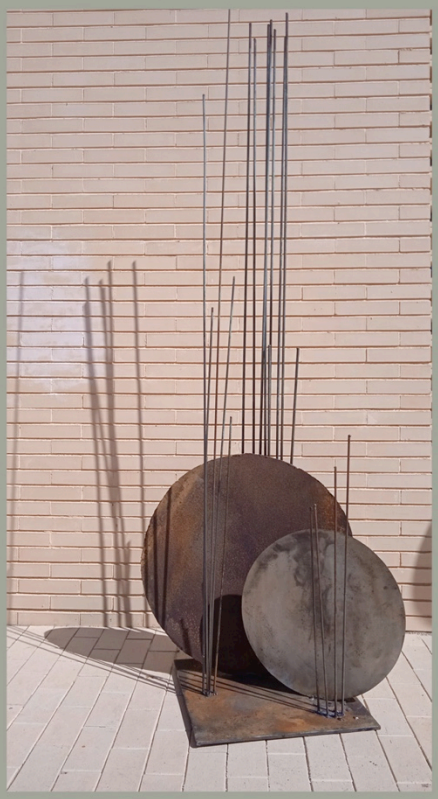
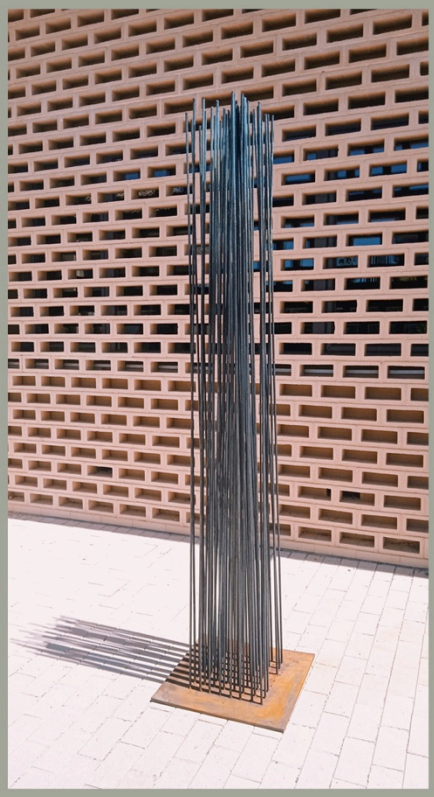




UNIVERSIDAD DE GRANADA

Programa de Doctorado: Historia y Arte (BOI.56.1)

Facultad de Bellas Artes

Departamento de Escultura

TESIS DOCTORAL

LA ESCULTURA SONORA EN METAL. RELACIÓN PLÁSTICA, FÍSICA Y MECÁNICA DEL METAL CON EL SONIDO Y EL ARTE SONORO

Presentada por: **Antonio Travé Mesa**

Directora y tutora de tesis: María del Carmen Bellido Márquez

Granada, 2024

Programa de Doctorado: Historia y Arte (BOI.56.1)

Facultad de Bellas Artes Alonso Cano

Departamento de Escultura

UNIVERSIDAD DE GRANADA

TESIS DOCTORAL

LA ESCULTURA SONORA EN METAL. RELACIÓN PLÁSTICA, FÍSICA Y MECÁNICA DEL METAL CON EL SONIDO Y EL ARTE SONORO.

Presentada por: **Antonio Travé Mesa**

Dirigida y tutorizada por: **Mª del Carmen Bellido Márquez**

Granada, 2024

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Antonio Travé Mesa
ISBN: 978-84-1195-645-1
URI: https://hdl.handle.net/10481/101923

Dedicado a mis padres, José Travé y Antonia Mesa, quienes me regalaron la curiosidad por conocer el arte y los oficios.

Agradecimientos

Gracias a mi pequeña familia: Carolina, Coco y Júlia por ser mi energia día tras día. Al resto de mi enorme familia, Travé y Sánchez, por ayudarme, darme ánimos y tiempo cuidando de mis hijos mientras terminaba este trabajo.

Todo el agradecimiento posible a Mª Rosa Salmerón, quien me ha ayudado y apoyado a diario.

Millones de gracias a Mª Carmen Bellido, directora y tutora, por su paciencia, disponibilidad, amabilidad, dedicación, consejos y meticulosidad. Sin ella es seguro que no hubiese podido desarrollar y terminar esta tesis.

Agradecimientos a mis compañeros de departamento y a los técnicos del área de escultura, Juan y A. Jordán siempre disponibles. Gracias a Balbino Montiano y Juan Garcia Villar que me hicieron recuperar el amor por la escultura así como a Miguel A. Moliné y F. Javier Galán con los que he compartido tantas esculturas en la "fundición".

A los autores como Santiago López o Godfried-Willem que no han dudado en mostrarme todo sobre sus trabajos.

Por último, mil gracias a mis compañeros de bandas (Toni Molina, Dani Levy, Guille, Pelomono, Isaac, Gominsky, etc.) sin los cuales no hubiese aprendido y mantenido la curiosidad hacia la música y el sonido necesarias para iniciar esta tesis.

ÍNDICE

Pág.

Resumen y Palabras clave 1

Abstract and Keywords 4

Introducción y contextualización del tema 7

Justificación y marco teórico 9

Hipótesis y objetivos 10

Metodología 14

Capítulo1. Estado de la cuestión. Del arte sonoro a la escultura sonora en metal 21

1.1. Cómo se convierte el sonido en arte sonoro 31

1.2. La escultura sonora, acústica y en metal 40

1.3. Cómo la búsqueda de lo cinético se encontró con lo sonoro 46

Capítulo 2. Sonido. Principios básicos de acústica 53

2.1. Acústica 58

2.2. Conocimientos básicos de acústica 62

2.2.1. Características de las ondas sonoras 63

2.2.2. Propagación de las ondas 73

2.3. Vibración y resonancia 77

2.3.1. Los sistemas vibratorios 77

2.3.2. La forma del sonido 80

2.4. Música y ruido 81

Capítulo 3. Los metales: propiedades, aleaciones de hierro y cobre, transformados, acabados y sonoridad 85

3.1. Propiedades físico-químicas, mecánicas y tecnológicas de los metales 95

3.1.1. Las propiedades físico-químicas 95

3.1.2. Las propiedades mecánicas 99

3.1.3. Las propiedades tecnológicas 101

3.2. Aleaciones metálicas 103

3.2.1 El cobre y su aleaciones, bronce, latón y otras 105

3.2.2 El hierro y su aleación de acero 112

3.3. Técnicas de transformado del metal 123

3.3.1. Fundición 125

3.3.2. Forja, calderería y hojalatería 131

3.3.3. Procesos industriales 142

3.3.4. Tratamientos superficiales de los metales: baños, pavonados y pátinas 145

3.4. El sonido a través del metal 149

Capítulo 4. La lutería. Construcción, funcionamiento y variaciones de instrumentos y esculturas sonoras 167

4.1. La figura del lutier 171

4.2. Organología. Clasificación, construcción, funcionamiento y variaciones de los objetos sonoros (instrumentos y esculturas) 173

4.2.1. Cordófonos 177

4.2.1.1. Variaciones en los cordófonos 182

4.2.2. Aerófonos 194

4.2.2.1 Variaciones en los aerófonos 199

4.2.3. Percusión 201

4.2.3.1 Variaciones en la percusión 218

Capítulo 5. Esculturas sonoras acústicas en metal 235

5.1. Escultura Azarosa. Del Movimiento al sonido azaroso en las obras de Calder y su evolución en las obras de Celeste Boursier-Mougenot y Özcan Ertek 243

5.2. Movimiento programado. Máquinas sonoras 253

5.2.1. De las cajas de música y organillos a las obras de mecanismos sonoros y programados de Tinguely, Stephan von Huene, Winter Gatan, Michael Sparguero o Leonel Vasquez 253

5.2.2. Takis y Len lye: electromagnetismo para el movimiento 271

5.3. Movimiento participativo 281

5.3.1. Instrumentos escultóricos de Baschet 282

5.3.2. Las varillas idiófonas de Bertoia y León Ferrari 295

5.3.3. Largas cuerdas. Alvin Lucier, Ellen Fullman y Santiago López 307

5.4. Escultura sonora pública acústica 311

Capítulo 6. Trabajo de campo. Realización de esculturas sonoras en metal 327

6.1. Bocetos/pruebas 331

6.2 . Esculturas sonoras materializadas 337

Resultados 349

Conclusiones y líneas de investigación abiertas 370

Bibliografía 387

Índice de figuras 423

Anexos 443

I. Anexo 1 445

II. Anexo 2 469

LA ESCULTURA SONORA EN METAL. RELACIÓN PLÁSTICA, FÍSICA Y MECÁNICA DEL METAL CON EL SONIDO Y EL ARTE SONORO

Resumen

Esta Tesis doctoral presenta un análisis técnico, conceptual y contextual de la escultura sonora acústica realizada en metal, principalmente con los derivados del hierro y el cobre. Se entiende escultura sonora acústica como aquella que, siendo volumétrica, emite sonido o que el sonido la conforma sin necesidad de procesos de grabación/reproducción electrónica o digital. Su estudio se ha desarrollado con objeto de conocer el lugar que ésta ocupa dentro del amplio espectro del arte sonoro, en el que puede haber otras manifestaciones escultórico-sonoras, como las *performaces*, las acciones o los *happenings*, no abordadas en este caso.

El objetivo general de esta investigación ha sido contribuir de forma teórica y práctica al estudio de la escultura sonora en metal de forma que quede determinada la relación material de esta con sus posibilidades sonoras y la versatilidad de sus posibilidades formales.

La metodología de trabajo ha sido de tipo cualitativa, a través de un método analítico y comparativo, a base del estudio de numerosas obras escritas consultadas y la visualización, escucha y análisis de un gran número de esculturas sonoras en metal e instrumentos sonoros experimentales también metálicos. Además de contar con una parte práctica de trabajo de campo.

Para indagar en lo que concierne al arte sonoro y la escultura sonora se han consultado publicaciones, entrevistas y páginas de artistas sonoros, *webs* y sus exposiciones, además de escritos a cerca de la historia y teoría del arte sonoro y tesis dedicadas a aspectos específicos de la escultura sonora. Por ello, este trabajo presenta un amplio material de consulta y reflexión en cuanto al ámbito teórico y práctico, lo que refuerza su carácter didáctico.

El trabajo de investigación teórica se complementa con una investigación en torno al conocimiento, la manipulación y el conformado de los materiales implicados en estas esculturas -metal y sonido- y su relación con los fenómenos plásticos y acústicos a través de las técnicas escultóricas y de la lutería experimental. Para ello, se han consultado, analizado y clasificado diversas publicaciones en torno a la historia del metal, junto con las técnicas necesarias para trabajarlo y sus propiedades sonoras. En el plano del sonido se ha recurrido a la lectura de trabajos de acústica y de lutería, tanto clásica como experimental.

Además, se ha experimentado con la realización de bocetos y esculturas sonoras en metal de diseño propio, aplicando parte de los conocimientos y reflexiones desarrolladas a lo largo del estudio. Con esto, junto con los resultados de la investigación escrita, se han formulado una serie de conclusiones en torno a la génesis y papel del arte sonoro y la escultura sonora, así como de la importancia y características del metal en este tipo de obra. Entre estas conclusiones destaca que una escultura sonora en metal debe estar formada en parte o entera por este material y poseer unas cualidades estético-plásticas y sonoras propias, pudiendo ser activadas por diversos medios y que el papel de este tipo de obras dentro del arte sonoro, en general, es muy relevante, pues por sus características sonoras, el metal es uno de los materiales más usados en la producción de esta clase de obras, muchas ellas de carácter público. Así pues, la relación entre el arte sonoro y el metal es directa y progresiva, pues ambos elementos se vienen vinculado entre sí desde el origen del arte sonoro, allá por 1913 hasta la actualidad y su influencia no parece reducirse en los últimos años. Esta relación parece deberse a las características propias (estéticas, tecnológicas y sonoras) de este material que permite construir una escultura y hacerla sonar también.

En el estudio también se han destacado algunas carencias o futuras líneas de investigación posibles, por ejemplo: la escasa información sobre mujeres escultoras de obras sonoras en metal, o el estado de no funcionamiento o abandono de algunas esculturas metálicas sonoras que funcionan con motores o cualquier otro mecanismo de activación sonora que pierden o alteran su funcionamiento.

Esta tesis también presenta un material apto para ser usado como bibliografía docente de consulta en la didáctica de la escultura sonora y de las Artes Plásticas, en general.

Palabras clave

Arte sonoro; escultura sonora; metal; sonido; acústica; lutería experimental; didáctica de la escultura sonora.

Abstract

This doctoral thesis presents a technical, conceptual and contextual analysis of acoustic sound sculpture made of metal, mainly with those derived from iron and copper. Acoustic sound sculpture is understood as one that, being volumetric, emits sound or that is shaped by sound without the need for electronic or digital recording/reproduction processes.

Its study has been developed in order to know the place it occupies within the broad spectrum of sound art, in which there may be other sculptural-sound manifestations, such as performances, actions or happenings, not addressed in this case. The general objective of this research has been to contribute theoretically and practically to the study of metal sound sculpture so that its material relationship with its sound possibilities and the versatility of its formal possibilities is determined.

The work methodology has been qualitative, through an analytical and comparative method, based on the study of numerous written works consulted and the visualization, listening and analysis of a large number of metal sound sculptures and experimental metal sound instruments.

In addition to having a practical part of field work. To investigate what concerns sound art and sound sculpture, publications, interviews and pages of sound artists, websites and their exhibitions have been consulted, as well as writings about the history and theory of sound art and theses dedicated to specific aspects of the sound sculpture. Therefore, this work presents extensive material for consultation and reflection in terms of the theoretical and practical field, which reinforces its didactic nature.

The theoretical research work is complemented by research into the knowledge, manipulation and shaping of the materials involved in these sculptures - metal and sound - and their relationship with plastic and acoustic phenomena through sculptural techniques and experimental luthery. To this end, various publications regarding the history of metal have been consulted, analyzed and classified, along with the techniques necessary to work with it and its sound properties. At the level of sound, we have resorted to reading works on acoustics and lutherie, both classical and experimental.

In addition, we have experimented with making sketches and sound sculptures in metal of our own design, applying part of the knowledge and reflections developed throughout the study. With this, together with the results of the written research, a series of conclusions have been formulated regarding the genesis and role of sound art and sound sculpture, as well as the importance and characteristics of metal in this type of work. Among these conclusions, it stands out that a metal sound sculpture must be formed in part or entirely by this material and have its own aesthetic-plastic and sound qualities, and can be activated by various means and that the role of this type of works within sound art , in general, is very relevant, because due to its sound characteristics, metal is one of the most used materials in the production of this type of works, many of them of a public nature. Thus, the relationship between sound art and metal is direct and progressive, since both elements have been linked to each other since the origin of sound art, back in 1913 until today, and their influence does not seem to reduce in recent years. This relationship seems to be due to the characteristics (aesthetic, technological and sound) of this material that allows a sculpture to be built and also make it sound.

The study has also highlighted some shortcomings or possible future lines of research, for example: the scarce information on women sculptors of sound works in metal, or the state of non-functioning or abandonment of some metal sound sculptures that operate with motors or any another sound activation mechanism that loses or alters its operation.

This thesis also presents material suitable for use as a reference teaching bibliography in the teaching of sound sculpture and the Plastic Arts, in general.

Keywords

Sound art; sound sculpture; metal; sound; acoustics; experimental luthery; didactics of sound sculpture.

.

Introducción y contextualización del tema

Esta tesis está dedicada a aquella escultura sonora realizada con metal y que es capaz de producir sonidos acústicos a través de procesos mecánicos, al margen de la reproducción de sonidos grabados o generados con procesos electrónicos y digitales. De ahí que se centra en la relación existente entre escultura sonora e instrumento musical, al entender que la primera es deudora de la segunda, de su historia, sus técnicas, además de los muchos avances que el mundo de la construcción de instrumentos y la acústica han desarrollado, previamente, durante la historia. El conjunto de los metales, en especial los derivados del hierro y el cobre, son los mismos materiales a los que han recurrido ambas disciplinas, debido a las características mecánicas, estéticas y sonoras de estos.

Así pues, ya que cualquier objeto y espacio pueden ser sonoros (sofisticados como el piano y la escultura de los hermanos Baschet, o rudimentarios como el cencerro, la piedra o la escultura de Jean Tinguely), descubrir su sonoridad, a la vez que encontrar la manera de activarla y manipularla, se puede convertir en una experiencia vital, artística y didáctica. Para desarrollar esa experiencia, se requiere la predisposición a una escucha activa y reflexiva, alejada de la música convencional, como único estimulo sonoro de divertimento y conocimiento. El arte sonoro, en general, se compone a partir de esas premisas.

Así pues, en el capítulo 1 exponemos el estado de la cuestión del tema a tratar, ya que a lo largo de la Historia de las Civilizaciones se han desarrollado numerosas técnicas y habilidades para transformar un espacio u objeto inanimados en sonoros. Sin embargo, el mundo del arte sonoro sigue investigando para conocer nuevos sonidos y experiencias auditivas, así como generarlos a través de planteamientos innovadores, plásticos y poéticos. El estudio parte de definir el

arte sonoro y determinar su origen a nuestro juicio, para llegar hasta definir y contextualizar la escultura sonora en metal. En el capítulo 2 abordamos el estudio del sonido y la acústica para conocer cómo las ondas sonoras que producen dicho sonido se propagan por la materia por medio de modelos unificados físicos y matemáticos. En el capítulo 3 estudiamos los metales, en general. En particular el hierro y bronce y sus aleaciones, para conocer las características y propiedades físicas-químicas, mecánicas y tecnológicas, que los hacen materiales ideóneos para la construcción de esculturas sonoras, por su valor estético, manejabilidad, durabilidad y sonoridad. En el capítulo 4 abordamos la lutería desde la construcción de instrumentos en su modo de activar el sonido e incluimos en este apartado la descripción de gran número de instrumentos/esculturas sonoras experimentales, observando que el límite formal entre ambos es delgado y difuso. El capítulo 5 lo dedicamos, específicamente, a la escultura sonora en metal y presentamos en él un amplio abanico de obras escultóricas sonoras en metal, desde la perspectiva de los autores más relevantes que se han dedicado a la producción de ellas y la posible influencia en trabajo actuales. Y en el capítulo 6 ofrecemos la exposición y comentario de la producción artístico-plástico-sonora propia del autor de esta tesis con la que se muestran ejemplos de lo expuesto teóricamente y se da respuesta a cuestiones de producción de obra artística y sonoridad.

Con este compendio presentamos esta tesis doctoral con la intención de que sea una buena herramienta de estudio en el campo del arte sonoro (escultura sonora, *performance,* paisaje sonoro, música experimental y didáctica de las artes en general).

Justificación y marco teórico

Para la justificación de este trabajo nos hemos acogido a la necesidad que hemos sentido de definir, clasificar y determinar el origen del arte sonoro en general y de dar a conocer más sus principales obras, dada la escasa labor desarrollada hasta ahora por otros investigadores en este campo, en especial en la escultura sonora acústica en metal. También, porque esta es una disciplina poco trabajada en la docencia universitaria de las Bellas Artes, pues, aunque existan referentes varios (por ejemplo el master de la Universidad de Barcelona) esta no se suele desarrollar como disciplina unificada en el ámbito académico, más bien solo en determinados talleres complementarios de la formación reglada.

A elaborar esta justificación nos ha ayudado el considerar la riqueza de las metodologías y posibilidades formales de los metales, así como la sonoridad de estos dentro del ámbito artístico-sonoro. También hemos visto preciso establecer un puente entre la escultura tradicional (objetual o no) y la escultura sonora por la dualidad que existe entre ambas. Y, además, hemos creído que es ineludible conocer el estado actual del arte sonoro y, en concreto, de la escultura sonora acústica en metal, ya que, pese a existir una evolución más orientada a una escultura sonora vinculada a lo digital, su producción y presentación sigue siendo constante, aunque no haya un número apreciable de estudios específicos sobre ella.

Las razones personales que nos han llevado a investigar en esta línea de trabajo se deben a que el doctorando de esta tesis es docente universitario en Bellas Artes (especialidad: Escultura), músico, escultor y fundidor en bronce. Y, por tanto, el ámbito de estudio de esta tesis unifica estas disciplinas. Estas razones particulares se generalizan pensando que con esta tesis se puede producir material de consulta

docente de investigación que ayude a la enseñanza y a la práctica escultórica del tipo que aborda esta investigación.

El marco teórico se centra en las obras de arte contemporáneo que emiten sonidos (acústicos, no grabados) en general, y este sonido es parte fundamental de la obra. Para determinar la temporalidad del estudio, hemos podido comprobar que, salvo algunas excepciones antiguas, el estudio del arte sonoro abarca desde principios del siglo XX (con las primeras vanguardias) a la actualidad y el ámbito espacial se centra más bien en la cultura occidental, sin excluir cualquier citación que pueda ser un ejemplo o elemento de interés para el tema de estudio, como la Filosofía Zen que tanta influencia pudo tener en la idea de una "escucha activa".

Hipótesis

El planteamiento de este proyecto de investigación nos ha generado una serie de preguntas a las que pretende responder la hipótesis de este trabajo:

1. ¿Cuáles son los orígenes y precedentes de la escultura sonora de metal? ¿Cuál ha sido su desarrollo desde entonces a la actualidad?

2. ¿Existe un límite de lo que es y no es una escultura sonora?

3. ¿Es factible crear nuevos instrumentos/esculturas en metal ? ¿Cuál es la relación de estas con el arte sonoro?

5. ¿Qué propiedades tienen los metales para que hayan estado y estén tan presentes en la escultura sonora?

4. ¿Es posible hacer obras de arte sonoro o escultura sonora metálica didáctica, es decir, aplicada a la docencia y generar material escrito sobre el tema que pueda ser utilizado en el ámbito universitario de las Bellas Artes?

6. Definitivamente, ¿se puede hablar del sonido como un material escultórico? ¿Tiene este una relación especial con los metales?

Respondiendo a estas preguntas hemos elaborado la siguiente hipótesis :

Este trabajo plantea sí es posible determinar la fecha y el modo de nacimiento de los precedentes históricos y conocer el recorrido, desde su origen a nuestros días, del arte sonoro, en general, y la escultura sonora en metal, en particular la acústica, es decir, la que depende de procesos mecánicos para producir el sonido y no la que depende de la reproducción de pre-grabaciones. Formula cuáles pueden ser las cualidades materiales, tanto históricas como mecánicas y estéticas, de los metales para que constituyan una de las opciones más recurrentes en el campo de la escultura sonora y, por consiguiente, se plantea si hay algo relevante en su comportamiento físico y mecánico que los vincula de una forma especial al sonido y la escultura sonora.

Por otro lado, se cuestiona si la experiencia sonora puede ser también escultórica, si se pueden crear nuevas esculturas sonoras acústicas en metal que sirvan como inicio a una línea de formación e investigación para el autor de esta tesis y quienes puedan ser sus seguidores. Y, por último, el trabajo plantea si el conjunto de las vivencias que estas esculturas producen, junto con los resultados de publicaciones científicas al respecto (como el presente trabajo), pueden tener un carácter enriquecedor en las prácticas didácticas de los distintos ámbitos educativos: infantil, educación musical y alumnado con necesidades especificas de apoyo educativo (NEAE) y/o universitario.

Objetivos

El objetivo general de esta investigación es contribuir a estudiar y determinar la interacción (física, plástica y conceptual) que se produce en una escultura sonora metálica (ubicada en el amplio contexto del arte sonoro contemporáneo) entre los dos materiales que le dan forma; sonido y metal.

Objetivos específicos:

1.Establecer el origen temporal del arte sonoro y de la escultura sonora en metal dentro la situación histórico-tecnológica y artística en que se desarrolló, estableciendo:

a) Cuándo y cómo se consideró al sonido como un material apto para las artes plásticas.

b) Denominando cuáles fueron las obras y los primeros artistas que abordaron la escultura sonora valiéndose de las características estéticas y sonoras que el metal les ofreció para realizar sus trabajos.

c) Visibilizando las posibles influencias que los pioneros hayan podido sobre las obras de autores actuales.

2.Determinar qué relación guarda el arte sonoro con la escultura cinética, el inicio de ambas y su desarrollo.

3.Estudiar el sonido desde los principios básicos de la acústica y considerar la diferencia entre música y ruido, para saber si ello ayuda a definir un límite entre instrumento musical y escultura sonora.

4.Estudiar los metales, desde su definición, histórica, características y propiedades (fisicoquímicas, mecánicas, estructurales, estéticas y sonoras), hasta su disponibilidad en la naturaleza y en el mercado, además de indagar en el conocimiento de las técnicas de trabajo más utilizadas para su transformado tanto industrial como artístico.

5.Determinar cuales han sido los metales más utilizados históricamente tanto en escultura como en la creación de instrumentos y conocer el por qué de ello, ya que esto nos puede dar las claves para conocer la relación que existe entre sonido y metal al encontrarse ambos en forma de escultura sonora.

6. Partiendo de la idea de que una escultura sonora para producir sonido -en general- se basa en los mismos principios a los que recurre un instrumento musical para ello, proponemos realizar un análisis de los conocimientos acústicos, musicales y mecánicos de los instrumentos musicales (y demás objetos sonoros) a través del oficio de la lutería y de la clasificación de la organología, con la finalidad de conocer las habilidades y necesidades básicas para producir sonidos a partir de una forma y material - en este caso dando prioridad al metal, si bien no se descarta estudiar la manera de actuar de otros materiales que pueda resultarnos interesantes-. De este modo creemos, junto con el objetivo anterior, que podemos

obtener más material con el que entender la relación entre la plasticidad escultórica del encuentro del metal y el sonido.

7.Definir y clasificar los diferentes tipos de obras de arte sonoro según su modo de activación y su naturaleza sonora y seleccionar para ser comentadas las que tienen relación con la escultura sonora hecha en metal o en base a él, principalmente.

8.Materializar la realización propia de esculturas sonoras hechas en metal con la contemplación de lo expuesto en los anteriores objetivos.

9.Contribuir a generar material de consulta de investigación plástica y de actualización didáctica para futuros investigadores y/o artistas y/o docentes en el campo de la escultura sonora en metal con la presentación del texto de esta tesis, la publicación de los textos científicos y artísticos que de ella se deriven y la exposición/presentación de la obra plástica del autor de este trabajo.

Metodología

La investigación desarrollada es teórico-práctica, dentro de una metodología cualitativa versada en la Bellas Artes (Denzin y Lincoln, 2017), (Álvarez Gayou Jurgenson, 2003), en la que la búsqueda de información, su gestión y clasificación componen la parte documental, estando dicha parte formada por textos, imágenes

y material audiovisual (Ruiz Olabuénaga, 2014). La parte práctica está formada por la experimentación plástica, dedicada a la búsqueda de diseños y metodológica de realización de nuevas esculturas-instrumentos, que puedan considerarse obras artísticas escultórica y sonoras, intentando con ello establecer una línea de trabajo a continuar en la docencia y la investigación universitaria.

En la parte teórica se ha recurrido a la lectura, llevando a cabo una metodología analítica y comparativa (Pedraz Marcos, 2014), de publicaciones de autores internacionales vinculadas al mundo del arte contemporáneo y la escultura sonora como Hugh Davies (2002) o Douglas Khan (1999), así como otras lecturas más generales y consultas en Internet que nos han ayudado a crear una perspectiva clara del contexto artístico, histórico y social en el que se ubica este trabajo.

Hemos recurrido también al material publicado en España por autores como Vera y Picado (2012) *Arte y escultura sonora: Del sonido como objeto al objeto sonoro* o la reveladora tesis de Rocío Silleras Aguilar (2015), titulada, *Sólido y sonido: posibilidades creativas de la conjunción del sonido con medios en estado sólido en la escultura sonora contemporánea*[1], de donde hemos extraído una importante base teórica.

También han sido muy inspiradoras y de gran utilidad las publicaciones y la tesis de Martí Ruiz i Carulla (2015), titulada, *Escultura sonora Baschet. Arxiu documental i classificació d'aplicacions pel desenvolupament de formes acústiques*, que aborda las obras de los hermanos Baschet, pioneros de la escultura sonora.

[1] En esta tesis se expone amplísima información bibliográfica, así como un desarrollo teórico y filosófico en torno a la escultura como sólido y sonoro, además de tratar el tema de la desmitificación de la visión

La lectura del amplio trabajo de Javier Ariza, artista sonoro y profesor de la Universidad de Castilla-La Mancha, ha motivado y conseguido hacer que las cuestiones concernientes a la escultura sonora fuesen más cercanas, comprensibles y familiares para nosotros. Entre sus trabajos citamos algunos: *El soporte sonoro como obra de arte: propuestas creativas versadas en la plasticidad, poética y reciclado de los formatos de audio analógicos* (2013), *Las imágenes del sonido: una lectura plurisensorial en el arte del siglo XX* (2008) o *El arte sonoro en los espacios de la enseñanza* (2016).

También, artistas sonoros como Santiago López, de quien hemos consultado continuamente su tesis (2018), nos ha brindado la posibilidad de trabajar junto a él, así como de hacerle cualquier consulta directa, facilitándonos su contacto personal. Además hemos visitado de la mano de su creador, Godfried-Willem, el taller de la *Logos Robot Orchesta* en Gante. Mostrándonos todos sus procesos y creaciones.

Por otro lado, hemos recurrido a numerosos catálogos a cerca de artistas, de los que hemos seleccionado la obra e información que nos parecía de mayor interés para nuestra investigación. Hablamos de publicaciones de exposiciones tales como *Retrospectiva. Jean Tinguely* (2008) llevada a cabo por el IVAM y comisariada por Andrés Pardey y Klaus Littmann. De este modo, nos hemos acercado a las obras de Takis, Bertoia, Calder, Baschet, etc.

Por otro lado, hemos extraído material visual de las *webs* oficiales y vídeos de los artistas para ilustrar gráficamente nuestro trabajo con el objeto de tener un material gráfico de calidad y procedente de fuentes identificables, contrastadas y actualizadas.

Hemos consultado las bases de datos y hemerotecas de diferentes museos y revistas con el objeto de encontrar material poco conocido o referenciado al que dar luz y analizar (Museo Nacional Reina Sofía, MACBA, Fundación Juan March, *Deezer Magazine*)

Hemos asistido a charlas y llevado a cabo cursos, como el titulado "Introducción al arte sonoro" e impartido por parte del profesorado del Máster de arte sonoro de la Universidad de Barcelona, llevado a cabo por medio de la plataforma docente para cursos Online Masivos en Abierto (MOOC), llamada *Coursera*. En dicho curso se hizo especial referencia a la obra de los hermanos Baschet.

En el ámbito de los materiales y técnicas sonoros y escultóricos hemos consultado publicaciones como *Las vibraciones de la música* de J. Mariano Merino (2006) o *Sonido y grabación* (Rumsey, 2006), referentes íntegramente al mundo del sonido, y la tesis *Nuevos Modelos Gasificables aplicados a la técnica de la cascarilla cerámica: uso de pinturas refractarias* (2012) de Isabel Mª Lozano Rodríguez, de los que hemos extraído los conceptos más técnicos para la escultura en bronce, así como también hemos consultado otros manuales sobre la naturaleza y las técnicas de trabajo de los metales (Llimós, 2006), (Losada Villasante, 2001).

En la parte práctica :

- Hemos realizado pruebas y mediciones por medio de micrófonos específicos y *software* de analizador de espectro para examinar el comportamiento e interacción de los distintos metales en sus distintas formas con el sonido.

- Hemos realizado obras artísticas sonoras teniendo en cuenta los aspectos teóricos y técnicas desarrolladas por los hermanos Baschet, Harry Bertoia o Jean Tinguely, entre otros autores consultados, poniéndolas en común con las utilizadas por artesanos y escultores del metal, desvinculados del mundo del sonido.

Los resultados de la tesis se han obtenido atendiendo a la metodología cualitativa y en base a ellos hemos hallado las conclusiones del estudio y han quedado clarificadas las líneas de investigación abiertas.

También, para la redacción de la Memoria de la tesis, hemos desarrollado un estilo de escritura académico-científico, sencillo y continuo, buscando con ello una lectura clara, comprensible y formalmente correcta. Para ello, hemos consultado varios manuales de estilo y redacción de tesis doctorales (Rivera Camino y Gómez-Mejía, 2014), (Moradiellos García, 2017).

En cuanto a referencias, citas y bibliografía, nos hemos basado en la séptima 7ª edición de las Normas APA (*Publication Manual of the American Psychological Association : the Official Guide to APA Style*, 2020).

Desde el inicio de esta tesis hasta la fecha hemos impartido numerosos talleres en centros educativos infantiles de la provincia de Granada con el título "Pinta la música", mostrando la relación entre música y artes plásticas.

Por último, en la parte de difusión de la investigación hemos participado y publicado en conferencias de distintos congresos con el objeto de dar a conocer y difundir el carácter y contenido de nuestra investigación.

- Bellido-Márquez, M. C. y Travé-Mesa, A. (2020). El sonido como material para las artes plásticas. *Actas del Congreso: I Congreso*

Internacional Virtual de Artes. Diálogos entre las artes plásticas y visuales y otros medios artísticos en tiempos de hibridación (CIVARTES 2020). Asociación Cultural Acción Social y Arte. Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal, pág. 64.

- Bellido-Márquez, M. C. y Travé-Mesa, A. La escultura sonora silente. *Libro de actas del CUICIID 2023, 5, 6 y 7 de octubre*. Fórum Internacional de Comunicación y Relaciones públicas (Fórum XXI), p. 1040.

Y hemos publicado en una revista y en un capítulo de libro:

- Bellido-Márquez, M. C. y Travé-Mesa, A. (2021, abril). El sonido: Un material escultórico. *Tercio Creciente.* Revista de estudios en Sociedad, Arte y Gestión Cultural (Monográfico extraordinario V) abril 2021, pp. 191-211, Editorial Universidad de Jaén. ISSN: 2340 9096, https://dx.doi.org/10.17561/rtc.extra5.5762

- Bellido-Márquez, M. C. y Travé-Mesa, A. (2024). El silencio en la escultura sonora. En Las artes como expresión vital. Peter Lang Group AG, Lausanne (Suiza). Publicado por Peter Lang GmbH, Berlín(Alemania), pp. 79-89 (en prensa).

Capítulo1. Estado de la cuestión. Del arte sonoro a la escultura sonora acústica en metal

En especial, recuerdo el olor del interior del piano, donde me metía cuando no me veía mi padre. Me fascinaba el polvo que se acumulaba allí y, sobre todo, el modo en que reverberaba. Después me he dado cuenta de que aquella vibración de la materia era pura escultura. (Jaume Plensa citado por Rendueles, 2007, párr. 3)

1. Estado de la cuestión. Del arte sonoro a la escultura sonora en metal

Englobar una serie de obras dentro de un término nos induce directamente a cuestionar el límite que este pueda establecer y si es o no necesario dar ese carácter de disciplina que en primera instancia el binomio "arte sonoro" otorga y que a su vez parece poner barreras para acotar y encapsular un tipo concreto de obras. Se entiende esta necesidad de clasificar como una cuestión meramente práctica para la Historia de las artes.

Con la historización y nominalización de un tipo de actividad artística se pretende dar cabida a aquello que no encuentra un sitio y a su vez, las prácticas artísticas, una vez ubicadas en un conjunto o grupo universal, por su propia naturaleza vanguardista e individual, van a buscar la manera de negar su pertenencia a dicha disciplina. Así lo señala Aixa Takkal basándose en las teorías de Adorno:

> La concreción artística moderna, su intrínseca reivindicación como singularidad, se niega a verse reducida a un tipo artístico, reavivando la "disputa de los universales". Pero de igual forma, aun no siendo eso concreto un ejemplo o manifestación de lo general, en su despliegue como negación de la disciplina contiene por fuerza a la disciplina de la cual se aleja como aquello negado. La diferencia respecto de las artes es producto de una diferenciación determinada que no puede desprenderse de lo heterogéneo a ellas. (Molina et al. 2017, p. 29)

El termino "arte sonoro" tiene una naturaleza híbrida y transgresora heredada de las vanguardias en pos de la búsqueda de los límites de las artes. Partiendo de singularidades, progresivamente y auspiciado por las vanguardias y la actitud constante del mundo del arte por cuestionar sus propios límites, el sonido ha ido tomando presencia y relevancia en las artes plásticas durante el siglo XX hasta hoy en día.

Pese a que el término *sound art* (arte sonoro), fue enunciado por primera vez en 1983 por William Hellerman (comisario de la primera exposición de arte sonoro *The Sound Art Show* en el *The Sculpture* Center de Nueva York), este tiene su origen en las primeras décadas del siglo XX (Alarcón, 2008). Bajo él se acogieron una serie de obras que tenían como denominador común que el sonido formaba parte de ellas de una u otra forma. Lo cual dio una gran amplitud al término como tal, haciéndolo inabarcable si se tiene en cuenta que por arte se entiende pintura, *performance*, *ballet*, escultura, escritura, poesía, audiovisuales y un largo etc., y por sonoro todas aquellas de las anteriores que produzcan sonido o hagan alusión a este. En tal caso, el adjetivo "sonoro", como apunta Molina Alarcón, hace una toma de atención sobre aquello de lo que el resto de disciplinas artísticas, relacionadas tradicionalmente con el espacio, carecen (2017). De ahí

que se estableció un punto de unión entre las artes del espacio y las del tiempo (música, danza y poesía) según el sistema de las Bellas Artes heredado del siglo XVIII[2].

Como señala Ariza: "el origen de este concepto se encuentra disuelto en la propia historia de la humanidad a través de multitud de invenciones, técnicas, prácticas e ideologías" (2008, p. 74), lo que refuerza la identidad multidisciplinar del arte sonoro capaz de manifestarse como música (tradicional, concreta o electroacústica), *happening* o eventos sonoros, paisaje sonoro, instalación sonora, escultura sonora, etc. sin olvidar que estas actividades o disciplinas se fusionan y retroalimentan unas a otras. Por ejemplo, una escultura sonora puede dar pie a una *performance*, así como crear un paisaje sonoro o formar parte de una instalación sonora.

Por tanto se trata de una forma de artes plásticas híbrida que toma al sonido como medio material y al oído como receptor, excluyendo o no al resto de materiales y sentidos. No se trata de una evolución exclusiva de la música, sino más bien, de las artes plásticas, explorando, fundiendo y estirando las fronteras entre disciplinas. Se alude a un proceso de investigación/experimentación artística que busca un despertar del sentido del oído en las artes plásticas y que trató y continúa tratando de desbancar la hegemónica posición del sentido de la vista frente al resto[3]. Deriva de la búsqueda de los límites y experiencias del arte incluyendo el concepto de tiempo, bastante excluido en la concepción clásica de las artes plásticas y variando la participación del espectador, convirtiéndolo en

[2] Históricamente, se ha clasificado a la pintura, escultura, dibujo y arquitectura en las artes espaciales y a la música, poesia y danza en temporales.

[3] Consultar Anexo 1.

activo[4]. Se busca establecer una relación física y temporal con el sonido, además de evidenciar la indivisibilidad de este con el espacio. Es un tipo de arte interdisciplinar difícil de acotar que toma el sonido de las salas de conciertos y lo lleva al museo o sala de exposiciones y viceversa, toma el espacio y plasticidad escultórica para llevarla al lugar ocupado por la música.

En su corta historia (algo más de un siglo) ha sido tal la laxitud de su definición, que en los años 90 surgieron algunas voces críticas debido a que esta denominación se convirtió en un cajón de sastre en el que se daba cabida a cualquier expresión artística que incluyese sonido como medio. Max Neuhaus, músico y artista sonoro estadounidense, en su articulo titulado *¿Arte Sonoro?* para el catalogo de la exposición *Volume: Bed of Sound*, celebrada en el *P:S! Contemporary Art Center de Nueva York* en el 2002 (Kelly, 2011) planteaba que ese término, en plena abundancia de muestras y exposiciones no podía dar más de sí, según él, se organizaban exposiciones donde las propuestas presentadas ni pertenecían a las Bellas Artes ni el sonido que producían era relevante. Se trataba de una forma cobarde de hablar de "nuevas formas de música" y dejaba la célebre frase: *In art, however, the medium is rarely the message* [En el arte, no obstante, el medio rara vez es el mensaje] (2000, párr.17), haciendo alusión a que estas obras solo tenían en común el sonido como un medio o material.

Por su parte, Douglas Kahn, conocido por sus escritos en torno al uso del sonido en el arte, fue otra voz crítica y prefirió hablar del "sonido en las artes" más que de un "arte sonoro" (1999).

[4] Un espectador se convierte en activo cuando participa de la forma de la misma obra. En el arte tradicional el espectador debe buscar un punto donde apreciar la obra tal y como la concibe el artista, imponiendo este su ego o voluntad. Por otro lado, hacer al espectador activo implica que en el mismo transcurso del tiempo hay cambios en la obra que este puede generar o alterar según sus acciones.

Arnau Horta (2019), por otro lado, periodista e investigador en el ámbito de la creación sonora contemporánea, utiliza el término "sonorización de las artes" en la exposición *¿Arte sonoro?* en lugar de "arte sonoro".

Por último, Ana María Guasch, en un artículo para *La Vanguardia* a cerca de dicha exposición, extraía la siguiente reflexión:

> La pregunta sería la siguiente: ¿hablar de arte sonoro es lo mismo que hablar, por ejemplo, de pintura abstracta o de arquitectura del hierro, o solamente supone hablar de obras visuales que de algún u otro modo tienen el sonido o, en su caso, el silencio como uno de sus componentes. ¿O es hablar de obras sonoras que tienen elementos visuales como medios de su expresión creativa? (2019, párr. 1)

El arte sonoro, pese a que en una primera instancia pareciera sufrir de escasas manifestaciones (a tenor de los resultados obtenidos en la consulta a bibliotecas) en comparación con otras disciplinas artísticas de mayor tradición, goza de cierto auge, con publicaciones, espacios y páginas en internet que se actualizan día a día con nuevos creadores y contenidos. Tal vez la escasez de publicaciones escritas revela su naturaleza sonora, ya que resulta más fructífera una búsqueda en medios audiovisuales (donde podemos ver y oír) que en papel. Ciñéndonos a nuestras fronteras (España), la Facultad de Bellas Artes de Barcelona oferta desde 2011 un master de arte sonoro de modo presencial y on-line dirigido por Josep Cerdà y Josep Manuel Berenguer y ha publicado extensos trabajos a cerca de este tema (Martí Ruiz, 2016), la Universidad de Valencia también ha llevado a cabo varias publicaciones en forma de tesis (López, 2018), (Silleras, 2015), la fundación Juan March publicó en 2018 *Escuchar con los Ojos* y *!CHUM, CHUM, PIM, PAM,*

PUM, OLÉ! Pioneros del Arte Sonoro en España, de Cervantes a las Vanguardias de Molina Alarcón (2017).

En Madrid, 2005, se creó *In- Sonora*, una asociación cultural que desde entonces y hasta la fecha apoya y da visibilidad al arte sonoro e interactivo a través de la organización de actividades y de su propio festival. En 2020 El Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía organizó la exposición *Audiosfera* comisariada por Francisco López en la que se incluían cientos de obras sonoras desde 1980 hasta nuestros días.

Qué decir de aquellos mundos allegados que sin autoproclamarse arte sonoro están colindando e, incluso, desafiando los límites del arte, hablamos de *lutieres* caseros que hacen extraños instrumentos o de músicos que están fuera de lo convencional. Nos referimos, por ejemplo, a los excéntricos Fela Borbone o a Petr Válek[5] o a los cientos de casos en los que instrumentos cotidiófonos[6] poseen una plástica que supera con creces su funcionalidad.

[5] El primero realiza rocambolescas esculturas sonoras autómatas accionadas con antiguos componentes informáticos y mecánicos que rescata de la basura, una suerte de síndrome de Diógenes cercano a la cultura del punk de quien no sabemos si es un avatar creado por una mente lúcida o si se trata de todo lo contrario. El segundo practica el "ruidismo" por medio de chatarra y efectos electrónicos rudimentarios en unas actuaciones insoportablemente molestas e hilarantes para los oídos, pero que ponen de manifiesto la sonoridad de cualquier objeto y la ambigüedad con respecto a lo que llamamos música e incluso arte.

[6] Instrumentos musicales realizados con materiales de desecho o de uso cotidiano. Un ejemplo popular lo constituyen la serie de instrumentos que utilizaban el grupo humorístico "Les Luthiers" realizados por Hugo Domínguez. Palas de trabajo a las que se incorporaban cuerdas de guitarra, tapas de inodoro como arpas o tubos de cepillo de barrer como flautas formaban parte de su instrumentario.

1.1. Cómo se convierte el sonido en arte sonoro

El sonido "(...) un material impalpable, inmaterial, efímero y, por lo tanto, la máxima expresión de lo abstracto". (Cerdá. J, 2023)

Para defender esta disertación, tomamos como referencia la idea que Vera y Picado (2012) nos propone acerca de que ciertos preámbulos musicales facilitaron y asentaron una cultura proclive o allanaron el terreno para la aparición del arte sonoro. Ya en el siglo XIX algunos compositores como Wagner[7] o Tchaikovski[8] introdujeron sonidos producidos por objetos, tales como cañones y yunques, como complemento a los instrumentos de la orquesta, intuyendo que estos "ruidos" tenían un efecto atonal pero potente y sorpresivo sobre el espectador. Erik Satie, a principios del siglo pasado (1917), se acercó al ambiente dadaísta con *Musique d'Ameublement* tratando de desmitificar el acto musical, convirtiendo la música en algo accesorio y desprovisto de un aura mística, algo así como una música de fondo o un ambiente sonoro al que no se le tenía que prestar atención.

Estas acciones por parte de los músicos "convencionales", lejos de resultar anecdóticas, sirvieron como precedentes y contribuyeron a la formación de una base cultural para que en los años posteriores, el sonido/ruido pudiese ser parte de una obra plástica o musical, es más, entroncaron perfectamente con los ideales de futuristas italianos, como Luigi Russolo quien escribió en 1913 el opúsculo *El arte de los ruidos* (2001), incitando a los nuevos compositores del momento a utilizar en sus composiciones todo el material sonoro que la nueva era industrial les brindaba, ruido de motores, barcos, máquinas, etc. "He podido intuir la gran

[7] En su opera *El oro del Rin* (1854) Wagner incluyó una parte compuesta para 18 yunques además de efectos sonoros de truenos y efectos acústicos para voces. Escuchar en: https://www.youtube.com/watch?v=FgnfQvotAIM

[8] En la partitura de su *Obertura 1812* incluye 17 disparos de cañones y repique de campanas.

renovación de la música mediante el arte de los ruidos″ (1913, párr. 17) proclamaba.

Por otro lado, en la transición de estos dos siglos (XIX y XX) se produjeron grandes avances tecnológicos relacionados con el sonido. La aparición del teléfono de Marconi como medio de comunicación a distancia dejó a un lado el telégrafo y dio prioridad al sonido. En 1898 se produjeron los primeros registros estables de sonido en tubos de cera por medio del gramófono de Edison y un año antes apareció la radio (1897), responsable de que los espectadores utilizaran su oído como receptor de toda noticia y música externa. De este modo, radio novelas, cultura, noticias, deporte y música entraron en las casas de la mayoría de los ciudadanos del mundo a través de sus oídos.

Por su parte, la medicina se valía del estetoscopio/fonendoscopio para auscultar a pacientes y escuchar el interior de los pulmones y el ruido del corazón. En el ámbito militar, a partir de los años 50, los submarinos utilizaron radares basados en sondas y ultrasonidos para detectar la situación del enemigo. Incluso en las guerras, ya no solo se utilizaba el histórico sonido de los tambores para intimidar al enemigo, los sistemas de reproducción instalados en algunos vehículos de guerra fueron capaces, no solo de eso, sino de repetir continuamente consignas e ideales que acababan agotando al enemigo. Este despertar del sentido de la escucha sería decisivo para crear una cultura que convirtió al oído en el receptor destacado de estas actividades (Molina et al, 2017) (Anexo 1).

Hasta ese momento, el mundo del sonido, ni mucho menos estaba olvidado, existían óperas, teatros y actuaciones de música popular o tradicional en las que músicos y directores convivían con los oficios de lutier y de sonidista[9]. Ya se

[9] Eran los encargados de recrear los ruidos ambientales en las obras de teatro valiéndose de múltiples objetos, instrumentos y mecanismos capaces de recrear el sonido de relámpagos, viento, explosiones, animales, etc. Aún hoy siguen existiendo, pero ni que decir tiene que han cedido su espacio a las grabaciones de sonido. Con una rápida búsqueda por internet podemos encontrar múltiples bancos de sonidos que harían la misma

trataban las señales acústicas producidas por instrumentos, bocinas, campanas o cencerros y existían, carrillones, así como objetos musicales automáticos. La resolución de cuestiones acústicas se conocía incluso desde la prehistoria, cuando el ser humano seleccionaba unas u otras cavernas por la sonoridad que tuviesen.

No obstante, en lo que respecta al arte, se encontraba atrapado o encasillado dentro de los límites de la música convencional. La inclusión de nuevos sonidos e instrumentos raros no era más que un acontecimiento anecdótico.

Así que, coincidiendo con el cambio paradigmático del modelo de las Bellas Artes y el nacimiento de los *ismos,* a principios de la segunda década siglo XX, en 1913, Duchamp ya hacía sus primeros experimentos con partituras escritas totalmente al azar (*Erratum Musical* y *La mariée mise à nu par ses célibataires ,même*) al tiempo que sonaban o "rugían" los *entona rumori* de Luigi Russolo (quién además de una publicación literaria, construyó 27 máquinas accionadas por manivelas y engranajes internos provistos de membranas, cuerdas y bocinas que producían *glissandos* ruidosos y continuos)

Fue en 1913, cuando Nicolai Kulbin escribió su primera música microtonal, en busca de nuevas disonancias y combinaciones abstractas, Carlo Carra publicó el manifiesto *La pintura de los sonidos, ruidos y olores,* y Enrico Prampoline *La cromofonia de los sonidos.* Por todos estos acontecimientos, 1913 nos parece una buena opción para establecer como fecha simbólica a la que asociar la génesis del arte sonoro.

Las fronteras del arte sonoro son tan livianas que son muchas las ramificaciones que constituyen su historia. En torno a la escultura, la rama que

función. Aún así, podríamos decir que sus herederos directos del siglo XX son los artistas de *Foley*, encargados estos de recrear los espacios sonoros para cine y televisión, con gran variedad de objetos, artefactos y mecanismos.

más interesa a este escrito, la escultura cinética de los años 30 creada por Pevsner, Naun Gavo, Len Lye, László Moholy-Nagy, Alexander Calder y posteriormente J.Tinguely, junto con los trabajos de los años 50 realizados por los hermanos Baschet dieron el primer empujón necesario para consolidar esta disciplina. Por su parte, la aparición de personajes como John Cage provenientes del mundo de la composición musical y de la filosofía del arte, consolidaron el enorme abanico de manifestaciones artístico-sonoras.

La obra más genuina de Cage, o al menos la más conocida, *4´33´*, es una composición con un silencio que ocupa los tres actos de la misma. Con ella sentó las bases de un cambio de concepción en la escucha, alejada del concepto clásico de música. Puso el foco en una escucha activa, en la escucha del silencio, en la que se ponía de manifiesto entre otras cosas, que el silencio total era imposible[10]. Esta propuesta de "escucha activa" venía precedida por las enseñanzas de las filosofías orientales propuestas por el maestro Zen D. T. Suzuki. El silencio amplió la percepción sonora y cambió la dirección de la música occidental hacia los sonidos no intencionados, lo cual abrió las puertas a corrientes artísticas experimentales que se han desarrollando sucesivamente durante los siglos XX y XXI. No solo el sonido se convirtió en un materíal escultórico sino que también lo hizo el silencio[11].

Merece la pena recordar tres aportes fundamentales que Cage hizo al arte sonoro y en los que se ha fundamentado buena parte de la obra posterior:

[10] Incluso en una cámara anecoica, como experimentó el propio autor, es imposible un silencio absoluto puesto que se llega a escuchar el propio latido del corazón, el flujo de la sangre en las venas, ruidos estomacales, etc.

[11] Anexo 2.

> 1- La experimentación es el desarrollo de un proceso cuyo resultado final es desconocido, y que, como actividad artística, tiene más interés por el camino recorrido que por llegar a algún lugar.
>
> 2- Fue importante para él la inclusión de los procesos del azar y la aleatoriedad en su proceso de trabajo. Obviamente influido por los nuevos paradigmas científicos de la época, como la Teoría del Caos así como por sus predecesores dadaístas. Con el mismo Marcel Duchamp, Cage llegó a escribir una partitura basada en los movimientos de una partida de ajedrez entre ambos.
>
> 3-En sus trabajos, el sonido fue considerado como un elemento performativo, la acción, implícita en la mayoría de los conciertos de Cage, prefiguraron lo que posteriormente fueron las *performances* artísticas, los *happenings* y el arte de acción. De hecho, muchos de estos conceptos clave del panorama artístico del arte contemporáneo fueron iniciados en el *Black Mountain College*, que tenía en John Cage uno de los maestros indiscutibles y que derivaron en el movimiento Fluxus de quién Cage es considerado el iniciador. (Cage, 2002)

Los artistas del movimiento Fluxus entendieron la vida como arte, si bien tuvieron muchos puntos en común con acciones que ya habían realizado antes los "dadaístas", "futuristas" y "concretistas". Convirtieron el *happening* en su modo de comunicación artística, desarrollando numerosos eventos en los que el sonido y la música fueron los protagonistas. Por ejemplo, Takehisa Kosugui, en 1964, propuso envolver un micrófono con un papel y escuchar como se iba desenvolviendo; Philip Corner, en 1979, creó sus *Ear Paper*, que consistió en crear un espacio sonoro con la cabeza introducida en una bolsa de papel; o quizá

la más conocida, la de Ben Patterson que con su *Paper Piece* de 1960, buscó todas las posibilidades expresivas del sonido del papel al ser estrujado, roto, rasgado, doblado o manipulado en todas sus opciones (Silleras 2015).

Por otro lado, fueron compositores como Pierre Schaeffer, con sus composiciones para cinta magnética (precursor de lo que vendría a llamarse música concreta), o Iannis Xenakis, uno de los padres de la música electroacústica, los primeros en referirse al sonido como un material espacial, tratándolo como objetos o masas sonoras, que se podían cortar, modelar y componer para proyectarlas en el espacio.

Se trataba de un escenario en el que confluyeron tanto los artistas plásticos como los compositores musicales, que a su vez se hizo acopio de las nuevas tecnologías relacionadas con el sonido. Esto lo atestigua el caso de Takis, pionero del arte experimental más avanzado de la década de los 60, que puso en relación la investigación artística con la científica y la filosófica y para ello se valió del electromagnetismo poniendo en evidencia un mundo invisible o de fuerzas y ondas invisibles. Se consideró lo invisible en cuanto ausencia de la materia opaca y maciza a la que las artes estaban habituadas. Estas fuerzas y ondas sonoras de diferentes frecuencias se manifiestan a través de diferentes objetos, la escultura se convirtió en un objeto capaz de tener nuevas dimensiones que superan o que difieren de la clásica reflexión de la luz en una superficie y que las hace visibles. Estas ideas sobre la materia invisible reforzaron aún más el campo de lo sonoro, que como sabemos, también se basa en la vibración y movimiento de ondas invisibles a la vista.

El campo del arte sonoro siguió creciendo exponencialmente, desde la escultura sonora, instalación, al *happening*, la música concreta, etc. y esto sirvió para trabajar a su vez con otras disciplinas como el teatro, la danza o la arquitectura (teniendo en cuenta su carácter espacial y cómo el sonido se relaciona

con él), lo cual creó una amalgama de obras cada vez más difíciles de identificar y catalogar. Siguieron trabajos como *Music for solo Performer* (1965) de Alvin Lucier, que nos presentó una *performance* en la que a través de electrodos se interpretaban las ondas alfa del cerebro del artista; Juan Hidalgo del grupo *Zaj* que con cierto humor nos mostró su *Música intestinal* (1966) o las conocidas como *Singing Sculpture* (1969) de Gibert y George que desde entonces se presentaron a sí mismos como esculturas humanas.

Nos parece interesante mencionar uno de los trabajos más significativos del anteriormente citado, Alvin Lucier. Al considerar que *I am sitting in a room* (1969), explica muy bien como el sonido puede ser un material maleable. En esta obra, Lucier se presentó sentado en una silla en medio de una habitación y grabó un texto en una cinta. Este texto fue reproducido por un equipo de sonido y vuelto a grabar una y otra vez en la sala hasta que el texto se hizo ininteligible debido a la interacción de los sonidos reproducidos con la propia acústica del habitáculo. A medida que avanzó la *performance* las características sonoras de la habitación potenciaron unas frecuencias y destruyeron otras, lo que convirtió la narración inicial en una cacofonía ininteligible en la que se puso en evidencia cómo un espacio arquitectónico, espacio en resumidas cuentas (característica principal de la escultura), manipula un discurso. El propio texto que grabó Lucier explica por sí mismo la acción:

> Estoy sentado en una habitación diferente a la que tú estás ahora. Estoy grabando el sonido de mi voz al hablar y lo voy a reproducir de nuevo en la habitación una y otra vez hasta que las frecuencias de resonancia de la sala se refuercen a sí mismas de manera que cualquier apariencia de mi discurso, tal vez con la excepción del ritmo, se destruya. Lo que va a

> escuchar, por lo tanto, son las frecuencias de resonancia naturales de la habitación articuladas por el discurso. Considero esta actividad no tanto una demostración de un hecho físico, sino más bien como una forma de suavizar cualquier irregularidad que mi discurso pueda tener. (Lucier, 1969, citado por Cuartel de artillería, 2023, párr. 2)

Otro evento significativo, a pesar de que habitualmente ha sido estudiado como un movimiento sociológico, es la aparición de la cultura pop y la música psicodélica en los años 60. Este periodo suele pasar desapercibido para la mayoría de los artículos y escritos en cuanto al arte sonoro, pero parece un tema insoslayable, ya que se intuye que gracias a este movimiento social y musical se abrió un enorme campo de "colores y texturas" en el sonido a partir de la experimentación e investigación de nuevos aparatos electrónicos que producían ruidos u otras formas sónicas. De este modo, pedales de efectos como *wah wah*, *overdrive*, *phaser*, *reverb*, *tape delay*, etc. quedaron grabados en los discos de la época y fueron expuestos en conciertos multitudinarios, convirtiéndose en estándares del sonido del pop-rock psicodélico. *The Beatles*, *Jimmy Hendrix*, *Pink Floyd*, *The 13th Floor Elevators* y tantísimas otras bandas de música que entraron en las casas de los jóvenes normalizando nuevos sonidos en la cultura popular, sonidos que de otro modo tal vez hubiesen tenido menor aceptación. Si bien la música basada en sintetizadores ya era practicada por "concretistas" y "electroacústicos", la sonoridad de esta no alcanzó tanta popularidad hasta la era psicodélica, en la que, incluso el acto de quemar una guitarra en el escenario por parte de Jimmy Hendrix o llenar el bombo de la batería de pólvora y hacerla estallar en plena actuación por parte de The Who, bien podían pasar por una acción del movimiento Fluxus.

Se creó, por tanto, un ambiente sonoro menos musical desde una concepción clásica y más material/espacial, haciendo que este funcionara de manera independiente a la música.

Todo lo expuesto junto a los avances tecnológicos del lado de la mecánica, electrónica y programación, así como el desarrollo e implemento de los estudios en torno a la acústica y la psicoacústica de la actualidad, han aumentado las posibilidades creativas y ayudado al desarrollo de esculturas autómatas y que contribuyen a la interacción con el espectador sin necesidad de entrar en contacto físico con ellas. El trabajo de Trimpin[12] que utiliza tecnología mecánica y electrónica para activar sus instrumentos o las *Meta Music Machines*[13] de Oscar Martín basadas en la programación de un *software,* son un claro ejemplo de ello.

Por otro lado, cabe recordar que la materialidad del sonido es algo asimilado en la cultura musical y por ello no es de uso exclusivo del mundo de las artes plásticas o el arte sonoro. Por ejemplo, en el ambiente de la grabación de un disco de música popular, ya sea jazz, rock, folclore, etc. músicos, técnicos y productores se afanan en encontrar un sonido de guitarra más "crujiente", una voz más "oscura", "profunda" o "áspera", un sonido de batería "grande", etc. Estos no dejan de ser atributos de materiales tangibles, visuales y espaciales que se utilizan para encontrar equivalentes al invisible e impalpable mundo del sonido. Un ejemplo que sirve para reforzar esta idea es la situación vivida hace unos años, al presenciar un ensayo de la Orquesta Ciudad de Granada. El director detuvo el ensayo e hizo anotaciones a los músicos del tipo que esos contrabajos deben sonar como lo haría el avance de unos caracoles tan gigantes como elefantes. Al

[12] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=8iCLLrlT5Qc

[13] *Software* que analiza y sintetiza información de distintas músicas folclóricas a partir de las cuales crea nuevas secuencias rítmicas que activan unas estructuras lumínicas y fluorescentes.

instante, los músicos, a pesar de interpretar exactamente las mismas notas, supieron imprimir a estas el carácter necesario para encarnar esa imagen material que se les pedía.

1.2. La escultura sonora, acústica y en metal

Vera y Picado nos propone la siguiente definición:

> El encuentro de "lo sonoro y lo visual" da origen a dos prácticas diferentes que son el arte sonoro y la escultura sonora. El primero privilegia el aspecto auditivo proponiendo obras intangibles; la segunda produce esculturas, máquinas u objetos cuyos componentes materiales emiten sonidos. (2012, p. 52)

De esta afirmación se deduce que la escultura sonora es arte sonoro, pero no que todo arte sonoro sea escultura sonora. El arte sonoro incluye al paisaje sonoro, música concreta, música electroacústica, arte radiofónico, *collage* sonoro, poesía sonora, instalación sonora, *happening*, etc. y además, escultura sonora.

Esta limitada definición la tomamos como el pretexto necesario para poder acotar el grueso de nuestro trabajo y así focalizar el estudio en aquellas obras que son más cercanas a lo objetual y producen sus sonidos a partir de la acústica y no de grabaciones.

Si tomásemos como punto de partida el concepto de escultura expandida defendido por Rosalind E. Krauss (Foster et al, 1983, pp.59-74), sería imposible dibujar un marco con el que cercar nuestro trabajo y nos tememos que se debería de tratar en esta publicación un espectro inabarcable de esculturas sonoras. De ahí que, pese a aceptar la idea de escultura como algo mucho más abierto y extenso que un singular objeto artístico, se ha optado en esta disertación (no por

convicción sino por concreción para con esta tesis) por entender la escultura como un objeto tridimensional y armonioso, por ende, la escultura sonora como un objeto bello y sonoro, y, por tanto, para ser más concisos, como un objeto bello, sonoro y metálico.

Por tanto, una vez hecha (en los apartados anteriores) una introducción de los espacios históricos y sociales en los que el arte sonoro se ha desarrollado y una vez entendido cómo el sonido ha llegado a ser considerado un material a tener en cuenta en el arte y, por tanto, la escultura, nos falta analizar y entender la relación que la escultura sonora pueda tener con los diferentes metales. Para ello, exponemos que existe una relación innegable entre instrumento musical (entendido éste como el objeto sonoro por antonomasia) y la escultura. Es importante señalar que escultura y luteria[14] tienen en común la utilización de los mismos metales a lo largo de la historia, debido a sus características estructurales y sonoras. Ello se hace visible con el paralelismo cronológico en cuanto a la aparición de los primeros instrumentos y esculturas elaboradas en cobre y sus aleaciones; *La bailarina de Mojenho-Daro*[15], encontrada en 1926 en el actual Pakistán, es la escultura de bronce más antigua que se conserva a día de hoy y está datada en el III milenio a.C., al igual que las dos trompetas de Tutankamon[16], una de plata y otra de bronce (las más antiguas de las que se tiene constancia), que en

[14] En origen el término lutier (en francés: *Luthier)* hace referencia a los lauderos que son quienes construyen, restauran, reparan y ajustan, instrumentos de cuerda frotada y pulsada. En la actualidad se ha generalizado su uso y se refiere a aquella persona que fabrica o repara cualquier tipo de instrumentos. (Capítulo 4)

[15] Se trata de una escultura maciza de unos 11 cm de altura que representa a una joven sacerdotisa. Es interesante destacar su perfecto estado de conservación así su avanzado trabajo de la anatomía.

[16] Su estado es asombrosamente bueno a pesar de la aparente fragilidad que supone un instrumento de 5000 años de antigüedad. Tanto es así que en 1939 la BBC se las ingenió para hacer un programa de radio en le que estos instrumentos fueron tocados y el registro sonoro se encuentra documentado. Solo podían producir tres notas y seguramente tenían una función religiosa.

1922 el arqueólogo y egiptólogo Howard Carter descubrió en la tumba del faraón Tutankamón.

Por otro lado, la fundición a la cera perdida y la chapa batida (técnicas para el conformado de esculturas e instrumentos) fueron ya dominadas por la cultura egipcia, mesopotámica y china de estas eras. Así mismo, fueron las maneras de hacer que desarrollaron el mundo griego y romano y que seguimos utilizando a día de hoy, eso si, implementadas con los evidentes avances tecnológicos de nuestro tiempo.

La vinculación del sonido y la escultura es inherente a ella si nos remontamos incluso a los procesos de producción de la misma, puesto que estos conllevan en muchos casos la producción de sonidos rítmicos y en ocasiones tonales, ya sea en el amasado del barro, en el ritmo del torno de alfarero, el golpe del cincel sobre la piedra, la lima sobre el metal, etc. La vinculación de escultura, sonido y metal surge por consiguiente ya desde el proceso de reducción de los minerales, el cual está cargado de sonoridad y ritmo. Al batir el metal con martillos o piedras para volver a calentarlo es común escuchar una escena rítmica. Para facilitar la labor imaginativa pensemos en los martinetes[17], palo del flamenco que es interpretado con voz y acompañado por el ritmo producido al golpear con martillo un yunque de metal.

Por otro lado, es interesante tener en cuenta que la figura del lutier, el responsable de realizar los instrumentos (nada que ver con el compositor de música) a lo largo de la historia, no solo se ha limitado a crear un instrumento práctico del cual su aspecto respondía exclusivamente a la obtención de notas, sino que, una vez superadas las exigencias sonoras, el siguiente paso fue sofisticarlo y embellecerlo. Así es como se desvinculó de la mera funcionalidad,

[17] Literalmente martinetes son los fuelles gemelos que se usan para alimentar de oxígeno a la fragua de ahí el nombre de este palo del flamenco.

tratando de elaborar un objeto único con varias características propias, preciso para interpretar sonidos y precioso para los ojos. Esto último es lo que lo acerca a una idea de escultura clásica. No obstante, en el desarrollo de las artes del siglo XX los cánones de belleza han variado tanto que entender una escultura como un objeto bello se convierte en algo muy cuestionable, así que podemos entenderlo de una forma muy simplista como un objeto provisto de cierta intención estética. Por ejemplo, las trompetas de Tutankamon estaban grabadas con bellas imágenes que acompañarían al faraón en su viaje y que traspasaban la función sonora. El sistro, una especie de sonajero egipcio, incluía pequeñas figuras de animales fundidas en bronce, también las rosetas de las guitarras no tienen una función sonora sino decorativa y a ellas se le da gran importancia a la hora de realizar el instrumento.

De aquí deducimos que el constructor de instrumentos, en ocasiones, ha aspirado a crear esculturas u objetos de arte. Mientras que, por su parte, el escultor tradicional cuando se ha referido al mundo de la música, se ha limitado a representar a los instrumentos o músicos sin aspirar a crear sonido. Desde *El tañedor de lira de* Keros de 2500 a. C. al *Apolo inspirado por la música* (1819) de José Álvarez Cubero, hasta *Guitarra* (1912) de Picasso (todas ellas obras escultóricas), a lo máximo que ha aspirado la escultura ha sido a representar con más o menos acierto escenas musicales o instrumentos. Este es un punto muy interesante para el corpus de nuestra tesis, pues aquí es donde reside la importancia de la escultura sonora. Esta dejó de representar a instrumentos para convertirse, en cierto modo, en ellos. Desde un punto de vista poético, se entiende que la escultura sonora deriva de una deuda que el mundo de la escultura tubo con el de la lutería, ya que aún no había sido capaz de ponerse a su altura, algo que si había hecho el lutier.

La lectura puede verse a la inversa como plantea Ariza:

> La subversión de y sobre los medios de reproducción sonora supone la trasformación del instrumento en objeto manipulado que traduce en códigos nuevos (visuales y sonoros) su nueva funcionabilidad. Esta subversión que causa la destrucción del instrumento o de la fuente sonora tradicional significa, al mismo tiempo, la génesis de nuevos medios de reproducción instrumentales y acústicos. Fuentes sonoras cuya estética y morfología a veces supera su mera instrumentación para convertirse en objeto artístico. (2008, p.121)

Pero entendemos que esta afirmación forma parte de la historia misma de los instrumentos, querer que sean bellos además de que suenen bello. De ahí que parece más acertado entender que en el nacimiento de la escultura sonora, lo que se transformó debió ser la propia concepción de escultura, al querer tomar el sonido como material escultórico, ya que al igual que otros materiales, este puede modificar el espacio y las emociones del espectador.

Ello se materializó en 1916 en la obra *À bruit secret* [Un ruido secreto] (Figura 1.1) de Marcel Duchamp. Tanto Silleras (2015) como Licht (2011) coinciden en señalarlo como el creador de la primera escultura sonora. Se trata de un *ready made* realizado por Duchamp en colaboración con su marchante y amigo Walter Arensberg, quien introdujo un objeto que el propio autor desconocía en el interior de un ovillo, este fue sellado con dos planchas de metal y cuatro pernos con tornillos. La única opción para obtener información de lo que había en el interior era tomar la escultura, agitarla y escuchar el sonido que se producía.

Duchamp se valió de la sonoridad y los pensamientos que suscita "algo desconocido" que hay colocado en el interior del ovillo para crear en el espectador

la sensación de incertidumbre o misterio. En esta obra el sonido se sitúa en un nivel narrativo más elevado que el resto de sus materiales. Hace más de cien años el padre del dadaísmo y del arte conceptual ya rompió con la jerarquía visual en las artes plásticas. Él mismo escribió:

> Before I finished it Arensberg put something inside the ball of twine, and never told me what it was, and I didn't want to know. It was a sort of secret between us, and it makes noise, so we called this a Ready-made with a hidden noise. Listen to it. I don't know; I will never know whether it is a diamond or a coin[18]. (Sanouillet & Peterson, 1975, p. 135)

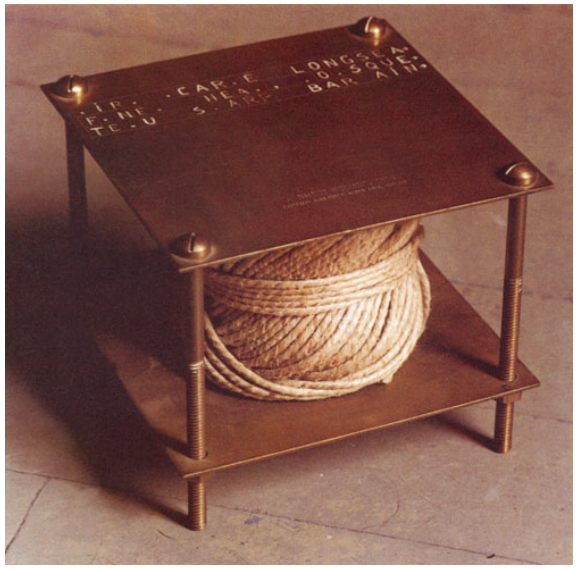


Figura 1.1. Duchamp, M. (1916) *À bruit secret* [*ready made* hecho con metal e hilo]. Fuente: Centro Georges Pompidou

[18] Traducción propia: Antes de terminarlo, Arensberg puso algo dentro del ovillo de cordel y nunca me dijo qué era, y yo no quería saberlo. Era una especie de secreto entre nosotros y hace ruido, así que lo llamamos Ready-made con un ruido oculto. Escúchalo. No sé; Nunca sabré si es un diamante o una moneda.

1.3. Cómo la búsqueda de lo cinético se encontró con lo sonoro

Existe una relación directa entre movimiento y sonido acústico; para provocar cualquier evento sonoro, por muy débil que sea, se necesita que un objeto oscile (movimiento de vaivén en torno a una posición de equilibrio) para provocar las vibraciones del medio que más tarde se convierten en sonido en nuestro cerebro (Capítulo 2).

Esta relación constitutiva y dependiente del sonido con respecto al movimiento la tubo en cuenta J. Ariza (2008, p. 119) que deja entrever que la aparición del sonido en la escultura sonora pudo ser algo accidental que se producía al activar los mecanismos de la escultura cinética. Algo sobre lo que el artista tenía la opción de ignorar, eliminar o tomar la decisión de convertirlo en una característica más de la obra [19]

No obstante, a principios del siglo XX con la llegada de las vanguardias y con el propósito de romper con la concepción estática de la obra ya había surgido la intención de dotar a las artes plásticas de movimiento. Futuristas italianos y el manifiesto realista de los hermanos Pevser así lo evidencian.

En el caso de los futuristas, el poeta y cabecilla del movimiento, Marinetti, ensalzó el amor a la velocidad y al peligro, proclamando el culto a una nueva belleza, como muestra en el punto 4 del conocido manifiesto futurista publicado en el diario *Le Figaro*:

[19] Ese parece ser el caso de la obra de Calder, Tinguely o H. Bertoia, entre otros. Es más, Bertoia confesaba haber descubierto el sonido de sus esculturas al caer al suelo las varillas de metal con las que las construía (5.4.3). Para otros como Laslo Nohovy o Pevsner el sonido que sus esculturas cinéticas producía era molesto y les llevó a abandonar o cambiar el rumbo de sus investigaciones.

> Declaramos que el esplendor del mundo se ha enriquecido con una nueva belleza: la belleza de la velocidad. Un coche de carreras con el maletero decorado con grandes tubos, como serpientes con aliento explosivo... un coche rugiente, que parece correr sobre metralla, es más bonito que la Victoria de Samotracia. (Marinetti,1909)

Es interesante comentar, con respecto a este texto, tal y como señala Solanas (2011, p. 39) que "la velocidad y el ruido" son las principales cualidades resaltadas en el escrito y que sin embargo, en infinidad de textos, la cita aparece abreviada de la siguiente forma: "un coche de carreras es más bello que la Victoria de Samotracia", excluyendo el componente sonoro en el que los tubos del capó se comparan con *serpenti dall´allito esplosivo* y el coche de carreras es más exactamente un *automobile ruggente*".

Esta declaración de intenciones por parte de los futuristas se apoyó en los avances tecnológicos de la época, como por ejemplo en las series fotográficas obtenidas por el "zoopraxicopio" de Eadweard Muybridge, método por el cual se podían apreciar las diferentes fases y posiciones anatómicas en la carrera de un caballo. Los resultados escultóricos más claros los podemos encontrar en la obra de Boccioni *Formas únicas de continuidad en el espacio* cuya primera versión en escayola se hizo en 1913 (Figura, 1.2), una suerte de cubismo dinámico en tres dimensiones. Parece evidente, que el arte de vanguardia quería a toda costa introducir los conceptos de movimiento y tiempo, tratándolos como una dimensión imprescindible en un mundo artístico en el que parecía carecer de sentido congelar un instante en una escultura o cuadro convencionales.



Figura 1.2. Boccioni, U. (1949). *Formas únicas de continuidad en el espacio* [escultura en bronce fundido]. Fuente: The Metropolitan Museum of Art

El constructivismo ruso, por su parte, se distanció de sus coetáneos italianos, tachando de interpretación simplista dar importancia al movimiento de máquinas, coches o el bullicio del bullicio de las calles y reprendieron a los futuristas en su *Manifiesto Realista* de 1920:

> ¿Será en verdad necesario convencerles de que nada de eso tiene que ver con la velocidad ni con los ritmos? mientras un rayo de sol... La más silenciosa de las fuerzas silenciosas recorre más de trescientos mil kilómetros por segundo... Contemplemos nuestro estrellado firmamento...¿quién puede oírlo?... Y sin embargo, ¿qué son nuestras estaciones comparadas con las estaciones del universo? ¿qué son nuestros trenes comparados con los veloces trenes de las galaxias?

Naum Gabo y Antonie Pevsner, vinculados primero al cubismo y más tarde al constructivismo, son los responsables de este manifiesto y los primeros en hacer referencia como tal al "arte cinético". Partiendo de principios físicos y matemáticos compusieron piezas estáticas capaces de representar el movimiento a través de líneas y formas con materiales menos pesados como el *plexiglás*, pero sin lograr romper con la concepción clásica de escultura como objeto inmóvil, quedando muy lejos de acercarse a la idea de esculturas cinéticas que más tarde acontecieron. *kinetic Construction (Standing Wave)*[20] (1920) de Naum Gavo es una de las primeras apuestas por la escultura cinética (Figura 1.3). Se trataba de una varilla de acero sobre una peana negra de madera con un motor eléctrico instalado en la parte inferior. Este hacía girar la varilla y en sus oscilaciones parecía dotar a la pieza de volumen, un volumen transparente. La escultura se hizo para demostrar a sus estudiantes los principios del manifiesto realista. No obstante, estos primeros intentos fueron erráticos y en ellos parece que no pudieron intuir las nuevas capacidades sonoras que les presentaba la escultura puesto que la técnica electrónica aún era austera y en las contadas ocasiones que introdujeron motores en sus obras, terminaron descartándolas, entre otras cosas, por el ruido que estos producían. Otro caso conocido es el de Làslò Moholy-Nagy con su *Light Prop for an Electric Stage* o *Modulador de luz y espacio* (1930). Se trataba de un dispositivo móvil que incluía distintos elementos metálicos y plásticos que dejaban pasar la luz, proyectando formas y sombras, en definitiva, jugando con la luz y el movimiento. El mecanismo estaba soportado por una plataforma circular con engranajes y cadenas que lo hacían girar. En un principio,

[20] *Standing wave* hace referencia a las ondas estacionarias que se estudian en física y acústica. Es aquella perturbación oscilatoria en la cual ciertos puntos, denominados nodos, permanecen inmóviles.

cuando se presentó en la exposición Werkbund de Paris, el dispositivo estaba en el interior de un cajón que poseía una serie de bombillas con una programación que duraba unos dos minutos y en cuyas paredes también se reflejaban las luces.

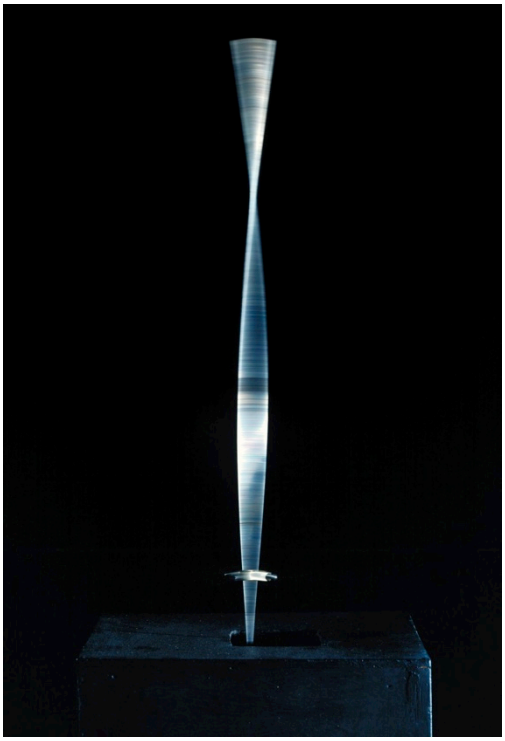


Figura 1.3. Gabo, N. (1919-1920, réplica 1985) *Kinetic Construction (Standing Wave)*[escultura cinética realizada con varilla de acero inoxidable y motor eléctrico].
Fuente: Nina y Graham Williams.

Duchamp, por su parte, a partir del 1935, realizó también una serie de obras cinéticas activadas por motores y en las que jugaba con los efectos ópticos producidos por discos de color a los que denominó "rotorelieves",

Otro artista que nos permite indagar en la relación movimiento/sonido de una manera evidente es el Neozelandés Len Lye. Más conocido por sus trabajos de cine experimental, también destacó como uno de los pioneros de la escultura cinética. En sus trabajos utilizó planchas y pletinas de acero inoxidable, que eran

movidas y agitadas por motores y electroimanes instalados en ocasiones en el interior de las peanas. El resultado eran juegos con los brillos y reflejos que el metal producía por la reflexión de la luz, de este movimiento también surgían sonidos metálicos inesperados[21]

Estos no son más que algunos ejemplos de cómo lo cinético se ha conducido en muchos casos hacia a lo sonoro y como en la actualidad esa idea está más que afianzada si tomamos de ejemplo cualquier trabajo de Zimoun[22] o Leonel Vásquez (p. 244), dos destacados artistas sonoros contemporáneos.

Pese a la evidente relación, afirmar que toda obra cinética es también sonora, no sería del todo correcto, puesto que entendemos que esa cualidad sonora la determina la voluntad del artista apostando por dónde pone el foco de atención; en el movimiento, en el sonido, o en ambos.

La idea de movimiento a priori parece menos evidente en obras como las presentadas por los hermanos Baschet (Capítulo 5.4.1) puesto que sus instrumentos no se mueven[23], sin embargo, dependen totalmente del movimiento de las personas que se acercan a ellas para tocarlas.

Con movimiento, por tanto, no se hace referencia exclusiva al que realiza la escultura, si no también al de los mecanismos que actúan para activarla: electromagnetismo, agua, viento, acción humana o animal, motores eléctricos, etc.

[21] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=fgqht8Ui8dw&t=2s

[22] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=VAzObWw4ezo

[23] No se mueven de una forma visible por el ojo humano, sin embargo, las partes de las estructuras Baschet vibran para producir sonido y esa vibración es movimiento.

Capítulo 2. Sonido. Principios básicos de acústica

(...)La audición es el primer sentido que se desarrolla en el ser humano, es nuestro primer contacto con el mundo. Cuando aún no hemos abierto los ojos a la vida, cuando no tenemos nada que palpar o gustar, ni podemos oler el aire... el sonido ya está allí acompañándonos, para siempre. (Bonello, 2011, p. 11)

Capítulo 2. Sonido. Principios básicos de acústica

El sonido que percibimos es una vibración de energía que viaja a través de la materia, generalmente del aire, y lo hace en forma de ondas. De este modo se transporta energía de un punto a otro de la materia sin que haya una aparente conexión entre ambos sitios.

Según la Física, el sonido es un fenómeno que se produce por la propagación de ondas mecánicas acústicas en medios solidos o fluidos (líquidos o gases) con una frecuencia[24] dentro del rango audible[25] humano. Por debajo de dicho rango se encuentran los infrasonidos y por encina están los ultrasonidos, que pueden ser oídos por otros seres vivos (2.2.1). Para el ser humano el sonido es la recepción de estas ondas por el oído y su percepción e interpretación por el cerebro. Lógicamente, pese a que la mayoría de las personas oímos dentro de un mismo espectro sonoro, la fisonomía y factores psicológicos de cada individuo lo llevan a percibir el sonido de un modo ligera o abismalmente distinto.

[24] Frecuencia: número de ciclos completos que se repite una onda en 1 segundo.

[25] El rango de audición es el espectro de sonidos que puede percibir el ser humano.

2.1 Acústica

Podemos definir la acústica como la ciencia que se encarga del estudio de la transmisión de las ondas mecánicas sonoras que se transmiten a través de la materia (no pueden propagarse en el vacío). La acústica recoge los estudios de la producción, transmisión, reproducción, almacenamiento y percepción del sonido (Benade, 1976).

La palabra puede ser utilizada como adjetivo, por ejemplo cuando nos referimos a una "guitarra acústica", haciendo referencia a sus cualidades acústicas eludiendo cualquier otra interpretación.

Pese a que la existencia de esta rama de la ciencia es relativamente reciente[26], el ser humano ha tenido conocimientos prácticos de ella desde los orígenes de la historia, la manipulación del sonido ha sido una actividad inherente a él. Por ejemplo, desde la detección y emisión de los primeros ruidos por parte del hombre hasta el desarrollo del lenguaje hablado y la creación de instrumentos musicales[27], se ha explorado y comprendido empíricamente el comportamiento del sonido. Se han encontrado evidencias de que, incluso, en períodos prehistóricos, se tenían conocimientos prácticos sobre cómo determinados entornos naturales, por

[26] A principios del siglo XVIII, Joseph Sauveur fué quién dió el nombre de "Acústica" a esta ciencia derivandolo del verbo griego "acouo" que significa "oír" ("yo oigo").(Sozio, 2001)

[27] Se estima que el ser humano comenzó a hablar hace 50 000 años. En 2009, un grupo de arqueólogos liderados por Nicholas Conrad de la Universidad de Tuebingen (Alemania) encontró restos de una flauta tallada en hueso de buitre en cuevas prehistóricas germanas, datada en el Paleolítico, de hace unos 35 000 años, lo cual vendría a probar que la creación de instrumentos musicales surgió, en términos relativos, muy a la par que el lenguaje hablado. Ello permite comprender que ya se manipulaba el sonido con cierta maestría, puesto que nos estamos refiriendo a una flauta, que es un instrumento complejo y elaborado si lo comparamos con un idiófono, como el caso del litófomo descubierto en una cueva en Fieux à Miers, en la región francesa de Midi-Pyrénées, una enorme piedra que era golpeada y emitía sonidos similares a los de un *gong.*

ejemplo, cavernas y cuevas[28] (Jiménez, 2007), podían potenciar ciertas frecuencias sonoras que amplificaban el sonido de la voz humana y el emitido por los instrumentos musicales[29].

La noción de espacio arquitectónico como amplificador del sonido ha sido explorada con diversos propósitos a lo largo de la historia. Este concepto se evidencia en diferentes periodos, como en la Antigua Grecia (siglos V y VI a.C.), cuando se construyeron los primeros teatros con la intención de resaltar la voz de los actores. Este enfoque fue posteriormente adoptado por el Imperio Romano, que continuó desarrollando esta idea. Asimismo, en los templos cristianos, como las catedrales, se implementaron dispositivos de amplificación acústica como los tornavoces[30], con el mismo objetivo. En la época moderna y hasta la actualidad, la construcción de edificios como auditorios u óperas ha seguido esta línea de diseño y estudio, priorizando la óptima proyección del sonido.

Estos "haceres" o conocimientos prácticos en torno a la acústica, han evolucionado a lo largo del tiempo y han permitido tanto la configuración de espacios acústicos como la creación y control de los sonidos a partir de la construcción y uso de objetos sonoros en forma de instrumentos de música o artilugios para transmitir señales como las producidas por cencerros, bocinas,

[28] En nuestro caso hemos recurrido a varios trabajos. Entre ellos, destacamos el llevado a cabo por Noé Jiménez González *Estudio de las Características Acústicas de la Cueva del Parpalló* (2007) para la Universidad Politécnica de Valencia. Este texto, además de tratar el tema que da título a su trabajo, muestra numerosas publicaciones llevadas a cabo por otros autores y entidades.

[29] Hay que tener en cuenta que la proyección de la voz en el exterior o en un espacio libre de reflexiones es débil, pero, al ayudarla por la reverberación de un espacio como el de una cueva de piedra, puede ser amplificada, consiguiendo llegar, así, a más oyentes, infundir más respeto o crear un efecto mágico.

[30] Elementos arquitectónicos o espaciales que ayudan a orientar y dirigir el sonido del orador al público o a los fieles.

silbatos, etc. El resultado final ha sido poder general estos sonidos electrónicamente, sin necesidad de mecanismos analógicos.

Los primeros registros escritos sobre los fundamentos de la acústica se remontan a Aristóteles en el siglo IV a. C., quien en su obra *De Anima* (Acerca del alma) exploró la producción y propagación del sonido. Desarrolló ideas interesantes y cercanas a las teorías actuales, por ejemplo en *De Audibilibus,* llegó a afirmar:

> El sonido se propaga debido a la compresión o expansión de los cuerpos, los que comunican su energía al aire próximo y que a su vez comunica el movimiento a la capa siguiente de aire, y así sucesivamente, viajando el sonido como un disturbio del aire". (citado por Bonello, 2012, p. 24*)*

Posteriormente (s. I a. C.) el arquitecto romano Vitruvio (1787), entre sus tratados a cerca de cuestiones musicales, también propuso soluciones para mejorar la proyección de la voz en los teatros de la época. Éstas pasaban por colocar estudiados vasos de bronce bajo los asientos de la audiencia, haciendo que resonasen y amplificasen la débil señal sonora que llegaba hasta ella (Medina, 2020) (Figura 2.1). Por desgracia, no se conserva ninguno de estos objetos, ya que fueron fundidos en épocas posteriores.

A lo largo de la historia, diversas figuras, como Boecio en la Edad Media o Roger Bacon, en el siglo XIII, han contribuido al estudio del comportamiento del sonido.

En el siglo XVI, Galileo Galilei realizó investigaciones que sentaron las bases científicas para el estudio del sonido. La acústica moderna comenzó a tomar forma en el siglo XIX con el trabajo de científicos como Ernst Chladni y Wallace Sabine, quienes formalizaron la disciplina como una rama de la ciencia, en concreto de la Física.

En la actualidad, los conocimientos acústicos juegan un papel crucial en el diseño de espacios arquitectónicos, la fabricación de instrumentos musicales, la ingeniería de grabación (Rumsey & McCormick, 2008) y la creación de dispositivos para el aislamiento y control del sonido. Así pues, la acústica está presente en numerosos aspectos de nuestra vida cotidiana, como en teatros, salas de conciertos, auditorios, museos, viviendas, vehículos de automoción, la emisión del sonido en vivo, emisión por altavoces, amplificadores, móviles, radio, televisión, etc.

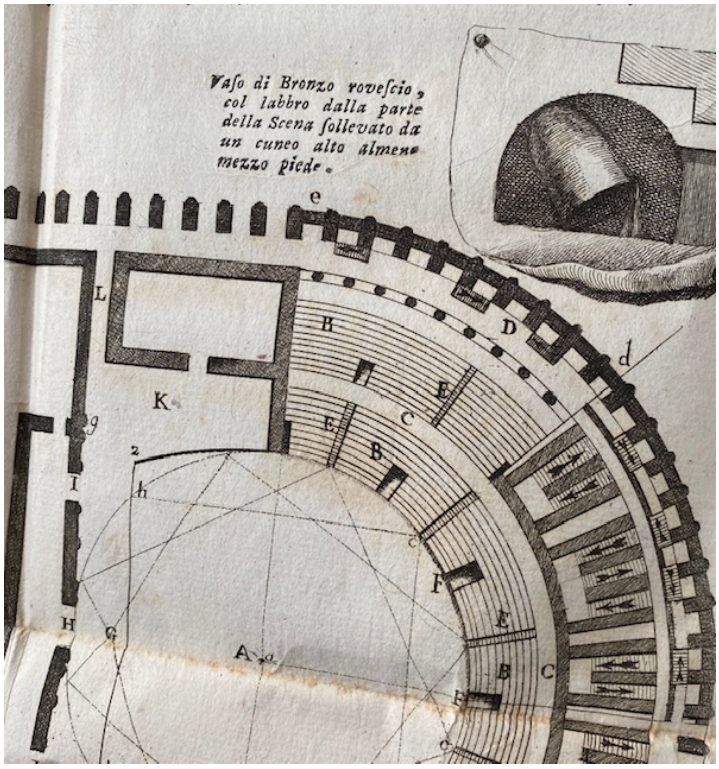


Figura 2.1. Ilustración de Lellio Dalla (1781). Se observa en la parte superior la colocación de un vaso bajo las gradas. Fuente: Á. Medina.

2.2 Conocimientos básicos de acústica

El sonido viaja en forma de ondas, agitando el medio en el que se encuentra. Al contrario que las ondas de luz, no es posible su propagación en el vacío.

Para que se produzca un sonido, previamente necesitamos de una fuente vibratoria o foco que haga vibrar el medio. La fuente vibratoria o foco del sonido, un altavoz, un diapasón, una trompeta, la voz humana, etc., produce movimientos de compresión y descompresión (en este caso del aire) generados por movimientos pulsantes de la materia. Se puede decir que las ondas sonoras que producen la vibración de la materia en forma de sonido se desplazan de forma

tridimensional en medios isótropos- aquellos que presentan las mismas características físicas en todos sus direcciones- formando ondas esféricas.

Su velocidad varía según el medio[31] en el que viaje, en general, el sonido se propaga a mayor velocidad en los sólidos (en el acero lo hace a 5000 m/s.) seguido por los medios líquidos y, por último, es en los gases donde alcanza menor velocidad. Por lo tanto, la materia a través de la cual, generalmente percibimos el sonido, el aire (compuesto por gases), se caracteriza por ser un medio de propagación lento.

La velocidad en el aire también está condicionada por la presión atmosférica, la temperatura y la humedad. Por ejemplo, a 0 ºC se propaga a 331 m/s, mientras que a 20 ºC lo hace a 343 m/s. Por otro lado, en una mañana con gran humedad, la presencia de más hidrógeno en el aire, que es uno de los gases que mejor conducen el sonido (1262 m/s en comparación con los 259 m/s del dióxido de carbono) puede aumentar la velocidad de propagación del las ondas, lo cual crea la sensación de una escucha más nítida.

2.2.1. Características de las ondas sonoras

Las 3 características que debemos tener en cuenta para comenzar a comprender el comportamiento de las ondas son: longitud de onda, amplitud y frecuencia (European Acustica, 2020, párr. 13).

Del valor, interacción y desarrollo de estas características resultan los términos con los que nos referimos a los sonidos: tono, duración, intensidad y timbre, (European Acustica, 2020, párr. 19). Espectro audible y serie armónica son otros conceptos importantes derivados a su vez de estos.

[31] El medio es la materia por la que se propaga el sonido.

- Características de las ondas:

-La **longitud de onda** es la distancia entre dos picos adyacentes de compresión[32] y rarefacción[33] de una onda y está representada con la letra griega lambda (λ) (Figura 2.2). Se mide en metros y está directamente relacionada con la frecuencia. Para hacernos una idea visual, las longitudes de onda de las frecuencias de audio en el aire oscilan entre los 17 m de los 20 Hz y los 17 mm de los 20000 Hz. Como referencia, la longitud de onda de 1000 Hz en el aire son 0,334 m.

El estudio de la longitud de onda es de vital importancia en el campo de la acústica (Benade, 1976), puesto que conociendo el tamaño de las ondas podemos diseñar un espacio idóneo para anular, atenuar o ensalzar determinados sonidos.

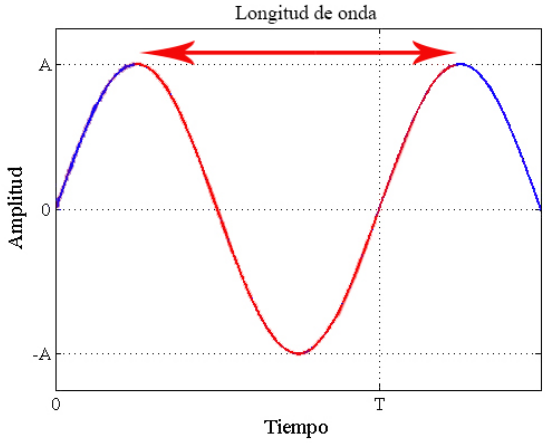


Figura 2.2. Longitud de onda. Fuente: elaboración propia.

[32] La compresión ocurre cuando en un gas se reduce el volumen que ocupa y aumenta con ellos su presión.

[33] La rarefacción es la acción por la cual se hace menos denso un cuerpo gaseoso, lo que provoca que se dilate y ocupe más espacio. Este fenómeno es contrario a la compresión. Mientras que en la rarefacción la presión es baja y hay un número pequeño de moléculas en el espacio dado, en la compresión la presión es alta y hay un gran número de moléculas para el mismo espacio considerado. El sonido se transmite en el aire mediante la alternancia de numerosas ondas de rarefacción y compresión.

-La **amplitud** es la cantidad de compresión y rarefacción que origina un cuerpo en su vibración. Está relacionada con el volumen, también conocido como intensidad, nivel sonoro o SPL (*Sound Presure Level*) y, generalmente, se mide en decibelios (dB). Al igual que con la frecuencia, el oído puede identificar un amplio rango de intensidades, determinando si se trata de un sonido débil o fuerte. Por encima de 120 dB el oído humano se expone a un sonido nocivo. El menor sonido en la audición humana es normalmente 0 dB SPL, es el umbral de audición. La conversación frecuente y diaria del ser humano, aproximadamente, se encuentra en los 65 dB y al realizar gritos asciende a 80 dB. Pese a ser la diferencia de sólo 15 dB, el grito es 30 veces más intenso porque la intensidad del ruido se duplica. El crecimiento de los dB es logarítmico.

-La **frecuencia,** en un lenguaje cotidiano es conocida como "tono" o "altura". Está representada por Hercios (Hz) y se refiere a la cantidad de ciclos que completa una onda en un segundo. 1000 Hz, 1 kilohercio (kHz*),* indican que en un segundo la onda ha completado 1000 ciclos completos. Para entender el concepto de ciclo sería apropiado imaginarse el movimiento de un muelle largo en el que se va transfiriendo la energía de un extremo a otro. En la vibración de dicho muelle habrá momentos en que las vueltas del metal estén más cerca las unas de las otras y justo a lado de esos puntos habrá otras que se encuentran con más espacio. Se produce por tanto una compresión y descomprensión de la materia en una dirección (Ferrer & Zuñiga, 2024). Pese a que la propagación de las ondas se parece mejor al ejemplo anterior, por comodidad en la mayoría de ilustraciones se ha optado por representar las ondas como sinusoidales ya que esto facilita su comprensión.

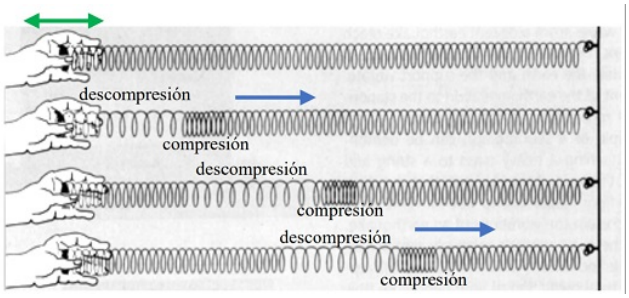


Figura 2.3. Símil con un muelle de los periodos de compresión y descompresión que experimenta un medio cuando el sonido viaja a través de él. Fuente: C. Ferrer y J. Zuñiga

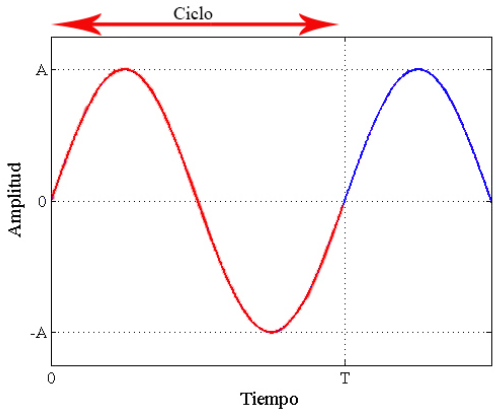


Figura 2.4. Onda sinusoidal. En rojo un ciclo completo. Fuente: elaboración propia

No obstante lo importante de la frecuencia es que a menor frecuencia, es decir menos cantidad de ciclos completos en un segundo, se obtiene un sonido grave, mientras que a mayor frecuencia, se obtiene uno más agudo (Figuras 2.3 y 2.4).

- Términos de sonido:

-El **tono** distingue entre un sonido alto/agudo y bajo/grave. Depende de la frecuencia de las ondas, es decir, de su velocidad de vibración. A frecuencia más alta, más alto/agudo será un sonido y con frecuencia baja más bajo/grave será un sonido.

-La **duración** nos permite distinguir entre sonidos cortos y largos, respecto a la persistencia de la onda hasta que se desvanece o desparece.

-La **intensidad** es la diferencia entre un sonido fuerte y uno suave, depende de la amplitud y su medida se refleja en decibelios (dB).

- El **timbre** probablemente sea la cualidad más difícil de definir, de estudiar y de medir en la acústica. Es la propiedad que nos permite distinguir dos sonidos distintos de igual tono y amplitud y está caracterizado por dos de sus representaciones. Su espectro y su envolvente:

- El **espectro** es una representación del sonido que nos da información acerca de qué frecuencias integran un sonido y cuáles son sus respectivas amplitudes o fases[34]. Hasta ahora nos hemos referido a sonidos puros o simples. Es decir, el sonido tenía una longitud de onda simple, lo representábamos como una onda sinusoidal constituida por la energía de una sola frecuencia, también conocida como tono puro. Sin embargo, en la vida real cualquier instrumento, voz o sonido, no está compuesto por un tono puro puesto que vibra de una manera más compleja. De modo que podemos expresar cualquier sonido como una mezcla de distintas frecuencias (más abajo desarrollamos esta idea ya que es importante para entender como funcionan los sonidos de los instrumentos musicales) (Figura 2.5).

- La **envolvente sonora** consiste en una manera de definir la evolución temporal en la amplitud de cualquier sonido, en términos de cuatro parámetros:

[34] La fase de audio indica en que punto de la onda sonora se está en el momento de tiempo seleccionado.

1. **Ataque** es lo que tarda en escucharse el sonido después de haber sido emitido o ejecutado. Por ejemplo, al generar un sonido con un instrumento, en primer lugar, habrá un pico de intensidad en que la amplitud será máxima debido al ataque*,* bien de una púa sobre una cuerda, el primer soplido sobre una lengüeta o el golpe de los martillos de un piano.

2. **Decaimiento** es el tiempo que tarda la amplitud en reducirse a la de sostenimiento, una vez alcanzada la amplitud máxima.

3. **Sostenimiento o *sustain*** es la amplitud que se mantiene constante hasta que deja de inducir vibración. Como ejemplo extremo, recordamos la pieza de John Cage *As slow as posible*, creada en 1987 para órgano, en la cual las notas deben interpretarse lo más lentamente posible hasta gastar el aire del interior del fuelle del órgano. Esta obra actualmente se está interpretando regularmente en la Iglesia de San Burchardi, Halberstadt, (Alemania). Comenzó en 2001 y está programada para tener una duración de 639 años, finalizando en 2640.

4. **Relajación** es el tiempo que tarda el sonido en perder toda su amplitud.

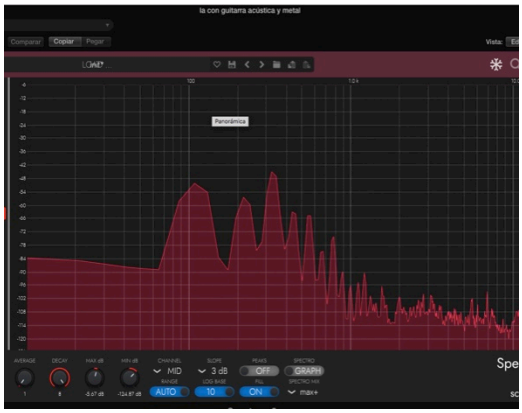


Figura 2.5. Análisis de espectro de una cuerda de guitarra acústica vibrando en La. Los picos representan las frecuencias que suenan con mayor amplitud. Software: Spectrum2.Fuente: elaboración propia.



Figura 2.6. Amplitud de onda de la pulsación de una cuerda de guitarra acústica. En el primer instante se produce un momento corto de mayor volumen, después un periodo largo de *sustain* y poco a poco se silencia. Software: LogicproX. Fuente: elaboración propia.

El timbre es una característica dinámica que experimenta cambios constantes. En cada momento, la forma de la onda sonora es única. Cuando un instrumento produce un sonido a una frecuencia específica, este sonido está acompañado por otras frecuencias adicionales, conocidas como armónicos. La combinación de estas diversas frecuencias y la variación en la amplitud de los armónicos determina el timbre distintivo de un instrumento u objeto. Por otro lado, cabe destacar que el timbre en un instrumento no es igual en toda su tesitura. Por ejemplo, las notas más graves de un piano tienen mucho más *soustain* que las agudas, destacando por un ataque rápido (Figura 2.6.)

Otros caracteres importantes del sonido son el espectro audible y la serie armónica (Latham, 2008):

-El **espectro audible** humano es el rango de Hz en el que el ser humano puede oír. Se establece desde los 20 Hz a los 20 kHz. Aun así y en la práctica, pocas

personas podemos escuchar un sonido por debajo de los 40 Hz (sintiéndolo más como una vibración) y por encima de los 17 kHz, siendo estos sonidos bastante molestos. El oído humano percibe mejor las frecuencias que van de los 400 Hz a los 4000 Hz, en el resto del espectro, el sonido va decayendo hasta desaparecer. Ciertos animales como aves, perros o ballenas, poseen un espectro audible más amplio, de ahí que puedan escuchar sonidos que el humano no es capaz. Esto viene a explicar determinados comportamientos del mundo animal frente a algunos desastres naturales en los que horas previas a *tsunamis*, terremotos o tormentas se les ha visto nerviosos o huyendo del lugar, debido a que percibían vibraciones provenientes del origen de estos fenómenos.

-La **serie armónica** consiste en la sucesión de los sonidos cuyas frecuencias son múltiplos enteros positivos de la frecuencia de una nota base, llamada fundamental. El matemático F. M. Fourier formuló su célebre teorema, según el cual, toda onda periódica compleja podía descomponerse en la suma de términos armónicos simples, cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la fundamental (Grafakos, 2014). Estos armónicos se deben a que la mayoría de las fuentes vibratorias simples pueden vibrar simultáneamente en múltiples modos armónicos. En una cuerda de guitarra o un tubo, la fundamental (el sonido que nos da la sensación tonal de altura), se corresponde con el movimiento en su conjunto de ondas hacia arriba o hacia abajo, mientras que los armónicos corresponden a los modos en los cuales el patrón de vibración se divide en puntos de máximo y mínimo movimiento en toda su longitud de onda (Bustins, 2017). Por ejemplo, en el sonido de una cuerda de guitarra, el primer amónico que encontramos corresponde al doble de la frecuencia de la fundamental, lo que se traduce en un

intervalo de una octava[35] más aguda. El segundo armónico (el tercer sonido que obtenemos si sumamos la fundamental) es el triple de la fundamental y tiene una proporción de 3/2 con el primer armónico, etc. (Figuras 2.7 y 2.8).

En la práctica, en la mayoría de los instrumentos los armónicos no son múltiplos exactos de la fundamental, aunque estén muy cerca, de ahí que ante esa inexactitud algunos prefieren llamarlos "parciales". También es posible que existan otras frecuencias que no sean múltiplos enteros del tono fundamental, a estos no es correcto llamarles armónicos, sino sobretonos o parciales inarmónicos. Tienden a producirse en fuentes vibratorias con forma compleja, que no vibran con un movimiento armónico simple, pero tienen varios modos periódicos de vibración. Sus patrones de oscilación suelen ser inusuales, como los de una campana o los de un instrumento de percusión. A pesar de ello, es posible que estos sonidos tengan un tono reconocible, si bien depende de la intensidad de las fundamentales. En campanas, cencerros etc., se suele percibir la fuerte presencia de varios sobretonos inarmónicos.

[35] Una octava en música es el intervalo que separa dos sonidos cuyas frecuencias fundamentales están relacionadas de 2 a 1. Por ejemplo, La 4 (A5) de 880 Hz está a una octava por encima, respecto a La3 (A4)de 440 Hz.

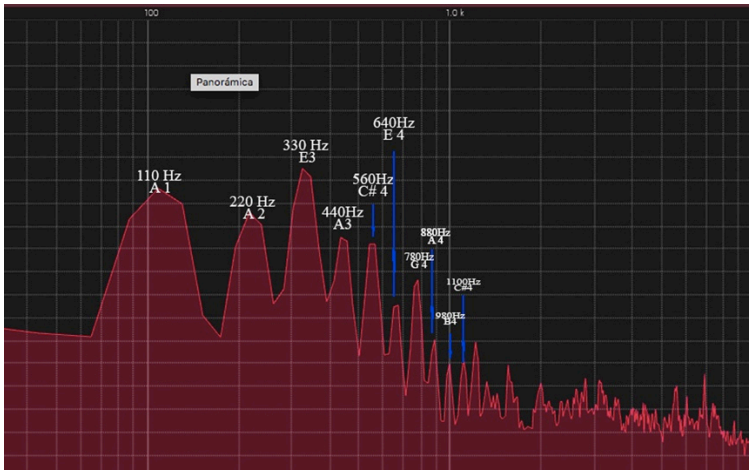


Figura 2.7. Medición de los 10 primeros armónicos/parciales a partir de la nota La (A) pulsada en una guitarra. Si se observa, a la derecha se siguen formando parciales, cada vez con menos intensidad. Software: Spectrum2. Fuente: elaboración propia.

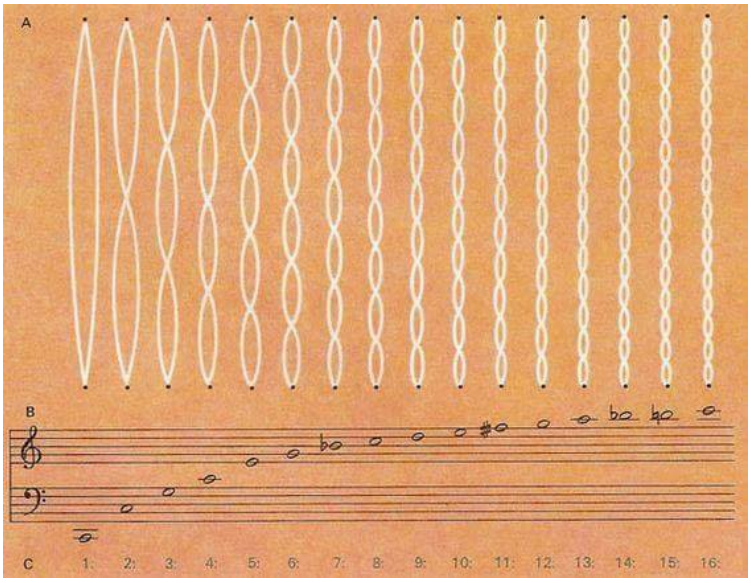


Figura 2.8. Distintos modos de vibración de una cuerda en un mismo momento produciendo sus parciales y la serie armónica. Fuente: autor desconocido

Enfatizamos el concepto de timbre para comprender por qué una misma nota suena de manera diferente cuando es producida por un instrumento de metal en

comparación, por ejemplo, con uno de madera. Aunque ambas emiten un La de 440 Hz, la forma y el material de la fuente que genera el sonido determinan el espectro sonoro y la envolvente resultante. Esto da lugar a una variedad de matices sonoros únicos que distinguen cada instrumento y espacio. De ahí que, incluso, dos violines construidos por el mismo lutier, utilizando la misma madera no suenan completamente igual. Las sutiles diferencias en los materiales (ya que ninguna plancha de madera es exactamente igual a otra, incluso, si provienen del mismo árbol) influyen en cómo vibran los instrumentos. Aunque estas diferencias pueden ser imperceptibles para el oído humano y las características pueden ser muy similares, explican la existencia de ediciones limitadas de instrumentos. Al disponer de un material específico y limitado de cierta calidad, solo se pueden producir un número determinado de unidades.

.2.2. Propagación de las ondas

Hasta ahora hemos tratado las ondas como si siempre se propagaran en línea recta. Sin embargo, cuando un frente de onda[36] se encuentra con distintas superficies materiales, éstas se ven afectadas y sufren procesos de amplificación, disipación o distorsión. Christiaan Huyghens (1678) propuso el principio de propagación, según el cual, todo punto del medio transmisor alcanzado por un tren de ondas se comporta como un nuevo foco emisor de ondas idénticas a las que le afectaron. La envolvente de todas las ondas secundarias así generadas constituye el nuevo frente de onda, dado que la materia transmite las vibraciones sonoras de una parte a la que tiene colindante. Los tres fenómenos inherentes a todas las ondas ya sean acústicas, eléctricas, lumínicas, etc. son: reflexión, refracción y difracción.

[36] Frente de onda: lugar geométrico en que un punto del medio es alcanzado en un instante por una determinada onda.

-**Reflexión** se produce cuando un frente de ondas que se propaga por un medio, llega a una superficie y retrocede por el mismo medio en que se encontraba.

El ejemplo más claro lo tenemos al ver nuestra imagen en un espejo, al llegar a una superficie, esta vuelve rebotada. El eco en unas montañas es un signo evidente de que el sonido también se refleja. En la música del siglo XX, el eco es uno de los efectos más recreados electrónicamente. Por ejemplo, las grabaciones de voces en un estudio suelen hacerse en un entorno aséptico en el que no existe ningún tipo de reflexión, garantizando con ello una grabación limpia, sin interferencias (Rumsey & McCormick, 2008). Para mezclar esa voz con el resto de música es muy habitual utilizar una *reverb*, o un *eco* artificial (electrónico o digital) para ubicarlo en un espacio más o menos real.

-**Refracción** se produce cuando una onda se refracta al pasar de un medio a otro diferente atravesando la superficie de separación entre ambos, por consiguiente hay una desviación en su trayectoria y energía. Cuando estamos en una piscina, fuera del agua, somos capaces de escuchar con nitidez la voz de alguien que nos habla. Al sumergirnos, la energía y dirección con que nos llega se ve afectada por el agua al igual que su dirección.

-**Difracción** es el fenómeno en virtud del cual una onda cambia de dirección al bordear un obstáculo. Se da en todo tipo de ondas y en el caso de las sonoras explica por qué podemos escuchar un concierto al aire libre desde fuera del recinto y sin ver a los músicos. Las ondas van cambiando de dirección hasta encontrar salida del mismo recinto y llegar a nosotros.

Un fenómeno derivado de la transmisión de las ondas es la superposición de ondas.

-Superposición de ondas. En un mismo medio pueden propagarse simultáneamente dos o más ondas producidas en focos diferentes. Entonces, estas superponen sus efectos en todos y cada uno de los puntos del medio. Este fenómeno sigue el principio de superposición, según el cual, cuando se propagan dos o más ondas por un medio, la perturbación resultante en cada punto es igual a la suma vectorial de las perturbaciones que producirían cada onda por separado. Es decir, al superponerse dos pulsos de igual fase, su efecto se sumará, creando una zona constructiva. Por el contrario, si se encuentran a contrafase, sus efectos se restan, creando una zona destructiva. Después, estas ondas seguirán su camino. Este razonamiento permite explicar que, en un campo de interferencias plano, originado por dos focos coherentes (con la misma longitud de onda y amplitud), las zonas constructivas y destructivas se alinean formando familias de hipérbolas, siendo estas líneas cónicas, que se definen como el conjunto de los puntos cuya diferencia de distancias rectas hasta dos puntos exteriores -llamados focos- es constante.

- **Las ondas estacionarias** son útiles para entender determinados fenómenos que se producen en los sonidos que emiten los instrumentos musicales o en espacios acústicos en los que se escuchan sonidos. Se trata de la superposición de dos ondas de focos coherentes en un mismo eje y en dirección contraria, pero con la misma amplitud, frecuencia y longitud de onda. Al encontrarse en fase se sumarán,

dando lugar a vientres[37] en los que la vibración será máxima. Si se encuentran en desfase darán lugar a nodos[38] en los que la vibración será mínima. Este fenómeno, aparte de dar explicación al funcionamiento de la vibración de los tubos y cuerdas en los instrumentos, también nos ayuda a entender por qué eran elegidas las cavernas a las que hacíamos referencia al principio del capítulo (2.1. Acústica). En ellas, las reflexiones de la piedra producían ondas estacionarias que amplificaban frecuencias (Figura 2.9).

- **Superposición de ondas de frecuencias distintas**. Hay dos casos a diferenciar:

1. Si las diferencias de frecuencias son muy amplias, se crea una onda cuya frecuencia es la más elevada y cuya amplitud varía periódicamente en el tiempo.

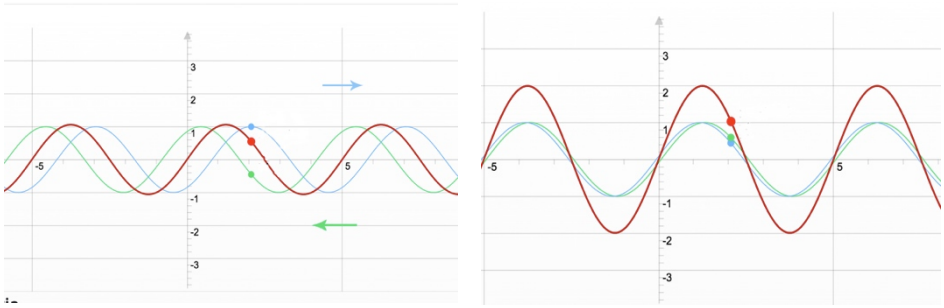


Figura 2.9. Ondas estacionarias. A la izquierda, dos ondas acústicas (azul y verde) de igual frecuencia que viajan en direcciones opuestas. La onda roja es la suma de las dos anteriores y presenta un patrón estacionario que no viaja ni a la derecha ni a la izquierda. A la derecha, dos ondas acústicas cuyas fases se acercan (puntos azul y verde de las ondas) y la intensidad de ambas se suma en la fase de onda estacionaria de color rojo. Fuente: elaboración propia

[37] Los vientres de una onda estacionaria son los puntos de ella en los que los sonidos suenan con más intensidad.

[38] Los nodos son las partes de la onda estacionaria en que ella no vibra.

2. Si las frecuencias son muy parecidas, aquí se produce un fenómeno de pulsaciones o batidos[39] consistentes en la aparición de una onda, cuya frecuencia es la media aritmética de las frecuencias y cuya amplitud varía periódicamente en el tiempo.

2.3. Vibración y resonancia

2.3.1. Los sistemas vibratorios

Los **sistemas vibratorios** son movimientos repetitivos del medio que ocurren a intervalos regulares de tiempo en determinados objetos y materiales. En el caso de los instrumentos de música pueden ser las cuerdas de una guitarra, las columnas de aire del interior de una trompeta o las láminas de un xilófono. Esta vibración es finita, puesto que se encuentra con la oposición de una fuerza constante, fenómeno de amortiguación, que resulta de la disipación gradual de energía hasta que la vibración cesa. Lo observamos en todos los instrumentos, por ejemplo, en el comportamiento de un diapasón, pues tras sonar con mayor intensidad durante unos instantes, en los sucesivos segundos su sonido se hará más tenue hasta poco a poco desaparecer.

Un material con alto coeficiente de amortiguamiento experimenta una atenuación más rápida de las oscilaciones, de ahí que los materiales utilizados para instrumentos necesitan de ciertas características elásticas y de rigidez para

[39] Se produce un batido cuando dos ondas de frecuencias muy diferentes alcanzan el oído, creando una interferencia constructiva o destructiva que hace que el sonido sea suavizado o elevado.

mantener las vibraciones en el tiempo. Si se quiere mantener indefinidamente las oscilaciones de un medio, es necesario reponer la energía perdida en cada oscilación. Cuando un medio o sistema de este tipo es excitado por una fuerza externamente aplicada, se denomina oscilador forzado. En una zanfona[40], por ejemplo, el sonido se mantiene gracias a una rueda que gira y frota sus cuerdas con la energía aplicada por la mano humana a través del movimiento de un manubrio.

Generalmente, se muestra la oscilación de un cuerpo de manera simplificada mediante el modelo de movimiento vibratorio armónico de las ondas, pero en la realidad los objetos vibratorios desarrollan movimientos oscilatorios más complejos con diferentes modos de vibración (lo que explica el desarrollo del conjunto de armónicos o parciales que desarrollamos en el punto 2.2.1. Características de las ondas sonoras), así como la formación de ondas estacionarias que amplían la intensidad de estos. Si tomamos el modo fundamental de la vibración de una cuerda de guitarra, esta tiene dos nodos en los extremos (cejilla y puente) donde no hay vibración. En su centro se produce el vientre, que es el lugar con mayor amplitud de vibración. La vibración de esta onda tiene dos obstáculos infranqueables, puente y cejilla. Así que la onda retorna reflejada en dirección contraria y con fase cambiada 180º por el efecto de reflexión. De ahí que entra en consonancia con la fase de la onda entrante en dirección contraria, sumando su amplitud, y generando un vientre mayor que el de una onda sinusoidal aislada. El efecto visual es el de un sistema completo que se mueve en un movimiento armónico simple. Este mismo fenómeno ocurre con el

[40] La zanfona es un instrumento que funciona como un violín mecánico, pues tiene varias cuerdas que suenan por la fricción de una rueda enresinada, que gira con el movimiento manual de un manubrio. Las notas cambian de sonido al tocar un teclado que posee.

resto de divisiones de la cuerda, es decir con sus armónicos. Si bien la amplitud de estos es inversamente proporcional al número de orden de este (Olmo & Nave, 2003).

La **resonancia** es el fenómeno mediante el cual un cuerpo con capacidad de vibrar lo hace a una o varias frecuencias características cuando es impactado por una onda sonora de la misma frecuencia. En este caso el cuerpo resonante recibe impulsos concordantes que activan e incrementan gradualmente su amplitud. Un ejemplo común se produce al acercar un diapasón vibrante a otro con misma frecuencia e inactivo. El segundo comenzará a vibrar por la resonancia (Olmo & Nave, 2003). Otro claro ejemplo de resonancia lo son los tubos situados en la parte inferior de un vibráfono[41]. Estos coinciden en frecuencia con cada una de las notas producidas por las barras de aluminio del teclado superior. Una vez golpeadas, estas emiten una nota que pone en vibración al tubo correspondiente amplificando el sonido. La tapa armónica de los cordófonos[42] es un ejemplo más de como activar la vibración de una superficie a partir de la oscilación de las cuerdas. Se producen nuevos modos de vibración en la tapa incluyendo nuevas ondas estacionarias, lo que, junto con una mayor superficie para agitar, el aire permite una amplificación del sonido resultante.

La gran mayoría de los instrumentos musicales, desde la Prehistoria hasta nuestros días se basan, conscientemente o no, en uno o varios de estos fenómenos: serie armónica, ondas estacionarias y resonancia. La comprensión del comportamiento de estos fenómenos en cuerdas, tubos, columnas de aire, varillas, etc. es la base fundamental para poder desarrollar cualquier objeto sonoro.

[41] Vibráfono: Instrumento musical de percusión parecido a un xilófono.

[42] Cordófono: instrumento musical de cuerda que produce sonido mediante la vibración de una o más cuerdas, amplificado por una caja de resonancia.

2.3.2. La forma del sonido

El físico alemán Ernst Chladni (1787), a finales del siglo XVIII, desarrolló una serie de experimentos en torno al estudio de los patrones y modos de vibración en superficies sólidas bidimensionales causados por ondas sonoras. Para ello, utilizó placas metálicas sobre las cuales esparció arena fina e hizo vibrar con un arco de violín. Cuando estas placas entraban en vibración, los pequeños granos de arena se redistribuían en la superficie, siguiendo los patrones de resonancia y creando imágenes de cierta belleza geométrica. Cuando la placa vibraba, la arena se acumulaba en los nodos (puntos estacionarios, donde no hay vibración), mientras que en los antinodos o vientres (puntos de mayor amplitud de vibración) la arena era expulsada, lo cual daba lugar a patrones visuales distintivos. Estos patrones podían variar según la forma de la placa y la frecuencia de vibración aplicada (Rees, 2009). Más tarde Hans Jenny (2001), a principios del siglo XX fue quien diera el nombre de cimática a este tipo de investigaciones y continuó su estudio por medio de aparatos electrónicos generadores de vibraciones. El desarrollo de la cimática ha permitido una mejor comprensión del comportamiento de las ondas sonoras y las vibraciones, siendo fundamental para el avance de la acústica moderna, así como para la investigación de los modos de vibración de instrumentos musicales. Por otro lado, vienen a demostrar un principio muy importante para la escultura sonora: que el sonido tiene forma (Figuras 2.10 y 2.11).



Figura 2.10. Placas de metal de Chaldni. Fuente: Matemateca (IME USP)

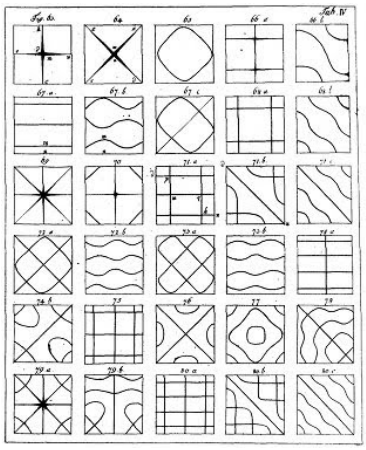


Figura 2.11. Patrones de Chladni (1802). Fuente: E.F.F.Chladni – del libro *Die Akustik.*

2.4. Música y ruido

No es uno de los objetivos de esta tesis dedicar esfuerzos a explicar la Historia de la Música y las teorías musicales, ya que nos desviaríamos en exceso del objeto de estudio. No obstante, es obvia la relación de la escultura sonora con la música y el ruido. Así que, es imprescindible, al menos, discutir acerca de ambos términos y de su relación.

La **música** se define como el acto y fruto de manipular y distribuir los sonidos en tiempo/espacio con la intención de producir en los humanos distintas sensaciones: tristeza, alegría, exaltación, nostalgia, etc. Con tal definición, parece ser un arte sujeto a pocas reglas, ya que en una primera interpretación se entiende que para la creación musical podemos escoger cualquier sonido del espectro audible y ordenarlo junto a otros en el tiempo. Pero lo cierto es que, intuitivamente, el ser humano a seleccionado de entre todos los sonidos unos pocos con una precisa distancia de frecuencia entre ellos, esa distancia es

conocida como intervalo. La selección de ellos se traduce en la creación de escalas con las que crear melodías. La idea de escala se entiende a través del concepto de octava. Si reducimos la distancia de una cuerda que produce una nota La, a la mitad de distancia, obtenemos otra nota La pero más aguda. En ese espacio de una octava se dan otras divisiones que constituyen el resto de notas de una escala. A Pitágoras (Guirao, 1981) se le atribuye el descubrimiento de la relación matemática de las restantes unidades musicales, conocidas como intervalos consonantes. Estos intervalos son aquellos en los que, al sonar dos notas simultáneamente separadas por ellos, los batidos son mínimos y el efecto en el oído es agradable, de ahí que se denominan consonantes. Es decir, la elección de notas consonantes se hace por que la serie armónica de la nota tónica con respecto a la de otra nota de su escala coincide en gran número de armónicos produciendo notas estables con pocas vibraciones e irregularidades. Para una nota fundamental, un intervalo de segunda (un tono de diferencia) equivale a su 9º armónico, el intervalo de tercera mayor (dos tonos) equivale al 4 armónico, el de quinta justa es el segundo armónico, etc.

J. Merino (2006) hace una apreciación muy interesante: "(...) desde la más remota antigüedad, la elección de las notas que componen la octava, obtenidas tan sólo por medio de la intuición y la sensibilidad tiene que ver con el fenómeno físico de los armónicos de un sonido" (p. 106). Sea en beneficio de la belleza o de la propia salud auditiva, el ser humano ha utilizado en la trayectoria histórica de la música una cantidad mínima de los sonidos a su alcance, descartado el resto de los sonidos no concordantes. El resultado de la relación entre estos no elegidos se parece bastante a lo que conocemos como ruido.

El **ruido**, en términos acústicos, se percibe cuando la envolvente de un sonido es tan compleja como para no distinguir un tono de otro. Los ruidos son aquellos

sonidos que no identificamos, no deseamos o no planificamos y que interfieren en la comunicación, el descanso, el trabajo, la música o la vida cotidiana. De un ruido puede que desconozcamos su origen, no lo entendamos o posea un timbre y una intensidad que nos resulta desagradable. De aquí se deduce que ruido no es un concepto objetivo, ya que depende, en gran medida, de que el receptor lo identifique o no como tal.

El carácter subjetivo del ruido es muy interesante. Desde principios del siglo XX el mundo del arte y la música ha estado aprendiendo a escucharlo y manipularlo, ya que, al fin y al cabo, es una forma extrema y, aparentemente, desordenada de sonido y por qué no, de música. Moldearlo e incluirlo en el arte ha sido una constante hasta convertirlo en un recurso artístico (Hervás, 2002). Por ejemplo, en el ámbito audiovisual es recurrente el uso de sonidos estridentes para crear suspense, baste de ejemplo la clásica composición de Bernard Herrmann (1960), *El asesinato,* para la película *Psicosis* (Hitchcock, 1960). Por otro lado, el arte sonoro está poblado de ruidos o sonidos que pretenden expandirse fuera del concepto clásico de la música para dar visibilidad o una oportunidad al resto de posibilidades auditivas. Una función clave del arte sonoro ha sido eliminar el carácter peyorativo del término ruido, convirtiéndolo en un recurso sonoro más.

Capítulo 3. Los metales: propiedades, aleaciones de hierro y cobre, transformados, acabados y sonoridad

Había un Dios principal que estaba en el cielo, lo había creado todo (...), y que hizo Dios un hombre y una mujer de barro, y que se fueron a bañar y se deshicieron en el agua; y que los volvió a hacer, de ceniza y (de) ciertos metales y los envió al río a bañar, y que no se deshicieron; y que, de aquellos, empezó el mundo. (Acuña, 1987, p. 36)

3. Los metales: propiedades, aleaciones de hierro y cobre, transformados, acabados y sonoridad

Los metales que nos interesa estudiar en esta investigación son el hierro y el cobre en las principales aleaciones en que se utilizan para hacer instrumentos musicales y, a su vez, esculturas sonoras. Estos son principalmente el acero, el bronce y el latón. No obstante, tenemos en cuenta al conjunto de los metales en este capítulo para tener una visión contextual.

Los metales constituyen el grupo más amplio de elementos presentes en la tabla periódica, así como en la superficie e interior de la Tierra. Los encontramos en la naturaleza mezclados entre sí y/o con otros elementos metálicos y no metálicos, dando lugar a lo que conocemos como minerales. Un grupo reducido de metales, conocidos como metales nativos, se encuentra en la naturaleza en estado casi puro o en aleaciones, sin ningún tipo de mena[43], listos para ser utilizadas sin necesidad de procesos de reducción. Este conjunto de metales lo

[43] Mena: Mineral que sobra de la extracción de un material rocoso del que se extrae un metal.

forman el grupo oro y el grupo platino. El grupo oro está formado por: oro, plata, cobre, plomo, aluminio y mercurio. El grupo platino está compuesto por: iridio, paladio, platino, osmio, rutenio y rodio. Entre las aleaciones están: bronce, latón y argamasas de oro-mercurio y plata-mercurio. Generalmente, se clasifican atendiendo a su naturaleza férrica y no férrica, si son pesados o ligeros o si pertenecen o no a los metales nobles (oro, plata y platino).

En la Historia de las civilizaciones el concepto Edad de los Metales se refiere al periodo prehistórico que sucede a la Edad de Piedra, dando comienzo en el 6000 a. C. y concluyendo en el milenio I a. C.[44] (Molina, 2002) (Ivorra, s. f.).

Los metales nativos fueron trabajados en el Neolítico con técnicas de martilleo consiguiendo dar forma a pequeños alfileres o motivos decorativos, generalmente de cobre. En nuestra península se sabe que se extrajo cobre de una mina en Chinflón, cerca de Zalamea (Badajoz), alrededor del 3500 a. C., si bien el descubrimiento del cobre data de 12000 a. C. en lo que corresponde a la actual Turquía. El primer objeto del que se tiene constancia realizado en metal (cobre nativo martilleado) es un pendiente con forma oval que data, aproximadamente, del 9.500 a. C. encontrado en la zona de los Montes Zagros (Noroeste de Irak) (Roberts, B. & Thornton, 2014). No obstante, no fue hasta el descubrimiento de la fundición y de las primeras y primitivas técnicas de metalurgia cuando se estableció el comienzo del periodo de la Edad del Cobre (Castro-Montes, 2019).

Los primeros vestigios de fundición de cobre fueron encontrados en la península de Anatolia y en los montes Zagros alrededor del IV milenio a. C. A este periodo le siguió la Edad del Bronce en torno a III milenio a. C. , por último,

[44] No obstante, la utilización de los metales es más antigua aún, si tenemos en cuenta que estos se pueden encontrar en forma de pigmentos minerales como ocurrió en el yacimiento neandertal de *Terra Amata* en el sureste de Francia, datado en el 360.000 a. C. En este lugar se descubrieron restos de óxidos de hierro que posiblemente se utilizaban para decorar el cuerpo humano.

la Edad de Hierro se desarrolló en el último milenio a. C.[45] (Roberts, B. & Thornton; 2014).

Los orígenes y teorías a cerca del descubrimiento de la metalurgia son imprecisos y variados. Se especula con distintas ideas que no son excluyentes entre sí. Por un lado, la aparición y control del fuego pudo hacer que un grupo de cazadores reunidos en torno a una hoguera, a los que se les cayese una pepita de cobre o malaquita en las ascuas, viesen como esta se fundía y cambiaba de forma (Langland, 1999). Otra hipótesis es su vinculación con la búsqueda y uso de barros y pigmentos (Alonso, 1995), los cuales el hombre conocía con anterioridad a los metales, lo que dio lugar a la reducción[46] accidental de los metales que estos elementos poseían. Por último, una de las teorías más extendidas, es la que pudo ser derivada también de las actividades vinculadas a los hornos cerámicos en los que se alcanzaban altas temperaturas y se trabajaba con óxidos de cobre para dar color a las cerámicas, estos pudieron ser reducidos fortuitamente y aparecer en formas metálicas[47] (Lozano, 2011).

En cualquier caso, se trata de un proceso muy gradual del que, incluso, dejaron constancia gráfica algunas culturas, como las representaciones de murales funerarios egipcios (Figura 3.1) en los que se muestra el proceso completo de

[45] Es el modo habitual en el que encontramos descrita la cronología de los hechos de la Prehistoria, pero conviene recordar que es una información un tanto sesgada, ya que hace referencia a la zona euro-oriental. En otras culturas, los acontecimientos, orden y duración pudieron ser distintos , incluso, no existir de esta forma (Acuña, 1987).

[46] La reducción de los metales es un proceso electroquímico por el cual un átomo o ion de un metal gana electrones, haciéndose más estable a la oxidación, que es el proceso contrario y en el que pierde electrones y se hace más inestable. Este proceso permite la extracción del metal del mineral que lo contiene y lo hace más estable a su unión con otros elemento como el oxígeno, experimentando la oxidación del metal.

[47] Esta información llega a nuestros días a través de las investigaciones de la arqueometalurgia, campo de estudio interdisciplinar que analiza la extracción, fabricación y uso de objetos metálicos desde aproximadamente 8000 a. C. hasta nuestros días (Killick y Fenn, 2012). Gracias a esta rama de la ciencia, tenemos amplios conocimientos de los procesos de reducción del mineral en metal y cómo el control de éste ha influido en la historia tanto tecnológica como socialmente.

fundición (Grajetzki, & Quirke, 2000-2003) o el *Mapa de Tlotzin*[48] (Figura 3.2), un códice mexicano en el que se muestra a un fundidor junto a un horno soplando por una cánula y sosteniendo en la otra mano una rama para limpiar la escoria.



Figura 3.1. (ca. 1575-1295 a. C.). Muro sur de la tumba de Rekhmier en el Valle de los Nobles de Sheij Abd el Ourna [Pintura mural]. Fuente: bridgemanimages.com



Figura 3.2. (ca. 1550). Orfebre fundiendo metal. *Mapa Tlotzin.* Fuente: P. Aguilar

No obstante, a pesar de las evoluciones técnicas, a lo largo de la línea cronológica, nos interesa destacar la certeza de que, en el transcurso de la historia, los metales se han convertido en materiales indispensables para el ser humano, ya sea para su empleo en tecnología o para establecer diferencias sociales, como el oro o plata usado por las clases sociales altas (Fernández et al., 2021) (Ivorra, s. f.). En la actualidad, es imposible imaginarnos la civilización sin que utilice los metales en la construcción de edificios, vehículos de transporte, herramientas agrícolas o útiles de todo tipo, tecnología de comunicaciones, útiles del hogar, mobiliario, maquinaria industrial, tecnología espacial y aérea, monedas, joyas,

[48] Mapa de Tlotinz: manuscrito hecho sobre piel que refleja mediante imágenes y texto la cultura e historia del pueblo indígena de los chichimecas mejicanos que data del XVI, anterior a 1550. Lleva el nombre del Tlotzin, gobernante chichimeca asentado en Tenayocan (México), que gobernó allí entre de 1236 a 1272. El mapa muestra cómo tras casarse en gobernante con una mujer de otro pueblo, este le trasmite sus conocimientos agrarios y ellos realizan un paso paulatino del nomadismo al sedentarismo.

esculturas, instrumentos musicales, etc. El hierro y el bronce, por su abundancia, características y temprano descubrimiento han sido los metales más utilizados para esos fines. Otros metales han tenido usos más limitados y específicos a pesar de lo antiguo de su uso.

El plomo, usado ya por los egipcios en el II mileno a. C. debido a su alta maleabilidad, escasa dureza y gran resistencia a los ambientes húmedos (Universidad de Burgos), fue utilizado en láminas para escritura y en revestimientos de tuberías. Más adelante dio forma a los tipos de las imprentas. En la actualidad, forma parte de baterías eléctricas o actúa como sufridera que amortigua los impactos de otros metales en un taller de chapa.

Por otro lado, el oro, la plata y, más recientemente, el platino, son identificados como metales preciosos por su brillo, su resistencia al paso del tiempo y su escasez, cualidades que les han valido para aumentar su valor y limitar su uso a productos artísticos y de lujo, en la mayoría de las ocasiones con formatos reducidos y elevados costes.

A pesar de que existen 84 metales y de que muchos de ellos han sido utilizados ancestralmente en forma de minerales, la gran mayoría no comenzaron a conocerse en su estado puro hasta los siglos XVIII y XIX, cuando se produjeron decisivos avances en la ciencia que contribuyeron al descubrimiento y reducción de algunos de estos, como potasio, aluminio, berilio y un largo etc.

Por otra parte, las consideraciones atribuidas a los metales son variadas y dignas de mención. Ya desde la antigua Grecia se vincularon con las aptitudes humanas. Es el caso de la *Fábula de los Metales* expuesta por Platón redactada en el 415 a. C. en el texto *La república* en la que el autor escribe una metáfora sobre la valía o predisposición que las personas tenían para desempeñar ciertas

actividades en comparación con las propiedades de los metales. Así pues, las personas que los dioses formaron con oro estaban más capacitadas para mandar o gobernar y eran las más valiosas. Las que estaban compuestas por plata ocupaban el siguiente escalafón, siendo las auxiliares de las primeras, como, por ejemplo, militares. Por último, los formados por bronce o hierro eran destinados a realizar tareas artesanas o agrícolas. La composición metálica de los progenitores no condicionaba la de los hijos, es decir, que de unos padres de bronce podían nacer, perfectamente, unos hijos de oro, lo cual no limitaba las aspiraciones de una determinada familia (Platón, 2013).

La asignación de medallas olímpicas[49], por ejemplo, posee esa misma clasificación entre los metales: oro para el vencedor, plata y bronce para el segundo deportista y el tercer clasificado, respectivamente.

Este papel asignado históricamente a los diferentes metales nos da una idea de lo que significan en el estatus social de las personas, si bien no fue siempre así, pues en determinadas épocas, por ejemplo, fue más importante poseer hierro que oro, debido a la escasez del primero y a lo complejo de su reducción con respecto al oro. Con respecto a esta idea, es muy interesante la interpretación que en el siglo XVI Tomás Moro hizo en *Utopía* a cerca de lo ambiguo del valor de los metales preciosos:

> (…), el oro y la plata del que se hacen las monedas no tiene para ellos más valor que el que merece la misma naturaleza de la cosa. ¿Y quién no ve claramente cuán lejos están de valer lo que el hierro, sin el cual los hombres no pueden vivir, como no pueden

[49] En los Juegos Olímpicos de la Antigua Grecia no se entregaban medallas, sino una corona de laurel u olivo. La norma del COI de la secuencia de oro, plata y bronce para los tres primeros lugares data de los Juegos Olímpicos de 1904 en St. Louis, Missouri, Estados Unidos (Olympics, 2024).

> vivir sin el fuego ni el agua? No se tiene absoluta necesidad de usar el oro y la plata. (Moro, 2010, p. 74)

3.1. Propiedades físico-químicas, mecánicas y tecnológicas de los metales

Cuando se adquiere cualquier tipo de metal en el mercado, la información que se encuentra a disposición refleja sus propiedades físico-químicas, mecánicas y tecnológicas (Gonzalo, 1992), en cambio, es interesante destacar la ausencia de cualquier parámetro que haga referencia a las características sonoras o acústicas de estos. No obstante, nos interesa hacer un pequeño repaso de las primeras con la intención de encontrar cuales son los condicionantes que pueden ayudar a la elección de un metal para su uso en la construcción de objetos sonoros.

3.1.1. Las propiedades físico-químicas

Las propiedades físicas de los metales hacen referencia a la capacidad que estos tienen de cambiar su forma sin alterar su composición química, es decir sin verse alterados sus átomos. Gracias a sus propiedades físicas, estos materiales son sólidos en condiciones ambientales normales (a excepción del mercurio) brillantes, opacos, tienen alta densidad, son flexibles (convertidos en muelles) y buenos conductores del sonido, detalle que nos interesa en esta investigación especialmente. También tienen una buena resistencia mecánica (pueden resistir esfuerzos de tracción, flexión, torsión y compresión sin deformarse o romperse).

Las propiedades químicas del metal son aquellas que tienen que ver con su composición o alteración compositiva. Las propiedades físico-químicas de los metales son las siguientes según Pero-Sanz Elorz, 1992:

• El peso específico es básicamente la densidad de cada metal. Se calcula dividiendo el peso de un cuerpo entre el volumen que este ocupa y se puede expresar en kg/m3. El bronce genérico está por encima de 8500 kg/m3, mientras que el aluminio es de 2700 kg/m3. Esta propiedad puede ser útil para calcular el peso de una escultura dependiendo de qué metal utilicemos en su elaboración, según su volumen.

• El punto de fusión se refiere a la temperatura a la que un metal deja de ser sólido y pasa a estado líquido. Esta tiene un amplio espectro dentro de los materiales metálicos, sirva de ejemplo que el galio tiene un punto de fusión de 29,76 ºC, mientras que el tungsteno necesita alcanzar los 3420 °C para fundirse.

• El calor específico es la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de la masa de un cuerpo metálico de 0 ºC hasta 1 °C. Se expresa en calorías por gramos. Es importante en metalurgia, ya que da información para saber cuánta energía se necesita para fundir un metal o para calentarlo hasta poder templarlo o soldarlo.

• El calor latente de fusión es la cantidad de calor que absorbe una unidad de masa de metal al pasar de sólido al líquido.

• La dilatación y contracción. La dilatación es un aumento de volumen que experimenta el metal al elevar su temperatura. Se expresa por el aumento unitario de longitud que sufre el metal al elevarse en un grado su temperatura, llamado coeficiente de dilatación lineal. La contracción es lo contrario de la dilatación. Es necesario su conocimiento en la construcción arquitectónica o de ingeniería, ya que las estructuras de puentes o los raíles de un tren necesitan de un espacio entre piezas que permita el cambio de tamaño en las distintas estaciones del año. En escultura es muy notorio cuando se procede a la fundición de una pieza y esta

tiene macho[50], al enfriarse la escultura se contrae y pueden aparecer grietas en ella. En los instrumentos musicales estas propiedades afectan en los ajustes y afinación, lo que hace recomendable no exponerlos a temperaturas extremas y revisarlos con los cambios de temperatura estacionales.

• La extensión es la propiedad del metal de ocupar un lugar en el espacio. Es una propiedad medible para las porciones de materia. El nombre de la medida puede ser: longitud (una dimensión), superficie (dos dimensiones) y volumen (tres dimensiones).

• La impenetrabilidad es la resistencia que opone el metal a que otro ocupe simultáneamente su lugar. Es la imposibilidad de que a las partes del metal se le pueden asignar las mismas coordenadas que a las partes de otro cuerpo o sustancia en el espacio. Así mismo y en general, la impenetrabilidad es la resistencia que opone un cuerpo a ser traspasado por otra sustancia.

• La divisibilidad es la propiedad de los metales que les permite poder fraccionarse en partículas más pequeñas.

• La inercia es la propiedad que hace al metal resistirse al cambio del movimiento, es decir, es la resistencia al efecto de una fuerza que se ejerce sobre él. Como consecuencia, el metal conserva su estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta si no hay una fuerza actuando sobre él.

• La oxidación es la reacción química que se produce en los metales al entrar en contacto con un oxidante como el oxígeno. Es necesario su conocimiento para elegir un tipo u otro de metal según la ubicación o el aspecto que se requiere en una escultura o en el uso de un instrumento musical. Si se trata de instrumentos

[50] Macho: pieza interna de un molde de que permite reproducir un cuerpo (objeto, escultura, etc.) que sea de interior hueco y no macizo.

que entran en contacto con los labios y la saliva, lo interesante es elegir metales como la plata para las boquillas para evitar la oxidación.

• la corrosión es la desintegración de un metal en sus átomos constitutivos, debido a reacciones químicas. Es el desgaste de los metales debido a una reacción química, producida por agentes químicos. Las pátinas en el bronce son una oxidación que, a su vez, protegen las piezas de la corrosión. La corrosión no solo depende del metal, sino del entorno hostil o no en el que este se encuentra (Moreno, 2008). No obstante metales como oro, plata bronce, son menos propensos a la corrosión, de ahí que hayamos encontrados restos arqueológicos muy bien conservados en estos materiales y que sean los más utilizados para aplicarlos como baños superficiales sobre otros metales (Ghoniem, 2011).

• La maleabilidad es la propiedad de los metales para formar aleaciones (mezclas entre metales que se produce en estado fundido) que dan lugar a nuevos materiales, que mejoran sus prestaciones. En el apartado 3.2. Aleaciones metálicas, desarrollamos este concepto de suma importancia en la obtención de metales utilizables.

• La pesantez es la presión que ejercen los cuerpos -este caso los metales- sobre los que se apoyan o la tensión que ejercen sobre los que prende.

• La fluencia o *Creep* es la propiedad de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas (el plomo y el estaño presentan esta propiedad).

• El magnetismo es la propiedad de ejercer fuerzas de atracción o repulsión sobre otros metales. Existen metales como el níquel, el hierro, el cobalto y sus aleaciones, que poseen propiedades magnéticas detectables fácilmente y que comúnmente se llaman imanes.

• La conductividad eléctrica es la capacidad de los metales para permitir una corriente eléctrica. Según esta condición, los materiales se clasifican en: conductores, aislantes y semiconductores. Los metales más conductores son: la plata, el cobre, el oro, el aluminio, el tungsteno y el hierro. La unidad de medición utilizada comúnmente para la conducción eléctrica es el Siemens/cm.

• La conductividad térmica es la capacidad de una sustancia que poseen los metales de transferir la energía térmica de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a substancias con las que está en contacto. Esta propiedad mide la capacidad de conducción de calor en W/(m k)[51].

3.1.2. Las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son las características inherentes (propias de cada metal) que permiten diferenciar un metal de otro. Desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los metales en ingeniería, también hay que tener en cuenta el comportamiento que puede tener un metal en los diferentes procesos de mecanizados que se le pueda aplicar. Podemos distinguir las siguientes según (Naya., s. f.) y (Gonzalo, 1992):

• La dureza expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada. Es decir, la resistencia que opone un metal a ser rayado o penetrado por un cuerpo más duro. El método más utilizado para medir esta propiedad es la "dureza Brinell"[52].

• La tenacidad es la resistencia que opone un material como el metal a ser roto, molido, doblado o desgarrado, siendo una medida de su cohesión. El acero es un

[51] W/(m k) = Watt por metro Kelvin.

[52] Dureza Brinell: es una escala de medición usada mediante el método de identación que mide la penetrabilidad de un material en otro.

material muy tenaz, especialmente alguna de sus aleaciones. La tenacidad requiere la existencia de resistencia y plasticidad.

• La fragilidad es la propiedad de algunos metales de no poder experimentar deformaciones plásticas, de forma que al superar su límite elástico se rompen bruscamente.

• La acritud es la propiedad de un metal para aumentar su dureza y su resistencia por el efecto de las deformaciones.

• La resistencia es la capacidad de los metales -unos más que otros- de soportar una carga externa sin romperse. Se denomina carga de rotura y puede producirse por tracción, compresión, torsión o cizallamiento. En el material habrá una resistencia a la rotura para cada uno de estos esfuerzos. Se expresa en kg/mm²

• La resiliencia es una magnitud que cuantifica la cantidad de energía por unidad de volumen que almacena un material al deformarse elásticamente debido a una tensión aplicada, antes de que comience la deformación irreversible. Es decir, la capacidad de memoria de un material para recuperarse de una deformación producto de una presión externa.

• La fatiga de un metal se refiere al fenómeno por el cual se produce una rotura de éste, bajo cargas dinámicas cíclicas (fuerzas repetidas aplicadas sobre el material), se produce ante cargas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura. La fatiga es una forma de rotura que ocurre en estructuras sometidas a tensiones dinámicas y fluctuantes (motores, puentes, automóviles, aviones, etc.). Un ejemplo de ello se tiene en un alambre: flexionándolo repetidamente, se rompe con facilidad, pero la fuerza que hay que hacer para romperlo en una sola flexión es más grande.

• La elasticidad es la propiedad mecánica que tienen algunos metales para poder sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan. Esta es una de las propiedades más interesantes para generar sonidos, puesto que esta capacidad da a ciertos cuerpos de metal la capacidad de oscilar a determinadas frecuencias (Corral, 2019) y volver continuamente a su forma inicial. Estas oscilaciones transferidas a un medio como el aire se traducen en sonido.

• La plasticidad es la propiedad mecánica que tienen algunos metales para poder deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico. Es decir, la capacidad de deformación permanente de un metal sin que llegue a romperse. Esta capacidad es muy necesaria a la hora de dar formas a los metales y la hace esencial en el conformado industrial a partir de chapas metálicas y en el modelado artístico.

3.1.3. Las propiedades tecnológicas

Las propiedades tecnológicas de los metales son el comportamiento que tienen estos al ser trabajados y estudiados por los seres humanos. Estas propiedades permiten diferenciar un metal de otro y saber si es el apropiado o no para el fin que va a desempeñar. Se pueden distinguir las siguientes propiedades tecnológicas de los metales según Pero-Sanz Elorz (1992):

• La ductilidad es la propiedad que tienen los metales y aleaciones por la cual, bajo la acción de una fuerza, pueden estirarse sin romperse, permitiendo obtener alambres o hilos. A los metales que presentan esta propiedad se les denomina dúctiles. Los metales más dúctiles son el platino, oro y cobre.

• La maleabilidad es la propiedad para formar láminas muy finas, sin rotura, por la acción de presiones. El oro es un metal de una extraordinaria maleabilidad, que permite obtener láminas de solo unas milésimas de milímetros de grosor. La plata, el cobre, el estaño y el aluminio también son muy maleables, así como la hojalata, que es una aleación de hierro y estaño.

• La colabilidad o fusibilidad es la capacidad de un metal fundido de poder producir piezas completas y sin defectos como poros y deformaciones. Debe estar en estado muy fluido para tener mucha colabilidad. El bronce y el hierro presentan una gran colabilidad.

• La maquinabilidad es la facilidad de ser mecanizados por arranque de viruta con un torno. El bronce y el hierro gris dan viruta corta, en forma de escamas, mientras que otros metales originan grandes virutas.

• La soldabilidad es la capacidad de un metal de ser unido con metales similares y con otros más diversos, formando una sola pieza.

• La templabilidad es la capacidad del metal de sufrir transformaciones en su estructura cristalina producto del calentamiento y enfriamiento bruscos, lo que afecta a su dureza y a otros propiedades mecánicas y sonoras. En los aceros se crea la martensita, que es una estructura cristalina de gran dureza.

• La forjabilidad es la capacidad de los metales para sufrir deformación plástica sin romperse ni desarrollar defectos, pudiendo ser ésta en frío o en caliente. Para medir la forjabilidad se han desarrollado numerosas técnicas que buscan someter probetas a diferentes ensayos para medir y observar su comportamiento ante la deformación plástica (Ares , 2024). El hierro es un material muy forjable en la fragua. El acero también se forja a temperatura alta en la fragura, mientras que el plomo o el estaño son deformables a temperatura ambiente.

3.2. Aleaciones metálicas

Una cualidad muy importante de los metales es su aleabilidad y es que, en la práctica, la mayoría de los metales que se utilizan son aleaciones[53]. Éstas, en resumidas cuentas, son una mezcla idónea de distintos metales para conseguir las cualidades necesarias de acuerdo con su uso en circunstancias concretas. Un caso popular es el bronce, una aleación compuesta principalmente por cobre 88% y un 12% de estaño. El latón, se da cuanto cuando sustituimos el estaño por un elevado porcentaje de zinc (11%), de ahí que en ocasiones se denomine al latón como un tipo de bronce. Las aleaciones de bronce se nos presentan de distintas maneras: bronce-berilio, bronce-silicio, bronce-aluminio, bronce de campanas, etc. En la antigüedad estas diferencias solían estar condicionadas por los materiales más abundantes en las inmediaciones geográficas de los hornos en los que los metales eran fundidos (Franco, 2015). De ahí que el aspecto y composición de un antiguo bronce egipcio no sea el mismo que el de un bronce coetáneo a este realizado en la península ibérica.

En el caso del hierro extraído de minerales como la hematita y la limonita, lo habitual es utilizarlo en aleaciones conocidas como "aceros" al añadir un pequeño porcentaje de carbono que mejora su dureza y ductilidad (Franco, 2015). En base a la proporción de éste tendremos aceros de distintas durezas según las necesidades de uso. Al añadir cromo a la aleación obtenemos el denominado

[53] Una aleación una mezcla que se realiza en estado fundido de diversos materiales y debe contener, al menos, un metal en la mezcla. La producen las personas, no surgen espontáneamente en la naturaleza. Debe retener las propiedades de los elementos de origen. Puede resultar con cualidades adicionales a las de los elementos de origen. A veces, puede presentar cualidades muy diferentes a la de los elementos de origen.

acero inoxidable que protege de la corrosión al simple acero; uno de principales *handicap* para su conservación.

Otros metales como el aluminio (el metal más abundante en la superficie de la tierra), extraído de la bauxita, solo es consumido como aleación al no ser viable su uso sin alear. Coloquialmente utilizamos el término "aluminio" pero en realidad se trata de aleaciones tales como *duralumin, magnalium* o *brimabright*.

En la actualidad, existen infinidad de aleaciones creadas para usos muy específicos. No hay una denominación internacional única que respeten o sigan todas las empresas y países, pero si está extendido el uso de las normas DIN, AISI, NFA, SAE e ISO para la nomenclatura de los distintos productos. La mayoría de las empresas del sector metalúrgico suelen disponer de tablas en las que consultar las características exactas de cada aleación (Clerins, 2028) (Ibermetal, s.f.) (Broncesval, 2024). Por ejemplo, en el caso de Bronmetal, empresa española dedicada al sector de los bronces, hay disponible en su página web una tabla de equivalencias entre las distintas normas (Bronmetal, 2024).

Un bronce con la siguiente composición 85% Cu, 5% Sn, 5% Pb, 5% Zn, según las normas DIN 1705 responde a la nomenclatura RG5, en cambio en ISO 1338 se hace referencia directa a sus componentes y proporciones respondiendo a la nomenclatura Cu Sn5 Pb5 Zn5, por otro lado, para NFA 53-707 corresponde a un UE5. Esta información es importante para evitar futuras confusiones entre metales con una misma composición y distinto nombre. Conocer exactamente las aleaciones con las que se trabaja ayuda a ser precisos y utilizar los materiales específicos con los que se han conseguido unos u otros resultados.

3.2.1. El cobre y su aleaciones, bronce, latón y otras

El cobre en estado puro no se utiliza para la fundición de esculturas, ni siquiera en ámbito industrial. Esto se debe a que no tiene unas propiedades óptimas para su colabilidad y además presenta la posibilidad de crear poros en las esculturas. Con el paso de los años el ser humano ha aprendido a mejorar sus propiedades aleándolo con otros metales. Las aleaciones más conocidas del cobre son el bronce y el latón (Castro-Montes, 2019). El término "bronce" deriva probablemente *berenj* (latón), que proviene de una palabra persa. Otras versiones lo relacionan con el término latino *aes brundisium* por el antiguo puerto de Brundisium actual Bríndisi.

El uso del cobre ha sido constante desde su descubrimiento tanto en útiles de campo y guerra, como en escultura, herramientas, mecánica e instrumentos. Pero, si bien con la aparición del uso de otros materiales como el hierro y sus nuevas técnicas de trabajo se redujo su empleo en algunos campos, como el armamentístico o la construcción, siguió utilizándose por su bajo punto de fusión, por la facilidad para trabajarlo y por sus características estéticas.

El cobre (por lo general, calcopirita o bien malaquita) se mezcla con estaño (casiterita) para dar lugar al bronce. En toda aleación de cobre y estaño, el primer metal constituye la base y el segundo aparece en una proporción del 3% al 20%, además, en la aleación formada pueden estar presentes otros metales en porcentajes más reducidos. La aleación resultante presenta diferencias en las propiedades de los metales constituyentes puros. Así pues, el bronce funde alrededor de 890 ºC, mientras que el cobre lo hace a 1085 ºC, y esto significa que el bronce, frente al cobre, es un material que aporta más facilidad de trabajo y un abaratamiento de los procesos (Alonso, 1995).

El bronce es un material duro, resistente, dúctil, maleable, se funde fácilmente en función del metal con el que esté aleado, y proporciona una gran cantidad de acabados cromáticos por medio de pátinas y pulidos (Pierre 2003), conduce bien la electricidad -lo que lo hace útil para el cableado junto con el cobre-, no produce chispas al ser cortado o golpeado -por lo que resulta un material idóneo para piezas que se encuentran expuestas en lugares de potencial peligro de incendio-, presenta una buena resistencia mecánica al ser menos rígido en aplicaciones elásticas como resorte, acumulando menos energía que las piezas similares de acero, su umbral de fatiga metálica es menor que el de otros metales -lo que lo hace apto para piezas industriales, mecanismos y engranajes expuestos a desgaste mecánico-, es aproximadamente un 10% más pesado que el acero -a excepción de los bronces aleados con aluminio o sílice-, es de aspecto dorado, aunque de su lenta corrosión superficial resulta una pátina color marrón oscura y verdosa (Runfola, 2015).

Aunque la aleación estandarizada del bronce es la que está compuesta de un 88% de cobre y un 12% de estaño, estas proporciones han variado a lo largo de la historia aleándose el cobre con otros metales como, arsénico, cobalto, aluminio, berilio, plomo o zinc[54] con la intención de encontrar las mejores propiedades para el metal resultante. La cantidad de aleaciones de bronce presentes en la actualidad es innumerable, puesto que cada fabricante tiene sus propias variantes o fórmulas

[54] Estas aleaciones no contienen estaño por lo que no deberían llamarse bronces si – se tiene en cuenta su definición. No obstante, se las conoce como bronce-aluminio o bronce-berilio, algo que no ocurre con la aleación de cobre y zinc que se la denomina latón. Esta imprecisión o confusión parece tener origen en 1938. *The Metal Industry* (Industria del Metal), Londres, y la ASTM (Sociedad Americana de Ensayo de Materiales) propusieron una clasificación del bronce para diferenciarlo del latón. Determinaron que bronce serían todas las aleaciones de base cobre que tuvieran elementos aleados distintos del zinc. Pero esta definición es tan laxa que, basándose en ella, incluso un oro de 8 quilates, normalmente aleado con cobre, podría ser llamado bronce puesto que el cobre constituye la base de esa aleación.

con especificaciones de uso muy concretas y, en la práctica, no es habitual el uso de la proporción estándar. A continuación, exponemos algunos de los bronces más populares (Alonso (1995) (Corredor, 1997):

- Los bronces con menos de 6% de estaño (bronce rojo y bronce laminado) son blandos, dúctiles y maleables, fáciles de trabajar en frío y utilizados para barras, alambres, chapas, monedas, ornamentos, etc.
- Los bronces con 10/12% de estaño son los conocidos como bronce de cañón o bronce fósforo (tienen un 1% de fósforo) son más duros que los anteriores y se usan para engranajes, válvulas o algunos objetos de decoración pulidos.
- Los bronces con el 12% al 18% de estaño en su composición presentan más resistencia y dureza, son utilizados, sobre todo, en piezas para industria pesada en las que se dan condiciones de gran desgaste y presión.
- El bronce arsenical, es la aleación resultante de las impurezas de arsénico a partir del 2%, lo cual le aporta más dureza al metal resultante. Esto lo hizo idóneo para la fabricación de armas y herramientas en la Prehistoria, si bien, su alta toxicidad terminó limitando su uso.
- El bronce sol es una aleación, tenaz, dúctil y muy dura, que funde a temperaturas muy altas, constituida hasta por el 60% de cobalto y es utilizado en joyería.
- Para la elaboración de campanas, sin embargo, se ha utilizado, históricamente, el "bronce de campanas de iglesia" que contiene de un 78% a 80% de cobre y el resto de estaño con algunos añadidos pequeños de plomo y cinc. Las proporciones, en este caso, varían dependiendo de la

receta de cada campanero, pero siempre con valores cercanos a esa proporción.

- El *kara-kane* ("metal chino" en idioma japonés) es un bronce para campanas y orfebrería tradicional japonesa, que está constituido por un 60% de cobre, 24% de estaño y 9% de zinc, con agregados de plomo e hierro. En Inglaterra para este metal se utilizó una aleación constituida por el 80% de cobre, el 10,25% de estaño, el 5,50% de zinc y el 4,25% de plomo.
- Para campanillas e instrumentos pequeños, frecuentemente, se ha utilizado una aleación del 68% de cobre y el 32% de estaño, que resulta en un material frágil, de color cenizo.
- Para platillos de batería y gongs se usan varias aleaciones que van desde una aleación templada con el 80% de cobre y el 20% de estaño (B20, similar al de campanas) a un 88% de cobre y 12% estaño y la más económica (B8), la cual consiste en solo el 8% de estaño ~~por~~ y el 92% de cobre (WFTP, 2021).
- Otra variante es el denominado "bronce blanco" que contiene gran cantidad de estaño, 1% de antimonio y una pequeñísima cantidad de arsénico. Su aspecto es un dorado blanquecino, alejado de los tonos dorados del bronce corriente. El escultor madrileño Víctor Ochoa lo ha utilizado en parte de sus últimas obras de fundición (Figura 3.3) .

Por su parte, otras aleaciones de cobre sus características son las siguientes (González, 2014/2015):

- El latón es una aleación de cobre y zinc. En ella se sustituye se sustituye el estaño por hasta un 40% de zinc (60% de cobre y 40% de zinc),

confiriéndole una buena capacidad plástica y mayor resistencia a la corrosión que el bronce. El latón está presente en la construcción de instrumentos de viento metal, trompetas, saxos, trombones debido a su consistencia, sonoridad, maleabilidad y acabados, así como en objetos decorativos. En el mundo de la escultura, buen ejemplo de su uso son las obras el escultor granadino Miguel Moreno (Figura 3.4), hechas en chapa batida. En ellas el autor aprovecha la maleabilidad en frío del material para obtener formas volumétricas a partir de chapas planas.



Figura 3.3. Ochoa, V. (2020). *Zulo* [escultura en bronce blanco]. Fuente: elaboración propia



Figura 3.4. Moreno, M. (1961). *Cabeza de gitana* [escultura de chapa de latón repujada]. Fuente: web del escultor

- La alpaca, no está considerada un bronce, puesto que se trata de cobre y níquel (Cu del 55-70%, Ni entre del 16-25 %, Zn del 3-14% y Fe 3%). Es muy utilizada en objetos de decoración y en cubertería. También es muy fácil de pulir.
- El cobre y el plomo dan metal rosa, con un contenido del 40% de plomo.

- El "metal inglés", es otra aleación que contiene estaño y antimonio en grandes cantidades, mientras que el cobre y plomo va en menor proporción.

En general, debemos tener en cuenta que el mayor porcentaje de estaño mejora la colabilidad, endurece la aleación y vira el color del rojizo al blanquecino. El zinc funciona como antioxidante, lo cual explica que el latón sea más difícil de patinar. El plomo mejora la colabilidad, baja el punto de fusión y hace que el trabajo de repaso sea más fácil, ya que ablanda el metal. El aluminio, en general, puede ser negativo puesto que lo puede volver muy esponjoso y frágil. También funciona como antioxidante, lo cual justifica que en piezas que van a estar en el fondo del mar se les añada una pequeña cantidad. El fosforo aumenta la fluidez y absorbe la escoria (Pierre, 2006).

El caso de empresas como *Arte en Bronce* (Granada), justifican la utilización del RG5, [55]con un 5% de plomo, por las características plásticas de este bronce. Sin embargo, en EE.UU. está generalizado el uso del bronce-silicio en escultura. Este es mucho más resistente a la intemperie, ya que, normalmente, es utilizado para piezas de la industria naval expuestas a las sales del agua marina. Este metal presenta ciertas particularidades para la pátina con respecto a los bronces utilizados en Europa. Por otro lado, escultores como Harry Bertoia recurrieron a varillas de bronce-berilio para sus esculturas porque les confería una gran dureza y memoria elástica, similar a la del acero inoxidable, además de un sonido y color característicos (Twitchell, 2019).

[55] RG5: Aleación de cobre al estaño también conocida como bronce rojo o *leaded gunmetal*. Las normas internacionales más próximas son la BS 1400 LG2, la ASTM B505 C83600 y la CuSn5ZnPb (Rg5). Tiene buena maquinabilidad y ofrece una buena resistencia a la corrosión.

La mayoría de las empresas primarias distribuidoras de bronce, latón y cobre ofrecen estos materiales en forma de lingotes de 10 a 16 kg con la aleación que sea solicitada. Adquirir el material en este formato solo se justifica si vamos a utilizarlo en fundición de esculturas, campanas, gongs, platillos o cualquier forma original que proyectemos (WFTP, 2021). Los lingotes de bronce son el formato más barato de adquirirlo puesto que ha pasado por la mínima manufactura y su precio depende del valor en bolsa, lo que hace que pueda variar significativamente, por ejemplo, de los 8 a 11 euros por kg de bronce en el año 2023.

Si lo que se busca es un bronce manufacturado y listo para cortar, soldar o mecanizar existen diferentes opciones en forma de barras macizas de hasta 6000 mm de largo -con sección circular, hexagonal o cuadrada-, tubos cuadrados y redondos con distintos diámetros y gruesos de casco, planchas de hasta 6000 mm x 3000 mm, bobinas de plancha de 20 m y bobinas de alambre. Todas estas opciones con múltiples aleaciones están destinadas, en su mayoría, a la industria mecánica. Basta con echar un vistazo a los catálogos de empresas nacionales como Fundiciones Aldeko, Metalesmarina o Bronmetal, para tener una idea. A un nivel más cotidiano, en ferretería podemos encontrar otras opciones.

En cuanto al cobre, lo habitual es que esté disponible en artículos relacionados con la fontanería en forma de tubos con sus correspondientes reducciones y piezas adicionales. Con estos elementos se puede trabajar a nivel acústico, como lo demuestran algunos de los trabajos sonoros de Jochen Fassbender (Rodríguez-Zaparripa, 2014) (Figura 3.5).



Figura 3.5. Fasssbender, J. 2021. *Campanas tubulares* [instrumento musical, hecho con tubo de cobre]. Fuente: klangkunstfassbender.web

Por otro lado, el latón está muy presente en forma de tubos y macizos de distintas secciones y medidas, piezas de grifería, pasamanos, pomos, manillones, letras, placas de buzón, mirillas y tapas, llamadores, herrajes de muebles, etc. así como en forma de alambre duro o recocido.

Hay más dificultad para encontrar artículos de bronce porque, habitualmente, es sustituido por el latón por su facilidad para la fundición, mecanizado y menor precio.

Hay disponibilidad de planchas de bronce, cobre y latón de pequeño formato utilizadas en joyería, grabado, orfebrería (Aguilar, 1946) y artesanía con distribuidores más específicos y con precios muy elevados al compararlos con los formatos grandes que se adquieren en fabricantes directos.

3.2.2. El hierro y su aleación de acero

Hierro y acero son dos palabras que a menudo se utilizan indistintamente. Pero lo cierto es que el segundo es una aleación del primero. El término hierro (Fe), del

latín *ferrum,* hace referencia a uno de los elementos metálicos más presentes en la corteza terrestre, precedido del aluminio. Comúnmente, se encuentra en forma de minerales como la limonita, la ferrita o la magnetita. Para su utilización, es necesaria la reducción de menas de minerales a través de las altas temperaturas conseguidas por medio de la combustión de carbón. Ello conlleva la separación del oxígeno presente en los óxidos de hierro de los minerales, así como la eliminación de escoria y un aporte de carbono al hierro primigenio (arrabio). Esa aleación, con mayor o menor medida de carbono, da una mayor dureza al hierro inicial, y como resultado se obtiene el acero, del latín *aciarium*, a su vez de acies (filo, borde cortante), que según la norma UNE 36−004, puede definirse como:

> Material en el que el hierro es predominante y cuyo contenido en carbono es, generalmente, inferior al 2%, conteniendo además otros elementos en diversas proporciones. Aunque un limitado número de aceros pueden tener contenidos en carbono superiores al 2%, este es el límite habitual que separa el acero de la fundición. (Asociación Española de Normalización, 1978, s. p.)

El acero, la principal aleación del hiero, es un material duro, resistente, dúctil, maleable. Su fundición es más compleja que la del bronce y sus acabados se limitan a pulidos, dejando ver su superficie grisácea, pavonados u oxidaciones de tonos anaranjados. Conduce bien la electricidad pese a que se encuentra por debajo de las características conductoras del cobre, del bronce y del latón. Produce chispas al ser cortado o golpeado, por lo que resulta un material peligroso en entorno de trabajo de potencial peligro de incendio. Presenta una buena

resistencia mecánica. Posee una gran maleabilidad y su umbral de fatiga mecánica es bajo, lo que lo hace apto para piezas industriales, mecanismos y engranajes expuestos a desgaste mecánico.

El hierro sin carbono (hierro puro) o con un bajo contenido de éste, es un material tan blando como el cobre y de fácil oxidación (de coloración rojiza) por lo que en la práctica no se utiliza. Incluso en los primeros estadios de la siderurgia[56], el hierro ya contenía un bajo contenido de carbono derivado de los procesos de reducción.

Los orígenes de desarrollo de las labores de siderurgia y metalurgia vinculadas al hierro se atribuyen a los hititas, antigua cultura desarrollada en la actual Turquía en el II milenio a. C. (Quinto, 1959) (Delidaise, 2014). Esto lo demuestran la presencia de objetos encontrados en los yacimientos de la península de Anatolia, así como la denomina *Carta del Hierro* datada en el reinado de Hattusili III (1265 a. C.-1237 a. C.) y considerada como la prueba de la existencia de la producción de hierro en el mundo hitita: "He dado órdenes para que se fabrique buen hierro, pero aún no ha sido posible acabarlo, cuando esté acabado te lo hare llegar. Mientras tanto te envío una cantidad de hierro suficiente para fabricar una daga" (Gracia y Munilla, 2004).

A. Alonso (1995) señala que el pueblo hitita no solo utilizó el hierro extraído de minerales, sino también el hierro negro, proveniente del cielo. Esto quiere decir que, previamente a la aplicación de las técnicas siderúrgicas, los hititas y otras culturas ya conocían y utilizaban el hierro (Delidaise, 2014). Se trataba de hierro nativo procedente de rocas meteóricas compuestas por hierro y níquel. Estas rocas eran fragmentadas y, posteriormente, golpeadas con piedras y otras herramientas

[56] Siderurgia: técnicas de obtención y tratamiento del hierro, acero y aleaciones férricas. Metalurgia relacionada con el hierro.

con las que se conseguía dar forma al material para elaborar nuevos útiles, armas u objetos de decoración y culto. Al margen de las evidencias de los hititas, el uso de hierro proveniente de meteoritos lo atestigua, por ejemplo, una cuenta funeraria encontrada en el Antiguo Egipto cerca del cementerio de Gerzeh[57], datada en el 3200 a. C. y cuyo análisis revela que contiene una aleación de hierro de alto contenido en níquel (11%) solo atribuible a un meteorito (Grajetzki, & Quirke, 2000-2003); la daga de Alaca Höyük en Turquia (ca. 2500 a. C.), un colgante de hierro de Umm el-Marra (Siria), datado cerca de 2300 a. C. (Universidad de Burgos, s. f.); varias hachas de hierro de la dinastía Shang en China datadas alrededor del 1400 a. C. (Universidad de Burgos, s. f.); o una daga de hierro, un brazalete y un reposacabezas de la tumba de Tutankamón (Figura 3.6), datados cerca de 1350 a. C. (Deleitase, 2014).



Figura 3.6. (ca.1350 a. C.). Daga de Tutankamón [útil de hierro meteórico]. Fuente: *ABC*.

No obstante, la inclusión del hierro no fue tan abrupta como tendemos a imaginar, pues el bronce continuó utilizándose y en determinados lugares como América no existió un desarrollo del uso del hierro hasta el siglo XV/XVI con la llegada de la cultura europea (Acuña, 1989) (Aguilar 1946). La tenacidad del

[57] La cultura de Nagada II data del periodo predinástico egipcio y es conocida además como Gerzense o Gerzeense, este nombre proveniente de la localidad de Gerza,o Al-Gerzeh, que está en la región de El Fayum. Dicha cultura se desarrolló de ca. 3500 a. C. hasta ca. 3400 a. C.

hierro frente al bronce fue una de las propiedades más valoradas de éste, pero su desarrollo técnico fue lento, ya que se necesitaba conseguir elevadas temperaturas de fundición[58] y grandes cantidades de combustible para su reducción:

En el siglo XII a. C. el porcentaje de las armas y herramientas de hierro suponía tan sólo el 2% y el 9% del total de los objetos documentados en las secuencias estratigráficas con esta cronología:

> Las proporciones subieron hasta el 14% y el 23% respectivamente en el siglo XI a. C. para alcanzar un papel mayoritario en el siglo X a. C. con el 54% y el 60%, respectivamente. Esta curva de proporciones es, obviamente, inversamente proporcional a la establecida para los ítems fabricados en bronce, que pasan de ser casi exclusivos en el siglo XII a. C. a minoritarios en el siglo X a. C. (Gracia y Munilla, 2004, p. 187)

De ahí que, alrededor de milenio I a. C. el hierro había reemplazado al bronce como el metal de elección en el Cercano Oriente y en escasos tres siglos se extendió por Europa. El bronce por su parte quedó relegado a la escultura, instrumentos musicales de viento y joyería, ámbito en el que desbancaría al oro por la similitud de acabados dorados, bajo coste y mayor abundancia.

Las técnicas para la reducción del mineral[59], evolucionaron tan lentamente durante la Edad Media y hasta los siglos X y XI que no se encuentran hornos en

[58] El cobre funde a 1085 ºC, el bronce a 890 ºC y el hierro a 1535 ºC.

[59] En la naturaleza el hierro no se encuentra en su estado puro, es decir, se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno, teniendo así óxido de hierro, el proceso de obtención de "hierro" es mediante el empleo de carbono, ya que, el carbono desplaza las moléculas de oxígeno permitiendo dejar al hierro libre de

los que se trabajase con volúmenes superiores a 5 o 10 kg[60]. La reducción del propio mineral a través de su calentamiento por combustión de carbón es la que aportó una parte de carbono (2%) al hierro, confiriéndole mayor resistencia y elasticidad y pasando a denominarse acero (Casas y Arredondo, 2021) (Franco, 2015). Éste es mucho más resistente y duro que el bronce y también más ligero (Sancho, 2011).

La creciente demanda del uso del hierro para convertirlo en material bélico y herramientas agrícolas a partir del final de la Edad Media supuso uno de los motores para la evolución de los procesos, tanto siderúrgicos como metalúrgicos (Universidad de Murcia, s. f.). La aparición de los altos hornos en la Revolución Industrial del siglo XIX dio lugar al empujón definitivo para convertir el hierro (Torre Eifell, 1887) y sus aceros derivados en el metal más utilizado y demandado en todos los campos de la industria y la construcción. Desde ese momento, la variedad de aleaciones vinculadas al hierro es enorme y cada una es utilizada para usos determinados.

Destacan dos grandes grupos: los denominados hierros de fundición y los aceros (Naya, s. f.):

-Los **hierros de fundición** son aleaciones compuestas por hierro y una cantidad de carbono que puede variar entre un 2% y un 5%, pudiendo aparecer otros

oxido FeO + C = Fe + CO2, sin embargo el empleo de carbono hace que este se difunda a través del hierro, generando así "arrabio", el cual es acero con alto contenido de carbono, azufre y fosforo. Posteriormente, para la refinación del "arrabio" y transformarlo en acero, se realiza un proceso de refinación que consiste en inyectar oxígeno al acero en estado líquido con la finalidad de remover la cantidad necesaria de carbono presente en la aleación, mediante la reacción 2C + O2 = 2CO // 2CO + O2 = 2CO2 (Rodríguez, 2022).

[60] Estudios como el de M. Sancho (2011) creen que esta limitación en cuanto a volumen venía condicionada por la dificultad de martillear volúmenes más grandes a mano. A medida que se introdujeron elementos hidráulico-mecánicos como los martillos pilones, accionados por un molino de agua, las cantidades de hierro fundido fueron en aumento.

elementos como silicio o manganeso en pequeños porcentajes, así como un bajo contenido de azufre y fósforo. En general, tienen buena dureza, colabilidad y resistencia a los choques térmicos y a la corrosión, lo que los hace idóneos para la fundición de bloques de motor, esculturas, piezas de mobiliario urbano, etc. Por otro lado, poseen menos plasticidad y elasticidad, que otras aleaciones de hierro lo que los convierte en frágiles y no se prestan a trabajos de forja, laminación o extrusión. Su alargamiento y resiliencia son bajos[61] (Ares, 2016).

-Los **aceros** son aquellos cuya proporción de carbono es inferior al 2% pudiendo contener otros elementos para complementar la funcionalidad de la aleación. En general poseen gran dureza, plasticidad, elasticidad y resiliencia. Entre ellos se distingue entre: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistentes, aceros inoxidables y aceros de herramientas (Franco, 2015):

- El 90% de los aceros son aceros al carbono. Poseen desde 0,2% hasta una cantidad inferior al 2% de carbono, pudiendo contener menos de un 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre.
- Los aceros aleados han sido mezclados con distintos materiales. La parte aleada del acero puede suponer entre el 1% y el 50% del peso total del acero. Los materiales de aleación más comunes que se pueden agregar al

[61] Entre ellos también existen distintas denominaciones: fundición blanca, fundición gris, fundición nodular y fundición maleable. La fundición blanca está compuesta por carbono y silicio, no es soldables y es muy dura. La fundición gris es soldable, resistente a la compresión y posee una buena absorción del sonido y utilizada para pedestales de máquinas, herramientas, bloques de motores. La fundición nodular, a diferencia de la gris y la blanca, contiene magnesio en su estructura, lo que le proporciona propiedades mecánicas similares a las de un acero al carbono. La fundición maleable, se obtiene al calentar la fundición blanca a temperaturas entre 800 ºC y 900 ˚C por un período de tiempo prolongado y en una atmósfera neutra (para evitar la oxidación), en la que se forma grafito, lo que origina una resistencia relativamente alta y una mayor maleabilidad; entre sus aplicaciones están los engranajes de transmisión y las cajas de diferenciales para la industria del motor, así como tuberías, válvulas de ferrocarril, navales y otros tipos de piezas para trabajos pesados; también es metal utilizado para campanas de hierro.

material de acero incluyen níquel, cromo, manganeso, zinc, titanio y plomo.

- Los aceros de baja aleación ultra resistentes son el grupo de fabricación más reciente. Son más baratos que los aceros convencionales, debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. El acero Cor-ten[62] (conocido en España como "corten") es uno de los más conocidos y utilizados como revestimiento en arquitectura y para dar forma a la escultura pública. Prueba de ello son las obras de gran formato de E. Chillida, R. Serra o Moncho Amigo (Figura 3.7 y Figura 3.8).

- Los **aceros inoxidables** son aleaciones de hierro que contienen cromo y níquel, obteniendo de ello que se mantengan brillantes y sean resistentes a la oxidación. Son duros, resistentes y mantienen esa cualidad durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Son utilizados como elementos decorativos por su brillo, en tuberías, en contenedores en depósitos de alimentos y en productos químicos por su resistencia a la oxidación, así como en la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste la acción de los fluidos corporales. Además, se usan para la fabricación de útiles de cocina, gracias a que no oscurece los alimentos y es fácil de limpiar. En los últimos 50 años, los aceros han ganado popularidad en la escultura por su resistencia y estabilidad a la intemperie, lo que los hace idóneos para la

[62] El acero Cor-ten contiene cobre, cromo, níquel y fósforo. Fue ideado por la *United States Steel Corporation* [Corporación de Aceros de Estados Unidos] en 1933. Presenta la peculiaridad de que su propia capa de oxidación superficial de color rojizo anaranjado que protege de la corrosión del interior de la pieza. No obstante, también desprende partículas de óxido que pueden producir manchas de óxido alrededor de la pieza.

escultura urbana. Un ejemplo icónico del uso del acero inoxidable en escultura lo constituye la obra *Cloud Gate* de Anish Kapoor (Figura 3.9), realizada en chapas de acero inoxidable pulido. En escultura sonora monumental el acero también ha sido un material muy recurrente, junto al acero corten.

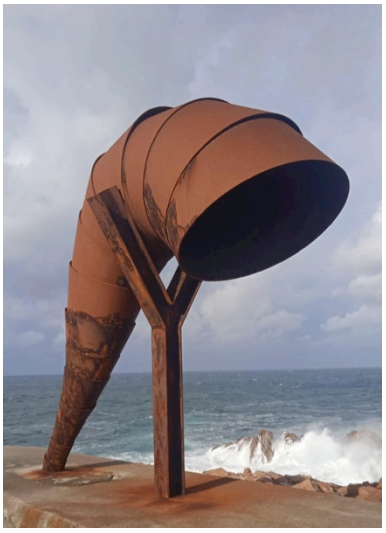


Figura 3.7. Amigo, M. (1996). *Caracola* [Escultura sonora en acero corten]. Fuente: elaboración propia



Figura 3.8. R. Serra (1994/2006). *La materia del tiempo* [Escultura en acero corten]. Fuente: Iñaki Andrés. La fotografía ilustra a la Sociedad Coral de Bilbao interpretando una pieza musical en el interior de una de las 7 esculturas monumentales del conjunto de Serra con motivo del XX aniversario del museo y aprovechando la acústica del habitáculo metálico



Figura 3.9.Kapoor, A. (2006). *Cloud Gate* [escultura en acero inoxidable pulido]. Fuente: Gettyimages. https://www.gettyimages.es/fotos/cloud-gate

- Los aceros de herramientas se emplean para fabricar útiles, herramientas y cabezales de corte o modelados de máquinas. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que les proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad. Estos aceros son muy sonoros al ser golpeados.

Por último, exponemos los principales elementos y las características que añaden a las aleaciones de acero:

- El cromo aumenta la resistencia a la corrosión y la oxidación, aumenta la capacidad de endurecimiento y la resistencia al desgaste. También aumenta la resistencia a altas temperaturas.
- El níquel aumenta la capacidad de endurecimiento, mejora la tenacidad y aumenta la resistencia al impacto a baja temperatura.
- El molibdeno: aumenta la capacidad de endurecimiento, la dureza a altas temperaturas y la resistencia al desgaste, mejora los efectos de

otros elementos de aleación, elimina la fragilidad del temple en aceros y aumenta la resistencia a altas temperaturas.

- El manganeso aumenta la capacidad de endurecimiento. Se combinado con azufre para reducir sus efectos adversos.
- El vanadio aumenta la capacidad de endurecimiento, la dureza a altas temperaturas y la resistencia al desgaste y mejora la resistencia a la fatiga.
- El titanio da lugar la formación de carburo más fuerte. Se agrega a los aceros inoxidables para evitar la precipitación de carburo de cromo.
- El silicio elimina el oxígeno en la fabricación de acero, mejora la tenacidad, aumenta la capacidad de dureza.
- El boro aumenta la capacidad de endurecimiento y produce un tamaño de grano fino del material.
- El aluminio forma nitruro en aceros nitrurados, produce granulometría fina del material en fundición y elimina el oxígeno en la fusión del acero.
- El cobalto aumenta la resistencia al calor y al desgaste.
- El tungsteno aumenta la dureza a temperaturas elevadas y refina el tamaño de grano.

Tal y como ocurre con los productos derivados del cobre, se pueden encontrar los aceros en distintos estados, dependiendo del nivel de procesado. Exceptuando los altos hornos y los almacenes de distribución de metal, la lista de productos en acero es innumerable, ya que forman parte del mobiliario urbano y del hogar, herramientas, útiles de cocina, vehículos de transporte, construcción, engranajes,

motores, electrodomésticos, joyería, material quirúrgico, infraestructuras de transportes, tuberías, etc.

En los grandes almacenes de distribución encontramos el acero en forma de chapas lisas o con estampados de entre 2000 mm x 1000 mm y 2000 mm x 3000 mm de extensión con distintos grosores, placas de anclaje de hasta 40 mm de grueso, todo tipo de tubos con distintas secciones (rectangular, cuadrada, redonda, etc.) y grosores, una gran cantidad de barras macizas con diferentes aleaciones, varillas corrugadas utilizadas para la construcción y el hormigón armado, pletinas y vigas de construcción.

Además, en los altos hornos se pueden encontrar lingotes y chapas de acero de considerable tamaño antes de ser trabajadas que permiten obtener de ellos productos disponibles en la industria.

3.3. Técnicas de transformado del metal

En este apartado trataremos las técnicas básicas para la realización de esculturas, antiguas técnicas para la elaboración de útiles, algunas utilizadas en la industria y ciertas específicas para el desarrollo de útiles e instrumentos.

Sobre el tipo de metales, los englobamos a todos ellos, debido a que, en términos generales, se trabajan de modos similares, si bien se entiende que existen diferencias entre ellos en cuanto a dureza y resistencia a ser cortados, lijados, pulidos, deformados en frío o en caliente, perforados o soldados, así como hay diferencias notables en la escala de las piezas a trabajar, por ejemplo, el proceso de fundición a la cera perdida se utiliza tanto para esculturas de gran tamaño como

para joyería y, pese a seguir el mismo proceso de trabajo, lógicamente, cada técnica tiene sus particularidades.

Por otro lado, advertimos que no es nuestra intención hacer un estudio detallado de cada técnica expuesta, ya que para ello se necesitaría una publicación integra y específica para cada una. Se trata de mostrar las distintas técnicas, tanto industriales como artesanales y describirlas del modo más claro y conciso, con objeto de dar al lector la información general al respecto que le permita seguir la propuesta de esta investigación.

En los trabajos escultóricos se habla de procesos adictivos y sustractivos: adictivos, cuando conformamos un volumen general por medio de la unión y ensamblaje de varios elementos de menor tamaño, ya sea en un modelado en barro o en la elaboración de una pieza de metal con distintos tubos soldados como el caso de *Mamá* de Louis Bourgeois para el Gugenheim (Figura 3.10); y sustractivos, cuando a partir de un volumen general se extrae parte del material hasta llegar a la forma deseada, nos referimos aquí habitualmente a la talla en piedra y madera u otros materiales aptos para estas técnicas como jabón o escayola. No obstante, existen casos en que se recurre a la talla del metal, por ejemplo, en los trabajos de torno y fresado o la práctica de cortes u orificios en determinadas piezas.



Figura 3.10. Bourgeois, L. (1999). *Mamá* [escultura en bronce y acero]. Fuente: Pixelillo

3.3.1. Fundición

La fundición es el método más utilizado para la obtención de esculturas y formas determinadas en metal. Su proceso de trabajo está formado por una serie de conocimientos desarrollados desde la Prehistórica que han sido perfeccionados a lo largo de los siglos. Sin embargo, a pesar de las diferencias en cuanto a medios, tecnología y disponibilidad de materiales, la esencia es la misma: crear un molde hueco donde verter un metal líquido que ocupe el espacio que antes ocupó un modelo previo (que, generalmente, es de cera).

Una vez preparados los moldes y dispuestos los útiles para hacer la colada de metal para verterlo en ellos, el metal se calienta a su temperatura de fusión en un crisol (en el caso de metales de temperatura de fundición alta) y cuando está licuado se vierte en los moldes. Para la previa obtención del molde nos basamos en las siguientes técnicas:

1. A la cera perdida:

- Con moloquita o cascarilla cerámica.
- Con chamota, arcillas refractarias y escayola.
- Con revestimiento en cilindros (utilizados en joyería y con cilindros de mayor tamaño en escultura)

2. Moldeo a la arena:

- Con arena mezcladas con resina de furanio.
- Con arena y bentonita.

3. Modelos gasificables:

- Se trata de moldes en los que no es necesario extraer el modelo puesto que, al recibir la carga de metal, el modelo, generalmente porexpan y derivados, se quema y gasifica. Se utiliza comúnmente en el moldeo con arena.

La técnica más extendida y conocida es la denominada "fundición a la cera perdida" (Figura 3.11). Para ella se parte de un modelo en cera[63] que es recubierto por un material refractario (chamota, revestimiento o moloquita) capaz de solidificar y tomar la forma negativa del objeto a fundir, así como de soportar las altas temperaturas del metal fundido (Corredor, 1997). Con objeto de extraer la cera y eliminar el agua del molde, la pieza de cera y su molde son introducidos bocabajo en un horno de descerado o en una campana de descere[64]. Una vez

[63] Podemos utilizar cualquier material que al quemarse no deje restos. En el siglo XX se ha extendido el uso del poliestireno expandido (también conocido como porexpan o "corcho blanco") y en lo que va del siglo XXI se está afianzando el uso de modelos calcinables de impresiones 3D tanto a partir de fotopolímeros como de plásticos PLA (ácido polilactico) que funden a temperaturas relativamente bajas y son biodegradables.

[64] Campana de descere: útil con forma de cilindro abierto por su parte inferior, donde se descera un molde para verter en él un metal fundido por medio de la aplicación directa de calor.

eliminado el modelo de cera (el cual se calcina en el horno y desaparece) y la humedad del molde por la cocción en el horno, el espacio ocupado inicialmente por cera queda vacío a la espera de ser ocupado por el metal líquido (fundido), que se introduce en el molde por un bebedero u orificio de acceso, que debe ser amplio, y que es conducido hasta la pieza por una serie de conductos dispuestos para tal efecto desde la construcción de ésta en cera. También se dejan unos conductos libres de material para que hagan de chimeneas por donde han de escapar los gases que se producen en el proceso de colado del metal.

En el caso del moldeo con arena, el modelo de la forma es extraído en frío, abriendo las distintas piezas que forman el molde y retirándolo mecánicamente.

Para metales con bajas temperaturas de fusión como el plomo o el galio, basta con utilizar materiales como escayola o silicona para el molde de colada ya que son temperaturas soportables por ellos.

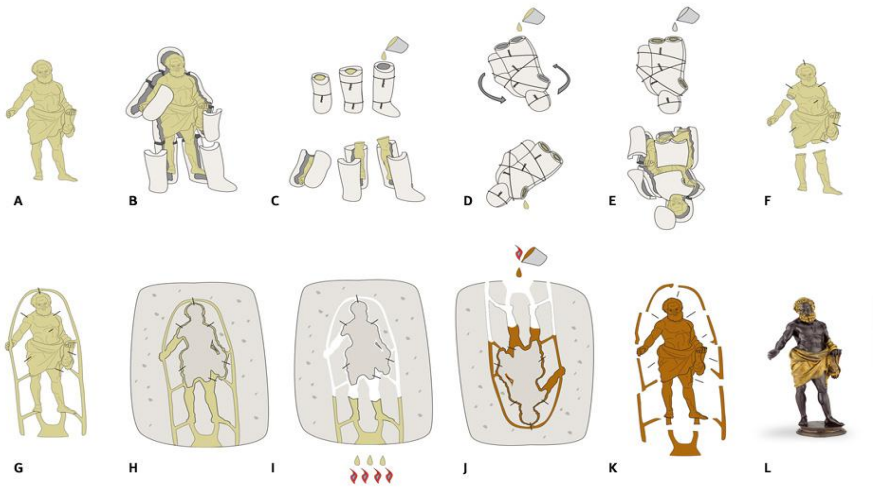


Figura 3.11. Proceso de vaciado en bronce por la cera perdida. Fuente: web de *The Sculture Park* en Londres

En la opción de elaborar los modelos con materiales gasificables como el poliestireno expandido (Lozano, 2011), no hay necesidad de extraer el modelo, pues al verter el metal y con su elevada temperatura de fusión, éste quema el modelo, pasando a ocupar su lugar y dando forma la pieza modelada en dicho material base.

Pese a esta exposición sencilla del proceso de fundición, las variantes en la fundición son casi infinitas, por ejemplo, en el caso de las campanas de iglesia europeas (Figura 3.12), el modelo a extraer está realizado en barro con algunos detalles en cera. A grandes rasgos, se parte de la elaboración de un macho de campana de material refractario realizado con una terraja[65]. A este macho añadimos una falsa campana hecha en barro y paja, para evitar que se adhiera al macho utilizamos pintura elaborada con ceniza o grafito disuelto en metanol (Aguirre-Sorondo, 1997) (García, y Moraza, 2006).

Una vez terminada la falsa campana, que determina el grueso de metal y la forma externa del instrumento añadimos los detalles de leyendas y motivos decorativos en cera y la recubrimos con otra mezcla de materiales refractarios, tradicionalmente tierras de la zona mezcladas con paja y reforzadas con alambres de metal. Bajo el macho se construye un horno que permanece encendido durante horas con el objeto de eliminar la humedad de los tres elementos (macho, falsa campana y molde externo) así como quemar las pequeñas partes de cera. Una vez eliminada la humedad y la cera, se procede a levantar el molde externo y a destruir la falsa campana. El hueco que esta nos deja, una vez vuelto a cerrar el molde, es el que el fundidor aprovecha para depositar el material conducido a

[65] Terraja: tabla a la que se adhiere una pieza de metal con la forma que se le quiere dar a una figura igual por todas sus caras o el perfil de una moldura para modelar, yeso, barro o escayola. En el caso de las campanas, es un molde de la silueta de la campana que, aplicado sobre el barro centrado en un eje, sirve para conformar las distintas partes de ésta en el proceso de fundición.

través de canales y orificios diseñados para tal cometido (Aguirre-Sorondo, 1997) (García, y Moraza, 2006). (Figura 3.12). Una vez enfriado el material, se destruyen los moldes y se extrae la campana, quedando lista para ser repasada (Solaun et al., 2018).

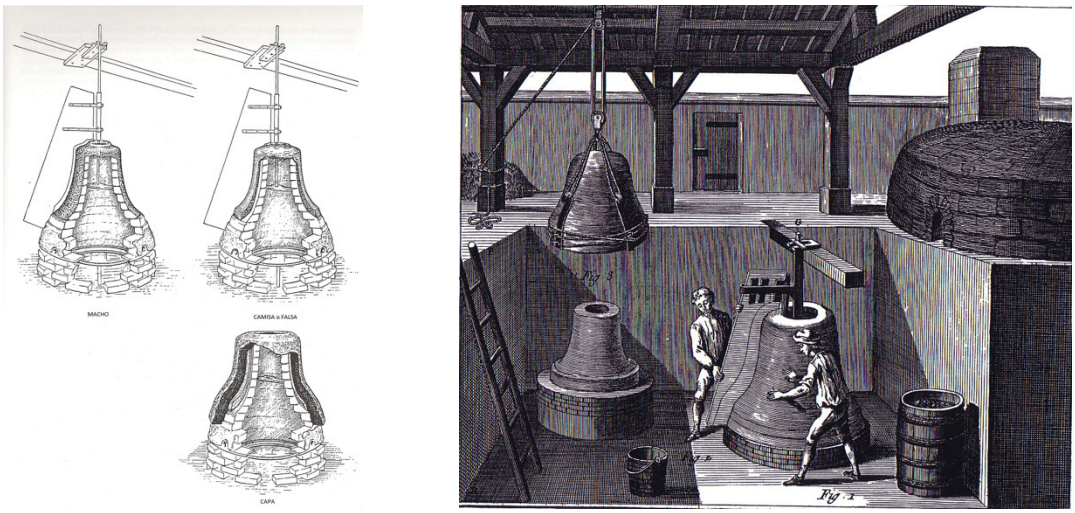


Figura 3.12. Izquierda: Proceso de conformado del molde de una campana. Fuente: web de Fundición de campanas Quintana. Derecha: Proceso de elaboración de campanas mediante eje vertical. Fuente: *Enciclopedia* de Diderot y d'Alambert de a finales del s. XVIII

Cuando se trata de piezas industriales que se van a repetir en gran número, se procede a la fundición con coquillas y matrices (Figura 3.13), unos moldes de metal con un punto de fusión más elevado del que se utiliza para la pieza a extraer. Estos moldes están divididos en piezas desmontables sin agarres y, normalmente se trata de piezas sin macho. De este modo, se puede fundir un gran número de copias en un corto espacio de tiempo con un mismo molde. Las figuras y adornos de las antiguas lámparas de latón o de rejería están hechas de este modo (Figura 3.14). En la práctica el metal fundido queda muy limpio y solo hay que

repasar pequeñas rebabas producidas por la junta de las distintas piezas de los moldes.



Figura 3.13. Coquilla de bronce. Fuente: Elaboración propia



Figura 3.14. Bartolomé de Jaén *(1520*). Reja mayor de la Capilla Rea*l* [hierro forjado, pavonado y con baño de oro]. Fuente: web Capilla Real, Granada

En todas estas técnicas, una vez obtenido un modelo en metal se siguen, a rasgos generales, los siguientes procesos de acabado (Ares, 2016):

- Corte de bebederos y demás elementos de vaciado de metal por medio de amoladoras y cinceles.
- Eliminación de rebabas y accidentes que no pertenezcan a la forma deseadas por medio de limas, cinceles y discos de repaso.
- Corrección de posibles agujeros y faltas por medio de soldadura o remachado.

- Lijado y afinado.
- Acabado por medio de pulido, pátina o pintura.

Para trabajos de fundición de bronces artísticos podemos recurrir a numerosas empresas españolas. En nuestro caso las más cercanas son Arte en Bronce, situada en Atarfe y Espacio de Arte Hermanos Moreno, situada en Peligros, ambas en Granada. No obstante, por la península española se pueden encontrar fundiciones en la mayoría de las comunidades.

Por otro lado, la fundición de campanas es más específica y escasa en cuanto a talleres dedicados a ello. Mencionaremos tres empresas históricas de España: Hermanos Portilla, ubicada en Cantabria, que además dispone de un museo dedicado a campanas provenientes de distintos puntos geográficos del mundo; Campanas Rivera, localizada en Cáceres, en activo desde el siglo XIX como demuestra un manuscrito de la fundición de campanas de 1850 firmado por Antonio Rivera, uno de predecesores familiares; y, por último, Quintana Fundición de Campanas, sita en Palencia, con una historia que se remonta a 1637.

En estas empresas se sigue con más detalle el proceso que describíamos anteriormente conociendo el oficio tras generaciones de práctica y disponiendo de plantillas a modo de terrajas de distintos tamaños y para distintas afinaciones que guardan como patentes heredadas de sus antepasados.

3.3.2. Forja, calderería y hojalatería

Dejando atrás los procesos de fundición nos interesa reseñar otros procedimientos para dar forma a la escultura a partir de chapas y pletinas. Antes de la aparición de los procesos industriales, el modo de transformar una pieza de metal era a través del oficio de la forja o derivados, como los caldereros y hojalateros.

La forja trata un conjunto de acciones aplicadas alrededor del hierro a partir de su calentamiento en la fragua, mientras se aprovecha la combustión controlada del carbón (en la actualidad también por medio de propano o gas ciudad), se calienta el hierro para poder deformarlo plásticamente mediante las acciones propias del oficio. La herrería ha sido un oficio muy presente y necesario en todas las culturas desde la aparición del hierro hasta la llegada de la II Revolución Industrial (en torno a 1850), momento en el que las técnicas de trabajo se mecanizaron y serialización (Mink, 2024). En este sentido, el enorme esfuerzo de trabajo y tiempo invertido en la fragua no puede competir con los precios y mayor ritmo de producción de la elaboración de piezas a nivel industrial, de ahí la consiguiente desaparición de numerosos talleres de forja en la mayoría de los países desarrollados. En todos los pueblos a principios del siglo XX había al menos un herrero o un barrio de herreros con una fragua en la que hacer rejas, espadas o cuchillos, útiles de campo, herraduras para las bestias, llamadores, bisagras, cerraduras para las puertas y un innumerable etc. En la actualidad, hay muchos artesanos que mantienen la tradición realizando trabajos exclusivos para clientes que aprecian este tipo de trabajos.

Por otro lado, el mundo de la forja también se ha dedicado a la creación de objetos bellos y no solo funcionales. En rejería se han asociado artesanos y artistas para desarrollar rejas de la categoría de la Reja Mayor de la Capilla de los Reyes Católicos (Figura 3.14), combinando el oficio con otros como el dorado, el repujado de formas, etc. Existe un amplio muestrario de llamadores de puertas con distintas y artísticas formas de dragones, lagartijas, caras, etc., así como de bisagras de puertas realizadas con gran regocijo estético.

Estas técnicas son las que en el siglo XX tomaron algunos escultores para llevar a cabo su investigación artística. Desde Julio González, Pablo Gargallo,

Pablo Picasso hasta Antoni Gaudí, Eduardo Chillida (Figura 3.15) o Balbino Montiano, ha habido un recorrido artístico, original y creativo en torno al oficio de la forja (Sánchez, 2012).

En la forja se da forma a metales en caliente mediante diferentes técnicas, utilizando herramientas como el yunque, martillo, tenazas, punzones, tajaderas, manerales, puntero, destajadores, etc. Se utilizan muchas más técnicas, pero son prácticamente todas pequeñas variaciones o modificaciones de las que exponemos (Ares, 2007). Estas técnicas se podrían clasificar de la siguiente manera:

-El **transformado** trata de convertir una pieza inicial en una pieza forjada, no se resta o añade material, el volumen de la pieza sigue manteniéndose prácticamente igual, es decir, la cantidad de material es casi la misma que antes de empezar a forjar (Ares, 2016):

- Recalcado. En una la barra metálica circular, al recalcar una pieza se aumenta el diámetro o sección inicial, reduciendo su longitud.
- Estirado. Es lo opuesto al recalcado, se trata de disminuir el diámetro o espesor de una pieza cilíndrica o barra circular de metal, al mismo tiempo que aumenta su longitud.
- Aplanado. Al aplanar una barra circular de metal o parte de ella, se rebaja el diámetro o sección inicial, para aumentar su anchura o crear un escalón en la misma.
- Alisado. En el trabajo con metales, después del formado con martillos y demás herramientas, a veces quedan en la superficie de la pieza pequeñas hondonadas, depresiones, y huecos, de tal manera que la superficie queda

áspera y desigual. A través del alisado se consigue que la superficie quede, hasta cierto grado, llana y uniforme.

- Curvado. En el curvado de una pieza se mueve una parte de ésta en otra dirección, de tal forma que el eje longitudinal pasa a ser en ángulo, en forma de arco o circular.
- Retorcido. Mediante el retorcido se da forma enroscada a barras de sección, generalmente, cuadrada o rectangular. La pieza se retuerce sobre su eje longitudinal.

-El **cortado** se produce cuando hay que separar, rajar o desplazar material. Se utilizan herramientas como las tajaderas, punzones, etc. (Ares, 2016):

- Desbarbado o cortado de material. Evidentemente se puede realizar por medios técnicos actuales, como con radiales, sierras, cizallas, corte por plasma o agua, etc., pero la técnica de desbarbado consiste en separar, sin arranque de viruta, un trozo de una pieza por medio del cincel o la tajadera.
- Rajado. El procedimiento es el mismo que el desbarbado, a excepción de que el fragmento no se corta, sino que se mantiene unido por uno de los extremos.
- Punzonado. El perforado se realiza con ayuda de punzones consiguiendo determinadas formas de ojales u orificios. Al contrario que con el taladrado, aquí tampoco se arranca viruta.

-El **unido** es la unión de piezas metálicas. Muchas piezas de forja obtienen su forma y tamaño definitiva uniendo diferentes partes, lo que se puede hacer por varios procesos (Ares, 2007):

- Remachado. Utilizando remaches de diferentes formas se pueden unir dos piezas permanentemente (Figura 3.16).
- Abrazaderas. Empleando trozos de pletinas preparadas inicialmente en caliente (al enfriar el hierro se contrae y mejora la resistencia) con forma de U se pueden unir dos piezas, doblando estas sobre las piezas a unir.



Figura 3.15. Chillida, E. (1991). *Elogio del hierro III*. [escultura en acero corten]. Fuente: Chillida Leku



Figura 3.16. Calder, A. (1971). Detalle de la obra *Hellebardier* [escultura en chapa de acero remachada y pintada]. Fuente: elaboración propia

- Soldado. La soldadura a la calda o al fuego, es aquella en la que, mediante el calentado de las dos piezas hasta cerca del punto de fusión del material, se consigue su unión mediante el golpeo con el martillo en el yunque. Para esta soldadura se necesita poner entre las piezas a unir fundente que facilite la unión. Y también está la soldadura con electrodo en la que

> intervine la participación de un arco voltaico, creado entre dos electrodos de carbono por medio de la energía que aporta una batería eléctrica, que permitió la soldadura con electrodos e hilos que conocemos en la actualidad[66] (Ares, 2016) se describimos más adelante.

Las técnicas utilizadas por la forja constituyen en sí un grandísimo abanico de conocimientos prácticos que se aprendían en el pasado trabajando repetidamente en cientos de piezas hasta que el aprendiz terminaba siendo maestro con el paso de los años[67]. Muchas de estas actividades se vieron desplazadas al entrar en juego nuevas técnicas industriales. Pero uno de los avances más significativos que se produjeron a finales del siglo XIX y principios del XX fue la mejora en el campo de la soldadura (Bonet, 2019). Hasta entonces, la forma de unir piezas de hierro o bronce de cierto tamaño era por medio de soldadura a la calda, remaches y abrazaderas, lo que suponía ciertas limitaciones para unir piezas grandes fuera de un taller, así como el consiguiente aumento de esfuerzos para trabajar con determinados tamaños de las piezas y alturas de estas o de su ubicación[68] (Ares, 2016). Pero a finales del siglo XIX, a partir del

[66] Mientras esta soldadura se perfeccionó allá por los años 20 y 30 del siglo XX, hizo su aparición la soldadura hecha con acetileno, gas que producen las piedras de carburo de calcio, las cuales, tras ser introducidas en un depósito y mezcladas con agua, inmediatamente, producen el acetileno que, una vez conducido por una tubería y una boquilla, combustionaba, produciendo una llama muy viva y limpia, de tono azulado, con la que se consigue la temperatura necesaria para fundir los extremos de las piezas a unir y a las que se aporta más material con una varilla de meta, que da lugar a formas de puntos o cordones. Todavía se utiliza esta técnica, habiendo sustituido las piedras por una bombona de gas (Bonet, 2019).

[67] A nosotros nos sirven saber -para hacernos una idea- de que son un conjunto de saberes que pueden ayudarnos a formar una escultura a partir de estas técnicas mezcladas o no con otras. Así, por ejemplo, la elección de remaches para unir dos piezas de una escultura metálica puede, en ocasiones, deberse a una elección más estética que práctica (Figura 3.16).

[68] No obstante, eso no impidió que se elaborasen esculturas colosales conformadas por cientos de piezas, como en el caso de la *Estatua de la Libertad* de Nueva York, que está construida a partir de placas de cobre repujadas y remachadas sobre una estructura de acero interna. La obra alcanza 40 metros de altura.

desarrollo de la producción del arco eléctrico (Bonet, 2019) estos problemas desaparecieron. La importancia de estos avances es tal que, hasta la aparición de esta, para la fundición de esculturas de grandes dimensiones se procedía por medio de un molde único en el que la pieza, ya fuese de 1 o 10 metros, era fundida con cientos de tubos de entrada de metal y salida de gases por medio de una fundición única con los consiguientes riesgos de fallos y elevadísimas cantidades de metal usados en una sola colada. Hay casos documentados de las enormes complicaciones que esto suponía, por ejemplo, está el *Perseo* de Cellini (Figura 3.17), escultura de grandes dimensiones que el propio escultor se encargó de fundir en su taller particular. Según cuenta el autor en su autobiografía, esta pieza le llevó 9 años construirla. Por un lado, fundió a Medusa situada yacente a los pies de la figura del semidiós griego y sin cabeza y por el otro a Perseo que está levantando con su mano izquierda la cabeza de Medusa (Cellini, s. f.). Todo este proceso fue hecho sin opciones a cometer fallos, con una sola opción de fundición.

Sin embargo, desde las mejoras en la soldadura se comenzaron a fundir esculturas divididas en distintas piezas que más tarde eran ensambladas (Figura 3.18), esto hizo que talleres más pequeños pudiesen crear obras de grandes formatos sin cambiar de ubicación y sin la necesidad de correr grandes riesgos (Bonet, 2019). En la actualidad, es la soldadura de arco voltaico o electrodos la práctica más extendida para unir piezas esculturas. No obstante, en el caso de la fundición de campanas de iglesia se sigue haciendo de una pieza para garantizar la cohesión de sus partes necesaria para su sonido.

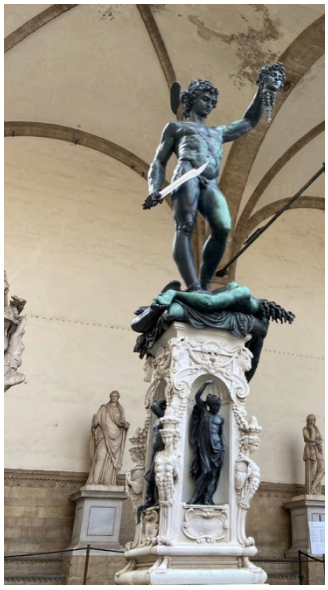


Figura 3.17. Cellini. B. (1554). *Perseo* [escultura de bronce y mármol]. Fuente: elaboración propia



Figura 3.18. Conformado de varias piezas de una escultura, en la que se pueden apreciar los cordones de soldadura en la parte inferior de la imagen inferior [bronce]. Fuente: elaboración propia

-El **temple** es otro aspecto interesante que se desarrolla en el ámbito de forja, se trata del endurecimiento del acero mediante procesos térmicos. Como resultado se reducen las cualidades plásticas, que no elásticas del metal. Este proceso tiene mayor o menor éxito dependiendo del porcentaje de carbono del acero utilizado para ser templado. Por medio del temple se endurecen hojas de navajas y espadas, muelles, resortes o piezas de industria.

Se trata a grandes rasgos de elevar la temperatura del metal sobre unos 800 ºC, en la práctica se sabe que cuando el metal alcanza un color rojo cereza se encuentra en la temperatura idónea para ser templado. En ese punto se introduce en agua o aceite fríos cambiando bruscamente su temperatura y, por consiguiente, la estructura cristalina de este material férrico cambia (en términos metalúrgicos

el material pasa de austensita a martensita), siendo más homogénea y compacta, dando como resultado un acero más duro.

En materiales con base de cobre el temple por contraste de temperatura no funciona. En este caso, el endurecimiento solo se consigue con el martilleado y estirado del material, como ocurre en los platos de batería y gongs, que presentan una gran dureza al haber sido martilleados y estirados durante un largo proceso. Si se calientan estas piezas, no conseguimos templarlas, sino recocerlas y eliminar tensiones, convirtiéndolas de nuevo en un metal blando. Este proceso no es negativo, ya que es recurrente y necesario cuando el material está demasiado "agrio" (duro y frágil) como para seguir trabajando en él (Bravo, 2011).

El **batido de chapa** se utiliza tanto en forja como en calderería y escultura. Se trata de golpear el metal con un martillo con superficie plana o esférica y desplazar el material dando forma sobre unas matrices, yunque o sufrideras (normalmente, de madera y, en ocasiones, de plomo). Es la técnica utilizada por el escultor granadino Miguel Moreno o para la elaboración de la conocida *Estatua de la Libertad* (Nueva York).

La obra de M. Moreno, a grandes rasgos, se realizaba a partir de un modelo confeccionado por el autor en arcilla o poliespán, del cual se hacía un análisis de planos con la intención de descomponer la escultura en partes más sencillas. Una vez hecha la división de planos sobre el modelo original, se elaboraban unas plantillas de cartón con la forma de cada plano, y estas son transportadas al metal, que en general es latón. Este se batía sobre un yunque y unas sufrideras de madera con formas cóncavas y convexas en busca de la forma del plano a conseguir. Como se disponía de un modelo, los planos obtenidos en metal eran contrastados con los del modelado a escala 1/1 con la intención de conseguir el máximo

parecido. Las piezas metálicas obtenidas iban uniéndose una con otra con soldadura hasta conformar el volumen final de la obra (Figura 3.19).



Figura 3.19. Moreno, M. (2007). *Venus de Armilla* [escultura en chapa de latón batida]. Fuente: desconocido. En la imagen se puede ver en primer plano como el autor trabaja una chapa de latón sobre yunque. Al fondo las diferentes piezas son ensambladas sobre el modelo realizado en porexpán.

En el caso de la *Estatua de la Libertad* (1884), esta está realizada con cientos de chapas de cobre repujadas sobre matrices de madera, realizadas, a su vez, a partir de un positivo de escayola (Figura 3.20). Posteriormente todo el conjunto está unido a una estructura interna de acero diseñada por Eiffel.



Figura 3.20. Bartholdi, F. (1884). Fragmento (dedo del pie con uña) de muestra del museo de la *Estatua de la libertad* [chapa de cobre repujada]. Fuente: Grisez, C. Se puede apreciar en el reverso (imagen izquierda) por dónde fue dada la forma y que está reforzada con pletinas de cobre. En el anverso (imagen derecha), en el centro de la uña del pie se observan los remaches utilizados para sujetar las pletinas de refuerzo.

La **calderería** y la **hojalatería** son oficios, en extinción. Son muy interesantes para la elaboración de piezas de cocina o de almacenaje de líquidos, aunque también son aplicables a la escultura.

El hojalatero, normalmente, trabajaba zinc y hojalata (chapa de acero muy fina con poco carbono bañada por estaño). Sus trabajos parten del corte de la chapa con tijera, según unas plantillas heredadas de maestros previos. Estas eran plegadas y soldadas con varillas de estaño y plomo[69]. Más tarde se reajustan su forma con un mazo de madera sobre un yunque. A estas formas se le añadían tapas, asas y alguna decoración en latón moldeada mediante el batido del metal en sufrideras de madera o plomo (Monesma, 2022).

El oficio de calderero es similar, pero en este caso se trabajaba sobre la chapa de cobre. Los calderos en ocasiones eran bañados en su interior con estaño siendo

[69] Estas varillas son preparadas por el artesano con proporciones que oscilan entre el 30% de 50% de estaño dependiendo de si se suelda hojalata, zinc o cobre (Monesma, 2022).

este un material más limpio que el cobre para los alimentos. En el exterior y a modo decorativo se batía la chapa de cobre marcando la superficie con unos círculos brillantes y decorativos (Figura 3.21).

3.3.3. Procesos industriales

Los procesos industriales de tratamiento del metal (cobre y latón) son aquellos en los que interviene la industria y no la manufactura. Con tales, se encuentran los siguientes:

-La **electroformación** es una de las últimas técnicas de conformado de metal que se basa en depositar átomos de cobre u otro metal sobre cualquier superficie con una forma determinada (la base no tiene porque ser metal, puede ser, por ejemplo, cera.) por medio de una corriente eléctrica. Se trata de un proceso similar al baño electrolítico, pero en este caso se permite eliminar el modelo sobre el que se deposita el metal, una vez que este tiene la consistencia necesaria. Escultores como Catherine Grisez (2024) (Figura 3.22) lo utilizan como proceso para la creación de las partes sus obras de chapa de cobre repujada.

Con la llegada de los procesos industriales se han producido grandes avances que han facilitado la obtención de piezas muy precisas y serializadas con estándares de calidad. Nos gustaría destacar algunos de esos procesos pues no son de uso frecuente para el mundo de la escultura y menos aún para la sonora, pero vemos en ellos grandes posibilidades (González, 2014/2015):



Figura 3.21. Brasero [cobre repujado]. Fuente: Milanuncios.



Figura 3.22. Grisez. C. (2023) *Surrender* [escultura en cobre repujado, electroformado sobre cera y perla barroca]. Fuente: D. Yaple

-La **embutición** con matrices por medio de una prensa hidráulica es un método industrial que se ha utilizado para piezas de automoción, hostelería (ollas y sartenes) e, incluso, en la antigua juguetería. Lo interesante de esta técnica es que se pueden obtener formas campaniformes o huecas sin la necesidad de fundir, sino a través del prensado del metal en frío. Sobre una matriz[70] es dispuesta una plancha de metal (el acero es muy utilizado por su plasticidad) y por medio de una prensa hidráulica ejercemos presión con otra matriz superior obteniendo una pieza hueca en cuestión de segundos. Actualmente, algunos cuencos de metal, timbres de recepción, depósitos o tanques contenedores, etc. son elaborados de esta manera sin necesidad de fundir o repujar el material. Además, debido a la presión que soporta el material, este queda con una dureza cercana al temple, lo cual le

[70] Matriz: molde que sirve para dar forma al metal, en este caso en frío. Hay matrices exteriores e interiores, que permiten obtener piezas huecas, como ollas.

confiere cualidades oscilatorias muy recomendables para producir sonido (Figura. 3.23).

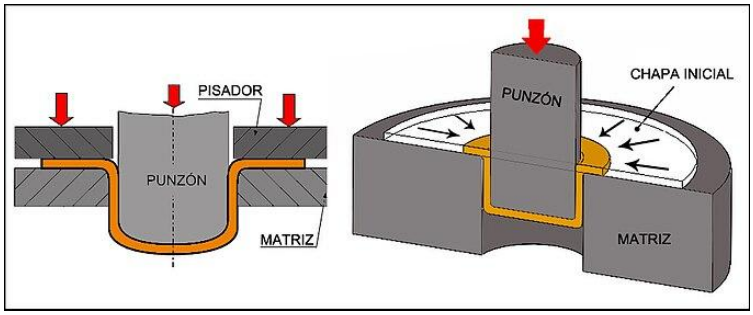


Figura 3.23. Embutición de piezas metálicas. Fuente: Osrodola

-El **estampado** es un proceso por el que se obtienen piezas complejas de automóvil, útiles , herramientas, elementos de informática, estanterías, piezas de electrodomésticos, juguetes, etc.

-El **repulsado** es otra técnica industrial muy recurrida, aunque limitada a formas circulares, ya que tiene como base el funcionamiento circular de un torno. En este caso, se toma como material inicial un disco de metal que es deformado y transformado en una pieza hueca, a través de la presión ejercida con distintos útiles sobre una matriz simétrica, que gira a gran velocidad (de 400 a 2000 rpm) por acción del torno. Es idónea para realizar llantas de vehículos, pequeñas campanas, instrumentos, barreños y todo tipo de recipientes para contener líquidos, ya que se producen artículos de una sola pieza sin uniones ni soldaduras. Acero, cobre y latón son muy utilizados en estos procesos por su maleabilidad. Las formas obtenidas suelen tener una buena sonoridad, ya que el metal queda en forma de campana, con cierta tensión y paredes muy finas (Figura 3.24).

- Procesos de CNC (*Computer Number Control*) son técnicas de mecanizado de corte, fresado, taladradado, torno, plegado, etc. llevados a cabo por maquinaría controlada por ordenador. Esto ha permitido una gran precisión e implementación del

trabajo serializado, así como una disminución enorme en los tiempos de trabajo, ya que lo que para un artesano podría suponer un día entero de trabajo, para este tipo de tecnología puede suponer apenas unos minutos.

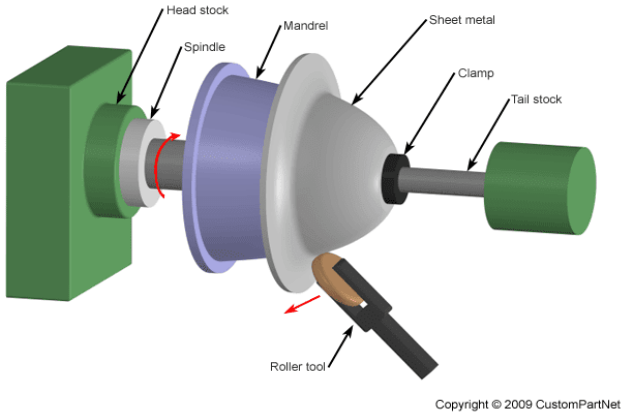


Figura 3.24. Repulsado en torno. Fuente: CustomPartNet

3.3.4. Tratamientos superficiales de los metales: baños, pavonados y pátinas

Otra cualidad de los metales es que estos pueden cubrir superficialmente a otros metales mediante baños electrolíticos o por medio de altas temperaturas (baños a fuego), ser pavonados por medio de aceites, producir cambios químicos en su superficie por medio de ácidos para realizar diferentes efectos cromáticos (Centro Nacional de Conservación y Restauración, s. f.), servir de base para esmaltados y, por supuesto, ser pintados.

- Los **baños**, en sus distintas variantes, son métodos utilizados para alargar la vida útil del metal base, evitando la corrosión y logrando un acabado superficial que mejore la apariencia del original.

-El **baño electrolítico** es un proceso electroquímico por el cual una pieza de metal recibe un aporte superficial y muy fino de otro metal. De modo resumido, en un recipiente con una solución salina que contribuya a la conductividad eléctrica, se sumerge la pieza a bañar conectada a un polo eléctrico negativo (cátodo). El metal de aporte (el que quedará en la superficie) también se sumerge en el mismo recipiente y se conecta al polo positivo (ánodo) de la corriente. Una vez activada dicha corriente eléctrica el ánodo pierde electrones en favor del cátodo, generándose un baño de metal del segundo sobre el primero. Esta técnica es utilizada en joyería, piezas de decoración de vehículos, armas y en instrumentos musicales, como en trompetas y flautas bañadas en plata, oro y cromo sobre una base de latón o cobre, consiguiendo el aspecto de un metal más caro o más resistente a la intemperie, pero con una base material de coste bajo y, en ocasiones, con una mejor plasticidad para ser moldeado o con mayor colabilidad para ser fundido. Un ejemplo muy utilizado y del que se hace uso diario está en las latas de conserva y en los recipientes para alimentos, el cual está hecho de hojalata, que es a una fina chapa de acero con un contenido de carbono de entre el 0,03% y 0,13% que ha sido bañada de estaño[71].

-En los **baños a altas temperaturas** o "baños a fuego" el material usado para la cubierta se funde, deposita y distribuye sobre el material base, al cual se adhiere. En este proceso, el material base tiene una mayor temperatura de fusión que el que sirve de cubierta. Estos baños fueron utilizados con anterioridad al uso de la electricidad. El más popular es el galvanizado, proceso

[71] En un principio comenzó depositándose el estaño sobre el acero por medio de baños de altas temperaturas, más tarde se cambió al método electroquímico actual que permite un mayor control de los gruesos de material aplicado como baño.

por el cual se sumerge la pieza de acero en un contenedor de zinc a 450 ºC, quedando el zinc adherido sobre el acero a modo de película protectora. Otro recurso conocido se produce en la elaboración de cencerros. Estos están hechos en chapa de acero común. Una vez terminada su forma campaniforme con martillo y yunque, los cencerros son envueltos en una mezcla de barro y paja a la que se añaden trozos de metal (los artesanos suelen llamar "metal" al latón). Esta pieza es introducida en un horno que sobrepasa los 1000 ºC, a esa temperatura funde el latón, lo que también hace que éste se adhiera a la superficie del acero, confiriéndole un aspecto dorado a la pieza y protegiendo el metal base. Además, según los campanilleros, este baño aporta el sonido característico a los cencerros (González, 1982). Un ejemplo más de este tipo de tratamientos era el baño de estaño utilizado por caldereros y hojalateros. Este se hacía sobre cobre, habitualmente en cuencos y calderos, con el objeto de que tuviesen un interior más higiénico en el momento de albergar alimentos, además de aportar un aspecto plateado y brillante. El baño de oro al fuego es otro ejemplo popular de baño metálico, aunque en desuso por su fuerte toxicidad al utilizar mercurio para depositar el oro en la superficie de piezas de otro metal.

-El pavonado (Figura 3.25) es el proceso de aplicación de una capa oleosa (normalmente aceite sucio de cocina o motores) sobre una superficie metálica calentada entre 200 ºC y 280 ºC. El óleo se calcina y sus restos crean una película negra y brillante que protege al elemento metálico de la oxidación. En la actualidad existen pavonadores químicos que, sin necesidad de aplicar calor a las piezas, resultan en acabados similares, lo cual facilita el proceso, sobre todo en piezas de gran formato.

-El uso de **ácido tánico** (ácido orgánico que se encuentra en la mayoría de las plantas) disuelto en alcohol es otro recurso utilizado en el campo de la

restauración puesto que es un proceso protector muy poco agresivo y reversible. En este caso y "Al ponerlo sobre el hierro, el ácido tánico reacciona con éste formando tanato férrico, una película protectora de color negro azulado cuyo grado de protección se puede controlar en cierta medida según el método de aplicación" (Centro Nacional de Conservación y restauración, s. f., p. 5).

-Las **pátinas** hacen referencia, en el entorno del trabajo del metal, a los derivados del cobre: bronce y latón. Con el paso del tiempo, estos materiales desarrollan una capa superficial de un tono verdoso característico. No obstante, a través del oficio de "patinador", existen una serie de conocimientos, procesos y técnicas basados tanto en la aplicación de ácidos y sales como en el control de las temperaturas de los metales a patinar, por medio de los cuales se obtiene una amplia gama cromática que comprende desde el azul y el verde turquesa hasta gamas de ocres, rojos, amarillos, negros, marrones color cuero, etc. (Kipper, 1995).



Figura 3.25. Travé, A. (2020) *Hoja* [escultura de chapa de acero repujada y pavonada]. Fuente: elaboración propia

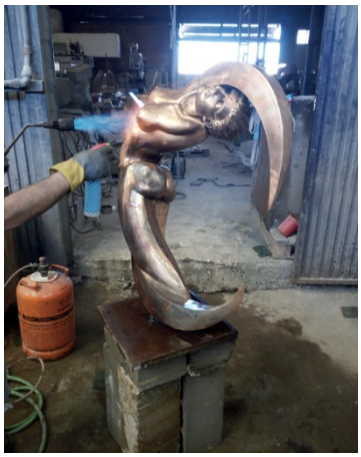




Figura 3.26. Arruf, M. (2002/2017) *Venus* [escultura de bronce]. Fuente: elaboración propia. En la imagen izquierda se está aplicando la pátina en caliente por medio de un pulverizador y un soplete. La derecha muestra el resultado, a la espera de una capa de cera para dar brillo y protegerla.

Estos procesos admiten muchas variantes, por ejemplo, a partir de un mismo producto, nitrato de cobre, se puede obtener acabados azul turquesa, verde oliva y negro, dependiendo del calor y modo de aplicación (Moreno, 2008) (Figura 3.26).

3. 4. El sonido a través del metal

Se han encontrado escasas publicaciones científicas que hagan referencia objetiva al timbre específico de los distintos metales, a lo sumo se habla de la capacidad de unos u otros de absorber el sonido y de la velocidad de propagación de éste a través de ellos. La primera opción es valorada en construcción de carcasas o habitáculos de motores y elementos ruidosos[72] por sus propiedades aislantes. La segunda viene a mostrar que el sonido se transmite en el conjunto de los metales a velocidades considerablemente mayores a lo que lo hace en el agua y el viento (Hush, 2023). La velocidad es dependiente de factores como la temperatura y el tipo de aleación, pero la mayor parte de los aceros tienen velocidades de transmisión del sonido comprendidas entre 4500 m/s y 6000 m/s, los bronces en torno a los 4700 m/s, los aluminios alrededor de 5100 m/s, 3200 m/s el oro, 3600 m/s la plata, frente a los aproximadamente 1500 m/s en el agua o los 331 m/s del aire (Hush, 2023).

Existen gran cantidad de publicaciones en las redes a cerca de los múltiples resultados tímbricos obtenidos en la fabricación de instrumentos con uno u otro metal, incluso sobre la diferencia sonora de estos con otros materiales como plástico, madera o piedra (Smith, 1986). Sin embargo, estas consideraciones son poco objetivas. En todo caso, son reseñas en forma de impresiones, opiniones y

[72] Planchas de plomo, así como hierros de fundición son utilizados para estos propósitos.

tradiciones adoptadas por músicos, compositores, técnicos de sonido y fabricantes de instrumentos.

El campo de la ciencia e investigación que puede aportarnos un resultado más objetivo es el de la acústica musical. Esta ciencia se remitió en su origen a los estudios científicos en su propio campo de investigación, pero por su naturaleza se ha convertido en una ciencia interdisciplinar en la que pueden intervenir la Física, las Matemáticas, la Fisiología, la Psicología, la Neurociencia, la investigación del cerebro o, incluso, las ciencias médicas. De aquí se deduce que en la percepción de un sonido no solo entra en juego el instrumento y su construcción, sino la percepción psicoacústica y la morfología del interprete y del oyente (Roncone, 2007).

Z. Laughlin, et al. (2008) realizaron un experimento con la intención de diferenciar las cualidades tímbricas de los materiales. Este trabajo pretendió demostrar las diversas sonoridades y percepciones obtenidas de diferentes diapasones de idénticas dimensiones, pero distinto material, por medio de las experiencias de varios sujetos: músicos y no músicos. Los diapasones estaban construidos en: acero con un recubrimiento de óxido de hierro pasivado[73], acero chapado en oro, acero dulce sin recubrimiento, acero inoxidable, zinc, cobre, latón, plomo, nailon, acrílico, vidrio, abeto, nogal, palo fierro[74], bajo[75], madera contrachapada y de balsa. Las cualidades del sonido producido por un diapasón se experimentan como una nota de un tono específico (frecuencia en Hz), con un

[73] La pasivación es un método por el cual se usa ácido nítrico sobre una superficie metálica para eliminar el hierro libre de ella y formar una capa de óxido protector e inerte que protege la pieza de la oxidación y la corrosión (Centro Nacional de Conservación y Restauración, s. f.).

[74] Palo fierro: el material de palo fierro se refiere al que proviene de un árbol de la especie de las leguminosas, que es común en el Desierto de Sonora.

[75] Bajo: metal de plata u oro con mucha adición de otros metales.

"brillo[76]" particular (un factor que depende de la duración y la amplitud de los armónicos). De este estudio se obtuvieron distintas frecuencias dependiendo del material utilizado, así como distinta coloración[77] sonido. En cuanto a los tonos obtenidos, en ocasiones fueron los mismos utilizando metal y madera, es decir, la nota obtenida era la misma, la diferencia radicaba en la duración de esta, en su amplitud (dB) y en su color.

También se demostró con esta experiencia que existe un rango de dos órdenes de magnitud entre los metales más brillantes (acero chapado en oro) y las maderas más apagadas o menos brillante. Pero a pesar de esto, algunas maderas desarrollaron un tono más alto que el de los metales, por ejemplo, el diapasón de nogal produjo un tono más alto que los de latón y cobre. Algunos de los metales, como el zinc, el plomo y estaño resultaron dar sonidos tan opacos y blandos que no se permitieron registrar señales medibles.

El diapasón de acero inoxidable produjo una nota de tono ligeramente más alto y de menor duración que el resto de los metales. El diapasón hecho de cobre emitió un tono bajo, elevado volumen y corta duración. El de latón dio un tono fuerte, brillante y más alto que el del cobre, pero más bajo que el diapasón de acero y, en este caso, todos los participantes estuvieron de acuerdo en que la duración de la nota producida era mayor que la de cualquier otro diapasón.

El del baño de oro también presentó un efecto pronunciado similar al brillo del diapasón de acero sin afectar a su frecuencia. El diapasón de cobre sonaba más apagado que los de latón y acero inoxidable.

---

[76] El término "Brillo" en acústica, se utiliza para denominar un sonido con predominancia de frecuencias agudas. Es un adjetivo del timbre del sonido.

[77] El "color" o la " coloración" de un sonido equivalen a concepto de "timbre" estudiado en el capítulo 2.

Además, los participantes manifestaron que en las vibraciones que percibían al sujetar los diapasones con sus manos pudieron diferenciar entre los diferentes aceros con bastante precisión y también apreciar las propiedades acústicas de los metales más blandos (Laughlin et al., 2008).

Esta publicación (Laughlin et al., 2008) da una pequeña idea de las buenas y diversas características sonoras que pueden aportar unos u otros materiales a un objeto sonoro. También quedó demostrado que los metales son buenos conductores del sonido, ya que por su estructura cristalina y elasticidad pueden vibrar y hacer una transferencia de energía óptima. Excluimos de esta afirmación, a tenor de los resultados de la publicación de Laughlin et al. (2008), aquellos metales blandos como el plomo que por su gran plasticidad y nula elasticidad absorben la energía y no son capaces de vibrar eficientemente para producir un tono con cierta amplitud y continuidad, es decir, que tienen un alto coeficiente de absorción[78].

No obstante, la afirmación que dice que un material es mejor o peor para el sonido es poco concisa, pues hay que analizar y distinguir la función que desarrolla en la producción y resultado de un sonido. Hay tres funciones claramente destacables en un sonido: oscilador, puente y difusor (Pérez, 2016), que analizamos seguidamente:

- En la función de oscilador, es decir el elemento que oscila tras la aplicación de una fuerza (sobre un diapasón, las cuerdas de una guitarra o una de las láminas del vibráfono), el material aporta el carácter tímbrico a las notas obtenidas, puesto que su dureza, elasticidad, etc. determinan la

[78] Los sólidos contra los que rebotan las ondas no son perfectamente rígidos, que sería lo idóneo, sino que tienen una cierta deformación al ser impactados por las ondas del sonido, absorben parte de la energía de la onda y devuelven una energía menor a la que se ha emitido.

duración del sonido y estas características le permiten reforzar la intensidad de unos sobretonos u otros.

- Cuando nos referimos a difusor (generalmente, la tapa armónica[79] de instrumentos de cuerda) también hay una relación entre la tímbrica y las peculiaridades del material utilizado, lo que otorga un carácter determinado al instrumento, por ejemplo, la tapa armónica de un violín.
- El caso del puente es objeto de controversia, se trata del elemento que sirve de transmisor de las vibraciones producidas por las cuerdas de un cordófono a la tapa armónica. A pesar de las variadas opiniones acerca de si un material u otro es mejor, lo cierto es que, como mínimo, se necesita que sea duro y denso, poco poroso y que, ante todo, no absorba las vibraciones, sino que las transmita de la cuerda al elemento resonador.

Teniendo en cuenta esas tres funciones se puede analizar cuál es el papel de uno u otro material en un instrumento y determinar sus peculiaridades.

Sobre el grupo de **viento-metal** -instrumentos de viento hechos en metal-, existe una eterna discusión a cerca de si el metal con el que están construidos los instrumentos influye en el timbre o no. El elemento oscilador de estos instrumentos son las columnas de aire de su interior y en algunos estudios hechos sobre ellas (Merino, 2016) aseguran que el material con el que están construidos los tubos que conforman la estructura del instrumento y por los que transcurren dichas columnas de aire tienen una influencia nula o inapreciable por el oído humano, debido a que no cumplen ninguna de las funciones anteriores, solo

[79] La tapa armónica de un instrumento es la parte superior del cuerpo. En el violín es de madera de abeto y está arqueada, cualidades que le permiten vibrar con libertad y producir un sonido resonante.

actúan como contenedores/conductores de las corrientes de aire producidas por los labios del intérprete.

Tampoco podemos pasar por alto que ciertos materiales no pueden desempeñar funciones como la oscilación, pero si la difusión. Pongamos de ejemplo un diapasón de cartón, este carece de la elasticidad y la dureza necesarias para oscilar, por lo que absorbería la energía, deformándose. Sin embargo, una lámina o un cono hecho con ese mismo cartón puesto en contacto con un diapasón (oscilador) activo funciona como amplificador/difusor del sonido (Pérez , 2016). Esto viene a explicar la utilización de cartón, fibras de cáñamo, material plástico o metal en la elaboración de los conos de altavoces (Ruzemblum, 2011). En el caso de las campanas[80] de los primeros gramófonos, se construyeron a menudo en metal debido a su óptimo mecanizado, su potente sonoridad, así como por su durabilidad y resistencia mecánica (Calderer, et al. 2006).

A continuación, exponemos algunos casos concretos de diferentes familias de instrumentos en los que la historia y las investigaciones recientes pueden ayudarnos a tener una opinión acerca de la tímbrica y del aporte estructural del metal.

En cuanto a los **instrumentos de cuerda** (históricamente realizados con cuerpo de madera y cuerdas de tripa o fibras vegetales), la inclusión del metal comenzó como una función práctica y estructural, más que sonora. En el siglo XVI se entorcharon las primeras cuerdas de tripa con alambre, obteniendo mayor densidad y resistencia en ellas con el fin de alcanzar notas graves sin la necesidad

[80] Se denomina campana de los gramófonos a la parte acampanada de ellos que servía para proyectar el sonido.

de utilizar excesivas longitudes[81]. En el siglo XVIII se utilizaron cuerdas enteras de metal (el núcleo y el entorchado) para el recién inventado piano, así como para las cuerdas graves de guitarra o violín, estas últimas compuestas por unos pequeños hilos sintéticos sobre los cuales se enrolla un alambre de hierro y níquel con una capa superficial de alambre plano de plata (Calderer, et al. 2006). Las cuerdas actúan como osciladores, lo que parece afectar directamente al sonido.

Una cuerda de nylon, el sustituto sintético de la tripa, produce, apreciablemente, menos volumen sonoro (dB) que una cuerda de metal, además de generar un registro de frecuencias medias que le confiere un sonido más dulce, que el que se obtiene con una cuerda de metal -esta afirmación tiene valor siempre que se percuten los dos tipos de cuerdas con el mismo elemento y la misma fuerza, puesto que existe una gran diferencia tímbrica entre pulsar una cuerda con la yema de los dedos y hacerlo con una púa de plástico o las uñas-. Por otro lado, las mejoras estructurales permitieron que los pianos de pared pudiesen tener un tamaño más reducido, al no necesitar de cuerdas muy largas para la sección de graves[82], elevar el volumen o la intensidad, ganando en proyección y obteniendo mayor *sustain*[83] en las notas. Otro uso del metal para los instrumentos de cuerda fue la utilización, a partir de 1825, de un marco de hierro fundido en el piano al que se anclaban las cuerdas. Este marco era mucho más estable que el de madera, lo que mejoraba la estabilidad de la afinación y permitía utilizar cuerdas con mayor tensión, sustituyendo las de latón por las de acero. Además, este marco

[81] La tiorba: una especie de laúd evolucionado en el Barroco, tiene una longitud de hasta 170 cm para conseguir reproducir los registros más graves.

[82] Si tenemos en cuenta que para una cuerda del Do más agudo del piano necesitamos una longitud de unos 10 cm, para la siguiente octava, el Do necesitaría 20 cm, después 40 cm, 80 cm, 160 cm, 320 cm para el más grave. Lo cual es inviable, de ahí la necesidad de elevar la densidad de estas cuerdas.

[83] En música, el *sustain* es la duración del sonido de las notas, desde que se inicia hasta que deja de percibirse.

funciona como puente de transmisión directa de la cuerda (oscilador) a la caja de resonancia de madera (difusor) lo que mejoraba la transmisión de energía. Imaginemos que el marco estuviese realizado en un material que absorbiese el sonido de las cuerdas, ello supondría una pérdida de volumen y riqueza armónica transmitida a la caja de resonancia.

La invención en 1927 de la guitarra resonadora (*dobro*) es un ejemplo más de la implementación de las cualidades sonoras de los instrumentos a través del uso del metal. Se trata de la solución que John Dopyera[84] encontró a la falta de proyección en cuanto a volumen de la guitarra tradicional de madera en el contexto de una *jug band*[85] o con las cuerdas en un espacio al aire libre en comparación con los instrumentos de viento y percusión. El cuerpo de la guitarra, construido tradicionalmente en madera fue sustituido íntegramente por acero y adicionalmente se incluyó una estructura de uno o varios conos superpuestos, construidos con una fina lámina de aluminio; sobre ellos descansaba el puente y las cuerdas del instrumento. Con este avance se consiguió amplificar de forma notable el sonido, proyectándolo hacia afuera a través de los orificios que tenía practicados la tapa (Calderer, et al. 2006).

Al respecto, encontramos la publicación de D. Politzer (2023), en la que plantea una comparación de las cualidades sonoras a partir del análisis del espectro audible de cinco instrumentos distintos: *banjo*, *banjo* con cono resonador, *dobro* sin la cubierta del cono, *dobro* y guitarra acústica de madera. Todos ellos afinados en un acorde de Sol con las cuerdas al aire y grabados en idénticas condiciones. En los resultados, en cuanto a intensidad, el *banjo*, que

[84] Jhon Dopyera es considerado el inventor de la guitarra resonadora (*AmCham Slovakia*, 2016).

[85] Las *jug bands* son bandas de música que emplean como instrumentos elementos ordinarios caseros que son adaptados o manipulados para que produzcan determinados sonidos.

combina un tambor de piel como difusor y cuerdas de metal, es el que destaca sobre los demás, acentuando los 600 Hz, seguido del resto en el mismo orden que los hemos enumerado. A parte del volumen, es interesante resaltar como en torno a los 250/350 Hz, 2000/3000 Hz y en los 6000 Hz se produce un fuerte incremento de la intensidad en los instrumentos metálicos en comparación con los instrumentos construidos en madera. Cabe recordar que los instrumentos de cuerda necesitan una caja de resonancia, puesto que la superficie de las cuerdas es muy pequeña como para producir un volumen aceptable, así su caja de resonancia también influye determinantemente en el sonido, ya que es la encargada de amplificar el sonido que emiten las cuerdas.

En los **instrumentos de viento hechos en metal y madera**, la irrupción del metal apareció con las primeras trompas metálicas que sustituyeron a cuernos, huesos de animal y cañas vegetales. Por un lado, se produjo un avance estructural, ya que se superaban las limitaciones de tamaño impuestas por el material de base, consiguiendo tubos más largos para llegar a un registro más amplio y con formas adaptadas al músico o compositor. En otro sentido, se diseñó la forma de campana[86] final del instrumento, que sirvió como amplificador/difusor del sonido (Calderer, et al. 2006). En estos instrumentos los metales más utilizados son el latón, cobre, plata, oro y platino[87].

Existe una opinión dividida en torno a la influencia de los materiales en el sonido de este grupo de instrumentos. Por un lado, intérpretes y constructores de

[86] Campana de un instrumento de viento: es la parte de este tipo de instrumentos que es más amplia, de obertura redonda y acampanada y que está situada en el sentido opuesto a la embocadura.

[87] La plata y el oro pueden aparecer como baños sobre el latón o en ocasiones pueden estar fabricados íntegramente en estos metales aleados con cobre para dar más dureza.

instrumentos están de acuerdo en que el material es determinante en el sonido, mientras que investigadores como Richard Smith (1986) o Gregor Widholm (2014) concuerdan en que el material tiene muy poca influencia directa en el sonido resultante. Se trata más bien de los procesos de trabajo, de los gruesos conseguidos por las paredes del metal, así como de las cualidades de cada instrumentista.

Como ejemplo de la opinión de los intérpretes, reparadores y constructores de instrumentos, exponemos un extracto de entrevistas e información halladas en diversos medios:

Jonh Aigi Hurn, solista de trompeta de la OSG (Orquesta Sinfónica de Galicia), ofreció una entrevista para trompete.com.pt y estas son algunas de sus opiniones que por otro lado concuerdan con las de gran parte de la comunidad de músicos con los que hemos podido contrastar esta información. En dicho evento afirmó: "Para música alemana usamos trompetas alemanas que utilizan un material de campana con una mezcla de oro que dan un sonido más cálido y harmónico" (2007, párr. 5). También afirma: "Cuando el material es más blando como latón, cobre, plata, oro, etc.(...) el sonido es más harmónico" (Trompete, 2007, párr. 4).

Y, por último, también dijo:

> (...) si tienes una trompeta lacada y le quitas el lacado vas a notar que la trompeta está mucho más timbrada. La laca, siendo una capa de plástico, tiene como principal objetivo el proteger la trompeta. El plástico en sí mismo no vibra. (...). En cuanto al acabado en oro, antiguamente para que el baño de oro se adhiriese bien al latón había que bañarla primero en níquel. Como el níquel es mucho más duro que

> el latón y menos tímbrico, la gente decía que las trompetas con baño de oro eran más "oscuras", no es así. Eran más "oscuras" porque la trompeta no vibraba por culpa del baño de níquel debajo del oro. (Trompete, 2007, párr. 10)

En la página de *Al Vent,* especialista y distribuidor de instrumentos de viento metal, dice sobre el zinc que: "Cuanto más zinc tiene, más armónicos agudos produce y cuanto más cobre, más armónicos graves" (2018, párr. 4). Y que: "Además de que resulta muy fácil trabajar con él para dar forma a las piezas, el latón cuenta con una propiedad muy interesante: es antimicrobiano. Por sus propiedades, el latón es el material perfecto para dar forma al cuerpo del instrumento (2018, par. 5). Con respecto a la plata[88] este autor dice: "(...) Los instrumentos fabricados o bañados en plata logran un sonido más incisivo, oscuro y rico en armónicos. Por ejemplo, las campanas de plata maciza son fácilmente reconocibles por su sonido brillante" (2018, párr. 9). Y con respecto al oro[89], caso en que hay que tener en cuenta los kilates, pues el de 24 kilates es demasiado maleable, por eso se mezcla con otros materiales, por lo que una mezcla de 9 kilates es ideal para fabricar un instrumento y, además "(...) cuando ampliamos la composición, por ejemplo, a 14 o 18 kilates, ganamos en armónicos y en diversidad sonora" (2018, párr. 11).

[88] La plata es un material muy blando, por lo que es necesario mezclarla generalmente con cobre. Plata de ley de 925 quiere decir que un 92,5% de su contenido es plata.

[89] El oro puro, 24 quilates, es demasiado plástico, de ahí que es necesario mezclarlo con otros materiales. Que un oro sea de 16 quilates significa que está compuesto por 16 partes de oro y el resto hasta 24 de otro material.

International Journal of Music [Revista internacional de música] (2012/2024), medio especializado dedicado a la divulgación de conocimientos musicales exponía lo siguiente:

> El latón amarillo: 70% cobre, 30% zinc. Produce un sonido claro y brillante, y un color uniforme en todas las dinámicas. Es el que se utiliza como estándar en toda la industria del latón. El latón dorado: 85% cobre, 15% zinc). [Con él] Obtienes algo con más de profundidad y calidez en el sonido, y más proyección.
>
> El latón rojo: 90% cobre, 10% zinc. [Esta aleación] ayuda a quienes buscan el sonido más amplio y cálido posible, con muchos armónicos.
>
> La plata es un material que permite obtener un sonido no sólo con muchos armónicos, sino también muy enfocado y con mejor proyección (especialmente en las dinámicas más fuertes) (...) (2018, párr. 7).

Como resumen la revista expone que: "En términos generales, cuanto más delgada sea la pared de la campana, más rápida será la respuesta; y cuanto más gruesa sea la campana, mejor estabilidad y densidad del sonido" (2018, párr. 8).

Por otro lado, Richard Smith elaboró *The Effect of Materials in Brass Instruments*, artículo en el que se muestra escéptico en cuanto a la opinión de los constructores de instrumentos a los que acusa de crear falsos argumentos en torno a las propiedades de los metales con el fin de mitificar supuestas cualidades tímbricas y aumentar el precio de sus productos:

> (...) los fabricantes de metales en particular dejan claro que creen que el material imparte ciertas cualidades musicales a sus instrumentos. No es

> necesario saber si esta teoría fue iniciada por fabricantes o instrumentistas, pero ahora tenemos empresas que compiten por el negocio basándose en las propiedades acústicas del material superior y exclusivo. (1986, p. 91)

R. Smith (1986) desarrolló un experimento en el que propuso a músicos experimentados escuchas a ciegas de trombones con distintas campanas. No pudieron distinguir entre unas y otras. Para el registro de las grabaciones tuvo en cuenta los pesos de los distintos grosores del metal, compensando equilibrios para que el intérprete tuviese la misma sensación con las distintas campanas de los instrumentos. En un análisis de espectro se determinó que las campanas de grosor del material más fino tenían un incremento de intensidad de 0,5db en determinadas frecuencias algo imposible de apreciar por el oído humano.

Por otro lado, Gregor Widholm (2020), director de la Universidad de Música y Artes Escénicas de Viena e investigador con un dilatado currículo de publicaciones dedicadas a los instrumentos de viento, en su publicación, titulada *Silver, Gold, Platinum and the Sound of the Flute I I* [Plata, oro, platino y el sonido de la flauta II], hizo un estudio comparado a través de 111 intérpretes de flauta (instrumento de viento, hecho, generalmente en madera) con instrumentos construidos por el mismo fabricante y en distintos metales con precios comprendidos entre los 2000 y los 100000 dólares, concluyendo que había muy poca influencia del metal utilizado en el sonido final. Las variaciones que se registraron en sus experimentos son también en torno a 0,5 dB en muy determinadas frecuencias. De donde se extrae que las diferencias en este caso las siente el intérprete tanto a nivel físico como psicológico (si un músico ha pagado

100000 dólares por un instrumento, seguramente esté condicionado para creer que suena distinto a otro de precio inferior).

Robert Pyle publicó en 1998 *The Effect of Wall Materials on the Timbre of Brass Instruments* [El efecto de los materiales de las paredes en el timbre de los instrumentos de meta], una vez demostrado por Smith (1986) que la campana de un instrumento de viento en metal es la parte que puede tener mayor influencia en el sonido final (a excepción de la boquilla y el músico). Pyle experimentó con distintas campanas para un mismo trombón tenor sinfónico fabricado por S. E. Shires. Probó dos campanas de los instrumentos (lacadas), una de latón amarillo de "peso estándar" (70% Cu, 30% Zn) y una de latón rojo "ligero" (90% Cu, IOX Zn). Las campanas tenían idéntico contorno y grueso al formase en el mismo mandril[90]. Se montó un transductor de presión piezorresistivo al ras en la pared de la copa de la boquilla del instrumento para registrar su sonido. La campana con el baño de latón amarillo resultó dar en un sonido más claro y con una articulación más aguda y la campana de latón rojo dio un sonido más cálido.

A niveles de señal equivalentes (es decir, igual presión sonora RMS[91]), las campanas de latón amarillas y rojas produjeron espectros notablemente diferentes para los tonos más bajos, menos diferentes para los tonos más altos. Para el tono más bajo, la campana de latón amarilla fue claramente "más brillante" excepto en los extremos del rango dinámico. En el tono más alto, el brillo de las dos campanas fue idéntico. En general, los armónicos crecieron más lentamente para la campana de latón rojo que para la de latón amarillo (Pyle, 1998).

---

[90] Mandril: elemento metálico de forma cilíndrica o parte de un torno que sirve para sujetar lo que se va a tornear, en ese caso, base asida al trono que sirve para dar forma a una campana.

[91] Indica el nivel de potencia media de un sonido

En los **instrumentos de percusión** parece haber consenso en la importancia de unos materiales u otros. Si comparamos el sonido de un xilófono (realizado en madera) y un metalófono (Glokenspiel, vibráfono o el *gender* de una orquesta gamelan) la diferencia es meridiana, los realizados con metal tienen un *sustain* mucho largo que los de madera, así como mayor cantidad de armónicos. El experimento de Z. Laughlin (2008) al que hacíamos referencia al comienzo de este apartado también deja claras las diferencias tímbricas de unos u otros materiales en dicho tipo de instrumentos.

En cuanto a la percusión tal vez el idiófono más icónico y representativo de nuestra cultura sea la campana de iglesia o en su conjunto los carrillones. Se trata de instrumentos con forma de copa invertida, realizados, generalmente, en bronce que, golpeados con un mazo de madera o metal (badajo), producen notas con muchos parciales, lo que hace complicado distinguir tonos en el sonido que estas emiten. Alrededor de ellas existe además de un gran misticismo, pues diversos estudios como el de M. Corral (2019) demuestran que la aleación de la campana influye drásticamente en su sonido. En el mundo de los campaneros, es común saber que una mayor proporción de cobre produce tonos más graves y profundos a igualdad de masa, mientras que el agregado de estaño, hierro o zinc produce tonos más agudos (Corral, 2019). Para obtener una estructura más cristalina y producir variantes y mejoras en la sonoridad, los fundidores han venido utilizando también otros metales, como antimonio, bismuto o plata en pequeñas cantidades (Lehr, 1952).

Los estudios de G.F. Portero (1996), indican que una proporción de 77% Cu, 22% Sn y 1% de Zn en la elaboración de una campana da como resultado sonidos poco agradables o estridentes, mientras que una proporción del 84% de Cu, 15% de Sn y 1% de Zn da origen a una campana más sonora (entendemos esto como

rica en armónicos y con mayor volumen sonoro), agradable y apta para la elaboración del instrumento. En este mismo estudio se realizó una campana con bronce-aluminio (84% de Cu, 11% de Al, 4% de Fe y 1% de Ni) y resultó ser un instrumento de sonido muy opaco y amortiguado.

Es interesante destacar en este caso un hecho que ocurriera en algunos campanarios de España a raíz de la destrucción de las campanas de bronce en la Guerra Civil. En el caso concreto de la Catedral de Guadix se destruyeron sus campanas, siendo lanzadas al suelo desde la torre. Una vez finalizada la guerra, la forma de reponerlas en un entorno de crisis de materiales, fue recurrir a los metales disponibles en las inmediaciones geográficas. La cercanía de las minas de hierro de la localidad de Alquife determinaron que la reposición de las campanas de la Catedral de Guadix fuese de hierro fundido con un consiguiente cambio a nivel sonoro y cromático, confiriéndoles un sonido menos grave y un aspecto rojizo, no verdoso como en el caso de las de bronce, que las hace muy características.

Los parientes directos de las campanas, que son los platillos de batería y gongs también son objeto de estudios por su sonoridad y las técnicas empleadas en su producción (WFTP, 2021) (Corral, 2019). Paul Francis, director de investigación y diseño y calidad de *Zildjian*, una de las principales marcas de platillos decía: "En general, cuanto menos estaño haya, más brillante y enfocado sonará el platillo, con más frecuencias altas" (Brennan, 2011). Por otro lado, Christian Wenzel, gerente de *Paiste* (otra de las principales marcas de estos instrumentos), describe el sonido de las aleaciones con mayor contenido de estaño como más rico y perdurable. En este tipo de instrumentos, las aleaciones más utilizadas son el bronce B20 (80% Cu, 20% Sn), también conocido como bronce de campana de iglesia, y el bronce B8 (92% Cu, 8% de Sn), que también son los más frecuentes.

Empresas como *Zildjian*, *Meinl* y *Paiste* experimentan también con diferentes tipos de estaño y proporciones de cobre en la mezcla base de bronce para elaborar instrumentos musicales. El latón también se sigue utilizando en ciertos platillos, aunque la alpaca (por lo general, 60% de Cu, 20% de Ni y 20% de Zn), prácticamente, ha desaparecido, en este contexto, a pesar de ser más frecuente en los años 40 y 50 (*Home of Drum*, 2019).

En el caso del vibráfono, el uso del aluminio (algunos bañados en oro y en latón) frente al acero o el latón está justificado por varias causas. Por un lado, es más apagado y tiene menor proyección (para sufragar esta carencia cuenta con unos tubos inferiores, también de aluminio que están afinados con cada barra del teclado, de modo que actúan como resonadores). Por otro lado, el vibráfono dispone de un rango de 3 y 4 octavas, así que la reducción de los sobretonos inarmónicos, que podrían resultar molestos por parte de materiales como el acero o el bronce al poner acordes o interactuar con otros instrumentos, puede ser otro motivo (Pérez, 2016). Por último, estructuralmente, el peso del aluminio es mucho menor que las otras dos opciones (acero y bronce) lo que lo hace mucho más ligero. Para tener una idea de la complejidad de algunas aleaciones registradas para conseguir unos resultados óptimos, mostramos la composición del aluminio usado para los vibráfanos *Musser* (uno de los constructores de vibráfonos) denominada por Alcoa[92] como 2024-T4: 0,5% Si, 0,5% Fe, 4,9 % Cu, 0,9% Mn, 1,8% Mg, 0,1% Cr, 0,25% Zn y el resto de aluminio (Alcoa, s. f.). Para las *orchesta bells* o *glokenspiel*[93] sin embargo se utilizan láminas de acero

[92] Empresa estadounidense productora de aluminio con sede en Pittsburgh con sucursal en san Cibrao (España).

[93] La *orchesta bells* o *glokenspiel* es un instrumento que parece un pequeño xilófono, pero está hecho de barras de acero. Se toca, normalmente, con mazos de madera o plástico, lo que produce un sonido agudo que es brillante y penetrante.

consiguiendo mayor volumen y registros más altos que con las de aluminio utilizadas para el vibráfono (Moore, 1971).

Capítulo 4. La lutería. Construcción, funcionamiento y variaciones de instrumentos y esculturas sonoras

(...) El taller y la tienda de un constructor de instrumentos musicales, de un lutier, un lugar en el que se obran sonidos, todavía no música. Allí, la madera adquiere forma para dársela al mundo y compensarlo. Una armonía necesaria". (González, 2013, p. 7)

4. La lutería. Construcción, funcionamiento y variaciones de instrumentos y esculturas sonoras

4.1. La figura del lutier

El término actual de lutier tiene origen en el vocablo francés *luthier*, que fue utilizado desde la Edad Media en el país galo para referirse, exclusivamente, a los constructores de laudes. Con el tiempo (siglo XVI y XVII) el uso de esta palabra se extendió geográficamente y su significado pasó a englobar a todo tipo de constructores de instrumentos musicales (Gaudioso, 2023). En España, a partir del siglo XIX, cuando su término homólogo, "violero", cayó en desuso, se adoptó la palabra y empleo actuales de lutier. Sin embargo, aún se conservan otras denominaciones específicas para antiguos oficios de constructores de instrumentos. Por ejemplo, los "guitarreros", que son quienes se dedican a la fabricación de guitarras clásicas, los "organeros", que están especializados en la construcción de órganos, y aquellos dedicados al oficio de la fundición de

campanas, conocidos como "campaneros" (Gaudioso, 2023). La lutería se entiende como el oficio que ejerce un lutier (RAE, 2014).

La importancia que damos a la figura de lutier, independientemente del término empleado en cada periodo histórico, se debe a que es el oficio de quienes desde la Prehistoria hasta nuestros días han seleccionado y dado forma a diversos materiales con objeto de controlar la producción de sonidos y música. Podemos decir que el comienzo de la acústica como disciplina independiente data de 1700 (Montano, 2019). Con "lutería experimental" hacemos referencia al diseño y construcción de nuevos instrumentos y esculturas sonoras que se han hecho, bien sea utilizando materiales novedosos, reutilizando los de desecho o usando los de uso cotidiano (cotidiófonos).

El conocimiento y práctica de estos principios permite crear una pieza/instrumento sonoro por parte del artista sonoro y le brinda una base sólida a partir de la cual elaborar su obra escultórica. Conocer las funciones, no solo el aspecto externo de los instrumentos ayuda a construir nuevas obras escultóricas desde un concepto, en lugar de desde una imagen que pueda condicionar su sonoridad. Los estudios y trabajos de F. Baschet (2017) sirven de ejemplo para entender estos procesos creativos. Él comenzó experimentando con instrumentos comunes a los que hacía modificaciones hasta que, frustrado, cambió de táctica. Con el siguiente símil este autor describió su *modus operandi* al crear esculturas sonoras :

> La forma más común es empezar con una imagen familiar y modificar esa imagen. Por ejemplo, el frigorífico es una copia de la heladera de la abuela. Los primeros automóviles eran carruajes sin caballos. Por otra

> parte, puedes empezar no por una imagen, sino por un concepto abstracto. Un frigorífico, por ejemplo, debería ser un contenedor fácil de ventilar, fácil de lavar y fácil de abrir, y que además genere aire frío. Si logras olvidarte de la forma clásica de la heladera de la abuela, puedes idear un diseño completamente diferente, que evite las desventajas de los modelos actuales. (2017, p. 349)

El modelado consciente del sonido se obtiene de la comprensión de las funciones de los distintos elementos que lo producen. A partir de la relación entre los elementos osciladores, los modos de vibración de las formas, las formas de accionarlos y los distintos materiales implicados se pueden diseñar y ajustar nuevos objetos que produzcan sonidos. Por ello, nos parece vital entender el origen de la formación y construcción de instrumentos musicales. A fin de cuentas también es un instrumento sonoro, además de un objeto plástico que define el espacio en el que se ubica, suena y transmite el sentido de la plasticidad de la forma que tiene y el sonido que emite.

4.2. Organología. Clasificación, construcción, funcionamiento y variaciones de los objetos sonoros (instrumentos y esculturas)

Se hace inabarcable y poco práctico exponer uno a uno los mecanismos por los cuales los miles de instrumentos musicales existentes producen sus notas.

Sin embargo, agruparlos en un pequeño número de ramas atendiendo, a sus principios sonoros, nos parece más accesible.

Esos pequeños grupos los haremos en base a la organología, la disciplina que se encarga del estudio, clasificación de los instrumentos, las bases científicas detrás de los mismos, su desarrollo histórico y sus usos musicales y culturales (Latham, 2008).

Han sido numerosas las formas en que a lo largo de la historia se han organizado las familias de instrumentos. La organización más antigua de la que se tiene constancia proviene de la cultura china, al rededor del 400 a. C. En ella se tenían en cuenta ocho "sonidos", atendiendo a la producción de sonidos que ofrecen diversos materiales usados en su construcción: metal, seda, piedra, bambú, calabaza, arcilla, cuero y madera (Escuela des Arts, 2022). En cuanto a Europa, los primeros trabajos datados son los de Martin Agrícola (1529), Pierre Trichet, en 1640 (Trichet, 1957) y los del padre Marin Mersenne, en 1627, (Mersenne, 2003). En ellos se reconocían, cuatro grupos de instrumentos: cuerda, viento, percusión y "varios". La limitación que estos planteaban era encontrarse enfocados únicamente a las orquestas de la época, por lo que el grupo de percusión era escaso y el grupo "varios" servía como cajón de sastre para todo aquello que no sabían ubicar (Doktorski, 2022).

El trabajo que más éxito ha tenido fue el publicado en 1914 por Erich von Hornbostel y Curt Sachs, un tratado de clasificación decimal basado, a su vez, en el trabajo de Mahillon[94] que marcaría, a la postre, el resto de las

[94] Mahillon trabajó como restaurador de la colección de instrumentos europeos y exóticos del Museo del Conservatorio de Bruselas e ideó en 1880 un nuevo y consistente sistema con el que unificar los criterios de clasificación. Partió de las raíces griegas "fono" para nombrar a los grupos: membranófonos (vibra una

clasificaciones actuales y que se establecía como taxonomía de los instrumentos musicales (Doktorsky, s. f.). Sachs y Hornbostel (sistema *SH*[95]) pretendían incluir cualquier instrumento existente siguiendo un método decimal y teniendo en cuenta los principios acústicos que hacían sonar al instrumento (Pérez, 2013). Adoptaron los cuatro principios de clasificación iniciales de Mahillon, ya que permitía incorporar las nuevas especies exóticas a las que se les comenzaba a prestar atención. No obstante, cambiaron la denominación de autófonos por idiófonos, al asumir la raíz griega "idio" como lo propio, en vez de "auto", que significa "por sí mismo", ya que podría confundirse con que el instrumento suena por sí mismo, como es el caso de un instrumento automático (Latham, 2008). El sistema *SH*, a pesar de tener más de 100 años, sigue vigente y, si bien hoy en día nadie lo utiliza tal y como sus autores lo concibieron, es el punto de partida para cualquier clasificación a la que se suelen añadir ramas o apéndices (Pérez, 2013).

Por otro lado, a mitad del siglo pasado Pierre Schaeffer encargó a los hermanos Baschet una clasificación de los instrumentos para la Oficina de Radiodifusión y Televisión Francesa (ORTF). Esta no llegó a publicarse, pero F. Baschet (2017) nos habla del funcionamiento de su taxonomía teniendo en cuenta cinco funciones de los objetos implicados en un instrumento

membrana), cordófonos(vibran las cuerdas), aerófonos (vibra el aire) y autófonos (vibra el mismo cuerpo del instrumento).

95 Sistema SH: sistema de clasificación Sachs-Hornbostel de instrumentos musicales. Este sistema clasifica los instrumentos según el material que produce su sonido, así los divide según el elemento que entra en vibración para producir el sonido: membranófonos (membrana), cordófonos (cuerda), aerófonos (aire) e idiófonos (el propio cuerpo del instrumento).

(Association Structures Sonores Baschet, s. f.). Con cumplir al menos tres de ellas se está hablando de un objeto sonoro (Ruiz, 2020) o instrumento musical:

-1. Oscilador: un material con una forma capaz de vibrar.

-2. Acción: forma de interacción con el oscilador capaz de suministrarle energía para que vibre.

-3. Difusión: elementos o propiedades que transmitan la vibración al medio y la hacen audible.

-4. Gama: elementos o disposiciones que permitan generar y organizar gamas de sonidos, modular la frecuencia de la vibración del oscilador.

-5. Añadidos de resonancia: añadidos o modificaciones de los factores anteriores que enriquecen las vibraciones.

Estas 5 funciones pueden materializarse en 5 elementos constitutivos diferentes o varias de estas funciones pueden ser realizadas por un solo elemento.

Todos los objetos sonoros e instrumentos musicales existentes presentan algunas de estas funciones o todas ellas. Incluso, el idiófono más sencillo que podamos pensar, una piedra, antes de realizar manipulación alguna, ya cumple con algunos de estos requisitos: el objeto podrá oscilar si lo ponemos en vibración percutiéndolo, rascándolo, frotándolo y podrá emitir más o menos sonido en el aire. Si trabajamos la forma podremos cambiar su resonancia y la frecuencia a la que vibra, lo que ya sería adentrarnos en la función 4 citada.

En la parte siguiente de este texto hacemos un repaso a partir de los 3 grupos principales de instrumentos denominados por el sistema *SH* (córdofonos, aerófonos y percusión), analizados a través del sistema de Baschet (2017) (oscilador, acción, difusión, gama y añadidos de resonancia), con objeto de entender los fundamentos mecánicos y acústicos, mostrando los ejemplos más estandarizados. En el segundo apartado de cada uno de los grupos de instrumentos (4.2.1.1, 4.2.2.1, 4.2.3.1), mostraremos algunas variantes, implementaciones y anomalías que nos resultan ejemplares en cuanto a originalidad, plasticidad o sonoridad. Esta selección la constituyen un grupo muy heterogéneo de piezas, formadas por esculturas sonoras, instalaciones sonoras, así como nuevos y arcaicos instrumentos, pues es difícil determinar una división por estas categorías que separe dichas piezas (Ruiz, 2018).

Por otro lado, el grupo de instrumentos electrónicos no será objeto de nuestro análisis puesto que nos ocupamos de sonidos acústicos, si bien reconocemos que la rama de la electrónica y la ciencia informática son un campo que nos suscita muchísimo interés y a la que nos gustaría hacer referencia en próximas publicaciones.

4.2.1. Cordófonos

- El **oscilador** lo constituyen cuerdas tensadas. En principio se aprovechaban tripas de animales y tejidos vegetales para conformarlas (Mottola, s. f.). En la actualidad, lo habitual es utilizar nylon, acero o latón.
- La **acción** son los elementos con los que se interactúa para accionar las cuerdas, son los que crean las primeras subdivisiones:

- Pulsadas por una púa o una yema de dedo generalmente en guitarras, laudes o arpas.

- Frotadas por un arco en el caso de violines y por una rueda en el caso de las zanfonas.

- Percutidas por martillos en el caso de pianos, claves o salterios.

- La **difusión,** generalmente, se hace a través de una tapa armónica que consiste en un "mueble" de madera capaz de resonar con las notas de las cuerdas transmitidas a este por un puente (se trata del cuerpo de la guitarra, violín o piano). Algunos instrumentos de cuerda utilizan las cavidades huecas de elementos vegetales como calabazas y cocos como caja de resonancia. Este es el caso, por ejemplo, de las variantes del sitar indio y la *kora* africana.
- La **gama** viene determinada por la longitud de las cuerdas, su tensión, su densidad y su grosor. De estas cuatro características, solo podemos alterar dos al mismo tiempo que interpretamos una pieza: la tensión y la longitud.

A. En el caso de la tensión se puede variar con los siguientes métodos:

1. Por medio de las clavijas de afinación disponibles en la mayoría de los instrumentos de cuerda como guitarras o violines. En pianos y arpas no son elementos de fácil acceso. A priori, no están ideados para su manipulación durante la ejecución de una pieza, pero, en ocasiones, también se utilizan como un recurso más (Fundación Joaquín Díaz, s. f.).

2. Palancas o pedales que tensan o destensan las cuerdas. Este es el caso del *pedal steel* (Figura 4.1) y el arpa de orquesta que poseen un sistema de pedales para variar las notas de acuerdo con la tensión.

B. En el caso de la longitud partimos de una cuerda con una distancia x que al ser reducida a su mitad (manteniendo misma tensión y densidad de la cuerda) la nota aumentará una octava. Como vimos en el capítulo 2, fue Pitágoras quién a través del monocorde se preocupó por establecer las proporciones matemáticas de distancia entre los distintos intervalos de una octava, es decir las notas que forman una escala. Para producir esta modificación exacta de la nota se puede proceder de distintos modos:

1. La solución más rápida pasa por disponer una cuerda de distinta longitud para cada nota. Este es el caso del arpa, el piano[96], el salterio y el *koto* japonés (Figura 4.2).



Figura 4.1. Pedal Steel Guitar [instrumento musical de madera y acero]. Fuente: E. Ploetz



Figura 4.2. Koto [instrumento musical de madera y marfil] Fuente: Japanese Koto

[96] En algunas partes de su gama disponen de tres cuerdas por nota, pero agrupadas y afinadas en la misma nota para ganar en intensidad.

2. Otra solución pasa por disponer varias cuerdas sobre un diapasón o mástil en el que pulsar con los dedos en el punto exacto para acortar la distancia de la cuerda y obtener la nota deseada. En este caso se puede ayuda con trastes, que delimitan con precisión el lugar exacto en el que se produce la reducción de la longitud (este es caso de las guitarras, laudes, etc.) o prescindir de ellos como en el caso de los instrumentos de arco, como violines, contrabajos, etc., lo que permite realizar *glissandos* muy limpios, así como encontrar notas intermedias.
3. La zanfona está formada por un teclado que a través de unos espadines pulsa y reduce la distancia de las cuerdas (Figura 4.3).
4. En el *mulatar*[97] se desplazan los puentes que tiene este instrumento (*Luck-ruf Music*, 2012) (Figura 4.4).

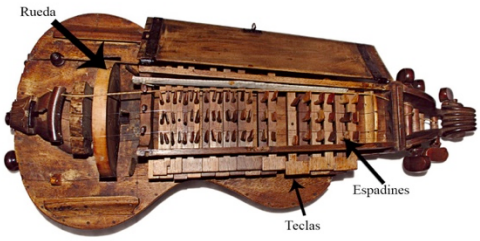


Figura 4.3. Zanfona [instrumentos musical de madera]. Fuente: P. Carpintero

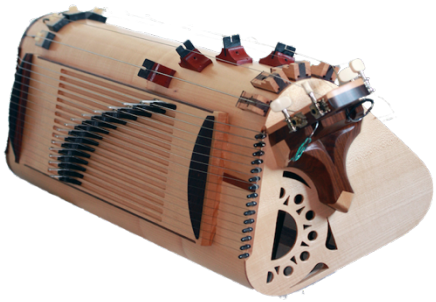


Figura 4.4. Mulatar [instrumento musical de madera y metal]. Fuente: Lockruf Instrument and Music

5. El *slide* es un tubo deslizado sobre las cuerdas, obteniendo un glissando[98] como resultado (en este caso más elástico que el de un violín puesto que no hay que

[97] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=iBDDD-2HDB0

[98] Glissando: efecto sonoro que se produce al deslizar el dedo sobre la longitud de la cuerda en un instrumento de este tipo.

ejercer presión). Se suele utilizar sobre guitarras, *steel guitar* y *pedal Steel* (Figura 4.5), aunque en la práctica se puede aplicar en cualquier instrumento de cuerda.

6. En el caso del *dan bau* de vietnam, que es un instrumento monocorde que utiliza la flexibilidad de una varilla (tradicionalmente realizada con cuerno de buey) a la que va asida la única cuerda que lo compone para hacer vibratos, se pellizcan los armónicos en sus posiciones a lo largo de la longitud de la cuerda, lo que permite trabajar con más notas de las que, a priori, puede producir una cuerda (Figura 4.6).

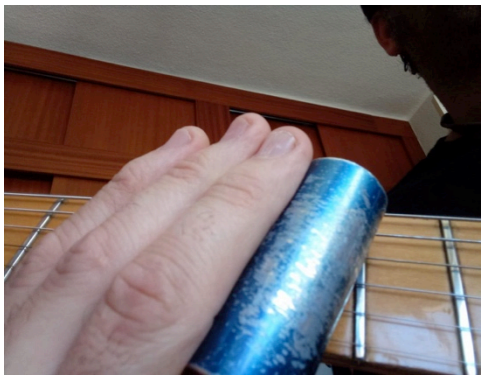


Figura 4.5. Slide [aluminio] Fuente: elaboración propia



Figura 4.6. Dan Bau.[instrumento musical madera y cuerno] Fuente: L. Anh

7. El *Gopichand*[99], instrumento tradicional hindú, consiste en un cuerpo hueco (recipiente de metal, coco o una calabaza) en cuya base hay instalada una membrana, esta es atravesada en su centro por una cuerda de metal que es tensada en el otro extremo del instrumento. Lo interesante de este instrumento es que, en lugar de tener un mástil o un diapasón donde pulsar las diferentes notas, este elemento es sustituido por dos secciones elásticas de bambú y al hacer presión

[99] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=0S0hQVIEGeA

sobre ellas y doblarlas, la tensión de la cuerda disminuye y, por tanto, desciende la frecuencia del sonido que emite . Tradicionalmente se fabricó en bambú, pero en la actualidad también se encuentra construido con metal (Figura, 4.7) (Ektara Dhun, s. f.).



Figura 4.7. Gopichand [instrumento musical de madera] Fuente: Thooman

- Como ejemplo de los **añadidos de resonancia,** pensemos en el pedal de resonancia de un piano. Éste al ser pulsado levanta todos los martillos, dejando vibrar el conjunto de las cuerdas del piano junto con las notas pulsadas, o en el caso del sitar, acompañan a las cuerdas que se pulsan otras que suenan por "simpatía" sin la necesidad de tocarlas.

4.2.1.1. Variaciones en los cordófonos

Una vez analizados los principios por los que la mayoría de los instrumentos de cuerda funcionan, lo siguiente es hacer cambios o adaptaciones de parte de esos elementos y en teoría obtendríamos nuevos instrumentos u objetos

sonoros (Fundación Joaquín Díaz, s. f.). La intencionalidad, estética y originalidad de estas piezas pueden llevarnos a conseguir una escultura sonora.

Para el **oscilador,** en la mayoría de las opciones se utilizan finas cuerdas de acero o latón en pianos y guitarras. Pese a que parece complicado variar esta constante, el mundo del arte ha encontrado algunas opciones (Mottola, s. f.).; una de las más visuales consiste en utilizar los cables de acero que tensan elementos arquitectónicos, por ejemplo, puentes, tratándolos como cordófonos gigantes (Figura 4.8) que vibran con el viento, el paso de vehículos, peatones y con la interacción de estos últimos. Un ejemplo notable es el proyecto que Jodi Rose comenzó en 1995, *Singing Bridges* [100] (*Keizersbrug Whispering*, s. f.). Su fascinación por los puentes la llevó a conectar micrófonos de contacto en ellos, incluyendo los cables estructurales, obteniendo las vibraciones y resonancias características de cada puente, en ocasiones reflejadas como paisajes sonoros o intervenciones escultóricas en el espacio y en otras alterándolos con elementos electrónicos (Velsey, 2008). También Bill Fontana investigó con la sonoridad del *Puente del Milenio* de Londres con *Harmonic Bridge*[101], una pieza sonoro-escultórica que presentó en la *Tate Gallery* (2006). Un ejemplo más es el de Joseph Bertolozzi, que creó una sinfonía para ser interpretada con el puente *Mid-Hudson* de Nueva York, utilizando todas sus piezas como si se tratase de una colosal orquesta con esta intervención artística en el espacio[102] (*The New York Times*, s. f.).

[100] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=112iCd-SYTk

[101] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=L2KO38Z-2SU

[102] Ver en: https://josephbertolozzi.com/bridge-music/

Ninoalvesperc, percusionista experimental, utiliza los tensos alambres de vallados rurales para jugar con las notas casuales que estos producen[103] (*Kaiserdummer*, s. f.).



Figura 4.8. Estudio AIA. (2011). *Puente de Castilla-La Mancha* [cable de acero y hormigón]. Fuente: Nieke

- En la **acción,** para poner las cuerdas en vibración, una práctica habitual es mezclar los mecanismos entre instrumentos, por ejemplo utilizar un arco de violín para frotar las cuerdas de una guitarra o un arpa, los dedos para pulsar las cuerdas de un piano en lugar de los martillos de los que este dispone, incluso, utilizar herramientas eléctricas que produzcan un ritmo constante (habitualmente se han usado atornilladores eléctricos y sierras eléctricas; los primeros para pulsar cuerdas de modo continuo obteniendo el efecto de trino muy regular y las segundas adaptadas con un arco para frotar mecánicamente las cuerdas de un violonchelo). Estas experiencias no dejan de ser anecdóticas si detrás de ellas no hay una intención estética clara. Se trata de una acción y

[103] Ver en: https://www.facebook.com/reel/7007196016064775

como tal invita a la puesta en marcha de nuevas formas de interactuar alejadas de las del músico convencional, que se sienta frente a un público, instrumento en mano. Algunas propuestas de este tipo son las siguientes:

1. Utilizar la energía de la naturaleza es uno de los recursos más antiguos. Es el caso de las arpas de viento, un instrumento antiguo que se situaba en las zonas elevadas de castillos con la intención de que el viento activara las cuerdas. Este concepto se ha extendido hasta nuestros días con arpas eólicas (Esteve, s. f.) situadas en jardines particulares o monumentos de esculturas sonoras como los realizados por Douglas Hollis (Figura 4.9) o Ross Barrable[104]. En estas esculturas, el viento agita y pone en marcha las cuerdas, así que el resultado es totalmente impredecible. Los ritmos e intensidades los impone la naturaleza (Esteve, s. f).
2. Usar el electromagnetismo ha sido otro recurso. Takis fue uno de los primeros en recurrir a las fuerzas electromagnéticas para activar sus esculturas. Tras sus paneles musicales instaló elementos magnéticos que hacían que en la parte delantera, un clavo suspendido de un hilo entrase en movimiento golpeando tensas cuerdas de violín y de guitarra. Como resultado, en ocasiones, se producían sonidos rítmicos similares a trinos y en otros sonidos aislados y aleatorios (dxi, 2020). Por otro lado, en el campo de los instrumentos musicales, se han producido nuevos y accesibles instrumentos que se valen del electromagnetismo para activar las cuerdas, uno muy interesante es el *ebow*[105], un pequeño artilugio portátil que a partir de una pieza electromagnética crea un efecto de retroalimentación sobre la

[104] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=mSlwLcfHXuI

[105] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=gVsf4eetfys

cuerda metálica a la que se acerca induciéndola a vibrar indefinidamente (Virtuosos.com, s.f.).

3. Celeste Boursier (2016), en *From Here to Ear*[106], aprovechó la actividad de animales, en este caso aves, para activar las cuerdas de guitarras eléctricas conectadas a amplificadores y dispuestas en una enorme sala del *Copenhagen Contemporary*. Cuando los pájaros se posaban, limpiaban sus picos en las cuerdas o se desplazaban sobre ellas, estas sonaban aleatoriamente (Figura 4.10).



Figura 4.9. Hollis, D. (1976) *Aeolian Harp*. [escultura sonora de acero inoxidable]. Fuente: Exploratorium S. F



Figura 4.10. Boursier, C. (2016). *From Here to Ear.* [Instalación sonora]. Fuente: C. Boursier

4. Ellen Fullman (s. f.) creó instrumentos de largas cuerdas frotadas con las manos impregnadas en resina de colofonia, como si se tratase de arcos de violín (Figura 5.35).

[106] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=XxqLEQySwD4

5. Christian Marclay (1999), realizó su famosa acción *Guitar Drag*[107] en la que arrastraba por la carretera una guitarra eléctrica atada a su camioneta y conectada a un amplificador situado en la parte trasera. Los baches, saltos y demás inclemencias a las que la guitarra fue sometida fueron los causantes de hacer sonar el instrumento (Macay, 1999) (Figura 4.11).

- El **difusor** también es objeto de alteraciones y, además, se trata de un elemento indispensable ya que las cuerdas por sí mismas tienen una amplitud baja y es necesaria una fuente que amplifique su sonido. Seguidamente, presentamos ejemplos de este caso:
    1. El difusor de un instrumento de cuerda, su caja de resonancia es un elemento estudiado a lo largo de los siglos por lutieres, que se han esforzado por implementar sus características resonadoras. No obstante, el uso de cualquier objeto cotidiano se ha convertido en una opción habitual para colocar como resonador en instrumentos de cuerda. Bidones de plástico, globos inflables, troncos, maderas encontradas, casas de pájaros o todo objeto con un mínimo de resonancia se ha empleado para este fin con la consiguiente carga conceptual que el objeto pueda haber adquirido con ello. Centrándonos en el metal, cualquier recipiente de hojalata de diferentes tamaños ha sido usado como resonador. Lutieres experimentales como Nicolas Bras (Figura 4.12) tienen cientos de construcciones hechas con latas de conserva o combustible, bidones gigantes, etc. (Bras, s. f.)

[107] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=ER_V5Snep8I

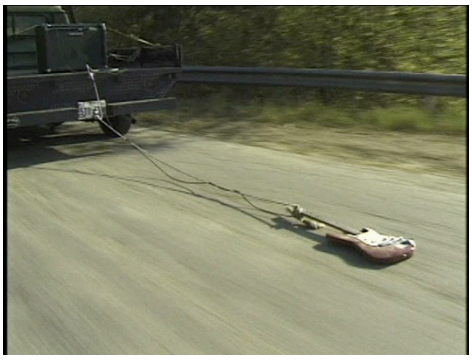


Figura 4.11. Marclay, C.(1999).*Guitar Drags* [Performance]. Fuente: frame del video original



Figura 4.12. Bras, N. (2020). *Tin can kamele N'goni* [instrumentos musical de madera y hojalata]. Fuente: N. Bras

2. En las arpas sonora y haciendo referencia de nuevo al trabajo de D. Hollis, en cuanto a las arpas eólicas, observamos que se vale de formas cónicas construidas en chapa de acero inoxidable, semejantes a altavoces, conectadas mediante cable de acero al cuerpo del arpa, con la intención de obtener un mayor volumen sonoro (Musiki, 2019) (Figura 4.8).
3. La guitarra resonadora, que ya es un instrumento establecido, tiene una amplia familia de instrumentos que dispersan el sonido a partir de su inusual construcción integra en metal. Un ejemplo fehaciente lo constituyen los cientos de creaciones de la *Anarchestra* (s. f.), un colectivo norteamericano que construye instrumentos alternativos basados en el metal como único material. Entre ellos señalamos el *Bang O* (Figura 4.13), una especie de banyo que, incluso, sustituye el habitual tambor de piel por chapa de acero.



Figura 4.13. Thurlow, A.(2014). *Bang-O* [instrumentos musical de acero]. Fuente: web de Anarchestra

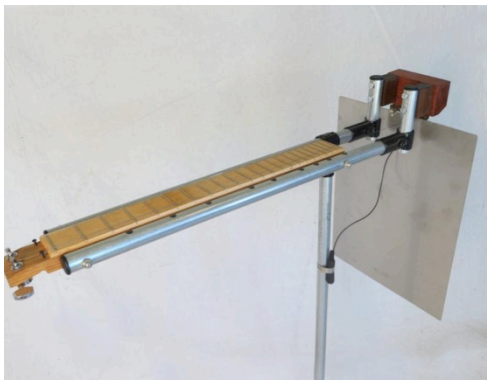


Figura 4.14. B. Hopkin. (2024) *Slide Ice.* [instrumento musical experimental de madera y metal]. Fuente: B. Hopkin



Figura 4.15. Fassbender, J. (2021). *Steel Chello* [instrumento musical experimental de madera y metal acero inox.]. Fuente: web Klangkunstfassbender

1. Bart Hopkin (2024), reconocido diseñador de instrumentos, hace uso de una chapa cuadrada de acero como resonador en algunos de sus instrumentos de cuerda como por ejemplo en *Slide Ice* (Figura 4.14), esta idea es muy cercana a la de J. Fassbender, *Steel chello* (Figura

4.15). En este caso que abordamos, se trata de una sola cuerda frotada que transmite directamente su vibración a una plancha de acero.

2. J. Hopkin (2017), también, en *Bowed Water Psaltery*[108] convierte la caja de resonancia en un recipiente con agua y hace que varíe el tono del sonido con los vaivenes del líquido.
3. Ken Butler (s. f.) perteneciente al ámbito artístico y a la música experimental ha desarrollado cientos de cordófonos cuyos cuerpos y cajas de resonancia (Figura 4.16) son auténticas esculturas sonoras[109], realizadas a base *collages* tridimensionales, que incluyen, entre otros objetos: armas, herramientas, sillas, peines, cuadros, marcos de pintura, raquetas de tenis, etc. entre sus trabajos e encuentra *Axiology* (Buttler, 2023).
4. El sistema de resonancia del *Yaibahar*[110] (Figura 4.17) está basado en unos muelles que transmiten las vibraciones de las cuerdas del instrumento a las membranas de un tambor y sobre los que se puede intervenir golpeando o frotando (Özdemir, 2015).

---

[108] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=ja12SJsjF5Q&list=RDEM1CTmuNSGBdNkDHW7MqzxAA&start_radio=1&rv=EpcFYZw0ptA

[109] Ver en: https://vimeo.com/791996956?fbclid=IwAR2A-unSW24XcXhsKChtqrPQfS79gtM6oTfT1JPNgCJhNq2ENLrNUzqQIa4_aem_ATg1pv8LD8siN9GL5jwWWwdt5UB2hHsi0NqhAhBq9IVJ51zi2K2YhmU0hWEPPR69AmLMqq2hNaxGEwvzXGd9nEdB

[110] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=_aY6TxC1ojA&list=RDQMVZGiC55fHVw&start_radio=1



Figura 4.16. Butler, K. (2002). El autor con uno de sus instrumentos. Fuente: J. Bentham



Figura 4.17. Şen, G. (2014).*Yaibahar* [Instrumentos musical de madera, piel y metal]. Fuente: G. Sen

5. Los trabajos de los Baschet, redundan en la búsqueda de nuevas formas para los resonadores En general, para instrumentos de percusión o de barras frotadas. Sin embargo, en una de sus primeras creaciones, *La guitarra inflable* (Figura 4.18) utilizó el cuerpo de un flotador inflable para tal efecto.
6. Un intérprete vietnamita usa su boca como caja de resonancia al hacer sonar el *Dan Kni*, un instrumento tradicional del país[111] (Laufenberg, 2019).

- En el caso de la **gama,** encontramos también bastantes opciones, como son:

1. Las variantes instrumentales pasan por liberar sus trastes o crear trastes en ellos que promuevan otras escalas como las microtonales o, en el caso de los trabajos de Ellen Fullman (s. f.) (Figura 5.45), recurrir a cuerdas tan largas que no haya límite definido para su tesitura.

[111] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=IN7jqLGkrcs

2. Craig Huxley creó el instrumento llamado *The blaster Beam* (Figura 4.19), realizado con una viga de aluminio de 5 metros como base o diapasón. Sobre esta, hay numerosos cables que, por su longitud, aportan un registro muy grave y que pueden ser interpretados por medio de golpes con elementos metálicos o con gigantes *slides* de acero. Su sonido es reconocible porque fue utilizado para la banda sonora de *Star Trek: The motino Picture* (1979) (Wise, 1979).



Figura 4.18. Baschet, F.(1952). *La guitarra inflable* [instrumento/ escultura de plástico y madera]. Fuente: Baschet.org

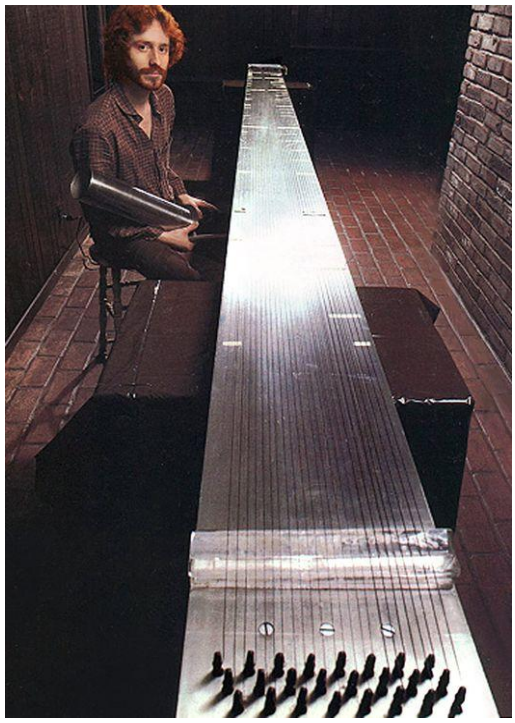


Figura 4.19. Huxley, C. (1979*) The Blaster Beam* [instrumentos musical de aluminio y acero inox.]. Fte.: desconocida

3. *Blue Man Group* también empleó nuevo instrumento, el llamado *Spinulum*[112]. Está hecho con bridas de plástico y formado por una única cuerda y un sencillo mecanismo que hace girar un disco provisto de pequeñas púas situadas en toda su área. El sonido se obtiene pulsando suave y rítmicamente la cuerda. Todo ello, sumado a un *slide* que recorre el mástil en una especie de vagoneta, lo que produce un trino suave y constante que sube y baja de frecuencia (Figura 4.20) (NPR Music, 2016).

[112] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=qTJfITfbYNA&t=417s



Figura 4.20. Blue Man Group. (2016). *Spinulum* [instrumento musical de aluminio y plastico]. Fuente: Frame del video de su actuación para la serie *Tiny Desk* de NPR Music

4.2.2. Aerófonos

- En el **oscilador**, el elemento que entra en vibración no son los tubos del instrumento, sino las columnas internas de aire que se forman dentro de él.
- En la **acción**, los elementos que crean la vibración del aire son varios, y constituyen la diferenciación de las distintas ramas[113]: boquilla, embocadura (directa e indirecta) y lengüeta (Figura 4.21). En este caso se presentan las siguientes opciones:

1. La boquilla es una pieza con forma de copa o pequeño embudo que se adosa al principio del tubo del instrumento, esta ayuda a que, al soplar, la presión del aire varíe y los labios del músico entren en ciclos de vibración (son los labios los que vibran como una membrana) (Figura, 4.21).

[113] Los instrumentos de boquilla son conocidos en el contexto de la orquesta como viento-metal, mientras que los de lengüeta y embocadura se reconocen como viento-madera. No obstante, en esta clasificación no se tienen en cuenta las lengüetas libres de las armónicas ni de las arpas de boca.



Figura 4.21. Distintas boquillas del grupo de aerófonos. Fuente: Infovisual.info

2. Con la embocadura se trata de insuflar aire con la angulación correcta para crear un efecto Venturi[114] que varíe la presión y contribuya a la vibración de las columnas de aire.
3. Los instrumentos de lengüeta presentan varias opciones. En las lengüetas simples y libres, es su longitud la que determina las notas (es el caso del armonio, la armónica, la melódica o el acordeón) y suelen ser elementos de latón. En el caso de las lengüetas simples al soplar se produce un ciclo de apertura y cierre de la lengüeta sobre la base de la boquilla que al incrementar la presión se convierte en una vibración constante (saxofones y clarinetes). Por último, dentro de las lengüetas tenemos las dobles del fagot y el oboe; en ellas dos láminas entran en un ciclo similar al descrito para la lengüeta simple, pero en que vibran las dos láminas.

[114] Efecto Venturi: se produce cuando un fluido (liquido o gas) pasa por el estrechamiento de un conducto y, a medida que se acerca al estrechamiento, la velocidad aumenta, mientras que la presión estática disminuye. Por el contrario, cuando se aleja del estrechamiento, la velocidad disminuye y la presión estática aumenta.

4. En el caso del órgano de iglesia se vale de tubos con embocadura, así como de lengüeta simple para emitir sus sonidos.

En todos los casos descritos el aire es insuflado a través de los labios de un músico o ejecutante excepto en el caso del órgano, acordeón y armonio, que se produce a partir de fuelles activados por los brazos, pies o motores eléctricos.

- Para **difusión** del sonido, la columna de aire que el intérprete agita en el interior del instrumento para sacudirlo y hacer que éste salga por el extremo de su tubo, es lo que crea la sensación de sonido. No obstante, una gran parte de los tubos que forman los instrumentos no son paralelos, como en el caso de las flautas, sino que se van ensanchando en forma de hipérbola y terminan en una curva exponencial[115] que hace que la columna de aire tenga más superficie en contacto con el aire externo y, por tanto, el instrumento gane en amplitud sonora.
- En la **gama**, la variación de frecuencias que produce un tubo viene dada por su longitud y por la presión de aire. En los tubos, como en una cuerda se producen armónicos. Nos valemos de las tres leyes de Bernouilli, que describe el compartimento de un fluido al desplazarse por una corriente y la estudiamos como principio activo en todo instrumento de viento. En ella:

1. La frecuencia correspondiente al sonido fundamental que puede producir un tubo varía inversamente a la longitud del mismo.
2. El sonido fundamental emitido por un tubo cerrado es una octava más grave que el que sonido fundamental emitido por un tubo abierto de la misma longitud.

[115] La curva exponencial es conocida como geometría Bessel, es la que forma la campana de trompetas, saxos, trombones, etc. (Merino, 2006)

3. Los tubos abiertos emiten la serie completa de armónicos correspondiente a su longitud. los tubos cerrados emiten sólo los de orden impar.

La primera opción para variar la frecuencia de un tubo es la de acortar su longitud. En un instrumento de viento se traduce en las siguientes prácticas:

1. En una flauta se realizan agujeros que se pueden obstruir con los dedos de las manos, si están todos tapados, la longitud será total y el aire saldrá por el extremo del instrumento. Cuando destapamos un agujero la longitud se acorta y la frecuencia es más alta. Esto se ha implementado hasta el punto de montar sistemas de palancas distribuidos a lo largo del tubo con objeto de cubrir una mayor amplitud con mayor comodidad, este es el caso de flautas traveseras, saxofones, clarinetes, etc.
2. Variando la presión del aire y posición de los labios sobre un tubo podemos conseguir distintas notas como en las primeras trompas y cuernos.
3. Para obtener frecuencias graves se necesita una gran longitud del tubo como en el caso del *Tintignac Carnyx* (Figura 4.22) (Boisserie, 2014) o las trompas romanas de más de 2 metros de longitud. Para lidiar con estos *handicap* se produjeron dos cambios importantes; el primero pasó por la solución de doblar o enrollar los tubos de modo que fuesen más ergonómicos y se adaptasen al transporte y cuerpo del músico. El otro avance se produjo en las distintas formas de alternar la distancia del tubo (sin practicar agujeros como en los flautados) por medio de pistones, válvulas o varas. En la primera opción, los pistones (trompetas) y válvulas rotatorias (cornetas), comunican unas y otras partes de los tubos enrollados para obtener diferentes longitudes en el recorrido de las columnas de aire. La segunda opción es la utilizada por el trombón de varas, en este caso un

tubo doblado en forma de herradura está embutido por sus dos extremos y en los dos extremos de otro tubo de un diámetro ligeramente superior. Introducirlo más o menos es la maniobra necesaria para obtener una longitud del tubo u otra y esto es lo que varía la frecuencia o nota resultante. Este último sistema es similar al utilizado en la flauta de émbolo.



Figura 4.22. Boisserie, J. (2014). *Tintignac Carnyx* [instrumento musical de chapa de bronce repujada] Fuente: web Carnyx & Co.

4. Otra opción pasa por disponer de un tubo para cada frecuencia, como lo hace un órgano o una flauta de pan.

- Los **añadidos de resonancia,** en este caso, lo constituye la forma acampanada del instrumento, así como sordinas que se colocan fijas o con las que el músico interactúa, atenuando frecuencias, bajando el sonido general o modelándolo en forma de *wah wah*. Por otro lado, los estrechamientos y ensanchamientos a lo largo del tubo funcionan como filtros paso alto y paso bajo, lo que en determinados instrumentos elimina las frecuencias más desagradables (Merino, 2006).

4.2.2.1. Variaciones en los aerófonos

- En el **oscilador**, la única opción de variar las columnas de aire pasa por alterar su temperatura, su densidad, su composición o su forma a partir de nuevos contenedores por ejemplo, instalar una boquilla de saxofón en una escultura clásica no en un instrumento.
- Para la **acción** hay varias versiones.

1. Se han utilizado compresores de aire para activar flautas biseladas con una corriente de aire continua, como en el caso de *Periodic Snip Flute* de Bart Hopkin (2024) (Figura 4.23)
2. Se ha utilizado un respirador artificial para hacer sonar los tubos de un órgano, como en el caso de la pieza *Ad Lib* (2020) de Michel Sparguero con una gran carga conceptual (Figura 5.15).
3. La energía eólica de origen natural ha sido otro recurso utilizado en esculturas públicas tales como *Singin Ringin Tree* (Figura 5.53) *Caracola* (Figura 3.7) o *Aeolus Pavilion* (Figura 5.52). Todas ellas parten del principio de embocadura, por el cual, dependiendo de la angulación con que incida el viento con respecto a la boca de los tubos aparecerá o no la vibración y por tanto el sonido.

- Otra visión del uso de energía aportada es la que nos dieron Liam Curtin y John Gooding con el órgano hidráulico[116] construido para el puerto de *Black*

[116] El *Hydraulis* u órgano de agua no es un invento de nuestra era, por ejemplo en la galería del grutesco del Alcázar de Sevilla está la *Fuente de la Fama*, un órgano hidráulico del siglo XVII. Cada hora en punto se activa el mecanismo hidráulico que lo hace sonar. También existió como instrumento, que ya se construía en la época romana aprovechando mecanismos para variar la presión del agua contenida en un depósito que formaba parte de la base del instrumento. Aunque cayeron en desuso debido a su complejidad, en la actualidad instituciones dedicadas a la conservación de instrumentos antiguos han construido algunos ejemplares como *el hydraulis de la Villa Romana La Olmeda,* elaborado por el taller de órganos *Acitores* en Torquemada y encargado por la Diputación de Palencia y el MAN (Villa Romama de Olmeda, 2022).

Pool Hide Tide Organ (Figura 5.54). En esta escultura aprovecharon la subida y bajada de las mareas para aumentar la presión de los tubos que conducían el aire hasta el instrumento.

- Para la **gama,** o bien se recurre a la aleatoriedad de los agujeros practicados a los tubos, así como a la longitud de estos -obteniendo escalas e intervalos sorpresa, como en el caso, una vez más, de Bart Hopkin (2024.)- o implementamos los sistemas estándar. En el instrumento *Moe* (Figura 4.24) que se asemeja al clarinete, una abertura atraviesa la parte superior del tubo y una lámina de material flexible se extiende ligeramente inclinada sobre esta abertura. En él, al presionar la lámina hacia abajo, se cubre parcialmente la abertura, dependiendo de dónde se aplique la presión. Este proceso es igual que tapar los agujeros para cambiar el tono. Pero como se puede tapar cualquier punto sin estar condicionando por la distancia entre agujeros, es posible producir todo intervalo intermedio, además de realizar glissandos.

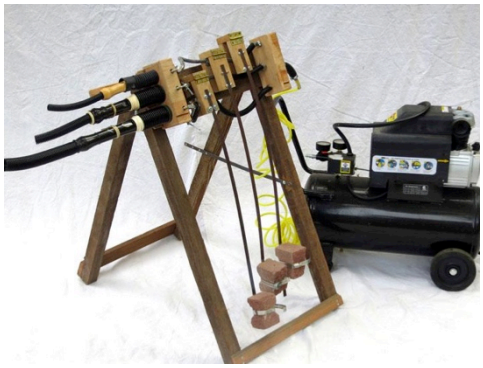


Figura 4.23. Hopkins, B. *Periodic Snip Flute*. [instrumento musical experimental con compresor de aire, madera, plástico, ladrillo y metal]. Fuente: web Barthhopkin



Figura 4.24. Hopkin, B. *Moe*. [instrumentos musical de acero y plástico con material magnético]. Fuente: web Barthhopkin

● Para explicar la **difusión** hacemos referencia a la pieza *Serraphonie* de Ángel Arranz y Casper Schipper perteneciente al proyecto *Chasmata* celebrando el XX aniversario del museo Guggenheim de Bilbao (2017). Está escrita en torno a las esculturas de acero corten que componen *La Materia del Tiempo* (1994-2005) de Richard Serra. En la interpretación de la pieza intervienen tanto saxofones en directo como grabados y, gracias a la premeditada disposición de instrumentos y altavoces, se consiguió utilizar la forma de la escultura como colosales resonadores (Hervás, 2022).

4.2.3. Percusión

Con el estudio de los instrumentos de percusión, nos encontramos ante el grupo más amplio de ellos, ya que casi cualquier golpeado puede emitir un sonido, dependiendo también de con qué se golpe, hay muchos ejemplos de ello (Holló & Váczi, 2011). En general, las clasificaciones de esta sección atienden a varios criterios. Por un lado, se tiene en cuenta la naturaleza del elemento oscilador: los membranófonos están constituidos por una membrana que vibra al ser golpeada y que necesita de un contenedor o cuerpo que la tense (timbales, congas, panderetas, etc.) y, por otro lado, los idiófonos, son aquellos instrumentos en los que su propio cuerpo produce el sonido (campanas, triángulos, cascabeles, maracas, xilófonos, etc.) (Vanney, s. f.). Cada uno de estos dos grupos se puede dividir a su vez en tonales y atonales, es decir, si generan sensación o no de tono.

En otro sentido, la naturaleza del instrumento de percusión es tan arcaica como variada, de ahí que el ser humano se ha valido de todo tipo de materiales: piedra, madera, cerámica, plástico, piel, hueso, agua, aire o el propio cuerpo humano. A pesar de la primera impresión, materiales que nos parecen

demasiado rígidos, como la piedra o el cristal, son capases de oscilar en mayor o menor medida, así pues:

> Si producen sonido es que pueden oscilar, es decir, que al recibir un impulso se pueden deformar de forma flexible y consecutiva en una dirección y la contraria, y así disipar la energía que han recibido, sin romperse. No por ser muy sólido un material tiene que ser poco elástico. (Ruiz, 2020, p. 14)

Entre los citados materiales, el acero y el bronce, pese a que en esta ocasión comparten protagonismo con otros materiales, por su valor sonoro, estructural y estético, siguen ocupando, puestos irremplazables en un sinfín de propuestas instrumentales y escultóricas.

● Para el **oscilador,** el grupo de formas que funcionan como tal en la percusión es inabarcable, ya que casi todo es sonoro al ser golpeado, así que, en general, el análisis del comportamiento de los cuerpos vibrantes en percusión no es tan sencillo como en el caso de las cuerdas o tubos, en ellos nos centrábamos en una dimensión lineal. En este caso se trata de superficies bidimensionales y tridimensionales, por lo cual no tiene sentido hablar de puntos de vibración, sino de "modos y líneas de vibración". La orientación de estas vibraciones desempeña un papel crucial, ya que cuanto más compleja espacialmente sea la forma de los objetos, más variedad de direcciones pueden tomar las oscilaciones. Estas pueden ocurrir de forma independiente o simultánea con cada una de las longitudes de onda distintas, lo que hace que las posibilidades sonoras se multipliquen. De ahí que, al golpear un bloque, un tubo o una barra rectangular, se puedan detectar tonos diferentes dependiendo

de la cara en la que golpeemos a pesar de encontrarnos en el mismo punto longitudinal (Hopkin, 2024) (Figura 4.25).

Los experimentos que Chladni (1787) (apartado 2.3.2) realizó -a través de la cimática- de las vibraciones de arena en planchas de metal, nos proporcionan una idea visual de la complejidad en las dos dimensiones. Si extrapolamos sus resultados a cuerpos exentos de una geometría regular y desarrollo en varias dimensiones, nos podemos hacer una idea de lo intrincado del asunto. No obstante, pese a este planteamiento claudicante, en los instrumentos y esculturas sonoras se encuentran varias formas recurrentes con las que, dependiendo de cómo se actúe, se pueden obtener resultados tonales o no. Este es el caso de los ejemplos siguientes:

1. Láminas y barras. Se trata de piezas rectangulares generalmente suspendidas sobre sus nodos de vibración para permitir la oscilación al ser golpeadas. En caso de no estar sujetas o suspendidas por el punto correcto, no se crearán ondas estacionarias capaces de mantener el sonido por unos segundos; es el ejemplo del vibráfono, el *glocquenspiel*, las orquestas *gamelan* (Figura 4.26) o la celesta[117]. Las vibraciones que producen las barras y láminas son longitudinales y, además de la nota fundamental, en su sonido existen muchos otros parciales. También podemos encontrar las láminas sujetas por uno de sus extremos, como en el caso de las arpas de boca, los *tonguedrums* (en los que una superficie es recortada y dividida en láminas que no son separadas de la unidad principal) o, incluso, el sistema de peines de una caja de música (Figura 4.27). En general, cuanto más estrecha sea la forma rectangular, más reducido es el número de modos de vibración y, por tanto, menos confuso es el tono. Si

[117] Celesta: se trata de un instrumento del siglo XIX con teclado, en el que se accionan unos martillos por medio de teclas que golpean unas varillas de metal.

la forma rectangular se ensancha y se convierte en cuadrada, similar a las placas que utilizaba Chladni (1789), el número de modos de vibración es mayor, lo que nos permite suspender estos cuerpos de distintos puntos con diversos resultados. En la práctica, la medida que ha resultado eficaz para suspender o apoyar una lámina rectangular, con objeto de que aparezcan ondas estacionarias y tengamos la sensación de un tono duradero, es un punto cercano al 23.3% de la sección longitudinal. No obstante, tanto en cualquier tipo de pieza de metal, para encontrar ese punto, se puede sujetar con los dedos y desplazarlos a través de su longitud, a la vez que se la golpea. Así, llegado al punto correcto, la pieza comenzará a vibrar (Figura 4.28).

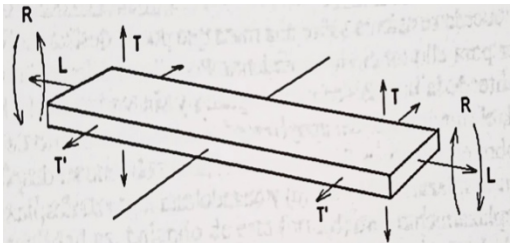


Figura 4.25. Merino, J. (2006). Distintas direcciones de la vibración de una pletina. Fuente: J. Merino



Figura 4.26. Gangsa de una orquesta Gamelan. [instrumentos musical de bronce]. Fuente: autor desconocido

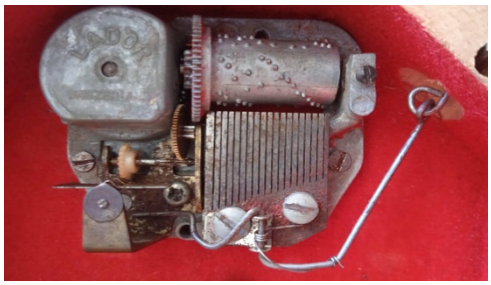


Figura 4.27. Mecanismo de una caja de música [acero cincado y latón]. Fuente: elaboración propia



Figura 4.28. Cinceles con gomas en sus nodos. [acero de herramientas]. Fuente: elaboración propia

2. Varillas. En ellas el comportamiento es similar a las láminas, solo que su sección es circular. Las varillas las encontramos en los instrumentos dobladas y dispuestas para tomarlas con la mano, como el triángulo, o formando conjuntos con distintas longitudes y suspendidos de un extremo. En general, se usan para buscar una sensación menos tonal y más percutida. En el caso de las cortinillas, se crea una sensación más cercana a una textura sonora.

3. Campanas. La familia de las campanas es amplia, pues estas, por su forma de vaso invertido, generan gran cantidad de vibraciones tanto radiales como circulares. También se reconocen como "campanas tubulares" al conjunto de tubos suspendidos de uno de sus extremos capaces de producir sonidos similares a los de las campanas (Andueza, 2011). En una campana se tiene la sensación de tono atendiendo a la prima fundamental, que es la nota más audible y duradera, si bien su riqueza en parciales nos puede llevar a confusión, incluso, en una melodía interpretada por un carrillón[118] (Figura 4.29). Otros familiares de las campanas, a priori menos tonales, son los cencerros utilizados en animales, a la vez, que como instrumentos musicales.

[118] Se dan casos en que nuestro oído, por la cercanía en intensidad de algunos parciales, puede tomar como fundamental otra frecuencia y tener la sensación de seguir una melodía diferente.

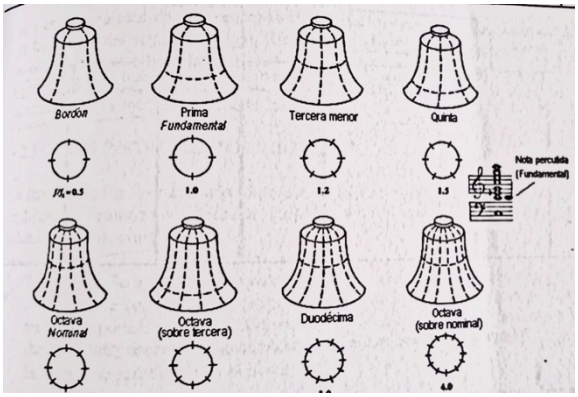


Figura 4.29. Merino, J. (2006). Distintos modos de vibración de una campana. Fuente: J. Merino

4. Placas y Platillos. Esta categoría abarca platillos de batería, crótalos, gongs, tam-tams, etc. Generalmente, son circulares con una ligera forma acampanada en el centro o de superficie plana y borde vuelto, como en los gongs. En ellos, la sensación tonal apenas existe, pero son muy ricos en armónicos, que pueden ser excitados por mazas suaves, destacando frecuencias graves, o por violentos golpes, que generen más frecuencias agudas, así como una sensación más percutida.

5. Membranas. Las membranas se encuentran en una serie de instrumentos de percusión. Estas son pieles de procedencia animal, estiradas y tensadas en torno a un marco y cuerpo, generalmente, de sección circular (hay excepciones, como el pandero gallego (Figura 4.30)). Este es el caso de timbales de orquesta, congas, zambombas, panderos, *toms* y caja de batería, bombos, etc. Exceptuando los timbales de orquesta, el resto no suelen presentar una fuerte tonalidad. Una vez tensada la membrana sobre un marco, la superficie es elástica, lo que responde, excelentemente, como oscilador, produciendo ricos armónicos y un volumen considerable. La versión más cercana realizada con

metal es el *steelpan* de Trinidad y Tobago (Figura 4.31) que, si bien no puede ser tensado como en el caso de una membrana, es tensado en el momento de su construcción por medio de martilleado de su superficie.



Figura 4.30. Pandero cuadrado [instrumento musical de piel y madera]. Fuente: Colección L. Delgado, L. Fundación Joaquín Díaz



Figura 4.31. Steeldrum [intrumento musical de acero]. Fuente: A. Alder

- La **acción** bien determinada por el hecho de golpear el instrumento con otra pieza y de determinadas maneras.

1. Golpe con mazos. Con ellos, generalmente, la acción resulta del golpeo del instrumento con mazos, que están construidos con diversos materiales de diferente dureza, ello condiciona también del sonido resultante, pues, cuanto más duro sea el mazo, más rápido será el ataque, si se trata de un mazo blando, el sonido aparece poco a poco. Con mazas de mucha masa aparecen notas más graves con un ataque lento y viceversa. Las mazas suelen estar hechas de madera, fieltro o metal. En el caso de campanas y cencerros, las mazas reciben

el nombre de "badajo". Estos están instalados en el interior del instrumento y suelen ser de metal o madera.

2. Golpe con escobillas. Se trata de un haz de alambres similares a una pequeña escoba que pueden utilizarse para golpear como con una baqueta (obteniendo menos volumen) o rasgando sobre la superficie rugosa del parche.
3. Golpe con las manos. Las manos del músico se utilizan para golpear timbales u otros elementos. Parte del instrumento. El choque entre las distintas partes enfrentadas del instrumento, como en el caso de las castañuelas, crótalos africanos, cucharas, etc. provoca la acción en ellos.
4. Rasgado. El rasgado se trata de la acción deslizar una piedra u otro elemento punzante sobre la rugosidad o angulación periódica de la superficie del instrumento. La tabla de lavar, el güiro, la carraca o los rascadores se valen de este principio. Hacemos mención destacada a pesar de no ser de metal, de las hueseras de cuello o ginebra, puesto que poseen un enorme atractivo visual y escultórico, ya que están confeccionadas con huesos enteros de cabra u oveja (Figura 4.32 y Figura 4.33).



Figura 4.32. Huesera [instrumento musical de hueso de cabra]. Fuente: L. Paino.



Figura 4.33. Tabla de lavar [instrumento musical de madera y metal]. Fuente: Tortosa luthier.

5. Además, aprovechar la elasticidad y rebote del cuerpo del instrumento con objeto de que golpee rítmicamente otra de sus partes o las ponga en movimiento, es otra opción. El *vibraslap,* una versión metálica de una mandíbula o quijada de caballo[119] se vale de la flexibilidad de la varilla de acero que lo forma para, una vez golpeada por el intérprete, vibrar y agitar unas pequeñas piezas metálicas situadas en el extremo del instrumento, dentro de una pequeña caja de resonancia (Figura. 4.34 y Figura 4.35).

6. También producen esta misma acción los elementos introducidos en cavidades cerradas y que, por acumulación, chocan entre sí. Este es el principio de *shaker*, palos de lluvia o maracas.
7. Además, las *chajchas* y similares, como el sonajero o el sistro (especie de sonajero egipcio) utilizan la acumulación de elementos, como pezuñas de animales, conchas o semillas asidas a un cordón de tela para, una vez agitadas, sonar sin ninguna sensación tonal (Figura 4.36).



Figura 4.34. Quijada de caballo [instrumento musical de hueso]. Fuente: BuzzFeed LATAM



Figura 4.35. Vibroslap [instrumento musical de madera, aluminio y acero inox.]. Fuente: elaboración propia

[119] La quijada es un instrumento de percusión que literalmente utiliza los huesos secos de las grandes quijadas de caballos y burros. Al golpear uno de sus extremos se agitan los dientes que tienen cierta holgura, resultando un sonido de carraca bastante potente.



Figura 4.36. Sistro.(350 a. C.) [instrumento musical de bronce]. Fuente: Museo de Egipto de Berlín

8. Frotado o fricción. Un ejemplo cercano de nuestra música popular hecha por la acción de frotación o fricción es la zambomba, en esta se hace oscilar una caña que está embutida en el centro de una membrana. La vibración de la caña se obtiene de manera similar al proceso de hacer sonar copas de cristal con las manos mojadas (Figura 4.37). El siglo XVIII fue testigo de varios intentos de crear nuevos idiófonos que siguiesen los principios de fricción (Vanney, s.f.). Por un lado, Benjamin Franklin registró la primera armónica de cristal, ésta incluía un eje central giratorio en torno al cual estaban dispuestos una serie vasos de cristal correspondientes a cada nota. El intérprete los hacía girar por medio de un pedal y disponía sus manos mojadas sobre los bordes de estos, dispuestos a modo de teclado, con ello, conseguía emitir melodías y acordes con todos los dedos de la mano (Figura 4.38) y con un sonido continuo, algo insospechado con un conjunto de vasos de cristal al uso. Por otro lado, tenemos el experimento del violín de clavos o *nail violin*, que constaba de una caja de

resonancia circular o semicircular en la que había dispuestos una serie de clavos de menor a mayor tamaño, estos, al entrar en contacto con el arco impregnado de colofonia, oscilaban y emitían la frecuencia correspondiente a su longitud (Figura 4.39). Si bien son instrumentos que por su fragilidad -en el caso de la armónica de cristal-, o por la complejidad de su interpretación -en el caso del violín de clavos-, no se consolidaron como de uso general, poseen una belleza inusual y sus principios han sido aprovechados, como veremos más adelante (4.2.3.1) por numerosos artistas.



Figura 4.37. Zambomba. [instrumento musical de arcilla, piel y caña]. Fuente: J. Beltran

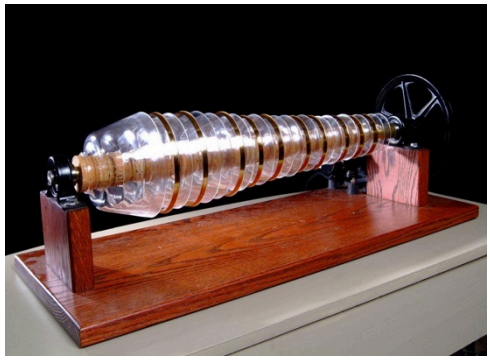


Figura 4.38. Franklin, B. (1761). Armónica de cristal [instrumento musical de cristal]. Fuente: Benjamin Franklin House Museum

9. De igual modo el violín de clavos consiste en una tabla armónica circular o semicircular de madera con unos clavos clavados en ella que son de bronce o hierro de distintas longitudes, colocados para producir diferente escala cromática al ser frotados con un arco (Figura 4.39). Basta decir qué a menor longitud de estos, mayor será la frecuencia.



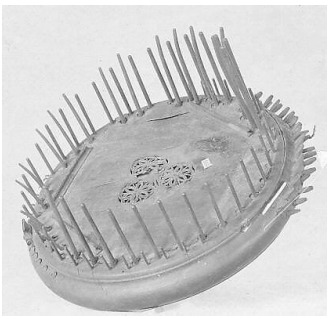


Figura 4.39. Izquierda: Wilde, J. (1740). Violín de clavos de Bohemia s. XIX [instrumentos musical de madera y metal]. Fuente: Museo de la música, Praga. Derecha: Wilde, J. (1780). *Violin de clavos* [instrumento musical de madera y metal]. Fuente: MET Museum

- En la **difusión** de los instrumentos de percusión encontramos las siguientes particularidades:

1. En el caso de los idiófonos la gama la produce el propio cuerpo del instrumento. La intensidad de ésta dependerá del tamaño y la forma de los instrumentos. Las cuerpos campaniformes favorecen una óptima sonoridad.
2. Las arpas de boca utilizan la cavidad bocal, junto con los dientes y mandíbula del interprete para producir la amplificación (Figura 4.40).
3. El cuerpo metálico de los *handpan* y su estructura de una sola pieza contribuyen a que el elemento entero vibre sin necesidad de elementos adicionales (Figura 4.41).
4. En el caso de los membranófonos, la membrana tensada junto con el cuerpo del instrumento agita el aire con suficiente fuerza como para poder sonar (Skjødt, 2014). Cuando el instrumento tiene dos membranas enfrentadas, como en el caso de los timbales de batería, la intensidad o volumen es mayor, debido a que ambos parches están afinados entre sí, entran en consonancia vibrando a la vez y agitan más aire.

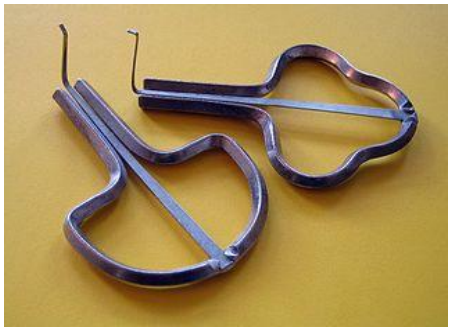


Figura. 4.40. Arpa de boca/Trompa gallega [instrumento musical de acero templado]. Fuente: Maultron



Figura 4.41. Handpan [instrumento musical de acero repujado]. Fuente: Thooman web

- En la **gama** observamos los siguientes aspectos:

1. En los instrumentos elaborados con varillas, planchas y placas rectangulares, la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de estas. Así, a mayor longitud, menor es la frecuencia emitida. No obstante, hay que tener en cuenta que cuanto más finos sean los elementos más flexibles y lentas serán las oscilaciones, por tanto, más graves serán las frecuencias. Y cuanto más gruesas sean, mayor rigidez y, por lo tanto, más rápidas serán las oscilaciones y más aguda la frecuencia. De este modo, si tenemos dos barras del mismo material, la misma longitud y grosores diferentes, la barra delgada producirá el sonido más grave. Si nos fijamos en las placas de algunos metalófonos, estas tienen practicadas unas hendiduras en su parte inferior tratando de reducir su masa, con el propósito de ajustar su tono, con respecto a las demás placas (Figura 4.42).
2. Si se trata de campanas tubulares, la longitud es inversamente proporcional a la frecuencia. Además, se ha de tener en cuenta que el mayor grueso de las paredes de los tubos hace que la campana sea más rígida y la frecuencia aumente (Andueza, 2011).

3. En la campana de iglesia existen acciones con las que es posible variar el tono. La campana se entiende como una serie de anillos superpuestos, cada uno de los cuales produce un armónico. De ahí, si se retira material del interior de la campana en la posición correspondiente a una nota, esta puede ser corregida. Este proceso no es tan sencillo como lo exponemos, pero nos sirve para hacernos una idea del proceso por el que ajustar los sonidos de campanas (Andueza, 2011). En los apuntes de *Campaners.com,* asociación sin ánimo de lucro que se dedica al estudio y catalogación de los campanarios de España, obtenemos el siguiente ejemplo de la situación de las notas en una campana:

> La nota base se produce en el labio de la campana, la prima un poco más arriba y en el hombro, la tercera menor más o menos a un palmo del labio, un dedo por encima está la quinta, y un par de dedos más alto se encuentra la octava. (Llop i Álvaro, 2024, párr. 11)

En el caso de la creación de carrillones, conjuntos de campanas afinadas en clave temperada entre sí, la ecuación se complica. La tradición viene de los países flamencos que desarrollaron estos conjuntos de hasta 70 campanas y la clave parece encontrarse en el diseño de su perfil, su tamaño y el grueso de sus paredes (Figura 4.43). Desde el siglo XVII se ha experimentado con los tamaños, gruesos y perfiles para crear plantillas con las que crear estos instrumentos. A través de estas plantillas y de los ajustes posteriores en su grueso se consiguen crear conjuntos afinados de ellas (Andueza, 2011).



Figura 4.42. Metalófono infantil con incisiones en la parte inferior para su correcta afinación [instrumento musical de madera y aluminio]. Fuente: elaboración propia

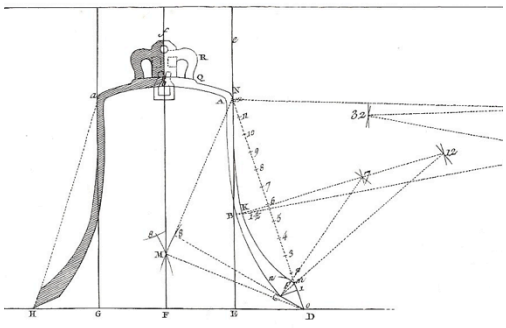


Figura 4.43. Trazado y perfil de una campana. Fuente: Quintana, fundidores de campanas

4. En el caso de timbales de orquesta, se dispone sobre el parche un aro fijado a tornillos distribuidos alrededor del área del cuerpo. Con ellos tensamos por igual toda la membrana, este recurso es similar en timbales de batería, congas, etc. La variante que estos presentan es que bajo el cuerpo está dispuesto un pedal que sirve para variar la tensión del parche, lo que permite interpretar distintas notas. En ocasiones, no existe la disposición de tornillos y la mayor o menor tensión se varia con cuerdas que son tensadas más o menos. Las tablas indias son un ejemplo de ello (Figura 4.44 y 4.45). En otros casos, como panderos en los que no se dispone de ningún sistema de afinación, se recurre a humedecer la piel para que vuelva a tensarse.

5. Los denominaos *tongue drums* (Figura 4.46) constituyen un conjunto de instrumentos realizados sobre una superficie, generalmente, semiesférica. Una práctica común en ellos es utilizar la parte inferior de bombonas de gas para su construcción. Sobre la superficie de estos instrumentos se practican cortes de distintas formas que resultan en un funcionamiento similar al caso de las

láminas descritas en el punto 1 de este subapartado. La diferencia reside en que no se trata de formas necesariamente rectangulares, lo que contribuye a la aparición de más armónicos. Para su afinación se recurre a alargar la longitud o aumentar el tamaño de la lengüeta para obtener una frecuencia más grave.



Figura 4.44. Detalle de sistema de tensado de un timbal [acero]. Fuente: desconocida



Figura 4.45. Tablas indias [instrumento musical de cuero, metal y madera]. Fuente: instrumentosetnicos.org



Figura 4.46. *Tongue drums* [instrumento musical de acero esmaltado]. Fuente: Thooman web

6. Los *steelpan* de Trinidad y Tobago, predecesores de los populares *handpan*, consiguen una sensación tonal dividiendo en pequeños planos la superficie

total del tambor por medio de líneas de martilleado. Si bien se produce una resonancia en todo el conjunto del instrumento, las distintas secciones se encuentran divididas por pequeños planos, capaces de producir diferentes modos de vibración muy ricos en armónicos (Figura 4.28).

● En los **sistemas extra de difusión** el caso más conocido es el aplicado a vibráfonos y celestas. En ellos, cada lámina correspondiente a una nota tiene dispuesto cerca un tubo que resuena por simpatía con esta, lo que contribuye a que el sonido sea más intenso y rico en armónicos (Figura 4.47). Algunos añadidos a la percusión pasan por disponer elementos que interactúen con las vibraciones del parche o la placa, por ejemplo, a los platos de batería se le añaden elementos, como cadenas y pequeñas tachuelas, que crean una especie de distorsión y textura. En el caso de las cajas, se dispone de una "bordonera", constituida por una serie de alambres ondulados dispuestos en paralelo que se ponen en contacto con mayor o menor tensión con el parche inferior, reduciendo los armónicos, produciendo un sonido más seco y con la vibración y distorsión característica. El intérprete, obtiene el sonido de la baqueta sobre el parche y de la vibración de los alambres de la bordonera sobre este. Si se retira la bordonera -la mayoría de las cajas tienen una pequeña palanca para hacerlo- el sonido es el de un timbal ordinario (Figura 4. 48).



Figura 4.47. Vibráfono [instrumento musical de aluminio y acero].Fuente: Musical San Francisco



Figura 4.48. Bordonera [instrumento musical de acero, madera y plástico].Fuente: elaboración propia

4.2.3.1.Variaciones en la percusión

En las variaciones que presentan los instrumentos de percusión, hemos detectado los siguientes aspectos:

- Sobre el **oscilador** y en la práctica, todo material emite un sonido al ser golpeado, puede ser más o menos duradero, tonal o fuerte, pero suena y sirve para hacer un ritmo. Así que, en este caso, los aportes que se han hecho pasan por mejorar los materiales existentes, por ejemplo, en el campo de las membranas, paulatinamente, se han sustituido los parches de cuero por los fabricados con materiales sintéticos, con objeto de mejorar la estabilidad y reducir la crueldad animal a la que da lugar la obtención sus pieles. En el caso de los metalófonos, las mejoras han venido al determinar los metales óptimos, por ejemplo, el aluminio ha sustituido al bronce y acero en casos como el vibráfono, ya que su densidad y peso son menores. Esto contribuye a que un

instrumento de grandes dimensiones sea más ligero y pueda ser transportado con facilidad. Además, debido a la baja densidad del aluminio, se pueden conseguir de placas de aluminio notas más graves y duraderas de las que se consiguen de las placas de acero de similar tamaño. Otra variante en cuanto a la selección de los osciladores pasa por aprovechar la carga conceptual que el material u objeto pueda tener. Será muy distinto utilizar una huesera hecha con huesos de cabra en lugar de un güiro de metal genérico, adquirido en cualquier tienda, o emplear la cola de una serpiente de cascabel en lugar de un común *shaker* de plástico. A parte de las diferencias sonoras, estéticamente, se crea una imagen original. Una variante más pasa por el medio que se elija. A este respecto, previamente hemos hecho referencia a la interacción con sólidos, pero los líquidos y los gases también pueden utilizarse como percusión. Como ejemplo, exponemos el caso de las mujeres *baka* de Gbiné, que hacen ritmos en las aguas del rio Lupe[120] (Bakabeyond, 2023) o las interpretaciones musicales para *Sinfonia do Alto Ribeira* (1985) del singular Hermeto Pascoal (2020) en las que además de interactuar con flautas y agua para hacer variaciones tonales, concluyen la composición con un ritmo acuático[121].

Pasamos a algunos ejemplos más específicos en los que en la medida de lo posible el metal es protagonista teniendo en cuenta tanto la elección de materiales como de objetos cotidianos:

1. El escultor Kenichi Kanazawa (2021), a quien nos acercamos a través de las publicaciones de M. Ruiz (2020), utiliza planchas de acero de 1 cm de grueso, dispuestas en el suelo como si se tratase de fragmentos irregulares

[120] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=8QyK0q1Kr-A
[121] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=lZbfNtDCHdM

pertenecientes a una forma general, que se ha roto en pedazos (Figura 4.49). Cada uno de estos fragmentos está apoyado sobre unas pequeñas gomas situadas en los puntos nodales, con objeto de permitir la oscilación del metal, una vez golpeado. En esencia, se trata de una serie de metalófonos, en los cuales la forma no está condicionada por las necesidades de obtener un sonido útil para la música tradicional, sino que la forma es libre y como resultado se obtienen intervalos y tonalidades sonoras azarosas[122].

2. LL. Barber (2014) construyó su propio carillón a partir de depósitos de metal (Figura 4.50). Barber los ha utilizado en numerosas ocasiones, dignificando estos materiales de desecho al utilizarlos como si de campanas de bronce se tratase (Andueza, 2011) (García, 2023).

3. Nicolas Wolf es un artista sonoro que en ocasiones experimenta con objetos cotidianos y con los elementos de la naturaleza. En *Funivia* (Wolf, 2023) [123] utilizó las enormes estructuras metálicas del tendido eléctrico para percutir sobre ellas, aprovechando las diversas longitudes de los tubos y ángulos con que están construidas para conseguir unas u otras sonoridades.

[122] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=JhS_7Wtv4sw

[123] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=hKwlWkRiq7I



Figura 4.49. Kanazawa, K. (2000). *17planets installation for the gallery 1* [escultura sonora de acero]. Niitsu Art Museum. Fuente: Y. Watabe



Figura 4.50. Barber, Ll. (fecha desconocida). *Campanario portátil* [instrumentos música de acero y madera] Fuente: L. Barber

4. Otro experimento reseñable a nivel sonoro y plástico de N. Wolf (2024 b) es *Impressions* (Figura 4.51), en el que utilizó una plancha de aluminio dispuesta en el parche bateador de una caja de batería. En este caso, no solo registró el

sonido, sino las marcas y deformaciones que baquetas y escobillas producían en la superficie[124]

5. Bongo Joe, músico *outsider* americano, tomó bidones de gasoil que intervenía con martillos y hachas hasta que, de manera intuitiva, conseguía la textura y sonidos que buscaba (Figura 4.52). Con ellos interpretaba ritmos con manos y mazas sobre los que cantaba partes vocales. Su trabajo se desarrolló al margen de la industria musical, ganándose la vida como artista callejero (Baird, 2022). Su obra nos sirve como punto de partida de numerosos músicos callejeros que, en la actualidad, montan un *set* de percusión con elementos de desecho, generalmente bidones y recipientes de plástico mezclados con elementos metálicos de cocina y chatarra en general. Dario Rossi (2014)[125] es un buen ejemplo de estos *busquers* que crean auténticas instalaciones en la calle.



Figura 4.51. Wolf. N. (2024b). *Impressions* [video sonoro, plancha de aluminio]. Fuente: N. Wolf

[124] Ver en: https://www.facebook.com/watch?v=1085267239251185

[125] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=bE6GopNMeys



Figura 4.52. Bongo, J.(1972). *Bongo tocando bidones de acero* [acero]. Fuente: G. Nelson

● Con la **acción** hacemos referencia a los elementos que interactúan con los osciladores, así como a la fuente de energía que los activa. De este modo, un músico que golpea con una maza un timbal no nos parece reseñable, pero si la maza la activa un mecanismo y no una mano, sí que entraría dentro de las anomalías que buscamos. Por otro lado, la maza puede presentar variaciones con respecto a las habituales, en ese caso también nos interesa, aunque dependa de un intérprete. A continuación, exponemos algunos ejemplos al respecto:

1. En el caso del dúo musical *Pelomono,* su set de percusión incluye cubos de basura a modo de timbales y escobillas del WC para ser golpeadas. Ya que su estilo de música es considerado, entre otras denominaciones, como "blues sucio", nos parece muy apropiado utilizar estos elementos propios de la higiene del baño para crear una puesta en escena muy teatral y coherente con música de esa nomenclatura (Figura 4.53).

2. Otra opción pasa por utilizar elementos de frotado sobre objetos de percusión. Como ya vimos es una práctica habitual en instrumentos tradicionales como la zambomba y los panderos, la armónica de cristal y en el mencionado violín de clavos.

a. También, el funcionamiento de la armónica de cristal fue el punto de partida de algunos de los más destacados instrumentos/esculturas de los hermanos Baschet (2017), hasta el punto de que muchos de estos son conocidos como "Cristal Baschet" (Figura 4.54). Estas piezas están formadas por unas varillas de cristal, dispuestas a modo de teclado para ser frotadas con las manos, que están fijadas a otras varillas de metal. Las varillas de vidrio transmiten las vibraciones a las de metal y estas últimas las conducen a una placa metálica donde están encastradas. Esta placa las lleva a una enorme plancha de metal que actúa de difusor del sonido. El formato inusual de estos instrumentos, junto con su atractiva plasticidad y sonoridad, así como el uso recurrente de distintos metales en su construcción han hecho que estas obras constituyan unos de los elementos más consultados e inspiradores para esta tesis.



Figura 4.53. Pelomono. (2014). Detalle de Pelomono usando escobillas del W.C [plástico]. Fuente: D. Flows

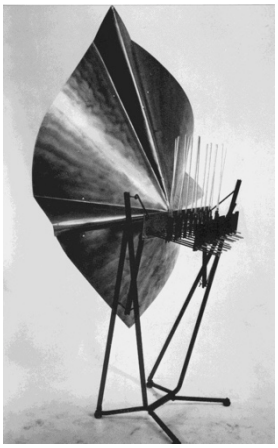


Figura 4.54. Baschet, F y B. (1963). *Cristal Trombó* [escultura sonora de acero, aluminio y cristal]. Fuente: MOMA

b. Además, el principio de arco de violín se utiliza para activar gongs y platillos. En el citado caso de Kanazawa (Ruiz, 2020), basándose en los experimentos de Chladni (1789), el intérprete pone en oscilación planchas circulares de acero sobre las que dispone arena, que es redistribuida en interesantes líneas, producidas por los modos de vibración del metal. Kanazawa se vale también de pequeñas mazas de goma de diferentes tamaños que fricciona sobre el metal y con las que consigue unas u otras vibraciones.

c. De igual modo, Hans Reichel inventó el *daxophone,* que es un instrumento que consta de una lengüeta de madera fijada a una base por medio de un torniquete. Esta es frotada por el arco e incluye un sistema por el cual se pueden controlar las notas, acortando la vibración del elemento al completo (Musiki, 1999). La imagen que adjuntamos (Figura 4.55) está extraída de la página web de un constructor de estos instrumentos e incluye todos los elementos necesarios para su funcionamiento.



Figura 4.55. Fiction, D. (2014) *Daxophone* [instrumento sonoro experimental en madera]. Fuente: D. Fiction



Figura 4.56. Hopkins, B. *Dansal3,* [Instrumento musical experimental de aluminio y madera]. Fuente: B. Hopkins

d. Además, otro de los instrumentos con los que Bart Hopkin (2024) ha experimentado es el *Dansal 3* (Figura 4.56). Se trata de varias barras de aluminio fijadas a un bastidor de madera y dispuestas para ser frotadas con unos guantes impregnados en colofonia o, en su defecto, con las manos desnudas.

e. Asimismo, Bart Hopkins construyó el *What-a-Shame* (Figura, 4.57) a partir de una sola varilla de metal, instrumento con el que el autor ofrece un sin fin de opciones sonoras.

f. Siguiendo esta línea de trabajos, Tom Nunn es un artista que ha desarrollado más de 100 instrumentos basados principalmente en planchas de acero, varillas y alambres dispuestos para ser percutidos y frotados con arcos. Un ejemplo significativo de esto es su serie *The Crustacean* (Figura 4.58) en la que utiliza para la base planchas flexibles de acero y bronce para las varillas. *Chromatic Wings* (Figura 4.59) es otra de sus obras y resulta muy representativa por su escala, plasticidad y sonido. En ella se aprovecha toda la longitud de la plancha base para variar el sonido por medio de sus propiedades elásticas. En este caso, la obra fue desarrollada por Crish Brown, uno de sus compañeros de investigación (Tewari, 2017).



Figura 4.57. Hopkins, B. (2019). *What-a-Shame* [instrumento musical experimental de latón , acero y madera]. Fuente: B. Hopkins

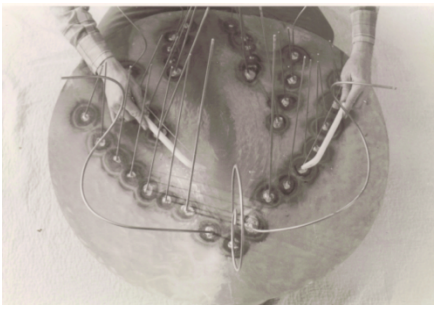


Figura 4.58. Nunn, T. (1976). *The Crustacean* [escultura sonora de bronce y acero]. Fuente: C. Brown



Figura 4.59. Brown, C. (1983). *Chromatic Wing* [instrumento/escultura musical de latón y acero]. Fuente: C. Brown

g. Por último, Ignacio Córdoba realiza una performance muy interesante con el *Quadrophone,* diseñado por Yuri Landman, un instrumento formado por alambres y pletinas de acero muy flexible, albergados en una especie de traje instrumental que está provisto de arcos para ser frotados y todo tipo de mazas para percutir, además de estar apoyado por pedales de efectos[126] (Rytmisk Musikkonservatorium / RMC.dk., 2024).

3. En cuanto a las fuerzas que activan los elementos que generan la acción, existen varias opciones:

a. Artistas como J. Tinguely, Zimoun, F. Le Junter (2024) [127] o P. Valek (The Vape, 2022) [128] a través de motores y engranajes excéntricos que provocan movimientos irregulares han desarrollado parte de sus obras. En este caso se

[126] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=iav_1letw_0

[127] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=KksOakGfyc0

[128] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=83RijpdgDIc&list=PLrgql5thDUV4s2IIXEK1IQxx3fpuZHjbJ&index=3

juega con lo cinético y lo repetitivo. Por el carácter escultórico de las piezas de estos artistas dedicamos un comentario más amplio en el capítulo 5 de este texto.

b. La empresa japonesa *Invisi dir* (2017)[129] gestiona proyectos en torno a artilugios e instalaciones sonoras. Destacamos de ellas la obra *Forest Xilophone Play Bach* (Friday, 2022)[130] instalación sonora realizada para un clip de publicidad de la operadora telefónica "Docomo". Se trata de un xilófono enorme, versión simplificada del *ko-tone,* que basa su funcionamiento en la disposición de miles de barras de madera (cada una produce una nota de la composición musical) a lo largo de la pendiente de un bosque. Para hacerlo funcionar, se deja caer una pelota de madera a través del xilófono y con la energía cinética obtenida de la inclinación, ésta golpea rítmica e ininterrumpidamente las barras, interpretando, en este caso, una pieza de Bach. En este sonido, la naturaleza y la disposición inclinada del xilófono aportan la energía que da lugar a la acción.

c. Nicolas Wolf (2024a) se vale de una nevada para grabar el golpeo de los copos de nieve sobre los elementos de una batería en *Le bruit de l'hiver* [131]. En el caso *Pioggia,* aprovecha las gotas de lluvia.

d. Etienne Krähenbühl en su pieza *Big Bang* (Paschoud, 2018)[132], suspende de una estructura de alambres de acero inoxidable cientos de tubos de acero corten, que funcionan a la manera de las clásicas *wind chimes o* campanillas de viento que se colocan en el exterior de los hogares, utilizando el viento para

[129] Versión con forma de espiral. Ver en: https://invisidir.com/spiral-xylophone/

[130] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=L2BWrmNhyXU&t=14s

[131] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=Y171t15llr4

[132] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=BzOLQcxIe6Q

mecerse y golpearse unos tubos con otros. Los distintos elementos dan forma general, al conjunto, que parece algo similar a la instalación de las *Esferas penetrables* de Rafael Soto.

e. Frederic Le Junter (2015) utiliza el viento para activar cientos de mecanismos disparatados en *Avec le vent*[133].

f. K. Faassbender (2021) construyó una fuente sonora accionada por 5 grifos que goteaban sobre 5 chapas de bronce afinadas. En esta instalación sonora, llamada *Klangkunst*, se producían ritmos y acordes inesperados, pero con una cierta sensación de tranquilad[134].

g. Finalmente, elementos como cascabeles y cencerros han sido activados desde su origen por los animales en los que eran colocados, dejando la activación del sonido a la merced de su actividad.

1. La **gama** puede ser alterada por el agua y, así, generar sonidos y alterar las notas que ofrecen las piezas sonoras, tres claros ejemplos de ello son los siguientes:

- *Dipping Chimes* de B. Hopkin (2024) es una pieza/instrumento que suena mediante su interacción con el agua (Figura, 4.60). Se trata de unas campanas tubulares instaladas sobre un marco de madera dispuesto de modo que el conjunto pueda flotar en una superficie de agua. Las bocas de los tubos están dispuestas verticalmente con respecto al plano del agua. Cuando es golpeado para que suene, aplicando presión sobre el conjunto se puede hacer que ser sumerja ligeramente, haciendo que su *pich*[135] caiga.

[133] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=ZSudHvzRVQc

[134] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=GFui5qCwLN0

[135] Pich: afinación del instrumento musical o pieza escultórica musical con respecto a un estándar establecido.

- La pieza/instrumento *waterphone* (Figura 4.61) dispone en su interior de un espacio preparado para albergar agua y cuando se hacen sonar sus varillas se tiene la opción de realizar movimientos de vaivén que alteran la sonoridad que ofrece.

- La obra *Fontana*[136] de N. Wolf (2023b) basa su funcionamiento en el flujo continuo de agua que le proporciona una fuente para golpear un plato de batería dispuesto en un eje en posición invertida. Cuando el plato se llena de agua, éste se vacía sobre otro plato situado en un plano inferior, gracias a una pequeña inclinación del primero. Las interacciones que se obtienen de esta pieza consiguen un juego interesante y repetitivo que emite tonos.



Figura 4.60. Hopkins,B (s. f.). *Dipping Chimes* [instrumento musical de aluminio y madera]. Fuente: B. Hopkins

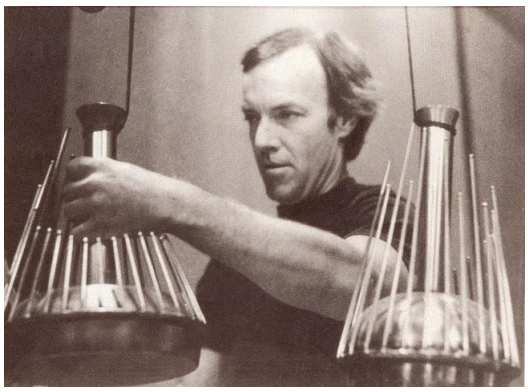


Figura 4.61. Waters, R (s.f.). *Waterphone* [instrumento musical experimental de acero inox. y latón]. Fuente: R. Waters

2. El *Key Tam Drum*[137], es un instrumento portable de reciente creación, diseñado por Guillaume Toutain, que permite accionar, a la vez que se

[136] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=nOcdCj6F2Xs
[137] Ver en: https://www.keytam.fr/en/specifications/

interpreta música, su bordonera con una palanca de pie o manual, así como variar la tensión de su parche con una palanca que modula 1,5 octavas.

3. El *Flex-A-Tone* o flexatono, es una pieza que consiste en una lámina de metal pequeña y flexible suspendida en un marco de alambre que termina en un mango. La lámina es golpeada indirectamente por una pequeña maza y este hecho permite su flexión, lo que producen alteraciones en el tono del sonido que ofrece.

4. Una opción más pasa, por ejemplo, por variar el aire del interior de un timbal por medio de un globo, situando la boquilla de este último en el orificio de salida de aire de un timbal de batería, para aportar aire caliente y variar la presión del interior del timbal (Wolf, 2023c), lo cual repercute en variaciones tonales que ofrece al ser tocado[138].

- Los elementos de **difusión y agregados** de los instrumentos y piezas de percusión pueden ser muy ricos y variados. Seguidamente se muestran varios de ellos:
    1. Los trabajos de los hermanos Baschet (2017) se han caracterizado en general -aparte de por sus modos de activación- por sus llamativos resonadores de metal, que aparecen en forma de cono, cuadrados o formas de animales y que pueden estar pintados en colores primarios, ser de acero inoxidable pulido, etc., además de disponer de distintas escalas con planchas metálicas de hasta 2 x 2 m (Figura 4.62).
    2. En el caso concreto del *Ikedaphone*, los hermanos Baschet se valieron del principio de los tubos resonadores de un vibráfono para desarrollar estas interesantes piezas (Warner 2003) (Figura 4.63).

[138] Ver en: https://www.facebook.com/watch?v=856085486212190

3. F. Le Junter (2020), en su *Máquina nº 121*[139] utiliza como resonadores, bidones industriales de acero.



Figura 4.62. Baschet (s. f.) Conjunto de diferentes piezas [estructuras sonoras de acero y acero inox.]. Fuente: Asoc. Structures sonores Baschet



Figura 4.63. Baschet (1970*). Ikedaphone* [escultura sonora de acero y aluminio]. Fuente: G.Warner

[139] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=PRJBQUkzZl0&t=38s

4. Leonel Vasquez se vale de conos resonantes realizados en chapa de cobre conectados por resortes de acero a una pieza de madera que fricciona la superficie de piedras y cantos que, a su vez, giran en un eje. Se trata de una especie de fonógrafo al que, en ocasiones, incluye varios niveles, haciéndolo capaz de generar acordes (Casa Hoffman, 2023) (Figura 4.64) [140].



Figura 4.64. Vasquez, L. (2022) *Canto rodado polifónico* [escultura sonora de madera, cobre, acero y piedra]. Fuente: L.Vasquez



Figura 4.65. Fassbender, J. (2021). *Platillos oscilantes*[escultura sonora de madera, cobre y bronce]. Fuente: Klangkunstfassbender web

5. J. Fassbender (2021) en su obra *Platillos oscilantes* (Figura. 4.65) presenta una serie de tubos de cobre colgados cerca de discos de bronce. Una vez golpeados los discos por los tubos en movimiento se obtiene un flujo de sonidos vibrantes que van y vienen, mientras que los tubos actúan como resonadores. Otra de sus obras es *Ballat String* (Figura 4.66) en la que muestra otra manera de implementar los

[140] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=PzcD3VhlUUk

resonadores, en este caso suspendiendo una varilla de acero inoxidable de un cable de acero que pende de la membrana de un tambor. Al golpear la varilla, la vibración que esta produce se transmite desde ella y a través del cable hasta el tambor. La cuerda también se puede tocar con un arco de violín, mazos o con los dedos.



Figura 4.66. Fassbender, J. (2021). *Ballat String* [instrumento sonoro experimental de acero y membrana sintética]. Fuente: web de J. Klangkunstfassbender web

Capítulo 5. Esculturas sonoras acústicas en metal

Un escultor que hace una estatua, un artista que pinta un paisaje, nos proporcionan un producto acabado y aquí acaba la historia. ¡Terminado! La técnica de las esculturas sonoras no tiene fin. Es un comienzo, una herramienta que permite que cada individuo cree sus propios juguetes; que construya, armonice, utilice, mejore, orqueste su propia obra. Todo vale. (Baschet, 2017, p. 441)

5. Esculturas sonoras acústicas en metal

Una de las premisas de nuestra investigación, además de centrarnos en el estudio de aquellas esculturas sonoras en las que el metal tenga relevancia, es la de dar prioridad a las que generan sonido de una forma acústica. Cada vez con más frecuencia la escultura y el arte sonoro se apoyan en sonidos grabados, en la generación de estos por aplicaciones informáticas e IA o en la interacción del espectador con la obra por medio de interfaces digitales y sensores. Esto es un hecho y se trata de la actualidad y el futuro (Acoz et al., 2017). En este trabajo mostramos una inclinación hacia un tipo muy concreto de obra -la acústica- y se debe a la necesidad tanto de acotar el objeto de estudio de esta tesis, como al interés por afianzar una base sólida sobre los funcionamientos acústicos, algo que se considera un conocimiento básico para poder trabajar con eficacia en futuras investigaciones e intervenciones artísticas con las nuevas opciones tecnológicas que se presentan.

Para clasificar la escultura sonora se puede atender a dos aspectos diferentes, respondiendo a las siguientes preguntas: ¿Cuales son los mecanismos por los que

una escultura o instrumento produce un determinado sonido?, y ¿de dónde se obtiene la energía –o cómo se genera la acción- para activar la escultura sonora?

Como respuesta a la primera pregunta, basta con recurrir al espacio dedicado en el capítulo 4., se trata de entender la escultura como si se tratase de un instrumento sonoro y analizarla sonoramente como tal.

En cuanto a la segunda pregunta, se encuentran distintas formas de clasificación, vinculadas a la escultura y no a la organología. Por ejemplo, David Hugh (1984) tuvo en cuenta las fuerzas que activan el sonido: 1. Fuego, agua y viento. 2. Sistemas mecánicos. 3. Circuitos electrónicos. 4. Otros sistemas

En otros escritos hay autores que eluden las clasificaciones y se estudian directamente casos concretos, como José Iges (1999a y 1999b), que se centra en las diferencias entre escultura e instalación sonora, creando dos grupos de autores: los que se basan en los aspectos de la escultura sonora y los que quedan bajo el paraguas de los espacios habitados por los sonidos.

También, Javier Ariza (2003) señala tres posibles ramificaciones atendiendo a como sean activados los sonidos: esculturas sonoras latentes, esculturas sonoras activas y esculturas sonoras interactivas:

1. Esculturas sonoras latentes: presentan una capacidad de producir sonido, pero para ello tienen que ser manipuladas. Esta manipulación puede ser producida por la intervención física del observador o por agentes naturales, como el viento o el agua.

2. Esculturas sonoras activas: son aquellas que emiten sonido y están adheridas a elementos mecánicos o electrónicos autónomos. Estos sonidos se encuentran grabados de antemano o bien programados. La intensidad, frecuencia y el

resultado de los sonidos resultantes se encuentran definidos por el autor o por la propia naturaleza de los materiales utilizados.

3. Esculturas sonoras interactivas: están integradas por aquellas obras escultóricas que poseen dispositivos electrónicos y/o mecánicos, que muestran una respuesta sonora a un estímulo producido desde el exterior, como la interacción con el movimiento del observador, pero no es necesario que un individuo toque físicamente la obra para obtener una determinada sonoridad. Esto puede ser producido, por ejemplo, por células fotoeléctricas.

Por último, destacamos las palabras de Xoán Gil López:

> Al margen de estas clasificaciones se puede proponer una más general y que resulta más práctica a la hora de delimitar el objeto de estudio de este trabajo. Así, se puede establecer una clara diferencia entre lo que son obras escultóricas que producen sonido como un valor añadido a su presencia física, ya sea mecánica, electrónica, manual o interactivamente y aquellas otras concebidas como nuevos instrumentos, sin perder el interés por la dimensión estética visual, algo de lo que por otra parte nunca se han desprendido los instrumentos convencionales. (2011, párr. 28)

Por nuestra parte, se ha decidido realizar tres grandes grupos en los que englobar las piezas a analizar según su activación, introduciendo algunos cambios, principalmente, con respecto al planteamiento de J. Ariza (2003). A partir de la idea que hemos sostenido, a lo largo de este estudio, de que el movimiento de la escultura cinética es el elemento previo de ésta que ha dado lugar a la escultura

sonora[141], se ha situado el concepto de "movimiento" como epicentro de nuestras divisiones categóricas.

1. Movimiento azaroso. Abarca las obras que se activan de una forma incontrolada ya sea por las fuerzas de la naturaleza, animales o personas que no son conocedores de su interacción con la escultura. De estas acciones se espera que aparezcan resultados sonoros azarosos.

2. Movimiento programado. Se trata de las esculturas sonoras activas que están programadas electrónica/mecánicamente o producen sonidos pregrabados. Los sonidos están predeterminados, lo cual no implica pasividad para el espectador, ya que puede realizar una escucha activa. Por ejemplo, en obras como *Rainforest IV* (1975) de David Tudor, los sonidos son producidos por elementos suspendidos en el aire sobre los que se inducen, a través dispositivos electromagnéticos, sonidos grabados. El espectador tiene la opción de acercarse e introducirse en parte de estos elementos (un bidón de metal, por ejemplo), acercar el oído o, hasta morder partes de ellos para que las vibraciones sonoras lleguen a través de su mandíbula y cráneo.

3. **Movimiento participativo**. En este caso incluimos las esculturas en las que la acción humana es necesaria para que se produzca el sonido, independientemente de que haga falta tocarlas físicamente o no y se dependa de células fotoeléctricas o similares. Conviene destacar que habrá piezas que puedan ser tocadas por todo tipo de espectadores y otras en las que se demande un interprete cualificado, así como el propio autor. A este grupo pertenecen una gran cantidad de esculturas e instrumentos sonoros experimentales y es el grupo en el que existe la mayor laxitud para determinar lo que es o no un instrumento o una escultura.

[141] Incluso cuando la escultura sonora es electrónica, el movimiento está presente a una escala menos visible en forma de electrones en movimiento o altavoces vibrando

Para concluir esta división, advertimos que estos tres grupos pueden presentar otras ramificaciones y que una escultura, a su vez puede pertenecer a uno o varios grupos, dependiendo del uso que se haga de ella.

5.1. Escultura Azarosa. Del movimiento al sonido azaroso en las obras de Calder y su evolución en las obras de Celeste Boursier-Mougenot y Özcan Ertek

Alexander Calder nos parece un ejemplo certero de una obra escultórica sonora basada en el movimiento azaroso. Pese a nacer en Estados Unidos, viajó y vivió en Europa en la década de los años 20 y compartió su tiempo con Miró, Duchamp o el mismo Mondrian. A pesar de ser coetáneo suyo y de estar presente en movimientos como el Dadaísmo o el Constructivismo, nunca llegó a ser militante de ninguno de estos movimientos. Más bien, se mantuvo al margen de sus ideales, huyendo de los grandes discursos teóricos. Estudió Ingeniería y, aunque abandonó pronto esta profesión, es habitual leer a cerca de que sus conocimientos técnicos en esta materia y el diseño fueron la base de su obra[142].

En sus trabajos destacan sus *mobiles* (móviles*)*, nombre que Duchamp dio a sus esculturas y que Calder acogió con gusto, con los que desarrolló un tipo de arte relacionando estrechamente con el movimiento, el juego, el equilibrio de las formas y los pesos, así como con la ligereza y el espacio. La idea de dibujar líneas en el espacio y despojar a la escultura de su rotundidad y pesadez, son las características de sus trabajos. Se trata de obras que mutan morfológicamente a lo largo del tiempo y el espacio, dependiendo de las corrientes de aire o de un ligero

[142] La mayoría de los textos a cerca de Calder hacen siempre la misma referencia a este tema. Pero en entrevistas, cuando el artista es preguntado por la importancia que pudiesen tener estos estudios previos de Ingeniería, él les quita importancia.

empujón. Es de destacar la gran adaptación que estas obras han tenido en distintas disciplinas, como el arte, el diseño, la ingeniería o la arquitectura.

A pesar del éxito de sus *mobiles*, silentes e ingrávidos, es interesante destacar (ya que es menos conocido), que en su primera exposición individual[143], hecha con obras abstractas, estas aún eran accionados por ruidosos motores, lo cual hacía las obras aparatosas y de movimientos predecibles[144]. Si bien, en obras posteriores siguió utilizando motores eléctricos con la inclusión del viento como fuerza activadora y, por tanto, del azar, encontró un carácter más lúdico (de juego fortuito) y fluido para estas, dotándolas también de una tónica sonora más silenciosa que ayudó a dar importancia a los acontecimientos sonoros que estas esculturas producen cuando un elemento de ellas entra en contacto con otro o por el simple chirrido de unas anillas con otras. Si bien este autor no parecía dar excesiva importancia a la sonoridad de sus piezas, la aceptó como algo normal. Jean-Paul Sartre, quien fuera amigo de A. Calder, escribió a cerca de él[145]:

> A veces Calder se divierte imitando una forma natural: me ha regalado un ave del paraíso con alas de hierro; basta que lo roce un poco de aire caliente al escaparse por la ventana para que el pájaro se despliegue produciendo un ruido, se enderece, se pavonee, menee su cabeza moñuda, dé vueltas y se bambolee, y después, como si obedeciese a una señal invisible, de pronto gire sobre sí mismo despacio, con las alas completamente extendidas.[…]

---

143 Datos de la exposición: *Alexander Calder/Volúmenes-Vectores-Densidades/Dibujos-Retratos* (1931). Galerie Percier (Paris).

144 No es que a Calder le molestase que estos movimientos fuesen predecibles, es más, manifestó que en ocasiones era algo que facilitaba el trabajo y lo hacía más controlable. Aún así, consiguió mayor repercusión con sus *móviles* sin motor.

145 Recomendamos la lectura completa de este texto originario del catálogo de la exposición *Los móviles de Calder* en la galería Louis Carré. París. 1946.

> Calder establece una posibilidad de movimiento y después los abandona a su suerte; es la hora, el sol, el calor, el viento, quienes decidirán cada movimiento en particular. […]
>
> El móvil de Calder tiene un movimiento ondulatorio, titubea, se diría que se equivoca y que rectifica. He visto en su taller un mazo y un gong suspendidos en el aire a gran altura; al menor soplo, el mazo buscaba al gong, que giraba sobre sí mismo; se alejaba para golpear, se abalanzaba y pasaba de lado, como una mano torpe, y después, cuando uno menos se lo esperaba, iba derecha hacia él y lo alcanzaba en el centro haciendo un ruido espantoso. (s. f., párr. 3-5)

En una entrevista hecha por Katharine Kuh a Calder, en respuesta a la pregunta hecha por Kuh sobre ¿cómo empezó a usar el sonido en su obra? Calder respondió en su habitual tono jocoso:

> De manera accidental al principio. Luego hice una escultura llamada *Dogwood* con tres pesadas planchas que emitían un sonido metálico. Esta de aquí era sólo otra variación. Ya ve usted que tiene peso, forma, tamaño, color, movimiento y además hace ruido. (Serraller, Giménez, y Rower, 2003, pp. 38-51)

En algunas ocasiones, el artista trabajó de una forma más explícita en la búsqueda de la sonoridad. Como hemos visto en el caso del texto de Sartre, alude a un gong móvil, que muy posiblemente sea una las versiones iniciales ubicadas en el taller del artista de *Triple Gong* (Figura 5.1). Son móviles provistos de

platillos de latón y mazas que, en sus fortuitos encuentros en el tiempo y espacio, emiten sonidos.



Figura 5.1. A. Calder, A. (1948). *Triple Gong* [escultura móvil en acero y latón]. Fuente: Calder Fundation, New York

Con el tiempo, la vinculación de Calder con el arte sonoro se vio incrementada, no solo por la propuesta azarosa que hemos planteado de sus obras, sino porque algunos autores tomaron sus esculturas como si se tratase de instrumentos. El 27 de febrero de 1967 se estrenó en París, en el *Théâtre de l'Atelier* la obra *Calder Piece* (Figura 5.2), interpretada por Diego Masson (hijo del pintor Andrè Masson) and *The Percussion Quartet* y compuesta por Earle Brown[146] tras un encargo en 1963 del mismo Diego Masson. En el encargo Diego pidió al compositor utilizar una de las esculturas como instrumento musical.

[146] Compositor estadounidense relacionado con las músicas de vanguardia. Destacó por lo que él denominó *Open form*, dividiendo sus composiciones en varias partes y dejando al director articularlas según su arbitrio.



Figura 5.2. Brown, E. (1966). *Piece* interpretada en la Fundation Maeght, Saint-Paul-de-Vence, Francia, agosto de 1967. Fuente: desconocida

Calder, tras varios encuentros y puestas en común con músico y compositor, elaboró *Chef d'orchestre* (Figura 5.3), un *stabile mobile,* obra que funcionó como director de orquesta e instrumento de percusión al inducir con sus movimientos la interpretación de los músicos.

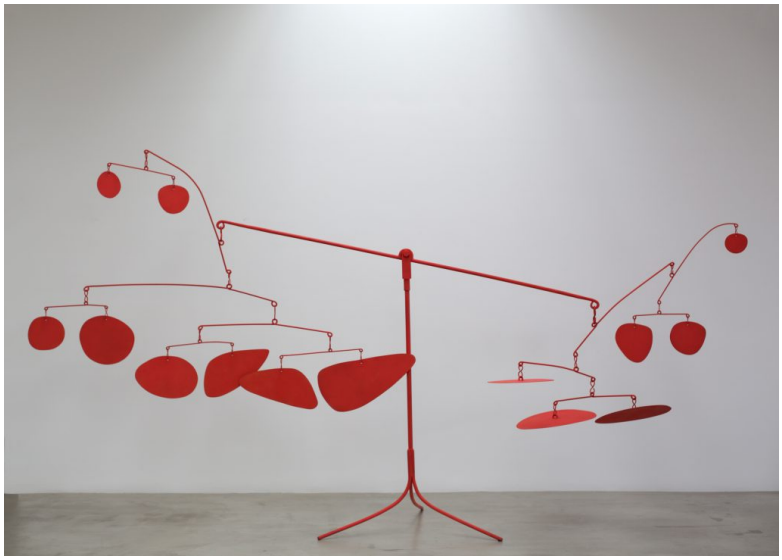


Figura 5.3. Calder, A. (1966). *Chef d'orchestre* [escultura sonora en acero pintado]. Foto: Calder Fundation New York

Por último, nos gustaría destacar la exposición retrospectiva que en 2021 se hizo de la obra de Calder en el MoMa de Nueva York. Para ella, le fue encargado a la compositora y artista sonora austriaca Dorit Chrysler la creación de una pieza sonora que interactuara y relacionara las esculturas del artista con el *theremin*[147], instrumento principal de Dorit. La artista seleccionó dos de los móviles de Calder: *Snow Flurry, I* (1948) y *Man-Eater with Pennants* (1945). D. Chrysler, en colaboración con los conservadores del MoMa y los manipuladores de arte, grabó los sonidos y las imágenes de las interacciones de las esculturas con sus instrumentos y, a partir del material que recopiló, compuso *Calder Plays Theremin*, una pieza musical de cuatro movimientos para el *theremin*, "interpretado" por las obras de arte de Calder (Manes y Chrysler, 2017).

147 *Theremin.* Instrumento musical electrónico en el que el sonido es generado por dos osciladores de alta frecuencia y el tono se controla por el movimiento de las manos del intérprete (*Real Academia Española,* 2021 , párr. 1).

En cuanto a los materiales y técnicas usados por Calder, el metal es la materia más constante. En una entrevista con Maurice Bruzeau Calder comentó lo siguiente: “Para mí el metal no es ni un amigo ni un enemigo. Lo he estado estudiando durante mucho tiempo: !he llegado a un acuerdo con él!” (Giménez, y Rower, 2003, p. 23)

Cabe mencionar que el artista utilizó chapas de metal de distintos grosores, habitualmente de acero y, con menor frecuencia usó latón, aluminio o acero inoxidable, así como alambre de cobre e hierro (que modelaba con unos alicates). Teniendo en cuenta la consistencia necesaria según el peso y tamaño de cada una de sus obras cortaba estas planchas buscando distintas formas abstractas que, previamente, dibujaba en papel y ensamblaba entre sí, habitualmente, con ganchos, lo que facilita el libre movimiento de sus piezas.

El equilibrio de sus esculturas lo consiguió considerando los principios básicos de la palanca, manipulando la distancia de los brazos de los móviles y los distintos pesos de ellos, que logró gracias al uso de varios gruesos y tamaños de los elementos de chapa que colgaban de estos y a los que, en ocasiones, practicó agujeros para aligerar su carga y ajustar su posición. En algunas obras utilizó cojinetes para aumentar la velocidad del movimiento o, incluso, inclinó las planchas, haciendo que giren más rápido. Generalmente, pintaba sus piezas de blanco, negro y colores primarios, en especial rojo y con ello nos recuerda, en algunos casos, las obras pictóricas de Miró o Mondrian, con los que tuvo relación y de los que fue admirador.

Su obra monumental fue elaborada en talleres como el de Waterbury en Connecticut o más tarde, cerca de Sache, en Francia, por operarios cualificados, que, incluso, hacían las plantillas a partir de pequeñas maquetas de Calder o calculaban dónde debían ir las anillas de las piezas de los móviles para que

mantuvieran su equilibrio. La siguiente imagen refleja los apuntes personales que hemos realizado a partir de la observación de sus trabajos (Figura 5.5), que deben ser similares a los que realizó Calder para construir sus obras (Calder, 1998).

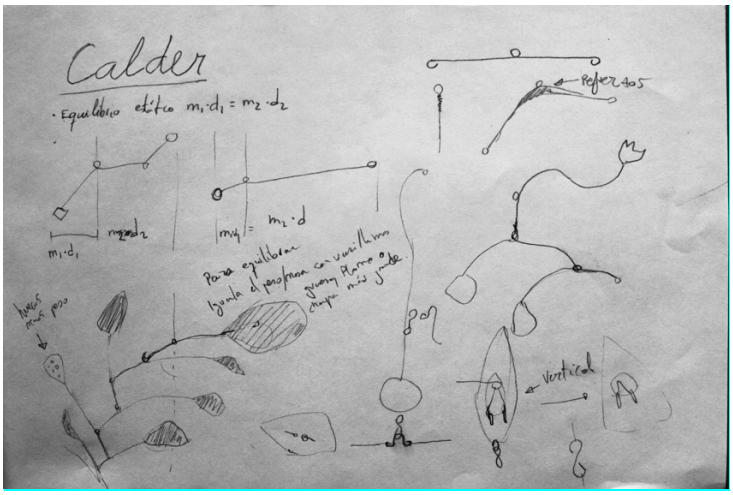


Figura 5.4. Travé, A. (2022). Apuntes del autor [dibujo en papel y tinta]. Fuente: elaboración propia

En la actualidad, son numerosos los artistas en cuyas obras, de un modo otro, se intuye el trabajo de Calder. Un ejemplo de ello es la serie de instalaciones tituladas *Air sculptures* (Figura 5.5) de Özkan Ertek. Estas obras se componen de móviles que tienen un aspecto descuidado y casual, montados con alambres y elementos de desecho a los que se ha conectado un *piezzo*[148] que recoge los sonidos, conduciéndolos a un pequeño amplificador que transmite el sonido amplificado a un pequeño altavoz, haciéndolo sonar a mayor volumen con ciertas distorsiones y variaciones. Los sonidos son producidos por la interacción de los

[148] *Piezzo.* Elemento que mediante presión o estrés mecánico produce polarización eléctrica en determinados cristales.

distintos elementos al moverse por acción del viento y por el roce producido por una corriente de aire producida por el paso del espectador (Ertek, 2018).



Figura 5.5. Ertek, Ö. 2020). *Sculpture # 1 (Wires)*[escultura sonora de alambre, altavoces, platillos de latón y materiales diversos]. Fuente: web del autor

Otra visión es la de F. Le Junter, artista francés con una amplia trayectoria en la escultura sonora, que construye artilugios capaces de generar sonidos a partir de la fuerza del viento. Un buen ejemplo es *Máquina n.º 121*[149], en la que utiliza amortiguadores de coche y un bidón de metal como resonadores conectados a un molino de viento, que recoge las fuerzas eólicas y las transmite al resto del instrumento (Le Junter, 2015).

También Celeste Boursier-Mougenot, es un artista sonoro muy relevante que ha producido varias instalaciones destacables en las que el azar también es

[149] Ver en : https://www.youtube.com/watch?v=ZSudHvzRVQc&t=5s

protagonista, por ejemplo, *Clinamen*[150] (Figura 5.6). Este trabajo forma parte de un proyecto más amplio, titulado *Liquide Liquide*[151], que ha sido hecho para la Fundación François Schneider Centro de Arte Contemporáneo Wattwiller. La obra *Clinamen* consta de un estanque circular de agua con fondo celeste, en el cual 100 cuencos blancos de cerámica con distintas medidas flotan en ella movidos a la deriva por las corrientes del líquido. Cuando se encuentran unos con otros, estos producen un sonido similar al de las campanas, dando lugar a una música armónica y aleatoria que mantiene al espectador en alerta, tanto por la belleza y sencillez visual de la obra, como con el intento por parte de este de prever el momento en que se producirán esas notas. Si bien en la obra de *Boursier-Mougenot* no intervienen elementos metálicos, creemos que la manera azarosa en que activa el sonido a través de las corrientes de agua es muy similar al funcionamiento de los *mobiles* (Enrico, 2019).

En *From Here to Ear* (Figura 4.10), obra de Boursier-Mougenot, a la que ya hicimos referencia en el apartado 4.2.2.1, la escultura sonora es una instalación que fue llevada a cabo en un centro de arte contemporáneo de Copenhague (Contemporary Copenhague) en la que convirtió uno de los pabellones en una enorme pajarera que recreaba el paisaje escandinavo. En dicha pajarera se incluyó un suelo de arena y 88 pájaros cebra junto a 17 guitarras y bajos eléctricos, que estaban conectados a sus respectivos amplificadores. Cuando las aves se posaban,

---

150 Esta misma instalación ya se ha desarrollado en distintos formatos y espacios como, por ejemplo, en el Museo Nacional de Arte Contemporáneo en Seul, en 2011. En 2019 se estableció en Wattwiller con carácter permanente.

151 *Liquide Liquide,* el proyecto en el que se engloba *Clinamen,* es una especie de recorrido sensorial en torno al agua, y en consecuencia al sonido que esta genera en su movimiento, convirtiendo las instalaciones del centro de arte en una especie de curso del río. El acceso a las instalaciones de este museo contiene otra intervención de índole acústica en la que el espectador camina por toneladas de vidrio roto, ocasionando un sonido similar al que se produce cuando anda sobre gravilla, pero con la peculiaridad de que lo hace sobre el peligroso cristal, a modo de improvisado faquir.

picoteaban, limpiaban sus picos, etc. sobre las cuerdas de los instrumentos, se generaban acordes y notas con infinitas posibilidades y totalmente aleatorias (Kunstfond, 2017). En este caso sustituyó la energía del aire por el comportamiento fortuito de estas aves.

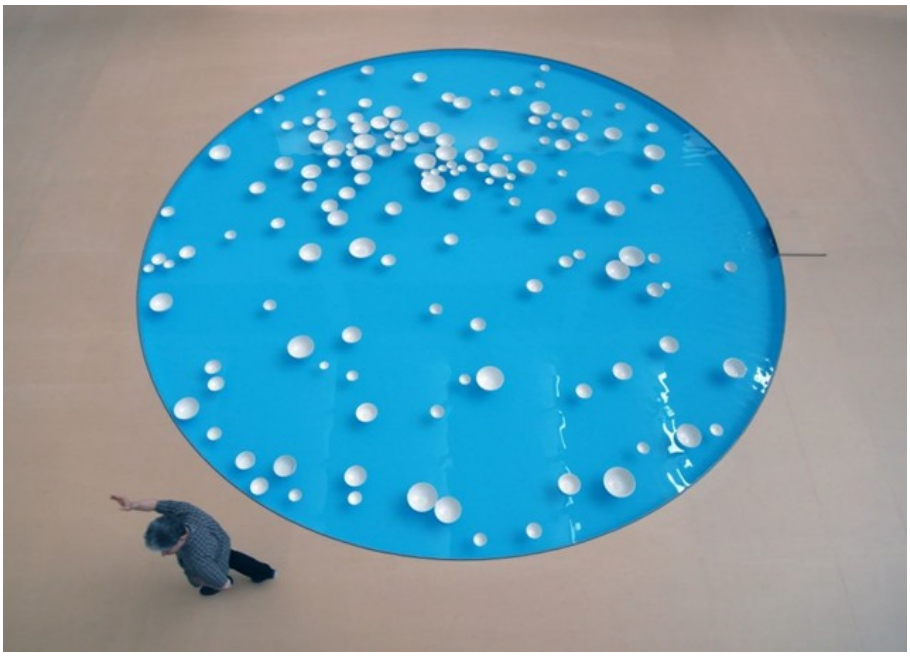


Figura 5.6. Boursier-Mougenot, C. (2011). *Clinamen* [instalación sonora, cerámica y agua]. Museo Nacional de Arte Contemporáneo de Seúl, Corea, exposición entre julio - octubre de 2011. Fuente: cortesía de la Galería Xippas

5.2. Movimiento programado. Máquinas sonoras

5.2.1. De las cajas de música y organillos a las obras de mecanismos sonoros y programados de Tinguely, Stephan Von Huene, Winter Gatan, Michael Sparguero o Leonel Vasquez

La idea de reproducir y escuchar una melodía o ritmo sin necesidad de tocar un instrumento o sin tener a los músicos presentes ha sido una constante a lo largo de

los siglos. Los cilindros de cera fueron el primer sistema de grabación del sonido. Tenían literalmente grabado el sonido en su parte exterior y este podía ser reproducido por un fonógrafo. Así fue como ese sueño se vio cumplido, inicialmente, con la aparición de los conocidos como cartuchos de cera en forma de cilindros y el fonógrafo de Edison (década de 1870) y con ello la música se pudo registrar en un soporte que podía reproducirse en el momento que el usuario quisiera. Este invento se siguió fabricando hasta que la aparición del gramófono en 1910 lo desbancó, éste registraba el sonido en discos de pizarra más estables. Le siguieron el tocadiscos, el casete, el cd, los soportes digitales y un sinfín de sistemas de grabación y reproducción que se han desarrollado e implementado ampliamente a lo largo del siglo XX y lo que va del XXI[152].

Previamente a estos inventos, la solución pasaba por objetos sonoros en forma de cajas de música, mecanismos autómatas que reproducían piezas o melodías, artefactos sonoros o, a finales del siglo XIX, de organillos[153] y derivados.

Las cajas de música se popularizaron a partir del siglo XVI, hechas por artesanos relojeros procedentes de Suiza que las fabricaron en forma de bellos objetos, los cuales reproducían piezas musicales (Dayton Clarence, 1916) unidas a algún movimiento de sus elementos decorativos. Éstas producían las notas por medio de un disco giratorio con dientes metálicos alrededor de su borde. El

[152] Actualmente, disponemos de sistemas complejos y precisos de reproducción y grabación de sonidos. Pese a todos los cambios producidos en este campo hay un elemento al que varios autores hacen alusión como referente, se trata del "altavoz" que, desde el fonógrafo, en su forma de bocina primitiva, hasta los complejos sistemas electromagnéticos actuales poseen unas características estéticas y semánticas ligadas a la transmisión de ideas, de proclamas, de sonido, de música, etc. y que han sido muy utilizadas en el mundo del arte fuera de su propia funcionalidad.

[153] Los organillos de España y las pianolas son de cuerdas percutidas, los organitos de Latinoamérica tienen tubos como los de un órgano de iglesia. En todo caso, se trata de instrumentos que, tras girar una manivela, pueden reproducir distintas piezas programadas en cilindros con púas o con sistemas de perforación, como el caso de la pianola.

nombre de "caja de música" como tal se lo debemos a Antoine Favre (1767-1828), un relojero de Ginebra que creó un mecanismo en forma de peine de metal (Figura 4.27) que era pulsado por púas, y que se comercializó a partir de 1796. Su pequeño tamaño, hizo que se pudiesen instalar en innumerables muebles y objetos. Con este sistema, se llegaron a crear objetos de gran valor artístico. En ellos, el metal estuvo siempre presente en forma de acero, cobre y zinc para la elaboración de los peines, las púas y las placas base que sostenían el mecanismo. En la actualidad, las cajas de música son un objeto bastante popular y al alcance de todos (Chapuis, 1955).

Otros "artilugios" capaces de reproducir música fueron los autómatas musicales, en ellos intervienen tanto elementos musicales como plásticos, y son activados por complejos mecanismos heredados de la excelente y precisa capacidad mecánica del mundo de los relojeros (Dayton Clarence, 1916). Por poner un ejemplo superlativo, hacemos referencia del galeón autómata[154] de Rodolfo II, de tamaño sobremesa, creado en torno a 1585 por el relojero sajón Hans Schlottheim. Se trataba de un galeón realizado en su mayoría en latón dorado que se desplazaba por la mesa antes de que los comensales comenzaran la comida interpretando música y, finalmente, disparando una salva con sus cañones. El casco del barco tenía en su interior una complejísima maquinaria que permitía coordinar y poner en funcionamiento: figuras de marineros que golpeaban unas campanas invertidas anunciando los cuartos, el movimiento del barco y sus velas, la activación y disparo de los cañones y un órgano de verdad con fuelles incluidos que interpretaba música a medida que la nave se desplazaba (MusicaAntigua.com, s. f.)

[154] Actualmente, el Galeón autómata de Rodolfo II se encuentra en la sala de relojes del British Museum de Londres.

Otros ejemplos populares, entre muchos más, son el Reloj astronómico de Praga (República Checa), cuya parte más antigua es de 1410 y que fue elaborado por Nicolás Kadan y Jan Sindel (profesor de Astronomía de la Universidad de Carolina, República Checa) y el "Papamoscas" de la Catedral de Burgos (España), que data del siglo XV.

Los mecanismos utilizados en los primeros autómatas fueron recogidos por Herón de Alejandría en sus escritos a cerca de Neumática[155], si bien su texto está dedicado al funcionamiento de los mecanismos, aparecen en él fuentes con pájaros capaces de silbar por la acción del paso del aire en su interior u órganos activados por agua.

Por otro lado, cuando se mencionaron organillos y derivados, se hacia referencia a instrumentos activados mediante manivelas o, en el caso de las pianolas, mediante pedales, los cuales accionan mecanismos que, bajo el ritmo impuesto por el ejecutante, podían reproducir una composición suministrada al instrumento por medio de una cinta perforada. Estos, en la actualidad se conservan como parte de los instrumentos folclóricos en distintos puntos del planeta[156].

En definitiva, estos artilugios sonoros han tenido la función de generar música y ritmos de forma más o menos autónoma.

---

[155] No se conocen con exactitud las fechas en que se publicaron estos trabajos. Hay quien opina que vivió en el siglo IV mientras que otros historiadores creen que lo hizo un siglo más tarde. EL siglo I a. de C. y el I d. de C. y que el tratado se publicó en 1547 en la Universidad de Bolonia. Fuente: http://www.egiptomania.com/ciencia/pneumatica.htm - :~:text=Del tratado de Herón sobre, Aleotti en 1547 en Bolonia. No obstante, nosotros hemos recurrido a la versión traducida al castellano de G. Mejía (2016), traducida del idioma original por Bennet Woodcroft en 1851.

[156] En la cultura castiza madrileña es conocido y conservado el "organillo madrileño" con el que se interpretan pasodobles, chotis y otros bailes populares. También forma parte de la cultura popular la pianola, muy asociada a mundo del *western* y sus *saloons*, en ellos un piano de pared es accionado por pedales. Así, el instrumento interpreta composiciones que le son suministradas por rollos de papel perforados.

Con el cambio paradigmático de las artes en el siglo XX, lo que antaño fue asunto de artesanos relojeros y/o músicos, pasó al ámbito artístico. De este modo, fueron realizadas nuevas versiones e interpretaciones con las que satisfacer las demandas y conceptos del nuevo arte, llevándolas a las dimensiones espaciales, formales y semánticas nuevas y diferentes. Los referidos en tantas ocasiones, *Entonarrumori* de Russolo, podemos interpretarlos como una versión estridente y ruidosa, con palanca incluida, de los organillos.

Siguiendo con la tradición suiza, nos encontramos con Jean *Tinguely,* quien trabajó desde los años 50 en sistemas de engranajes y poleas que mediante un caótico e irregular funcionamiento generaban sonidos periódicos, a la vez que estridentes y agresivos. Sus últimas creaciones fueron auténticas, alocadas y gigantescas cajas de música o ruido. Él amaba la velocidad, el movimiento y los motores al igual que sus predecesores futuristas, pero con sus artilugios no pretendía elogiar la era industrial, sino más bien criticarla desde lo absurdo. En la década de los 60, el sueño social de paraíso industrial de las primeras décadas del siglo XX se había marchitado y la sonoridad, absurdez y caos de las obras de este autor no son más que una metáfora con la que llevar a cabo una irónica crítica del consumismo y la industria, a modo de visión distópica de su época. Sus máquinas trabajaban ilógica e imprevisiblemente y pretendían ser "caricaturas" (en forma de objetos) del mundo mecánico y utilitario. El espectáculo de sus obras en funcionamiento era una contradicción, ya que rendía tributo a la mecánica, pero conducía a la eficacia práctica de ésta hacia el absurdo. La irregularidad, lo imprevisto, la casualidad y el fracaso eventual o el deterioro fueron las constantes de las obras de J. Tinguely.

Si bien este autor fue conocido como un artista del arte cinético, es evidente su vinculación con el sonido y el arte sonoro. Sus primeras series, como *Meta-*

Kandinsky (Figura 5.7), fueron relieves móviles accionados por motores situados tras un tablero que, irremediablemente, producían sonidos. Al contrario que otros autores previos, que desecharon la utilización de este tipo de trabajos por el ruido generado, a él éste le pareció un elemento significativo en sus obras (Museé Jean Tinguely, 1996).

La relación de Tinguely con el sonido y el metal es más que evidente desde sus inicios, pues una escultura-máquina siempre hace ruido y más teniendo como punto de partida la irregularidad con la que él las construía. También queremos destacar lo estruendoso de las explosiones de algunas de sus esculturas, como *la Vittoria* en Milán (1970), *Estudio para el fin del mundo* (1962) o el *Homenaje a Nueva York* (1960). En esta última obra, los espectadores se miraban confusos mientras uno de sus mecanismos se autodestruía con explosiones incluidas[157]. No es de extrañar que algunos de los asistentes abandonaran las instalaciones para ponerse a cubierto. Incluso, en algunos de sus bocetos podemos encontrar anotaciones del tipo: "repartir protectores de oídos al público"(Pardey, 2008, p. 41).

[157] Su amigo y marchante de arte Klaus Littman, relata como en los 90 hicieron un viaje juntos a Valencia a disfrutar del espectáculo pirotécnico de las fallas. (Pardey, 2008, pp. 27 -37)

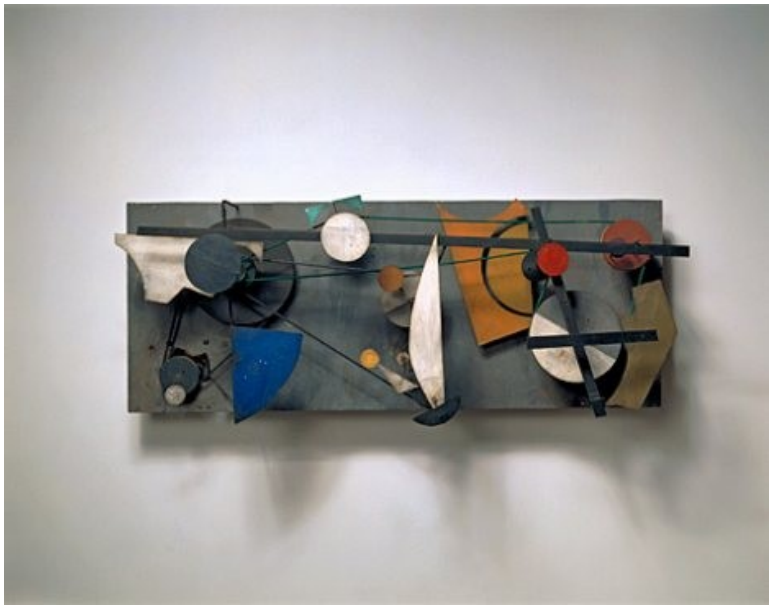


Figura 5.7. Tinguely, J. (1956). *Wundermaschine - Méta-Kandinsky II Relief polychrome* [escultura cinética en madera, varillas de metal, correas de goma, motor eléctrico de 110 V]. Fuente: Museo Tinguely

Con obras como *Mes étoiles-Concert poru sept peintures, La Jalousie* (Figura 5.8), *Radio-Skulptur* (Figura 5.9) o *Radio-Stockholm* (1966) -en la que además incluyó elementos como altavoces, formas de trompeta y cencerros- hizo más evidente el protagonismo y la relación del sonido con la escultura. Esta tendencia fue *in crecendo* y a partir de 1978 cuando comenzó a construir sus denominadas



Figura 5.8. Tinguely, J. (1960). *La jalousie* [escultura sonora en metal y distintos materiales de desecho].Foto: Hauser & Wirth



Figura 5.9. Tinguely, J. (1962) *Radio-skulpture* [escultura sonora en metal y distintos materiales de desecho].Foto: A. D.

Meta-Harmonien (Figura 5.10) (Museé Jean Tinguely, 1996), enormes máquinas mezcladoras de sonidos equipadas con sus habituales e irregulares engranajes, poleas y motores eléctricos a los que añadió pianos, timbales, partes de baterías, cencerros, platillos, martillos, cazuelas, acordeones o maracas y que creaban cada vez una nueva combinación de notas musicales o sonidos totalmente aleatorios y, a la vez, sometidos a los mismos parámetros de una máquina que funciona de forma periódica[158].

[158] Este discurso distópico de la industria y el consumismo se ha mantenido vivo hasta nuestros días y no es exclusivo del mundo de la Escultura, sino que viene a reforzar un sentir social y popular, al menos en el mundo Occidental. Sirva como ejemplo su presencia en el séptimo arte en el que podemos destacar *Tiempos modernos* de 1936, película escrita y protagonizada por Charles Chaplin, una genial sátira de la implacable era industrial en la que la maquinaria industrial es parte del decorado y de los elementos que interaccionan en el *filme*. Se trata de máquinas grandes y amenazantes. Dando un salto enorme en el tiempo podemos irnos hasta el año 2000 con el largometraje *Bailando en la oscuridad,* dirigido por Lars Von Trier y protagonizado por la artista Björk, en el cual el autor se vale de los sonidos de la industria para hacer un musical en el que poner de manifiesto, a través del sonido y la imagen, el hastío y la injusticia de la era consumista.

La personalidad y vinculación de este autor con su propia obra fueron tan fuertes que a su muerte, en 1991, le acompañó al entierro una de sus creaciones, el *Klamauk* (Figura 5.11), un vehículo tractor rediseñado y equipado por sus característicos y caóticos mecanismos, provisto de un sin fin de rodamientos y decenas de cencerros que pusieron la nota final a una vida dedicada al arte en forma de movimiento, velocidad y ruidos.

Hacemos nuestras las palabras de Consuelo Císcar, en la presentación de la publicación *Jean Tinguely Retrospectiva* que nos dice que Calder: "Transformó la máquina en un teatro del mundo en el que la desbordante ansia de vivir, pero también la angustia metafísica, se descargan en las vibraciones y sonidos de las piezas mecánicas, objetos de chatarrerías y baratijas" (Pardey, 2008, p. 8).

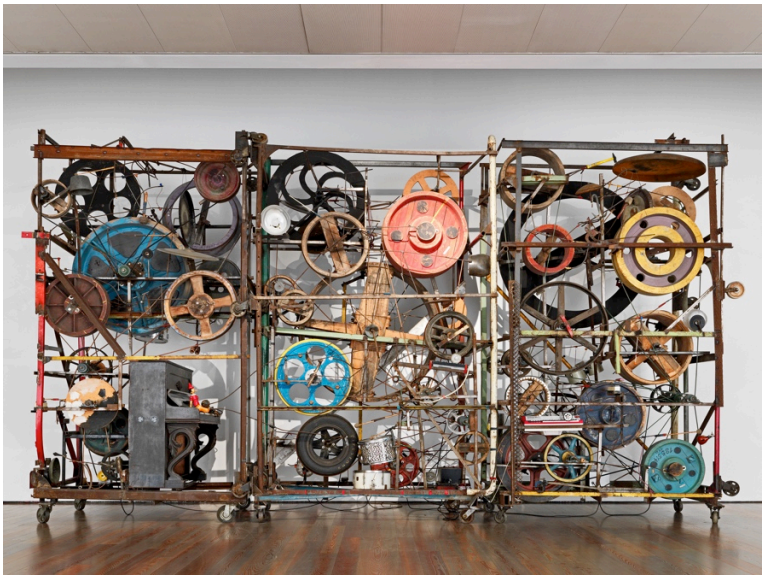


Figura 5.10. Tinguel, J. (1978). *Meta-harmonie II* [escultura cinético-sonora de piezas de desecho de acero e instrumentos musicales varios]. Fuente: Museo Tinguely

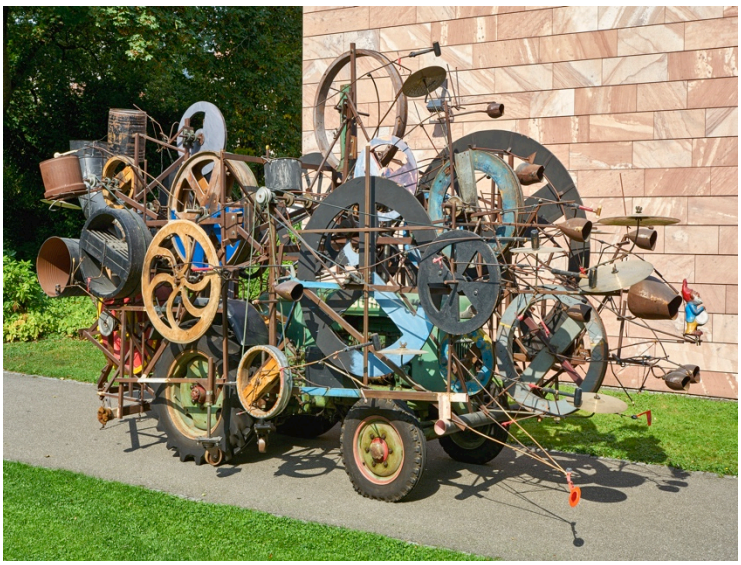


Figura 5.11. Tinguely, J. (1978). *Klamaut* [vehículo-escultura intervenido con piezas de mecanismos de acero, platos de bronce y cencerros]. Fuente: autor desconocido

A pesar de la sobrecarga visual de la obra de Tinguely, el funcionamiento de sus piezas era relativamente sencillo. En base a clásicos sistemas de poleas, correas y engranajes interconectados y aprovechando conexiones excéntricas, en muchas de ellas provocaba movimientos de idas y venidas que hacía que las obras golpearan con mazas elementos de percusión como platillos o metalófonos. En otros casos, el autor se valía de fuelles que, al ser presionados, hacían sonar órganos. También, ciertos elementos como campañillas, cencerros y cadenas sonaban al ser agitados por encontrarse suspendidos en los extremos de largas y elásticas varillas de metal que se movían con las vibraciones del conjunto. Otras obras, como las serie *Balouba*, se fundamentaron en el movimiento de bases basculantes con las que las piezas jamás podían adoptar una posición de equilibrio tras el movimiento excéntrico de sus ejes. Esa inestabilidad se traducía en movimiento e, inevitablemente, en sonido.

La fuente natural suministro de los materiales usados por Tinguely fueron las chatarrerías de útiles mecánicos de coches o la industria, así como tiendas de instrumentos de segunda mano.

Otra vertiente de la escultura sonora de movimiento sonoros programados la representan artistas como el estadounidense Stephan von Huene, que construyó, a partir de los años 70, esculturas basadas en investigaciones sobre las cualidades acústicas de distintos instrumentos: pianos mecánicos, autómatas y órganos. Estas obras funcionaron con cintas perforadas como las pianolas y, más adelante, en los años 80, empezó a incluir en ellas elementos electrónicos. En este contexto, desarrolló un extenso estudio de fenómenos acústicos[159] que se tradujo en obras como *Washboard Band* (Figura 5.12) con la que homenajeaba a las bandas *one man band* (hombres orquesta) que proliferaron en las calles de EE. UU. en los años 30 (Von Huene, 2024). Esta escultura estaba formada por una tabla de lavar, un cencerro, elementos de un armonio y un platillo que eran percutidos por distintas mazas de madera respondiendo a lo programado en una cinta perforada (en la actualidad, se acciona con la programación de un ordenador). Todo ello dispuesto en un pedestal remarcando su carácter escultórico.

En el mismo sentido, *Tex tones* (1983), es una instalación de von Huene que consta de seis bases estrechas pintadas de blanco sobre las cuales se montaron tubos de aluminio, cada uno golpeado por un par de pequeños martillos instalados debajo. Montado sobre la primera base había un tubo de una longitud específica, cuando este se golpea con un gong, la columna interna de aire vibra a la misma frecuencia que el propio tubo, obteniendo lo que su autor llamó “tono

[159] Para tal fin se sirvió de la obra de Hermann von Helmholtz *Lehre Von den Tonempfindungen* (1865) así como del libro de Dayton C. Millers *The Science of musical Sounds* (1916).

absoluto"[160]. Por su parte, los pares de tubos montados en las otras bases se acortaban o alargaban respecto a los de la primera base, dando lugar a cinco intervalos sonoros. Los ruidos ambientales del espacio expositivo, como conversaciones, pasos, puertas que se abrían y cerraban, etc. durante la muestra, eran captados por un micrófono, almacenados y separados en señal analógica y digital. Estas señales sonoras se almacenaban en una cinta de audio y eran, posteriormente, reproducidas por la escultura. La señal digital se dividía entre dos pequeños martillos que golpeaban el tubo. La señal analógica se reproducía a través de un altavoz y ponía el aire del tubo en un estado de oscilación. Como ambas frecuencias eran iguales, los sonidos ambientales de la habitación se reproducían en un reflejo monótono (Von Huene, 2024).

Siendo del mismo autor, la obra *Zaubertlöte* (Figura 5.13) tomó como punto de partida la composición para ópera *La Flauta mágica* de Mozart y constaba de 4 máquinas que funcionaban con fuelles y mecanismos eléctricos. Cada una de las cuatro piezas, provistas de un plinto de madera, representaba un instrumento de la ópera. Los tubos del órgano se relacionaban con la flauta y el metalófono/xilófono se relacionaba con el carillón, que son los dos instrumentos "mágicos" en la obra de Mozart. Además, los tubos metálicos del órgano se relacionaban con los cantantes (Bredekamp, 2002).

[160] Tipo de tono inspirado por la historia de Ling Lun, a quien el gobernante Huang-Di le encargó cortar un trozo de bambú cuya longitud fijaría el tono básico adecuado del sistema musical chino.



Figura 5.12. Von Huene, S. (1967). *Washboard Band* [escultura sonora en madera y metal]. Foto: Frank Oleski. Colección privada, Düseldorf



Figura 5.13. Von Huene, S. (1985). *Zubertlöte*. [escultura sonora en madera y metal]. Foto: F. Wamhof

Martin Molin, compositor sueco y miembro fundador de la banda *Wintergatan,* en 2016, dio a conocer, mediante un pulcro vídeo subido a YouTube, una máquina que funcionaba con unas 2000 esferas de acero, su nombre era *Marble Machine*[161] (Figura 5.14) (Molin, y Knutsson, 2016). Se trata de un complejo mecanismo que incluía poleas, engranajes, palancas, un sistema analógico de programación mediante pestañas de metal (similar al de una caja de música y visualmente parecido a un sistema *midi*), correas magnéticas para recoger canicas, bandas desmagnetizadoras para desimantarlas, tubos activos para reciclar las bolas, bajo, metalófono, caja, *hi hat* de una batería, etc. Los mecanismos accionaban un flujo de canicas que, a su vez, eran las encargadas de golpear los distintos instrumentos según lo programado. En un principio, esta creación sonora la realizó en contrachapado de madera, tubos de plástico y embudos de cartón. Con el tiempo se han cambiado partes de madera por otras de acero para asegurar

[161] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=IvUU8joBb1Q

su perdurabilidad. Nos encontramos ante una especie de *Meta-Harmonie* de Tinguely, pero con intenciones muy distintas. El artefacto, pese a presentar un aspecto complejo y enrevesado, similar a la obra del artista suizo, está concebido con una funcionalidad total sin la menor intención de caer en lo absurdo, irregular e impreciso. Más bien, hace un alarde de concisos conocimientos mecánicos y de lutería. En este caso, no se trata de producir ruidos, sino que la *Marbel Machine* puede programarse e interpretar distintas piezas musicales, adaptadas a las escalas de la música occidental.



Figura 5.14. Molin, M. (2016). *Marble Machine* [escultura sonora/instrumento musical]. Fuente: *Ideastrem Public Media*

Ésta necesita, eso sí, de un intérprete que active o desactive la entrada de los diferentes instrumentos. Cabe destacar que esta obra no contempla ni un ápice de crítica al mundo industrial, más bien, se trata de un elogio al ingenio y a la

mecánica, una reinterpretación de las tradicionales cajas de música y organillos, que implementaba las posibilidades de estas, al hacerlas más grandes y versátiles, haciendo visible el mecanismo de funcionamiento e incorporando elementos electrónicos y micrófonos que permitían grabar y procesar los sonidos.

Michele Spanghero y su obra con *Ab Lib*[162] (2017-18) (Figura 5.15) representan otro acertado ejemplo de escultura sonora programada actual. El autor combina una máquina médica de ventilación pulmonar automática con 9 tubos de órgano que tocan un acorde musical[163] al ritmo constante de la respiración mecánica, creando un órgano artificial que es metafóricamente un réquiem mecánico que suena incesantemente. El título hace alusión a la anotación musical en partitura de *ad libitum*[164] que, generalmente, se usa para expresar la libertad de un intérprete o, fuera del ámbito musical, de una persona para actuar según su propio juicio en un contexto determinado. Esta obra hace referencia a la situación en la que las personas, que padecen condiciones críticas de salud, ven su supervivencia atada a un respirador y, por tanto, al arbitrio de quienes les cuidan (Spanghero, 2020).

[162] Ha realizado otra versión en 2020, con sólo 6 tubos de órgano y un diseño más limpio.

[163] En concreto toca un acorde de quinta mayor en Fa (F – C), una referencia a la op. 45 de Johannes Brahms *Ein Deutsches Requiem* (Réquiem alemán) para "solistas, coro, orquesta y órgano ad libitum". Simultáneamente, dos tubos de órgano son activados rítmicamente por la respiración mecánica del ventilador pulmonar, agregando así las notas A y D completando el acorde de Fa mayor, pero también creando una ligera disonancia.

[164] Expresión que en latín significa: a voluntad, a placer.



Figura 5.15. Spanghero, M. (2017-2018). *Ab Lib* [escultura sonora madera y estaño]. Foto: web M. Spanghero

No podemos pasar por alto en este apartado a *The Logos Fundation,* una organización belga creada bajo la batuta de Moniek Darge y Godfried-Willem Raes en 1968 y activa hasta la fecha. En ella se procura la divulgación de nuevas músicas, del arte sonoro, de la ciencia y la robótica sonora por medio de la creación de obras, conciertos, publicaciones y talleres en las visitas a su sede. Con respecto a esta organización y a estas actividades a propósito de las máquinas sonoras, nos gustaría destacar la obra *Logos Robot Orchesta*, alrededor de la cual se ha creado un equipo profesional que ha dado continuidad y desarrollo a experiencias con todo tipo de interfaces musicales (control inalámbrico de gestos, análisis de sonido en tiempo real, radar de microondas, sensores de aceleración, pirodetectores, sensores de luz, dispositivos microeléctricos, ondas cerebrales, etc.), combinados con su avanzado diseño de robots, lo que ha terminado dando un fuerte protagonismo entre sus actividades a proyectos de conciertos colaborativos que involucran a robots interactivos con músicos. *Logos Robot*

Orchesta (Figura 5.16) es una orquesta formada por casi un centenar de instrumentos clásicos y no tan clásicos, robotizados construidos desde 1987. Entre ellos se encuentran planchas enormes de metal, que son agitadas y golpeadas, tubos de órgano de estaño, bocinas, saxofones de latón, metalófonos de aluminio etc., además de los mecanismos metálicos que los ponen en marcha por medio de una compleja maquinaria que responde a una programación *midi*. La propia mecánica junto con las estructuras metálicas que albergan y soportan los distintos instrumentos confieren una inevitable estética industrial y robótica al conjunto. Para *Logos Robot Orchesta* se han creado numerosas composiciones con muy diferentes enfoques por parte de compositores como Liesbeth Decrock o Benjamin Luke.

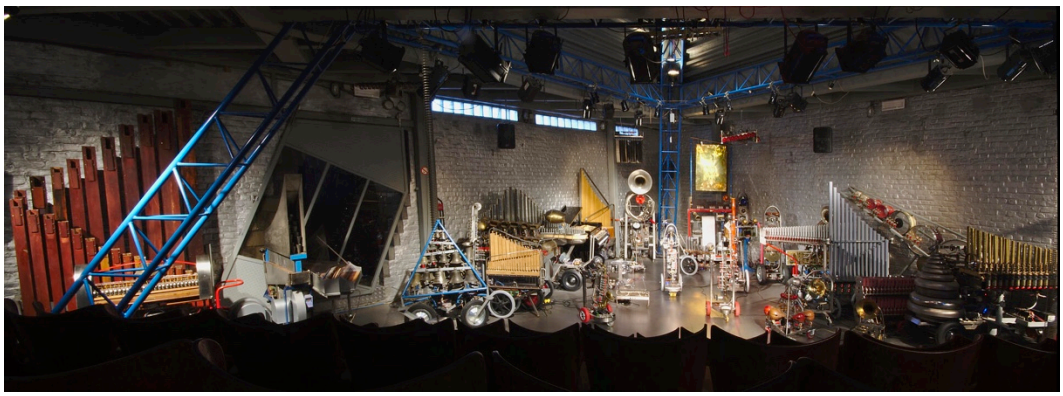


Figura 5.16. The Logos Fundation. (2023). *Logos Robot Orchestra*. Fuente: web VisistGent

Desplazándonos al panorama más actual, destacamos a artistas como el checo Petr Valek, popular por sus alocadas y caóticas *performance* sonoras con elementos de desecho e instrumentos autoconstruidos con métodos poco ortodoxos o con su serie de personales *vintage* y *DIY,* sintetizadores electrónicos.

En este caso nos interesa una serie de piezas realizadas a partir de pequeños motores y sencillos mecanismos capaces de generar sonidos generados por el

golpeo o la fricción de latas de conserva, alambres retorcidos o pequeños trozos de madera (Figura 5.17). La obra *Music 25 2 2024* (Valek, 2024a) (Figura 5.18) es un buen ejemplo de ello. Esta pieza funciona casi como un gramófono capaz de leer el sonido de un trozo de acero por medio del roce de una lata de conserva que, a la vez, funciona como altavoz/difusor[165]. Y la obra *Music 27 2 2024* está formada por dos latas de refresco unidas a un motor, que las hace girar y provocar sonidos (Valek 2024b)[166]. El trabajo de este autor puede gustar y desagradar a partes iguales, ya que su autor busca el aspecto extraño y los sonidos más ruidosos posibles, lo cual le ha servido para gozar de cierto reconocimiento en las artes plásticas sonoras.



*Figura 5.17.*Valek, P. (2024). *Music 6 1 2024* [escultura sonora con motor, recipiente de acero inox., alambres, piedras, madera]. Fuente: The Vape



Figura 5.18. Valek, P. (2024). *Music 25 2 2024* [escultura sonora con motor, recipiente de hojalata, diferentes metales]. Fuente: The Vape

El colombiano Leonel Vasquez es otro artista a destacar en esta investigación, en la escultura sonora. En su obra *Canto rodado* (Figura 4.64) encontramos relación con *Music 25 2 2024* de P. Valek. Si bien sus propuestas estéticas son diametralmente opuestas, el trabajo ambos autores trata de leer la superficie de

[165] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=_oQKXuB6gK0

[166] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=cf2MtFivXiA

objetos como si de un disco de pizarra y la aguja de un gramófono se tratase. También, L. Vásquez hace sonar la superficie de piedras encontradas y recogidas a lo largo del recorrido de los diferentes afluentes de un río con las diversas características que la historia de estos le otorgan (Vasquez, 2023). En esta ocasión, el metal (cobre y alambre de acero) funciona como transmisor y difusor del sonido obtenido del contacto con la forma y superficie pétrea[167]. En sus obras hay un componente poético y una depurada y limpia imagen, en contraste con los trabajos de P. Valek.

5.2.2. Takis y Len Lye: electromagnetismo para el movimiento

Para hablar de este tema, primeramente, nos referimos al electromagnetismo, que es la rama de la física que se encarga de estudiar las relaciones entre las partículas con campos eléctricos y magnéticos.

Cuando una carga eléctrica está en movimiento crea un campo eléctrico y un campo magnético a su alrededor. Este campo magnético realiza una fuerza sobre cualquier otra carga eléctrica que esté situada dentro de su radio de acción. La fuerza que ejerce un campo magnético será la fuerza electromagnética. El electromagnetismo se conoce desde la antigüedad por fenómenos como las tormentas eléctricas. Pero no fue hasta 1820, cuando a través de los experimentos del físico danés Hans Christian Ørsted se pudo demostrar la relación que había entre el magnetismo y electricidad. Siguieron estudios mucho más precisos con los que se determinaron las distintas variables que se resumen en las ecuaciones de Maxwell y que a la postre fueron la base de los estudios realizados por personalidades como Albert Einstein o Nicola Tesla (Ferrovial, 2024).

[167] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=PzcD3VhlUUk

A priori, el electromagnetismo puede parecer un tema alejado de nuestra tesis, sin embargo, si analizamos los elementos de algunas de las obras estudiadas, está más presente de lo que podríamos intuir en una primera apreciación. Así pues, los metales son parte indispensable en estos fenómenos: en primer lugar, conducen la electricidad y poseen cualidades para contener cargas magnéticas; en segundo lugar, sólo hay que hacer memoria y recordar como los motores eléctricos que usaron Laslo Nohovy o Tinguely, entre otros, basan su funcionamiento en el electromagnetismo. Estos contienen una bobina de cable en el interior de un imán. Cuando introducimos electricidad a la bobina, crea un campo magnético que interacciona con el imán, en este caso repeliéndose. Al encontrarse la bobina anclada a un eje, no tiene más remedio que dar vueltas haciéndolo del modo giratorio que conocemos en los motores.

En el campo del sonido los sistemas de captación (micrófonos y pastillas de guitarra) y los sistemas de reproducción del sonido hasta la fecha, utilizan este tipo de energía[168].

En el presente trabajo queremos destacar a aquellos autores que han dado protagonismo al fenómeno en sí del electromagnetismo. Así, el caso más conocido es el de Takis Panayitis Vassilakis, quien en los años 60 (tras un periodo clásico de formación, con estancia en Montparnasse incluida) se vio fascinado por los fenómenos electromagnéticos y el

[168] En el caso de los micrófonos, una fina membrana (como si se tratase de un tímpano) está unida a una bobina de cable que a su vez se encuentra dentro de un receptáculo magnético. Al vibrar la membrana, por la acción del sonido en el interior del imán, se genera una señal eléctrica que es que es procesada en forma de señal digital, analógica o cualquiera que sea el medio en el que registremos el sonido. El caso del altavoz sucede el proceso inverso, unos impulsos eléctricos con información del sonido a reproducir llega a la bobina que al encontrarse en el receptáculo magnético vibrará y hará moverse el cono del altavoz produciendo los sonidos deseados.

carácter inmaterial de las fuerzas de la naturaleza. Debido a esto, experimentó con la electricidad, el movimiento, el sonido y la luz, tal y como hicieron otros artistas de la generación neorrealista (Tinguely o Klein).

No obstante, Takis pretendió hacer visibles los elementos invisibles influenciado tanto por la ciencia como por los poderes cósmicos y la comunicación con el más allá, lo que le llevó a hacer esculturas parecidas a antenas denominadas *Signals*, que podían concebirse como artefactos que recibían y transmitían mensajes a mundos lejanos.

Las *Telesculptures* se basaban en la atracción de elementos metálicos a un punto magnético suspendiéndolos en el aire y creando tensiones. En ocasiones, el elemento magnético era visible, como en la obra *Magnetron* (Figura 5.19) y en otros casos aparecía escondido bajo una tela situada en la base, mostrando parte de la forma no visible con la tensión generada entre el objeto magnético y la tela, lo cual reforzaba la idea de lo invisible (Figura 5.20).

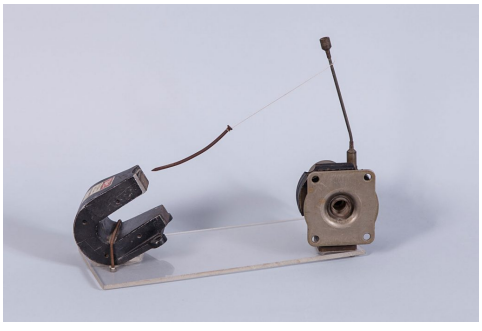


Figura 5.19. Takis. (1964). *Magnetron* [escultura cinética en metal]. Foto: Takis Fundation

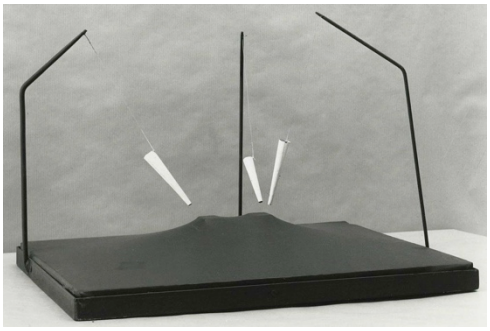


Figura 5.20. Takis. (s. f.) *Telesculture* [escultura cinética en metal]. foto: Takis Fundation

Estas obras dieron origen a su versión mural con los *Murs Magnetics* y las *Telepeintures*, en las que imanes escondidos tras los paneles monocromos agitaban conos de metal y los mantenían en tensión en la verticalidad de la pared. Con la evolución de la obra de Takis Panayitis, el sonido comenzó a tener más protagonismo, esto se puede ver en sus series *Musicale. Les forces cachées de la matière*[169] (Figura 5.21) (Centre Pompiou, 1977) (Takis, 2013). Se trata de un conjunto de tres piezas, que consta de un panel vertical blanco, delante del cual se expone un clavo de hierro que está sujeto a un hilo y suspendido en su extremo inferior, el cual interaccionaba con una cuerda horizontal rebotando y golpeándola según las demandas de un electroimán situado tras el panel. Estos golpes, en ocasiones aislados y en otras con forma de trino o a modo de acorde cuando las tres esculturas estás expuestas juntas, eran registrados por un micrófono de contacto que los conducía a un amplificador y los reproducía por medio de un altavoz que había instalado en el mismo panel de la escultura. Guy Breth y definía así este hecho:

> El silencio siempre está presente y transmite tanta energía como el sonido del instrumento en sí. En el núcleo de esa estasis está el único elemento móvil, la elegante aguja, atrapada entre la gravedad y la atracción magnética, que gracias a un electroimán con encendido y apagado rebota contra un cable extendido y amplificado con un movimiento que es temblor y estremecimiento. Desde que creó su primera *Musicale*, Takis las ha compuesto con distintos tamaños y

[169] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=Qh9NkjdMadI

combinaciones de elementos, desde obras individuales hasta conjuntos atronadores. (2019. p. 25)

También son muy significativas sus piezas pendulares agrupadas en lo que llamó *Magneticfields* (Figura 5.22) que pudieron verse con motivo de la retrospectiva que se organizara en el MACBA en 2020. *Magnetic Fields* estaba compuesta por decenas de varillas de acero inoxidable que en su parte inferior disponían de una base pesada que las mantenía erguidas. En la parte superior, había instalado un imán en forma de disco grueso. Sobre estos campos de varillas se encontraban suspendidos del techo unos imanes que, al pasar sobre las varillas, las repelían y atraían, sin llegar a tocarse, creando un movimiento continuo de vaivén en torno a estas grandes cargas magnéticas. Los elementos se golpeaban y creaban también sonidos accidentales a causa de estos movimientos.



*Figura 5.21.*Takis. (1977). *Musicale* [escultura sonora con panel de madera, altavoz, micrófono, electroimán, cuerda de guitarra, aguja de metal, hilo de nailon]. Fuente: P. Migeat

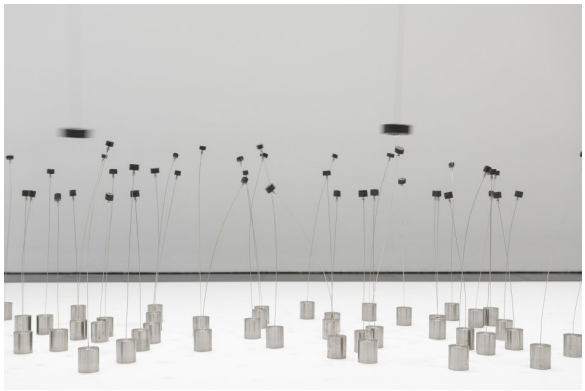


Figura 5.22. Takis. (2020). *Magnetics Fields* [escultura cinética]. Fuente: R. Ruíz

Para finalizar, nos gustaría destacar por su carácter sonoro metálico y por la relación con trabajos de artistas actuales, *Silver Music Spheres* (Figura 5.23). Una esfera de 1 metro de diámetro que de forma pendular oscilaba sobre cuerdas a las que rozaba y golpeaba suavemente. Al estar conectadas a una pastilla y esta a un amplificador de guitarra, se generaban sonidos distorsionados que inundaban la sala en la que se encontraba.



Figura 5.23. Takis. (1985). *Silver Music Sphere* [escultura sonora de aluminio y acero] Foto: H. Nak

La obra de Takis es misteriosa, a la vez, que está cargada de ciencia, movimiento y sonido. La estética de su obra posee una gama cromática reducida a los grises y brillos del metal, los negros mates de los imanes y los fondos monocromos blancos (en su última etapa), lo que le transfiere un carácter elegante, limpio y refinado, transformando poéticamente los mecanismos y elementos "vulgares" que conforman su obra en obras plásticas de apreciable belleza. Guy Brett, encargado de comisariar su exposición para la Tate Galery (Londres, 2019) de Londres que después itineraria el MACBA (Barcelona, 2019-2020), escribió de él:

> Hasta que empezamos a preparar esta exposición, no me había dado cuenta de lo mucho que significa para Takis la «música» (o el «sonido»). Creía que se había ido «apagando» tras la década gloriosa de los años sesenta, pero, después de experimentar la extraordinaria potencia y la delicadeza de los gongs, las esferas plateadas y las secuencias musicales en Atenas el verano pasado he cambiado por completo de opinión. Estoy convencido de que su obra ocupa un lugar fundamental en el arte contemporáneo. (Breth, 2019, p. 34)

Otro de los precursores en el uso de elementos electromagnéticos, además de motores eléctricos, fue Len Lye, artista multifacético conocido por sus películas experimentales y por sus trabajos en escultura cinética (Literale, 2019). Lo que nos resulta incomprensible de su obra es que en las publicaciones consultadas se de muy poca relevancia a la capacidad sonora de muchas de sus obras. Es evidente que en ellas el componente sonoro está al mismo nivel que el plástico y cinético (The Len Lye

Fundation, 2024). Críticas aparte, sus esculturas son un magnífico ejemplo de cómo en una sola obra se puede evidenciar su carácter estructural, elástico, móvil, reflectante y sonoro, al margen de otras consideraciones conceptuales del autor, y poner en valor todas las propiedades de un material (acero inoxidable en la mayoría de los casos). Una muestra de ello es *Universo* (Figura 5.24) (1963 – 1976)[170], una escultura sonora, formada por una banda de acero inoxidable de más de 6 metros, situada sobre una base de madera, que se balancea en todas direcciones y rebota arriba y abajo golpeándose con una pelota que la hace sonar. El movimiento de la banda es provocado por electroimanes ocultos en la base de madera (Fink, 2015).



Figura 5.24 Lye. L. (1976). *Universe* [escultura sonora de acero, madera y electroimán]. Fuente: The New Zealand Herald

[170] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=-yZtqkOb0Tk

Flip and Two Twisters (Trilogy)[171] (1977, 2016) es otro ejemplo más de bandas metálicas que con sus vaivenes alteran la forma y el sonido (Govett-Brewster Art Gallery, 2016). En obras como *Grass* (Figura 5.25)[172] recurrió a alambres de acero, que se mueven a modo de hierbas mecidas por una brisa (un motor programado se encarga de generar el movimiento) y que suenan al entrar en contacto unos con otros (The Len Lye Fundation, 2024).



Figura 5.25. Lye, L. (1961). *Grass* [escultura sonora de alambres de acero, madera y motor]. Fuente: The Len Lye Fundation

La obra de Takis y Len Lye mezcla elementos programados con sonidos azarosos, fruto de los movimientos elásticos del metal.

En la actualidad, la fascinación por los fenómenos electromagnéticos sigue adelante entre un pequeño número de artistas, si bien, lo más común

[171] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=A8TXkUSxB5Y

[172] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=EZxBKBNGydM

es vincular este tipo de obra a procesos cinéticos, rara vez sonoros y con un componente más interactivo que las expuestas hasta el momento. Eric Mesplé, por ejemplo, produce interesantes esculturas cinéticas por medio de ferrofluidos (algo con lo que ya experimentó Takis en *Hydromagnétique* de 1969 de forma más austera) activados por la presencia y el movimiento del espectador a través de elementos fotoeléctricos, que intensifican los flujos de estos dando apariencias ingrávidas a sus obras (Mesplé, 2024) (Figura 5.26).



Figura 5.26. Mesplé, E. (2016). *Killing time*[173][escultura cinética de bronce, aluminio, acero, vidrio, electroimán, ferrofluido, microcontrolador, sensores]. Fuente: Mesplé web



Figura 5.27. Caselden, M. J. (2015). *Riptides* [escultura sonora de madera, acero, PLA, electroimanes].Fuente: Magnetic Sound web

Por otro lado, M. J. Caselden, artista sonoro americano, ha creado una serie de esculturas sonoras (Figura 5.27) provistas de cuerdas metálicas que son puestas en vibración por elementos magnéticos instalados en las propias cajas de resonancia. Estas son activadas por una interfaz, a través de un dispositivo móvil vía bluetooth, produciendo tranquilos y armoniosos, que incitan a la relajación y reflexión (Caselden, 2015).

[173] Ver en: https://www.facebook.com/watch/?v=1133388553363837

5.3. Movimiento participativo

Las obras escultórico-sonoras que se activan con un movimiento participativo están cercanas al concepto de instrumento. Esto, lejos de restarle valor, promueve una interacción del público con la obra más directa, así como un componente lúdico y didáctico inherente.

En este grupo tal vez sea donde aparecen las dudas más notorias a cerca de qué es un instrumento y qué una escultura sonora. La respuesta no parece importar demasiado a autores como los hermanos Baschet, que llamaron indistintamente a sus piezas "instrumentos" y "esculturas", es más, llegaron a utilizar el término "estructuras sonoras" para eludir cualquier controversia (Baschet, 2017).

El estudio de este tipo de obras podría expandirse, incluso, al análisis de los "cotidiófonos", instrumentos realizados con materiales de uso diario cuyos resultados -no solo sonoros, sino estéticos-, en ocasiones, poseen gran interés plástico. Pero la cantidad de autores tanto consagrados como aficionados que se dedican a esa rama es inabarcable, aparte de que, en general, realizan obras que responden más a una necesidad musical que escultórica.

Otro campo que se solapa con la escultura sonora es el de la lutería experimental. De este tema ya se han expuesto en el capítulo 4 algunos ejemplos de cómo sus autores se alejan de los conceptos musicales y exploran los sonidos como si de un material palpable se tratase, lo que está relacionado con la escultura sonora, dado también la belleza y originalidad de la forma y el material de algunas de estas obras.

El criterio que hemos seguido para elegir a los siguientes autores y sus trabajos para ser comentados es la consideración de que en sus obras existe un alto

porcentaje (difícil de medir cuantitativamente) de intención plástica y formal, a la vez, que, por lo general, estas esculturas no están concebidas como instrumentos clásicos con los que interpretar música convencional.

También, hemos observado que gran parte de las obras del arte sonoro actual funcionan en torno a la acción hecha por parte de un espectador activo que provoca una respuesta sonora, ya sea invitándolo a experimentar, como en las obras de los Baschet de forma directa y háptica, o a interactuar con obras de un modo menos táctil, como en el caso de la obra de Trimpin.

5.3.1. Instrumentos/Esculturas sonoras de Baschet

Las obras de los hermanos Baschet poseen el equilibrio perfecto entre escultura y sonido. Estas piezas son llamadas esculturas e instrumentos sin ningún prejuicio, tanto por ellos como por el público.

Nuestro acercamiento a su trabajo se ha realizado a partir de la lectura de los propios libros publicados por los hermanos Baschet y por medio de la consulta de la tesis desarrollada por Martí Ruiz (2015), *Escultura Sonora Baschet. Arxiu documental i classificació d'aplicacions pel desenvolupament de formes acústiques*. Esta última, se centra en el análisis y clasificación de la obra de estos hermanos, aportando todos los detalles posibles, al respecto. M. Ruiz y su equipo tuvieron la suerte de conocer a F. Baschet en sus últimos años de vida, compartiendo conocimientos y experiencias directamente con él.

François y Bernard Baschet nacieron en la década de los años 20 en Francia y desarrollaron su carrera tras la Segunda Guerra Mundial.

Sus primeros resultados en cuanto a la lutería experimental fueron el desarrollo e implementación de instrumentos convencionales, como la guitarra y otros instrumentos de cuerda, a los que añadieron una caja de resonancia inflable con la

idea de que fuesen utilizados como instrumentos de viaje. A ello, le sucedió una experimentación alejada de la tradición instrumental, basada en sus investigaciones de las funciones de los elementos constitutivos de un instrumento de música (oscilador, acción, gama, difusor, añadidos de resonancia, etc.), dando como resultado los *Cristales Baschet* (Figura 5.28 y 5.29), instrumentos que producen el sonido a partir de la fricción de los dedos mojados en agua sobre unas varillas de cristal conectadas a distintas barras de metal, y encastradas a una gruesa placa de metal (colector) que filtra y transfiere el sonido a formas cónicas de acero que actuaban como difusores del sonido (Loup Barrow, 2012). Estas varillas son capaces de cubrir varias escalas de notas. Con estos y otros instrumentos, ellos junto con el matrimonio Larsy (Figura 5.30) consiguieron realizar espectáculos en los que interpretaban, incluso, piezas de música clásica. Más tarde, su obra se liberó de la música tradicional, prestándose a la participación de los espectadores y dejando en sus manos la capacidad de generar sonidos, ruidos o música, en definitiva, experiencias sonoras.

La obra de los hermanos Baschet se hizo muy popular a partir de los años 60 por plasticidad, sonoridad y por su carácter participativo, hasta el punto de recorrer el mundo con la exhibición de exposiciones, la realización actuaciones y talleres y la instalación esculturas sonoras monumentales (fuentes, campanarios y relojes).

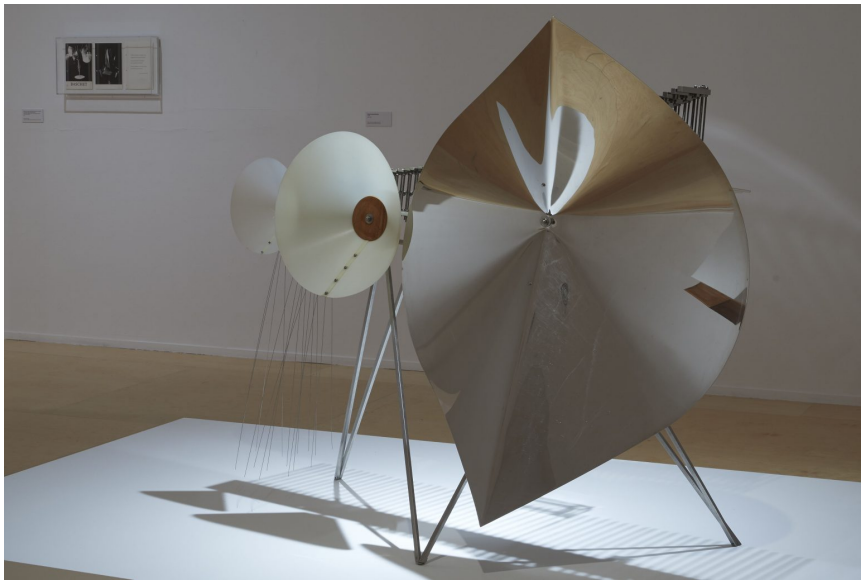


Figura 5.28. Baschet, F. y B. (s. f). *Cristal Baschet* [escultura sonora/instrumento musical de metal y otros materiales]. Fuente: Joaquín Cortés (Archivo fotográfico Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía)



Figura 5.29. Baschet, F. y B. (1991*). Detalle del teclado de un Cristal Baschet con las varillas de cristal y encastradas a las varillas roscadas.* Fuente: Thomas Bloch



Figura 5.30. Baschet, F. y B. (1962). Los Baschet y la familia Lasry con las estructuras Baschet. Fuente: *Life Magazine*

También, sus estructuras[174] sonoras han sido utilizadas por músicos experimentales y del ámbito del rock y el jazz progresivo.

A priori, se trata de piezas sin un trasfondo conceptual complejo, sin embargo, resultan muy interesantes las diferentes lecturas y aplicaciones que ellos mismos dieron a sus obras. En este sentido, son necesarios para entender sus planteamientos términos como plasticidad, didáctica, inclusión, experimentación, arte y ciencia.

En primer lugar, propusieron una apuesta clara por la sinergia entre arte y ciencia. Un arte que responde a los conocimientos científicos derivados de sus investigaciones realizadas en torno a la acústica y la instrumentación, que tienen como respuesta una experimentación sonora y plástica. Sus planteamientos nos han servido de base y ejemplo en numerosas ocasiones durante el proceso de esta investigación.

174 Término con el que los hermanos Baschet se referían a sus obras.

En sus trabajos, la parte plástica se encontraba al servicio de la función sonora, es decir, las formas y estructuras eran una respuesta o una solución estética a los planteamientos y mecanismos para producir sonidos. Ejemplo de ello es que, a veces, la búsqueda de una longitud de onda más grande (tonos graves) condicionó el tamaño del instrumento. Las estructuras, artilugios y soportes que responden a necesidades técnicas no presentaban más variaciones de las que permitió su funcionamiento. Sin embargo, los difusores de sonido fueron los elementos en los que se permitieron una mayor experimentación plástica, tratando formas abstractas que ponen de manifiesto las características de los metales utilizados, excepto en algunos casos aislados en los que se reprodujeron formas animales y vegetales. En sus estructuras, las planchas metálicas están plegadas de manera que se producen tensiones y torsiones del material. Esto se traduce en curvas complejas y formas hiperbólicas que distribuyen las vibraciones sonoras en todas las direcciones del espacio. Sus piezas más maduras son estructuras elegantes que utilizan la concavidad, la convexidad y los giros de los vértices. Cuando hay uso del color, se hace a través de colores planos y primarios, algo similar a las obras de A. Calder o J. Miró.

El protagonista indiscutible de las piezas de los hermanos Baschet es el metal (acero inoxidable, acero común y aluminio), pese a la utilización en ellas de otros materiales como plástico, cartón, papel y varillas de cristal. Este metal lo utilizaron en forma de planchas, tubos, pletinas, barras y varillas roscadas a las que dieron forma pulcramente. La elección del metal en sí constituye un elemento innovador, ya que en la tradición, la madera había sido el material más utilizado para la construcción de instrumentos.

Otro aspecto destacable de la obra de los hermanos Baschet es el didáctico, ya que promovieron una sensibilidad inclusiva, que pretendía difundir y compartir

conocimientos y experiencias, diseñando objetos sonoros y pedagógicos, organizando actividades para desvelar las capacidades de escucha y juego musical de forma lúdica y activa.

También estos autores difundieron sus conocimientos técnicos, fomentaron actividades de construcción colectiva e individual de instrumentos, acompañando toda esta actividad con la publicación de libros e, incluso, *kits* con ilustraciones, materiales y medidas para construir y ampliar una escultura sonora propia (Figura 5.31). Además, hicieron hincapié en el concepto del término anglosajón "*play*" y el francés " *Joue*" que significan "jugar" y, a la vez, "tocar un instrumento", de ahí que el resultado de sus esculturas fuesen artilugios intuitivos que invitan a jugar y a ser manipulados e, incluso, a estar compuestos por módulos intercambiables y ampliables como los de un juguete de construcción *Meccano*. La intención de su obra era ser expuesta como inacabada[175] y correspondía al público participar de ella y obtener su propia experiencia sonora.

Incluso, elaboraron un instrumentario (Figura 5.32) de sus obras simplificadas con el que poder experimentar tanto en colegios como en conservatorios, con la intención de dar a conocer a los alumnos los sonidos antes que la música. Estos instrumentarios aún están presentes en una red de colegios de toda Francia, sirviendo como material pedagógico de experimentación sonora.

[175] Las piezas están perfectamente terminadas a nivel material como inacabadas, nos referimos a que es el público con su acción quien termina de dar sentido a la obra.

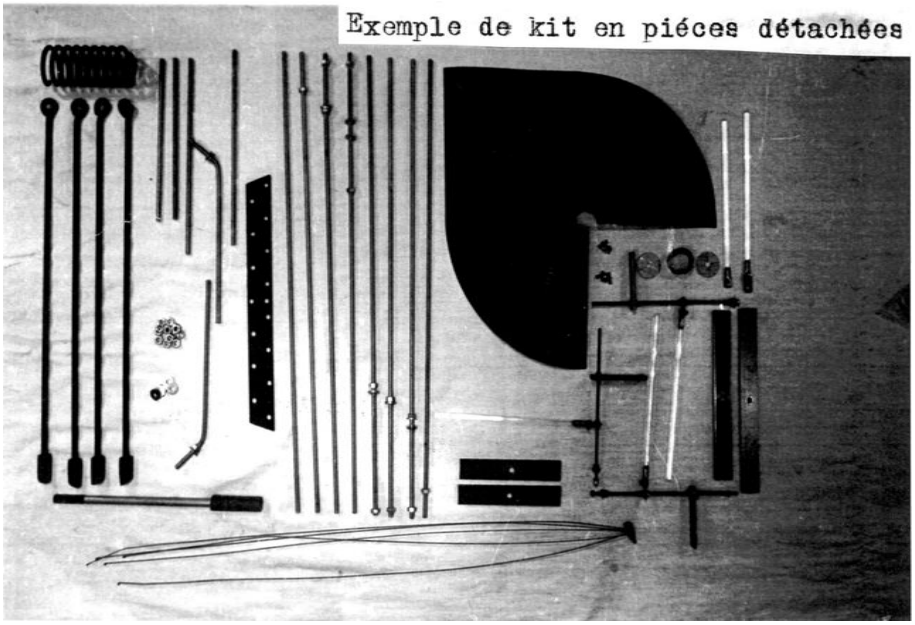


Figura 5.31. Baschet, F. (s. f.). Ejemplo de kit desmontado de juguete/ escultura/instrumento sonoro. Fuente: M. Ruiz



Figura 5.32. Baschet, B. y F. (2013). Instrumentario pedagógico. Fuente: clases musicales Les Aliziers

En las obras de los hermanos Baschet, se valoró, sonoramente, el sonido acústico[176] frente al grabado, incluso se mostraron algo críticos con que todas las investigaciones referentes a experimentación sonora de su época estuviesen orientadas a la electrónica o la electroacústica (Baschet, 2017).

Sus trabajos de esculturas sonoras/instrumentos musicales son fáciles de manejar (lo complicado es interpretar música convencional con ellos), producen sonoridades muy diversas, sonidos armónicos e inarmónicos, sonidos complejos, como los de la música electroacústica, interpretados de una forma intuitiva, que cuestiona los usos y roles exclusivos y elitistas convencionales de instrumentos e intérpretes clásicos. Por el contrario, en sus actuaciones, el espectador es invitado a ser el protagonista de su propia experiencia estética, en un entorno libre, que fomenta la exploración y permite cualquier tipo de interacción alrededor del sonido.

En algunos casos, se encuentra toda una serie de piezas autónomas, que utilizan las planchas no sólo como difusores, sino como elementos funcionales para producir movimiento al recoger la acción del viento o del agua corriente.

Técnicamente y dentro de su amplia producción, destacamos dos conceptos recurrentes, pese a que experimentaron en todas las áreas del sonido acústico. Por un lado, la idea de difusor que, como hemos visto anteriormente, es el encargado de amplificar el sonido, además de dar el carácter reconocible a estas esculturas. Por otro lado, la idea de colector (también llamado "quijada" por los Baschet), a la que hace alusión Martí Ruiz (2015), es muy interesante ya que constituye el elemento metálico en forma de gruesa pletina en la que confluyen las oscilaciones de varillas, muelles o cualquiera que sea el elemento encastrado. Este colector es una especie de circuito acústico que recibe las vibraciones, las mezcla, las filtra

[176] Ver y oír en : https://www.youtube.com/watch?v=1g6i7KUu2Lg&t=180s

por su propia materialidad y las conduce a los difusores, que son los encargados de ampliar el sonido. Se trata de un intercambio de impedancias acústicas, fenómeno a tener en cuenta en la escultura sonora y que nos describe Martí Ruiz del siguiente modo:

> Prestamos atención a la relación de estos conceptos, necesario para comprender bien el funcionamiento del oscilador, del amplificador y del difusor. Una barra de metal (oscilador) presenta una rigidez y unos modos de vibración determinados por sí mismo. Cuando empotramos esta barra en una pletina rígida (colector), estamos alterando los modos de vibración de la barra: la vibración en el extremo libre tendrá tanta amplitud que su movimiento será visible a simple vista, y mantendrá una presión interna similar a la que presentaba inicialmente; mientras que en el extremo empotrado la vibración presentará una amplitud mínima pero con una presión elevadísima (de hecho no podemos ver que se mueva a nivel macroscópico). Este gradiente de presión y amplitud entre el extremo libre y el extremo empotrado, es el que genera las vibraciones que realmente aprovecharemos (lejos del comportamiento idiofónico) para acumularlas en el colector. En ese estadio, las vibraciones son sometidas a una presión aún superior con una amplitud aún menor. Dentro del colector la vibración se acumula sin posibilidad de estimular el aire circundante y está lista para ser enviada al difusor. Éste recibe las vibraciones por contacto desde el colector. Gracias a su geometría las vibraciones se propagan desde el punto de conexión, enriquecido por los pliegues y las formas moldeadas hasta los extremos, que quedan menos rígidos. De esta forma, como los difusores son planos y finos, oscilan con mayor amplitud y en una superficie mucho mayor que la de los

> osciladores y el colector. Así se produce otro cambio de impedancia, desde la materia del difusor, al aire. El difusor, en forma de cono o de plancha con ejes plegados, recibe las vibraciones de alta presión y éstas originan en una oscilación de amplitud suficiente para estimular una vibración longitudinal en el aire, aunque sea un medio de impedancia mucho más baja. Así las vibraciones pueden devenir finalmente audibles. (2015, p. 198)

Como se advierte en este breve espacio escrito dedicado a los hermanos Baschet, sus investigaciones, resultados, exposiciones, talleres, etc. constituyen un gran aporte al mundo del arte sonoro y, muy concretamente, al de la escultura sonora acústica en metal. Por lo que no dejamos de invitar a adentrarse en el universo de su extensa obra tal y como han hecho músicos y artistas sonoros actuales que continúan reinterpretando, recreando y creando nuevas piezas. Las figuras que a continuación exponemos ilustran la manera en que dieron forma a las planchas de metal. En lo referente a la plástica tan característica que presentaron en su obra, nos parecen documentos de valor ejemplar para comenzar a experimentar con la escultura sonora.



Figura 5.33. Ruiz, M. (s. f). *Bernard Baschet plegando una plancha en el taller, la Grange de Saint- Michel-sur-Orge* [fotografía a color]. Fuente: Martí Ruiz a partir del documental de Eric Marín

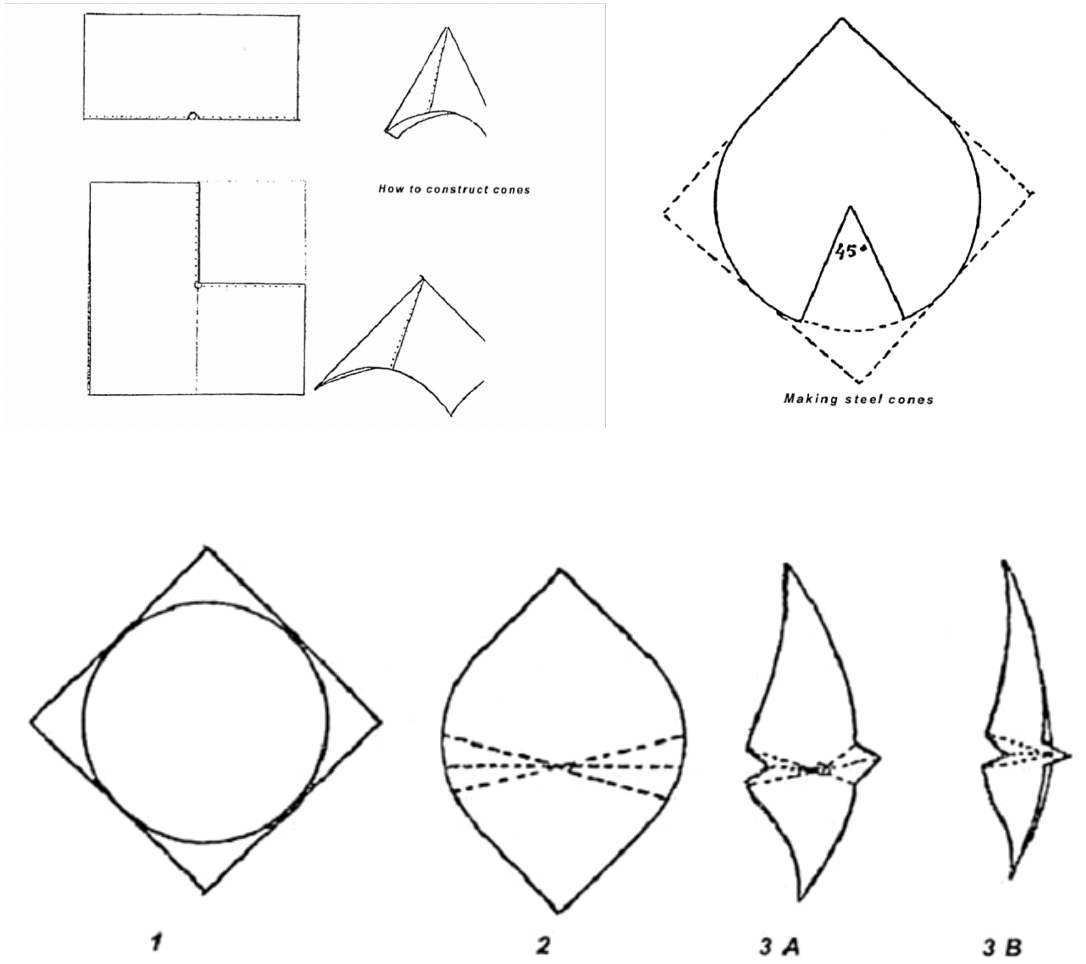


Figura. 5.34. Baschtet, F. (2017) *Ilustraciones de pliegues para distintos difusores de metal*. Fuente: Bernard and François Baschet



Figura.5.35. Baschet, M. (s. f.). *F. Baschet plegando una plancha para darle forma de hoja de loto*. Fuente: Martí Ruiz a partir de fotogramas de una película de M. Baschet

5.3.2. Las varillas idiófonas de Bertoia y León Ferrari

El uso de varillas de metal ancladas a una base ha sido otra constante en el desarrollo de instrumentos musicales y, por ende, en el campo de la escultura sonora. Se ha hecho uso de ellas teniendo o no en cuenta las proporciones necesarias para crear una gama de notas estándar y se ha valorado su apariencia y capacidad para conformar volúmenes traspasables al ser distribuidas ordenadamente en el espacio. Por lo general, en un instrumento sonoro provisto de varillas se busca el control de las notas o "texturas sonoras" emitidas por él, lo cual limita sus dimensiones y los puntos de sujeción de sus las varillas. Si se piensa en una marimba o una celesta, las dimensiones de las varillas siempre están condicionadas por su rigidez, es decir, no se utiliza una longitud o un tipo de material con el que se produzcan movimientos descontrolados y sonidos desbocados. Precisamente, esos movimientos fuera de control, habitualmente pendulares, junto con la flexibilidad del material, sonido emitido por ellas su reflexión visual constituyeron el *leitmotiv* que llevó a artistas como Harry Bertoia o León Ferrari a fundamentar parte de su trabajo en dichas varillas metálicas.

Por la singularidad de su trabajo, H. Bertoia constituye uno de los pilares y puntos de partida de este apartado. Fue un artista estadounidense de origen italiano que comenzó a trabajar como joyero y que, posteriormente, desarrolló una extensa carrera como diseñador industrial junto al empresario Charles Eames.

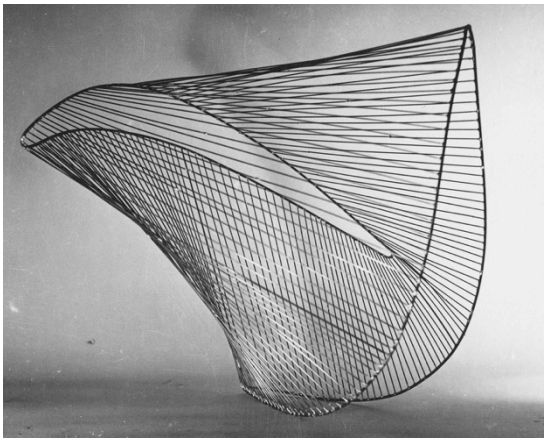


Figura 5.36. Bertoia, H. (1950). *Chair Wire forms* [silla de varillas de acero]. Fuente: desconocida

Es interesante destacar que, en sus primeros años, llegó a diseñar férulas para piernas y brazos para ser utilizadas por la industria militar y sanitaria y que, más tarde, trabajó en el diseño de mobiliario, contribuyendo a este fin, especialmente, con sus famosas *Bertoia Diamond Chair* (Figura 5.36) *o Bertoia Asymmetric Chaise* (1952) diseñadas para *Kknoll Associates inc*. Estos datos podrían pasar por anecdóticos si no fuese porque estimamos que, junto a su pasado de orfebre, fueron los gérmenes sobre los que fundamentó sus trabajos posteriores. Sus famosas sillas estaban realizadas con varillas de metal en forma de rejilla en torno a formas orgánicas, funcionales y ligeras. Bertoia llegó a afirmar que sus sillas estaban hechas con aire, tal y como ocurría en el mundo de la escultura coetánea en la que se trataba de aligerar el peso de la materia opaca (Twitchell, 2019).

En los años 60, Bertoia inició, definitivamente, su experimentación con varillas de diferentes metales en distintos calibres y medidas. Para ello, se sirvió de bronce y otras aleaciones de cobre, como el monel o el bronce berilio -de gran dureza, lo cual afectaba al sonido emitido por sus esculturas, así como a la rigidez con que podía disponer las varillas en un plano- elegidos por su sonido y color, además del acero inoxidable, seleccionado por su rigidez para confeccionar las bases de dichas obras. El citado alambre de acero inoxidable lo utilizó como un material sensual, agradable al tacto y móvil:

> Parte del atractivo de estas obras es su delicada reflectividad, ya que los bordes suaves resaltan la forma en que la luz reaccionaba a los cables, así como la textura y el calibre también determinaban el atractivo fluido y táctil de este material industrial. (Twitchell, 2019, p. 193)

Al parecer, el componente sonoro llegó a sus piezas de un modo fortuito, pues compraba grandes cantidades de varillas metálicas y al sacarlas de la caja de madera en que eran transportadas y dejarlas caer sobre el suelo estas producían sonidos, hecho que llamó su atención. Por otro lado, una vez almacenadas y montadas las varillas en algunas de las esculturas, Bertoia atisbó el potencial sonoro que tenían al rozarlas con su mano o pasar cerca de ellas y observar el movimiento y los sonidos sutiles que producían:

> Bueno, si un alambre produce tal sonido, ¿qué producirían dos varillas, o diez o cien?, y esto encaminó todo el asunto hacia una forma un poco más sistemática de investigar, de modo que hubo un período de experimentación...esto me presentó el potencial que estaba allí y que en

> realidad estaba desarrollando sonidos que probablemente no se habían escuchado antes, al menos no de esa manera. (Twitchell, 2019, p. 225)

A estos grupos de varillas iniciales añadió tubos o tambores en los extremos superiores de éstas, que aportan peso y facilitan su movimiento pendular (Figura 5.37 y Figura 5.38). Tras una corriente de aire o el tacto de los dedos, las varillas de estas esculturas se ponían en movimiento, atrayendo reflejos de luz y color de su entorno, incluso, proyectando reflejos alrededor del espacio que ocupa la escultura, además de producir ligeros susurros y sonidos. Estos movimientos permiten a la escultura expandirse y contraerse en una secuencia prolongada de pulsos que, gradualmente, se vuelven cada vez más sutil a medida que su energía disminuye.



Figura 5.37. Bertoia, H. (1975). Sin Título[escultura sonora de cobre berilio y bronce naval]. Fuente: The Standard Oil Commission, USA

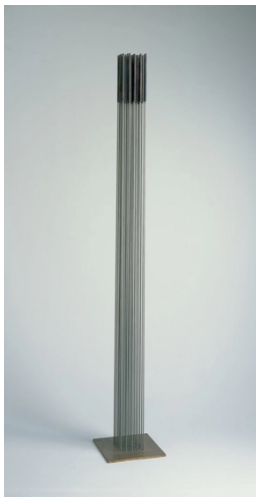


Figura 5.38. Bertoia, H. (1975). Sin Título[escultura sonora] Fuente: R. H Hensleigh and Tim Thayer

Bertoia concibió estas piezas como esculturas sonoras que podían ser tocadas como instrumentos naturalistas/mecánicos y grabó con ellas varias actuaciones sonoras bajo el título *Sonambient* en la década de 1970. Usó varios términos como *tonals*, *sounding pieces*, *y singing bars* para referirse a sus obras (Figura 5.39).

Por otro lado, trabajó con algunos *gongs* con un amplio rango de sonido, con formas orgánicas, geométricas y acabados patinados, que podían ser tocados con las manos, mazas o los dedos.



Figura 5.39. Bertoia, H. (s. f.) Esculturas sonora del artista en su estudio. Foto: The State 51 Conspiracy. *The Wire*.

Técnicamente, las grabaciones se basaron en composiciones seriales y perfectamente alineadas. Fue clave una adecuada elección y manipulación de las varillas, ya que la limpieza, orden y verticalidad con la que están montadas son sobresalientes, pues no presentan soldaduras visibles, por lo que, posiblemente, están encastradas en la base de metal inferior y soldadas por la parte interior o, en su defecto, las soldaduras están realizadas por la parte visible con gran dominio de

la soldadura autógena, pero no hemos tenido la suerte de poder analizarlas *in situ* para poder determinar con claridad el modo de construcción de estas obras.

En otra serie de obras Bertoia se valió de haces verticales de varillas que fijaba ordenadamente de su extremo inferior sobre pesadas planchas de metal y probó con distintas configuraciones de estas a agruparlas, retorcerlas y soldarlas a una pequeña copa de metal que se ajustó a la circunferencia del paquete de varillas. La longitud y el peso de los cables determinaban el material y el tamaño de la base. En algunas obras y para evitar que una ésta colapsara por su propio peso, insertó una varilla de acero inoxidable más gruesa en su centro ocultándola de la vista del espectador rodeándola, cuidadosamente, con los alambres que formaban la pieza, incluso creando efectos imposibles en los que las obras se hinchaban o balanceaban al tener un núcleo invisible más corto que las varillas expuestas a la vista.

No hay una búsqueda tonal en estas esculturas sonoras, no se obtienen de ellas notas musicales reconocibles con las que interpretar una composición musical clásica, se trata de "ambientes y texturas" sonoros que se producen con el choque de unas varillas con otras y con los tubos superiores, que funcionan a modo de pequeños difusores del sonido.

El argentino León Ferrari (1920-2013) es otro artista que trabajó directamente con las varillas como material sonoro y escultórico, pese a que el apartado de esculturas sonoras representa un pequeño periodo de su extensa obra. Realizó obras de arte conceptual desde los años 60 hasta su muerte, en unas ocasiones obras críticas con la religión y la política y en otras ocasiones, meramente, experimentales y poéticas (Giunta, 2005). Esa misma actitud crítica en contra de la dictadura de su país hizo que se viese obligado a exiliarse a San Paulo, Brasil

(1976). En su nueva residencia[177] tubo la suerte de encontrar un clima de experimentación artística al que se sumó y que le llevó, entre otras muchas experiencias, a la creación de sus primeras esculturas sonoras basadas, en el instrumento brasileño llamado *birimbao*. Él ya había trabajado con anterioridad con metal y con varillas para realizar sus esculturas denominadas *prismas*: marcos metálicos en los que dibujó, espacialmente, con varillas de acero inoxidables soldadas con plata. Por otro lado, la idea de jaula de pájaros era una imagen recurrente en sus trabajos más poéticos. En algunos casos, construyó obras con varillas de acero alineadas verticalmente y fijadas por sus extremos inferiores a una base. Algunas de ellas desaparecieron, como en el ejemplo de la pieza *Cajón* o el de *Medusa,* en la que las varillas estaban suspendidas del techo, y tras ser descubiertas por medio de la visualización de fotografías por la *Fundación Augusto* y *León Ferrari Arte y Acervo*, fueron reconstruidas para su disfrute. En ellas, el autor trató de mostrar el arte como una experiencia, en este caso visual, acústica y háptica (Giunta, 2015). Él mismo experimentó con sus propias esculturas sonoras en numerosas *performances* (Figura 5.41), describiéndolas como una invitación a vivir la música de manera lúdica .

[177] Brasil ha sido cuna de experimentación sonora e instrumental en los años 60, con nombres tan importantes Walter Smetak, Hermeto, Pascoal o más adelante Guimaraes.



Figura 5.40. Ferrari, L. (1979) *Berimbau* [escultura sonora en acero]. Fuente: MASP. Archivo LF.

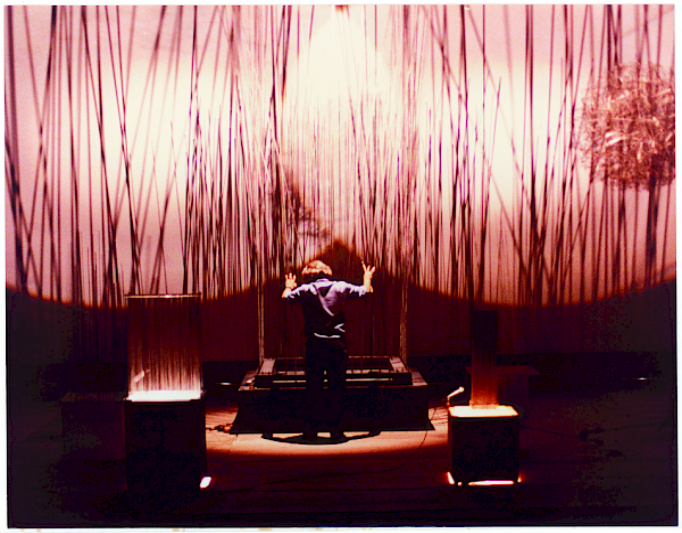


Figura 5.41. Ferrari, L.(1981) *Performance del autor en el SESC (Sao Paulo)*. Fuente: desconocida.

Para entender mejor a León Ferrari y su punto de vista ante sus esculturas sonoras, se nos hace ineludible reproducir parte del texto que el propio autor dedicó a esta serie, ya que explica con detalle las aplicaciones y expectativas sonoras que él tenía de ellas, así como muestra una lectura poética de la obra, lo que la diferencia del trabajo de otros artistas como Bertoia, que pese a ser de similar aspecto, no destaca por poseer elementos metafóricos. En el caso de los *Berimbau* (título que dio a esta serie de obras) estableció una metáfora entre las varillas de las esculturas y las de jaulas o cárceles con barrotes flexibles que permiten a presos o a pájaros disfrutar de la libertad:

> [...] Como instrumento musical, el artefacto permite multiplicar notas, tonos, timbres, e intensidades modificando la altura, flexibilidad, dureza, elasticidad, diámetro, calidad del acero de sus barras. Por otro lado el

choque de dos barras vecinas, o alternadas, o de tres barras de un lado, con una del lado opuesto, o de una de cada esquina, o de todas las de un lado, o de una de las gruesas con una fina del lado opuesto, o de diez finas apretadas con una mano, o con dos manos, o de dos de las medianas con una de las finas y dos de las gruesas del mismo lado, o de lados contiguos, u opuestos, o dos finas del norte con una gruesa del sur, una fina del norte con una fina del oeste con dos medianas del este, o todas las finas del sur golpeadas una por una con una gruesa del norte o del este o del oeste, por ejemplo, permiten obtener un grupo de sonidos que podemos llamar gobernados o primarios, que tendrán diferentes matices según el lugar donde se produce el choque [...]

¿Cuáles son las leyes que vinculan un dibujo con la música resultante o la música con las rayas y choques y cruces que ella requiere? Es una de las preguntas que este instrumento se propone contestar. ¿Qué tipo de estética visual originará determinada estética sonora? [...]

Y si se mueve un grupo de barras finas sus vibraciones, que se contagian y corrigen recíprocamente, se transforman en una caricia que podemos regalar a la mujer querida que nos acompaña. Los pájaros que añoran aquel nunca más repetido ni igualado instante de felicidad cuando el viento rompió la jaula, podrán entrar en esa jaula abierta, fingir el llanto que los años disolvieron y escapar como aquella vez, escapar, escapar de nuevo. O para quien tenga la prisión constantemente en sus pesadillas sentirá el consuelo, la esperanza que dan las rejas flexibles que ceden al menor esfuerzo[...]

> [...] Clavado en una plaza o en un campo liso, tan alto como los pinos ausentes, el artefacto tendrá en la madrugada al aire como músico compositor. Comenzará quieto a moverse lento, a jugar al encuentro fingido en dibujos silenciosos contra el cielo y en su sombra escurridiza en el suelo contra el sol, y el primer roce casi callado de dos lanzas del norte o del sur nos dirá sin mirarlo qué viento está llegando desde el sur o desde el norte y se enredará el cañaveral con sus sombras con sus gritos en un lenguaje como el de las banderas en el mar pero donde algunos mástiles transmitirán los significados fríos y otros, los delgados, los tonos timbres matices las pasiones que los desmienten o multiplican. (Giunta, 2005, pp. 303-304)

Por último, en cuanto a las técnicas utilizadas por Ferrari no hay demasiado que resaltar. Se trata de varillas de acero inoxidable (muy elásticas y resistentes) del grueso que exija la dimensión de la pieza[178]. Esto las hace muy pesadas. En este caso, al contrario que en la obra de Bertoia, las varillas no mantienen una perfecta y limpia verticalidad ni poseen elementos que las ayuden a pendular. Es su propio peso, su altura y la fuerza del espectador que interactua, lo que las deforma. Ferrari compuso espacios de base cuadrangular, que podían ser ocupaos por el espectador, sobre soportes que acostumbran a ser de madera pesada u hormigón, en el caso de que la obras se expusiera en el exterior. A priori, no se observa un estudio profundo de la acústica en ellas, sino que, más bien, se realizaron de un modo intuitivo, basado en lo plástico y, a pesar de que Ferrari habla de las notas que se pueden producir dependiendo de la distancia de la

[178] En algunas actuaciones, una persona interactúa con las barras que al ser de un diámetro superior a los 25 mm de sección resisten el peso de una persona y vuelven a su estado inicial una vez concluida la acción.

varillas en sus escritos referentes al *Berimbau*, creemos que lo hace de una manera un tanto vaga, ya que estas barras macizas y sus dimensiones no dan pie a la formación de armónicos como se acostumbra a escuchar en otras esculturas e instrumentos sonoros similares y hechos con tubos o varillas.

En la actualidad, se encuentran algunas similitudes con estas últimas obras citadas de Ferrari y las del suizo Etienne Krähenbühl, quien, habitualmente, trabaja con acero y posee algunas piezas bastante populares, como es el caso de su serie *Big Bang* (Figura 5.42) popularizada a través de las redes sociales. En ella, un gran número de tubos y varillas macizas han sido colgados de una estructura mediante un hilo de acero. Dichos elementos colgados penden en el espacio y constituyen un volumen esférico traspasable. Al principio, estos elementos se encuentran recogidos en un haz que posteriormente es liberado en un acto performativo. La energía cinética resultante es la responsable de movimiento de aproximación y alejamiento de las piezas, haciendo que el conjunto del volumen conforme la esfera y ésta se modifique rítmicamente -similar al efecto que comentábamos de las obras de Bertoia- hasta que estos movimientos, prácticamente, desaparecen, dando paso a una tranquila y vibrante esfera (Krähenbühl, 2018). No obstante, el movimiento del viento o un roce suave del espectador activan de nuevo el movimiento y, por consiguiente, el sonido de estas obras. En el movimiento de las partes de la esfera se produce la colisión de los elementos colgantes de la pieza y con ello aparece un sonido rítmico e impredecible.

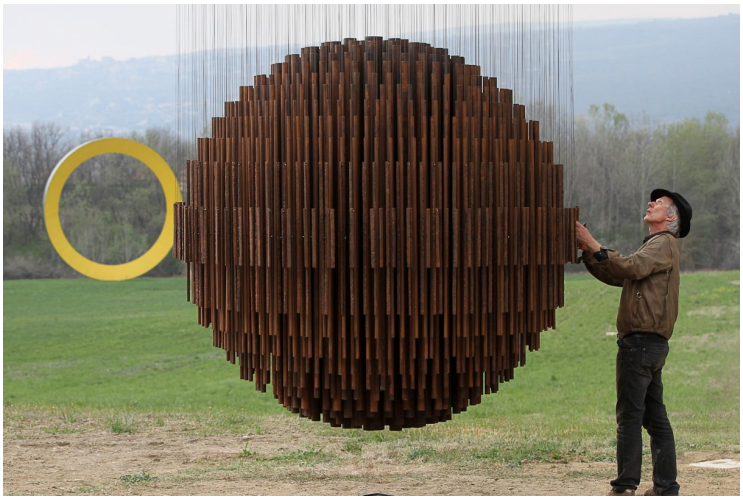


Figura. 5.42. Krähenbühl, E. (2012). *Big Bang Samsara* [escultura sonora en metal]. Fuente: web del autor

Otro ejemplo del mismo autor son sus conjuntos denominados *Flores del mal* que guardan cierta similitud con las varillas verticales y pendulares de Bertoia, aunque con un aspecto mas orgánico y menos ordenado. En este caso, también se espera del espectador que, si lo desea, sea activo y las mueva libremente para ser partícipe de una experiencia sonora.

Por otro lado, la transcendencia plástica y pulcra de H. Bertoia parece llegar hasta la actualidad reflejándose en los trabajos del japonés Byoungho Kim, quien plantea una experiencia inmersiva de sonido, en unas ocasiones a partir de los sonidos ambientales y en otras con pequeños sonidos eléctricos (Kim, 2019). Sus obras son realizadas con la idea de la acumulación de varillas (en este caso de aluminio) que se expanden a partir de un punto central, como si representasen el proceso de expansión de la materia en una explosión (Figura 5.43). En otros de sus trabajos, el mismo título de las piezas alude al sonido, como en *The Progression of Silence* (Figura 5.44), obra conformada de varilla, cuyo final está rematando con formas atrompetadas de cobre.



Figura. 5.43. Kim, B. (2011*) 'Soft Crash'* [escultura sonora en metal]. Fuente: Byoungho Kim

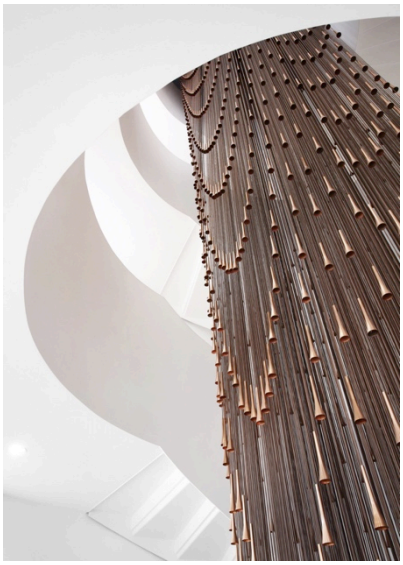


Figura. 5.44. Kim, B. (2013) *The Progression of Silence* [escultura sonora en metal]. Saatchi Gallery, London. Fuente: Byoungho Kim

5.3.3. Largas cuerdas. Alvin Lucier, Ellen Fullman y Santiago López

Las cuerdas de metal u otro material han sido utilizadas en las esculturas sonoras por artistas destacados, como Ellen Fullman, Alvin

Lucier o, recientemente, Santiago López. Generalmente, estas obras necesitan de la interacción de un intérprete o espectador activo. Con ellas se transportan los principios de los instrumentos de cuerdas a una nueva escala plástica.

Ellen Fullman es la artista sonora que más ha desarrollado de un modo metodológico y a lo largo del tiempo el trabajo escultórico sonoro con cuerdas largas metálicas, ya que empezó en los años 70 del pasado siglo y aún en la actualidad sigue trabajando con ellas (Fullman, 2003). Con su *Long String Instrument* consiguió crear instrumentos valiéndose de varias cuerdas largas[179] fijadas a los extremos de un habitáculo, además de con cajas de resonancia y clavijas de afinación. Frotando estas cuerdas de metal con las manos impregnadas en resina de colofonia, cual arco de violín, la artista puede crear notas y acordes precisos y vibrantes que altera según su desplazamiento y la presión de sus dedos, haciendo aparecer unos u otros armónicos (Figura 5.45). En una entrevista realizada para el *magazín Kooz Arch* decía: "Tocar mi instrumento es gestual, táctil. Siento que estoy moldeando el sonido con los cambios de presión de mis dedos, dando forma a la dinámica y el timbre" (Zambeleti, 2023, párr. 8).

[179] Con cuerdas largas nos referimos a una medida subjetiva, dependiendo del espacio en que se encuentre, llegando a ser, incluso, a 20 metros.



Figura 5.45. Fullman, E. (2002). La artista interpretando una de sus obras de largas cuerdas metálicas en *Other Minds*. Festival 8. San Francisco. Fuente: J. Fago.

Además, ha diseñado un sistema de notación para escribir sus piezas musicales en las que especifica la nota, el tiempo y el espacio recorrido, así como también ha creado arcos de caja con los que interpretar acordes y conjuntos de acordes.

E. Fullman confiesa haber aprendido y tomado un primer interés en este tipo de trabajos a partir de Alvin Lucier (Zambeletti, 2023). En *Music on a Long Thin Wire* (1977), Lucier extendió un cable a lo largo de una habitación de grandes dimensiones. Los extremos del cable fueron conectados a los terminales de un altavoz. A su vez, conectó un oscilador de onda sinusoidal a un amplificador. Seguidamente colocó un imán en forma de horquilla sobre el cable en uno de sus extremos. En ambos extremos del cable y debajo de él se colocaron puentes de madera en los que se insertaron micrófonos de contacto, que se conectaban, a su vez, a

un sistema de sonido. Los micrófonos captaban las vibraciones que el cable transmitía a los puentes y están eran se enviadas a través del sistema de reproducción. Al variar la frecuencia y el volumen del oscilador, se podía producir una rica variedad de deslizamientos, cambios de frecuencia, ritmos audibles y otros fenómenos sonoros (Lucier, 2021). Cabe destacar que la longitud del cable era más una cuestión estética y de dimensiones que algo útil, pues según reconoció el mismo Lucier, según Saunders: "un cable corto y delgado habría funcionado igual de bien, si no mejor" (2009, pp. 305-311). No obstante, esta segunda elección podría haber parecido un experimento casero más que una pieza artística.

Otros artistas como Terry Fox o Paul Panhuysen (Figura 5.46) han seguido la senda de estas instalaciones de largas cuerdas añadiendo resonadores de metal para amplificar y modular el sonido evitando cualquier recurso electrico (López, 2018).

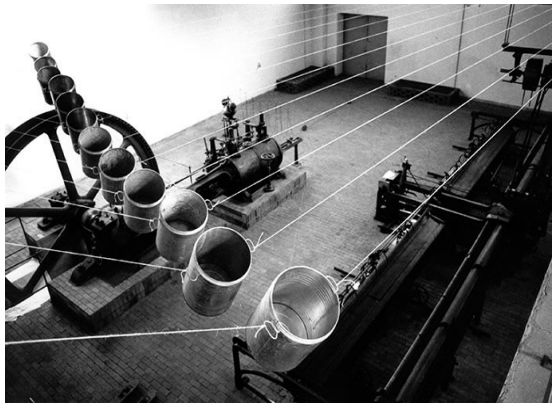


Figura 5.46. Panhuysen, P. (1990). *Sznurki. Linky, Knoty or Singing the World into Existence* [escultura sonora de cuerdas y recipientes de metal]. Fuente: Santiago López

Un caso cercano a los citados anteriormente, es el del artista sonoro valenciano Santiago López, que en sus numerosas acciones performativas ha instalado largos cables similares a los usados por E. Fullman en espacios arquitectónicos. Él ha amplificado el débil volumen que producen las esculturas mediante micrófonos, conectandos a amplificadores que, además, de elevar el volumen, pueden filtrar y distorsionar los sonidos. López sustituye en este caso el oscilador de Lucier por acciones perfomativas, en las que recorre la longitud de la cuerda golpeandola, frotandola, pulsandola, etc., obteniendo sonidos ensordecedores. En otras ocasiones, une las cuerdas a objetos comúnes -con los que encuentra similitudes con instrumentos de cuerda- e instala *piezos* para poder amplificar la escasa amplitud sonora de estos. Normamente, recurre a objetos comunes metálicos, que le proporcionan un mínimo de sonoridad y resonancia. Este es el caso de *Concierto para tendedero* (2011) en el que extrae todas las posibilidades sonoras a un tenderero metálico de ropa, tratando de desmitificar el noble acto de la interpretación musical y eligiendo un objeto tan cotidiano como este para situarlo como epicentro del espectáculo (López, 2018).

5.4. Escultura sonora pública acústica

La escultura sonora pública ha recurrido a las distintas formas de activación que venimos presentando, entiéndase dicha escultura como aquella instalada de forma permanente o no a la intemperie y fuera de la protección del museo, la sala de exposiciones o galería de arte. No obstante, hay una predominancia de esculturas sonoras azarosas que dependen del viento, agua, calor, actividad de animales e, incluso, de los

rayos de las tormentas para emitir sonidos, frente al resto de mecanismos de activación. Esto se debe a dos motivos principales: por un lado, la propia belleza y las metáforas artísticas que se plantean al dejar a la naturaleza hacer a su antojo y, por otro, por la cuestión práctica que elimina motores, mecanismos electrónicos y demás elementos que implican un posible deterioro de la obra expuesta a los cambios climáticos, máxime si se tiene en cuenta que uno de los objetivos de la escultura pública/monumental es la de perdurar en el tiempo. También con el pretexto de su conservación se ha recurrido con en gran parte de estos casos, si cabe, a los principales metales para su construcción.

Desde siglos pasados, energías como el agua y el viento han sido aprovechadas para hacer sonar "instrumentos públicos". Un ejemplo conocido es el de las arpas eólicas[180], diseñadas para ser instaladas en las partes altas de las construcciones, donde corría el viento y las hacia sonar. Los órganos de agua también son un recurso y ejemplo común al que hemos hecho mención en el apartado 4.2.3.1.

En el campo de las artes plásticas, los autores que comenzaron con la escultura sonora sacaron su obra a la calle en forma de monumentos, capaces, en muchos casos, de aprovechar las energías naturales de la naturaleza. Por lo general, aquellas esculturas que han estado provistas de

[180] El arpa eólica es un antiguo instrumento de cuerda que se colocaba a la intemperie para que el viento y el aire la hicera sonar al mover sus cuerdas esporádicamente. Athanasius Kircher fue el inventor de la primera arpa eólica en el s. XVII. A su vez basada en la obra literaria de Giovani Battista Della Porta, titulada *Magia naturalis,* en la cual se especifica la posibilidad de que instrumentos como liras y arpas puedan sonar por acción del viento.

mecanismos extras como motores han dejado de funcionar, caído en el olvido y, en el peor de los casos, han sido retiradas de su emplazamiento.

Es el caso de algunas piezas de los hermanos Baschet. En la década de los 60, realizaron numerosos monumentos sonoros a lo largo de todo el mundo en países como Alemania, México, EE. UU., España, Francia. Parte de estas esculturas fueron efímeras y algunas aún se conservan pese a que, en algunos casos, han dejado de funcionar. Gracias a las asociaciones creadas alrededor de la figura y la obra de estos autores, estas obras están siendo restauradas y puestas en marcha. Un ejemplo de ello es la escultura sonora situada en el colegio de Blaise-Pascal Saint-Michel-sur-Orge (Figura 5.47), realizada en 1968, que era la encargada de marcar las horas de entrada y salida de los alumnos a clase. El motor de esta escultura sonora se estropeó y la pieza fue olvidada. En 2017 fue restaurada y puesta en marcha por la *Assotiation estructures sonores Baschet* (Assotiation estructures sonores Baschet, s. f.; Cosson, 2017).

En Melbourne, en 2011, Anton Hasell y Neil McLachlan, junto con Swaney Draper Architects, crearon *Federation Bells*, un conjunto de 39 campanas de bronce volteadas e instaladas sobre postes de 3 a 4 metros. Para hacer sonar este enorme carrillón, se disponía de un sistema electromecánico instalado en cada campana, así como de un proceso de composición *online*. De este modo, cualquier ciudadano del mundo con acceso a internet podía crear su propia composición, la cual entraba en una lista y sonaba a una hora determinada en la instalación (Hasell y McLachlan, 2011). La página web para la composición está parada desde 2020, con lo que, en la actualidad, solo se puede disfrutar de la pieza de una manera visual y no sonora.

La dependencia de sistemas eléctricos e informáticos, ha sido la principal causa para el abandono de la función sonora de esculturas públicas, hasta la fecha. Lo que les augura un tiempo de vida limitado, algo que contrasta con el concepto clásico de escultura monumental, la cual se pretende que perdure el mayor tiempo posible. No obstante, este tipo de piezas sonoras siguen produciéndose, puesto que entendemos que el concepto de eternidad para la obra de arte, hace tiempo que está cambiando.

Como ejemplos de obras autosuficientes tenemos a H. Bertoia que en 1975 llevó a cabo una serie de piezas para la *Standar Oil Company* (Figura 5.48) de Chicago, la ciudad del viento, que aún funciona en la actualidad. Ese mismo viento es el que el autor se propuso aprovechar para que activase este enorme conjunto de espigas o varillas metálicas con las que solía trabajar en su taller, pero en formatos más pequeños. La sencillez de su funcionamiento ha hecho que las piezas se mantengan en funcionamiento hasta la actualidad, si bien han sufrido cambios de ubicación y la separación de parte de sus módulos.



Figura 5.47 . Baschet , F. y B. (1968). Campana del colegio Blaise-Pascal Saint-Michel-sur-Orge [escultura de acero inox. y motor eléctrico]. Fuente: Assotiation estructures sonores Baschet



Figura 5.48. Bertoia, H. (1975*). Monumento para Standar Oil Fundation Chicago* [escultura sonora en bronce berilio]. Fuente: Harry Bertoia Fundation

En otro sentido y con la premisa de mecanismos sencillos para el funcionamiento de las esculturas sonoras, nos encontramos con Douglas Hollis, escultor sonoro estadounidense que ha desarrollado su obra siempre teniendo en cuenta la interacción de ésta con el paisaje. Tal vez uno de sus trabajos más popular sea *A Sound Garden*, un conjunto de doce torres metálicas de más de seis metros de altura en cuya parte superior se encuentra un tubo de órgano enfrentado a una veleta. Al soplar el viento, esta se alinea con la corriente y se producen sonidos suaves que, en combinación con el resto de las torres crean acordes. Esta obra se encuentra en el parque de NOAA en Seattle desde 1983 y goza de cierta popularidad en parte porque la banda rock estadounidense *Sound Garden* tomó su nombre del conjunto escultórico. Al margen de esta anécdota, se trata de una escultura inspiradora, realizada en acero inoxidable, con un aspecto rígido similar a las estructuras de las torretas en las que se

afianzan los cables de la electricidad. La combinación de su aspecto frío y mecánico contrasta con el paisaje natural que las rodea y con los sonidos variables y orgánicos que surgen del conjunto escultórico y que hacen del paseo a través del parque una experiencia original.

De este autor también en la obra *Aeolian Harp* (Figura 5.49), un harpa de acero inoxidable de unos siete metros de altura, que posee siete cuerdas. El sonido de éstas provocado al vibrar por la acción del viento es amplificado por tres discos circulares, también de acero, a los que se conecta el arpa mediante cables metálicos a modo cuerdas.

Tratando de acercar la experiencia al público de un modo más cercano y lúdico, D. Hollis realizó *Singing Beach Chairs* (Figura 5.50), dos sillas gigantes situadas en la playa de Santa Mónica (Los Ángeles). Tras ellas hay dispuestos un conjunto de tubos de aluminio que suenan cuando el viento incide con determinado ángulo. El espectador se sube a las sillas (de tamaño monumental) y contempla el paisaje de la orilla de la playa y el horizonte con sus variaciones lumínicas horarias, mientras es envuelto por los sonidos del viento (Hollis, 2024).

Otra obra destacada de su producción es *Archimedes (Over the Waters*)[181] (Figura 5.51). Se trata de dos partes iguales con forma de plato de unos 2.40 metros, enfrentadas por su parte cóncava y separadas por una distancia de 24 metros. Cada una dispone de un asiento y están realizadas en bronce fundido. El conjunto se encuentra instalado en la Plaza del Exploratorium de Berkley. La curva parabólica que le da forma recoge y enfoca ondas sonoras y las refleja sobre los espectadores. Si ambos platos

[181] No podemos evitar pensar en los tornavoces diseñados por Gaudí para la catedral de Mallorca, pensados para amplificar la voz del portavoz de los actos que en ella tienen lugar.

están ocupados en sus respectivos asientos por personas, las conversaciones más sutiles mantenidas entre ellas pueden ser oídas por el observador de la pieza de enfrente



Figura 5.49. Hollis, D. (1976). *Aeolian Harp* [escultura sonora en acero inox.]. Fuente: Exploratorium web



Figura 5.50. Hollis, D. (1987) *Singing Beach Chair* [escultura sonora en acero y aluminio]. Fuente: Public Art Archive



Figura.5.51. Hollis, D.(2017). *Archimedes* [escultura sonora en bronce]. Fuente: Exploratorium web

. Los sonidos ambientales se transforman cuando se está en solitario sentado en uno de sus asientos. Esta obra está basada en los reflectores parabólicos que el científico griego Arquímedes diseñó a modo de arma contra barcos enemigos. La reflexión de la luz concentraba todas las ondas en un punto y era capaz de hacer arder objetos, algo así como el efecto de una lupa gigante. En este caso, la parte cóncava tiene textura y no está pulida para evitar la reflexión de la luz y posibles incendios (Exploratorium, 2017).

Luke Jerram y el Instituto de Investigación de Sonido y Vibraciones de la Universidad de Southampton, junto con el Centro de Investigación de Acústica de la Universidad de Salford realizaron *Aeolus Wind Pavilion*[182], escultura de nombre inspirado en Eolo, señor de los vientos según la *Odisea* (Jerram, 2011). Se trata de una especie de arpa eólica gigante de unos 6 metros de altura compuesta por 310 tubos de 2.5 metros de acero inoxidable pulido, lo que provoca brillos y reflejos, así como continuos juegos con la luz. En los tubos hay instaladas finas cuerdas de nylon que reaccionan vibrando ante cualquier cambio y estimulo del viento, esta vibración es transferida a membranas que hay situadas en la parte abierta de algunos tubos y que, junto a estos, amplifican y dirigen el sonido hacia los espectadores que hay bajo el arco del pabellón. Otros tubos no tienen cuerdas pero están afinados en una escala eólica y suenan en el espectro de las bajas frecuencias.

[182] Ver en: https://www.youtube.com/watch?v=__YdjypIZ_o



*Figura 5.*52. Jerram, L. (2011*) Aeololus Pavilion Wind* [escultura sonora de acero inoxidable]. Fuente: L. Jerram

No hay ninguna energía eléctrica que intervenga y la escultura solo se vale del viento para hacer visible un mapa eólico cambiante del paisaje. Otra faceta de esta obra escultórica, a parte del sonido, es la visual y estética. Al mirar a través de los tubos pulidos y teniendo en cuenta el cambio de luz diario, se producen distorsiones y visiones de interés en un paisaje enmarcado por las iridiscentes circunferencias de la sección de estos.

La pieza hizo una gira, entre 2011 y 2012, por distintas ubicaciones de Inglaterra hasta estar durante una estancia más larga en *Canary Wharf* del *Canada Square Park* de Londres.

El propio L. Jerram indica en su página web cuál hubiese sido la ubicación ideal para la instalación de la pieza con un montaje digital sobre una lámina de agua que producía un reflejo convirtiendo la pieza en un anillo completo. Pero la materialización del proyecto ha ido llevándolo por distintos lugares, consiguiendo mantener una relación con espacios muy

distintos, tanto urbanos como rurales, lo cual convierte a la escultura en una especie de gigante e itinerante instrumento musical cuya sensibilidad e interpretación sonora se ve afectada por las características del paisaje en que se encuentra, renovando constantemente la vitalidad de la obra.

Otros creadores de escultura sonora monumental son los arquitectos Mike Tonkin y Anna Liu, que realizaron *The Singing Ringing Tree* dentro de un proyecto denominado *Panopticons*. Se materializó en 2006, en Lancashire (Inglaterra). Se trata de una escultura de más de 4 metros de alto, compuesta por 300 de tubos de acero galvanizado, dispuestos horizontalmente hasta crear un volumen semejante al de un árbol. Los tubos están dispuestos en varias direcciones, por lo que hay más posibilidades de que el viento incida con el ángulo adecuado para hacerla sonar (Marchini, s. f.).



Figura 5.53. Tonkin, M. y Liu, L. (2006*) Singing Ringing Tree* [escultura sonora en acero galvanizado]. Fuente: Childzy

Por su parte, Liam Curtin y John Gooding diseñaron *Blackpool High Tide Organ* como parte de la serie de esculturas *The Great Promenade Show*, realizadas en el New Promenade de Blackpool, en Reino Unido, en 1996 (Curtin, s. f.). La escultura es un órgano de agua cuya imagen es una especie de tentáculo de 15 metros de altura, realizado en acero corten y provisto de 8 tubos de cobre conectados, a su vez, a otros 18 que están situados bajo el paseo marítimo en el que está instalada. Cuando se produce la marea alta, el agua empuja el aire de los tubos que hay situados bajo el paseo y estos hacen sonar a los tubos del órgano que conforman un acorde en Si bemol. La calidad e intensidad de la escucha dependerá del nivel en que se encuentre la marea, pues 2 o 3 horas antes de que esta suba o baje completamente, es cuando se siente una mayor actividad sonora, puesto que el agua está más agitada y entra y sale de los tubos con mayor continuidad y fuerza. En días tranquilos el órgano permanece en silencio o con un leve pitido (Predota, 2015). En los días de tormenta se escucha estruendoso e irritado. En esta obra, se oye la actividad y energía del agua, así que es el propio mar quien "interpreta o toca este instrumento". Al estar afinado en clave temperada, su autor ha sugerido también proponer a distintos compositores la creación de obras sonoras que interaccionen con las bases armónicas que produce. El sistema de tuberías que necesita para su funcionamiento esta instalado bajo el hormigón del malecón y se hace inviable su desmontaje.



Figura 5.54. Curtin L. y Gooding, J. (1996). *Black Pool Hide Tide Organ.*[escultura en acero corten y cobre]. Fuente: L. Curtin



Figura 5.55. Curtin, L. (s. f.). Water sculptures [esculturas sonoras en metal que usan el agua para producir sonidos]. Fuente: L. Curtin

En esta obra, la implicación del autor con el sonido y el agua no es casual, puesto que con anterioridad ya había trabajado con fuentes de agua activadas por bombas eléctricas (Figura 5.55). El éxito de *Black Pool Hide Tide Organ* se debe, en parte, a su autosuficiencia, al no requerir más que de la energía del agua para sonar, con la que se encuentra estrechamente relacionado para su funcionamiento.

También los artistas Annette Paul, Christopher Rossner y André Temple se inspiraron en el *Teatro de Lluvia* de San Petersburgo para realizar la escultura sonora llamada *Funnel Wall,* conocida fachada pintada de azul en Kunsthof-Passage, barrio estudiantil de Dresde. Esta obra está provista de un sistema de canalones, tuberías, tubos acampanados, embudos, algunos mecanismos simples y formas dinámicas de modo que cuando llueve, en el transcurso y golpeteo de las gotas y chorros de agua de camino al suelo, se produzcan sonidos. Estos son

sutiles, la sensación es la de escuchar la lluvia con matices sonoros, de modo que la escultura no produzca sonidos excesivos que puedan causar molestias a los vecinos de este inmueble o los cercanos a él (Foer, 2011).

Asimismo, Studio Weave, Structure Workshop, AB3 Workshops y Jessica Curry realizaron *Lullaby Factory*, que es de aspecto similar a la obra anterior, pero distinto funcionamiento (Frearson, 2013). De nuevo, en este caso, la escultura depende, de un equipo reproductor de sonidos y de una fuente de electricidad continua. Consiste en una red de tubos de escucha instalados en un patio trasero del *Great Ormond Street Hospital* de Londres, cuyo propósito es crear una escultura o "fábrica secreta" de canciones de cuna para niños. Los artistas se inspiraron en las desordenadas tuberías y sistemas de drenaje que ya cubrían la superficie de las paredes de ladrillo de este edificio para crearla.



Figura. 5.56. Paul, A., Rossner, C. y Temple, A. (1999). *Funell Wall* [escultura sonora en zinc]. Fuente: Erika & Rüdiger



Figura 5.57. Studio Weave. (2013). *Lullaby Factory* [escultura sonora en cobre, latón y acero galvanizado]. Fuente: Deezen

Así que los autores de esta obra, en lugar de taparlos, se decantaron por complementarlas con una amplia estructura de tubos y trompetas que se extiende a lo largo y ancho de 10 plantas de altura y 32 metros de longitud. Los tubos son de diferentes metales, dando una apariencia de plata, oro y bronce, además se reciclaron algunos grifos y medidores de la sala de calderas de un hospital antiguo que aportan un carácter industrial a la pieza. La artista sonora Jessica Curry compuso la banda sonora de canciones de cuna, que se reproducen a través de cada uno de los tubos. Para escuchar la melodía, los pacientes, el personal y cualquier oyente del hospital pueden colocar un oído sobre uno de los tubos de escucha.

De igual modo, Yuri Suzuky ha realizado gran cantidad de obras sonoras, en las que, con frecuencia, ha utilizado dispositivos electrónicos y, más *recientemente, aplicaciones relacionadas con I.A*. A pesar de ello, en la obra *Sonic Playgrownd* se despojó de esos elementos y presentó en ella una serie de piezas de colores llamativos y planos con las que cualquier visitante puede interactuar, haciendo sonidos o escuchándolos a través de ellas. "Mi idea era crear una experiencia de audio inesperada e inusual. Quería que la gente iniciara comunicaciones impulsivas a través de estas esculturas" (Morris, 2018, párr. 4). La instalación transforma la plaza en un ambiente acogedor y colorido para la socialización y el recreo.



Figura 5.58. Suzuky, Y. (2018*). Sonic Playgrownd* [escultura sonora en acero pintada con pintura en polvo] Fuente: Y. Suzuky

Para terminar este apartado comentamos la obra de Ronald van der Meijs, que ha realizado instalaciones con esculturas de metal en las que destaca por su aprovechamiento de las energías naturales. En *Odoshi Cloud Sequence*[183] (2020) (Figura 5.59), inspirado en los sistemas *Shishi-odoshi* de la cultura japonesa y con el jardín *Amstelpark* como telón de fondo (Van der Meijs, s. f.) se crea una simbiosis entre naturaleza y sonido a través de una serie de mecanismos realizados con tubos de acero galvanizado que, tras llenarse lentamente de agua por acción de una bomba que funciona según un panel solar, basculan vaciándose de agua y golpeando la lámina de un vibráfono cuyo sonido es modulado por un sistema de turbinas eólicas y tubos de resonancia. La velocidad y ritmos de los sonidos que emite son lentos e impredecibles ya que dependen de la cantidad de sol que reciban las placas solares, entablando un diálogo con el agua, el sol, el viento y las nubes como secuenciadores naturales, ya que el viento y las nubes que bloquean el sol influyen en la velocidad y, por tanto, en la composición musical.

[183] Ver en: https://www.ronaldvandermeijs.nl/Odoshi-Cloud-Sequence

Con esta variedad de propuestas mostramos un pequeño ejemplo de los caminos generales por los que ha transcurrido y transcurre la escultura sonora monumental en metal, dejando a un lado las numerosas instalaciones que puedan tener un carácter temporal.



Figura 5.59. Van der Meijs, R. (2020). *Odoshi Cloud Sequence* [escultura sonora en metal]. Fuente: desconocida

Para cerrar el apartado exponemos que una de las premisas de la escultura sonora es la de acercar a todo el mundo la experiencia individual o colectiva de observar la obra, escuchar el sonido que emite y "jugar" o experimentar generando sonidos de una manera intuitiva y gestual, al margen de la necesidad de poseer o no, conocimientos y estudios musicales. Es decir, disfrutar del aspecto visual y sonoro, tanto como oyente como de intérprete.

Capítulo 6. Trabajo de campo. Realización de esculturas sonoras en metal

El sonido es un suceso continuo que va, sin ruptura, desde lo grave a lo agudo. La voz puede emitirlo y modularlo, lo mismo que algunos instrumentos como, por ejemplo, el violín y también la trompeta (ambos instrumentos son considerados por la mayoría de los estudiosos como "celestiales", pues, son muy numerosas las representaciones pictóricas del barroco en las que aparecen asociados a las potestades angélicas); pero otros [instrumentos] son incapaces de ello, porque pertenecen a un orden humanamente organizado sobre intervalos artificiales: el piano, la flauta, etcétera.(Le Corbusier, 1976, p. 15)

6. Trabajo de campo. Realización de esculturas sonoras

Paralelamente a la lectura y análisis de las distintas publicaciones consultadas, se han realizado bocetos a lápiz de posibles ideas a materializar en forma de esculturas sonoras. Aunque las ideas iniciales sean más o menos realizables, el sólo hecho de pensarlas y diseñarlas ha exigido una asimilación de lo aprendido durante el período de investigación teórica, la búsqueda de una respuesta técnica y la intuición de los sonidos que puedan generar, todo ello antes de realizarlas. Las propuestas que se han llegado a materializar han constituido, en algunos casos, sencillos experimentos y acercamientos a los mecanismos estudiados y, en otras ocasiones, esculturas sonoras como tal.

6.1. Bocetos/pruebas

A continuación, exponemos parte de los bocetos realizados con breves anotaciones bajo las Figuras, así como las piezas realizadas.

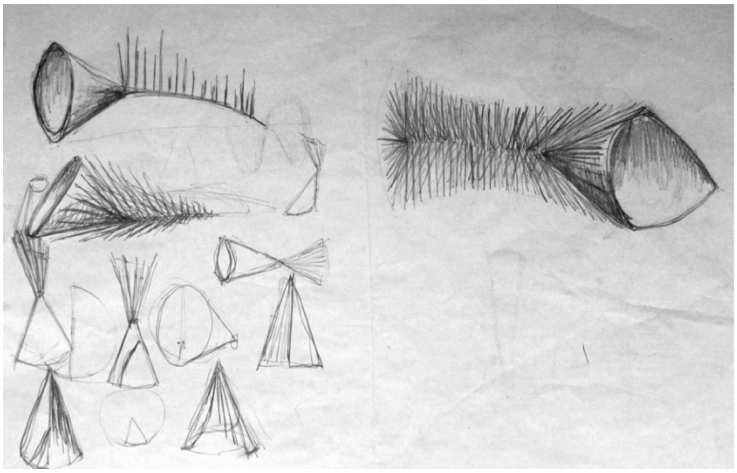


Figura 6.1. Travé, A. (2023). *Boceto I* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

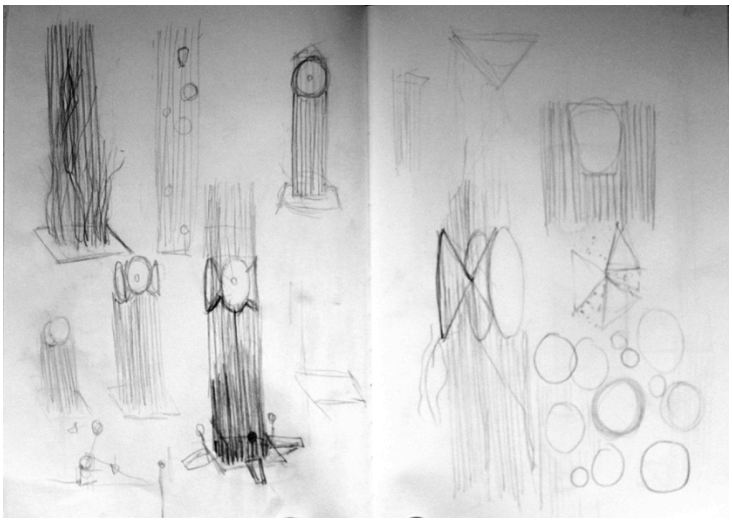


Figura 6.2. Travé, A. (2023). *Boceto II* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

Estos primeros esbozos están inspirados en las formas cercanas al trabajo y funcionamiento de las varillas metálicas usadas por Bertoia en sus obras, buscando otras formas compositivas que tienden a la horizontalidad y lo orgánico frente a la verticalidad e hieratismo de las obras de este autor (Figura 6.1). También planteamos acompañar las piezas con difusores semejantes a los

estudiados en las piezas de los hermanos Baschet, con una intención tanto compositiva como funcional, con objeto de ampliar el volumen sonoro emitido por la pieza en cuestión (Figura 6.2).

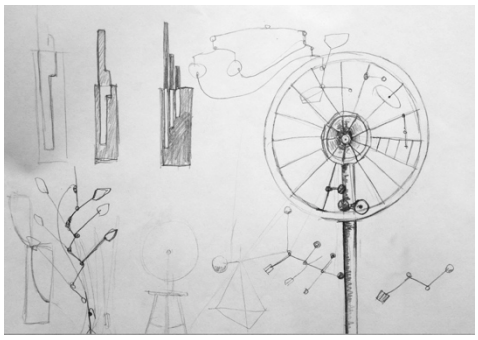


Figura 6.3. Travé, A. (2023). *Boceto III* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

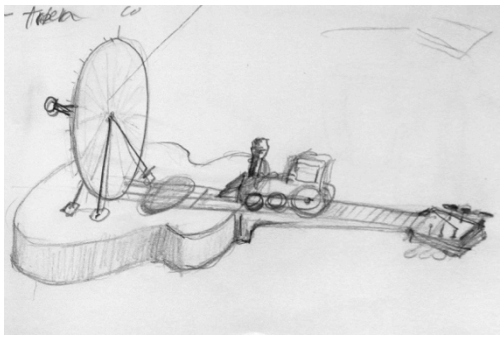


Figura 6.4. Travé, A. (2023). *Boceto IV* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

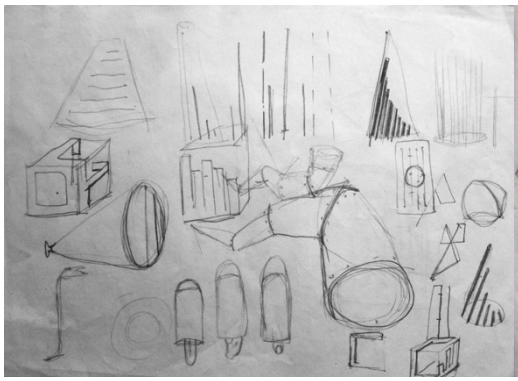


Figura 6.5. A. Travé, A. (2023). *Boceto V* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

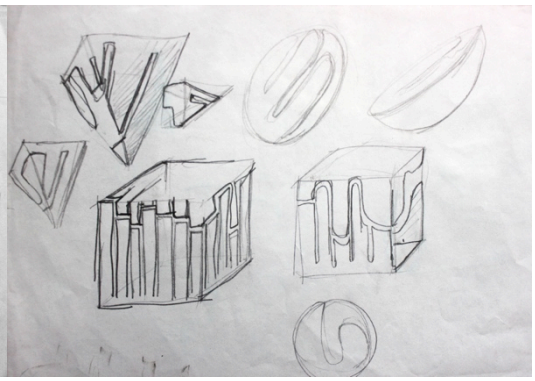


Figura 6.6. Travé, A. (2023). *Boceto VI* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

Además, estudiamos la opción de seccionar una chapa de gran tamaño en distintas piezas esperando que funcionase a modo de lamenófono (Figura 6.3) o la intervención sobre instrumentos ya existentes, como por ejemplo sobre una guitarra en la que una palanca con forma de noria percutiera las cuerdas mientras

un tren utilizaba los trastes y el mástil del instrumento en forma de *slide* (Figura 6.4). También se trabajó con la idea de hacer cajas de metal, en referencia a la serie *Cajas vacías* que realizó Jorge Oteiza durante su carrera. En este caso se planteó hacer cortes en las secciones de un cubo, con el fin de que al golpearlas pudiesen emitir distintas notas (Figura 6.6), basándonos en el funcionamiento de las *tongue drums* (Figura 4.46).

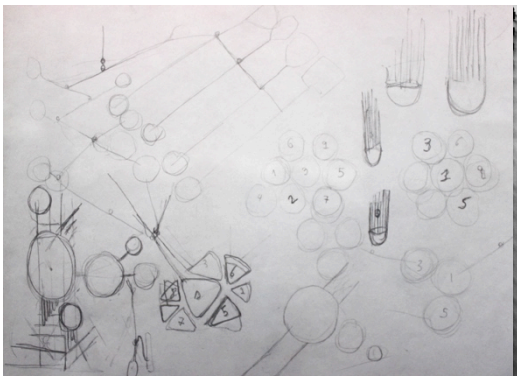


Figura 6.7. A. Travé, A. (2023). *Boceto VII* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

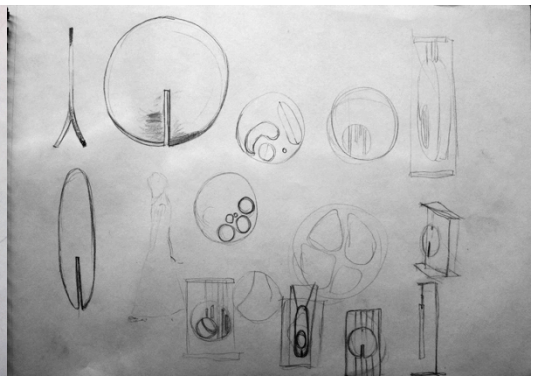


Figura 6.8. Travé, A. (2023). *Boceto VIII* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

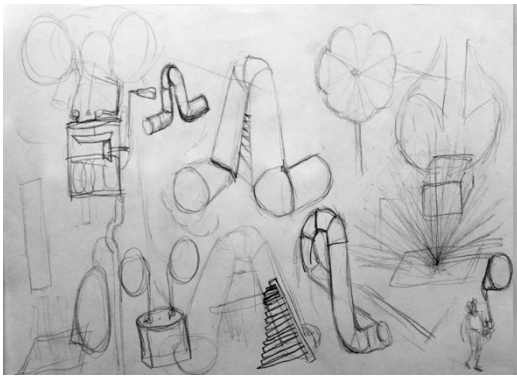


Figura 6.9). Travé, A. (2023). *Boceto IX* [dibujo, a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

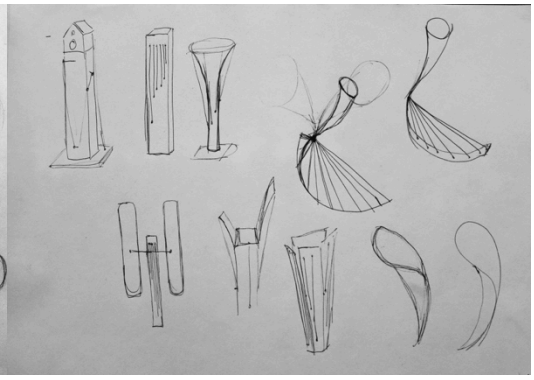


Figura 6.10. Travé, A. (2023). *Boceto X* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

Se sucedieron alusiones a Calder (Figura 6.7), variaciones sobre la serie de *gongs* de H. Bertoia (Figura 6.8), ideas con tubos desmontables (Figura 6.9) y el

desarrollo de cordófonos sobre bastidores metálicos de distintas formas (Figura 6.10, Figura 6.11 y Figura 6.12).

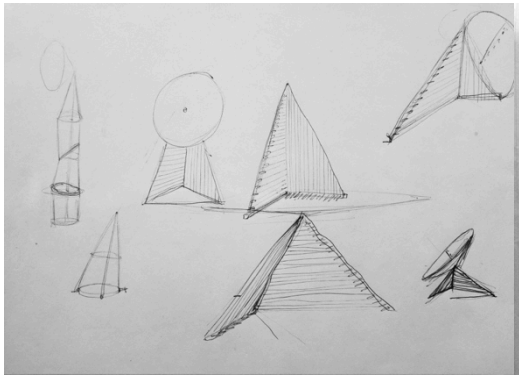


Figura 6.11. A. Travé, A. (2023). *Boceto XI* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

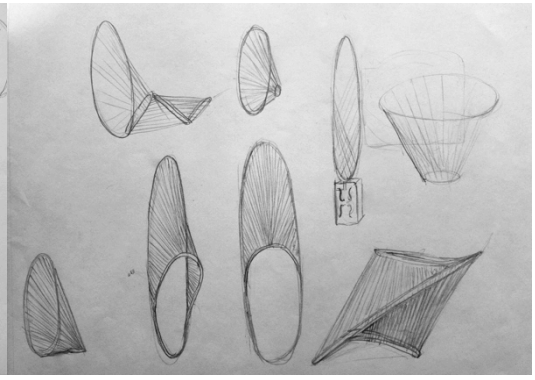


Figura 6.12. Travé, A. (2023). *Boceto XII* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

Otra idea en desarrollo fue realizar un "carrillón familiar" compuesto por 4 campanas dispuestas en un marco de madera, similar al montaje de *campanario portátil* de Ll. Barber (Figura 4.50).

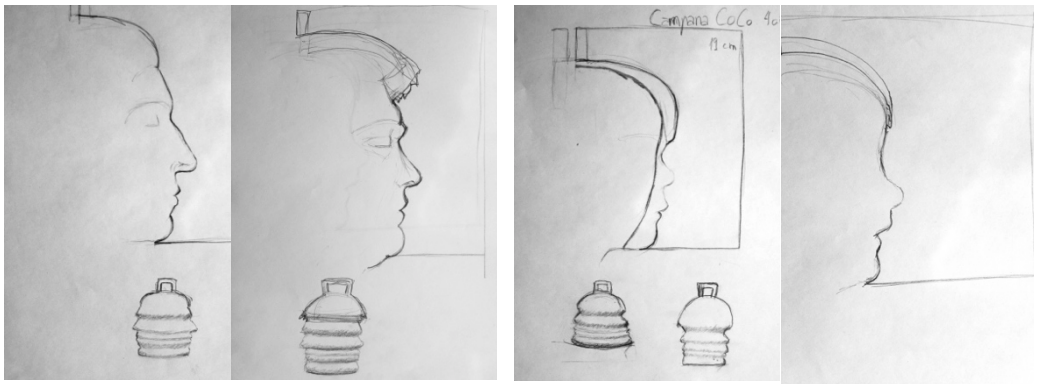


Figura 6.13. Travé, A. 2023). Bocetos terrajas [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

En este caso, cada campana (Figura 6.13) representa a un miembro de la familia del doctorando por medio de las siluetas de sus rostros que son utilizadas

para confeccionar las terrajas de metal necesarias para conformar el perfil de cada una de las campanas.

Otro elemento en torno al cual se pensó en trabajar es el cencerro. Un instrumento cercano al mundo rural, de cuyas técnicas de producción se ha dado constancia en la pág. 147. Con esta idea se trabajó al rededor de la manipulación de la plantilla con la que los cencerros son realizados, estilizando el instrumento y buscando formas que recordasen a una figura femenina con vestido abotonado. Para su diseño, se han realizaron algunos dibujos, así como una pieza en cartulina para ajustar las plantillas (Figura 6.14, Figura 6.15 y Figura 6.16).



Figura 6.14. Travé, A. (2024). Ajuste de plantilla para nuevos diseños de cenceros[maqueta de cartulina y clavos de hierro]. Fuente: elaboración propia

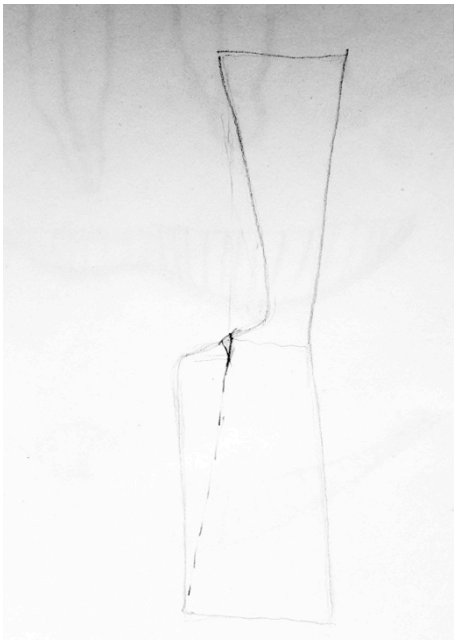


Figura 6.15. Travé, A. (2024). Plantilla para cencerro [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia

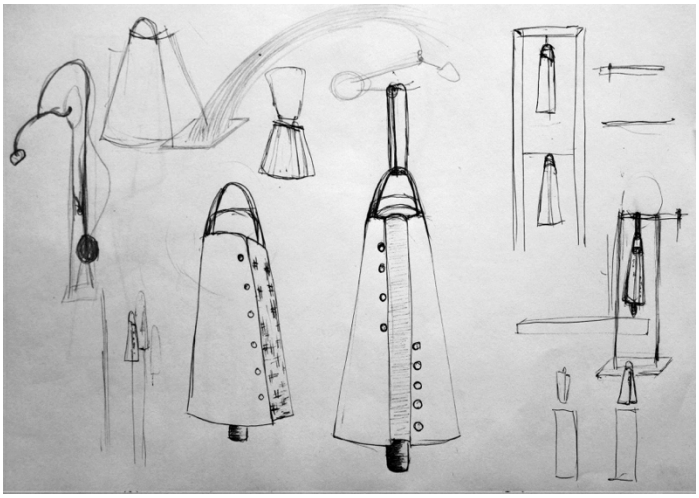


Figura 6.16. Travé, A. (2024). Bocetos cencerros [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia.

6.2. Esculturas sonoras materializadas

Ateneas melodías es una serie de esculturas hechas a partir de pletinas de acero de 8 mm de grueso por 80 mm de ancho. Representan a figuras femeninas de una forma muy estilizada y esquemática. Fueron creadas para una exposición llamada "Viaje a Matria" que se expuso en la Fundación Euroárabe de Altos Estudios de Granada del 6 de marzo al 5 de abril de 2024.

Estas obras funcionan como esculturas al uso, pero a la vez son capaces de generar distintas notas identificables y sonidos si se las golpea con mazas o si son frotadas con un arco de violín. Están realizadas en la fragua como hierro forjado.

Para su realización, se tuvo en cuenta que cada una de las 5 figuras tuviese una longitud diferente, con objeto de que generasen notas distintas musicales entre ellas. El temple al fuego del metal de las piezas les confiere mayor dureza, la cual, combinada con su longitud (60 cm) y la pesada placa de metal a la que están ancladas, facilita su vibración al ser percutidas en toda su dimensión. Funcionan a

modo de idiófonos, pues no necesitan ninguna amplificación sonora adicional. Con este conjunto de 5 elementos tenemos una amplia variedad de notas, pues al golpear las piezas en su plano más ancho se consiguen notas distintas que al hacerlo en su plano lateral.



Figura 6.17. Travé, A. (2024). Izquierda: proceso de conformado en la fragua de las esculturas. Derecha: *Ateneas Melodías* [escultura sonora en acero forjado y patinado]. Fuente: elaboración propia

¿A qué suena Chillida?[184] es una serie de piezas que fue desarrollada al descubrir la obra de Kanazawa (Figura 4.49), basada en la fragmentación de un circulo de metal en múltiples piezas que se encuentran apoyadas en el suelo por unas gomas situadas en sus puntos nodales, contribuyendo con ello a que, si se

[184] Escuchar en: https://antoniotrave.bandcamp.com/track/a-qu-suena-chillida-toma-1

golpean o frotan, estas generen tonos de cierta duración y riqueza armónica. A partir de esta idea se pensó en adaptar la obra gráfica del escultor vasco Eduardo Chillida al sonido. *Banata I*, *Beltza V* o *Presenza gráfica* (Figura 6.18) son algunas de las obras gráficas de Chillida que por su concepción sobre un plano y por estar divididas en distintas secciones se pueden reconvertir a "relieves sonoros".

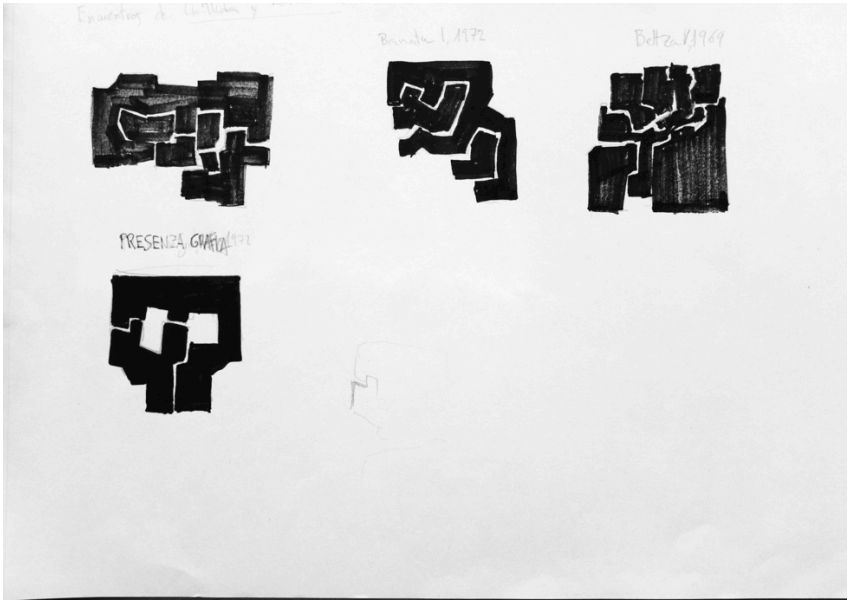


Figura 6.18. Travé, A. (2024). Apuntes de las obras de Chillida que podrían pasarse a chapa de metal [dibujo de rotulador sobre papel]. Fuente: elaboración propia

Para asegurarnos de que el trabajo podía funcionar utilizamos restos de una plancha de metal de 15 mm de grosor con la que realizar pruebas. Esta estaba seccionada y cortada previamente, por lo que partimos de una base de un aspecto muy austero con el que no pudimos desarrollar un diseño más atractivo (Figura 6.19).



Figura 6.19. Travé, A. (2024). Pruebas en torno a la obra de Kanazawa [escultura sonora en acero sobre fieltro]. Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, a nivel sonoro conseguimos una relación de sonidos diversos tras localizar sus puntos nodales más interesantes.

Los resultados de estas pruebas las materializamos en un conjunto de dos piezas, estableciéndolas como un encuentro entre Chillida y el sonido, planteándonos la siguiente pregunta: ¿A qué suena Chillida?

Para realizarlas, cortamos planchas de acero de 8 mm de grosor con plasma, tratado en la fragua y el yunque para dar textura y templar el metal, de modo que, por un lado la textura aportase un mayor interés plástico a la obra, ya que la chapa lisa no aportaba demasiado, y por otro, al batirlas y templarlas pudimos comprobar que aumenta la tensión del material (al igual que ocurre en la elaboración de platillos de batería y *gongs*), lo que se traduce en una respuesta sonora más rápida y rica al realizar en ellas un golpe de baquetas o mazas.

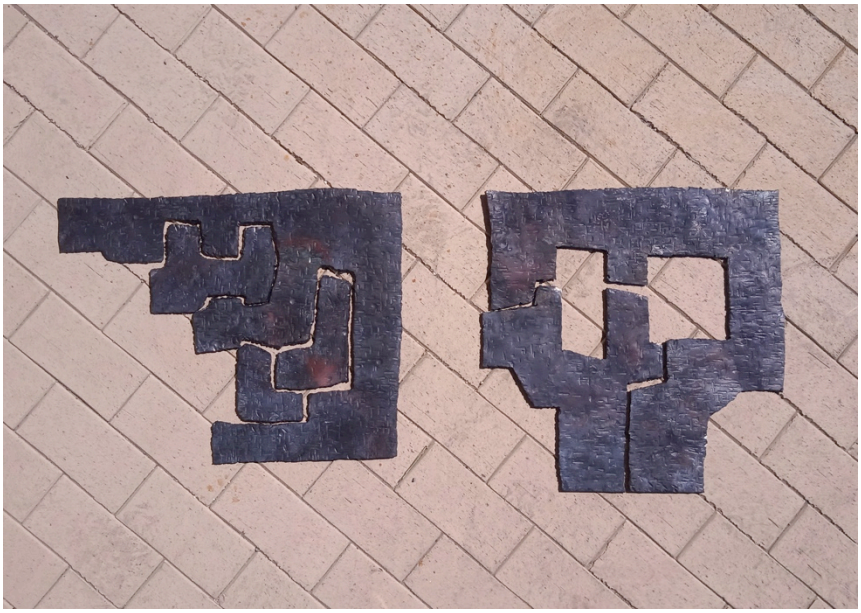


Figura 6.20. Travé. A. (2024). *¿A qué suena Chillida?* [conjunto de dos esculturas sonoras en acero forjado]. Fuente: elaboración propia

Metarmonia de François [185] (Travé, 2024) (Figura 6.22) es una de las obras a las que hemos dedicado más esfuerzos. Se trata de una suerte de pieza basada en las caóticas esculturas de Jean Tinguely, mezclada con los difusores utilizados por los hermanos Baschet en sus obras. Se compone de cuatro fuentes generadoras de sonido: una manivela que activa el trino de una cuerda inspirada en el mecanismo de *Spinulum* (Figura 4.20), 5 campanas tubulares, 4 cuerdas tensadas con las que poder interactuar, una especie de güiro lateral compuesto por varillas de tamaño ascendente y 6 difusores de distintos tamaños con diseños basados en las plantillas que los hermanos Baschet utilizaron para sus piezas (Figura 5.35). Todo esto puede ser activado con viento, mazas, baquetas, púas, dedos y arco de violín. Con todo ello, se generan sonidos tonales con intervalos irregulares, así como notas de

[185] Escuchar en: https://antoniotrave.bandcamp.com/track/metarmon-a-de-fran-ois-toma-1

frecuencias graves y trinos continuos. Todo sonido es filtrado por los difusores que aportan mayor amplitud y una de *reverb* metálica.

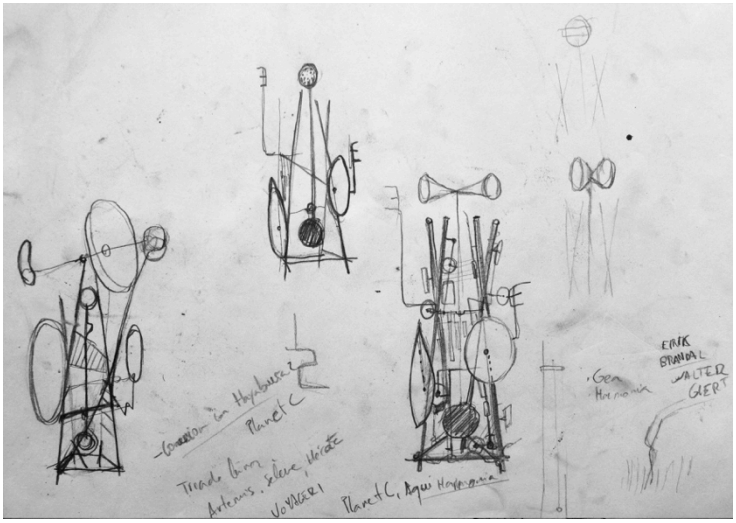


Figura 6.21. Travé, A. (2024). Bocetos iniciales para *Metarmonia de François* [dibujo a lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al proceso de creación y construcción hemos tenido en cuenta el concepto de improvisación musical jazzística, pues a partir de una pequeña melodía escrita en una partitura, se desarrollan en directo ideas musicales en torno a ella con mayor o menor acierto y con un resultado inesperado y no prediseñado. Extrapolar estos procesos al taller de metal implicó desarrollar un primer esbozo (Figura 6.21) sobre papel en torno al cual comenzamos a diseñar una composición espacial de la obra escultórica sonora con elementos metálicos en la que se sucedían ideas, se variaba la colocación de unos u otros y se investigaba en el proceso de creación del sonido por uno u otro mecanismo.



Figura 6.22. Travé, A. (2024) *Metarmonia de François* [escultura sonora en acero y acero galvanizado]. Fuente: elaboración propia.

Tentempié para Bertoia[186] (Travé, 2024) (Figura 6.23) está basada en las composicones espaciales hechas con varillas del artista Harry Bertoia. En este caso, realizamos tres aportaciones a la base de su obra:

- Usamos varilla y chapa de acero común, un metal menos noble y resistente que el bronce berilio y el acero inoxidable utilizado habitualmente por Bertoia, lo que le confiere una sonoridad distinta, así como un aspecto en el que dominan los

[186] Escuchar en: https://antoniotrave.bandcamp.com/track/tentempi-para-bertoia-toma-1

grises oscuros, naranjas y ocres, a pesar de que también aportamos tonos verdosos aplicando nitrato de cobre sobre las varillas.

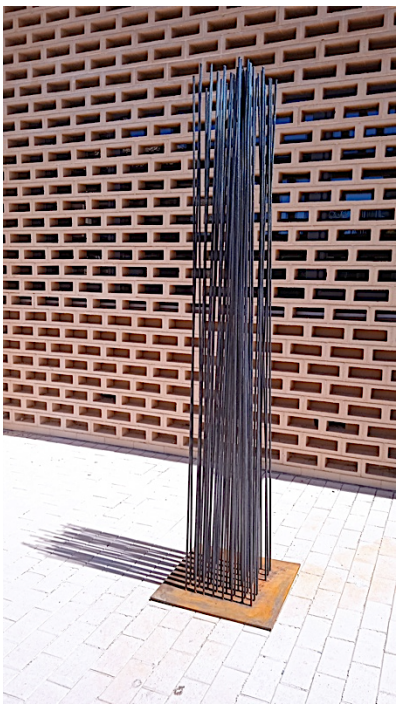


Figura 6.23. Travé. A. (2024). *Tentempié de Bertoia* [escultura sonora de varillas y chapa de acero]. Fuente: elaboración propia

- Curvamos la chapa de la base, a fin de que para activar esta escultura sonora no sea necesario tocarla con las manos, sino pisar la base en una de sus esquinas, lo que provoca, poco a poco, un movimiento de vaiven que hace que las varillas choquen entre sí y produzcan sonidos. Esto determina su caracter de "tentempié".

- Buscamos que en la parte superior, tanto la distancia de las varillas como su disposición fuera irregular, lo que aporta más variedad de notas y un aspecto más orgánico que el matemático y organizado de la obra de Harry Beroia.

Ropa vieja para Kandinsky[187] (Travé, 2024) (Figura 6.24), es la última escultura sonora de esta serie. Se trata, como su propio nombre indica, de una escultura en la que utilizamos elementos de aprovechamiento[188], como varillas de acero común, calibrado e inoxidable, y latón, además de chapas de acero común e inoxidable. Y ello con el punto y la línea como únicos elementos compositivos a tener en cuenta. Decidimos hacer este *collage* de 200 cm aproximadamente, que se activa mediante mazas, viento, baquetas, manos y arco de violín con los materiales que sobraron de las dos esculturas previas.



Figura 6.24. Travé, A. (2024). *Ropa vieja para Kandinsky* [escultura sonora en diferentes metales]. Fuente: elaboración propia

187 Escuchar en: https://antoniotrave.bandcamp.com/track/ropa-vieja-para-kandinsky-toma-1

188 La Ropa Vieja es un plato tradicional de la gastronomía española cuyos ingredientes, según se cuenta popularmente, suelen ser los sobrantes del puchero o del cocido. En esta receta culinaria está basado el título de esta obra.



Figura 6.25. Travé. A. (2024). Conjunto de esculturas sonoras en metal. Fuente: elaboración propia



Figura 6.26. Travé, A. (2024). Conjunto de las esculturas sonoras microfoneadas en el taller para realizar una grabación de audio. Fuente: elaboración propia

El sonido de *Ropa vieja para Kandinsky* es de una gran intensidad (ello se debe a que hay mucho espacio libre en la chapa inferior o base de la misma), tiene bastante más volumen que *Metarmonía de Basçhet* y *Tentempié para Bertoia,* además es muy rico en armónicos y es cercano al sonido de campanas y carrillones como se puede comprobar en el audio que se adjunta.

Finalmente, una vez terminada la realización de las esculturas sonoras en el taller, las cuales conforman una especie de "orquesta escultórica" (Figuras 6.25 y 6.26), hemos llevado a cabo una grabación de audio en la que las obras han sido percutidas con baquetas, manos, pies y un arco de violín. Los audios completos resultantes se pueden escuchar en el siguiente enlace (Travé, 2024):

https://antoniotrave.bandcamp.com/album/escultura-sonora-en-metal

7. Resultados

Después de Helsinki, viajamos a Estocolmo para exponer durante un mes en el *Moderna Museet*. Los domingos, cuando los niños tocaban las 32 esculturas sonoras, el ruido era infernal. El director me dijo que los vigilantes del museo tenían unas jaquecas terribles. (Baschet, 2017, p. 415)

7. Resultados

La aparición del arte sonoro contemporáneo tiene que ver con una serie de acontecimientos previos que guardan relación con avances anteriores producidos en la música. Así pues, estamos de acuerdo con las ideas de Vera y Picado (2012) con respecto a que estos cambios en la escultura se dieron, entre otras causas, al trabajo previo de compositores clásicos como Verdi, Wagner o Tchaikovski, que incluyeron en sus obras musicales elementos fuera de lo común y cercanos a lo identificado, en su momento, como ruido. También hubo avances tecnológicos en la época previa vinculados al sonido, que influyeron decisivamente en la aparición del arte sonoro, tales como la aparición del teléfono (1876) de Graham Bell, que desplazó al telégrafo y dio prioridad al sonido como medio de comunicación, la presentación de gramófono de Edison (1887) y la aparición de la radio (1897) registrada por Marconi en 1904 y responsable de que la audiencia utilizara su oído como órgano receptor de música, ruido y palabras emitidas en la distancia. Por otro lado, un clima de disrupción artística que no fue ajeno al desarrollo musical ni científico-tecnológico permitió el nacimiento del Movimiento Futurista, que surgió en 1909 con la publicación del *Manifiesto Futurista,* redactado por Filippo

Tommaso Marinetti. En él, su autor decía que cualquier material y técnica podía estar incluido en una obra de arte (Marinetti, 1909), luego siguió el Dadaísmo y Concretismo. Así es como en 1913 coincidieron numerosos eventos artísticos relacionados con lo que era entonces una disciplina en ciernes: el arte sonoro. Estos acontecimientos fueron que L. Russolo publicó *El arte de los ruidos,* M. Duchamp estaba experimentando con partituras escritas al azar, como *Erratum Musical*, Nicolai Kulbin escribió su primera música microtonal, en la que buscó nuevas disonancias y combinaciones abstractas, Carlo Carra publicó el manifiesto *La pintura de los sonidos, ruidos y olores,* y Enrico Prampoline publicó *La cromofonia de los sonidos.* Dada esta rica e innovadora producción creativa, hemos considerado que, en nuestra opinión, 1913 es la fecha en torno a la cual se puede establecer el nacimiento del arte sonoro contemporáneo. Si bien, la denominación "arte sonoro" fue emitida por primera vez en 1983 por William Hellerman, como comisario de la primera exposición de arte sonoro, titulada *The Sound Art Show,* que tuvo lugar en el The Sculpture Center de Nueva York.

Por otro lado, un factor que hemos tenido en cuenta y que no suele considerarse como tal, es el movimiento de la cultura pop y el rock psicodélico de los años 60, como vehículo popularizador de los nuevos sonidos y actividades sonoras en torno a las artes plásticas. Prueba de ello son algunas *performances* del mundo de la música como el acto de quemar una guitarra en el escenario por parte de Jimmy Hendrix o la relación cercana de algunos iconos del arte con la música; el caso de Yoko Ono con los *The Beatles* o Andy Warholl con la *Veltvet Underground*.

Tanto Silleras (2015) como Licht (2011) proponen *À bruit secret* o *With Hidden Noise* de M. Duchamp (1916) como la génesis de la escultura sonora. Si

analizamos esta obra desde el punto de vista de un instrumento musical, se trata de un instrumento de percusión idiófono similar a una maraca, por lo que visto desde el prisma de los instrumentos cotidiófonos, podría ser un instrumento. Sin embargo, el concepto asociado a ella de misterio, junto con su aspecto de objeto son lo que hacen que el sonido de su interior tenga una lectura diferente a la exclusivamente musical, de ahí su sentido artístico. Si destacamos que está hecha con un ovillo de lana que contiene un objeto desconocido en su interior y que está colocado entre chapas de metal sujetadas por tornillos, observamos también su característica volumétrica y, por tanto, escultórica.

Otro artista iniciador del arte sonoro fue Jhon Cage (*Pianos preparados* de los años 1938-1940; *4,33* del año 1952). El no solo trabajó el sonido experimental, sino el silencio como algo que se conjuga con sonidos armónicos del propio cuerpo o del ambiente en el que se está. Si bien no podemos entender su obra como escultórica, en un sentido estricto, si debemos hacerlo desde la concepción del sonido como material y, sobre todo, teniendo en cuenta la influencia que sus planteamientos tuvieron en artistas plásticos/sonoros posteriores. En lo concerniente al metal, J. Cage, en 1939, introdujo grandes planchas de metal a modo instrumentos percutidos para su composición *First Construction in Metal* .

La evolución de la escultura sonora continuó durante la segunda década del siglo XX y se sucedieron creaciones plásticas/instrumentos experimentales, publicaciones e indagaciones en el arte que hicieron más evidente aún el cambio de paradigma en la relación entre la música y las artes plásticas.

Ya en los años 70, movimientos artísticos como *Fluxus* (formalizado entre 1962-1963) o el grupo musical español *Zag* (formado en 1964), fueron

determinantes para entender una nueva y distinta dimensión del arte de hacer y escuchar sonidos.

Por otra parte, la escultura sonora, concebida desde el punto de vista clásico como escultura objetual y material que emite sonido, ha experimentado con formas, materiales, mecanismos y el espacio circundante para poder generar sonidos con los que poder transmitir sensaciones al espectador/oyente.

En cuanto al uso del metal en la escultura sonora, hay una serie de artistas que han destacado como escultores sonoros y que se han valido ininterrumpidamente en su carrera artística de este material como elemento principal para desarrollar su obra, ejemplo de ello son Alexander Calder (cap. 5.1) (Figura 5.1), Jean Tinguely (cap. 5.2.1) (Figura 5.10), Len Lye (cap. 5.2.2) (Figura 5.25), François y Bernard Baschet (cap.5.3.1) (Figura 5.31), Stephan von Huene (cap. 5.2.1) (Figura 5.13), Takis (cap. 5.2.2) (Figura 5.22), Harry Bertoia (cap. 5.3.2) (Figura 5.38), Douglas Hollis (cap. 5.4) (Figura 5.51), Ellen Fullman (cap. 5.3.3) y Santiago López (cap. 5.3.3), entre otros.

A estos hay que sumar otros tantos que se han valido del metal ocasionalmente, como es el caso de León Ferrari (cap. 5.3.2) (Figura 5.41) o la mayoría de los artistas actuales consultados: M. Spanghero (Cap. 5.2.1) (Figura 5.16), Leonel Vasquez (cap. 5.2.1) (Figura 4.64), M.J. Caseldem (cap.5.2.2) (Figura 5.28), Y. Suzuky (cap. 5.4) (Figura 5.59) o R. Van der Meijs (cap. 5.4) (Figura 5.60).

El movimiento es el responsable de cualquier activación de los mecanismos de la escultura sonora y, por otro lado, es el causante de las oscilaciones matéricas responsables del sonido. Prueba de ello es que muchos autores considerados escultores cinéticos también forman parte del grupo de escultores sonoros, como

en el caso de A. Calder, J. Tinguely, Takis, Len Lye o los más recientes Zimoun y Leonel Vásquez. En algunos casos, como el de Len Lye, ni siquiera se les ha reconocido la faceta sonora de su obra, pese a ser más que evidente.

Hemos podido estudiar el sonido desde los principios básicos de la acústica y se ha encontrado que el sonido es una emisión de energía que se transmite por medio de ondas sonoras en un medio que no sea el vacío. Para la velocidad de su transmisión pueden influir agentes como la humedad, temperatura y por supuesto la densidad y dureza del material en el que se propague.

Se han estudiado y resumido los conocimientos básicos relacionados con la física del sonido, necesarios para comprender los posteriores fenómenos que se producen en el mundo de la lutería, el arte sonoro y la escultura sonora. Términos como: longitud de onda, amplitud, frecuencia, tono, duración, intensidad, espectro audible, timbre, serie armónica, ondas estacionarias, resonancia, etc., son básicos para entender que ocurre físicamente cuando emitimos o percibimos sonidos.

Se han identificado los sonidos considerados musicales por medio de las series armónicas y las ondas estacionarias que se producen en los instrumentos, así como su relación con el ruido, cuya principal diferencia estriba en que la música sigue unos cánones, unos intervalos fijados y unos patrones rítmicos reconocibles, mientras que el ruido es aquel sonido con una envolvente tan compleja y simultánea que no distinguimos en él tonalidades e, incluso, ritmo y, por lo general ha sido asociado a una sensación negativa o de rechazo. La apreciación positiva del ruido es, por tanto, individual, subjetiva y social. La supresión del concepto de "ruido" como concepto peyorativo, va en aumento en la medida que nuevos ruidos se incorporan a la música y al arte sonoro.

El origen de la metalurgia es incierto, pero sabemos que el ser humano empezó a valerse de los metales en torno al VI milenio a. C. y que desde entonces su uso ha sido constante en el desarrollo de esculturas, instrumentos musicales, herramientas, tecnología y arquitectura. Además, sus características estéticas han servido para la elaboración de objetos preciosos cuya posesión ha determinado la posición de clases sociales exclusivas y continuos referentes literarios (Moro, 2013; Platón, 2010).

Se han clasificado las propiedades físico-químicas y mecánicas de los metales, definiendo cuales pueden ser de mayor interés para los procesos escultóricos y sonoros. Dureza, brillo, colabilidad, elasticidad, maleabilidad, templabilidad y aleabilidad son algunas de las características que los hacen especiales y distintos a otros materiales. Por ejemplo, la capacidad de crear aleaciones entre metales o su templabilidad es algo imposible de realizar en madera o piedra y con ello se pueden modificar sus características de resistencia, maleabilidad, elasticidad o durabilidad ante la corrosión.

Los metales se pueden presentar en la naturaleza formando parte de minerales que hay que extraer de dicho material por medios industriales. En el mercado se encuentran en forma de tubos y barras (cuadrados y redondos), planchas, hilos, etc.

Existe una amplia gama de técnicas para el trabajo de los metales (fundición, forja o batido de chapa) y también aparecen nuevas opciones que están en desarrollo (procesos de CNC o el electroconformado), que nos brindan la posibilidad de obtener distintos niveles de flexibilidad, elasticidad, plasticidad o dureza en un objeto metálico, lo cual ofrece la opción de utilizarlo de una manera

u otra, teniendo en cuenta la función que desempeñe en un edificio, herramienta, instrumento musical o escultura sonora[189] en nuestro caso.

Entre los metales más utilizados para realizar esculturas e instrumentos musicales hemos encontrado el cobre y el hierro, además de sus principales aleaciones, latón y el bronce (como aleaciones del cobre), y acero, (como aleación del hierro). En el mundo de la escultura, históricamente, estos metales han sido muy utilizados y han aportado buenos resultados, pues sabemos, a través de la Historia del Arte, que los derivados del cobre han sido utilizados masivamente hasta la actualidad por su plasticidad y resistencia para realizar esculturas, si bien es cierto que, a partir del siglo XX con la introducción de las vanguardias, la presencia del hierro se ha hecho mucho mayor, especialmente el acero inoxidable y acero corten para la escultura pública.

También hemos observado como la inclusión del metal en el mundo de la lutería ha aportado mejoras tanto estructurales como sonoras:

1. Objetos sonoros de viento:

- El uso del metal permitió elaborar instrumentos de mayor longitud con la consiguiente ampliación en cuanto a la tesitura de notas musicales que se podían entonar previamente.

- Concretamente, con el uso del bronce se consiguió moldear formas complejas, huecas y enrolladas entre sí en los instrumentos musicales, que antes eran imposibles de realizar con madera u otros materiales. Estos permitieron obtener

[189] Esto no es posible en otros materiales clásicos como maderas, piedra o hueso. La dureza del material es la que es, y no se puede alterar, a lo sumo las maderas se pueden humedecer para dar forma, pero una vez secas tienen su dureza inicial.

determinados sonidos y formas diversas que podían mejorar estéticamente el instrumento, además de adaptarse mejor a la fisonomía del músico.

- Con el latón se consiguieron gruesos mínimos para las paredes de los tubos de los instrumentos, imposibles de conseguir con otros materiales y necesarios para una buena vibración y para reducir su peso, debido a la consistencia y plasticidad de este material.

- El latón, la plata y el oro han brindado una gran estabilidad material en instrumentos en contacto con la humedad de los labios o (debido a la saliva y el vapor de agua que produce la respiración en las partes de las boquillas de los instrumentos de viento) hasta la llegada de los plásticos.

2. Objetos sonoros de percusión:

- El uso de bronce y latón en campanas, platillos e instrumentos sonoros de láminas no se ha visto mermado por la inclusión de nuevos materiales industriales. La sonoridad de estos materiales se ha investigado y con ellos se han desarrollado nuevos instrumentos, como carrillones (*Federation Bells,* 2018). A lo sumo, se han incorporado algunos nuevos metales en la fabricación de objetos sonoros, como el aluminio para los vibráfonos.

- El empleo de acero y sus derivados en esculturas sonoras e instrumentos musicales cotidianos se ha incrementado durante el siglo pasado y el presente, debido a su abaratamiento y fácil disponibilidad. También se han reinterpretado en acero instrumentos u objetos sonoros que estaban hechos, originariamente, en otros materiales, debido a la elasticidad y sonoridad de dicho metal. Este ha sido el caso del instrumento realizado con la quijada de hueso de un caballo (Figura

4.34), que ha evolucionado al *vibroslap* (Figura 4.35) haciéndolo menos pesado y más accesible.

3. Objetos sonoros de cuerda (cordófonos):

• Se han implementado las cuerdas, tradicionalmente hechas de materiales orgánicos, entorchándolas con metal, lo que las ha hecho más resistentes a las tensiones y le ha aportado mayor intensidad sonora y riqueza armónica. Las tapas amónicas y cuerpos de instrumentos han sido realizados, en muchas ocasiones, con metal para conseguir una mayor proyección sonora y un incremento de intensidad en una gama de frecuencias en torno a los 250/350 Hz, 2000/3000 Hz y 6000 Hz, con respecto a los instrumentos de madera (Politzer, 2023).

• Se ha recurrido al metal como parte estructural de instrumentos, debido a su alta estabilidad.

Además, partir del análisis tanto de entrevistas, como de estudios y mediciones (Trompete, 2007), (*Al vent*, 2018) y (*International Journal of Music*, 2018), hemos comprobado que existen diferencias en cuanto al sonido que unos u otros materiales puedan desarrollar para un instrumento, siempre teniendo en cuenta la función que el elemento metálico desempeñe dentro de un instrumento o una escultura para comprobar su relevancia sonora o estructural. Por ejemplo, hemos constatado que:

- En la familia de los instrumentos de viento, a pesar de existir cierta controversia al respecto[190], a partir de las publicaciones científicas de R. Smith (1986), R. Pyle

[190] En el Capítulo 3, expusimos diversas entrevistas y opiniones de músicos y organismos vinculados al mundo de los instrumentos de viento en los que ellos opinaban a cerca de las distintas apreciaciones sonoras que unos u otros metales aportaban a trompetas y flautas (Trompete, 2007), (*Al vent*, 2018) y (*International Journal of Music,* 2018).

(1998) y G. Widholm (2014), parece haber más consenso en que el metal de un instrumento de viento tiene poco que aportar al sonido, se trata de un valor más bien estructural. No obstante, a pesar de esta afirmación entendemos que existen otras apreciaciones como peso y tacto a las que el músico es sensible y por las que el lutier se sigue decantando por unos metales u otros.

- En percusión y cuerda la elección de unos u otros metales si parece estar más justificada, estos tienen una repercusión tanto sonora como estructural. Por ejemplo, el sonido de las campanas depende tanto de la forma como de la aleación con que están fundidas (Corral, 2019).

A partir de la publicación de Z. Laughlin, et al. (2008), queda patente que el uso de los siguientes metales en los elementos osciladores de un objeto sonoro influye de la siguiente forma:

- Acero inoxidable tiende generar notas más agudas y de gran intensidad.
- Latón aporta mayor volumen, un tono más bajo que el acero, aunque más brillante, además de una mayor duración que el resto. Es decir que la nota dominante resultante es más baja que la del acero inoxidable, pero que genera frecuencias armónicas más agudas que incrementan el brillo.
- El cobre tiende a tonos más graves y una envolvente sonora más "oscura" o con predominancia de frecuencias bajas.
- El baño de oro del instrumento o escultura produce más "brillo sonoro", es decir, aporta frecuencias agudas.

A partir de las premisas de los hermanos Baschet (2017) y de la organología clásica, hemos podido apreciar la importancia de conocer los principios básicos de lutería a la hora de construir una escultura sonora.

Ha sido básico analizar el conjunto de objetos sonoros a través de los elementos constitutivos tal y como formularon los hermanos Baschet:

1. Oscilador: un material con una forma capaz de vibrar.

2. Acción: forma de interacción con el oscilador capaz de suministrarle energía para que vibre.

3. Difusión: elementos o propiedades que transmitan la vibración al medio y la hacen audible.

4. Gama: elementos o disposiciones que permitan generar y organizar gamas de sonidos, modular la frecuencia de la vibración del oscilador.

5. Añadidos de resonancia: complementos o modificaciones de los factores anteriores que enriquecen las vibraciones sonoras.

Estas 5 funciones pueden materializarse en 5 elementos constitutivos diferentes o varias de estas funciones pueden ser realizadas por un solo elemento. Teniendo en cuenta esto, hemos podido analizar todo tipo de objetos sonoros y cómo son activados, dando como resultado el amplio material de consulta que constituye el Capítulo 4.

Con el estudio de los principales procesos para producir sonidos y ondas estacionarias en los materiales (necesario para producir mayor sensación tonal y durabilidad en las notas) se recogen referencias básicas para introducirse en el mundo de la lutería y la escultura sonora. Por ejemplo, la mayoría de láminas y tubos apoyados a modo de xilófonos, tienen sus puntos nodales situados en el 22,3 % de su longitud. Sin embargo, cuando se ha tratado de piezas irregulares, como *¿A qué suena Chillida?* (Figura 6.19), la localización de estos puntos

nodales se ha hecho por pura intuición y con el método de ensayo-error. Por otro lado, hemos conocido todo lo concerniente a cuerdas, destacando que acortando su distancia a la mitad podemos obtener una octava por encima de la nota que obtengamos en toda su longitud. A partir de ello se pueden hacer el resto de subdivisiones de las cuerdas para conseguir otras notas. El responsable de conocer las relaciones matemáticas entre estos intervalos fue Pitágoras.

Además de los principios de las cuerdas y láminas hemos consultado instrumentos de viento y un sinfín de nuevos instrumentos propuestos por lutieres experimentales como Bart Hopkins.

Por otro lado, en el transcurso de la investigación, han aparecido gran cantidad de instrumentos que, por su poca practicidad para ser tocados, han quedado relegados a meros objetos de museo, por ejemplo, el violín de clavos (Figura 4.39). Ello los asemeja a esculturas sonoras.

También hemos corroborado cómo la presencia de los metales en el conjunto de los instrumentos y esculturas sonoras es sobresaliente, puesto que a pesar de compartir protagonismo con madera y, en menor medida, con piedra, plásticos, huesos y pieles, el conjunto de los metales ha permitido sustituir a muchos de estos materiales en funciones tanto sonoras como estructurales, ya sea en cuerdas, formas tubulares, cajas de resonancia o láminas para percusión, incrementando y enriqueciendo la sonoridad del objeto musical, así como su resistencia al paso del tiempo.

Teniendo en cuenta los trabajos publicados por autores como Douglas Kahn (1999) o Javier Ariza (2003) y con objeto de destacar la importancia que en la escultura sonora tiene el movimiento, los autores y sus esculturas se han

clasificado según el tipo de movimiento implicado en la activación de la obra: 1. Movimiento azaroso, 2. Movimiento programado y 3. Movimiento participativo.

Se ha observado que la mayoría de las esculturas sonoras en metal recurren a formas de metal manufacturado, en forma de tubos, planchas, varillas, piezas de maquinaria etc. En muy pocas ocasiones se recurre a la fundición del metal para dar forma a estas esculturas, en nuestro estudio sólo hemos reflejado el caso de Douglas Hollis y su obra *Archimedes* (Figura 5.52), fundida, en este caso, en bronce sin partir de formas prefabricadas previamente.

A excepción de Ellen Fullman, Rebeca Horn o Rocío Silleras, apenas hemos encontrado mujeres que se dediquen a la escultura sonora o, al menos, que su trabajo no está publicado en la cantidad que lo está el de los hombres.

Se ha comprobado que, en las primeras esculturas sonoras, el sonido era tratado como algo casual, algo así como una llamada de atención sobre la obra, como ejemplo de ello están las desenfadas obras de Calder, tituladas *Triple gong* (1947) o de J. Tinguely. Esta corriente ha continuado en obras del siglo XXI como las planteadas por Celeste Boursier o L. Vásquez (Figura 4.64), pero incorporándose una mayor carga conceptual en torno al origen del sonido y un mayor equilibrio entre la relevancia del sonido y el resto de los materiales plásticos.

También hemos observado como se ha desarrollado una tendencia al alza que apuesta por utilizar medios eléctricos para amplificar los sonidos acústicos (por medio de piezoeléctrico, micrófonos y pastillas electromagnéticas) en casos como J. Cage, Takis o Santiago López. Esto ocurre aún con más ahínco en la búsqueda de lo interactivo a través del uso de sonidos grabados o procesados digitalmente a tiempo real y previamente. En torno a esto último, no hemos indagado más para

centrarnos, específicamente, en los procesos que producen los sonidos acústicos en las esculturas sonoras.

En cuanto al trabajo de campo realizado, por un lado, hemos hecho un análisis a través de dibujos para tratar de entender los mecanismos de funcionamiento de los objetos sonoros citados y los que queríamos proyectar y, por otro lado, hemos trabajado con piezas metálicas en el taller, construyendo esculturas sonoras con las que hemos explorado conceptos básicos del sonido y la escultura.

Si bien se han proyectado algunas ideas en bronce, la mayoría las hemos desarrollado en diferentes tipos de aceros, ya que económicamente era más viable (el precio de una plancha de bronce o latón es 5 veces mayor que el de una de acero común).

Los primeros acercamientos directos con la escultura sonora, han sido experimentales, ya que el propósito era entender los mecanismos por los cuales se produce el sonido, por lo que se ha tratado con cordófonos y difusores, con la localización de nodos de vibración en elementos metálicos tanto barras macizas como tubos, con el sonido de recipientes metálicos y su interacción con agua, además de con la búsqueda de objetos cotidianos, incluso, del mobiliario urbano que produce sonidos particulares.

Estas búsquedas iniciales, se han visto materializadas en las siguientes propuestas artísticas:

1. **¿A qué suena Chillida?** (Figura 6.20) es una reinterpretación de las obras de K. Kanazawa, *17 Planets Installation for the Gallery* (Figura 4.49), en la que se han utilizado los diseños gráficos realizados por el escultor vasco Eduardo Chillida para

la elaboración de las láminas sonoras. Por lo que se plantea como un encuentro de Chillida con lo sonoro.

2. ***Metarmonias de François*** (Figura 6. 22) es una escultura sonora de 2 metros de altura, realizada con tubos de acero y chapa de acero galvanizado, que se compone de una estructura desequilibrada o caótica, haciendo referencia a la obra de Tinguely, a la que se suman diferentes elementos que pueden generar sonidos, cuerdas y campanas tubulares, principalmente. Todos estos sonidos son mezclados a través de los tubos estructurales y amplificados por difusores similares a los realizados por los hermanos Baschet, hecho que se ha aprovechado para conocer y poner en práctica los diseños de las plantillas que estos utilizaron.

3. ***Tentempié para Bertoia*** (Figura 6.23) es una obra que consiste en más de 60 varillas de acero de 2 metros asidas a una base de metal de 50x50 cm que, gracias a la curvatura de su plano, puede producir movimientos de vaivén que provocan el movimiento de las varillas y su choque, dando como resultado "texturas sonoras" y sonidos de campana con gran variedad de notas y armónicos.

4. ***Ropa vieja para Kandinsky*** (Figura 6.24) es la última escultura de metal desarrollada, se ha realizado con los restos de material de todo el trabajo previo. Emite sonidos de campana con intervalos irregulares y notas sostenidas al frotar las varillas con un arco de violín. Posiblemente, esta obra es la que emite un sonido con mayor amplitud de entre todas las piezas, ya que la chapa de la base de la obra está muy despejada de elementos y puede vibrar libremente, actuando como base y como difusor/amplificador del sonido.

Además de todo el material gráfico aportado en el capítulo 6, concerniente a las esculturas, se ha realizado una grabación de audio con los elementos sonoros de

estas, activados por mazas, arcos de violín y manos. Los resultados sonoros se pueden escuchar en el siguiente enlace:

https://antoniotrave.bandcamp.com/album/escultura-sonora-en-metal

8. Conclusiones y líneas de investigación abiertas

Saludad ahora a una obra maestra del espíritu; pues he aquí que las nubes se disipan en música al marcharse. De los etéreos sonidos fluye una fuerza que nadie puede ver, pues, al moverse, todo es melodía; retumban los fustes y los triglifos, parece que cantase todo el templo (Goethe, 2010, p. 660)

8. Conclusiones y líneas de investigación abiertas

Como conclusión general de esta investigación concretamos que este estudio contribuye a determinar qué es una escultura sonora en metal, dentro del compendio del arte sonoro contemporáneo, desde la perspectiva histórica inicial hasta la actualidad. Así pues, una escultura sonora en metal es una obra escultórica que debe tener una forma materializada en este material, un sentido estético-plástico y debe emitir un sonido o ruido, además de tener un concepto plástico que aúne forma y sonido. También, el metal debe tener en ella alguna función física relevante que repercuta en los procesos por los cuales se produzca el sonido que emite y estos deben estar relacionados con su propia forma volumétrica. Además, la escultura sonora en metal no tiene por qué estar supeditada a la funcionalidad de emitir sonidos pertenecientes a una escala tonal determinada, pese a utilizar los mismos principios para generar sonido que un instrumento musical y a diferencia de este, pues el espectador/oyente/ interprete e, incluso, la obra sola puede entornar cualquier sonido o ruido y se puede permitir producirlo con todo tipo de frecuencias, intervalos y acumulación sonoras sin la necesidad de tener en cuenta la

armonía y las reglas musicales clásicas. De hecho, uno de los cometidos que se pueden llevar a cabo con una escultura sonora en metal es explorar el resto de los sonidos que, en la música convencional, habitualmente, no se han tenido en cuenta o se han desechado.

En este sentido, comprobamos que en el arte sonoro se pone de manifiesto el concepto de "escucha activa", en la que entran los sonidos corporales y los del entorno del oyente, así como una inclusión de sonidos más amplia que la estipulada por la música convencional. Como ejemplo de esto, exponemos lo que pasa con todos los sonidos comprendidos entre un intervalo sonoro, como es el caso de un Do de 261 Hz y un Do# de 277 Hz, en el que existen 16 frecuencias o 16 divisiones que podríamos realizar y a las que no se recurre por su poca practicidad, por lo infructuoso de su resultado[191] o porque, simplemente, el oído humano no puede distinguir un intervalo sonoro tan pequeño. Pero, el arte sonoro y dentro de él la escultura sonora sí ha podido utilizar todos estos microintervalos o microtonos y sonidos sin una secuencia armónica definida, la cual queda fuera de una melodía clásica o al uso.

También, verificamos que la relación del metal con la construcción de la forma de la escultura sonora es directa e intrínseca, pues el uso del metal permite dar forma a las obras debido a sus peculiares propiedades físicas, químicas y mecánicas, su manejabilidad, su trabajabilidad y su calidad expresiva. Por ello, entendemos que como el metal se ofrece comercialmente de una forma preestablecida: tubos, chapas, varillas, piezas de industria, etc., la mayoría de esculturas sonoras se basan en la utilización de estos elementos seriados, por lo que existe una similitud formal y plástica entre el conjunto de las esculturas sonoras

[191] En la música occidental el intervalo más pequeño es medio tono, por ejemplo, de Si a Do. En la música árabe se utilizan los cuartos de tono, lo que divide la escala en 24 notas.

realizadas con metal y las formas comerciales en las que se presenta este material para su venta, si bien es cierto que con el bronce fundido la forma de la obra puede ser la que determine el artista.

También, comprobamos que las formas de las esculturas sonoras, en general, no tienen que cumplir las necesidades impuestas por la música estandarizada, a diferencia de lo que ocurre con un instrumento musical al uso, en el cual parte de su forma y proporción está supeditada a la obtención de unas notas determinadas con unos intervalos definidos que forman una escala o permiten una interpretación musical cómoda por parte del músico y la audiencia. Esto lo hemos conseguido materializar y escuchar de una manera muy clara al realizar la pieza *¿A qué suena Chillida?* (Figura 6. 20), pues, tras localizar en ella sus puntos nodales, hemos podido saber a qué suena esa relación proporcional entre las partes que componen la obra a partir de la forma, la plasticidad y la relación compositiva que guardan los distintos elementos de la pieza, creados inicialmente al margen de cualquier función sonora.

También, de los estudios hechos inferimos que la relación entre la escultura sonora en metal y el sonido es inherente, pues, incluso, en los procesos de extracción del mineral o durante su trabajo con él en el yunque, los sonidos rítmicos que emiten estos procesos son constantes. Además, las excelentes cualidades sonoras del metal favorecen que dichas obras puedan emitir sonidos o ruidos mediante diferentes procesos (viento, cuerda o percusión), sea el modo de producirlo por acción del hombre, el viento, el aire, el impacto fortuito de unas piezas con otras de la escultura, de la naturaleza o del medio urbano en que se encuentre ubicada (en casos de que sea una escultura pública).

Atendiendo a los objetivos específicos exponemos seguidamente las siguientes conclusiones:

1. Establecemos el nacimiento simbólico del arte sonoro contemporáneo en torno al año 1913, a causa de la evolución musical, el desarrollo de la tecnología, el avance de los movimientos artísticos previos y de la confluencia en este año de la actividad creadora de autores como L. Russolo que publicó *El arte de los ruidos*, M. Duchamp que estaba experimentando con partituras escritas al azar, como *Erratum Musical*, Nicolai Kulbin que escribió su primera música microtonal en la que buscó nuevas disonancias y combinaciones abstractas, Carlo Carrà, que publicó el manifiesto de *La pintura de los sonidos, ruidos y olores*, y Enrico Prampoline, que publicó *La cromofonía de los sonidos.*

Consideramos que la primera escultura sonora en metal puede ser la obra *À bruit secret o With Hidden Noise* de Marcel Duchamp (1916) por su carácter sonoro, su expresión plástica, su conformación volumétrica y su concepto artístico (elección de objetos existentes, construcción escultórica y sonido producido por un elemento misterioso ubicado dentro de la obra), incluyendo la realización en metal de algunas de sus partes, lo cual la sitúa entre la premisa de muchas de las obras estudiadas. Además, la citada sección metálica de esta obra está realizada con varillas de metal roscado y chapa, materiales preconformados que se pueden montar como un *Mecano*.

También, como relación ordenada cronológicamente de los primeros autores en hacer este tipo de obras citamos el trabajo de Alexander Calder (cap. 5.1) con *A triple Gong* (Figura 5.1) seguido de Jean Tinguely (cap. 5.2.1, Figura 5.10), Len Lye (cap. 5.2.2, Figura 5.25), François y Bernard Baschet (cap.5.3.1, Figura 5.31), Stephan von Huene (cap. 5.2.1, Figura 5.13), Takis (cap. 5.2.2, Figura

5.22), Harry Bertoia (cap. 5.3.2, Figura 5.38), Douglas Hollis (cap. 5.4, Figura 5.51) y Ellen Fullman (cap. 5.3.3) como referentes e hitos del trabajo escultórico-sonoro hecho en metal y como su obra ha influido en una serie de autores sonoros actuales que, si bien no presentan una exclusividad con respecto al metal, han sabido valerse de él en muchas ocasiones, nos referimos a Santiago López (cap. 5.3.3), M. Spanghero (cap. 5.2.1, Figura 5.16), Leonel Vasquez (cap. 5.2.1, Figura 4.64), M. J. Caseldem (cap.5.2.2, Figura 5.28), Y. Suzuky (cap. 5.4, Figura 5.59) o R. Van der Meijs (cap. 5.4, Figura 5.60), por mencionar algunos.

2. Determinamos que las obras escultórico-cinéticas y escultórico-sonoras acústicas mantienen una estrecha relación en su origen y desarrollo actual, pues a partir del análisis de numerosos trabajos de este tipo hemos podido apreciar que el movimiento de las esculturas cinéticas es el causante de activar los mecanismos de las obras sonoras y es el responsable de las oscilaciones y vibraciones que provocan las ondas sonoras que permiten la transmisión del sonido que emiten. Todos los autores expuestos anteriormente, de un modo u otro, recurren al movimiento para activar sus esculturas sonoras, es más, en el caso de Calder, el autor descubrió el sonido de sus obras tras darle movimiento a estas. Por tanto, en vez de citar a un escultor en concreto que pusiera en práctica esta relación por primera vez, afianzamos la idea de que la dimensión temporal y espacial de la escultura en general se vio reforzada por la inclusión de lo cinético en ella y, en consecuencia, surgieron otras manifestaciones de arte plástico que incluyeron el movimiento, entre otras cosas, y entre ellas se encuentra la escultura sonora acústica.

3. Constatamos que el estudio del sonido y los principios básicos de la acústica y lutería combinados con los conocimientos de composición y

construcción escultórica contribuyen a la producción de obras escultóricas sonoras, ya que todos los objetos sonoros consultados tienen una aplicación directa de la reconversión del objeto escultórico o inanimado en sonoro. Creemos que el desarrollo de nuevas esculturas sonoras metálicas acústicas se ha servido de los principios sonoros ya existentes para emitir sonidos. En ellas, poco a poco se ha dado más protagonismo al sonido y esto ha implicado una exploración más amplia y profunda en la relación conceptual entre materia sólida y sonido (Silleras, 2015), haciendo a que éste sea parte fundamental de las obras. En este sentido, detectamos que el sonido que se puede conseguir con estos artefactos sonoros, esculturas sonoras, instrumentos musicales experimentales o con cualquier instalación o acción de arte sonoro tienden a ser reconocidos como música cuando responden a los estándares musicales preestablecidos: escalas, intervalos, ritmos y armonía entre las partes. Cuando se rompe con uno de estos elementos aparece lo que, habitualmente, se estipula como ruido, hecho mucho más notorio si añadimos el uso de envolventes sonoras complejas en las que no existe una apreciación auditiva tonal definida. La ruptura con el sonido musical y la búsqueda de la inclusión de "ruidos" es una de las características del arte sonoro y este puede ser uno de los elementos que determine la diferenciación entre un instrumento musical y una escultura sonora en diversos casos.

4. Concretamos que, pese a que el origen exacto de la metalurgia es incierto, desde el comienzo de su uso, aproximadamente el 6.000 a. C., el metal desbancó a otros materiales utilizados previamente en la fabricación de herramientas, esculturas, instrumentos musicales, tecnología, etc. La consideración que se ha tenido a lo largo del tiempo de cada grupo de metales ha variado en cuanto a su abundancia/escasez o dificultad en su extracción e industrialización, incluso, en

épocas concretas de la Historia de las Civilizaciones el hierro fue valorado por encima del oro. La dureza, brillo, colabilidad, elasticidad, maleabilidad, templabilidad y maleabilidad de los metales son algunas de las características que los hacen especiales y distintos a otros materiales y estas ofrecen una gran variedad de opciones en la fabricación tanto de esculturas sonoras como de instrumentos musicales o útiles sonoros. Así pues, la existencia de una amplia gama de técnicas para el trabajo de los metales (fundición, forja, soldadura, CNC o batido de chapa) ofrecen la posibilidad de obtener distintos niveles de flexibilidad, elasticidad, plasticidad o dureza en un objeto metálico, algo muy útil para construir e implementar una escultura sonora en metal. Por estos motivos el uso de los metales ha aportado mejoras tanto estructurales como sonoras a la construcción de instrumentos musicales o esculturas sonoras, para ello, se ha valorado, ante todo: la capacidad de estirar el metal en planchas finas y alambres; sus propiedades estéticas, ya que como proceso de acabado pueden ser pulidos (dando resultados grisáceos, plateados y dorados) o patinados. los metales derivados del cobre poseen una amplia gama cromática; tienen gran facilidad para rellenar moldes con formas premoldeadas (en el caso de las campanas y los esculturas sonoras o instrumentos de bronce); ofrecen un la alta calidad higiénica y conservadora en instrumentos que tienen contacto con la saliva; poseen la capacidad para alearse y seguir mejorando sus propiedades con la creación de nuevas aleaciones; y ofrecen potencia sonora, pues a partir de la publicación de Z. Laughlin, et al. (2008), se determina que, generalmente, los metales más duros tienden a ofrecer sonidos más agudos mientras que a medida que su dureza disminuye, hay en ellos un aumento de frecuencias graves.

5. Indicamos que el cobre y el hierro, además de sus principales aleaciones, latón y bronce (como aleaciones del cobre), junto a acero, (como aleación del

hierro), además de acero corten y baños de plata y oro del metal base (en el caso de instrumentos musicales) son los grupos de metales en los que se ha realizado una gran mayoría de escultura sonora en metal y en los que también se ha llevado a cabo la construcción de muchos instrumentos musicales dentro del ámbito de la lutería. Ello quizá sea porque estos metales son los más populares y accesibles en el mercado y porque, a su vez, ofrecen buenas características sonoras. En este sentido, creemos que el uso casi exclusivo de acero (tanto inoxidable como corten) para la escultura sonora pública se debe a: un precio más asequible que el de otros metales como el bronce, latón, cobre, oro o plata en el mercado del metal; una gran variedad de formas de presentación del material, tipos de productos y accesorios o complementos disponibles a la venta y a, su vez, muy prácticas para la producción del sonido; una gran resistencia a las inclemencias del tiempo y a los demás agentes de deterioro, como los producidos por acciones humanas o de fuerza mayor, al encontrarse las obras escultóricas a la intemperie; y un relativo fácil conformado de los citados metales en piezas de gran tamaño.

6. Exponemos que toda escultura sonora basa el funcionamiento de su sonoridad en los mismos mecanismos y principios de funcionamiento que los instrumentos musicales, esto permite afirmar que una escultura sonora es, en parte, un instrumento sonoro y, en parte, un escultura plástica y que lo que la hace escultura sonora y no solo instrumento musical al uso es la expresividad plástica de su forma, su concepto de obra de arte y la inclusión en ella del sonido como elemento plástico y no necesariamente funcional y convencional. La relevancia de un elemento de metal en un instrumento musical y escultura sonora viene determinada por la función que este desarrolla en el conjunto del objeto, si contribuye a la oscilación, acción, difusión, gama o añadidos de

resonancia en él. En ocasiones, esta función puede ser sonora, estructural y estética a la vez, con lo que se constata de nuevo la relevancia y relación del metal con el sonido y con las artes plásticas.

A partir del estudio y análisis de los instrumentos musicales por medio de la organología clásica y las teorías de los hermanos Baschet, apreciamos que, independientemente de la procedencia geográfica, histórica y material de un instrumento musical, incluso, de las diferencias estéticas, los procesos por los que un objeto inanimado, instrumento o escultura/artefacto, es transformado en sonoro son los mismos y en ambos grupos se reducen a tres calificaciones (aerófonos, cordófonos y percusión) a su vez divisibles en otras tantas ramas. Por otro lado, en el transcurso de la investigación, han aparecido gran cantidad de instrumentos que, por su poca practicidad para ser tocados, quedaron relegados a meros objetos de museo (por ejemplo, el violín de clavos, Figura 4.39) lo cual, junto a sus formas estéticas, nos permite afirmar que están cercanos al concepto de escultura sonora o que tienen bastantes puntos de referencia comunes a ella, más que la sola calificación de instrumento experimental.

7. Evidenciamos que, en base al análisis de clasificaciones previas consultadas de la obra escultórico-sonora, se ha concluido que una óptima forma de establecer una clasificación de las esculturas sonora en metal debe tener en cuenta el movimiento que las activa, puesto que partimos de la afirmación de que existe una estrecha relación entre escultura cinética y sonora. Por ello, las hemos clasificado según si el movimiento de activación es azaroso, programado o participativo. Se ha advertido que estos tres grupos pueden presentar otras ramificaciones y que una escultura, a su vez, puede pertenecer a uno o varios grupos, dependiendo del uso que se haga de ella. Un buen ejemplo de ello son

las obras de Calder, que está diseñada para que sea el azar, en forma de corrientes de aire o la acción inconsciente de un ser humano o animal lo que la active. Sin embargo, el 27 de febrero de 1967 se estrenó en París, en el *Théâtre de l'Atelier* la pieza musical titulada *Calder Piece* (Figura 5.2), una obra interpretada por Diego Masson y The Percussion Quartet en la que utilizaron como instrumento musical y director de orquesta a la escultura del autor citado titulada *Chef d'orchestre* (Figura 5.3).

8. Exponemos que se han materializado una serie de obras escultóricas sonoras en metal, hechas como parte práctica de nuestra investigación a partir de los conocimientos adquiridos en el proceso de su realización. Se ha formado una especie de orquesta de esculturas de un formato alrededor de los 2 metros con la que hemos producido un álbum de sonido: https://antoniotrave.bandcamp.com/album/escultura-sonora-en-metal

En base a los resultados obtenidos de esta obra, hemos extraído algunas conclusiones en cuanto a los materiales usados, su comportamiento físico y sonoro y su interacción con el espectador visual y oyente, que exponemos a continuación:

a. En lo referente a los difusores de metal utilizados en *Metarmonia de François,* basados en los diseños de los hermanos Baschet, creemos que se han realizado con chapas muy gruesas, en torno a 1 y 1,2 mm. Con este tipo de chapa, es complicado un plegado suave y la difusión del sonido es menor. Es preferible el uso de láminas metálicas más finas, en torno a 0,6 mm, lo que facilita su corte y pliegue. A tenor de algunas pruebas hechas, estas chapas más delgadas dan mayor amplitud al sonido. Por otro lado, la soldadura con una chapa gruesa es

más sencilla, ya que con una chapa fina es fácil calarla, debido a un exceso de potencia de calor aplicado en la soldadura.

b. En cuanto al peso y densidad de la placa metálica utilizada en la base de *Tentempié para Bertoia*, resumirnos exponiendo que es clave para permitir la vibración de las varillas y producir sonido, pues si la base es muy ligera, no puede actuar como punto inmóvil con respecto al que oscilan las varillas y, por tanto, no se transforman los movimientos oscilantes visibles de las varillas en frecuencias reconocibles como sonidos. Cuando hemos utilizado una base de madera para este fin, ello ha permitido que las varillas oscilen, pero como debía ser muy gruesa para conseguir el mismo peso que teníamos con la chapa de metal para sustentar la obra, el bloque de madera no conseguía actuar como difusor del sonido y, por tanto, éste era de baja intensidad.

c. Sobre la obra *Ropa vieja para Kandinsky,* justificamos que con ella se ha conseguido una gran amplitud de sonido, con mayor resonancia que con *Tentempié para Bertoia,* porque, al reducir su número de elementos respecto a la anteriormente citada, se ha dejado mucho más espacio libre para las vibraciones en su placa que en la de la otra.

d. Hemos comprobado que el acero común es susceptible de doblarse y perder la forma en el caso esculturas hechas de varillas largas, como las hechas por nosotros con inspiración en las obras de Bertoia.

e. Hemos advertido un inconveniente en la escultura sonora en metal pensada para ser intervenida por el público y es que si es expuesta al aire libre y en enclaves geográficos donde la temperatura es elevada, como en nuestro caso (mes de junio en Granada) la temperatura de las piezas metálicas aumenta hasta

el punto de que cualquier interacción con ellas no es viable ya que puede llevar a producir quemaduras y las piezas están dilatadas por el calor, algo que no ocurre con la madera o el plástico.

f. En cuando lo estudiado referente a las esculturas sonoras que funcionan a partir de los mecanismos de los instrumentos de viento, no materializadas en nuestra investigación, pensamos que se suele eludir el contacto con labios con ellas, puesto que no es higiénico, aunque en algunas intervenciones sonoras es posible repartir boquillas desechables o derivados, pero en una escultura sonora de viento lo normal es dejar que éste u otros elementos como fuelles o compresores sean los que produzcan el aire necesario para activar la obra.

g. Ante la investigación práctica y teórica hecha, recomendamos la experimentación previa antes de lanzarse a la construcción directa de esculturas sonoras sin una experiencia anterior.

9. Para finalizar, con esta memoria de la investigación hecha contribuimos a aportar información básica sobre los metales en base a lo consultado, analizado y organizado, que creemos que puede ser de gran ayuda para conocer su origen, propiedades y disponibilidad de los mismos, junto al amplio espectro de técnicas de trabajo que estos permiten, así como sus cualidades plásticas y sonoras. También, ofrecemos las conclusiones de la parte práctica realizadas dentro de este estudio, que ayudarán a la materialización de nuevas obras. Además, proporcionamos el resumen y la organización de los principios por los que un instrumento emite sonidos y, por tanto, tiene una consecuencia directa en la comprensión, desarrollo y elaboración de cualquier escultura sonora. Asimismo, hemos expuesto una visión específica de las esculturas sonoras en metal, mostrando una buena relación de ellas, lo que puede beneficiar a quién esté

interesado en este tema. Por ello estimamos que la información ofrecida puede servir como material de consulta sencillo que ayude a una aproximación al uso del metal desde una perspectiva educativa artística, ya que consideramos que las aportaciones de este texto y sus derivados en investigación teórica y práctica mejorarán los conocimientos de quien lo pueda necesitar en el futuro en el ámbito docente y/o en la producción escultórica sonora, pues pueden ser de gran apoyo para desarrollar cualquier obra escultórica del ámbito sonoro.

Durante la investigación, hemos advertido que el grupo de mujeres escultoras sonoras en metal encontrado es escaso, por lo que o no se le ha dado la suficiente importancia en publicaciones, no hay muchas más o hemos buscado en el sitio equivocado para poder encontrar más de ellas. No obstante, la puesta en valor de estas escultoras sonoras se hace preciso, por ello este hecho constituye un posible punto de partida para una nueva línea de investigación abierta en este tema.

También hemos apreciado que la inclusión de elementos electrónicos que fomenten la interacción con la obra, los cuales, intencionadamente hemos dejado de lado en esta investigación, constituyen otra potencial línea de investigación abierta.

Por último, hemos constatado que la mayoría de la obra escultórico-sonora en metal se realiza a partir del ensamble de elementos preconformados como tubos, chapas, varillas, hilos, piezas metálicas de industria, etc., lo que confiere una línea de estudio a seguir investigando en el futuro de forma práctica y teórica, formal y conceptual, estudiando con este sentido las obras de los principales autores y experimentado de forma práctica sobre las diferentes posibilidades formales y sonoras que cada modo de disponibilidad del material en el mercado ofrece frente a la forma de la obra y la repercusión que tiene esta en su sonido.

Bibliografía

Bibliografía

Alcina Franch, J. (1994). *Aprender a investigar : métodos de trabajo para la redacción de tesis doctorales. (Humanidades y Ciencias Sociales)*. Compañía literaria.

Acoz, A. et al. (2017). *Escuchar con los ojos. Arte sonoro en España (1961-2016)* [Catálogo exposición]. Fundación Juan March.

Acuña, R. (1987). *Relaciones geográficas del siglo XVI: Michoacán*. Universidad Nacional de México e Instituto de Investigaciones Antropológicas.

Agrícola, M. (1529). *Música instrumentalis deudsch* [Música instrumental alemana] (1ª ed.). Georg Rhau.

Aguilar, C. H. (1946). La orfebrería en el México precortesiano. En *Acta Antropológica II*(2). Ciudad de México D. F. / Sociedad de Alumnos de la Escuela Nacional de Antropología e Historia. Universidad de Virginia (EE. UU.).

Aguirre-Sorondo, A. (1997). Las campanas: cultura de un sonido milenario. En . F. J. Guerrero, E. Gómez (coords.). *Actas del I Congreso Nacional* (pp. 479-496).

Al Vent. Reparación de instrumentos de viento. (2018, 2 de agosto). Materiales de los instrumentos de viento: metales. *Al Vent* . https://alvent.es/materiales-los-instrumentos-viento-metales

Alarcón, M. (2008*).* El arte sonoro. *Revista Itamar: Territorios para el Arte, PUB y Rivera.* https://www.scribd.com/doc/24370658/El-Arte-Sonoro-Articulo-de-Miguel-Molina-Alarcon

Alcoa. (s. f.). Alcoa en España. *Alcoa*. https://www.alcoa.com/spain/es

Alonso, A. (1995). *El arte de los metales* [1ª ed. 1640]. Fundación Cajasol.

AmCham, Slovakia. (2016, febrero). John Dopyera -The inventor of the Dobro. *AmCham.* https://amcham.sk/publications/issues/2016-02-trade-and-investment/article/272481/john-dopyera-the-inventor-of-the-dobro

Álvarez Gayou Jurgenson, J. L. (2003). *Cómo hacer investigación cualitativa : fundamentos y metodología*. Paidós.

Anarchestra. (s. f.). Anarchestra's mission is to expand musical participation, experimentation, and access for musicians and non-musicians alike [La misión de Anarchestra es ampliar la participación, la experimentación y el acceso musical tanto para músicos como para no músicos]. *Anarchestra.* https://www.anarchestra.org/our-mission

Andueza, M. (2011). Llorenç Barber «de sol a sol» en Madrid. *Augmented Spatiality. Creación y esfera pública* [*Espacialidad aumentada. Creación y esfera pública*]. Museo del Prado. https://mariaandueza.org/

Ardueza,M. & Cabeza de Vaca, F.(2023). *Un largo eco. Aprendizajes y acciones desde la creación sonora*. Generalitat Valenciana

Ares, J. (2007). *Forja.* Parramón.

Ares, J. (2016). *El metal. Técnicas de conformado, forja y soldadura (Artes y oficios)*. Parramón.

Aristóteles. (1978). *Acerca del alma.* (T. Calvo, Trad.). Gredos. (Original publicado en el 350 a. C. aprox.).

Ariza, A. (2003). *Las imágenes del sonido: una lectura plurisensorial en el arte del siglo XX* . Monografías. Universidad de Castilla la Mancha.

Ariza, J. (2013). El soporte sonoro como obra de arte: propuestas creativas versadas en la plasticidad, poética y reciclado de los formatos de audio analógicos. *Revista Artigrama*, núm. 28, pp. 477-499. Universidad de Zaragoza.

Ariza, Javier (2016). El arte sonoro en los espacios de la enseñanza [Catálogo de exposición]. *Escuchar con los ojos. Arte Sonoro en España, 1961-2016*. Fundación Juan March, pp. 266-277.

Asociación Española de Normalización (1978*). Aceros; definición y clasificación*. Norma española UNE 36-004-78. Parte I. Instituto Nacional de Racionalización y Normalización (IRANOR).

Association Structures Sonores Baschet. (s. f.). *Welcome to the Baschet Brothers' Story* [*Bienvenidos a la historia de los hermanos Baschet*]. https://baschet.org/site/

Baird, B. (2022, 21 de febrero). *Bongo Joe (1972)* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=QqY86gwfLbk

Bakabeyond. (2023). *Water Drumming (Liquindi) on River Lupe* [*Tambores de agua (Liquindi) en el río Lupe*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=8QyK0q1Kr-A

Baschet. F. (2017) *The Sound Sculptures of Bernard and François Baschet.* Trilingual extended edition [*Las esculturas sonoras de Bernard y François Baschet. Edición extendida trilingüe*]. Universitat de Barcelona.

Baschet, F. & Baschet, B. (s. f.) *Assotiation Structures Sonores Bashet* [*Asociación estructuras sonoras Baschet*]. https://baschet.org/site/

Benade, A. (1976). *Fundamentals of Musical Acoustics* [*Fundamentos de la música acústica*]. Oxford University Press.

Bertoia, H. (2024). *Monumento en Standar Oil Fundation.* https://harrybertoia.org/oil-tonals/

Boisserie, J. (2014, 9 de noviembre). *Jean Boisserie reconstructs an ancient instrument: the Tintignac Carnyx* [*Jean Boisserie reconstruye un instrumento antiguo: el Tintignac Carnyx*]. EMAProject European Music Archaeology Project. [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Zvo3QcMEIfM

Bonello, O. (2012). *La aventura del sonido y la música.* Librería Editorial Alsina.

Bonet, J. (2019). Historia de la soldadura. *Joan Bonnet, engineering*. https://joanbonetm.wordpress.com/2019/06/18/historia-de-la-soldadura/

Bras, N. (s. f.). *Nicolas Bras.* [Vídeo]. Nicolas Bras. YouTube: https://www.youtube.com/channel/UCqzB9Ks5H939XLuSuVLuPVw

Bravo, M. (2011). *Análisis de las propiedades mecánicas del bronce dependiendo del tratamiento térmico* [Proyecto Fin de Carrera]. Universidad de Zaragoza.

Bredekamp, H. et al. (2002). *Stephan von Huene: Klangkörper / Resounding sculptures* [*Stephan von Huene: Klangkörper / Esculturas resonantes*]. Hatje Cantz Verlag, Ostfildern.

Brennan, B. (2011, 4 de octubre). What You Need To Know About Cymbal Alloys [Qué necesitas saber a cerca de las aleaciones de platillos]. *Modern Drummer.* https://www.moderndrummer.com/2011/10/what-you-need-to-know-about-cymbal-alloys/

Breth, G. y Wellen, M. (2019). *Takis* [Catálogo exposición]. MACBA

Broncesval S. L. (2024). Nuestros Productos. *Broncesval.* https://www.broncesval.com/

Bronmetal. (2024). Soluciones en metales no-férricos. *Bronmetal.* https://www.bronmetal.com

Bustins, D. (2017). *Memoria Guitarra.* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad Complutense de Madrid.

Butler, K. (2023). Axiology Ken Butler 2023 [Axiología Ken Butler 2023] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=03A24NISuvI

Butler, K. (s. f.). *Ken Butler's Hybrid Visions* [*Visiones híbridas de Ken Butler*]. https://kenbutler.squarespace.com/about

Cage, J. (1999). *Escritos al oído*. Murcia, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos técnicos.

Cage, J. (2002). *Silencio*. Ardora ediciones.

Calder, A. (1998) *Alexander Calder.* Polígrafa.

Calderer et al. (2006). *Instrumentos musicales.* Gorg Blanc.

Calvo Serraller, F. y Giménez, C. y Rower, A. C. (2003). *Calder: La gravedad y la gracia*. Tf. Editores, Fundación Museo Guggenheim Bilbao y Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.

Carrà, C. (1915) 1979. *Guerra pittura: Futurismo político, dinamismo plástico, 12 disegni guerreschi, parole in libertà* [*Pintura de guerra: Futurismo político, dinamismo plástico, 12 dibujos de guerra, palabras en libertad*] Firenze: SPES-Salimbeni.

Carrà, C. (1913) *The Painting of Sounds, Noises, and Odors. Futurist Manifesto* [*La pintura de sonidos, ruidos, olores: manifiesto futurista*]. Milan, Italy: Governing Group of the Futurist Movement, -08-11. [Pdf]. Recuperado de la biblioteca del Congreso, https://www.loc.gov/item/2021667115/,

Casa Hoffmann. (2023, 26 de julio). *Canto rodado polifónico | Leonel Vásquez* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=PzcD3VhlUUk

Casas, N. y Arredondo, P. (2021, 17 de marzo). Descubrimiento, orígenes y primer desarrollo del acero. *Gerdau Corsa.* https://www.gerdaucorsa.com.mx/blog/descubrimiento-or%C3%ADgenes-y-primer-desarrollo-del-acero%C2%A0

Caselden, M. J. (2015). *Len Lye, Grass* [*Len Lye, hierba*] [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=EZxBKBNGydM

Caselden, M.J. (2015). Riptides [*Contracorrientes*]. https://www.magneticsound.com/the-physics

Castro-Montes, D. P. (2019). *Vestigios de fundición primaria prehispánica y colonia en la orfebrería de Santa Clara del cobre: un enfoque etnoarqueológico, experimental y comparativo* [Tesis de maestrado]. Colegio de Michoacán, A. C. Centro de estudios arqueológicos (CEQ).

Cellini, B. (S. f.). *La vida de Benvenuto, hijo del maestro Juan Cellini, florentino. Escrita por él mismo en Florencia* [1ª ed. 1560]. J. Farrán y Mayoral (trad.). Hispanoamericana de Ediciones, Colección Cumbre.

Centre Pompidou (1977). *Takis, Musicale* [*Takis. Musical*]. Centro Pompidou. https://www.centrepompidou.fr/fr/ressources/oeuvre/ca7KLE

Centro Nacional de Conservación y Restauración (s. f.). Tratamiento con Ácido Tánico. *Notas de ICC.* Instituto Canadiense de Conservación (ICC) (trad.). https://es.scribd.com/document/636782777/Acido-tanico-para-proteger-el-hierro

Cerdá J, (2023). *Introducción al arte sonoro*. https://www.cousera.org

Chaplin, C. (1936) *Tiempos modernos.* [Largometraje]. Charles Chaplin.

Chapuis, A. (1955). *Histoire de la boîte à musique et de la musique mécanique*. [*Historia de la caja de música y la música mecánica*]. Ediciones de la Revista Suiza de Relojería y Joyería Scriptar. Lausana

Chladni, E. (1787). *Descubrimientos en la teoría del sonido.* Bey Weidmanns Erben und Reich.

Clerins. (2024). *Clerins: distribuidores de Zinc, Aluminio, Latón, Plomo y Estaño.* https://clerinssl.com/es

Corral, M. (2019). *Vibration Modes and Frequencies of Pre-Hispanic Arsenic Bronze Bells* [*Modos de vibración y frecuencias en las campanas prehispánicas de bronce arsenical*]. USFQ.

Corredor, J. (1997). *Técnicas de fundición artística* . Universidad de Granada.

Cosson, N. (2017). Saint-Michel: La légendaire sculpture sonore va de nouveau résonner à l'école [La legendaria escultura sonora resonará de nuevo en el colegio] *Le Parisien*. https://www.leparisien.fr/essonne-91/saint-michel-sur-orge-91240/saint- michel-la-legendaire-sculpture-sonore-va-de-nouveau-resonner-a-l- ecole-19-04-2017-6867987.php

Curtin, L. (s. f.). *Liam Curtis. Artist*. [*Liam Curtis. Artista*]. http://liamcurtin.co.uk/

Davies, H. (2002). *Sounds Heard* [*Sonidos escuchados*]. Soundworld Publishers.

Dayton Clarence, M. (1916). *The Science of musical Sounds* [*La ciencia de los sonidos musicales*]. The Macmillan company.

Delidaise, R. (2014,). Los Hititas. El descubrimiento de un imperio olvidado. *Más allá de Pangea.* https://masalladepangea.blogspot.com/2014/02/los-hititas-el-descubrimiento-de-un.html

Denzin, N. K., y Lincoln, Y. S. (2017). *El arte y la práctica de la interpretación, la evaluación y la presentación : manual de investigación cualitativa*. Vol. V.

Doktorski, H. (s. f.). *Taxonomy of Musical* Instruments [*Taxonomía de instrumentos musicales*]. https://www.ksanti.net/free-reed/description/taxonomy.html

dxi (2020). Takis /magnetismo, luz y sonido. *dxi.* https://www.dximagazine.com/2020/05/28/takis-magnetismo-luz-y-sonido/

Ektara Dhun. (s. f.). *Ektara Dhun.* [Video]. You Tube. https://www.youtube.com/watch?v=0S0hQVIEGeA

Enrico. (2019) Céleste Boursier-Mougenot: Liquide Liquide / Fondation François Schneider. VernissageTV [Céleste Boursier-Mougenot: Líquido Líquido / Fundación Françoise Schneider. Inauguración TV]. https://vernissage.tv/2019/07/25/celeste-boursier-mougenot-liquide-liquide-fondation-francois-schneider/

Ertek, Ö. (2018) Özcan Ertek. https://ozcanertek.com/

Escuela Europea des Arts (2022, 23 de agosto). Organología: origen e importancia en el mundo de la música. https://www.escueladesarts.com/blog/organologia-origen-importancia/

Esteve, P. (s. f.). *Air: Harpes éoliennes* [Aire: Arpas Eolias] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=mSlwLcfHXuI

European acústica. (2020). *El sonido y sus características. European acústica.* https://www.europeanacustica.com/el-sonido-caracteristicas/

Fassbender, J. (2021a, 12 de octubre). *Klangbrunnen Fassbender* [Fuente sonora Fassbender] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=GFui5qCwLN0

Fernández, A. et ál. (2021). *Prehistoria II. Las sociedades metalúrgicas.* Editorial Universitaria Ramón Areces.

Ferrer, C. & Zuñiga, J. (2024). *Ondas con muelle gigante*. Universidad de Valencia. Facultad de Física. https://www.uv.es/uvweb/fisica/es/catalogo- demos/oscilaciones-ondas/ondas-muelle-gigante-slinky-1286053998285/DemoExp.html?id=1286100769639

Ferrovial. (2024). *¿Qué es el electromagnetismo?* https://www.ferrovial.com/es/stem/electromagnetismo/

Fink, R. (2015). *Len Lye-Universe 1963-1976* [*Len Lye-Universo 1963-1976*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=-yZtqkOb0Tk

Foer, J. (2011). Kunsthofpassage Singing Drain Pipes [Kunsthofpassage, canaletas cantantes]. *Atlas obscura.* https://www.atlasobscura.com/places/kunsthofpassage-funnel-wall

Fontán, M., Iges, J. y Marie, J. L. (eds.) (2016-2017). *Escuchar con los ojos. Arte sonoro en España, 1961-2016*. Fundación Juan March.

Foster, H. et al. (1983) .*La postmodernidad*. Kairós.

Franco, F. J. et ál. (2015). Los orígenes de la tecnología del hierro en el País Vasco: ferrerías de monte o haizeolak. *Kobie Serie Paleoantropología,* nº 34, pp. 267-282.

Frearson, A. (2013, 13 de febrero). *Lullaby Factory by Studio Weave* [*Fábrica de canciones de cuna por Studio Weave*]. Deezen. https://www.dezeen.com/2013/02/20/lullaby-factory-by-studio-weave/

Friday (2011). *Forest Xilophone Play Bach* [*El bosque xilófono toca a Bach*] [Vídeo]. *Friday.* YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=L2BWrmNhyXU&t=14s

Fullman, E. (2003). The Long String Instrument [El instrumento de cuerda larga]. *Musicworks*. N.º 85. pp. 20-28

Fullman, E. (s. f.) *Ellen Fullman*. https://www.ellenfullman.com/

Fundación Joaquín Díaz. (s. f.). *Instrumentos musicales en los museos de Urueña*. https://funjdiaz.net/instrumentos-museos-ficha.php?id=34

García, I. (2023) Música espectral minimalista: el caso de las músicas para voz y campanas de Llorenç Barber. *Resonancias.* Vol. 27, n° 52, enero-junio, pp. 179-202

García, M. y Moraza, A. (2006). El proceso de elaboración de campanas en la Edad Moderna a través del taller de fundición de Hernani (Gipuzkoa). *I Congreso Internacional de minería y metalurgia en el contexto de la historia de la humanidad: pasado, presente y futuro.* 6-9 de julio de 2006 (579-593). Mequienza.

García, P. (2017). *Funcionamiento y simulación de un alto horno* [Tesis doctoral]. Universidad de Oviedo.

Gaudioso, L. (2023). Breve informe sobre el término "luthier", con Ramón Andrés. *Luthier Vidal.* https://luthiervidal.com/es/blog/post/breve-informe-sobre-el-termino-luthier-ramon-andres.html

Gedisa Pedraz Marcos, A. (2014). *Investigación cualitativa.* Elsevier.

Ghoniem, M. (2011). The characterization of a corroded egyptian bronze statue and a study of the degradation phenomena [La caracterización de una estatua de bronce egipcia corroída y un estudio de los fenómenos de degradación]. *International Journal of Conservation Science, 2*(2), pp. 95-108.

Gil López, X. (2011). Espacio Permeable. Notas sobre sonido y escultura. *Revista de Artes,* n.º 27, julio/agosto. http://www.revistadeartes.com.ar/xxvii_sonidoyescultura.html

Giunta, A. (2005). *León Ferrari. Retrospectiva. Obras 1954-2004*. [Catálogo de exposición]. Centro Cultural Recoleta.

Goethe, J.W. (2019). Helena Cortés (Trads.) *Fausto.* Abada, 2010.

González, C. (1982). La fabricación de cencerros en Almansa. *Narria: Estudios de artes y costumbres populares* (pp. 17-19). Universidad Autónoma de Madrid. Repositorio UMA:

González, I. (2014/2015). Los metales. *Proyecto tecnológico Ingeni@.* Junta de Galicia.

González, R. (2013). *El luthier de Delft. Música, pintura y ciencia en tiempos de Vermeer y Spinoza.* Ediciones Acantilado.

Gonzalo, L. E. (1992). *Estudio teórico de propiedades estructurales y termodinámicas de metales y aleaciones liquidas simples* [Tesis doctoral]. Universidad de Valladolid.

Govett-Brewster Art Gallery. (2016). *Len Lye Flip and Two Twisters (Trilogy) 1977, 2016*. [*Len Lye Flip y dos tornados (trilogía) 1977, 2016*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=A8TXkUSxB5Y

Gracia, F. y Munilla, G. (2004). *Protohistoria. Pueblos y culturas en el Mediterráneo entre los siglos XIV y II a .C*. Universidad de Barcelona.

Grafakos, L. (2014). Modern Fourier Analysis (3ª ed.) [*Análisis de Fourier Moderno (3ª ed.)*] Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1230-8

Grajetzki, W. & Quirke S. (2000-2003). Metal in Egypt. Copper [El metal en Egipto. Cobre]. *Digital Egypt for Universities.* University College London. https://www.ucl.ac.uk/museums-static/digitalegypt/metal/metalinegypt.html

Grisez, C. (2024). *CG Sculpture and Jewelry,* [*CG Escultura y joyería*]. https://www.catherinegrisez.com/

Grosseteste, R. (1972). *Suma de los 8 libros de la Física de Aristóteles.* EUDEBA.

Guasch, A.M. (2019). ¿Arte sonoro? *La Vanguardia. https://www.lavanguardia.com/cultura/20191115/471613686628/arte-sonoro.html*

Guirao, P. (1981). *Pitágoras.* A.T.E.

Hans, J. (2001). *Cymatics: A Study of Wave Phenomena & Vibration* [*Cimática: un estudio de los fenómenos de ondas y vibraciones*]. Macromedia Press.

Hasell, A y McLachlan, N. (2011). *Federation bells. What are the bells* [*Federación de campanas. Qué son las campanas*]. http://federationbells.com.au/about-the-bells/what-are-the-bells

Herrmann, B. (1960). *El asesinato* [Tema musical]. Shamley Production.

Hervás, M. (2022) Música en los museos: el caso del Guggenheim de Bilbao. *Espacio, tiempo y forma*, serie VII Historia del Arte (n. época), pp. 255-276.

Hitchcock, A. (1960). *Psychosis* [*Psicósis*] [Película] Shamley Production.

Hollis, D. (2024). *Dugas Hollis. Environment Artist* [*Duglas Hollis. Artísta ambiental*]. https://douglashollis.org/

Holló, A. & Váczi, Z. (2011) Traditions Part One - The Winning Number before John7 [El número ganador antes de Jonh7] [Vídeo]. *Amadindapercussion.* YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=R7rlrl6U2-A

Home of Drum. (2019). Zildjian - How Cymbals Are Mad*e* [Zildjian- Cómo se fabrican los platillo]. *Home Of Drums Storie* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=7mF_ibGsrJY

Hopkin, B. (2017). *Bowed Whater Psaltery. Bart Hopkin* [*Salterio inclinado. Bart Hopkin*] [Vídeo]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=ja12SJsjF5Q&list=RDEM1CTmuNSGBdNkDHW7MqzxAA&start_radio=1

Hopkin, B. (2024). *Bart Hopkin. Musician and Instrument Designer* [*Bart Hopkin. Músico y diseñador de instrumentos*]. https://barthopkin.com/

Horta, A. (2019). *¿Arte sonoro?* Fundación Joan Miró.

Hugh, D. (1984) Sound sculpture [Escultura Sonora] *New Grove instruments dictionary* vol. 3: 429-433 Stanley Sadie (ed.).

Hush, G. (2023). Does Metal Reflect Sound? Soundwaves Meet Solid Metal [*¿Refleja el metal el sonido? Ondas sonoras ante el metal*]. *Gentle Hunsh.* https://gentlehush.com/does-metal-reflect-sound/

Huygens, C. (1690). *Traité de la lumière* [*Tratado sobre luz*]. A Leide: Chez Pierre vander Aa. https://library.si.edu/digital-library/book/traiteydelalumi00huyg

Ibermetal. (s. f.) Bronce. Bronce en colada continua. *Aluminio y plásticos Cataluña.* https://ibermetal.es/metales/bronce/

Iges, J. (1999a) (comis.). Apropiacionismo y arte sonoro. *Sonoscop.net.* https://www.sonoscop.net/sonoscop/procop/iges0.htm

Iges, J. (1999b). *El espacio del sonido. El tiempo de la mirada* [Catálogo exposición]. Diputación Foral de Guipuzkoa.

Indivisidir (2017). *Ko-tone. Espiral Xilophome* [Ko-tone. Espiral xilofónica] [Vídeo]. *Indivisidir.com.* YouTube. https://invisidir.com/spiral-xylophone/

International Journal of Music. (2012-2024). *The Ultimate Guide to Adam´s Trumpet* [*La guía completa de las trompetas Adam]*. *International Journal of Music.* https://ijm.education/winds/brass/trumpet/adams-trumpets/

Ivorra, C. (s. f.). *Historia Universal*. Universidad de Valencia. https://www.uv.es/ivorra/Historia/Indice.htm

Jerram, L. (2011). *Aeolus Wind Pavillion* [*Pabellón de viento de Eolo*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=__YdjypIZ_o

Jiménez, N. (2007). *Estudio de las características acústicas de la Cueva del Parpalló* (Trabajo fin de carrera). Universidad Politécnica de Valencia. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://nojigon.webs.upv.es/pdf/2008-PFC-Jimenez-Cueva_del_Parpallo.pdf

Kahn, D. (1999). Noise, Water, Meat. A History of Sound in the Arts **[***Ruido, agua, carne. Una historia del sonido en las artes*]. The MIT Press.

Kaiserdrummer (s. f.). *Butacar é ser feliz, Ja batucou hoje?* [*Butacar es ser feliz*][Vídeo]. Kaiserdrummer. Instagram: https://www.facebook.com/reel/7007196016064775

Kanazawa, K. (2021). *To strike iron/frament*s *of sound* [*Golpear hierro/fragmentos de sonido*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=JhS_7Wtv4sw

Kandinsky, W. (1988). *De lo espiritual en el arte.* Labor.

Kelly, C. (2011). *Sound.* The MIT Press.

Killick, D, y Fenn, T. (2012). Archaeometallugy: The study of Preindustrial Mining and Metallurgy. *Annual Review of Anthropology* [Arqueometalurgia: estudio de minas y metalurgia preindustriales]. *Annual Revieaws,* 41, pp. 559-575. https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-092611-145719

Kim, B. (2019). Byoungho Kim Gives form to Sound through his Immersive Installations [*Byoungho Kim da forma para sonar a través de sus instalaciones inmersivas*]. https://www.ignant.com/2019/04/04/byoungho-kim-gives-form-to-sound-through-his-immersive-installations

Kipper, P. (1996). *Patinas for Silicon Bronze* [*Pátinas para bronce con sílice*]. Rodgers & Nelsen Publishing Co.

Kucinskas, D. (Ed.) & Kennaway, G. (Coed.) (2013). *Music and Technologies* [Música y tecnologías], (pp. 43-64). Cambridge Scholars Publishing.

Kunstfond, S. (2017). *Céleste Boursier-Mougenot*. *From here to ear* [*Céleste Boursier-Mougenot. De aquí al oído*]. Copenhagen Contemporary. https://copenhagencontemporary.org/en/celeste-boursier-mougenot/

Langland, T. (1999). *From Clay to Bronze. A Studio Guide to Figurative Sculpture* [*Del barro al bronce. Una guía para escultura figurativa*]. Watson-Buptill Publications.

Latham, A. (2008). *Diccionario enciclopédico de la música.* D. R.

Laufenberg, M. (2019). *The Dan Kni a One String Talking, Rare and Strange Instruments* [*El Dan Kni, una cuerda que habla, instrumentos raros y extraños*] [Vídeo]. Matt Laufenberg. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=IN7jqLGkrcs

Laughlin et al. (2008). *Investigating the Acoustic Properties of Materials with Tuning Forks* [*Investigación de las propiedades acústicas de los materiales en un diapasón*], (pp. 22–24). Conferencia de materiales y sensaciones Pau (Francia).

Lázaro, A. (2021). Estirar el tiempo: repetición y espacio en la obra de Alvin Luci*er*. *Sonus Litterarum*. https://sonuslitterarum.mx/estirar-el-tiempo-repeticion-y-espacio-en-la-obra-de-alvin-lucier/

Le Corbusier.(1976). *El Modulor*. Poseidón.

Le Junter (2020). *Frédéric Le Junter Machine nº 121* [*Frédéric Le Junter Máquina n.º 121*] [Vídeo]. *Halle aux secres*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=PRJBQUkzZl0&t=38s

Le Junter, F. (2014). *Frédéric Le Junter- machine 1* (1984) [*Frederic Le Junter-máquina 1 (1984)*] [Vídeo]. *Fédéric Le Junter.* YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=swlj5RHadPU

Le Junter, F. (2015). *Frédéric Le Junter avec le vent* [*Frédéric Le Junter con el viento*]. [Vídeo]. Frédéric Le Junter. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=ZSudHvzRVQc&t=5s

Lehr, A. (1952). General bell-formula [Fórmula general de las campanas]. *Netherlands bellfoundry.* eijsbouts-lips ltd., 2(1), pp. 35-38.

Litch, A. (2009). Sound Art: Origins, development and ambiguities [Arte sonoro: origen, desarrollo y ambiguedades. *Sonido organized*] 14(1): 3–10. Cambridge University Press.

Literale. (2019). *Len Lye, Grass 1965* [Len Lye, hierba 1965]. [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=EZxBKBNGydM

Llimós, A. (2006). *Metales* (4a ed.). Parramón.

Llop i Álvaro, F. (2024). *El carrillón: un instrumento musical. Las campanas*. Campaners.com. http://campaners.com/php/textos.php?text=1030

López, F. et al. (2020). *Audiosfera. Experimentación sonora 1980-2020* [Catálogo de exposición]. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofia, Madrid. Fundación Reina Sofia.

López, R. (2014, 3 de junio). *Llorenç Barber: Manjar(1996)* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Nqe1OWtWe3M&t=1731s

López, S. (2018). *El uso del micrófono piezoeléctrico sobre dispositivos metálicos de largas cuerdas y objetos idiófonos*. *Aplicación práctica creativa* [Tesis doctoral]. Universidad de Valencia.

López, S. (2018). *El uso del micrófono piezoeléctrico sobre dispositivos metálicos de largas cuerdas y objetos idiófonos*. *Aplicación prática creativa* [Tesis doctoral]. Universidad de Valencia.

Los efectos sonoros en el Anillo de Decca. (2021). *Yunques* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=FgnfQvotAIM

Losada Villasante, M. (2001). *Los metales españ*oles. [s. n.]

Loup Barrow. (2012). *Cristal Baschet* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=1g6i7KUu2Lg&t=180s

Lozano, I. M. (2011). *Nuevos modelos gasificables aplicados a la técnica de la cascarilla cerámica: uso de pinturas refractarias* [Tesis doctoral]. Universidad de Granada. Digiburg: http://hdl.handle.net/10481/21626

Luck-ruf Music, (2012). Electroacoustic Mulatar with full key harp [Mulatar electroacústica con arpa de llave complete] [Vídeo]. *Luck-ruf Music.* YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=iBDDD-2HDB0

Manes, C & Chrysler, D. (2021). Calder Plays Theremin [Calder toca el theremin]. *Magazine Moma.* https://www.moma.org/magazine/articles/671

Marcay, Ch. (1999). *Guitar Drag - Christian Marclay* (1999) [Arrastre de guitarra - Christiam Marcay (1999)] [Vídeo]. *optimisticwombatninja08.* YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=ER_V5Snep8I

Marchini, I. (s. f.). *Singing Ringing Tree (Inglaterra): los sonidos espectrales de Lancashire* [*Árbol cantando sonado: los sonidos espectrales de Lancashire*]. El ojo del arte. https://elojodelarte.com/turismo/singing-ringing-tree-inglaterra-los-sonidos-espectrales-de-lancashire

Marinetti, F. T (1909). Le Futurisme [Futurismo]. *Le Figaro*. R. Gómez de la Serna (trad.) (1909). *Prometeo* II, n.º VI, abril. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arteydisegno.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/02/manifiesto-futurista-1909.pdf

Martín, O. (2021). *Meta Music Machines* [*Máquina de meta música*]. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía. https://www.museoreinasofia.es/actividades/oscar-martin

Matossian, N. (1981). *Iannis Xenakis*. París: Fayard / Sacem.

Medina, A. (2020). Vitrubio músico: los vasos del teatro. *El otro a ratos* (Blog). https://elotroaratos.blogspot.com/2020/03/vitruvio-musico-los-vasos-del-teatro.html

Mejía, G. (2016). *Neumática Herón de Alejandría.* B. Woodcroft, 1851 (trad.). Antioquía.

Merino, J. (2006). *Las vibraciones de la música.* Club Universitario (Alicante).

Mersenne, M. (2003). *Traité de l'harmonie universelle, 1627* [*Tratado de la armonía universal, 1962*]. Fayard.

Mesplé, E. (2024). *Technology-Mediated Art. Interactive Forms* [*Tecnología-art media, formas interactivas*]. https://www.mesple.com/mesple-technology-art

Mink, T. (s. f.). Procesos básicos de forja. *La fragua de Mink.* https://www.lafraguademink.es/procesos.html

Molin, M. y Knutsson, H. (2016). *Wintergatan. Marble Machine (Music instrument using 2.000 marbles)* [Wintergatan, máquina de canicas (instrumento musical usando 2.000 canicas)] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=IvUU8joBb1Q

Molina, F. (2002). La Edad de Bronce en la Península. *Nueva historia de España. La historia en su lugar. Los albores de la historia (desde los orígenes hasta el siglo III a. C.).* Pasaje 10. Planeta.

Molina, M. et al. (2017).!*Chum, Chum,Pim, Pam, Pum, Olé! Pioneros del Arte Sonoro en España, de Cervantes a las Vanguardias*. Universidad Politécnica de Valencia y Weekend Proms.

Monesma, E. (2022, 10 de enero) *El hojalatero. Moldeado, soldado y elaboración artesanal de piezas de hojalata* [Vídeo]. Eugenio Monesma Documentales. Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=XF6Lm7WGHvw

Montano, W. A. (2019). El paradigma del comienzo de la acústica como disciplina independiente en 1700. Apuntes para la discusión. *Revista ECOS.* Año 1, n.º 1.

Moore, J. (1971). *Acoustics of Bar Percussion Instruments [Acústica de instrumentos de percusión de barra]* [Tesis doctoral]. Universidad del Estado de Ohio.

Moradiellos, E. (2017). *La tesis doctoral en Ciencias Humanas y Sociales: una guía práctica*. Akal.

Moreno, C. (2008). *Diseño y normalización de pátinas en la creación escultórica. Caracterización y procesos técnicos* [Tesis doctoral] Universidad de Granada.

Moro, T. (2010). *Utopía*. Diario Público.

Morris, A. (2018). *Yuri Suzuki installs six colourful sound-modifying sculptures in Atlanta* [*Yuri Suzuki instala seis coloridas esculturas modificadoras de sonido en Atlanta*]. Deezen. https://www.dezeen.com/2018/07/12/yuri-suzuki-colourful-sound-high-museum-of-art-atlanta-installation/

Mottola, R. M. (2024). *Lutherie Information Website for builders of stringed musical instruments* [*Sitio web de información Lutherie para constructores de instrumentos musicales de cuerda*]. L. Mottola. https://www.liutaiomottola.com/index.htm

Musaki. (2019). *Duglas Hollis. Biografía*. Musiki. https://www.musiki.org.ar/Douglas_Hollis

Musée Jean Tinguely. (1996). *Museo Jean Tinguely Bâle. La Colección*. Berne Benteli.

MusicaAntigua.com.(2014). *El galeón autómata del emperador Rodolfo II*. https://musicaantigua.com/el- galeon-automata-del-emperador-rodolfo-ii/

Musiki. (2019). Hans Reichel. *Muski.* https://musiki.org.ar/Hans_Reichel

Naya, M. (s. f.) *Propiedades generales de los materiales.* Escuela Politécnica Superior: Tecnología mecánica. Universidad de La Coruña. https://lim.ii.udc.es/docencia/iin-tecmec/docs/Materiales.pdf

Neuhuaus, M. (2002). *Volume: Bed of Sound, P.S. 1* [*Volumen: cama y sonido, P. S. 1*] [Catálogo] Contemporary Art Center de Nueva York. https://www.max-neuhaus.estate/en/bibliography/publications/sound-art-in-introduction-to-the-exhibition-volume-bed-of-sound-p-s-1-contemporary-art-center-new-york-july-2000

NPR Music. (2016). *Blue Man Group: NPR Music Tiny Desk Concert* [*Grupo Hombre azul: Concierto de NPR Music Tiny Desk*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=qTJfITfbYNA&t=417s

Olmo, M & Nave, R. (2023). *Pasos para producir la resonancia de una cuerda.* HyperPhysics.

http://hyperphysics.phy- astr.gsu.edu/hbasees/Waves/funhar.html#c3

Olympics. (2024). Medallas olímpicas. *Oliympics.com/es*: https://olympics.com/es/olympic-games/olympic-medals

Özdemir, B. (2015). *Yaybahar by Görkem Şen* [*Yaybahar de Görkem Şen*] [Vídeo]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=_aY6TxC1ojA&list=RDQMVZGiC55fHVw&start_radio=1

Pardey, A. (2008). *Jean Tinguely. Retrospectiva*. IVAM Centro Julio González.

Paschoud, F. (2018). *Bing Bang-Etienne Krähenbühl*. [Vídeo]. Fondation Edouard & Maurice Sandoz à Pully. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=BzOLQcxIe6Q

Pascoal, H. (2020, 15 de septiembre). *Hermeto Pascoal - Música da Lagoa (Sinfonía do Alto Ribeira, 1985)* [*Hemeteo Pascoal- Música da Lagoa (Sinfónica de Alto Ribeira, 1985)*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=lZbfNtDCHdM

Peabody Essex Museum (2014). *Listen to FreePort [No. 007]: Céleste Boursier-Mougenot (60 seconds)* [*Escucha de FreePort [No. 007]: Céleste Boursier-Mougenot (60 segundos)*]. Peabody essex Museum

Pérez, J. (2013). Clasificación Sachs-Hornbostel de instrumentos musicales: una revisión y aplicación desde la perspectiva americana. *Revista Musical Chilena*, vol. 67, n.º 219. http://dx.doi.org/10.4067/S0716-27902013000100003

Pérez, R. (2016). "Tesis doctoral del vibráfono" por Rafael Pérez Vigo. *Geni Barry.* http://genibarry.com/tesis-doctoral-del-vibrafono-por-rafael-perez-vigo/

Pero-Sanz Elorz, J. A. (1992). *Ciencia e ingeniería de materiales : metalurgia física, estructura y propiedades.* Dossat.

Picado, Vera y. (2012). Arte y escultura sonora. Del sonido como objeto al objeto sonoro. *Arte y políticas de identidad*. vol. 7, pp. 51-60. Universidad de Murcia.

Pierre, J. (2003). *Le bronze d'art et ses techniques* [*El arte del bronce y sus técnicas*]. H. Vial.

Platón (2013). J. M., Pabón y M. Fernández Galiano (trads.), *La república.* (3ª ed.). Alianza Editorial.

Politzer, D. (2023). *An Investigation of Resonator Guitar Sound* [Una investigación del sonido de la guitarra resonadora]. Instituto de Tecnología de California.

Portero, G. F. (1996). *Estudio de la acústica en la fabricación de campanas de bronce* [Tesis doctoral]. Facultad de Ingeniería Mecánica de Ecuador.

Predota, G. (2015, 17 de mayo). *Sounding the Sea Blackpool High Tide Organ. Interlude* [*Sonorizando el órgano de marea alta del mar de Blackpool. Interludio*]. https://interlude.hk/sounding-seablackpool-high-tide-organ/#:~:text=Part%20of%20%E2%80%9CThe%20Great%20Promenade,%2C%20steel%2C%20zinc%20and%20copper.

Publication Manual of the American Psychological Association: the Official Guide to APA Style (7th ed., reimp.) [Manual de publicaciones de la Asociación Estadounidense de Psicología: la guía oficial del estilo APA (7ª ed., reimp.]. (2020). American Psychological Association.

Pyle, R. W. (1998). The Effect of Wall Materials on the Timbre of Brass Instruments [Los efectos de material de las paredes en el timbre de los instrumentos de viento metal]. *The Journal of the Acoustical Society of America,*103,2834. https://pubs.aip.org/asa/jasa/article/103/5_Supplement/2834/560240/The-effect-of-wall-materials-on-the-timbre-of

Quinto, J. M. (1959). *El misterio de los hititas.* Destino.

Real Academia Española. (2021). *Theremin. Diccionario histórico de la lengua española.* https://www.rae.es/dhle/theremin

Rees, T. (2009). *Ernst Chladni: Physicist, Musician and Musical Instrument Maker* [*Ernst Chladni: físico, músico y fabricante de instrumentos musicales*]. Universidad de Cambridge.

Rendueles, C. (2007). Jaume Plensa. La poesía de la materia. *Minerva.* Círculo de BB.AA. https://cbamadrid.es/revistaminerva/articulo.php?id=146

Richards, E. (2019, 13 de noviembre). *Creative Percussive Instruments 4: Brass & Stainless Steel* [*Instrumentos de percusión creativos 4: latón y acero inoxidable*] [Vídeo]. J. Martone. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=zHEueWk9B7w

Rivera Camino, J., y Gómez-Mejía, L. R. (2014). *Cómo escribir y publicar una tesis doctoral* (2ª ed.). ESIC.

Roberts, B. & Thornton, C. 2014). Introduction [Introducción]. *Arcaheometallurgy in Global Prospective. Methods and Syntheses* (pp. 1-9). Springer Science & Business Media.

Rodríguez-Zaparripa. (2014). Tubular Bells [Campanas tubulares]. *Acústica aplicada.* https://ramarodriguezz.wordpress.com/2014/04/01/tubular-bells/

Rodríguez, A. (2022, 23 de agosto). Clasificación del acero según las normas internacionales. *Ilbrinox.* https://www.ulbrinox.com.mx/blog/la-clasificacion-del-acero-segun-normas-internacionales

Roncone, K. (2007). The Science of Sound: Examining The Role of Material in Musical Instruments [La ciencia del sonido: examinando el papel del

material en los instrumentos musicales]. *TMS.* https://www.tms.org/pubs/journals/jom/0708/roncone-0708.html

Rossi, D. (2014,). *Dario Rossi live @ Alexander Platz, Berlin* [Vídeo]. Darío Rossi Oficial. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=bE6GopNMeys

Rozemblum, J. L. (2011). *Glosario de instrumentos musicales.* Akal.

Ruiz i Carulla, M. (2015). *Escultura sonora Baschet. Arxiu documental i classificació d'aplicacions pel desenvolupament de formes acústiques* [*Escultura sonora Baschet. Archivo documental y clasificación de aplicaciones para el desarrollo de formas acústicas*] [Tesis doctoral]. Universidad de Barcelona.

Ruiz Olabuénaga, J. I. (2014). *Metodología de la investigación cualitativa*. Universidad de Deusto.

Ruiz, M. (2018). *Escultura y objeto sonoro.* [Vídeo]. Universidad de Barcelona. YouTube. https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=RuVKxYF187s&autoplay=1&rel=0&showinfo=0

Ruiz, M. (2020). *Objeto sonoro.* Universidad de Catalunya.

Rumsey, F. & McCormick, T. (2008). *Sonido y grabación.* Omega.

Runfola, M. (2015). *Pátinas. Más de trescientos efectos de coloración para joyeros y orfebres*. Promopress.

Russolo, L. (1996). *El arte de los ruidos*. Cuenca, Centro de creación experimental, Taller de ediciones.

Rytmisk Musikkonservatorium (2024). *Ignacio Córdoba: RMC Session* [Vídeo]. Rytmisk Musikkonservatorium / RMC.dk. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=iav_1letw_0

Sabatini. I. (1996). *Jhon Cage. Sonata para interludio para piano preparado. Limoges, La main courante*. D. Charles (trad.). DSMC. https://sites.google.com/view/dsmc/publicaciones-contenidos/john-cage-piano-preparado-por-ines-sabatini

Sánchez, A. (2012). *Hierro y forja. Atlas ilustrado*. Susaeta.

Sancho, M. (2011). El hierro en la Edad Media: desarrollo social y tecnología productiva. *Anuario de estudios medievales: Tecnología medieval en el Mediterráneo occidental, 41(2)* 2011, pp. 645-671. https://estudiosmedievales.revistas.csic.es/index.php/estudiosmedievales/article/view/366/372

Sanouillet, M. & Peterson, E. (1975). *Duchamp du signe* [*Duchamp del signo*]. Flammarion.

Sartre, J. P. (s. f.). *Alexander Calder: Teatro de encuentros*. Fundación Proa y Calder Fundation. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.proa.org/online/file_1170_esp.pdf

Saunders, J. (2009). Entrevista con Alvin Lucier. *The Ashgate Research Companion to Experimental Music*, n.º 2, pp. 305-311.

Schaeffer, P. (2002). *De la musique concrète à la musique même [De la música concreta a la música misma*]. Mémoire du livre.

Silleras, R. (2015). *Sólido y Sonido: posibilidades creativas de la conjunción del sonido con medios en estado sólido en la escultura sonora contemporánea* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia.

Skjødt, Ch. (2014,). *Vibrant Disturbance III* [*Perturbación vibrante*]. [Vídeo] https://www.youtube.com/watch?v=tdvFv2pFwjo&list=PLX6hRsjPIbexe2f5KYkhjxbJxqVM6_lbv

Smith, R. (1986) *The effect of material in brass instruments: a review* [*El efecto de los materiales en viento-metal: una revisión*], vol. 8, part. 1, (91-96). Actas del Instituto de Acústica de Londres. Instituto de Acústica de Londres.

Socio, J. (2001). Acústica...¿Ciencia del sonido, ciencia del oír o campo interdisciplinario? *Revista del Instituto de Investigación Musicológica "Carlos Vega"* Año XVII, nº 17, 2001. Universidad Católica de Argentina.

Solanas Jiménez, M. C. (2011). *La poética futurista.* Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.

Solaun, J. L., et al. (2018). *La fundición de campanas y su registro arqueológico (siglos XII-XVI). De la secuencia productiva a la secuencia estratigráfica.* Kobie Serie Anejo, nº 18 (226- 244). Bizkaiko Foru Aldundia Diputación Foral de Bizkaia

Spanghero (2024). *Michele Spanghero.* https://www.michelespanghero.com/

Spanghero, M. (2020). *Michele Spanghero selected works 2009–2020* [*Michele Spanghero selección de obras 2009-2020*] [Portfolio]. Galeria Alberta Pane.

Stfassbender, J. (2021). *Klangkun Stfassbender* [Vídeo]. https://www.klangkunstfassbender.de/

Suzuki, D. T., & Fromm, E. (1992). *Budismo Zen y psicoanálisis*. Fondo de Cultura Económica.

Takis, V. (2013). *Musicale, 1977. Les forces cachées de la matière* [*Musical, 1977. Las fuerzas de la materia*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Qh9NkjdMadI

Tate Modern. (2006). *Harmonic Bridge* [*Puente armónico*] [Vídeo]. YouTube. https://resoundings.org/Pages/Harmonic_Bridge1.htm

Tewari, S. (2017). *Confluence: Tom Nunn's Sculptured Musical Instruments For Improvisation* [*Confluencia: Instrumentos musicales esculpidos para improvisar*]. Universidad de Cádiz.

The Getty. (2017). *Keep It Moving?* [*¿Mantener esto en movimiento*?]. Getty Publications [Vídeo]. You Tube. https://www.youtube.com/watch?v=fgqht8Ui8dw&t=2s

The Len Lye Fundation (2024). *Sculptures* [*Esculturas*]. https://www.lenlyefoundation.com/page/sculptures/70/12/

The New York Times, (s. f.). *Josep Bartolozzi. Bridge Music* [*Josep Bartolozzi. Música de puente*] [Vídeo]. Youtube. https://josephbertolozzi.com/bridge-music/

Travé , A. (2024). *Metarmonía de François*. Escultura sonora en metal [Imagen y grabación sonora]. bandcamp. https://antoniotrave.bandcamp.com/track/metarmon-a-de-fran-ois-toma-1

Toutain, G. (s. f.) Key tam drum [*Tambor clave*]. *Keytam & Jogadoc EURL.* https://www.keytam.fr/en/specifications/

Trichet, P. (1957). *Traité des instruments de musique,* (vers. 1640) [*Tratado de los instrumentos de música, (versión de 1640)*]. Société de musique d'autrefois. Neuilly-sur-Seine.

Trompete. (2007). *Entrevista a Jonh Aigi Hurn*. *Cómo influye cada uno de los elementos constructivos en el resultado final de una trompeta*: http://www.trompete.com.pt/aigihurn.html

Twitchell, B. (2019). *Bertoia. The Metal worker* [*Bertoia. El trabajador del metal*]. Phaidon.

Universidad de Burgos (UBU) (. s. f.). Historia de los metales. *Materiales. Una historia sobre la evolución humana y los avances tecnológicos.* https://historiamateriales.ubuinvestiga.es/metales/#Paso-1

USC Roski School of Art and Design. (2013). *Trimpin & Sound Art: A USC Roski / USC Thornton Collaboration* [*Trimpin y arte sonoro: una colaboración entre USC Roski y USC Thornton*] *[*Vídeo]. https://www.youtube.com/watch?v=8iCLLrlT5Qc

Valek, P. (2024a). *Music 25 2 2024. The vape* [*Música 25 2 2024. El vape*]. [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=_oQKXuB6gK0

Valek, P. (2024b). *Music 27 1 2024*. *The vape.* [*Música 27 2 2024. El vape*]. [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=cf2MtFivXiA

Van der Meijs, R. (s. f.). *Odoshi Cloud Sequence* [*Secuencia de nubes Odoshi*]. https://www.ronaldvandermeijs.nl/Odoshi-Cloud-Sequence

Vanney, L. (s. f.) Idiófonos de fricción. *IDIS.* https://proyectoidis.org/idiofonos-de-friccion/#:~:text=Consiste%20en%20una%20serie%20de,sobre%20los%20platos%20mientras%20giran.

Vasquez, L. (s. f .) *Leonel Vasquez*. https://www.leonelvasquez.com/

Velsey, K. (2008) Jodi Rose: Making Bridges Sing [*Haciendo cantar a los puentes*]. *Alarm Magazine.* https://alarm-magazine.com/2008/sirens-of-suspension-bridge-songs/

Villa Romana de Olmeda (VRO). (2022, 5 de noviembre). *El hydraulis de La Olmeda.* https://www.villaromanalaolmeda.com/villa/olmeda/galeria-multimedia/2022/hydraulis-olmeda

Virtuosso.com (s.f .). Ebow, efectos en la guitarra [Vídeo]. Virtuosso. YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=gVsf4eetfys

Vitruvio, M. (1787). *Los diez libros de arquitectura*. Imprenta Real.

Von Trier, L. (2000). *Bailando en la oscuridad* [Largometraje]. Vibeke Windeløv.

Von, S. (2024). *Stephan Von Huene*. https://www.stephanvonhuene.de/en/?r

Warner, G. (2023, 1 de junio) Songs of steel and glass: The Osaka World Expo ’70 Baschet sound sculptures [*Canciones de acero y vidrio: las esculturas sonoras Baschet de la Expo Mundial de Osaka '70*]. *Garland Magazine.* https://garlandmag.com/article/baschet/

WFTP (2021, 1 de julio). Handmade Cymbals with Dave Collingwood [*Platillos hechos a mano con Dave Collingwood*]. *WFTP In the Studio* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=_GTTvnvq22w

Widholm, G. (2014). Technology in music acoustics and performance science. [Tecnología en acústica musical y ciencias de la interpretación]. *Music and Technologies 2,* 43-64. Darius Kucinskas and Georg Kennaway. https://www.widholm.at/wp-content/uploads/2021/01/2014_Technology_in_Music_Acoustics_and_Performance_Science.pdf

Widholm, G. (2020). *Silver, Gold, Platinum - And the Sound of the Flute II.* [Plata, oro, platino y el sonido de la flauta II]. University of Music and Performing Arts Vienna. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.widholm.at/wp-content/uploads/2020/12/SILVER-GOLD-PLATINUM-AND-THE-SOUND-OF-THE-FLUTE-II-extended-version.pdf

Wise, R. (1979). *Star Trek: The Motion Picture* [*Star Trek: La película*] [Película]. Gene Roddenberry.

Wolf, N. (2023a, 23 de mayo) *Nicolas Wolf- Funivia* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=hKwlWkRiq7I

Wolf, N. (2023b, 17 de septiembre) *Nicolas Wolf-Fontana* [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=nOcdCj6F2Xs

Wolf, N. (2023c, 19 de noviembre) *Nothing but hot air* [*Nada pero aire caliente*] [Vídeo]. Facebook. https://www.facebook.com/watch?v=856085486212190

Wolf, N. (2024a, 4 de enero). *Nicolas Wolf- La bruit de l'hiver*. [*Nicolás Wolf- El ruido del invierno*] [Vídeo]. Nicolas Wolf Music. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Y171t15llr4

Wolf, N. (2024b, 27 de marzo). *Impressions* [*Impresiones*] [Vídeo]. *Nicolas Wolf Music.* YouTube. https://www.facebook.com/watch?v=1085267239251185

Zambeletti, F. (2023). Enormous lengths: body, space and sound in the work of Ellen Fullman [*Enormes longitudes: cuerpo, espacio y sonido en la obra de Ellen Fullman*]. *KoozArch*. https://koozarch.com/interviews/enormous-lengths-body-space-and-sound-in-the-work-of-ellen-fullman

Zimoun. (2020). *Zimoun: Compilation Video 3.9 (2020): Sound Installations, Sound Architectures, Sound Sculptures* [*Zimoun: Vídeo recopilatorio 3.9 (2020): Instalaciones sonoras, Arquitecturas sonoras, Esculturas sonoras*] [Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=VAzObWw4ezo

Índice de figuras

Índice de figuras **Pág.**

Figura 1.1. Duchamp, M. (1916) *À bruit secret* [*ready made* hecho con metal e hilo]. Fuente: Centro Georges Pompidou. **45**

Figura 1.2. Boccioni, U. (1949). *Formas únicas de continuidad en el espacio* [escultura en bronce fundido]. Fuente: The Metropolitan Museum of Art. **48**

Figura 1.3. Gabo, N. (1919-1920, réplica 1985) *Kinetic Construction (Standing Wave)* [escultura cinética realizada con varilla de acero inoxidable y motor eléctrico]. Fuente: Nina y Graham Williams. **50**

Figura 2.1. Ilustración de Lellio Dalla (1781). Se observa en la parte superior la colocación de un vaso bajo las gradas. Fuente: Á. Medina. **62**

Figura 2.2. Longitud de onda. Fuente: elaboración propia. **64**

Figura 2.3. Símil con un muelle de los periodos de compresión y descompresión que experimenta un medio cuando el sonido viaja a través de él. Fuente: C. Ferrer y J. Zuñiga. **66**

Figura 2.4. Onda sinusoidal. En rojo un ciclo completo. Fuente: elaboración propia. **66**

Figura 2.5. Análisis de espectro de una cuerda de guitarra acústica vibrando en La. Los picos representan las frecuencias que suenan con mayor amplitud. Fuente: elaboración propia. Software: Spectrum2. **69**

Figura 2.6. Amplitud de onda de la pulsación de una cuerda de guitarra acústica. En el primer instante se produce un momento corto de mayor volumen, después un periodo largo de sustain y poco a poco se silencia. Fuente: elaboración propia. Software: LogicproX. **69**

Figura 2.7. Medición de los 10 primeros armónicos/parciales a partir de la nota La (A) pulsada en una guitarra. Si se observa, a la derecha se siguen formando parciales, cada vez con menos intensidad. Fuente: elaboración propia. Software: Spectrum2. **72**

Figura 2.8. Distintos modos de vibración de una cuerda en un mismo momento produciendo sus parciales y la serie armónica. Fuente: autor desconocido. **72**

Figura 2.9. Ondas estacionarias. A la izquierda, dos ondas acústicas (azul y verde) de igual frecuencia que viajan en direcciones opuestas. La onda roja es la suma de las dos anteriores y presenta un patrón estacionario que no viaja ni a la derecha ni a la izquierda. A la derecha, dos ondas acústicas cuyas fases se acercan (puntos azul y verde de las ondas) y la intensidad de ambas se suma en la fase de onda estacionaria de color rojo. Fuente: elaboración propia. **76**

Figura 2.10. Placas de metal de Chaldni. Fuente: Matemateca (IME USP). **81**

Figura 2.11. Patrones de Chladni (1802). Fuente: E.F.F.Chladni – del libro *Die Akustik.* **81**

Figura 3.1. (ca. 1575-1295 a. C.). Muro sur de la tumba de Rekhmier en el Valle de los Nobles de Sheij Abd el Ourna [Pintura mural]. Fuente: bridgemanimages.com **92**

Figura 3.2. (ca. 1550). Orfebre fundiendo metal. *Mapa Tlotzin.* Fuente: P. Aguilar **92**

Figura 3.3. Ochoa, V. (2020). *Zulo* [bronce blanco]. Fuente: elaboración propia . **109**

Figura 3.4. Moreno, M. (1961). *Cabeza de gitana* [chapa de latón repujada]. Fuente: web del escultor. **109**

Figura 3.5. Fasssbender, J. 2021. *Campanas tubulares* [instrumento musical, hecho con tubo de cobre]. Fuente: klangkunstfassbender.web **112**

Figura 3.6. (ca.1350 a. C.). Daga de Tutankamón [Hierro meteórico]. Fuente: *ABC*. **115**

Figura 3.7. Amigo, M. (1996). *Caracola* [Escultura sonora en acero corten]. Fuente: elaboración propia. **120**

Figura 3.8. Serra, R (1994/2006). *La materia del tiempo* [Escultura en acero corten]. Fuente: Iñaki Andrés **120**

Figura 3.9.Kapoor, A. (2006). Cloud Gate [escultura en acero inoxidable pulido]. *Fuente:Gettyimages. https://www.gettyimages.es/fotos/cloud-gate.* **121**

Figura 3.10. Bourgeois, L. (1999). *Mamá* [escultura en bronce y acero]. Fuente: Pixelillo. **125**

Figura 3.11. Proceso de vaciado en bronce por la cera perdida. Fuente: web de *The Sculture Park* en Londres **127**

Figura 3.12. Izquierda: Proceso de conformado del molde de una campana. Fuente: web de Fundición de campanas Quintana. Derecha: Proceso de elaboración de campanas mediante eje vertical. Fuente: *enciclopedia* de Diderot y d'Alambert de a finales del s. XVIII. **129**

Figura 3.13. Coquilla de bronce. Fuente: elaboración propia. **130**

Figura 3.14. Bartolomé de Jaén *(1520*). *Reja mayor de la Capilla Real* [hierro forjado, pavonado y con baño de oro]. Fuente: web Capilla Real, Granada . **130**

Figura 3.15. Chillida, E. (1991*). Elogio del hierro III.* [escultura en acero corten]. Fuente: Chillida Leku. **135**

Figura 3.16. Calder, A. (1971). Detalle de la obra *Hellebardier* [escultura en chapa de acero remachada y pintada]. Fuente: elaboración propia. **135**

Figura 3.17. Cellini, B. (1554). *Perseo* [escultura de bronce y mármol]. Fuente: elaboración propia. **138**

Figura 3.18. Conformado de varias piezas de una escultura, en la que se pueden apreciar los cordones de soldadura en la parte inferior de la imagen inferior [bronce]. Fuente: elaboración propia. **138**

Figura 3.19. Moreno, M. (2007). Venus de Armilla [escultura en chapa de latón batida]. Fuente: desconocido. En la imagen se puede ver en primer plano como el autor trabaja una chapa de latón sobre yunque. Al fondo las diferentes piezas son ensambladas sobre el modelo realizado en porexpán. **140**

Figura 3.20. Bartholdi, F. (1884). Fragmento (dedo del pie con uña) de muestra del museo de *la Estatua de la libertad* [chapa de cobre repujada]. Fuente: Grisez, C. Se puede apreciar en el reverso (imagen izquierda) por dónde fue dada la forma y que está reforzada con pletinas de cobre. En el anverso (imagen derecha), en el centro de la uña del pie se observan los remaches utilizados para sujetar las pletinas de refuerzo. **141**

Figura 3.21. Brasero [cobre repujado]. Fuente: Milanuncios **143**

Figura 3.22. Grisez. C. *(2023). Surrender* [escultura en cobre repujado, electroformado sobre cera y perla barroca]. Fuente: D. Yaple. **143**

Figura 3.23. Embutición de piezas metálicas. Fuente: Osrodola **144**

Figura 3.24. Repulsado en torno. Fuente: CustomPartNet. **145**

Figura 3.25. Travé, A. (2020) *Hoja* [escultura de chapa de acero repujada y pavonada]. Fuente: elaboración propia. **148**

Figura 3.26. Arruf, M. (2002/2017) *Venus* [escultura de bronce]. Fuente: elaboración propia. En la imagen izquierda se está aplicando la pátina en caliente por medio de un pulverizador y un soplete. La derecha muestra el resultado, a la espera de una capa de cera para dar brillo y protegerla. **148**

Figura 4.1. Pedal Steel Guitar [instrumento musical de madera y acero]. Fuente: E. Ploetz. **179**

Figura 4.2. *Koto* [instrumento musical de madera y marfil] Fuente: Japanese Koto. **179**

Figura 4.3. Zanfona [instrumento musical de madera]. Fuente: P. Carpintero. **180**

Figura 4.4. Mulatar [instrumento musical de madera y metal]. Fuente: Lockruf Instrument and Music. **180**

Figura 4.5. *Slide.*[aluminio] Fuente: elaboración propia **181**

Figura 4.6. Dan Bau.[instrumento musical madera y cuerno] Fuente: L. Anh. **181**

Figura 4.7. *Gopichand* [instrumento musical de madera] Fuente: Thooman. **182**

Figura 4.8. Estudio AIA. (2011). *Puente de Castilla-La Mancha* [cable de acero y hormigón]. Fuente: Nieke. **184**

Figura 4.9. Hollis, D. (1976) *Aeolian Harp*. [escultura sonora de acero inoxidable]. Fuente: Exploratorium S. F. **186**

Figura 4.10. Boursier, C. (2016). *From Here to Ear.* [Instalación sonora]. Fuente: C. Boursier. **186**

Figura 4.11. Marclay, C.(1999).*Guitar Drags* [performance]. Fuente: frame del video original. **188**

Figura 4.12. Bras, N. (2020). *Tin can kamele N'goni* [instrumento musical de madera y hojalata]. Fuente: N. Bras. **188**

Figura 4.13. Thurlow, A.(2014). *Bang-O* [instrumento musical de acero]. Fuente: web de Anarchestra. **189**

Figura 4.14. B. Hopkin. (2024) *Slide Ice.* [instrumento musical experimental de madera y metal]. Fuente: B. Hopkin. **189**

Figura 4.15. Fassbender, J. (2021). *Steel Chello* [instrumento musical experimental de madera y metal acero inox.]. Fuente: web Klangkunstfassbender. **189**

Figura 4.16. Butler, K. (2002). El autor con uno de sus instrumentos. Fuente: J. Bentham. **191**

Figura 4.17. Şen, G. (2014).*Yaibahar* [instrumento musical de madera, piel y metal]. Fuente: G. Şen. **191**

Figura 4.18. Baschet, F.(1952). *La guitarra inflable* [instrumento/ escultura de plástico y madera]. Fuente: Baschet.org **192**

Figura 4.19. Huxley, C. (1979*) The Blaster Beam* [instrumento musical de aluminio y acero inox.]. Fte.: desconocida. **193**

Figura 4.20. Blue Man Group. (2016). *Spinulum* [instrumento musical de aluminio y plastico] Fuente: Frame del video de su actuación para la serie *Tiny Desk* de NPR Music. **194**

Figura 4.21. Distintas boquillas del grupo de aerófonos. Fuente: Infovisual.info **195**

Figura 4.22. Boisserie, J. (2014). *Tintignac Carnyx* [instrumento musical de chapa de bronce repujada] Fuente: web Carnyx & Co. **198**

Figura 4.23. Hopkin, B. *Periodic Snip Flute*. [instrumento musical experimental con compresor de aire, madera, plástico, ladrillo y metal]. Fuente: web Barth Hopkin. **200**

Figura 4.24. Hopkin, B. *Moe*. [instrumento musical de acero y plástico con material magnético]. Fuente: web Barth Hopkin. **200**

Figura 4.25. Merino, J. (2006). Distintas direcciones de la vibración de una pletina. Fuente: J. Merino. **204**

Figura 4.26. Gangsa de una orquesta Gamelan. [instrumento musical de bronce]. Fuente: autor desconocido. **204**

Figura 4.27. Mecanismo de una caja de música [acero cincado y latón]. Fuente: elaboración propia. **205**

Figura. 4.28. Cinceles con gomas en el punto exacto para que al apoyarlos sobre la mesa y sean golpeados, generen una onda estacionaria. [acero de herramientas]. Fuente: elaboración propia. **205**

Figura 4.29. Merino, J. (2006). Distintos modos de vibración de una campana. Fuente: J. Merino. **206**

Figura 4.30. Pandero cuadrado [instrumento musical de piel y madera]. Fuente: Colección L. Delgado, Fundación Joaquín Díaz. **207**

Figura 4.31. Steeldrum [intrumento musical de acero]. Fuente: A. Alder. **207**

Figura 4.32. Huesera [instrumento musical de hueso de cabra]. Fuente: L. Paino. **208**

Figura 4.33. Tabla de lavar [instrumento musical de madera y metal]. Fuente: Tortosa luthier. **208**

Figura 4.34. Quijada de caballo [instrumento musical de hueso]. Fuente: BuzzFeed LATAM. **209**

Figura 4.35. Vibroslap [instrumento musical de madera, aluminio y acero inox.]. Fuente: elaboración propia. **209**

Figura 4.36. Sistro [instrumento musical de bronce] (350 a. C.). Fuente: Museo de Egipto de Berlín. **210**

Figura 4.37. Zambomba. [instrumento musical de arcilla, piel y caña]. Fuente: J. Beltran. **212**

Figura 4.38. Franklin, B. (1761). Armónica de cristal [instrumento musical de cristal]. Fuente: Benjamin Franklin House Museum . **212**

Figura 4.39. Izquierda: Wilde, J. (1740). Violín de clavos de Bohemia s. XIX [instrumento musical de madera y metal]. Fuente: Museo de la música, Praga. Derecha: Wilde, J. (1780). *Violin de clavos* [instrumento musical de madera y metal]. Fuente: MET Museum. **213**

Figura. 4.40. Arpa de boca/Trompa gallega [instrumento musical de acero templado]. Fuente: Maultron. **213**

Figura 4.41. Handpan [instrumento musical de acero repujado]. Fuente: Thooman web. **213**

Figura 4.42. Metalófono infantil con incisiones en la parte inferior para su correcta afinación [instrumento musical de madera y aluminio]. Fuente: elaboración propia. **215**

Figura 4.43. Trazado y perfil de una campana. Fuente: Quintana, fundidores de campanas. **215**

Figura 4.44. Detalle de sistema de tensado de un timbal [acero]. Fuente: desconocida. **216**

Figura 4.45. Tablas indias [instrumento musical de cuero, metal y madera]. Fuente: instrumentosetnicos.org **216**

Figura 4.46. Tongue drums [acero esmaltado]. Fuente: Thooman web. **216**

Figura 4.47. Vibráfono [instrumento musical de aluminio y acero].Fuente: Musical San Francisco. **218**

Figura 4.48. Bordonera [instrumento musical de acero, madera y plástico].Fuente: elaboración propia. **218**

Figura 4.49. Kanazawa, K. (2000). *17 planets installation for the gallery 1* [escultura sonora de acero]. Niitsu Art Museum. Fuente: Y. Watabe. **221**

Figura 4.50. Barber, Ll. (fecha desconocida). *Campanario portátil* [instrumento musical de acero y madera] Fuente: L. Barber. **221**

Figura 4.51. Wolf. N. (2024b). *Impressions* [video sonoro, plancha de aluminio]. Fuente: N. Wolf. **222**

Figura 4.52. Bongo, J.(1972). Bongo tocando bidones de acero [acero]. Fuente: G. Nelson. **223**

Figura 4.53. Pelomono. (2014). Detalle de Pelomono usando escobillas del W.C [plástico]. Fuente: D. Flows. **224**

Figura 4.54. Baschet, F y B. (1963). *Cristal Trombó* [escultura sonora de acero, aluminio y cristal]. Fuente: MOMA. **224**

Figura 4.55. Fiction, D. (2014) *Daxophone* [instrumento sonoro experimental en madera]. Fuente: D. Fiction. **225**

Figura 4.56. Hopkins, B. *Dansal3,* [instrumento musical experimental de aluminio y madera]. Fuente: B. Hopkins. **225**

Figura 4.57. Hopkins, B. (2019). *What-a-Shame* [instrumento musical experimental de latón , acero y madera]. Fuente: B. Hopkins. **226**

Figura 4.58. Nunn, T. (1976). *The Crustacean* [escultura sonora de bronce y acero]. Fuente: C. Brown **226**

Figura 4.59. Brown, C. (1983). *Chromatic Wing* [instrumento/escultura musical de latón y acero]. Fuente: C. Brown. **227**

Figura 4.60. Hopkins, B. (s. f.). *Dipping Chimes* [instrumento musical de aluminio y madera]. Fuente: B. Hopkins. **230**

Figura 4.61. Waters, R. (s.f.). *Waterphone* [instrumento musical experimental de acero inox. y latón]. Fuente: R. Waters. **230**

Figura 4.62. Baschet, F y B. (s. f.) Conjunto de diferentes piezas [estructuras sonoras de acero y acero inox.]. Fuente: Asoc. Structures sonores Baschet. **232**

Figura 4.63. Baschet, F y B. (1970*). Ikedaphone* [escultura sonora de acero y aluminio]. Fuente: G.Warner. **232**

Figura 4.64. Vásquez, L (2022) *Canto rodado polifónico* [escultura sonora de madera, cobre, acero y piedra]. Fuente: L.Vasquez. **233**

Figura 4.65. Fassbender, J. (2021). *Platillos oscilantes*[escultura sonora de madera, cobre y bronce]. Fuente: Klangkunstfassbender web. **233**

Figura 4.66. Fassbender, J. (2021). *Ballat String* [instrumento sonor experimental de acero y membrana sintética]. Fuente: web de J. Klangkunstfassbender web. **234**

Figura 5.1. Calder, A. (1948). *Triple Gong* [escultura móvil en acero y latón]. Fuente: Calder Fundation, New York. **246**

Figura 5.2. Brown, E. (1966). *Piece* interpretada en la Fondation Maeght, Saint-Paul-de-Vence, Francia, agosto de 1967. Fuente: Desconocida. **247**

Figura 5.3. Calder, A. (1966). *Chef d'orchestre* [escultura sonora en acero pintado]. Foto: Calder Fundation New York. **248**

Figura 5.4. Travé, A. (2022). Apuntes del autor [dibujo en papel y tinta]. Fuente: elaboración propia. **250**

Figura 5.5. Ertek, Ö. 2020). *Sculpture # 1 (Wires)*[escultura sonora de alambre, altavoces, platillos de latón y materiales diversos]. Fuente: web del autor. **251**

Figura 5.6. Boursier-Mougenot, C. (2011). *Clinamen* [escultura sonora, cerámica y agua]. Museo Nacional de Arte Contemporáneo de Seúl, Corea, exposición entre julio - octubre de 2011. Fuente: cortesía de la Galería Xippas. **253**

Figura 5.7. Tinguely, J. (1956). *Wundermaschine - Méta-Kandinsky II Relief polychrome* [escultura cinética en madera, varillas de metal, correas de goma, motor eléctrico de 110 V]. Fuente: Museo Tinguely. **259**

Figura 5.8. Tinguely, J. (1960). *La jalousie* [escultura sonora en metal y distintos materiales de desecho].Foto: Hauser & Wirth. **260**

Figura 5.9. Tinguely, J. (1962) *Radio-skulpture* [escultura sonora en metal y distintos materiales de desecho].Foto: A. D. **260**

Figura 5.10. Tinguel, J. (1978). *Meta-harmonie II* [escultura cinético- sonora de piezas de desecho de acero e instrumentos musicales varios]. Fuente: Museo Tinguely. **261**

Figura 5.11. Tinguely, J. (1978). *Klamaut* [vehículo-escultura intervenido con piezas de mecanismos de acero, platos de bronce y cencerros]. Fuente: Autor desconocido. **262**

Figura 5.12. Von Huene, S. (1967). *Washboard Band* [escultura sonora en madera y metal]. Foto: Frank Oleski. Colección privada, Düseldorf. **265**

Figura 5.13. Von Huene, S. (1985). *Zubertlöte*. [escultura sonora en madera y metal]. Foto: F. Wamhof. **265**

Figura 5.14. Molin, M. (2016). *Marble Machine* [escultura sonora/instrumento musical]. Fuente: *Ideastrem Public Media.* **266**

Figura 5.15. Spanghero, M. (2017-2018). *Ab Lib* [escultura sonora madera y estaño]. Foto: web M. Spanghero. **268**

Figura 5.16. The Logos Fundation. (2023). *Logos Robot Orchestra*. Fuente: web VisistGent. **269**

*Figura 5.17.*Valek, P. (2024). *Music 6 1 2024* [escultura sonora con motor, recipiente de acero inox., alambres, piedras, madera]. Fuente: The Vape. **270**

Figura 5.18. Valek, P. (2024). *Music 25 2 2024* [escultura sonora con motor, recipiente de hojalata, diferentes metales]. Fuente: The Vape. **270**

Figura 5.19. Takis. (1964). *Magnetron* [escultura cinética en metal]. Foto: Takis Fundation. **273**

Figura 5.20. Takis. (s. f.) *Telesculture* [escultura cinética en metal]. foto: Takis Fundation. **273**

*Figura 5.21.*Takis.(1977). *Musicale* [escultura sonora con panel de madera, altavoz, micrófono, electroimán, cuerda de guitarra, aguja de metal, hilo de nailon]. Fuente: P. Migeat. **275**

Figura 5.22. Takis. (2020). *Magnetics Fields* [escultura cinética]. Fuente: R. Ruíz. **275**

Figura 5.23. Takis. (1985). *Silver Music Sphere* [escultura sonora de aluminio y acero] Foto: H. Nak. **276**

Figura 5.24 Lye. L. (1976). *Universe* [escultura sonora de acero, madera y electroimán]. Fuente: The New Zealand Herald. **278**

Figura 5.25. Lye, L. (1961). *Grass* [escultura sonora de alambres de acero, madera y motor]. Fuente: The Len Lye Fundation. **279**

Figura 5.26. Mesplé, E. (2016). *Killing time* [escultura cinética de bronce, aluminio, acero, vidrio, electroimán, ferrofluido, microcontrolador, sensores]. Fuente: Mesplé web. **280**

Figura 5.27. Caselden, M. J. (2015). *Riptides* [escultura sonora de madera, acero, PLA, electroimanes].Fuente: Magnetic Sound web. **280**

Figura 5.28. Baschet, F. y B. (s. f). *Cristal Baschet* [escultura sonora/instrumento musical de metal y otros materiales]. Fuente: Joaquín Cortés (Archivo fotográfico Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía). **284**

Figura 5.29. Baschet, F. y B. (1991*). Detalle del teclado de un Cristal Baschet con las varillas de cristal y encastradas a las varillas roscadas.* Fuente: Thomas Bloch. **284**

Figura 5.30. Baschet, F. y B. (1962). Los Baschet y la familia Lasry con las estructuras Baschet. Fuente: *Life Magazine.* **285**

Figura 5.31. Baschet, F. (s. f.). Ejemplo de kit desmontado de juguete/ escultura/instrumento sonoro. Fuente: M. Ruiz. **288**

Figura 5.32. Baschet, B. y F. (2013). Instrumentario pedagógico. Fuente: Clases musicales Les Aliziers. **289**

Figura 5.33. Ruiz, M. (s. f). Bernard Baschet plegando una plancha en el taller, la Grange de Saint- Michel-sur-Orge [fotografía a color]. Fuente: Martí Ruiz a partir del documental de Eric Marín. **293**

Figura. 5.34. Baschtet, F. (2017) *Ilustraciones de pliegues para distintos difusores de metal*. Fuente: Bernard and François Baschet. **294**

Figura.5.35. Baschet, M. (s. f.). *F. Baschet plegando una plancha para darle forma de hoja de loto*. Fuente: Martí Ruiz a partir de fotogramas de una película de M. Baschet. **295**

Figura 5.36. Bertoia, H. (1950). *Chair Wire forms* [silla de varillas de acero]. Fuente: desconocida. **296**

Figura 5.37. Bertoia, H. (1975). Sin Título [escultura sonora de cobre berilio y bronce naval]. Fuente: The Standard Oil Commission, USA. **398**

Figura 5.38. Bertoia, H. (1975). *Sin Título* [escultura sonora] Fuente: R. H Hensleigh and Tim Thayer. **398**

Figura 5.39. Bertoia, H. (s. f.) Esculturas sonora del artista en su estudio. Fuente: The State 51 Conspiracy. *The Wire.* **299**

Figura 5.40. Ferrari, L. (1979) *Berimbau* [escultura sonora en acero]. Fuente: MASP. Archivo LF. **302**

Figura 5.41. Ferrari, L.(1981) *Performance del autor en el SESC (Sao Paulo)*. Fuente: desconocida. **302**

Figura. 5.42. Krähenbühl, E. (2012). *Big Bang Samsara* [escultura sonora en metal]. Fuente: web del autor. **306**

Figura. 5.43. Kim, B. (2011*) 'Soft Crash'*[escultura sonora en metal]. Fuente: Byoungho Kim. **307**

Figura. 5.44. Kim, B. (2013) *The Progression of Silence* [escultura sonora en metal]. Saatchi Gallery, London. Fuente: Byoungho Kim. **307**

Figura 5.45. Fullman, E. (2002). La artista interpretando una de sus obras de largas cuerdas metálicas en *Other Minds*. Festival 8. San Francisco. Fuente: J. Fago. **309**

Figura 5.46. Panhuysen, P. (1990). *Sznurki. Linky, Knoty or Singing the World into Existence* [escultura sonora cuerdas y recipientes de metal]. Fuente: Santiago López. **310**

Figura 5.47. Baschet , F. y B. (1968). Campana del colegio Blaise-Pascal Saint-Michel-sur-Orge [escultura de acero inox. y motor eléctrico]. Fuente*: Assotiation estructures sonores Baschet.* **314**

Figura 5.48. Bertoia, H. (1975*). Monumento para Standar Oil Fundation Chicago* [escultura sonora en bronce berilio]. Fuente: Harry Bertoia Fundation. **315**

Figura 5.49. Hollis, D. (1976). *Aeolian Harp* [escultura sonora en acero inox.]. Fuente: Exploratorium web. **317**

Figura 5.50. Hollis, D. (1987) *Singing Beach Chair* [escultura sonora en acero y aluminio]. Fuente: Public Art Archive. **317**

Figura.5.51. Hollis, D.(2017). *Archimedes* [escultura sonora en bronce]. Fuente: Exploratorium web. **317**

*Figura 5.*52. Jerram, L. (2011*) Aeololus Pavilion Wind* [escultura sonora de acero inoxidable]. Fuente: L. Jerram. **319**

*Figura 5.*53. Tonkin, M. y Liu, L. (2006*) Singing Ringing Tree* [escultura sonora en acero galvanizado]. Fuente: Childzy. **320**

Figura 5.54. Curtin L. y Gooding, J. (1996). *Black Pool Hide Tide Organ.*[escultura en acero corten y cobre]. Fuente: L. Curtin. **322**

Figura 5.55. Curtin, L. (s. f.). Water sculptures [esculturas sonoras en metal que usan el agua para producir sonidos]. Fuente: L. Curtin. **322**

Figura. 5.56. Paul, A., Rossner, C. y Temple, A. (1999). *Funell Wall* [escultura sonora en zinc]. Fuente: Erika & Rüdiger. **323**

Figura 5.57. Studio Weave. (2013). *Lullaby Factory* [escultura sonora en cobre, latón y acero galvanizado]. Fuente: Deezen. **323**

Figura 5.58. Suzuky, Y. (2018*). Sonic Playgrownd* [escultura sonora en acero pintada con pintura en polvo] Fuente: Y. Suzuky. **325**

Figura 5.59. Van der Meijs, R. (2020). *Odoshi Cloud Sequence* [escultura sonora en metal]. Fuente: desconocida. **326**

Figura 6.1. Travé, A.(2023). *Boceto I* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **332**

Figura 6.2. Travé, A.(2023). *Boceto II* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **332**

Figura 6.3. Travé, A. (2023). *Boceto III* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: Elaboración propia. **333**

Figura 6.4. Travé, A. (2023). *Boceto IV* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: Elaboración propia. **333**

Figura 6.5. Travé, A. (2023). *Boceto V* [dibujo, lápiz sobre papel].Fuente: elaboración propia. **335**

Figura 6.6. Travé, A. (2023). *Boceto VI* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **333**

Figura 6.7. Travé, A. (2023). *Boceto VII* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **334**

Figura 6.8 .Travé, A. (2023). *Boceto VIII* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia **334**

Figura 6.9. Travé, A. (2023). *Boceto IX* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **334**

Figura 6.10. Travé, A. (2023). *Boceto X* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **334**

Figura 6.11. Travé, A. (2023). *Boceto XI* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **335**

Figura 6.12. Travé, A (2023). *Boceto XII* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **335**

Figura 6.13. Travé, A. (2023). Bocetos terrajas [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **335**

Figura 6.14. Travé, A. (2024). Ajuste de plantilla para nuevos diseños de cenceros [cartulina y clavos de hierro]. Fuente: elaboración propia. **336**

*Figura 6.15.*Travé, A. (2024). Plantilla para cencerro [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **336**

Figura 6.16. Travé, A. (2024). Bocetos cencerros [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **337**

Figura 6.17. Travé, A. (2024). a la izquierda proceso de conformado en la fragua. Derecha, *Ateneas Melodías* [acero forjado y patinado]. Fuente: elaboración propia. **338**

Figura 6.18. Travé, A. (2024). Apuntes de las obras de Chillida que podrían pasarse a chapa de metal [rotulador sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **339**

Figura 6.19. Travé, A. (2024). Pruebas en torno a la obra de Kanazawa [acero sobre fieltro]. Fuente: elaboración propia. **340**

Figura 6.20. Travé. A. (2024). *¿A qué suena Chillida?* [conjunto de dos esculturas sonoras en acero forjado]. Fuente: elaboración propia. **341**

Figura 6.21. Travé, A. (2024). Bocetos iniciales para *Metarmonia de François* [dibujo, lápiz sobre papel]. Fuente: elaboración propia. **342**

Figura 6.22. Travé, A. (2024) *Metarmonia de François* [escultura sonora acero y acero galvanizado]. Fuente: elaboración propia. **343**

Figura 6.23. Travé. A. (2024). *Tentempié de Bertoia* [escultura sonora de varillas y chapa de acero]. Fuente: elaboración propia. **344**

Figura 6.24. Travé, A. (2024). *Ropa vieja para Kandinsky* [escultura sonora en diferentes metales]. Fuente: elaboración propia. **345**

Figura 6.25. Travé. A. (2024). Conjunto de esculturas sonoras en metal. Fuente: elaboración propia. **346**

Figura 6.26. Travé, A. (2024). Conjunto de las esculturas sonoras microfoneadas en el taller para realizar una grabación de audio. Fuente: elaboración propia. **346**

Anexos

I. Anexo 1

Artículo: El sonido: un material escultórico. Revista *Tercio Creciente.*

Monográfico extraordinario V, (2021), pp. 191-211

El sonido: un material escultórico.

Resumen:

El sonido presenta una importante oposición frente al ocularcentrismo, basado en la prioridad de la vista en la percepción de las artes plásticas ante al resto de los sentidos humanos principales. La aceptación e inclusión del sonido en la escultura sonora nos ayuda a eliminar dicha hegemonía como órgano receptor, permitiéndonos percibir las emociones y experiencias artísticas a través de los oídos y del resto del cuerpo. El sonido, como materia escultórica, define su entorno y lo transforma espacialmente, de ahí sus cualidades escultóricas.

Abstract:

Sound presents an important opposition to ocularcentrism, based on the priority of sight in the perception of the plastic arts before the rest of the main human senses. The acceptance and inclusion of sound in sound sculpture helps us to eliminate said hegemony as a receiving organ, allowing us to perceive emotions and artistic experiences through the ears and the rest of the body. Sound, as a sculptural material, defines its environment and transforms it spatially, hence its sculptural qualities.

Palabras Clave:

Sonido, escultura, arte sonoro, música experimental, escultura sonora

Key words:

Sound, sculpture, sound art, experimental music, sound sculpture

1. Introducción y objetivos

Nuestro interés en este estudio es definir el sonido como un material escultórico que hasta ahora ha sido poco considerado como tal. Una de las causas de esta tendencia es la dominancia del ocularcentrismo, término inicialmente asociado a la arquitectura, que fue utilizado por primera vez en Francia en el s. XX (Harasim, 2015-2016) y que utilizó Juhani Pallasmaa en 1966 en su obra literaria *Los ojos de la piel: La arquitectura y los sentidos*, en la que advierte del uso prioritario del sentido de la vista al considerar las obras arquitectónicas, mientras él defiende en ella la experiencia multisensorial para definir o conocer el espacio (Pallasmaa, 2006). "Pues los sentidos son interactivos, no meros receptores pasivos" (Moya, Berga y Ruiz, 2020, p. 130), pero esta sinestesia puede sufrir una jerarquización, entendida por McLuhan como una tactilidad y se produce cuando en una civilización se introduce una tecnología dominante que hace que un sentido predomine y anestesie a otros (Moya, Berga y Ruiz, 2020, p. 130). Este hecho experiencial nos ha llevado a pensar que nuestra sociedad evolucionó de una cultura cimentada en la apreciación táctil a estar basada en una visión reducida y lineal que tomó como referente la escritura, cuando este medio de comunicación se popularizó debido a la imprenta. Con ello, el sujeto primitivo y analfabeto, cuyo entorno era implícito, simultáneo y seguido de su propio cuerpo, fue relevado por otro alfabetizado, racional e incluido en otras relaciones sociales como consecuencia de la ascensión de la prioridad del sentido de la vista ante la proliferación de los textos impresos (McLuhan, 1985). Así fue como la cultural oral perdió importancia frente a la escrita, ésta devino en la impresa y con ella, la visión tomó hegemonía respecto a los otros sentidos (Moya, Berga y Ruiz, 2020, p. 130).

En la actualidad la tendencia de dar mayor importancia a la visión sobre las demás capacidades sensitivas sigue en auge, dado la proliferación de los medios

de comunicación visuales, ya que la vista es lo suficientemente ágil y rápida como para seguir el desarrollo del mundo tecnológico de hoy en día (Pallasmaa, 2006, p. 21), e impera en la percepción de las artes visuales, por lo que muchos de los contenidos difundidos por estos medios diseñados para ser percibidos por ella. Pero esto va en detrimento de la multisensorialidad corporal que da al individuo una percepción completa del mundo sin divisiones unidireccionales, sino compartidas e interconectadas, limitando sus experiencias y libres interacciones frente a otras que están programadas dentro del uso de la tecnología digital imperante y que no facilitan el desarrollo de la percepción táctil, gustativa, olfativa o sonora del ser humano. De ahí nuestra necesidad de defender el sentido del oído y la audición en la percepción escultórica como uno de los que más enriquecen el conocimiento del entorno y lo que en él se encuentra, gracias a la captación del sonido. Gracias éste, la apreciación de la obra escultórica resulta enriquecida ante la sola captación de su materialidad, de la que podemos conocer su forma, color, textura, volumen, dimensiones, peso, temperatura, movimiento, espacio intervenido, disposición espacial o distancia referencial y que se pueden incrementar siendo conocedores de su olor, sabor, o sonido emitente.

Esta idea viene apoyada por la teoría de Merleau-Ponty (1993) que dispone que la experiencia preceptiva está vinculada a una serie de interacciones sensoriales, concebidas a partir del cuerpo propio que unifica las percepciones sensoriales:

> Cuando veo un objeto, siempre experimento que aún hay un ser más allá de cuanto actualmente veo, no sólo ser visible, sino incluso ser tangible o captable por el oído y no solamente ser sensible, sino también una profundidad del objeto que ninguna captación sensorial agotará. [...] No hay pues, los sentidos, sino únicamente la conciencia.[...] Así todos los sentidos son espaciales, si tienen que hacernos acceder a una forma cualquiera del ser, eso es, si son sentidos (pp. 231-232).

En nuestro estudio, consideramos el sonido como un elemento más de la escultura, que en muchos casos puede ser el esencial de la obra, por ello nuestros objetivos son estudiarlo como material escultórico y extraer de ello reflexiones que refrenden la hipótesis de que dicho sonido es un estímulo sensorial percibido

por el oído y por el cuerpo en forma de vibraciones sonoras que se transmiten en medios elásticos como el aire y, por lo tanto, transforman el espacio y modifican la percepción de éste por el espectador (vidente o invidente) en términos escultóricos. También nos interesa conocer cómo ha sido la evolución del arte sonoro y de la escultura sonora y en qué principios acústicos se han basado las esculturas sonoras ya existentes.

2. Desarrollo

2.1.Definición y características del sonido

En primer lugar, es esencial conocer los siguientes términos para entender físicamente qué es el sonido. **El sonido** es la propagación de ondas mecánicas acústicas a través de un fluido o medio elástico -generalmente el aire, pero también el agua, la madera, la tierra o los gases- producidas por un cuerpo en vibración, esto puede ser una **sensación** o **percepción** percibida por el ser humano y otros seres animales al ser interpretadas por el cerebro. El sonido emitido en el aire produce ondas que varían la presión de este elemento y es fundamental en la comunicación humana (lenguaje y percepción del medio). Podemos afirmar que el sonido es también la transmisión de una energía sin el traslado de materia.

En base al material con el se produzca un sonido y al entorno arquitectónico o de naturaleza en que se emita, se obtienen diferentes resultados. Este hecho se hace obvio con la comparación de los sonidos producidos al golpear con una maza de bronce, primero una campana y, seguidamente, un ovillo de lana. Aunque ambos objetos sean golpeados con la misma fuerza por la maza, el sonido emitido por la campana será distinto al ofrecido por el ovillo.

Los sonidos pueden ser simples, aquellos que están compuestos por pocos tonos, o complejos, aquellos que están formados por muchos más tonos. El sonido más simple es un tono puro y produce una onda sinusoidal, es decir, una curva suave y que se repite en el tiempo de forma fija. En una onda podemos diferenciar las siguientes variables :

- ·**Cresta** y **valle** son, respectivamente, el punto más alto y bajo de la ondulación de la onda.

- ·**Ciclo** es la ondulación completa de principio a fin.

- ·**Periodo** es la duración en segundos que tarda una onda en ir de una cresta hasta la siguiente y hacer un ciclo completo.

- ·**Amplitud** es el desplazamiento, la distancia vertical entre el desplazamiento y el punto medio de la onda.

- ·**Frecuencia** es la cantidad de ciclos que se repiten en la unidad de un segundo. Es la característica que normalmente conocemos como tono. Una frecuencia baja equivale a un tono grave y una alta a un tono agudo.

- ·**Longitud de onda** es la distancia entre dos crestas de una onda (Raffino, 2001). Otras características del sonido son la intensidad, tono, timbre y duración. También, **la reverberación acústica** es un elemento importantísimo al considerar el sonido como escultura. Para definir esté término tenemos en cuenta que las ondas acústicas tienen la peculiaridad de que dependiendo de los materiales con los que se encuentren en su espacio de propagación, podrán atravesarlos, rebotar en ellos, hacerlos resonar o ser absorbidas por éstos. La reverberación es la permanencia de un sonido tras haber dejado de emitirse dentro un espacio cerrado y que se diferencia del eco en que, aunque ambos provienen de la reflexión de las ondas sonoras sobre algunas superficies, el eco es escuchado como una repetición del sonido original, mientras la reverberación es percibida como una adición éste. Así que, dependiendo del espacio en el que emitamos un sonido, obtendremos diferentes emisiones sonoras.

La reverberación es una de las claves de la idea que pretendemos desarrollar en este artículo. Como ejemplo, pensemos qué ocurría si en el interior de una catedral, por un momento, introdujéramos una persona con los ojos vendados, por lo que ella no sabría dónde podría estar. A este individuo le podríamos pedir, entonces, que hablara, cantara, gritase o hiciera palmas, es decir, que emitiera un sonido y, en seguida, tendría una respuesta sonora del entorno en el que estaría y, sería muy posiblemente de que fuera capaz de tener una imagen mental del sitio en el que se encontraría. Sustituyamos el interior de una catedral por el interior de una escultura, obtendríamos una información similar con la diferencia de que no

estaríamos acostumbrados a identificar espacios escultóricos. En este sentido, el propio emisor del sonido o los receptores de los mismos, podrían sentir la reverberación sonora que producen los materiales de su entorno ante una emisión sonora.

Tampoco podemos pasar por alto la capacidad de sinestesia que tenemos las personas respecto al sonido, bien por el acerbo cultural o por la facilidad innata que podemos poseer algunas más que otras de percibir un estímulo a través de más de un sentido y por ello, con frecuencia, el sonido suele ser calificado con adjetivos como áspero, seco, luminoso, apagado, espacioso, pesado, ligero, compacto, entre otros adjetivos, que nos hacen pensar que este tipo de estímulo posee una amplia capacidad narrativa capaz de trasladar al individuo sensaciones diversas de materialidad, espacio, iluminación, peso, etc., y éstas están también relacionadas con la propia obra escultórica objetual, además de emociones de diversa índole. A su vez, los humanos usamos términos propios de la música y del sonido para expresar ideas sobre las características de las obras artísticas de otras disciplinas plásticas, como composición, ritmo, armonía o chillón -referente al color-, palabras empleadas sin dilaciones en pintura, escultura, fotográfica o diseño. Por lo que el sonido y las artes plásticas objetuales no parecen estar tan alejadas en su concepción material.

En la relación del sonido con la pintura, las frecuencias agudas se suelen asociar a colores claros, vibrantes y de pequeñas superficies, en cambio, las frecuencias graves se asocian con grandes masas de colores más apagados y menos brillantes. No podemos dejar de mencionar a Vasily Kandinsky (1989) que en algunas de sus obras pictóricas representó el sonido y la música como pura sensación abstracta que libera al ser humano, de la representación figurativa y lo acerca a las ideas abstractas del pensamiento. Él asociaba los colores a sonidos, como podemos leer en las frases siguientes:

> [...] la calidad acústica de los colores es tan concreta, que a nadie se le ocurriría reproducir la impresión que produce el amarillo claro sobre las teclas bajas del piano, o describir el barniz de granza oscuro como una voz de soprano [...]. (p. 26)

Siguiendo esa relación entre sonido y artes plásticas, en la escultura las grandes masas cercanas al suelo suelen corresponder con las frecuencias graves, mientras que los elementos más ligeros o delgados y delicados o puntiagudos suelen estarlo con las agudas. Por supuesto, no es tan sencillo, pues entre ambos volúmenes existen frecuencias medias/graves y medias/agudas que son las manchas de grises y tonos medios en pintura y las masas y cuerpos medios en escultura. Todas ellas están incluidas en el espectro auditivo humano (aquellos sonidos que comprende toda la audiofrecuencia que puede oír el ser humano y que es diferente en los animales). Esos volúmenes medios son ricos en matices, dan variedad a la forma escultórica y a su sonoridad, es decir, son formas que dan singularidad sonora a la obra.

2.2. Diferencias entre ruido y sonido

La diferencia entre sonido y ruido la podemos definir atendiendo a que, de forma natural, una onda sonora se forma gracias a las compresiones y dilataciones del medio (del aire) en el que se expande y ello lo produce de forma periódica o no del todo. Estas diferenciaciones del medio se pueden mostrar mediante oscilogramas, que son gráficos que "representan la variación de la presión sonora en función del tiempo" (Acústica integral, s. f., s. p.). Cuando la onda sonora es totalmente periódica-sinusoide, ya hemos expresado que el sonido es considerado puro. Cuando existe un término medio de repetición entre las formas periódicas y las variaciones no periódicas, se obtiene un oscilograma musical con ritmos periódicos. Pero cuando el oscilograma no es nada periódico, ya que las ondas sonoras no los son, se asocia a un ruido o sonido irregular sin orden, que queda relacionado con una sensación sonora poco agradable.

En este punto, es importante aclarar que aunque habitualmente se enfrentan las palabras sonido y ruido, nosotros preferimos referirnos al sonido como un todo general que acoge los términos: música y ruido. Es más, estamos de acuerdo con Ana María Jaramillo (2007) en que la diferencia entre ambos es circunstancial:

> [...] un virtuoso músico interpretando su instrumento mientras tratamos de

> tener una conversación telefónica es considerado ruido en ese instante. El sonido de una motocicleta que le da a su conductor una sensación de poder, es ruido para quién trata de escuchar una conferencia en un aula cercana a la vía. (pp. 19-20)

2.3.Los sentidos humanos y el oído

El oído es el sentido por el cual percibimos el sonido. Esta afirmación es insuficiente al considerar que "una persona Sorda pueda realizar una apreciación musical con todo su cuerpo, ya que el sonido al ser una vibración que tiene la virtud de cristalizarse en la piel, trasciende la mera sensación auditiva" (Otero, 2015, p. 134). Pero lo más habitual es pensar que hay sonido si existe alguien o algo que lo escuche (humano o animal). Esto se contradice con la afirmación anterior y por ello es mejor plantear que si hay sonido es porque existe alguien o algo que lo sientas. Y para nosotros es más conveniente hacernos otra pregunta: ¿se puede escuchar una escultura?

En cuanto al sentido del oído, no es precisamente una de las áreas sensoriales del cuerpo humano que esté más olvidada por las artes como puede ocurrir con el olfato, tacto y gusto. Es más, a lo largo de la historia ha ocupado una posición privilegiada junto a la vista, pues el oído se ha asociado a la música y la vista a las artes visuales. Donde se encuentra el punto divergente entre ambos sentidos es en la relación exclusiva de las artes sonoras con la creación musical, cubriendo con ella el cupo de trabajos artístico-sonoros destinados a ser percibidos por el sentido del oído y siendo éste poco considerado como un elemento más para la percepción de artes plásticas como la escultura. En nuestro caso –dado que somos compositores, interpretes, consumidores de música, escultores y educadores- proponemos, además, otras formas de creación sonora que se acerquen a los conceptos plásticos de la escultura, contemplados ya en la escultura sonora.

En otro aspecto, la consideración exclusiva de que el ser humano posee solo cinco sentidos es debatida por otras teorías que demuestran que existen más sentidos humanos en la medida de que nuestro cuerpo interactúa con el medio por medio de ellos, como son el equilibrio, la percepción de la temperatura

(termocepción), la percepción del dolor (nocicepción), la capacidad motora de producir reflejos mecánicos ante un estímulo (mecanorrecepción), la percepción del movimiento (kinestésia) o la percepción de estímulos en relación a un sentido que no le corresponde (sinestesia). Estos otros sentidos, junto a algunos más, son considerados "subsentidos". Haciendo referencia a las capacidades sensoriales de las personas, el artista Antoni Muntadas (19989 se ha manifestado sobre los subsentidos como los menos desarrollados en el mundo del arte audiovisual (para él: olfato, gusto o tacto) y ha expresado que:

> LOS SUBSENTIDOS. Partiendo de que la sensibilidad humana está muy relacionada con los sentidos en cuanto a estéticos se refiere, podemos definir que nuestra sensibilidad no está del todo desarrollada. Sentidos como olfato, tacto y gusto (SUBSENTIDOS) deben tener igual oportunidad de desarrollo que los sentidos audiovisuales. El hecho que los sentidos del oído y la vista hayan sido artísticamente desarrollados (escultura, pintura, música...) no quiere decir que los SUBSENTIDOS no puedan desarrollarse y salir de su estado de atrofia. El desarrollo de los subsentidos puede crear para nosotros la posibilidad de una nueva estética. (p. 156, citado por Parcerisas , 2007, p. 121)

Nosotros pensamos que hay sentidos, como el oído, que pueden intervenir para percibir mejor una escultura y que la limitación de la vista para la apreciación de la mayoría de las obras escultóricas, que han sido hechas para ser observadas y no tocadas, degustadas o escuchadas, merma la variedad de estímulos que el ser humano puede considerar al estimar este tipo de obras.

2.4.El sonido como material escultórico

Para poder desarrollar este texto y modelar un material tan inmaterial como es el sonido, debemos conocer la ciencia que lo estudia: la acústica.

La acústica, rama de la Física, es la ciencia que investiga sobre el comportamiento del sonido en el medio, es decir, estudia cómo se comporta la propagación de las ondas mecánicas del sonido que atraviesa la materia líquida,

sólida o gaseosa, ya que no se transmite en el medio vacío por no haber materia modificable. Esta propagación la hace de forma matemática y lineal siguiendo modelos físicos.

La acústica se aplica a las características sonoras de los espacios y materiales. Ya en el siglo I a. C. el arquitecto Marco Vitrubio Polión propuso trazados y recomendaciones técnicas para el diseño acústico de los anfiteatros, pero no fue hasta el siglo XIX cuando Wallace Clement Sabine comenzó el estudio físico de la teoría moderna de la acústica aplicada a la arquitectura (Jaramillo, 2007, p. 17). Por otro lado, la acústica de los objetos se ha relegado con bastante éxito a la artesanía, no siendo una ciencia, sino una serie de saberes y experiencias que han aumentado y evolucionado a lo largo de los siglos en manos de lutieres y otros muchos constructores de instrumentos musicales. Durante el transcurso de este tiempo, el conocimiento de cómo funcionan éstos y las características del sonido emitido por ellos a través de sus materiales (Silleras, 2015) ha pasado por campaneros, guitarreros, constructores de órganos y un largo etcétera de artesanos de oficios que, en los mejores casos, se han transmitido y mantenido hasta nuestros días, siendo esto una tradición y un bien inmaterial de interés cultural que debería ser reconocido. De ahí que una de las fuentes más interesantes y fiables para el estudio de la evolución sonora y la reproducción acústica sea el estudio de la artesanía de los instrumentos musicales. De ahí que la mayoría de las esculturas sonoras experimentales que estudiamos en este trabajo tienen su base en el principio mecánico y material de alguno de los instrumentos musicales ya existentes.

2.5. Arte sonoro y Escultura sonora

En los tiempos de hibridación que nos encontramos se hace complicado e, incluso, innecesario etiquetar o poner límites a las distintas disciplinas de las artes. No obstante, nuestra intención es referirnos al **sonido como material escultórico**, entendiendo la escultura como una disciplina que no es pintura, diseño, arquitectura, música, teatro o danza.

Una buena introducción a este apartado son las palabras expresada de Jaume

Plensa, pues dan sentido al tema de nuestro trabajo para concebir, de forma ampliada, el concepto de escultura desde su aspecto sonoro:

> Recuerdo el olor del interior del piano, donde me metía cuando no me veía mi padre. Me fascinaba el polvo que se acumulaba allí y, sobre todo, el modo en que reverberaba. Después me he dado cuenta de que aquella vibración de la materia era pura escultura. (citado por Rendueles, 2007, p. 43)

Nosotros no quisiéramos definir arte sonoro y escultura sonora de forma cerrada con el objetivo de no enclaustrar sus conceptos, pero debemos diferenciarlas con la única intención de acotar el presente escrito, pues el abordar **el sonido como material en las artes** nos haría afrontar este estudio de una manera mucho más amplia de la que pretendemos llevar a cabo en este texto. Para hacer la citada diferenciación, Picado (2012) nos propone la siguiente definición:

El encuentro de "lo sonoro y lo visual" da origen a dos prácticas diferentes que son el arte sonoro y la escultura sonora. El primero privilegia el aspecto auditivo proponiendo obras intangibles; la segunda produce esculturas, máquinas u objetos cuyos componentes materiales emiten sonidos. (p. 52)

Si bien estamos de acuerdo con ciertos aspectos de esta enunciación, encontramos que puede llevar a pensar que se trata de dos conceptos distintos. Sin embargo, nosotros **nos inclinamos a pensar que el primero, el arte sonoro, es un concepto más amplio que acoge a la escultura sonora así como a otras disciplinas que comparten el término "sonido"**.

De esta afirmación se deduce **que la escultura sonora es arte sonoro**, pero no que todo arte sonoro es escultura sonora.

El arte sonoro incluye el **Paisaje sonoro**, la **Música concreta**, el **Arte electrónico**, el **Arte radiofónico**, el **Collage sonoro** y **la Instalación sonora**, así como a la **Escultura sonora.** La pluralidad de estas expresiones varia en función de la cultura (Danto, 2003). En lo que, tal vez, haya una diferencia más difusa sea

entre la instalación sonora y la escultura sonora, pero como nosotros entendemos la escultura contemporánea con el concepto de escultura expandida, siendo la instalación (sonora o no) una modalidad de ésta (Krauss, 1979) que se encuadra dentro del arte efímero por estar destinada a un contexto determinado (espacio-tiempo), la instalación sonora también forma parte de la escultura sonora y ésta del arte sonoro.

2.5.1. Evolución del arte sonoro y la escultura sonora

Para tratar el la evolución del sonido artístico se nos hace inevitable referirnos a la música. Ésta ha ocupado las creaciones sonoras a lo largo de la historia. Hasta el siglo XX, era el resultado de la ordenación en el tiempo de sonidos regulares (al menos desde un punto de vista occidental), obtenidos, por lo general, de instrumentos musicales o del mismo cuerpo humano. Ya en el siglo XIX algunos compositores como Verdi, Wagner o Tchaycosky introdujeron sonidos exteriores a los producidos por los instrumentos de los interpretes, tales como cañones y yunques, sabiendo que estos ruidos tenían un efecto potente y muy concreto sobre la audiencia (Picado, 2012). Aunque pueda parecer puramente anecdótico, estas acciones sirvieron como precedentes y dieron lugar a la creación de una base cultural que en los años posteriores hizo que el sonido/ruido pudiese formar parte de una obra plástica, es más, estos efectos sonoros entroncaron perfectamente con los ideales futuristas. Así lo hizo Luigi Russolo, quien escribió el manifiesto titulado *El arte de los ruidos* en 1913, incitando a los nuevos compositores del momento a utilizar en sus obras musicales todo el material sonoro que la nueva era industrial les brindaba, como ruido de motores, máquinas, etc. Por ello, el mismo Russolo (2013) expresó en este texto: "He podido intuir la gran renovación de la música mediante el Arte de los Ruidos" (p. 14), aludiendo a que esos materiales sonoros renovarían la música, y no la escultura, lo cual no refuerza aún nuestra tesis inicial del sonido como material escultórico, pero si avanza la perspectiva del uso de nuevos sonidos o timbres en la música de las vanguardias históricas (Fontán, Iges y Marie, 2016-2017).

Más adelante, compositores como Pierre Shaeffer (1910-1995) John Cage (1912-1992) o Lannis Xenakis (1922-2001) empezaron a tratar los sonidos como

materiales espaciales. Concretamente Xenaskis consideró los objetos como materias de masa sonora, que podrían emitir diversos sonidos transformándolos y diseñando con ellos formas para proyectar sus sonidos en el espacio (Matossian, 1981).

Al revisar el trabajo de estos compositores, encontramos que Schaeffer creó la "música concreta" refiriéndose con ella a toda fuente sonora que pudiera ser percibida y reproducida, debido a su grabación y bajo este precepto produjo la pieza musical *Estudios para locomotora* en 1948, hecha con la grabación de sonidos de trenes. También, publicó el *Tratado de los objetos musicales* en 1966, fue el primero en componer utilizando un magnetófono y llegó a expresar que el sonido es un "verdadero objeto físico que se manifiesta al oído antes de toda percepción" (Schaeffer, 2003, p. 49).

Por otra parte, John Cage compuso y estrenó en 1939 su obra *John Cage´s First construccti*on *(in metal)*, que fue la primera en la que utilizó instrumentos musicales no convencionales -ocho yunques, cuatro tambores de freno de automóviles y un gong de agua- y, además propició una cercamiento entre el arte sonoro y el arte conceptual, abordado en el caso de su obra titulada *Cage 4'33"* (1952), en la que incluyó en toda ella un elemento tan importante como el silencio. Esta pieza que puede ser interpretada por cualquier instrumento ya que transcurren en 4'33'' en los que ninguno de sus intérpretes pude hacer sonar ninguno de sus instrumentos musicales, por lo que algunos piensan que el sonido de la obra el aquel que puede escuchar la audiencia en este tiempo de silencio, mientras otros piensan que su protagonista es el silencio. Cage también empleó diversos útiles u objetos más, además de los citados, para hacerlos sonar en sus interpretaciones dedicadas a la música aleatoria, una variedad musical en la que la improvisación es parte de las obras. Así, sentó las bases de la utilización del sonido en el arte contemporáneo (artes plásticas y audiovisuales) y fue uno de los compositores y *performers* más conocidos de los años cincuenta.

También Xenaskis fue pionero en utilizar el ordenador en la composición musical algorítmica y empleó las aplicaciones informáticas en la música en base a las mátematicas, hechos que inició a mediados de los años cincuenta con su obra *Metástasis* (1955).

Otro hecho a destacar es la aparición del movimiento psicodélico de los años sesenta. Es muy común estudiarlo como un movimiento sociológico y suele pasar desapercibido en la mayoría de artículos y escritos sobre *Sound Art* (Arte Sonoro), pero es un tema insoslayable para nosotros. Gracias a este movimiento social y musical se abrió un enorme campo de estudio a partir de la experimentación y la investigación de nuevos aparatos electrónicos que produjeron ruidos, efectos u otras formas sónicas (Wolfe, 2020). Con ello, los sonidos de pedales de efectos como *Wah Wah*, *Overdrive*, *Phaser*, *Reverb*, *Tape delay*, entre otros quedaron grabados en los discos y se convirtieron en estándares del sonido pop-rock psicodélico, popularizando y, por tanto, normalizando nuevos sonidos en la cultura popular (Emerick, Massey, Costello & Gil Giner, 2011).

Abordando ahora las artes plásticas, no queremos obviar la teoría de algunos autores (Licht, 2009) que citan al mismo Marcel Duchamp como uno de los visionarios en cuanto a la utilización del sonido en la escultura. Al estudiar el *ready-made* titulado *With Hidden Noise*, hecho por Duchamp en colaboración con el coleccionista Walter Arensberg y con la dramaturga Sophie Treadwell en 1916, podemos apreciar cómo ellos se valieron del sonido que hace "algo desconocido" para el espectador que Arensberg colocó en el interior de un ovillo de cuerda. Este ovillo fue situado entre dos placas cuadradas de latón presionadas entre sí por cuatro tornillos, cada uno de ellos en situado en las esquinas de las chapas. Si se agita la obra, se puede escuchar el sonido que emite el objeto que contiene el ovillo en su interior sin que dicho objeto se vea por ningún sitio. La placas metálicas tienen una palabras grabadas a las que les faltan algunas letras debido a que simulan los letreros de neón que tiene algunas letras apagadas (Centre Pompideu, s. f.). La pieza tiene la intención de generar en el espectador la sensación de incertidumbre o misterio. En ella el sonido se sitúa al mismo nivel narrativo que el resto de los materiales. De esta forma, sus autores fueron los pioneros en la ruptura de la jerarquía visual en las artes plásticas hace ya más de cien años. El mismo Duchamp escribió al respecto:

> Antes de que lo terminara, Arensberg puso algo dentro del ovillo de hilo y nunca me dijo qué era, y yo no quería saberlo. Era una especie de secreto

> entre nosotros, y hace ruido, así que lo llamamos *Ready-made* con un ruido oculto. Escúchalo. No lo sé. Nunca sabré si es un diamante o una moneda (citado Meier, 1986, s. p.).

Después y desde los años sesenta hasta nuestros días han sido innumerables los ejemplos de autores que han trabajado el campo de la escultura sonora, aunque con orígenes e intenciones bien distintas. Cabe destacar la obra de los hermanos Baschet, François Baschet (1920-2014) y Bernard Baschet (1917- 1915), quienes diseñaron instrumentos musicales experimentales también consideradas esculturas sonoras, como el *Cristal Baschet,* creado en la década de los años cincuenta. En estos instrumentos utilizaron grandes planchas metálicas como amplificadoras de sonidos resultantes de frotar y golpear partes de estas obras. En sus trabajos la escultura y el sonido se funden a la perfección (Baschet, 1999). También Harry Bertoia (1915- 1978), procedente del diseño de joyería y mobiliario, produjo esculturas sonoras con las que experimentó estirando, golpeando y doblando materiales como el metal para que el público interactuara con ellas o el viento y el clima las hiciera sonar. Él mismo llegó a hacer música con sus obra escultóricas y grabó con ellas la serie *Sonambient* de vinilos LP en formato disco (Fundación Harry Bertoia, 2020).

Asimismo, Tinguely es conocido por sus móviles y máquinas escultóricas, realizadas a partir de chatarra metálica, engranajes, chapas y objetos mecánicos provistos de motor, que suenan por sí mismas emitiendo zumbidos, chirridos o golpes. En ellas el sonido es una de sus partes esenciales (*Ars Sonorus*, s. f.), (Picado, 2012). Otro artista conocido por su investigación sonora realizada con los instrumentos y objetos que él mismo diseñó fue Walter Smetak (1913- 1984). Sus piezas son llamadas *cuerpos sonoros experimentales*. Este artista llegó a relacionar su experiencia vivencial y la música con la metafísica (Nyffeler, 1998, s. p.).

Además, los artistas Mike Tonkin y Anna Liu realizaron en 2006 la obra escultórica monumental y sonora *Singing Ringing Tree*, que se asemeja a un árbol que suena en medio del paisaje en la cordillera de Pennine en Lancashire, dentro

del distrito de Burnley (Inglaterra). Esta escultura está construida por tubos metálicos que se giran y suenan por la acción del viento, creando un sonido estremecedor. La obra ganó el Premio Nacional del Real Instituto de Arquitectos de Reino Unido en 2007 (Mid Pennine Arts, s. f.). E interrelacionándose con otros elementos de la naturaleza Céleste Boursier-Mougenot elaboró *From here to ear*, una divertida y azarosa instalación sonora hecha con pájaros vivos y guitarras eléctricas. Cuando los animales se posan en las cuerdas de los instrumentos, éstos suenas y este sonido se une al de los cantos y revoloteos de los animales, creando en el espectador la sensación de estar en un espacio natural parecido a un bosque (Copenhagen Contemporary, 2016). Esta piezas depende de la acción de elementos naturales.

Con otro concepto, Juan Hidalgo (1927-2009) realizó *Lanas* (1972/2009), una instalación expuesta en el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, que consta de más de mil 1.6000 hilos de lana de colores diferentes, menos el blanco y el negro, distribuidos de forma combinada entre sí y que han sido anclados al techo de la sala por un extremo mientras del otro opuesto penden sendos cascabeles separados del suelo por distancias aleatorias (50, 60, 80 ó 100 cm). Las medidas de esta instalación es cúbica y mide 4 m. en cada uno de sus lados (MNCARS, 2009). El efecto de la obra en la sala de exposiciones es de solemnidad y silencio. En este espacio expositivos existe la distancia justa entre el observador y la obra para que éste pueda pasar y evitar tocar los cascabeles, pero no hay ningún tipo de obstáculo físico que lo impida, sólo la precaución de no hacerlo por parte del dicho espectador. Con esta obra, el autor, en cierto modo, está despertando al niño travieso que las personas llevamos dentro, desafiándolo e invitándolo a romper la barrera existente entre el público y la obra, dentro de un ambiente que impide a éste quebrar el silencioso del espacio expositivo. La tensión que se crea en el espectador por querer tocar la obra y resistirse a ello es fundamental en su percepción y cuando alguien no consigue superarla, por curiosidad o ganas de hacer uso del tacto, se produce la interacción esperada y surge el sonido escultórico.

Más recientemente Michelle Spanghero presentó *Ad Lib* en 2013, una escultura

sonora en la que conecta un respirador pulmonar a una columna de tubos de órgano obteniendo un *loop* con una sobria puesta en escena (Spangheo, 2020, s. p.). Y, también, Wintergatan ha fabricado *Wintergatan Marble Machine* (2016), una compleja máquina artesana sonora provistas de engranajes y bolas metálicas (canicas) que, de forma mecánica, es accionada por él haciendo sonar piezas musicales con las que ha llegado a editar el álbum *Wintergatan Live at Victoriateatern* en 2017 (Wintergatan, 2016).

Por otro lado, creemos muy interesante hacer referencia a esculturas que no fueron realizadas con la intención de ser sonoras, pero que con la consideración del concepto de "escultura expandida" han terminado siéndolo. Este es el caso de la obra de Richard Serra. Sus planchas de metal han acogido conciertos y son capaces de vibrar cambiando el sonido del entorno. Como ejemplo de ello, la Coral de san Antonio de Iralabarri (Bilbao) y la Sociedad Coral de Bilbao (2017) han actuado en el centro de su obra titulada *La materia del tiempo*, perteneciente a la colección del Museo Guggenheim de esta ciudad (Sociedad Coral de Bilbao, 2017), consiguiendo un espectáculo inigualable sensorialmente (Azurza, 2017).

Los ejemplos plásticos sobre el tema de estudio que estamos abordando son cada vez más numerosos, aun así cabe preguntarse: ¿cuál es la diferencia que hay entre algunas de las obras artísticas mencionadas y un instrumento musical convencional? Damos por supuesto que en la actualidad podríamos calificar cualquier instrumento como escultura, siempre que busquemos un contexto artístico-conceptual apropiado y ésta haya sido la intención de su autor. Podemos, incluso, clasificar estas esculturas sonoras de instrumentos musicales "raros" o poco convencionales, pero al fin y al cabo instrumentos/artefactos para producir sonidos/ruidos con la única diferencia de que en la mayoría de los casos no suenan en el entorno de una orquesta, sino en una sala de exposiciones o al aire libre, por lo que se tratarían de obras plásticas (escultura, instalaciones, intervenciones urbana o Land Art, etc.).

Por ello, creemos que la escultura sonora no debe convertirse en algo anecdótico, en un añadido a la parte visible de la obra artística material. Los

logros de los artistas mencionados son incuestionables, produjeron una ruptura en cuanto a la creación sonora y ayudaron a extender el concepto de escultura. No obstante, para conseguir que el sonido sea valorado como un elemento más dentro de ella, éste debe tener el mismo poder narrativo que el que le da forma visual. Por ejemplo, en el supuesto caso de que elijamos acero inoxidable pulido para la construcción de una escultura sonora para ofrecer el aspecto superficial y material más apropiado que facilite transmitir el concepto que nos proponemos, también podemos y debemos elegir cómo, cuándo, por qué y para qué sonará nuestra obra, recurriendo, si es necesario, al estudio de la acústica de los materiales y de los espacios intervenidos con nuestra obra.

3. Reflexiones finales

El sonido es un elemento que posee las cualidades necesarias para ser considerado un material escultórico, ya que la escultura interviene el espacio y lo modifica y el sonido también lo hace, además el sonido es la característica fundamental de las esculturas sonoras.

La mayoría de las obras escultóricas sonoras parten directamente de los principios acústicos de los instrumentos y, en ocasiones, producen sonidos o ruidos que se asocian a un tipo de música alternativa que complementa a la forma de la escultura. Se nos hace interesante plantearnos cuáles son las obras que no se atienen a esos principios. Cuáles son capaces de prescindir de la idea de música. En este sentido podemos responder que *The Hidden Noise* de Duchamp y *Lanas* de Juan Hidalgo, no relacionan directamente la música con las obra, pero sí el sonido y la interacción del público.

Existen numerosos artistas que han realizado obras de arte sonoro, entre ellas escultura sonoras, experimentado con sonidos nuevos, ruidos incorporados a la música hechos por instrumentales u objetos escultóricos, pero falta aún considerar el sonido como un material invisible pero modelable y que altera el espacio en el

que se emite, modificándolo, como lo hace la escultura física que lo ocupa. Por lo que el sonido debe ser considerado como un material escultórico.

Hemos observado también que muchas de las esculturas sonoras han usado el sonido o el ruido como un elemento experimental que facilita el avance en la renovación artística, valorando la percepción auditiva como medio de conocimiento, y que muchas de estas obras dependen de elementos externos a ellos, como el clima, animales o la intervención del espectador, para producir sonidos. También hay autores que han trabajado el arte sonoro desde una experimentación formal pero transgresora, con objetos construidos o adaptados para ser instrumentos musicales, que en la actualidad pueden ser considerados como esculturas sonoras y que son parte de su producción plástica, al igual que sus composiciones musicales.

Otro aspecto que surge de la escultura sonora es la inclusión del espectador invidente en el mundo de las artes plásticas a partir del conocimiento de los volúmenes y las formas de las esculturas, que, unidos al sonido, permiten desarrollar en ellos la capacidad de crear mapas sonoros de las obras sin hacer diferenciación entre obra clásica o contemporánea, atendiendo únicamente a la modificación del espacio, los materiales y la sensación sonora que percibe el este tipo de público de estas obras.

Por último, es necesario indicar que a pesar del estado de aceptación e inclusión actual, si hacemos una rápida búsqueda en Internet o una biblioteca de los materiales en escultura, el término "sonido" no aparece o lo hace en un bajo número de recursos disponibles al respecto y todavía son pocos los artículos que lo tratan como un material más en la obra plástica escultórica, por lo que creemos necesario dar continuidad a este estudio.

Notas

[1]. Texto original: Before I finished it Arensberg put something inside the ball of

twine, and never told me what it was, and I didn't want to know. It was a sort of secret between us, and it makes noise, so we called this a Ready-made with a hidden noise. Listen to it. I don't know; I will never know whether it is a diamond or a coin. (Duchamp, citado Meier, 1986, s. p.)

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Proyecto DE I+D+I en el marco del programa operativo FEDER, ref. B-HUM-16-UGR20; al Programa de i+D+i Acis & Galatea Actividades de Investigación en Mitocrítica Cultural proyecto de investigación cofinanciado por la Consejería de Educación, Juventud y Deporte de la Comunidad Autónoma de Madrid y el Fondo Social Europeo de la Unión Europea, ref. S2015/HUM-3362; al Departamento de Escultura de la Universidad de Granada; al grupo de investigación HUM-450 y al Programa de Doctorado en Historia y Artes de la Universidad de Granada.

Referencias

Acústica integral (s. f.) *Oscilogramas*. Recuperado de: https://www.acusticaintegral.com/3303/presion-sonora-oscilogramas/

Acústica integral (s.f) Oscilogramas. Recuperado de: https://www.acusticaintegral.com/3303/presion-sonora-oscilogramas/

Ars Sonorus (s. f.) *Los exploradores sonoros*. *Jean Tinguely (1925-1991)*. Recuperar de https://www.youtube.com/watch?v=eSkRB6qHdD4

Azurza, E. (2017). Guggenheim, La materia del tiempo, Richard Serra. *Sociedad Coral de Bilbao*. Recuperado de https://www.coraldebilbao.com/tag/guggenheim/

Baschet, F.(1999). *Les Sculptures Sonores*. Chemsford: Soundworld Publishers. Centre Pompideu (s. f.). *Marcel Duchamp*. *Á bruit secret (A Hidden Noise)*. Recuperado de:

https://www.centrepompidou.fr/es/ressources/oeuvre/cML6go

Copenhagen Contemporary (2016). *Céleste Bousier-Mougenot: From here to ear*. Recuperar de https://www.e-flux.com/announcements/72780/cleste-boursier-mougenotfrom-here-to- ear/

Danto, A. C. *Más allá de la caja brillo*. *Las artes visuales desde la perspectiva posthistórica*. Tres cantos, Madrid: Akal.

Fundación Harry Bertoia (2020). *Acerca de Bertoia Sonambient*. Recuperar de https://harrybertoia.org/about-bertoia-sonambient/

Fontán, M., Iges, J. y Marie, J. L. (Eds) (2016-2017). *Escuchar con los ojos*. *Arte sonoro en España, 1961-2016*. Fundación Juan March.

Emerick, G., Massey, H., Costello & Gil Giner, R.(2011). *El sonido de los Beatles*. *Memorias de su ingeniero de grabación*. Barcelona: Indicios.

Harasim, T. (2015-2016). *La evolución histórica del ocularcentrismo en la arquitectura* [Trabajo Fin de Grado]. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperar de http://oa.upm.es/39195/1/TFG_THEODOR_HARASIM.pdf

Jaramillo, A. M. (2007). *Acústica*: *la ciencia del sonido*. Medellín, Colombia: Instituto Tecnológico Metropolitano. Institución Universitaria.

Kandinsky, V.(1989). *De lo espiritual en el arte* (1o ed. 1979). México: Premia Editora de Libros.

Krauss, R. (1979). *La escultura en el campo expandido*. Barcelona: Paidós, 1979.

Licht, A. (2009). *Sound Art: Origins, development and ambiguities*, 1, 3-10. Inglaterra: Cambridge University Press. Recuperar de:

https://www.cambridge.org/core/journals/organised-sound/article/sound-art-origins- development-and-ambiguities/C0F332F7EE65E470365FC960AF3D1533

Matossian, N. (1981). *Iannis Xenakis*. Paris: Fayard / Sacem.

McLuhan, M. (1985). *La Galaxia Guttenberg*. Barcelona: Planeta-Agostini.

Meier, K. von (1986). *La bola secreta de hilo: una conferencia*. Recuperar de https://www.kurtvonmeier.com/the-secret-ball-of-twine-a-lecture

Merleau-Ponty, M. (1993). *La fenomenología de la percepción* (1o ed. 1945). Barcelona: Planeta- de Agostini.

Mid Pennine Art (s. f). *Singing Ringing Tree*. Recuperar de: http://midpenninearts.org.uk/projects/singing-ringing-tree/

Moya, L., Bergua, J. A. y Ruiz, M. (2020). Multicorporalidad frente al ocularcentrismo: de la ciudad ojo-individuo a la ciudad sensorial-participada. *Cuadernos de trabajo*, 33(1), 127- 140. Madrid: Universidad Complutense. Recuperar de https://doi.org/10.5209/cuts.60741

Muntadas, A. (1998). *Manifiesto de los subsentidos en forma de cartel* (realizado para la galería V andrés de Madrid en 1971). Proyectos. Muntadas. Projestes. Catálogo. Madrid: Fundación arte y tecnología.

Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía (MNCARS) (2009). *Lanas*. Recuperar de https://www.museoreinasofia.es/coleccion/obra/lanas

Nyffeler, M. (1998*). El alquimista sonoro de Salvador*. *Tras la Huellas de Walter Smetak* (1913-1984). Catálogo de la exposición *Beat Schläpfer* (comp.). Suiza, Zúrich: Suiza en intercambio con el mundo. Recuperar de: https://www.latinoamerica- musica.net/compositores/smetak/ny-es.html

Otero, L. (2015). La sordera: una oportunidad para descubrir la música. *Revista Española de Discapacidad*, 3 (2), 133-137. Recuperar de:

http://dx.doi.org/10.5569/2340- 5104.03.02.09

Pallasmaa, J. (2006). *Los ojos de la piel: La arquitectura y los sentidos*. Barcelona: Gustavo Gili.

Parcerisas, P. (2007). *Conceptualismo(s) Poéticos/ Políticos/ Periféricos*. *En torno al arte conceptual en España 1964-1980*. S. Marchán Fiz (pról.). Madrid: Akal.

Picado, V. Y. (2012). Arte y escultura sonora. Del sonido como objeto al objeto sonoro. *Arte y políticas de identidad*, 7, 51-60.

Schaeffer, P. (2003). *Tratado de los objetos musicales*. Madrid: Alianza Editorial (2a reimpresión).

Silleras, R. (2015). *Sólido y sonido: posibilidades creativas de la conjunción del sonido con medios en estado sólido en la escultura sonora contemporánea*. (Tesis doctoral). Valencia : Universidad politécnica de Valencia.

Spanghero, M. (2020). *Michele Spanghero*. *Sound Sculpture*. Recuperar de http://www.michelespanghero.com/works/ad-lib/

Raffino, M. E. (2021). Onda. *Conepto.de*. Argentina. Recuperar de : https://concepto.de/onda- 2/.

Rendueles, C. (2007). Jaume Plensa. La Poesía de la Materia. *Minerva*. Comunidad de Madrid (col.). Madrid: Círculo de Bellas Artes, 42-45. Recuperar de: https://cbamadrid.es/revistaminerva/articulo.php?id=146

Russolo, L. (2013). *L'Arte des Bruits*. *Manifieste futuriste, 1913*. Paris: Editions Allaia.

Wintergatan (2016). *Wintergatan Marble Machine*. https://www.youtube.com/watch?v=IvUU8joBb1Q

Wolfe, T. (2020). *Ponche de ácido lisérgico*. Barcelona: Anagram

II. Anexo 2

El silencio en la escultura sonora, capítulo del libro *Las artes como expresión vital* (2024), pp. 79-90.

EL SILENCIO EN LA ESCULTURA SONORA

María del Carmen Bellido Márquez[1], Antonio Travé Mesa[2]

El presente texto nace en el marco de la elaboración de la tesis doctoral Escultura Sonora en Metal.

1. INTRODUCCIÓN

En la continua búsqueda de eliminar fronteras en el mundo del arte durante el siglo XX y más concretamente a partir del siglo XXI, un amplio sector del campo artístico se ha afanado en incluir el sonido como material escultórico y plástico. Esta sonorización del arte ha dado pie a gran cantidad de esculturas e instalaciones sonoras, así como exposiciones, escritos y publicaciones al respecto (Martin de Argila y Astiárraga, 1997). No obstante, siguen surgiendo trabajos, como el presente, que intentan analizar y entender el sentido de estas obras (Martínez et al., 2006).

Como disciplina contemporánea, la obra plástica sonora goza de la aceptación y de un presente con futuro dentro y fuera de la comunidad artística, apareciendo continuamente nuevas ramas de investigación vinculadas al ruido, a la *performance*, la escultura, arquitectura, etc. (Molina Alarcón, 2008) (Ruíz i Carulla, 2015).

Estas ramificaciones tienen en común el uso del sonido como material. Y lo que *a priori* parece una obviedad, que el arte sonoro es aquel que suena o que produce sonidos, no es más que una falacia, o una verdad con matices, que en este escrito tratamos de desmontar (Vera y Picado, 2012).

Antes de continuar, es conveniente aclarar que cuando mencionamos el termino *Escultura* lo hacemos tomando de base las ideas de Rosalind Krauss (2002) en su escrito *La escultura en el campo expandido*. Unas ideas, que si bien no son novedosas (se escribieron hace más de cuarenta años), nos parecen sensatas y sirven para encontrar un marco que alberga el variado origen de las obras escultóricas que pretendemos analizar.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de esta investigación es llamar la atención sobre el importante papel del silencio en la escultura sonora.

De aquí derivan otros objetivos más específicos:

Nos proponemos seleccionar y analizar una serie de obras escultóricas que tienen en

[1]Profesora Titular de la Universidad de Granada (España).

[2]Profesor Asociado Laboral de la Universidad de Granada (España).

común su relación con el sonido y el silencio.

Pretendemos aportar una lectura distinta de la que se haya hecho de ellas poniendo en valor el concepto de "silencio" en el arte.

Así mismo, nos gustaría reformular algunas ideas asociadas a la escultura sonora que consideramos erróneas o poco concisas.

Para finalizar, con este texto pretendemos aportar más material de referencia a todos aquellos investigadores que se acerquen al mundo de la escultura sonora.

3. METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo es teórica e inductora y está confeccionada mediante el estudio comparado de las obras y textos de varios autores.

En este caso nos valemos de la icónica obra de Jhon Cage *4´33"* (1952) como paradigma conceptual al que amarrar lo que vincula arte y silencio. Alrededor de esta obra encontraremos otras tantas de distintas épocas y procedencia que, de un modo u otro, evidencian su extraordinaria relación con el silencio.

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Dar por hecho que la escultura sonora es aquella que emite sonido es cuanto menos una afirmación poco concisa y sin embargo es una respuesta bastante común.

Debatir sobre la sonoridad de una escultura tradicional y sólida como *Laocoonte* parece ser un punto de partida recurrente en los escritos relacionados con este tema. Rocío Silleras Aguilar[3] (2015) hace referencia a esta obra no sin olvidar que Molina Alarcón (2008) ya lo hacía a su vez referenciando los escritos de un más lejano Gotthold Ephraim Lessing (1766) a cerca de esta talla en mármol (Lessing, 1985). Y es que la primera disputa que nos plantean es la contradicción de la tradicional clasificación de la escultura por el Sistema de las Bellas Artes, según el cual se trata de una especialidad plástica del arte o del espacio, alejada de consideraciones y aspectos temporales, que aúna en un mismo concepto obras inertes incapaces de comunicarse si no es a través de su materia y volumen y, por supuesto, exclusivamente a través del sentido de la vista. Esta clasificación/división muestra como a la escultura históricamente se la ha privado de sus dimensiones temporales. Dimensiones, por otro lado, inherentes al sonido, el cual está asociado inevitablemente al paso del tiempo. Una forma fácil de entender esta afirmación es hacerlo a través de la música, una de las manifestaciones más populares de lo sonoro. Si nos plantamos frente a una partitura, estamos ante un sistema de escritura que trata de ordenar los sonidos a lo largo del inevitable transcurso del tiempo.

Volviendo a la escultura anterior, aceptamos que existe una sonoridad que no oímos pero que podemos llegar a sentir al contemplar la angustia del sacerdote Laocoonte intentando salvar a sus hijos y a sí mismo de la terrible serpiente. Este hecho podría constituir por él mismo un argumento sobre el cual basar este articulo. Es más, podemos establecer un símil dando un salto a otra disciplina como es la pintura, y hablar de un icono como *El Grito* de Edvard Munch. En este

[3] Artista, investigadora y docente autora de la tesis doctoral *Sólido y Sonido: posibilidades creativas de la conjunción de sonido con los medios en estado sólido en la escultura sonora contemporánea*, 2015.

lienzo se hacen aún más evidentes las consideraciones anteriores, pues podemos recrear mentalmente un sonido a través de una imagen. En base a estas afirmaciones podemos decir que las distintas formas de artes plásticas tienen una dimensión sonora sin la explicita necesidad de emitir sonido físico alguno, o sea, a través del silencio. Es más, si sustituimos las formas figurativas de las que hablábamos por abstractas, conectamos fácilmente con los planteamientos asociados a la sinestesia que nos propuso Kandinsky a principios del siglo XX. Sin embargo, estas relaciones y afirmaciones refuerzan las teorías ocularcentristas en las que se acepta que la mayoría del arte plástico que consumimos, lo hacemos a través del sentido de la vista. Desmontar esta afirmación ha sido uno de los principales cometidos del arte de finales del siglo XX y principios del XXI. Constituye uno de nuestros propósitos, dar prioridad a otros sentidos, más concretamente al oído. Por consiguiente, nos parece más acertado afirmar que por medio del oído, no de la vista, podemos captar la materialidad, sonoridad y silencio de la escultura. Aceptar este punto de partida, desmonta el planteamiento inicial según el cual pareciera que cualquier obra capaz de evocar sonido fuese arte sonoro.

Lo que sigue es plantear el papel que juega el silencio en este laberinto. Si recurrimos a una definición básica, encontraremos lo siguiente; "Silencio: Estado en el que no hay ningún ruido o no se oye ninguna voz" (Cabrera Díaz, 2023, párr. 1). O lo que es lo mismo, se trata de un término antagonista a lo sonoro. No obstante, para nosotros es un concepto rico y simbólico de lo que una definición estándar nos pueda ofrecer. El silencio no hace más que evidenciar la presencia de su antagonista, el sonido. De ahí que no consideraremos ambos términos como enemigos sino como colaboradores. El termino japonés *ongaku*[4] que significa "disfrutar del sonido", es cercano a la concepción de silencio que planteamos. Un silencio constructivo y no vacío que nos invita a la percepción del espacio que habitamos. A este respecto han sido varios, en la relativamente corta vida del arte sonoro, y más concretamente de la escultura, los que han hecho uso del silencio para hablar del sonido.

En el caso de nuestro estudio, hemos retrocedido hasta el siglo XX para tomar como punto de partida la paradigmática y famosa composición 4´33" de Jhon Cage (1952). No se trata en este caso de una escultura en el sentido clásico, más bien se concibe como una escultura expandida[5], una partitura y su interpretación a modo de *performance*, que nos sirve para sentar la base de por qué una escultura sonora no está obligada a sonar sin perder su sonoridad. Estudiada y discutida hasta la saciedad, esta partitura dividida en tres actos muestra la anotación "TACET" que indica que el interprete debe guardar silencio, en este caso de 4 minutos y 33 segundos. Al ser interpretada por cualquier instrumento, al margen de las críticas y del carácter controvertido y agitador de la obra, el cual puede ser objeto de discusión en otro momento, el compositor quiso poner de manifiesto la imposibilidad de generar un silencio absoluto. En la misma sala de conciertos donde se tocaba/no tocaba la pieza, en los interminables cuatro minutos se oían sonidos de los zapatos, tos y estornudos de los asistentes, los ruidos provenientes del exterior, las risas del público, la respiración de los asistentes, etc. El autor quería destacar la imposibilidad de un silencio vacío (Bernstein y Hatch, 2001). Cage ya había trabajado con anterioridad con la idea de silencio, esto sumado a su visita en 1951 a una cámara anecoica en la Universidad de Harvard parecen ser los detonantes de esta obra. En la cámara anecoica, el artista esperaba encontrar el silencio absoluto, y cuál fue su sorpresa al percibir y diferenciar dos sonidos, uno agudo que en su día le indicaron procedía del sistema nervioso y uno grabe que procedía del corazón y la circulación sanguínea (Cage, 2002). Hábilmente creó esta pieza que serviría de punto de partida a conceptos posteriores. Se trata de una pieza de arte que trabajó de modo muy claro con el sonido

[4] John Cage y sus coetáneos de la década de los años sesenta, se inspiraron en estos conceptos de origen japonés para reformular conceptos relacionados con el sonido.

[5] Término basado en las teorías de Rosalind Krauss (2002).

y el espacio como material y concepto, amén del componente transgresor e incluso humorístico.

Otra obra, en este caso una instalación, que tomamos como objeto de reflexión es *Lanas* (figura 1) del artista canario Juan Hidalgo, pionero del movimiento artístico *Zaj*. Se trata de una instalación de 1600 hilos de lana de una cuarentena de colores que cuelgan del techo y de los que penden cascabeles (Martin de Argila y Astiárraga, 1997). Actualmente y desde 2009, se encuentra en el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía. Forma parte de una serie de proyectos que Hidalgo definió para la Documenta 5 de Kassel de 1972. En ella mantiene un carácter muy colorido y la idea de permeabilidad del espacio, así como la de interacción corporal y sonora. Al contemplar la obra *in situ*, la sensación inicial que produce es la contraria a la de interacción. Esto se debe a que el espectador se encuentra en un espacio museístico donde por norma no se deben tocar las obras y de ahí que el ambiente se transforma en sagrado y mudo. El visitante, por miedo a romper el silencio, avanza alrededor de la obra con sigilo y distancia evitando tocar los hilos y por consiguiente hacer sonar los cascabeles que de ellos penden. Por lo que es el silencio el que se apodera de este espacio de apenas cuatro metros cuadrados.

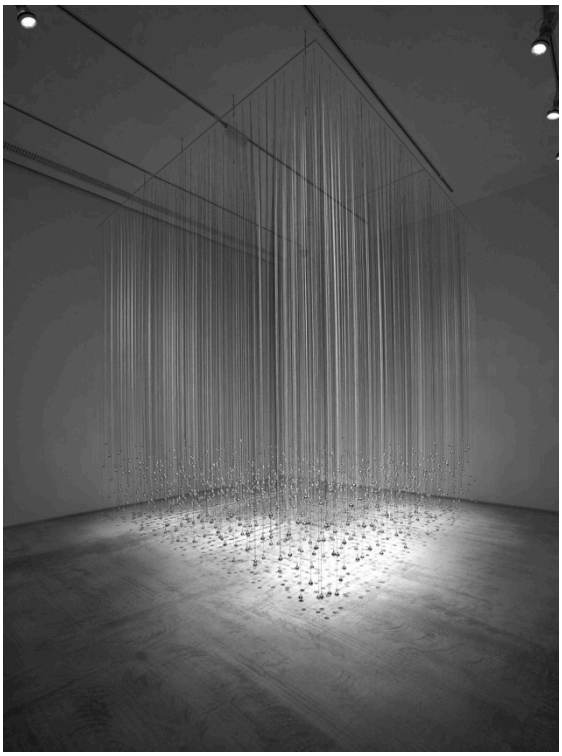


Figura 1. Hidalgo, J. (1972-2009). *Lanas.* Instalación. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía. https://www.museoreinasofia.es/coleccion/obra/lanas

Un caso muy curioso es la escultura *Órgano*(figura 2) de Eusebio Sempere[6], esta se encuentra en

[6] Eusebio Sempere (1923-1985), se dedicó a la obra gráfica, pero realizó también gran cantidad de esculturas cinéticas y de base geométrica. Si bien estas no se presentan como sonoras, intuimos que en la obra cinética hay un componente sonoro por el carácter cambiante y la inclusión de la dimensión temporal. A menudo utilizó motores silenciosos, la fuerza de la gravedad y las corrientes de aire al suspender sus piezas de hilos como hiciera Calder. Su pintura, por otro lado, tiene un efecto sinestésica que, con la música, sus líneas y ritmos, provocan un susurro

el jardín de la Fundación Juan March, organismo por cierto muy vinculado a trabajos relacionados con el arte sonoro (Fontán del Junco, Igés, y Maire, 2016). Sempere construye una gran escultura de base circular sobre la que se disponen perpendicularmente una serie de varillas de sección cilíndrica. Consiguiendo con ello el volumen de la pieza con un carácter perfeccionista condicionado por el brillo irisado del acero inoxidable que lo compone. Pero lo que hace que esta ~~pieza~~ escultura sea especial es la disposición de estas varillas, muy posiblemente sin conocimiento previo de Sempere y *a posteriori*, según un equipo de científicos causan un efecto de inhibición de determinadas frecuencias, en concreto 1,6 kHz (Cordero, 2023). Jaime Llinares, Francisco Meseguer y otros investigadores de la Universidad de Valencia (1995) determinaron que se trataba de un cristal fonónico, que es cómo se conocen a los dispositivos científicos que reproducen este tipo de fenómeno (Cordero, 2023).

Sempere fue amante de la música, la ciencia y el arte y consiguió aunar en esta obra todas estas ramas dando como resultado, tal y como aparece en las publicaciones del MACA , "la belleza, el sonido y el silencio" (s. f., párr. 5). Como vemos, en el caso de *Órgano* no se genera sonido, sino que se destruye y transforma parte de él, como también pueden hacer los techos de un edificio o las paredes de una cueva.

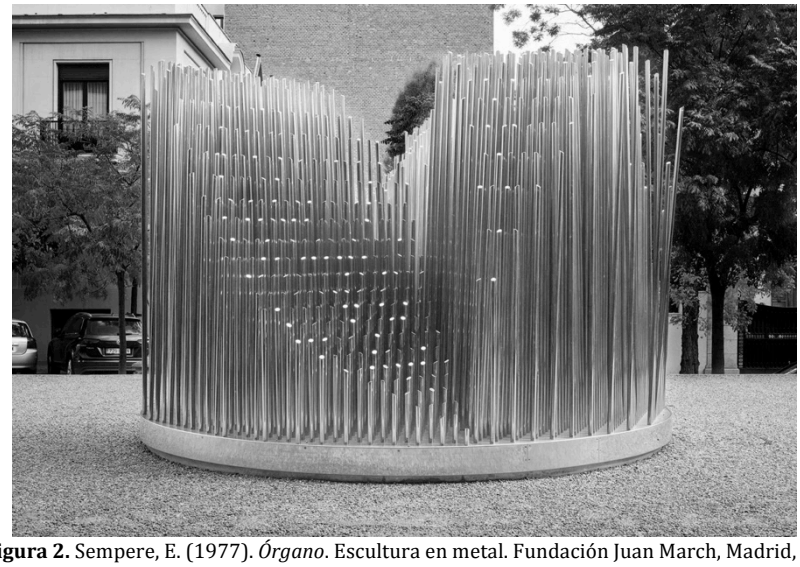


Figura 2. Sempere, E. (1977). *Órgano*. Escultura en metal. Fundación Juan March, Madrid, España. https://www.march.es/es/madrid/coleccion/obras/organo

Es indispensable citar *Plight* (1985), obra de Joseph Beuys instalada en el Centre Georges Pompidou (figura 3), originalmente realizada para la galería Anthony d'Offay de Londres. Se trata de una instalación en una sala con forma de L a la que se accede agachándose bajo una cortina en su entrada, a modo de genuflexión. Las paredes del interior están forradas con toneladas de pliegues de fieltro gris y un piano cerrado, sobre cuya tapa hay apoyado un termómetro y pentagramas vacíos están presidiendo la escena.

Como es habitual en el trabajo de Beuys, él se sirve del fieltro como elemento narrativo, un material asociado a lo confortable, al calor, etc. y en su caso a la salvación tras un accidente

aterciopelado continuo. Esta sinestesia se refuerza con el visionado del documental presentado por el Departamento de la Imagen de la Diputación Provincial de Alicante, titulado *Sempere* (1991) en el que se cuenta su vida y obra, y para el cual contaron con la música y de Llorens Barber que crea una banda sonora de música no convencional muy en consonancia con la obra de Sempere.

aéreo[7].

Por otro lado, este material también funciona como aislante acústico, teniendo un alto coeficiente de absorción del sonido. De ahí que la obra gira en torno a este material y sus propiedades simbólicas y físicas (Klüser, 2006). Dejando a un lado la carga simbólica de Beuys, que en ocasiones puede parecer un tanto indescifrable, nos encontramos en un espacio en el que el sonido generado por el espectador se siente alterado y transformado, algo así como la sensación que tuviera Cage al entrar a la cámara anecoica. Reforzado con la ineludible sensación de estar en un lugar íntimo y sagrado aislado de los sonidos exteriores, capaz de hacernos conscientes de los ruidos que conforman el silencio. Marianela Drago[8] lo describe de forma concisa:

> posiciona al visitante en una situación de escucha a partir del silencio en el espacio y de la incomunicación compartida por quienes participan en él. Ninguna nota sale del piano, tomando el silencio una dimensión tangible al ser vehiculizado por el fieltro. El espectador realiza la experiencia singular del silencio vivido, no solamente como falta de sonido, sino como presencia activa, generadora, siendo todo el dispositivo una invitación a la reflexión introspectiva. (s. f., p. 5).

La presencia del piano y los demás elementos ubicados en la sala, nos resultan anecdóticos, según la lectura de la obra que planteamos. El diseño del espacio junto al fieltro, modelan el sonido y el ambiente lo suficiente como para mantener al espectador en un estado inusual y de reflexión acústica.

No obstante, sabemos que la elección de un piano y la relación con el sonido/silencio no son casuales. Con anterioridad Beuys había trabajado con pianos, como en el caso de *Infiltración homogénea para piano de cola: el gran compositor contemporáneo es el niño de la Talidomida.* En ella forraba un piano de cola con fieltro convirtiéndolo en un piano "mudo". En acciones anteriores practicaba agujeros con un taladro sobre un piano, excusando su acto destructivo en que el piano ya había sido destruido con anterioridad por sus anteriores dueños al utilizarlo como objeto decorativo y no como instrumento.

[7] Beuys fue piloto de avión en la Segunda Guerra Mundial, tuvo un accidente aéreo y fue rescatado por los pueblos *tártaros* quienes lo encontraron y mantuvieron con vida envolviéndolo en fieltro tras untarlo previamente en grasa para conservar el calor corporal y mantenerlo a salvo de las bajas temperaturas de la zona.

[8] Autora de *Los pianos silenciosos de Joseph Beuys* para la Fundación PROA.



Figura 3. Beuys, J. (1985) *Plight.* Instalación. Centro Georges Pompidou, París, Francia. https://www.centrepompidou.fr/en/ressources/oeuvre/RqhG4ed

La materia del tiempo (2005) de Richard Serra (figura 4) expuesta de manera casi permanente en el Museo Guggenheim de Bilbao constituye otro buen ejemplo de arte sonoro que no necesita ser accionado activamente por espectador ni por mecanismos externos y del cual no esperamos en primera instancia una respuesta sonora. Se trata, como en gran parte del trabajo de Serra, de planchas de acero *corten* de proporciones monumentales[9] con formas curvas, cóncavas y convexas, espirales, etc. Estas no están ancladas al suelo, sino que descansan sobre la superficie manteniendo plenamente el equilibrio de sus formas. El autor las propone como esculturas habitables y transitables, poniendo en valor el encuentro con la materia y el tiempo, lo cual nos da la pista para encontrar su innegable relación con el sonido. Al ocupar y desplazarnos por sus espacios, nuestra percepción auditiva varia a la par que avanzamos a través de ellas. Mikel Arce Sagarduy[10] expone de este modo sus sensaciones con respecto a la obra de Serra:

> El sonido leve del caminar hace que su rebote sobre las superficies nos informe en todo el recorrido de aspectos espaciales y de la textura de ellas al tratarse de reflexiones sobre superficies metálicas. Esta reverberación progresivamente variable, nos informa auditivamente de las variaciones volumétricas que suceden durante el recorrido. (2015, p. 17)

El mismo Mikel Arce (2015) nos recuerda que estamos acostumbrados a las reflexiones de planos

[9] Está compuesta por varias piezas de mas 4 metros de altura y 15 de largo. Para hacernos una idea de las dimensiones el peso de éstas varia desde las 44 toneladas de la más pequeña a las 276 que pesaría la más grande.

[10] Investigador del la Universidad el País Vasco.

de 90º que nos proponen los edificios comunes. Por lo tanto, al adentrarnos en la obra de Serra, compuesta por planos inclinados, superficies cóncavas y convexas, es inevitable la experimentación de elementos desconocidos o poco usuales para nuestro oído, lo que constituye un aspecto más atractivo para visitar estas obras.

Queremos destacar también que el trabajo de Richard Serra se mantiene en continua transformación al ser objeto de *performances* y actuaciones musicales que se sirven de su espacio para explorar las posibilidades acústicas y expresivas. Es el caso de *Resonant Sculpture Project* (Fefer, 2023), una serie de actuaciones basadas en interacciones acústicas entre las improvisaciones del músico Avram Fefer y estas esculturas.



Figura 4. Serra, R. *La materia del tiempo.*2005. Escultura. Museo Guggenheim de Bilbao. https://www.guggenheim-bilbao.eus/la-coleccion/obras/la-materia-del-tiempo

Por último, nos gustaría referirnos a un artista actual que condensa muchos de los aspectos que hemos tratado en este artículo. Se trata de Michele Spanghero, creador especializado en la producción de arte sonoro desde 2003 hasta hoy. Si bien ha abordado el tema del arte y la escultura sonora desde distintos puntos de vista y de manera muy acertada en obras como en *Ad Lib* o *Pebbles* entre muchas otras, nos parece conveniente citar su obra *Listening the making sense* (figura 5). Se trata de una instalación compuesta por vigas de madera de cuatro metros amontonadas de forma aleatoria o casual. En el centro y ocultos a la vista se encuentran instalados unos transductores táctiles o pequeños altavoces, que hacen que estas vibraciones se propaguen por las distintas densidades de la madera. La escultura es silenciosa y la única manera de percibir el sonido es entrando en contacto y pegando literalmente el oído a ella. De esta manera obliga a los espectadores a guardar silencio para poder recibir las vibraciones y transformarlas por el cerebro en sonido. Pero, insistimos, en el aire, donde normalmente se transmite el sonido, no se escucha nada excepto los sonidos que conlleva el silencio. Es la acción de tocar las vigas de madera para escucharlas por parte del público, lo que da sentido a la

escultura misma.



Figura 5. Spanghero, M. (2012). *Listening the making sense*. 2012. Escultura. Fuente: A. Ruzzie. https://www.michelespanghero.com/works/listening-is-making-sense-2012/

5. CONCLUSIONES

Hemos puesto de manifiesto las principales dificultades a la hora de identificar o acotar la escultura sonora y hemos llamado la atención sobre la importancia del silencio en ella, como lo demuestran las obras analizadas en este texto, hechas por diversos artistas.

Por otro lado, el término "silencio", se ha reformulado como reflexivo, espacial, sensorial y, sobre todo, sonoro. Al entenderlo desde un punto de vista activo, la escultura sonora adquiere características más sutiles y cercanas a la contemplación sensorial, poniendo en valor las capacidades de los materiales que la forman, así como el entorno acústico. El espectador de estas obras es a la vez emisor y receptor.

Hemos podido analizar una serie de obras escultóricas sonoras que tienen que ver entre sí con la importancia para ellas del sonido y el silencio. Estas obras analizadas constituyen hitos del arte contemporáneo fácilmente reconocibles con los que poder identificar y referenciar otras menos populares de características similares que aúnan parte del legado y conocimientos que éstas enunciaron en su momento. La última obra seleccionada, *Listening is making sense*, de relativa reciente creación, es una muestra de ello.

Hemos puesto en valor el concepto de “silencio” en el arte y hemos citado ejemplos de la imposibilidad de conseguir un silencio total o vacío, debido al entorno y al funcionamiento del propio cuerpo humano, además de las connotaciones sinestésicas que provocan las obras sonoras

silenciosas.

Hemos podido constatar que el término escultura sonora no abarca solo aquella que suena o emite sonidos, sino que es mucha más amplio y que puede contemplar también la obra aparentemente silenciosa, pero que induce a provocar pensamientos o sensaciones sonoras.

Hemos aportado material artístico (obras), literarios (textos) así como musicales a los investigadores sobre la escultura sonora, de forma que puedan ampliar sus diferentes campos de estudio.

6. REFERENCIAS

Arce Sagarduy, M. (2015). El espacio sonoro en el arte contemporáneo: La materia del tiempo de Richard Serra. *AusArt Journal for Research in Art*, *3*(2), 11-21.

www.ehu.es/ojs/index.php/ausart DOI: 10.1387/ausart.15926

Bernstein, D. W. y Hatch, C. (2001). *Writings through John Cage´s Music, Poetry, and Art.* The University of Chicago Press.

Cabrera Díaz, L. (2023, 1 de junio). Silenciar el silencio. *El nuevo diario*. https://elnuevodiario.com.do/silenciar-el-silencio/

Cage, J. (2002). *Silencio*. Ardora ediciones.

Cordero, B. (2023, 20 de junio). Fundación Juan March Madrid. https://www.march.es/es/madrid/coleccion/obras/organo

Diputación Provincial de Alicante. (1991) *Sempere.* [Youtube]. https://www.google.com/search?q=documnetal+sempere&rlz=1C5CHFA_enES992ES992&oq=documnetal+sempere&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIJCAEQIRgKGKABMgkIAhAhGAoYoAHSAQg1NzI3ajBqNKgCALACAA&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&vld=cid:0fed83a4,vid:07rY0wQATLI

Drago, M.(s. f.) *Los pianos silenciosos de Joseph Beuys.* Fundación PROA. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://proa.org/documents/2-Marianela-Drago.pdf

Fontán del Junco, M. Igés, J. y Maire, J. (2016). *Escuchar con los ojos. Arte sonoro en España (1961-2016).* Fundación Juan March.

Fefer, A. (20 de junio 2023). *Resonance Sculpture Project.* http://www.resonantsculptureproject.com/

Klüser, B. (2006). *Introducción. Pensamientos acerca de la Recepción de la Obra de Joseph Beuys Arte = Ser Humano.* En Bernd Klüser (Ed.), *Joseph Beuys: Ensayos y entrevistas*, pp. 13-22. Síntesis.

Kraus, R. (2002). La escultura en el campo expandido. *La postmodernidad*, H. Foster (coord.), pp. 59-74.

Lessing, G.(1985). *Laoconte o los límites de la pintura y la poesía*. E. Palau, E. (Trad.). Orbis.(Obra original publicada en 1766).

Martin de Argila, M. y Astiárraga, C. (1997). *De Juan Hidalgo (1957-1997)* [cat. exp.]. Las Palmas de Gran Canaria: Centro Atlántico de Arte Moderno.

Martínez-Sala, R., Sancho, J., Sánchez, J. V. Gómez, V. Llinares, J. y Meseguer, F. (1995). Sound-attenuation by sculpture. *Nature*, *374*, pp. 241.https://doi.org/10.1038/378241a0

MECA (s. f.). Sempere en el espacio público. Órgano. Fundación Juan March 1977. MECA. https://maca-alicante.es/fundacion-juan-march-madrid-organo-1977/

Molina Alarcón, M. (2008). El arte sonoro. *Revista Itamar: Territorios para el Arte, PUB y Rivera. ed. Valencia.* https://www.scribd.com/doc/24370658/El-Arte-Sonoro-Articulo-de-Miguel-Molina-Alarcon

Ruíz i Carulla, M. (2015). *Escultura sonora Baschet. Arxiu documental i classificació d'aplicacions pel desenvolupament de formes acústiques* [Tesis doctoral]. Universidad de Barcelona.

Silleras Aguilar, R. (2015). *Solido y sonido, posibilidades creativas de la conjunción del sonido con medios en estado sólido en la escultura sonora contemporánea* [tesis doctoral]. Universidat Politècnica de València.

Vera y Picado F. (2012). Arte y escultura sonora. *Del sonido como objeto al objeto sonoro*. *Revista Arte y políticas de identidad*, *7,* pp. 51-