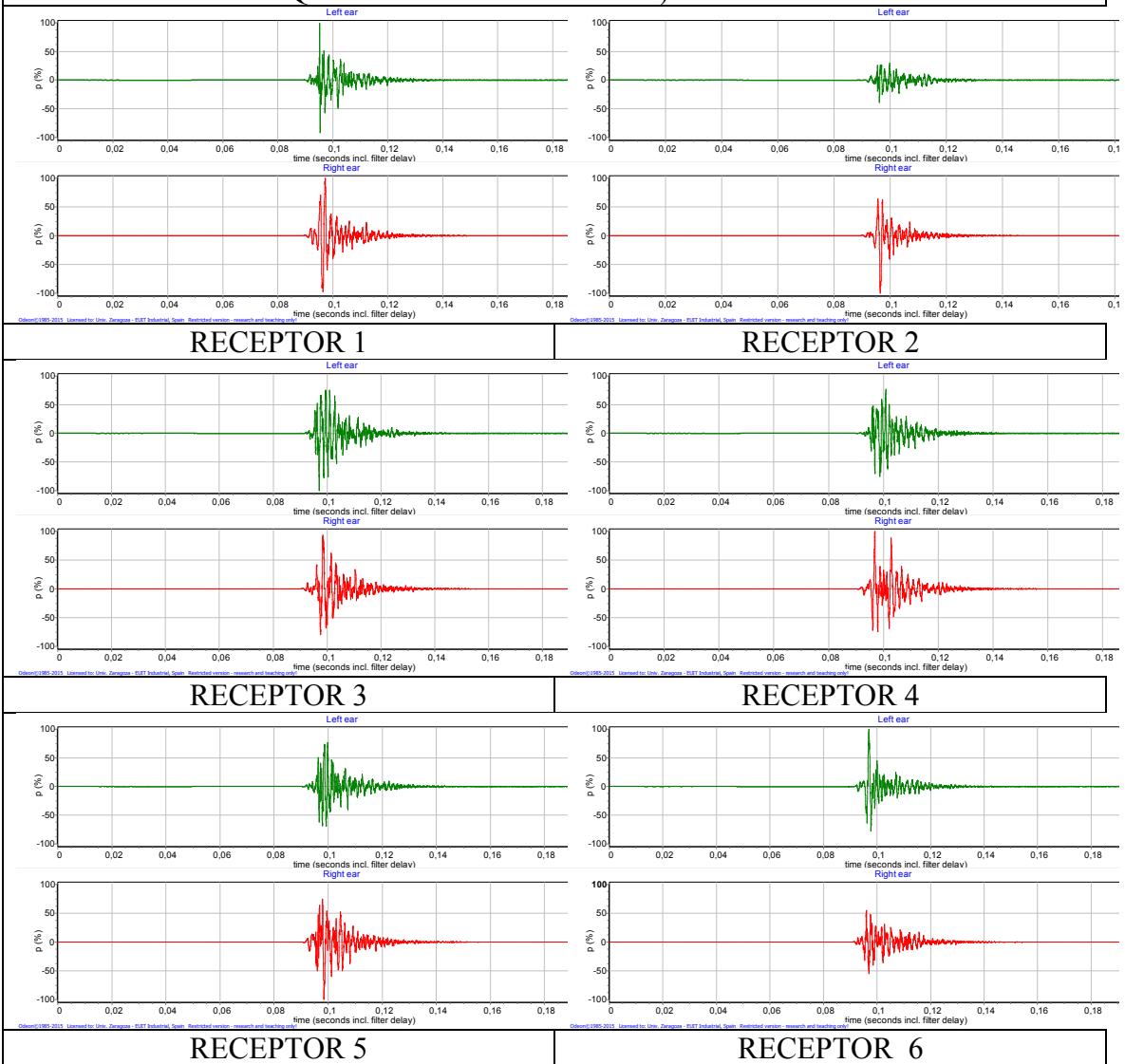
COMPARATIVA DE LA DENSIDAD DE REFLEXIONES /3,0 ms PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES. FUENTE 6B



Reflection Density (receptor i)

Estas figuras nos muestran los gráficos de la densidad de reflexiones (Reflection Density) para los distintos receptores.

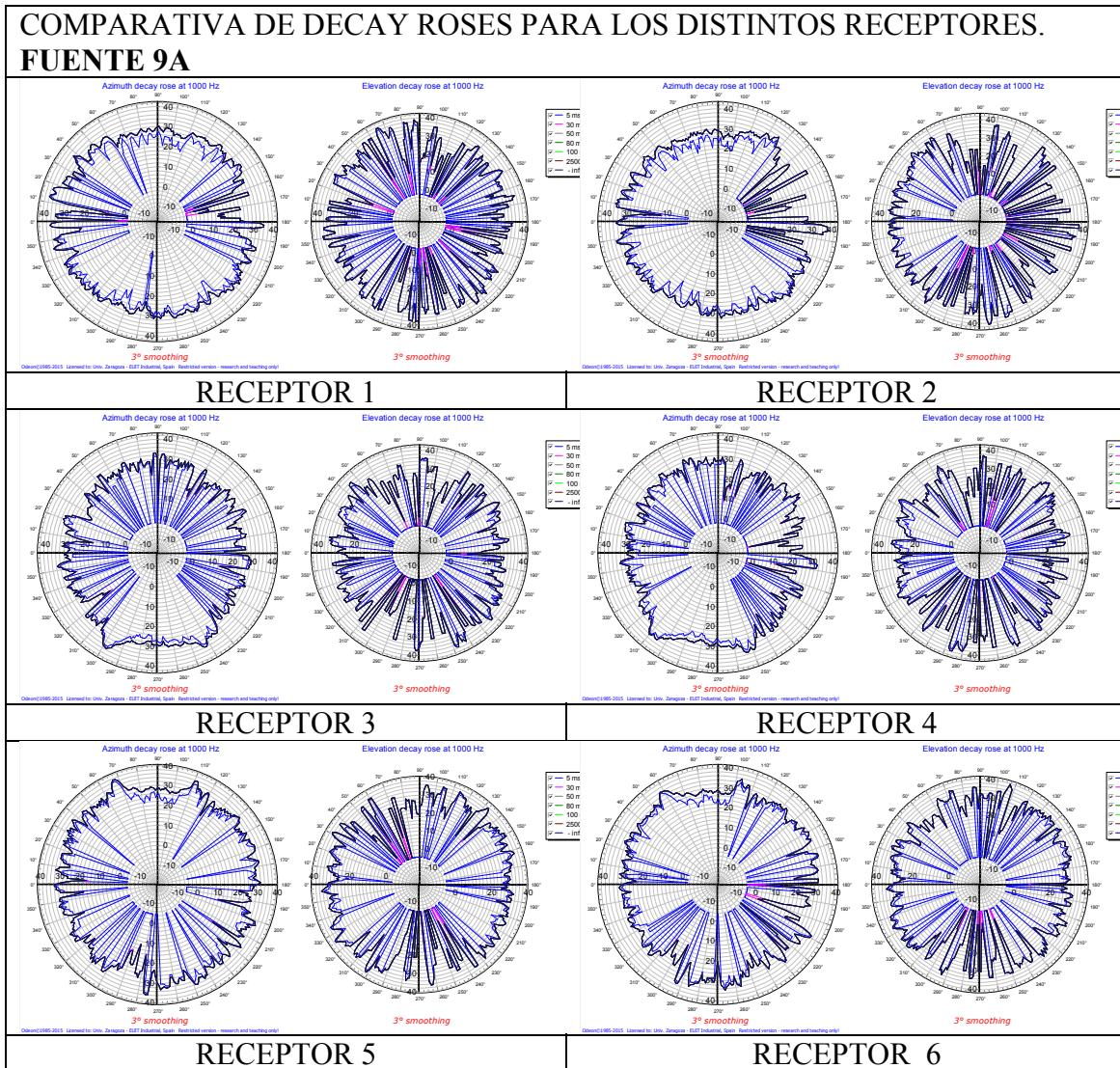
PERCEPCIÓN SONORA PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES (OÍDO IZQUIERDO/OÍDO DERECHO). FUENTE 6B



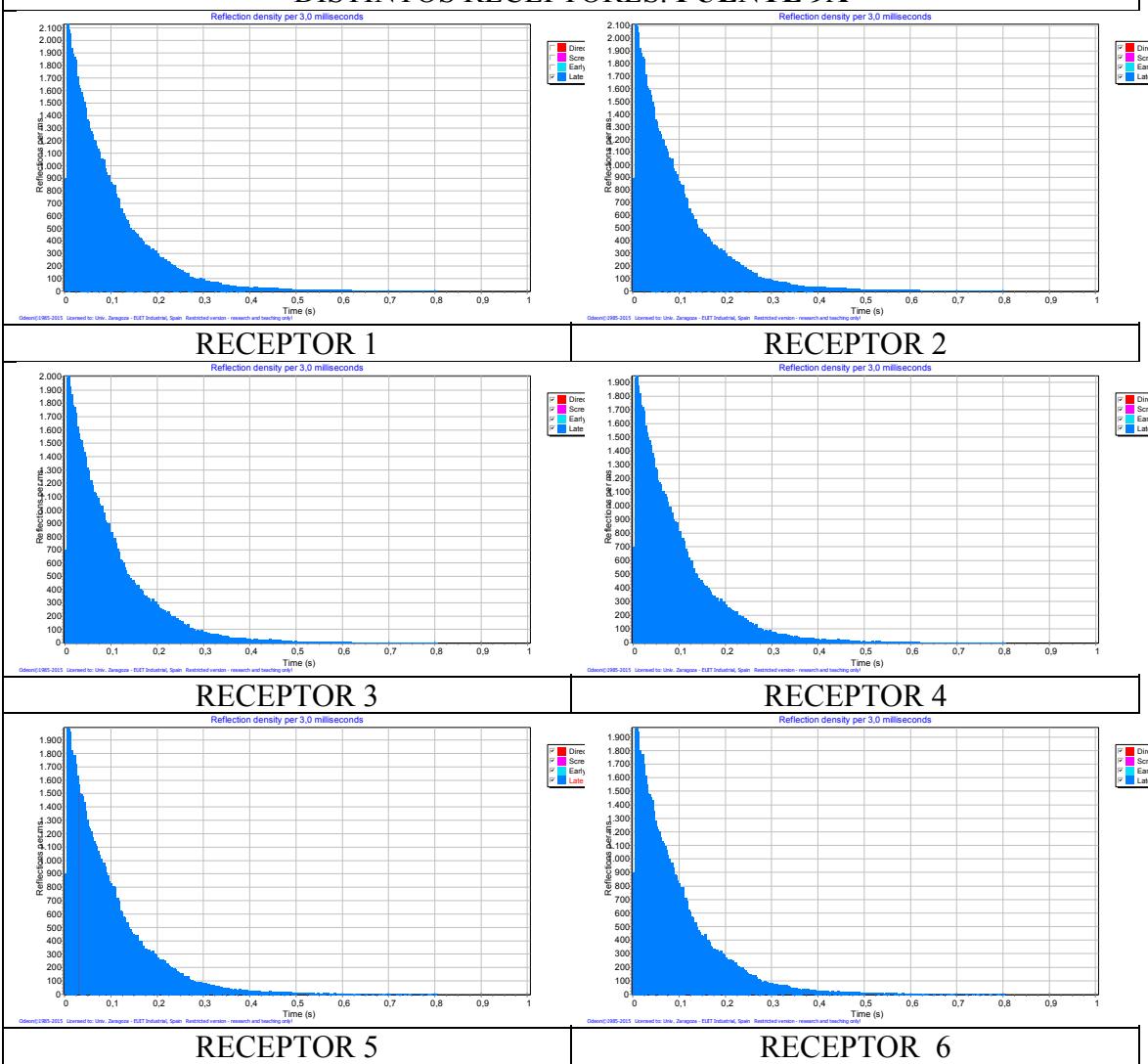
Percepción sonora

Este gráfico nos muestra la evolución temporal de la percepción sonora, considerando la vihuela como recinto, para los distintos receptores.

SIMULACIÓN CON LA FUENTE DEL ESPECTRO DE LA CUERDA 9A



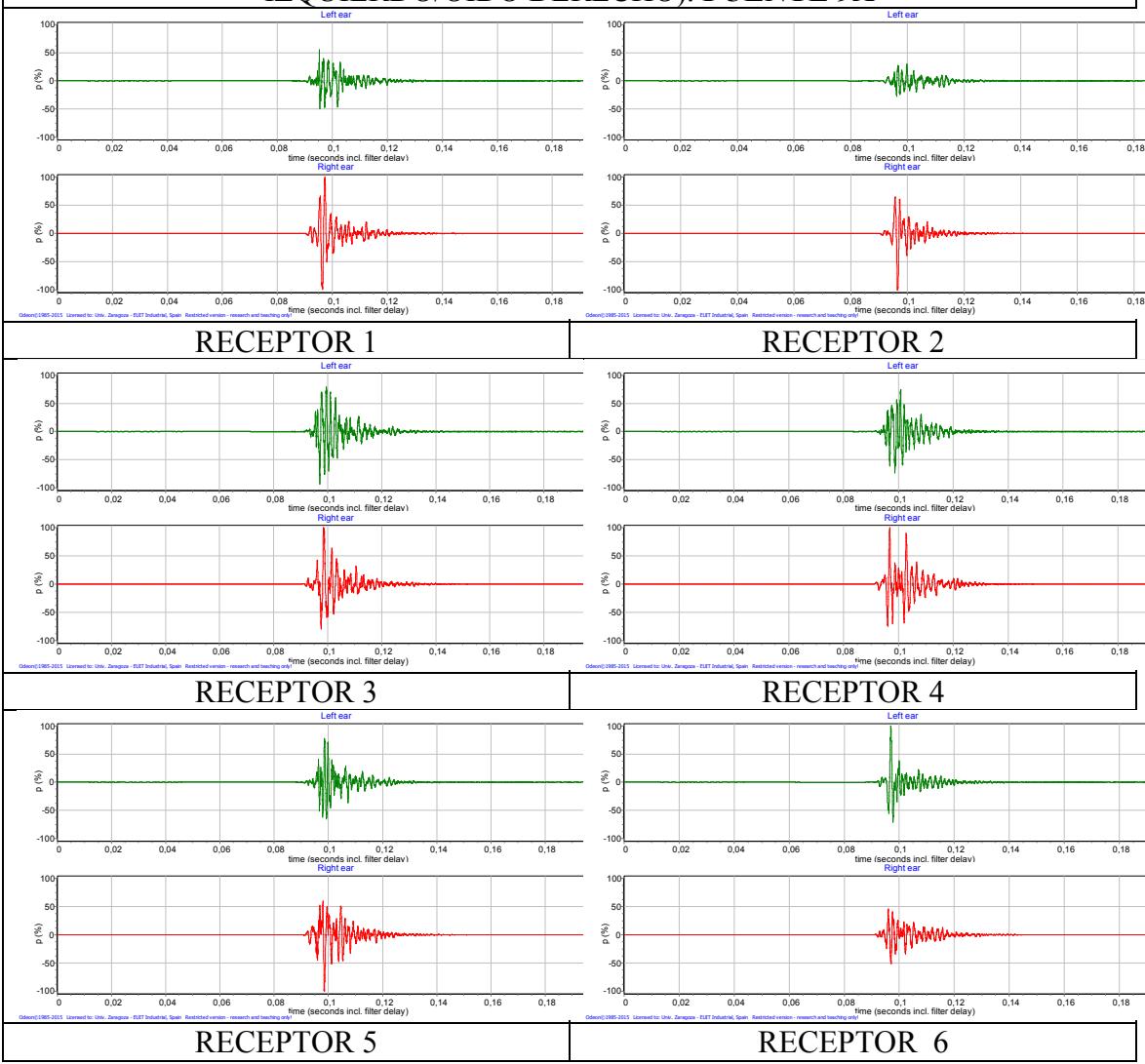
COMPARATIVA DE LA DENSIDAD DE REFLEXIONES /3,0 ms PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES. FUENTE 9A



Reflection Density (receptor i)

Estas figuras nos muestran los gráficos de la densidad de reflexiones (Reflection Density) para los distintos receptores.

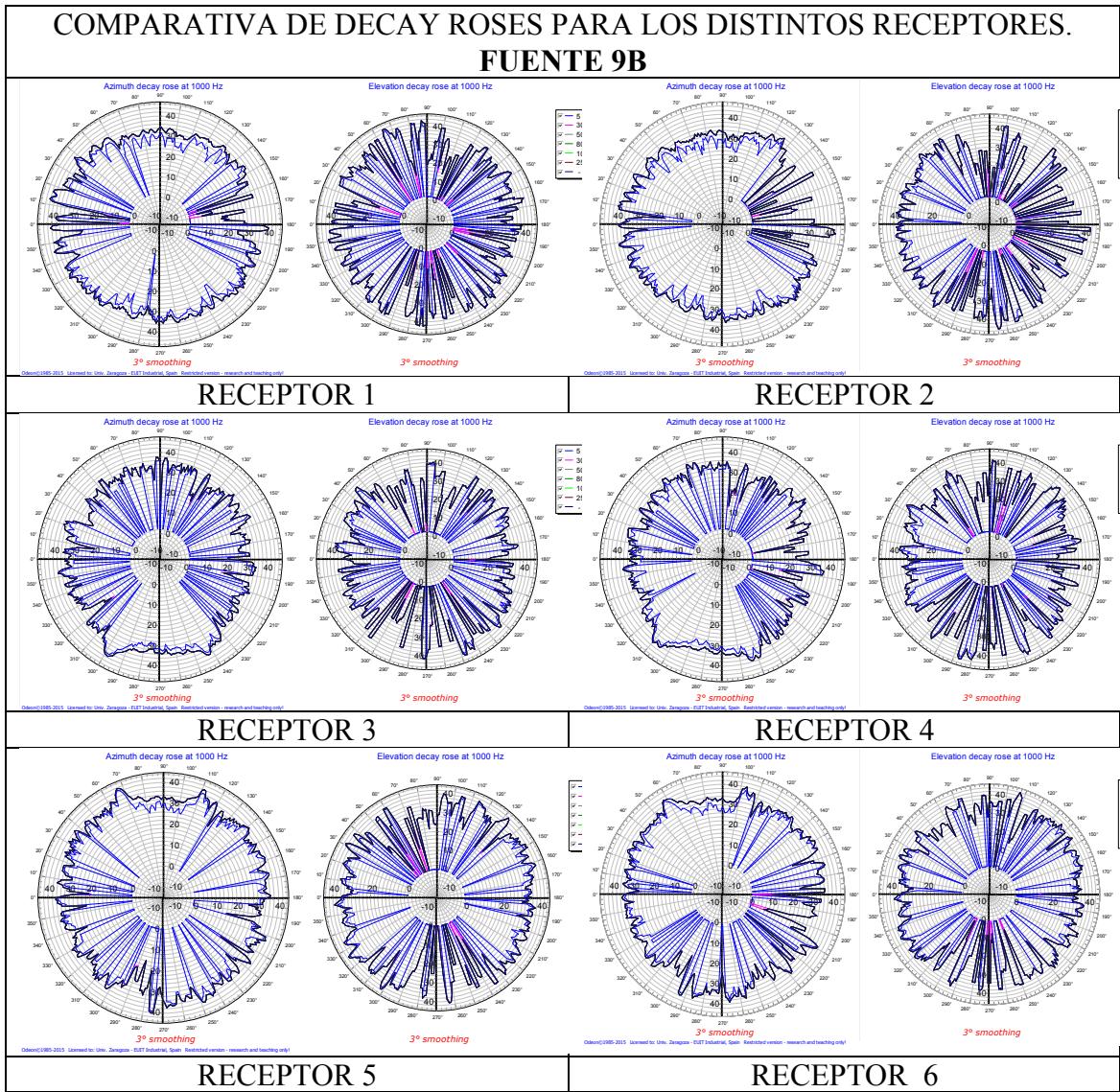
PERCEPCIÓN SONORA PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES (OÍDO IZQUIERDO/OÍDO DERECHO). FUENTE 9A



Percepción sonora

Este gráfico nos muestra la evolución temporal de la percepción sonora, considerando la vihuela como recinto, para los distintos receptores.

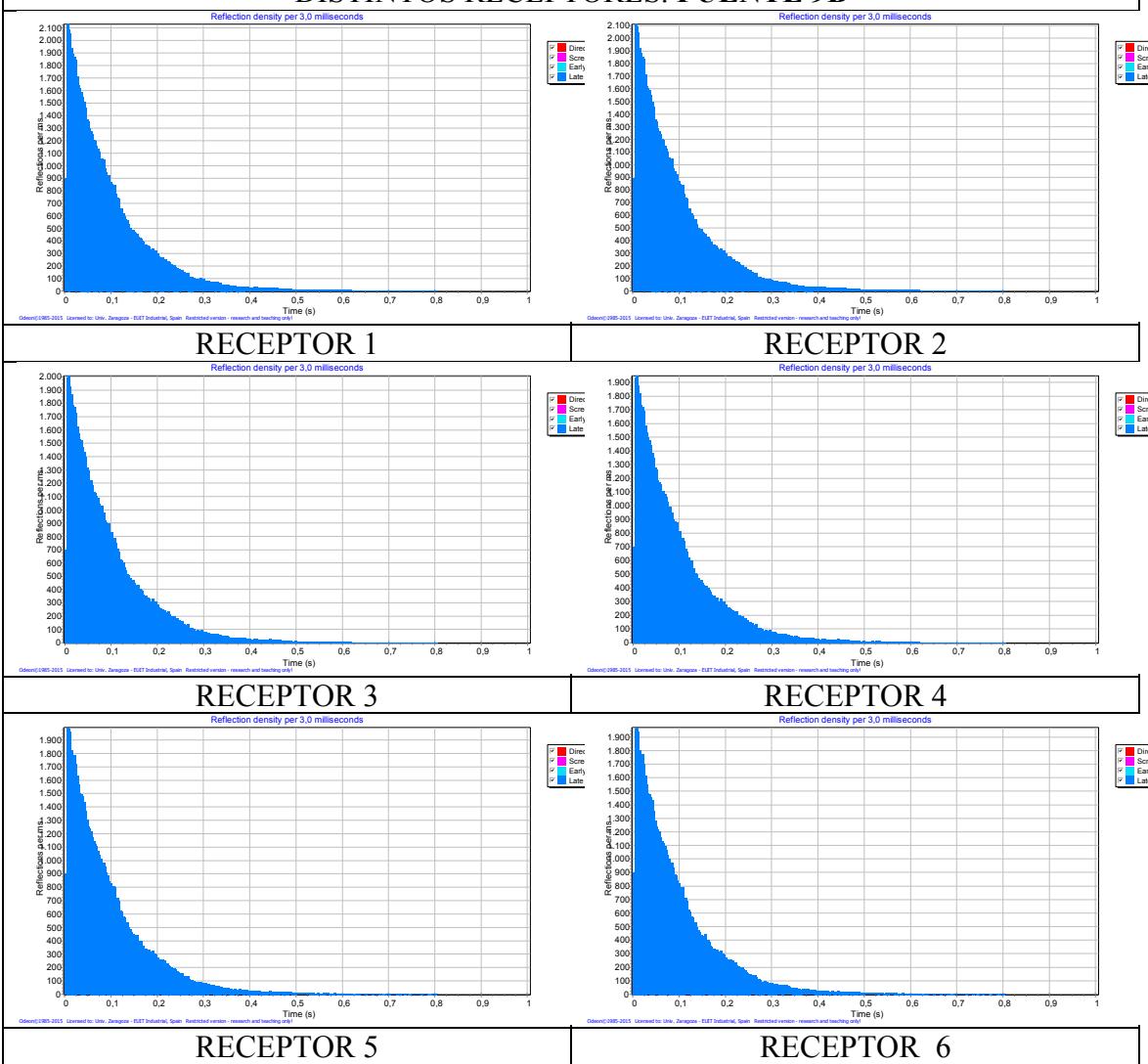
SIMULACIÓN CON LA FUENTE DEL ESPECTRO DE LA CUERDA 9B



Azimuth Decay Roses (receptor i)

Tomando como fuente de emisión el espectro de la cuerda **9B**, estos gráficos nos muestran la energía sonora que llega, a una frecuencia de 1000 Hz, en distintos intervalos de tiempo a cada uno de los 6 receptores ubicados en el interior de la vihuela y cómo se distribuye entorno al receptor. Estos datos nos permiten caracterizar la calidad y distribución espacial de las reflexiones entorno a cada receptor en función de la geometría de la vihuela considerada como recinto.

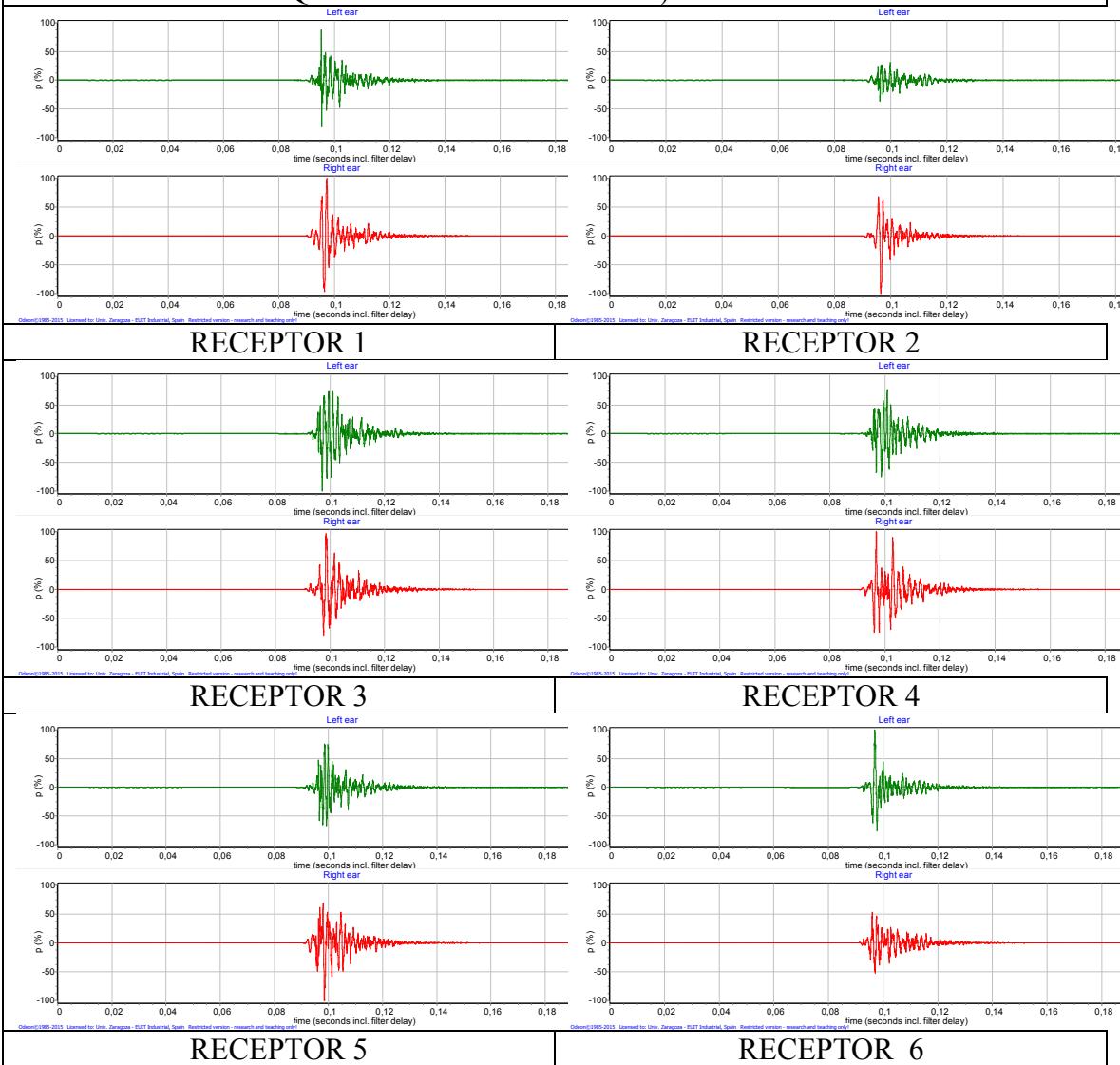
COMPARATIVA DE LA DENSIDAD DE REFLEXIONES /3,0 ms PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES. FUENTE 9B



Reflection Density (receptor i)

Estas figuras nos muestran los gráficos de la densidad de reflexiones (Reflection Density) para los distintos receptores.

PERCEPCIÓN SONORA PARA LOS DISTINTOS RECEPTORES (OÍDO IZQUIERDO/OÍDO DERECHO). FUENTE 9B



Percepción sonora

Este gráfico nos muestra la evolución temporal de la percepción sonora, considerando la vihuela como recinto, para los distintos receptores.

CONCLUSIÓN

A lo largo de los anteriores capítulos hemos estudiado el comportamiento acústico del cóncavo de la vihuela de arco. Para ello construimos un modelo 3D de la caja de resonancia del instrumento mediante escaneo digital por barrido láser, generando un fichero con la malla de puntos obtenida y posteriormente uniendo los puntos en áreas triangulares formando una réplica digital de la superficie de las bóvedas y demás detalles del instrumento.

Mediante experimentación con el modelo pudimos obtener los modos de vibración libre de la estructura, el análisis de la fuente de excitación en la base del puente, la distribución de las reflexiones dentro de la concavidad y la auralización sonora en ciertos puntos del interior del cóncavo. Esta simulación acústica interpreta el cóncavo de la vihuela como un recinto rígido resonante, como lo hacían los antiguos para establecer –mediante acústica de rayos– sus teorías y elaborar sus modelos. Si observamos los estudios de la reflexión espejada en superficies de sección cónica de recintos expuestos en el apartado 4.1.6, de autores como Cavalieri o Mersenne, nuestro estudio supondría un complejo y exhaustivo análisis del mismo comportamiento acústico. No obstante, en este caso se trataría de un recinto completo y tridimensional donde las reflexiones inciden en todo tipo de superficies, comprendiendo todas las reflexiones posibles, incluidas las que salen por los orificios de la caja. Este recinto correspondería con el de la vihuela de arco usada como modelo real al ser una copia escaneada digitalmente con tecnología de ingeniería de alta precisión.

Con los avances de la ciencia moderna sabemos que el fenómeno acústico es mucho más complejo que la visión que tenían los antiguos. Sin embargo, cabe la posibilidad de que, como se ha comprobado en el caso del estudio acústico de los teatros griegos mencionado en el apartado 4.1.6 (cita 365) y otros, los antiguos tuvieran algo de razón en obviar toda una serie de parámetros que influyen en el resultado y sacando como conclusión que las meras propiedades geométricas del diseño se bastan para garantizar un resultado acústico armónico. Un estudio de esta índole que tenga pleno rigor científico hoy día debería contemplar todos esos factores. Por otro lado, una simulación que tenga en cuenta todos los factores posibles como para considerar una medición con exhaustivo rigor científico, queda fuera del alcance y objetivos de la Tesis pudiendo, en todo caso, servir como punto de partida para nuevas líneas de investigación.

Desde el punto de vista de la acústica moderna, una concavidad funciona acústicamente como un resonador. No en vano, en los instrumentos de cuerda al cóncavo se le denomina «caja de resonancia». La función principal del resonador o caja de resonancia de una vihuela es la de amplificar, a partir del fenómeno de resonancia, el sonido producido por las cuerdas del instrumento. Las cuerdas, estando en tensión y sujetas al puente, transmiten la vibración –desde un punto de vista energético– a la caja de resonancia, excitando el complejo sistema que compone su estructura, en el que intervienen elementos como el diseño geométrico, las propiedades mecánicas de los materiales, las fuerzas, tensiones y elasticidad de las partes que la componen, características elásticas de la unión entre las piezas y otros. Es decir, que mediante la optimización y potenciación del proceso de transferencia de la energía vibratoria de las cuerdas

proporcionada por la caja de resonancia, la emisión sonora del instrumento se ve potenciada tanto cualitativa como cuantitativamente frente al efecto obtenido simplemente con las cuerdas aisladas.

Toda esta estructura compleja que conforma el cóncavo actúa pues como un resonador. Sin embargo, un resonador, además de amplificar el sonido fundamentalmente se comporta como un absorbente de determinadas frecuencias que se atenúan con distinta intensidad, es decir, funciona como una especie de filtro acústico. Una consecuencia muy importante de esta función de capacidad absorbente es que al discriminar unas frecuencias con respecto a otras, genera y reproduce un espectro frecuencial que resulta determinante en la caracterización acústica del resultado sonoro que produce el instrumento. Es decir que, como resultado global, mediante la doble función superpuesta filtro/resonador la información espectral trasmisida por la cuerda al cóncavo se ve afectada. De esta manera, ciertas frecuencias con determinada relación armónica se ven atenuadas entre ellas y como resultado, se ven potenciadas y amplificadas, mientras que otras frecuencias con menos relación armónica resultan amortiguadas, atenuadas o incluso anuladas, contribuyendo a crear la singularidad sonora característica del instrumento.

Con las herramientas de análisis por simulación propuestas en el precedente capítulo, y si las limitaciones tecnológicas –tanto de hardware como de software– no fueran un obstáculo técnico-económico, podríamos generar un modelo 3D de cualquier tipo de instrumento, colocar tantos receptores físicos como quisieramos en el interior del recinto del cóncavo y posicionarlos en cualquier lugar del mismo. Podríamos excitar el sistema con cualquier fuente sonora correspondiente a cualquier espectro sonoro deseado y medir la respuesta acústica del recinto, las características de los campos sonoros en cualquier lugar del interior del mismo, y mucho más.

En cualquier caso y como dijimos anteriormente, tal estudio estaría muy lejos de acercarnos al pensamiento de los antiguos y por lo tanto, a la comprensión de los artefactos creados por ellos que en este caso son sus instrumentos musicales. Constituyen el verdadero objeto de estudio de un musicólogo, que debe utilizar para ello los avances tecnológicos exclusivamente como herramientas que proporcionen los resultados más adecuados para comprender mejor el pasado dentro de las capacidades técnicas y de conocimiento disponibles en la época.

CONCLUSIONES GENERALES

Desde el punto de vista de un músico práctico, uno de los aspectos que más interesan en el estudio sobre un instrumento musical como la vihuela de arco es el de qué características tiene su sonido, es decir, cómo suena. Sin embargo el sonido, además de consistir en vibraciones mecánicas de las partículas de un medio, también es lo que percibimos subjetivamente de este fenómeno físico. Por tanto, el enfoque más adecuado para el estudio de este aspecto debe de tener en cuenta la percepción que del sonido de un instrumento de otra época tenían quienes por entonces vivían (oyente, músico, o constructor de vihuelas). El sonido que nosotros percibimos de un instrumento antiguo está condicionado por la influencia de factores que no existían por aquel entonces en términos de timbre, volumen, color, y otros, que distorsionan la adecuada percepción de su peculiaridad sonora. En el estudio del sonido de una vihuela de arco, por tanto, es vital determinar qué factores influyen y son decisivos para la caracterización de su sonido, según la información que tenemos de la estética y la opinión de los músicos de la época a la que pertenece dicho instrumento.

Dos de los factores decisivos en la formación del sonido de una vihuela, como vimos en los capítulos 3 y 4, son las cuerdas y la reflexión del sonido en el interior del cóncavo. A lo largo de su estudio, hemos visto qué características tenían dichas cuerdas y cómo se producía la reflexión del sonido en el cóncavo, según información de fuentes de la época. Ya que la conservación de instrumentos originales es prácticamente inexistente, la única manera de aproximarse al sonido de una vihuela de arco antigua es mediante su reconstrucción. Hay que reproducir o recrear las condiciones con todos los factores posibles de manera contextualizada, respetando los criterios estéticos antiguos y efectuando una simulación de su comportamiento acústico.

La metodología adecuada para comprobar la validez de los resultados de dicha simulación sería la que estuviera basada en los criterios y conocimiento científico de los individuos del pasado. Es importante no perder de vista que estas condiciones de conocimiento teórico fueron las bases que dieron lugar a la específica manera de construir los instrumentos musicales y, por tanto, les otorgaron su peculiar característica sonora.

Un factor decisivo en la formación del sonido de una vihuela son las cuerdas. Se ha podido apreciar, a través de la información extraída de las fuentes históricas relativa a las cuerdas de las vihuelas, que éstas se fabricaban con tripa de animal ovino lavada, torsionada y dejada secar, y que diferentes tipos de tripa (animal específico, edad, procedencia, etc.) eran usados para elaborar diferentes tipos de cuerdas que tenían unas características u otras condicionadas por las prestaciones necesarias para cada función y uso específico. Existían al menos tres tipos de cuerdas: uno particular para los registros agudos, otro para registros medios y otro para los graves, adaptados de forma específica en función de sus propiedades de elasticidad y rigidez. Los instrumentos se encordaban con esmero y cuidado para un óptimo funcionamiento relativo en todos sus registros, denotando una especial atención a criterios como la homogeneidad, la armonía y la proporción.

Las mediciones realizadas con sonómetro analizador para diferentes tipos de cuerdas de tripa –elaboradas según las instrucciones extraídas de documentación de época– demuestran de manera objetiva que este tipo de cuerdas produce un espectro armónico rico en frecuencias que guardan ciertas proporciones entre sí, incluyendo además algunas, por ejemplo las de 30, 40 o 17.000 Hz. que apenas distingue el oído humano. Además, estas características acústicas conforman cierta regularidad vibratoria y armonicidad del espectro que otorgan a estas cuerdas su particular peculiaridad sonora.

Buena parte de las frecuencias que componen el espectro armónico de los sonidos que escuchamos no son captadas inteligiblemente por nuestro oído. Sin embargo, no sólo las podemos percibir por otros medios –como a través de la percepción sensorial de las vibraciones mecánicas que conforman el sonido–, sino que contribuyen de manera decisiva a la formación de las características de dichos sonidos en cuanto a su calidad, timbre o color.

Teniendo en cuenta que las cuerdas son el cuerpo elástico que pone en movimiento, mediante la excitación de las maderas del instrumento, las partículas de aire cuya vibración mecánica conforma el sonido que nosotros percibimos, las mencionadas características acústicas de las cuerdas de tripa son un condicionante esencial en el resultado sonoro de las vihuelas. En particular, la intervención de la fricción de las crines del arco en la excitación de la cuerda es un factor muy a tener en cuenta en el caso de las vihuelas de arco.

Otro elemento decisivo en la formación del sonido de una vihuela es la reflexión de las ondas sonoras en el interior de su caja de resonancia. El conocimiento que los individuos de antaño tenían de este fenómeno estaba basado en dos aspectos: por un lado en un planteamiento analítico basado las leyes de la reflexión (acústica de rayos), que dependían de las propiedades geométricas de los recintos –establecidas por Euclides, Aristóteles y otros sabios antiguos– y por otro lado, en un planteamiento experiencial al percibir sensorialmente las vibraciones (comportamiento de respuesta vibratoria) del instrumento. Como vimos en el apartado 4.1, mediante estas leyes estos autores describen el comportamiento de una masa de aire encerrada en un recinto cóncavo construido con maderas apropiadas para el óptimo funcionamiento acústico, donde las ondas sonoras producen reflexiones al rebotar en las lisas paredes cóncavas del recinto, cuya forma obedece a determinadas secciones cónicas, tras haber sido excitadas por la vibración de las cuerdas.

La caja de resonancia del instrumento es una concavidad que cumple la doble función superpuesta de resonador y absorbente, es decir, la de amplificar el sonido generado por la interacción entre las frecuencias sonoras de excitación generadas por la vibración de las cuerdas (transmitida al complejo sistema que compone su estructura), y las denominadas frecuencias naturales del instrumento. Estas últimas están asociadas a una compleja interacción entre las características mecánico-estructurales del instrumento (las propiedades de los materiales, tensiones y elasticidad, etc.), y el diseño geométrico del mismo. Como ya se ha apuntado el cóncavo, además de amplificar el sonido, fundamentalmente se comporta como un absorbente de frecuencias que funciona como una especie de filtro acústico; de forma que al atenuar y potenciar determinadas frecuencias, genera un espectro que resulta determinante en la caracterización acústica del instrumento. Dicho de otra forma, en el interior del cóncavo se producen reflexiones de las ondas sonoras que, en virtud de las características de los materiales

y el diseño geométrico de la concavidad, se van amplificando o absorbiendo de forma que finalmente, el cóncavo reproduce un espectro de frecuencias seleccionadas que conforman la característica sonora final del instrumento.

Puesto que las vibraciones de las partículas de aire transmiten la energía y la información del espectro de frecuencias que forman el sonido, el comportamiento de las vibraciones que se produce en la masa de aire encerrada en el cóncavo de una vihuela, también es decisivo en la formación del sonido que produce dicho instrumento. El cóncavo, al estar limitado por los aros, el fondo y la tapa armónica que conforman, por así decir, las paredes, suelo y tapa del recinto, influye determinantemente en la formación del sonido tanto por su diseño particular como por las características de las maderas, la forma y la textura de la superficie que conforman los lados del cóncavo. Estos elementos que caracterizan su composición, tras las sucesivas reflexiones de las ondas sonoras, acaban filtrando las frecuencias multiplicando y haciendo predominantes a unas y absorbiendo a otras. Por este motivo, sometimos el cóncavo de la vihuela a un escaneo en 3D que permitió generar un fichero digital con la información para poder proceder a una simulación del comportamiento acústico del instrumento, bajo la hipótesis de recinto rígido basada en la acústica de rayos, en el interior del modelo del cóncavo. Para una adecuada contextualización con el objeto de estudio, partimos de la hipótesis de comportamiento del cóncavo del instrumento como un recinto rígido y resonante, que es la que se ajusta fielmente al conocimiento analítico sobre el que se basaban las teorías de los antiguos, siendo nuestro interés el de comprender un objeto creado por ellos, según los conocimientos y la tecnología de la que disponían.

Los resultados de los experimentos sobre el recinto del cóncavo realizados en los apartados 6.2 y 6.3, demuestran que la caja de resonancia de la vihuela de arco respondía de manera muy diferente a los estímulos vibratorios, tanto en los modos de vibración de la estructura del cóncavo (punto 6.3.2.2) como en las reflexiones del campo sonoro (puntos 6.2.1, 6.3.2.4 y 6.3.2.5), dependiendo de la naturaleza de la fuente sonora (espectro sonoro de excitación asociado a las cuerdas) o la distribución espacial del campo acústico en el interior del recinto en un tiempo determinado, otorgando así al instrumento unas características acústicas diferenciadas y específicas.

Las conclusiones extraídas de estos experimentos sobre las características acústicas de las cuerdas de tripa y la reflexión del sonido en el cóncavo de la vihuela de arco, contrastados y apoyados por la información sobre estos temas extraída de las fuentes históricas, contribuyen a elaborar una mejor idea de cómo pudieron sonar estos instrumentos musicales en el pasado, y abren una nueva vía de investigación sobre aspectos esenciales en la interpretación de la práctica musical con instrumentos antiguos.

Muestras de estos resultados aplicados a la interpretación de vihuelas de arco con diseño geométrico del cóncavo descrito en el apartado 4.3 y utilizando las mencionadas cuerdas de tripa, se pueden escuchar en algunas de mis grabaciones publicadas y que figuran en la bibliografía (OG0307, LMG2097, QTZ2075, QTZ2112). También los ejemplos de audio adjuntos en el material sonoro de los Anexos (Materiales en soporte CD, punto 10.5).

APÉNDICE: CITAS EN FUENTES LITERARIAS

I. DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL SONIDO EN LA CUERDA

[1] *Descripción de la producción del sonido en la cuerda*

URBEVETANUS, Ugolinus, *Declaratio musicae disciplinae*, L. v, cap. VIII, *De soni diffinitione*, ed. Albert Seay, *Corpus Scriptorum Musicae*, 7, Roma, American Institute of Musicology, 1959-1962, pp. 109-112.

Capitulum VIII

De soni diffinitione [109]

Tertio nervus instrumentalis seu corda aliquando est intensus, aliquando lassus voluntate ponentis, qui quanto tensior fuerit celerius tremit, et in unoquoque motu aerem ferit semper, et quanto motus eius velocior, tanto tremor eius celerior. Si vero nervus vel corda lassus fuerit raro movetur et per consequens raro tremit [...].

et ex hac cordae seu nervi velocitate contingit alicuius cordae seu nervi instrumentalis interdum motum esse spissum, quoniam ad motus velocitatem eius sequitur spissitudo, omnis enim motus velox spissus est.

[...].

Sexto intensio cordae seu nervi instrumentalis est causa acuti soni, [...].

[110] Septimo alicuius instrumenti contingit sonum esse gravem. Patet hoc quia contingit motum cordae seu nervi instrumentalis esse tardum interdum, igitur talis motus causabit sonum gravem. Tenet hoc quia tarditas motus cordae seu nervi est causa gravis soni, [...].

Undecimo corda seu nervus instrumentalis tensus vel lassus movetur motu pulsus plectro adhibito. Talis autem corda vel nervus non movetur unico motu sed pluribus quia corda seu nervus instrumentalis movetur et non movetur unico motu sed pluribus motibus. Probatur hoc quia in tali motu celeri tremit, et per consequens non unico motu movetur sed pluribus, ut dictum est superius.

[111] Duodecimo percussio aeris circumdantis cordam seu nervum pulsos causata ab his non est una. Patet hoc quia motus ipsorum non est unus, postquam quando movetur motu pulsus tremit. Talis autem percussio aeris sic circumdantis cordam seu nervum pulsos est per plures percussionses. Patet hoc quia, scilicet, quando corda seu nervus movetur tremit celerius, et in unoquoque motu earem ferit semper, et per consequens percussionses erunt multae.

Tertiodecimo quotiens cordae seu nervi instrumentales pulsi tremebundi percusserint aerem, totiens aer percutitur. Hoc enim probatione non indiget quia est Boetii primo suae musicae capitulo tertio ad litteram inquit enim: Totiens aer feritur quotiens eum corda tremebunda percusserit. Hi autem nervus et corda sonum causant a causatis percussionibus procedentem.

Quartodecimo cordae seu nervi instrumentales tensi vel lassi pulsi non causant unum sonum simplicem. Patet hoc quia motus eius est tremebundus ratione cuius causantur multae percussionses, et cum quaelibet ipsius percussio saltem notabilis causet sonum, sequitur quod non causabunt unum sonum simplicem, igitur, et cetera. Causant igitur talis cordae et nervi instrumentales pulsi sonum compositum. Patet hoc quia velocitates sonorum sunt multae et iunctae ad invicem quamvis intercapedo earum auribus non occurrat.

[...]

Ad hoc breviter respondetur quod velocitates sunt ita iunctae quod non potest fieri discretio, cum videantur quasi continue.

Quintodecimo sonus instrumentalis causatus mediante corda seu nervo instrumentalibus potest immutare sensum. Patet hoc quia sonus est obiectum auditus. Sonus autem simplex instrumentalis medianibus corda seu nervo instrumentalibus causatus non potest immutare organum [112] sensus auditus. [...].

Sed sonus instrumentalis compositus causatus mediante corda instrumentalis vel nervo potest immutare sensum auditus, quia sonus est obiectum auditus, non autem simplex sonus cum nullus talis sit saltem per se. Sonus acutus compositus componitur ex sonis celeribus et spissis. Sonus gravis compositus componitur ex tardioribus et rarioribus.

Traducción:

Capítulo VIII

De la definición del sonido (109)

Tercero. La cuerda, o nervio del instrumento unas veces puede estar tenso o no, de acuerdo con la voluntad de quien lo coloca, pues cuanto más tenso esté más rápidamente vibra, pues en cada movimiento, siempre afecta al aire, y cuando más veloz sea el movimiento, la vibración será más rápida (aguda), pero si la cuerda está floja rara vez mueve el aire, y por consiguiente poco tremola (vibra) [...]. Y de la velocidad de las cuerdas o nervios del instrumento resulta que sus vibraciones serán más finas (sonido más alto), pues ello depende de la velocidad del movimiento, ya que cuanto más vibre, más alto resultará. [...].

Sexto. La mayor tensión de la cuerda o nervio instrumental producirá un sonido más agudo. [...].

(110) *Séptimo.* Puede suceder que el sonido de un instrumento sea grave (bajo). Esto ocurre porque el movimiento de la cuerda o nervio instrumental es lenta a veces, lo que provoca que su sonido sea grave, pues la lentitud del movimiento hace que el sonido sea grave. [...].

Undécimo. La cuerda o nervio instrumental tenso o relajado se mueve por la pulsación del plectro que se use. Sin embargo, tal cuerda o nervio no se mueve por un solo movimiento, sino múltiple, que la cuerda o nervio se mueve o no se mueve por un solo movimiento, sino por múltiples movimientos, lo prueba el que en tal movimiento vibra rápido, por consecuencia no solo mueve un único movimiento, sino múltiples, como ya hemos dicho más arriba.

(111). *Duodécimo.* La percusión del aire circundante al nervio o cuerda del instrumento causada por las pulsaciones ejercidas en ellos, no es única. Es evidente que el movimiento ejercido sobre ellos no es uno solo, ya que cuando se les pulsa vibran. Tal percusión del aire de golpes circundantes a la cuerda o nervio es por múltiples percusiones. Se prueba porque cuando las cuerdas o nervios son percutidos más rápidamente vibran, y cada vibración provocada en ellos siempre repercute en el aire y por consiguiente las percusiones han de ser muchas.

Decimotercero. Cada vez que las cuerdas o nervios son pulsados hacen vibrar siempre el aire. Ello no necesita demostración porque el mismo Boecio en el *libro primero capítulo tercero de su Libro sobre la Música*, dice: «Cada vez que el aire vibra se debe a que han sido pulsadas las cuerdas o nervios del instrumento que les han hecho vibrar. Los nervios y cuerdas dan origen al sonido debido a las percusiones que antes han recibido».

Decimocuarto. Las cuerdas o nervios del instrumento, tensados o relajados no producen un sonido simple, y está claro porque su movimiento es tembloroso (tremolante) debido a las muchas pulsaciones que han recibido, y como cualquier percusión en ellos con fuerza suficiente causa sonido, es evidente que no causan un solo sonido simple, y de la misma manera las demás. Producen, pues, un sonido compuesto (prolongado), ya que las velocidades de los sonidos son muchas y muy unidas entre sí aunque en los oídos no se capten.

[...] Brevemente podemos decir a todo esto que siendo las velocidades del sonido tan seguidas que no es posible contarlas, porque se las oye como un sonido continuado.

Decimoquinto. El sonido instrumental producido por la cuerda o nervio instrumental puede mover el sentido del oído. Consta porque el sonido es el objeto de sentido del oído. Un sonido simple instrumental producido por la cuerda o nervio no puede hacer vibrar (112) al tímpano [...]. Pero el sonido compuesto producido por la cuerda o nervio instrumental puede mover [con-mover, hacerse sensible al] el sentido del oído porque el sonido es el objeto del sentido del oído, cosa que no sucede por el producido por el sonido simple, pues, de suyo, es nulo. El sonido agudo compuesto se debe a que se produce por muchos sonidos rápidos y repetidos. El sonido grave compuesto es producido por más lentos y espaciados.

II. CONCLUSIONES SOBRE EL EFECTO QUE CAUSAN EN EL SONIDO LOS DIFERENTES ASPECTOS DE GROSOR Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CUERDAS DE TRIPA

[1] *Conclusiones sobre el efecto que causan en el sonido los diferentes aspectos de grosor y características de las cuerdas de tripa.*

URBEVETANUS, Ugolinus, *Declaratio musicae disciplinae*, L. v, cap. IX, *De cordarum seu nervorum instrumentalium subtilitate et grossitie*, ed. Albert Seay, *Corpus Scriptorum Musicae*, 7, Roma, American Institute of Musicology, 1959-1962, pp. 112-118.

Capitulum IX

De cordarum seu nervorum instrumentalium subtilitate et grossitie

[...] uniformiter difformiter appetet in nervis contortis uniformiter difformiter [...] [114]

Latitudo uniformiter difformis est latitudo cuius est aequalis excessus graduum inter se aequedistantium. [...].

Prima conclusio, nervus instrumentalis subtilis et uniformis motus velociter per medium resistantiae uniformis causat sonum acutum.

[...] per aerem, causat sibilations, [...], tanto sibilations magis acutae. [...] quanto nervus fuerit subtilior tanto sonus magis acutus

[...] Secunda conclusio, nervus instrumentalis subtilis et difformis motus velociter per medium resistantiae uniformiter difformis causat sonum minus acutum quam si duceretur per medium resistantiae uniformis.

[...]

[115]

Septima conclusio, nervus instrumentalis uniformiter difformis subtilis et motus velociter per medium resistantiae uniformis causat sonum [116] remissioris acuminis quam uniformis nervus subtilis et motus velociter per medium resistantiae uniformis. Patet conclusio quia ratione difformitatis movetur remissiori gradu motus per illud medium quam si esset medium uniformis, igitur motus eius non erit ita tremebundus, et per consequens pauciores percussionses aeris, unde sonus remissioris acuminis.

[...] semper praesupponitur aequalitas tensionis [...].

Decima conclusio, nervus instrumentalis difformiter difformis subtilis et motus velociter per medium resistantiae uniformis causat sonum certae et remissae gravitatis. Patet conclusio quia ratione difformitatis difformis fit maior resistantia, et motus ipsius minoris intensionis et minus tremebundus et pauciores medii percussionses aliqualiter obtuse.

[117]

Nunc loquendum est de cordis grossis pro quibus sit prima conclusio. Corda vel nervus instrumentalis grossus et uniformis motus tarde per medium resistantiae uniformis et lassus causat sonum acutum.

[...]

Secunda conclusio, nervus instrumentalis grossus et lassus et uniformis motus tarde per medium resistantiae uniformiter difformis causat sonum minus gravem seu minoris gravitatis intensivae. Patet conclusio quia ex resistantia difformi motus est tardus minusque tremit et pauciores percussionses medii, scilicet, aeris fiunt quia sonus erit minoris gravitatis intensive quam si idem moveretur ceteris paribus per medium resistantiae uniformis; hoc etiam docet experientia.

Tertia conclusio, nervus instrumentalis grossus et lassus et uniformis motus tarde per medium resistantiae difformiter difformis causat sonum gravem. Patet conclusio ex praemissis et maxime ex sensatis, nam ex resistantia medii difformiter difformiter resistentis et ex grossitie nervi fit motus tardus

et remissus et minus tremit, quare paucae percussionses fiunt, et per consequens sonus gravis, ut patet ex praemissis subtiliter advertenti. [...]

Quinta conclusio, nervus instrumentalis lassus et uniformiter difformis in grossitie motus tarde per medium resistantiae uniformiter difformis causat sonum gravem, supposita aequali in tensione vel remissione motus ipsius. Patet conclusio propter difformitatem nervi et etiam resistantiae deducendo secundum modum procedendi in probationibus antescryptis.

[...]

Sexta conclusio, nervus instrumentalis lassus et uniformiter difformis in grossitie motus tarde per medium resistantiae difformiter difformis causat sonum graviorem et maioris gravitatis quam si idem moveretur per medium resistantiae uniformiter difformis [...] Ista conclusio patet quia propter resistantiam medii difformiter difformem, et difformitatem nervi fit motus magis tardus minusque tremebundus, quare pauciores percussionses aeris, cum maior fit resistantia in divisione medii et per consequens sonus gravior praedictis.

[...]

Nona conclusio, nervus instrumentalis lassus et difformiter difformis in grossitie motus tarde per medium resistantiae difformiter difformis causat sonum gravissimum ad bonum intellectum et respectu praedictorum. Patet conclusio propter resistantiam difformiter difformem ex parte medii etiam quia grossitatem nervi difformiter difformem, qua propter motus magis tardus in comparatione respectu praedictorum et minus tremebundus et multo pauciores percussionses medii, igitur sonus magis gravis ceteris in respectu praedictorum omnium.

Traducción:

Capítulo IX.

Sobre el grosor o delgadez de las cuerdas o nervios instrumentales.

[...] la *uniformiter difformiter* aparece en los nervios retorcidos uniformemente deformes. [...] (114).

El grosor uniformemente deform (uniformiter difformis) es aquel cuyo calibre es igual a los grados que equidistan entre sí.

[...]

Conclusión primera. El nervio instrumental fino (delgado) y de velocidad de movimiento uniforme, por medio de una resistencia uniforme, produce el sonido agudo.

[...] En el aire produce silbidos, [...] que tanto más agudos serán cuanto más fino sea el nervio.

Segunda conclusión. El nervio instrumental fino y deform con movimientos rápidos por medio de una resistencia uniformemente deform, produce un sonido menos agudo que el que se lograse mediante una resistencia uniforme. [...]

(115)

Séptima conclusión. El nervio instrumental uniformemente deform delgado con movimientos rápidos por medio de una resistencia uniforme (116) produce un sonido más tenue que el nervio uniforme fino y con rápido movimiento por medio de una resistencia uniforme. Es clara esta conclusión porque a causa de la deformidad mueve en menor grado que si fuera uniforme, su movimiento no será tan tremolante, y por consecuencia se darán un menor número de percusiones en el aire, de donde es el sonido menos acentuado (más tenue).

[...] Se presupone que la tensión siempre es igual. [...].

Décima conclusión. El nervio instrumental deformemente deform delgado y con movimiento rápido por medio de una resistencia uniforme produce un sonido de cierta y suave gravedad. Esta conclusión nace de que la deformidad deform tiene una mayor resistencia y su movimiento alcanza menor intensidad y es menos tremolante y las percusiones resultan más pobres.

(117) Ahora vamos a hablar de las cuerdas gruesas sobre las cuales damos *la primera conclusión*. Las cuerdas o nervios instrumentales gruesos y de movimiento uniformemente lento por medio de una resistencia uniforme y débil producen un sonido agudo.

[...]

Segunda conclusión. El nervio instrumental grueso y flojo y de movimiento uniforme lento por medio de una resistencia uniformemente deformé produce un sonido menos grave o de gravedad menos profunda. Se debe esta conclusión a que por la resistencia deformé el movimiento es más lento, tremola menos, y produce pocas percusiones del medio, a saber, del aire, que hacen que el sonido sea de menos intensidad grave que si se moviera con igual velocidad por medio de una resistencia uniforme. Esto nos lo dice la experiencia.

Tercera conclusión. El nervio instrumental grueso y flojo y de movimiento uniforme lento, por medio de una resistencia deformemente deformé, produce un sonido grave. Esta conclusión nace de las premisas y mayormente sensatas, pues de una resistencia del medio deformemente deformé resistente y del grosor del nervio se logra un movimiento lento y cansino por lo que tremola menos, ya que se dan pocas percusiones y consiguientemente el sonido es grave, como puede captar uno que se fije atentamente.

[...]

Quinta conclusión. El nervio instrumental relajado y uniformemente deformé en su grosor y movimiento lento, por medio de la resistencia uniformemente deformé causa un sonido grave, supuesta la igual tensión y retraso de su mismo movimiento. Se debe esta conclusión a la deformidad del nervio y también a la resistencia, deduciendo según el modo de proceder en las pruebas anteriormente expuestas.

[...]

Sexta conclusión. El nervio instrumental relajado y uniformemente deformé en grosor se mueve lento. Por medio de la resistencia deformemente deformé causa un sonido grave y de mayor gravedad que si él mismo fuera movido por una resistencia uniformemente deformé [...] Sacamos esta conclusión de que debido a la resistencia del medio deformemente disforme, y a que la deformidad del nervio hace un movimiento más lento y menos tremolante, causa pocas percusiones en el aire y siendo mayor la resistencia provocada por la división del medio y por consecuencia produce un sonido más grave.

[...]

Novena conclusión. El nervio instrumental flojo y deformemente deformé en grosor y movimiento lento, por medio de la resistencia deformemente deformé causa un sonido muy grave al buen entendimiento de acuerdo con lo ya dicho. [...] Esta conclusión se hace manifiesta debido a la resistencia deformemente deformé por parte del medio, porque el calibre grueso deformemente deformé lo mismo que por parte del medio, también debido al grueso calibre del nervio deformemente deformé por la que los movimientos resultan más lentos en comparación respecto de los ya dichos, y menos tremolantes y mucho más escasas la percusiones del medio, y por eso el sonido es más grave que los demás de acuerdo a lo ya predicho.

BIBLIOGRAFÍA

FUENTES PRIMARIAS

- AFRICANUS, Constantinus, *Opera Medica* (ca. 1070), ed. Basilea, Henricus Petrus, 1536.
- AGRICOLA, Martin, *Musica Instrumentalis Deudsche*, Wittemberg, Georg Rhau, 1528.
- ALBERTUS MAGNUS, *Opera Omnia* (s. XIII), ed. P. Jammy, Lugduni, 21 vols., Lyon, sumptibus C. Prost, 1651.
- , *De anima*, Venecia, Reynaldus de Novimadio, 1481.
- ALFONSO X EL SABIO, *General Estoria* (ca. 1270-1284), ed. Pedro Sánchez-Prieto Borja., 2 vol., Madrid, Biblioteca Castro, 2001.
- ANGLICUS, Bartholomaeus, *De proprietatibus rerum* (ca. 1250), Oxford, Bodleian Library, MS Bodley 749 (2771), ed. Giovanni Tomaso Favio, Toledo, Gaspar de Ávila, 1529.
- , *On the Properties of Things*, 3 vols., ed. John de Trevisa, Oxford, Clarendon Press, 1975-1988.
- ANÓNIMO, *Secretum Philosophorum* (s. XIII), Cambridge, Trinity College, MS 0.1.58 (s. XV), f. 92v.
- ARCIPRESTE DE HITA, Juan Ruiz, *Libro de buen amor* (ca. 1351), ed. Lidia Pons y Joaquín Fontanal, Gerona, Hijos de José Boch, 1976.
- ARISTÓTELES, *De Anima* (s. IV a. C.), ed. Iul. Pacio a Beriga, 3 vols., Frankfurt, Danielem ac Davidem Anbrios et Clementem Schleichium, 1621.
- ARQUÍMEDES, *De conoidibus et sphaeroidibus* (s. III a. C.), ed. tr.: *Archimedis Opera non nulla a Federico Commandino urbinate nuter in latinum conversa et commentariis illustrata*, Venecia, Paolo Manutio, 1558.
- AUGUSTODUNENSIS, Honorius (s. XII), comentario sobre el salmo 150:4, cod. Vinodob. 928, f. 188.
- AVEROES, *Aristotelis De anima libri tres cum Averrois commentariis...* (s. XII), Suppl. II, ed. Michaele Sophiano, Venecia, Lucas apud Junctas, 1562.
- , *Commentarium Magnum in Aristotelis 'De anima'*, ed. F. Stuart Crawford, "Averrois Cordubensis Commentarium Magnum in Aristotelis De anima libros", en *Corpus Philosophorum Medii Aevi Corpus Commentariorum Averrois in Aristotelem*, The Mediaeval Academy of America, nº 59, Cambridge, Mass., 1953.
- BERMUDO, Juan, *Declaración de instrumentos musicales*, Osuna, Juan de Leon, 1555.
- BOCACCIO, Giovanni, *Il Decamerone* (ca. 1351-53), ed. princeps: Venecia, Christophorus Valdarfer, 1471.
- BOETHIUS, Anicius Manlius Severinus, *De Institutione Musica* (s. VI), ed. princeps: Venecia, Johannes de Forlivio, 1491., ed. facsímil: Godofredus Friedlein, 5 vols., Leipzig, B. G. Teubner, 1867.
- BRIE, Jean de, *Le bon berger ou, Le vray régime et gouvernement des bergers et bergères* (1379), ed. Princeps: París, Simon Vostre, s. d. entre 1486-1520, ed. facsímil: París, L. Liseux, 1879.
- BRUNO EL CARTUJANO, comentario sobre el Salmo 150:4 (s. XII), Grenoble, Biblioteca Municipal, MS 341, f. 379.
- CAMPMPANY Y MONTPALAU, Antonio, *Memorias históricas sobre la marina, comercio y artes de la antigua ciudad de Barcelona*, Madrid, Imprenta de Don Antonio de Sancha, 1779.

- CASTIGLIONE, Baldasare, *Il Cortegiano*, Venezia, Aldo Manuzio, 1528, ed. tr., *El Cortesano*, Amberes, Martinus i Nutius, 1561.
- CAVALIERI, Bonaventura, *Lo Specchio Ustorio overo Trattato delle Settioni Coniche, Et alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume, Caldo, Fredo, Suono, e moto ancora*, Bolonia, Clemente Ferroni, 1632 (edición digital del facsímil: <http://www.e-rara.ch/zut/content/titleinfo/3841078>).
- CERONE, Pietro, *El Melopeo y Maestro, Tractado de Música Theorica y practica: en que se pone por extenso, lo que uno para hazcerse perfecto Musico ha menester saber: y por mayor facilidad, comodidad, y cleridad del lector, esta repartido en XXII Libros. Va tan exemplificado y claro, que qualquiera de mediana habilidad, con poco trabajo, alcançará esta profession*, XXII Ls., Nápoles, Juan Bautista Gargano y Lucrecio Nucci, 1613.
- CRÉTIN, Guillaume, *Déploration sur le trépas de Jean Ockeghem* (ca. 1495), ed. Ernest Thoinan, Paris, A. Claudin, 1864.
- DOWLAND, Robert, *Variety of lute lessons*, Londres, Thomas Adams, 1610.
- EUCLIDES, *Opera Omnia; Elementa* (Alexandria, ca. 300), ed. J. L., Heiberg, 5 vols., Leipzig, B. G. Teubner, 1883-1888.
- , *Los seis libros primeros de la Geometría* (ca. 300), ed. tr. Rodrigo Zamorano, Sevilla, Alonso de la Barrera, 1576.
- , *Optica et Catoptrica*, ed. Johannes Pena, Paris, Andrea Wechel, 1557.
- FOGLIANO, Ludovico, *Musica theorica, sectio prima*, Venecia, Antonium & Fratres de Sabio, 1529.
- GALILEI, Vincenzo, *Dialogo della musica antica e moderna*, Florencia, Giorgio Marescotti, 1581.
- GANASSI, Sylvestro, *Regola Rubertina*, Vencia, 1542.
- , *Lettione seconda pur practica di sonare il violone d' arco da tasti*, Venecia, 1543.
- GERLE, Hans, *Musica Teusch auf die Instrument der grossen und kleinen Geygen auch Lautten*, Nürnberg, Formschneider, 1532.
- GRAMATICUS, JOHANNES, ...*Philoponus. Commentarius in Aristotelis libros de anima* (s. VI), ed., Venetia, Bartholomeo Zanetti & Johannes Francisco Trincaveli, 1535.
- HOMERO, *La Odisea* (s. VIII a. C.), ed. Gonçalo Perez, Venecia, Imprenta Francisco Rampazeto, 1562.
- , *Batracomiomaquia* (s. VIII a. C.), ed. Antonia García Velázquez, Madrid, Akal, 2000.
- JUDENKÜNIG, Hans, *Utilis et compendiaria introductio, qua ut fundamento iacto quam facillime musicum exercitium, instrumentorum et lutine, et quod vulgo Geygen nominant, addiscitur*, Viena, ca. 1518.
- , *Ain schone kunstliche Underweisung in disem Büechlein, leychtlich zu begreyffen den rechten Grund zu lernen auff der Lautten und Geygen*, Viena, Hanns Singryener, 1523.
- LAFRANCO, Giovanni Maria, *Scintelle di Musica*, Brescia, Ludovico Britannico, 1533.
- LARRUGA, Eugenio, *Memorias políticas y económicas sobre los frutos, comercio, fábricas y minas de España, con inclusión de los reales decretos, órdenes, cédulas, aranceles y ordenanzas expedidas para su gobierno y fomento*, 45 vols., Madrid, Antonio Espinosa, 1787-1800.
- MACE, Thomas, *Musiks Monument*, Londres, T. Ratcliffe & N. Thompson, 1676.
- MEGENBERG, Konrad von, *Das Buch der Natur*, (ca. 1349), ed. princeps: Augsburg, Hans Bämler, 1475, ed. Franz Pfeiffer, Stuttgart, Karl Aue, 1861.
- MELLADO, Francisco de Paula, *Enciclopedia tecnológica, diccionario de artes y manufacturas, de agricultura, de minas etc., Descripción de todos los procedimientos industriales y fabriles*, 4 vols., Madrid, Establecimiento Tipográfico de Mellado, 1856-1857.

- MERSENNE, Marin, *Harmonie Universelle*, 19 vols., Paris, Sebastien Cramoisy, 1636; ed. facsímil: François Lesure, Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 1975.
- MILÁN, Luis, *Libro de myſica de vihuela de mano. Intitulado El maeſtro...*, Valencia, Francisco Díaz Romano, 1536; ed. facsímil: Madrid, Sociedad de la Vihuela, 2008.
- MORAVIA, Hieronymus de, *Tractatus de musica* (ca. 1300), ed. S. M. Cserba, *Freiburger Studien zur Musikwissenschaft*, vol. 2, Regensburg, Pustet, 1935.
- MOZART, Leopold, *Versuch einer gründliche Violinschule*, Augsburgo, Johann Jakob Lotter, 1756; ed. facsímil: Greta Moens-Haenen, Kassel, Bärenreiter, 1995.
- MOSQUERA DE MOLINA, Comendador Juan, *Ordenanzas con que se rige y gobierna la república de la muy noble y leal ciudad de Valladolid* (1549), Valladolid, Thomas de Santander, 1763.
- NASSARRE, Pablo, *Escuela Musica, según la practica moderna*, 2 vols., Zaragoza, Herederos de Diego de Larumbe, 1724; ed. facsímil: Zaragoza, Institución «Fernando el Católico», 1980.
- ORTÍZ, Diego, *Tratado de glosas sobre cláusulas y otros géneros de puntos en la música de violones nuevamente puestos en luz*, Roma, Valerio e Luigi Dorico, 1553.
- PÉREZ DE HEREDIA, Fray Miguel, *Libro de los sermones de los Santos, cuyas fiestas celebra la Iglesia por todo el discurso del año*, Salamanca, Antonia Ramírez y Pedro Cosío, 1605.
- RAMOS DE PAREJA, Bartolomeus, *Musica Practica*, Bolonia, Baltasaris de Hiriberia, 1482, ed. Johannes Wolf, Leipzig, Breitkopf & Härtel, 1901.
- REAL CANCILLERÍA DE GRANADA, *Ordenanzas que los muy ilustres y muy magníficos señores Granada mandaron guardar para la buena gouernacion de su Republica, impressas año de 1552: Impresas en Granada, en la Imprenta Real de Francisco de Ochoa, en la calle de Abenamar, Año de 1672, que se han buelto a imprimir por mandado de los señores Presidente, y Oydores de la Real Chancilleria de esta ciudad de Granada, año de 1670, añadiendo otras que no estauan impressas*, Granada, Francisco de Ochoa, 1672.
- REGAZZI, Roberto, *Il manoscritto liutario di G. A. Marchi*, Bologna, 1786, ed. Sala Bolognese, Bologna, Forni, 1986.
- RICATTI, Giordano, *Delle Corde ovvero Fibre Elastiche fiscomatemati del conte Giordano Riccati nobile trevigiano*, Bologna, [Sa]n Tommaso d'Aquino, 1632; ed. facsímil: London, Lightning Source UK Ltd, 2011.
- ROQUET, Antoine Ernest, *Déploration de Guillaume Crétin sur le trépas de Jean Ockeghem, remise au jour et annotée par Ernest Thoinan*, Paris, A. Claudine, 1864.
- SALINAS, Francisco de, *De musica libri septem*, Salamanca, Mathias Gastius, 1577.
- SIMPLICIO DE CILICIA, *Simplicii Commentarii in libros de Anima Aristotelis* (s. VI), ed. Giovanni Fasolo, Venezia, Ottaviano Scotto, 1543.
- TINCTORIS, Johannes, *De Inventione et Usu Musicae*, Nápoles, Mathias Moravis, 1481-83.
- TOSCA, Tomas Vicente, *Tratado de la Musica especulativa y Practica*, 4 vols., Valencia, 1710.
—, *Compendio Mathematico*, 9 vols., Valencia, A. Bordázar, 1707- 1715.
- TRIMBERG, Hugo von, *Der Renner: Ein Gedicht aus dem XIII. Jahrhunderte* (s. XIII), ed. *Historischen Vereine Daselbst*, 4 vols., Bamberg, J. C. Dresch, 1833.
- URBEVETANUS, Ugolinus, *Declaratio musicae disciplinae* (s. XV), 3 vols., ed. Albert Seay, *Corpus Scriptorum Musicae*, vol. 7, Roma, American Institute of Musicology, 1959-1962.
- VENETO, Francesco Giorgio, *De Harmonia Mundi totius cantica tria*, 4 vols., ed. facsímil: Bernardini, Venezia, Vitali, 1525.

- VIRDUNG, Sebastian, *Musica Getutscht*, Basilea, Michael Furter, 1511; ed. facsímil: Leo Schrade, Kassel, Bärenreiter, 1931.
- VITRUVIO, Marco, *De Arquitectura libri decem* (s. I a. C.), ed. Princeps: Roma, Giovanni Sulpicio da Veroli, 1486.
- , *Los diez libros de Arquitectura*, ed. y tr. J. Ortiz y Sanz, Madrid, Imprenta Real, 1787.
- WELTZELL, Jörg, en Munich, Biblioteca Universitaria de Munich, cod. IV, MS 718 (1523-24), ff. 93v-148v.
- WOODFIELD, Ian, *The Early History of the Viol*, Cambridge, Cambridge University Press, 1984.
- ZACCHIA, Paolo, *Quaestionum medico-legalium*, Amsterdam, J. Blaeu, 1651.
- ZAMORA, Johannes Aegidius de, *Ars Musica* (s. XIII), ed. Michel Robert-Tissot, *Corpus scriptorum de musica*, vol. 20, Roma, American Institute of Musicology, 1974, pp. 30-122.

FUENTES SECUNDARIAS

- ARNS, Robert G., y CRAWFORD, Bret E., «Resonant cavities in the history of architectural acoustics», *Technology and Culture*, vol. 36, n.º 1 (jan., 1995), Baltimore, The Johns Hopkins University Press, pp. 104-135.
- ARNS, Robert G., y CRAWFORD, Bret E., «Resonant cavities in the history of architectural acoustics», *Technology and Culture*, vol. 36, n.º 1, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, En. (1995), pp. 104-135.
- ASENJO BARBIERI, Francisco, *Biografías y Documentos sobre Música y Músicos Españoles, (Legado Barbieri)*, ed. Emilio Casares, 2 vols., Madrid, Fundación Banco Exterior, 1986.
- AYALA RUIZ, Juan Carlos, «Las cuerdas de vihuela: una mirada a los aspectos cotidianos, literarios y comerciales», *Hispanica Lyra*, VIII (2008), pp. 10-19.
- BACHMANN, Werner, *The origins of bowing and the development of bowed instruments up to the thirteenth century*, Londres, Oxford University Press, 1969.
- BAINES, Anthony, «Fifteenth-century Instruments in Tinctoris's *De Inventione et Usu Musicae*», *The Galpin Society Journal*, 3 (mar., 1950), pp. 19-26.
- BALDELLÓ, Francisco, «Constructores de instrumentos musicales en Barcelona: Confradía dels Corders de Corda de Viola», *Anuario Musical*, XXIV (1969), pp. 199-203.
- BALLESTER, Jordi, *Iconografía musical a la Corona d'Aragó (1350-1500): els cordòfons representats en la pintura sobre taula. Catàleg iconogràfic i estudi organològic*, Tesis doctoral, Barcelona, Universidad Autònoma de Barcelona, 1995.
- BARBIERI, Patrizio, *The Inharmonicity of musical string instruments (1543-1993)*, Firenze, Leo S. Olschki, 1998.
- , «Roman and Neapolitan Gut Strings 1550-1950», *The Galpin Society Journal*, vol. 59 (may, 2006), pp. 147-181.
- , «The Roman Gut String Makers, 1550-2005», *Studi Musicali*, XXXV.1 (2006), pp. 3-128.
- BARBOUR, J. Murray, *Tuning and Temperament: A historical survey*, Nueva York, Dover, 2004 (ed. orig.: East Lansing, Michigan State Press, 1950).
- BEC, Pierre, *Vièles ou violes? Variations philologiques et musicales autour des instruments à archet du Moyen Age (XIIe-XVe siècle)*, París, Klincksieck, 1992.

- BISSINGER, George, «Experimental Violin Acoustics», *Journal American Lutherie*, no 7. (1986), pp. 6-13.
- , «Structural acoustics of good and bad violins», *Journal of the Acoustical Society of America* nº 124, (2008), pp. 1764-1773.
- , «Acoustic normal modes below 4 kHz for a rigid, closed violin-shaped cavity», *Journal of the Acoustical Society of America* nº 100, vol. 3, (1996), pp. 1835-1840.
- BRYAN, John , «'Verie sweete and artificiall': Lorenzo Costa and the earliest viols», *Early Music*, vol. 36 nº1, pp. 3-18.
- BROWN, Clifford M., *Isabella d'Este and Lorenzo da Pavia: documents for the history of art and culture in Renaissance Mantua*, Ginebra, Droz, 1982.
- CALAHORRA MARTÍNEZ, Pedro, *Historia de la Música en Aragón, siglos I al XVII*, Zaragoza, Librería General, 1977.
- , *Música en Zaragoza en los siglos XVI y XVII*, 2 vols., Zaragoza, Institución «Fernando el Católico», 1977-1978.
- CECCHETTI, Bartolomeo, «Apunti sugli strumenti musicali usati dai veneziani antichi», *Archivo Veneto*, n. s., XVIII, vol. 35, I, Venecia (1888), pp. 73-82.
- CEULEMANS, Anne Emanuelle, et alia, *Avatars de la modalité, du XVe au XVIIe siècle*, Paris, Eska, 1996.
- COATES, Kevin, *Geometry, Proportion, and the Art of Lutherie: A Study of the Use and Aesthetic Significance of Geometry and Numerical Proportion in the Design of European Bowed and Plucked String Instruments in the Sixteenth, Seventeenth and Eighteenth Centuries*, Oxford, Clarendon Press, 1985.
- COROMINAS, Joan, *Diccionario de Autoridades*, 6 vols., Madrid, Francisco del Hierro, 1726-1739.
- DAVIDSHON, Robert, *Storia di Firenze*, 8 vols., Florencia, Sansoni, 1973.
- EVEREST, F. Alton y Pohlmann, Ken C., *The Master Handbook of Acoustics*, 4^a ed., Elkhart, McGraw-Hill, 2001.
- GOUGH, Colin E., «Computed cavity-air modes of a conventional and Le Gruere violin and coupling to corpus modes», *Acoustic Society of America*, vol. 127 nº 3, p. 1792 (2010) y POMA 9, 035006 (2015), <http://dx.doi.org/10.1121/2.0000043>
- GRIFFITHS, John, «La vihuela en la época de Isabel la Católica», *Cuadernos de música iberoamericana*, vol. 20, (2010), pp. 7-36.
- HARWOOD, Ian, «An introduction to renaissance viols», *Early Music*, vol 2, nº 4, (oct. 1974), pp. 234-246.
- HAUPT, Moritz, Wenrico von Trier, «Hermann conflictus Ovis et Lini, c. 1088», *Zeitschrift für Deutsches Altertum*, vol. 11, Leipzig, S. Hirzel Verlag (1859), pp. 215-238.
- HICKMANN, Hans, «Harfe», *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, vol. V, Kassel, Bärenreiter-Verlag / J. B. Metzler, Stutgar, 1956.
- HUTCHINS, Carleen M., «Acústica de las tablas del violín», *Revista Investigación y Ciencia*, ed. en español de *Scientific American*, nº 63, Dic. (1981), pp. 54-64.
- HUTCHINS, Carleen M., y VOSKUIL, Duane, «Mode Tuning for the Violin Maker», *CAS Journal*, vol. 2, nº 4, Nov. (1993), pp. 5-9.
- LE CERF, George, y Edmond-René LABANDE, *Instruments de musique du XVI^e siècle: Les Traités d'Henri-Arnaut de Zwolle et de divers anonymes* (Paris: Bibliothèque Nationale, MS. Latin 7295), París, Auguste Picard, 1932, ed. Documenta Musicologica, IV, Kassel, Bärenreiter, 1972.
- MARÍN CORBÍ, Fernando, «Un factor en la recreación de la vihuela de arco del gótico: hipótesis de reconstrucción de las cuerdas de tripa», *Nassarre. Revista Aragonesa de Musicología*, XXVII (2011), pp. 47-58.
- MARTÍNEZ GONZÁLEZ, Javier, *El arte de los violeros españoles, 1350-1650*, Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016.

- MCINTYRE, M. E., y WOODHOUSE, J., «The Acoustics of Stringed Musical Instruments», *Interdisciplinary Science Reviews*, vol. 3, nº 2, (1978), pp 157-173.
- MOENS, Karel, *Die Viola da gamba: Alte Streichinstrumente: Katalog*, Stadt Herne, der Oberstadtdirektor, 1980.
- PAGE, Christopher, *Voces and Instruments of the Middle Ages*, Berkeley, University of California, 1986.
- PALLARÉS GIMÉNEZ, Miguel Ángel, «Aportación documental para la historia de la música en Aragón en el último tercio del siglo XV», *Nassarre*, VIII.2 (1992), pp. 171-244.
- PERUFFO, Mimmo, «The mystery of gut bass strings in the 16th and 17th centuries: The role of loaded-weighted gut», *Lute Society of America Quarterly*, vol. XXXIX, n.º 2 (1994), pp. 5-14.
- PICKLES, James D., *An introduction to the physiology of hearing*, 2^a. ed., San Diego, Academic Press, 1988.
- POLK, Keith, *German Instrumental Music of the Late Middle Ages. Players, Patrons and Performance Practice*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.
- RADAU, M. R., «Industrie du Boyaudier», *Le Moniteur Scientifique*, 8 (1866), pp. 451-457.
- RAULT, Christian, «Géométrie médiévale, tracés d'instruments et proportions harmoniques», en *Instruments à cordes du Moyen Âge: actes du colloque de Royaumont*, 1994, vol. 11, Grâne, Creafis, (1999), pp. 49-76.
- RAVENEL, Bernard, *Vièles à archet et rebecs en Europe au Moyen Age (fin Xe siècle, début XVIe siècle)*: définition des archétypes en vue de leur reconstitution, Tesis doctoral, 3 vols. dactyl. + 1 vol. de láminas, Strasburgo, Universidad de Strasburgo, 1983.
- RIBERA Y TARRAGÓ, Julián, *La música árabe y su influencia en la española*, Valencia: Pre-textos, 2000.
- ROBLEDO, Luis *et alii*, *Aspectos de la cultura musical en la Corte de Felipe II*, Madrid, Alpuerto, 2000.
- ROMANILLOS VEGA, José Luis, y HARRIS WINSPEAR, Marian, *The vihuela de mano and the spanish guitar, a dictionary of the makers of plucked and bowed musical instruments of Spain (1200-2002). String makers, Shops, Dealers & Factories*, Guijosa, Sanguino, 2002.
- ROSSING, Thomas, *Springer Handbook of Acoustics*, Springer, New York, 2014.
- SÁEZ SÁNCHEZ, E., «Ordenanzas de los gremios de Toledo II», *Revista de Trabajo*, 10 (1944), pp. 1233-1241; 1 (1945), pp. 39-49; 7-8 (1945), pp. 689-700; 5 (1946), pp. 495-505; 1 (1947), pp. 24-32; y 5 (1947), pp. 518-522., fuente: Archivo Municipal de Toledo, “Fondo Histórico, caja núm. 1769”.
- SEGERMAN, Ephraim, «A primer on the History and Technology of Strings»:
<http://www.nrinstruments.demon.co.uk/StrPrim.html>, (última consulta, 25/4/2013).
- The new Oxford History of Music*, vol. III, ed. Dom Anselm Hughes y Gerald Abraham, Londres, Oxford University Press, 1960.
- TOBIAS, Jerry V., *Foundations of modern auditory theory*, 2 Vols., New York, Academic Press, 1970 y 1972.
- VASSILANTONOPoulos, Stamatis L., y MOURJOPoulos, John N., «A study of ancient greek and roman Theater acoustics», *Acta acustica united with acustica*, vol. 89 (2003), pp. 123-136.
- WEBER, Laura, *Intellectual Currents in Thirteenth Century Paris: A Translation and Commentary on Jerome of Moravia's «Tractatus de musica»*, tesis doctoral, Yale University, diciembre 2009, Ann Arbor, Proquest, 2009.
- WEINMANN, Karl, *Johannes Tinctoris (1445-1511) und sein unbekannter Traktat «De inventione et usu musicae»*, Regensburg, F. Pustet, 1917, pp. 27-46.

DOCUMENTOS EN ARCHIVOS

CONFRARIA DE CORDERS DE BARCELONA, *Libre en lo qual estan continuades les ordinations fetes per los magnifichs conselles y consell de trenta sis de la p[rese]nt ciutat de Barcelona en favor dels mestres de la Confraria dels cordes de cordas de viola* [Ms 27], Description: 41 ff. Recopilación de disposiciones y reglas estatutarias para el funcionamiento del gremio de corderos de la ciudad de Barcelona (1410-1722), Barcelona, Biblioteca de l'Ateneu Barcelonès, Ms 27, <<http://mdc.cbuc.cat/cdm/ref/collection/manuscritAB/id/42183>> (última consulta, 25/4/2013).

CONFRARIA DE CORDERS DE BARCELONA, *Exm. Senyor, lo syndich de la Confraria dels Corders de Viola de la present ciutat ... / [Pi, De Riu]*, 1703, Biblioteca de Catalunya, F. Bon. 10323., <<http://books.google.es/books?id=kcfKN9cPO0AC&pg=PR2&lpg=PR2&dq=confraria+del+corde+rs+de+viola&source=bl&ots=PEF5cGMbDL&sig=cIz0I5ckSWZbv2fwQDRMN9D4ORI&hl=es&sa=X&ei=3hN5UbjXJpCWhQfym4DgAw&ved=0CD0Q6AEwAQ>> (última consulta, 25/4/2013).

CONSELL DE CENT, *Registres de Ordinacions* (1404), Archivo Municipal de Barcelona, 1B IV-2, ff. 92-93r.

PROTOCOLOS NOTARIALES

Madrid, Biblioteca Nacional de España, Ms 14047/184, año 1657.

Roma, Archivio di Stato, 30 Notai capitolini, R. C. A. (1599, 1617, 1618, 1677 y 1743), «Universitas Cordariorum Urbis, Capitula».

Toledo, Archivo Municipal, Carta de oficios, Ordenanzas de Bigoleros... (1617), Fondo Histórico, caja núm. 1769.

Venezia, Archivio di Stato, *Spiritus*, ivi c. 39 (olim c. 38), 1329.

Zaragoza, Archivo Histórico de Protocolos Notariales, Actas notariales: Jacobo Talayero 1537, Lorenzo de Villanueva 1571, Martín Español 1572, Sebastián Moles 1574 y Diego Casales 1597.

DISCOGRAFÍA

MARIN, Fernando, *Robert Jones, The Second Booke of Songs and Ayres*, La Mà de Guido, LMG2090, 2009

MARIN, Fernando, *eVIOLution*, Quartz Music Ltd., QTZ2075, 2010.

MARIN, Fernando, *La Viola D'Arc a la corona d'Aragó*, La Mà de Guido, LMG2097, 2010.

MARIN, Fernando, *Each Lovely Grace*, Nimbus Alliance Ltd., NI6173, 2011.

MARIN, Fernando, *sCORDAtura*, Quartz Music Ltd., QTZ2100, 2012.

MARIN, Fernando, *Blas de Castro, Compleet Polyphonic Works*, OG0307, 2008 y Quartz Music Ltd., QTZ2112, 2015.

