

# EL INSTRUMENTO DE CUERDAS LARGAS

---

## DOS PROPUESTAS PRÁCTICAS PARA SU AUDICIÓN

---

---

SANTIAGO LÓPEZ. MASTER DE PRODUCCIÓN ARTÍSTICA 2012-2013. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALÈNCIA. FACULTAD DE BELLAS ARTES

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

**MPA**  
MASTER OFICIAL  
EN PRODUCCIÓ  
ARTÍSTICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

**El instrumento de cuerdas largas  
Dos propuestas prácticas para su audición**

**Tipología 4.**

Alumno: Santiago López Fernández  
Tutores: Bartolomé Ferrando Colom y Martina Botella Mestres

Valencia, Julio de 2013.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

**MPA**  
MÁSTER OFICIAL  
EN PRODUCCIÓN  
ARTÍSTICA

*“ Hablar sobre música es como bailar sobre arquitectura”*

Frank Zappa.

# Índice

Introducción.....	4
Hipótesis.....	5
Metodología.....	5
Justificación de la investigación.....	6
Objetivos.....	6
Marco teórico.....	7
El instrumento de cuerdas largas.....	7
Algunas consideraciones musicológicas.....	7
La cuerda pulsada, Terry Fox.....	10
La cuerda frotada, Paul Panhuysen y Ellen Fullmann.....	13
Alvin Lucier, Music for a long thin wire.....	17
Apuntes de Historia de la acústica aplicada a las cuerdas.....	18
Música y ruido.....	20
Música acusmática o música concreta .....	21
El Ruido en el instrumento de cuerdas largas.....	22
Música Drone, Rock y Noise .....	23
Desarrollo práctico.....	25
Antecedentes en la obra personal.....	25
Estudio de monocordio de cinco cuerdas a través de aire ambiente, una versión personal del instrumento de cuerdas largas en exterior.....	28
Objetivos.....	30
Fases de trabajo.....	31
Estudio de monocordio de tres cuerdas a través de refracción del sonido. El instrumento de cuerdas largas aplicado a la sordera.....	36
Objetivos.....	37
Fases de trabajo.....	38
Conclusiones.....	43
Referentes bibliográficos y discográficos.....	45

### ***Resumen***

El presente trabajo de investigación tiene que ver con el estudio físico del sonido a partir de una línea de trabajo que se sitúa entre la instalación escultórica y la acción sonora o concierto.. Se han tratado de estudiar los parámetros básicos del sonido a partir de la creación de instrumentos de largas cuerdas metálicas, tal como lo hicieron los físicos acústicos a lo largo de la historia. Se parte del trabajo de Terry Fox, Paul Panhuysen y Ellen Fullmann, así como de la historia de los cordófonos frotados, con el fin de diseñar y construir dos instrumentos que intervienen en el espacio, y crean, a través del ruido, una relación con el espectador mucho más directa y física, que las propuestas de los referentes mencionados, principalmente por medio del uso del espacio y de las fuentes sonoras.

### ***Palabras Clave***

Escultura sonora, instrumentos musicales, ruido, concierto, acción sonora.

### ***Abstract***

The present research is concerned with the physical study of sound from a working line near the sculpture sound installation, as well as the concert or the field of action. They have tried to study the basic parameters of sound from an instrument creating long metal strings, as do acoustic physicists throughout history. It is part of the work of Terry Fox, and Ellen Paul Panhuysen Fullmann, who have developed long stringed instruments, plus the history of chordophones rubbed, in order to design and build two instruments, for interventions in space, the which attempt to create a relationship with the viewer much more direct and physical through the noise, that the proposals of the leading question here, mainly through the use of space and sound sources.

### ***Keywords***

Sound sculpture, musical instruments, noise, concert, sound action.

## Introducción

En este Trabajo Final de Máster hemos iniciado una investigación acerca de las posibilidades del instrumento de cuerdas largas, *long instring instrument*<sup>1</sup> como lo denomina Ellen Fullman o como de manera más sencilla lo hace Paul Panhuysen para referirse a sus instalaciones: *long strings*<sup>2</sup>. Para el desarrollo de tal investigación se han diseñado y construido dos instrumentos de cuerdas largas que, en el ámbito musical, se asocian a la familia de los cordófonos, tanto de cuerda pulsada como frotada, como lo es por ejemplo la viola, con la particularidad de que en los instrumentos que hemos construido, las cuerdas son de mucha más longitud que cualquier instrumento musical tradicional y el material de las cuerdas es siempre metálico. Se ha tratado de concebir el instrumento como un dispositivo sonoro más que como un instrumento musical, desdibujando la línea entre el hecho sonoro y el musical.

En el marco teórico de esta memoria abordaremos, a través de tres capítulos fundamentales, la cuestión de la singularidad del instrumento en el campo del arte sonoro, de la instalación sonora y de la acción entendida como concierto. Comenzaremos por estudiar los instrumentos de cuerda dentro de la historia de la música con el propósito de acercarnos a su posible origen y su posterior desarrollo como un dispositivo importante en trabajos sonoros analógicos de la última mitad del siglo XX. En este apartado analizaremos el trabajo de artistas del sonido que han centrado su discurso en tal dispositivo. Posteriormente prestaremos atención a la física acústica y el estudio de cuerdas vibratorias. Por último expondremos algunas consideraciones referentes a la sonoridad y su carácter físico, el espectador en el ámbito musical y sonora, para acabar el apartado con una defensa del ruido como arte.

Añadiremos una descripción técnica y un análisis de las dos obras que se han construido y su relación con los artistas que hemos tomado como referentes, concluyendo con las posibles innovaciones y nuevos enfoques que se hayan podido aportar.

---

1 FULLMAN, Ellen. The long string instrument. *Musicworks*. (85): 20-28, 2003.

2 KUJPER, Jade. Paul Panhuysen long strings 1982-2011. Eindhoven: Het Apollohuis, 2012. 106 p.

## ***Hipótesis***

En esta tesis planteamos la cuestión de la relación del espectador con obras de carácter sonoro y analógico, en las que el propio material, las cuerdas, es en potencia la fuente sonora. La hipótesis que formulamos es: ¿A través de la escultura o intervención sonora se puede orientar la experiencia musical hacia una experiencia háptica<sup>3</sup> con el fin de conseguir un nuevo enfoque en lo que se refiere a la experiencia del espectador en un concierto de tal singular instrumento?

## ***Metodología***

Partimos desde la experiencia personal en el mundo de los eventos de arte de acción y arte sonoro, y desde el contacto con artistas del mundo sonoro y de la música en diferentes festivales y conciertos. Desde el trabajo con el objeto industrial, como son los sólidos industriales que sirven de dispositivos resonantes para ejecutar acciones, surge la necesidad de buscar en fuentes bibliográficas, video-documentales y sonoras las cuales abarcan varias disciplinas, tales como la acústica, el arte sonoro, la investigación musical, la musicología, la antropología y el arte de acción.

Se han tomado como estudio los parámetros básicos de la acústica, aún siendo una disciplina que puede alejarse de la práctica artística, con el fin de ser consciente del funcionamiento, características y cualidades del medio en el que trabajamos, es por eso que se ha recurrido a la búsqueda de bibliografía básica referente a instrumentos musicales y ciencia, además de la consulta de textos que tienen que ver con la física del sonido en espacios arquitectónicos y espacios abiertos.

Ha sido de vital importancia también la búsqueda de discografía referente a instrumentos de cuerda pulsada y frotada relacionados con la el instrumento de cuerdas largas y la música con timbre y composición similar.

Se podría decir, por ello, que hacemos uso aquí, en este trabajo de investigación, de una metodología analítico-deductiva.

---

3 Designa la ciencia del tacto, por analogía con la acústica(oído) y la óptica(vista). La palabra, que no está incluida en el Diccionario de Real Academia Española de la Lengua, proviene del griego *háptō*(tocar, relativo al tacto).

## ***Justificación de la investigación***

A nivel tecnológico el arte sonoro está dando grandes pasos, ciencia, tecnología, música y sonido se entremezclan, dando lugar a una rica mezcla de disciplinas que no para de crecer. Es pues un campo de investigación todavía muy explorable y abierto. Nuestra investigación poco tiene que ver con la tecnología digital, se basa en el sonido puro del material, que es un arte analógico y lo analógico parece haber quedado obsoleto y cerrado. A nuestro parecer el arte analógico quedó rápidamente eclipsado por lo digital y por ello es de vital importancia continuar investigando sobre ese campo, aunque pocas son las referencias teóricas de los trabajos sonoros acústicos de los años sesenta, setenta y ochenta y pocos los artistas que hoy trabajan por el mismo camino. Es por ello que a partir del trabajo personal en el arte de acción cercano al mundo sonoro contribuimos a investigar sobre el instrumento de largas cuerdas, un dispositivo que ha sido fundamental para los artistas que aquí se tratan. Intentamos contribuir a la innovación de una pequeña parte del arte sonoro de hace cuarenta años, abordándolo con un nuevo enfoque al instrumento de cuerdas largas.

## ***Objetivos***

- Estudiar y tomar referentes en el campo de la acústica, de la música y del arte sonoro para reflexionar sobre nuestra propia obra.
- Profundizar en estudio del trabajo de Terry Fox, Paul Panuysen, Ellen Fullmann y Akio Suzuki en relación al instrumento de cuerdas largas.
- Construir dos piezas de cuerda desarrollando dos diferentes tipos de fuentes sonoras.
- Experimentar con la experiencia auditiva y háptica del espectador para ampliar la percepción sonora.

## Marco teórico

### *El instrumento de cuerdas largas*

#### Algunas consideraciones musicológicas

Creemos necesario crear un vínculo entre la musicología, la historia de los instrumentos musicales y el instrumento de cuerdas largas, el cual se ha utilizado como dispositivo para acciones sonoras, instalaciones sonoras y propiamente como instrumento musical, con el fin de contextualizarlo dentro de la historia del arte, ya que históricamente sus antecedentes se encuentran en el ámbito musical. Clasificaremos el dispositivo de cuerdas largas dentro de la familia de instrumentos de cuerda pulsada<sup>4</sup> e instrumentos de cuerda frotada<sup>5</sup>.

A partir de la catalogación de Hornbostel-Sachs<sup>6</sup>, se pueden encontrar indicios de la existencia de los primeros instrumentos de cuerda pulsada en la prehistoria, de aproximadamente quince mil años de antigüedad que conserva la pintura de la cueva de “Trois Frères” en el sur de Francia donde aparece un cazador tocando un arco musical frente a sus piezas de caza. Se supone que el arco musical se desarrolló en diferentes partes del mundo desde la temprana prehistoria, y existen diferencias entre las hipótesis de los antropólogos sobre cuales fueron los motivos del origen del arco musical, según Henry Balfour existirían tres variables: a. La conversión temporal del arco del cazador en un instrumento musical, b. Los instrumentos de cuerdas contruidos con el único propósito de crear música, c. Las muestras arqueológicas de calabazas u otros resonadores en los arcos musicales<sup>7</sup>. La discusión está precedida por un resumen de numerosas leyendas orientales y clásicas sobre la cuestión. En el caso del arco del arquero se encuentran ejemplos entre los Damara, los Mandingo y los Cafres. De los segundos, los instrumentos simples monocordios, se encuentran desde el oeste de la

---

4 La cuerda se ataca con la mano o con plectro.

5 La cuerda se ataca mediante su fricción, generalmente con arco.

6 HORNBOSTEL, Erich, SACHS, Kurt. *Clasificación de Musical Instruments* [en línea]. The Galpin Society Journal Vol 14 [Londres, Reino Unido]: Galpin Society, Marzo 1961 [citado Marzo 3, 2012]. Disponible de Jstor: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/842168>

7 BALFOUR, Henry. *The History of the Musical Bow. A Chapter in the Developmental History of Stringed Instruments of Music*. Oxford : Clarendon Press, 1899. 87 p.

costa de África hasta Zululandia, y también entre los Hotentotes. Una ruda forma de instrumento se encuentra en el norte de la India y muchos en la zona del Indo-Pacífico. Del tipo resonador se encuentran en el Congo y en el África occidental.<sup>8</sup> Existen muchas variedades también en la India, pero África es el hogar del arco musical de una sola cuerda.

Solamente es posible reconstruir la historia a partir de hallazgos arqueológicos puntuales y lo cierto es que la aparición de los instrumentos de cuerda en occidente puede tener su origen en la antigua Mesopotamia, en concreto el harpa. que apareció hace unos tres mil años a.c. en representaciones de sellos, tumbas y piezas fúnebres. Es probable que desde la cultura asiria los modelos de harpa se exportaran a Egipto, y posteriormente se asentaran en las sociedades griega y romana<sup>9</sup>

En lo que se refiere a la cuerda frotada cabe decir que mucho se ha especulado sobre su origen, ya que no se encuentran pruebas, por ejemplo, de su relación con los caballos o de si “un cosaco utilizó las crines del caballo para hacer sonar su arco”<sup>10</sup>. Las primeras pruebas icónicas de los instrumentos de cuerda frotada se encuentran en Bizancio. La lira bizantina es probablemente junto con el Rabab<sup>11</sup> predecesora de la mayoría de instrumentos de cuerda frotada de la Edad Media.

Existe una vinculación directa entre uno de estos instrumentos medievales y la construcción de nuestro instrumento. Se trata del Organistrum, un instrumento de gran tamaño que funciona rodando un manubrio que a su vez frota las cuerdas, dando como resultado un tono grave y de gran volumen. El manubrio hace girar una rueda la cual porta en su borde una gran cantidad de resina que mantiene una fricción constante sobre la cuerda. Este sencillo dispositivo explica en gran parte la técnica de las diferentes versiones del instrumento de cuerdas largas desarrollado por los diferentes artistas que aquí se tratan.

---

8 Op. cit. p. 34.

9 ROBERTSON, Alec, STEVENS, Denis. Historia general de la música. De las formas antiguas a la polifonía. Madrid: Istmo, 1972. 480 p.

10 Op. Cit. p. 105.

11 instrumento de cuerda frotada del mundo islámico, fue introducido en Occidente, merced a la conquista la Península Ibérica, y ambos instrumentos se popularizaron a lo largo de toda Europa, dando origen al rabel, al talharpa escandinavo e irlandés y al crwth celta.



Fig; 1. *Organistrum*



Fig; 2. *Zanfona o zanfoña*, versión mas tardía del organistrum, para ser tocado por un intérprete.

## La cuerda pulsada, Terry Fox

Terry Fox (Seattle, 1943 – 2008) además de realizar piezas escultóricas e instalación, fué videoartista y artista sonoro. De entre sus piezas cabe destacar su selección de obras sonoras, en las que sin utilizar ningún medio tecnológico logra conseguir efectos de sonido cercanos a los efectos sonoros propios de la música electrónica o electroacústica pero siempre realizados con objetos cotidianos o industriales.

Desde la acción titulada “Timbre” del año 1976, Terry Fox incluye en muchas de sus acciones la cuerda de acero para crear conciertos. En esta acción emplea un monocordio de tres cuerdas de dos metros de largo situado en el espacio del apuntador de un teatro de un anfiteatro de piedra, amplificado con un cuenco metálico con agua, utilizado con frecuencia en muchas de sus acciones. En esta acción se explora el sonido de la cuerda pulsada, ya que utiliza instrumentos de madera para atacar las cuerdas.

El ejemplo fundamental que nos interesa en cuanto a nuestro instrumento de cuerdas largas es el titulado “Berlin Attic Wire” del año 1982, en el que el artista traza unas líneas en el ático de su estudio usando cuerdas aceradas. Estas cuerdas siguen el curso del muro de Berlin desde la vista de su ático intentando crear “ un mapa sonoro, una marca, una especie de geografía sonora de tal estructura”<sup>12</sup>, Fox delimitaba esta marca en cuatro zonas, cada una de las cuales era intervenida de una forma, y en dos de estas partes de las cuerdas utilizó la cuerda percutida. La acción sólo quedó registrada por él mismo sin ningún espectador, siendo la documentación el resultado de la obra. De esta obra de Fox nos interesan dos cuestiones:

a. la calidad acústica de la pieza, ya que es la primera, la más temprana y única que hemos podido encontrar en tanto que pieza sonora con cuerdas largas pulsadas, y que en la línea de Fox se trata de una pieza compuesta íntegramente con el sonido del acero de la cuerda.

b. Tratándose de una pieza de carácter procesual, y de una experiencia en privado, ha de estudiarse la metodología a la hora de grabar y reproducir la pieza, ya que no se trata de un concierto, sino de una sesión de grabación. Fox grabó innumerables horas, considerando el tiempo de veinticinco minutos como el resultado final; es decir, que el

---

<sup>12</sup> FOX, Terry, OSTERWOLD, Matthias, SCHMIDT, Eva. Terry Fox, Works with sound, Arbeiten mit klang. Munich: Edition S Press, 1999. 119 p.

paso final de la obra fue la edición. El proceso de grabación se fundamentó en el registro en acústico, mediante aire ambiente, con un micrófono ambiental. Fox trabaja “sin pastillas ni micrófonos de contacto”<sup>13</sup> y los conciertos son siempre acústicos. Las fuentes sonoras o los resonadores que prestan a amplificar las cuerdas son elementos del espacio o cuencos que él mismo coloca, lo que nos hace cuestionar en sus trabajos el porqué de un rechazo a dispositivos piezo-eléctricos o micrófonos de contacto como medio de amplificación puesto que está realizando una grabación con un micrófono ambiental, la pregunta es: ¿Cuál es la diferencia entre el uso del aire ambiente con un micrófono ambiental para ser registrado y la refracción sonora con un piezo-eléctrico?, ¿No podrían amplificarse las cuerdas con un micrófono de contacto para ser posteriormente registradas con el micro ambiente consiguiendo una mejor grabación?, suponemos que Fox atiende a su método, que en cierto modo está próximo a un acercamiento al sonido de la manera más depurada posible, eliminando cualquier tipo de filtro por mínimo que sea, incluyendo las fuentes sonoras, ya que en sus trabajos lo que cuenta son los mismos objetos que el porta o el espacio donde se desarrolla la acción.

Son muchos los trabajos en lo que Fox ha utilizado cuerdas largas de manera frotada a diferencia de los dos anteriores, piezas como *Erossore* (1978) y *Wiena Ring* (1979), piezas en las que se ejecuta una acción a modo de concierto. Las clasificamos dentro de las cuerdas frotadas porque se trata de resinar las cuerdas y friccionarlas con la punta de los dedos con el fin de extraer armónicos. Es de esta manera como se trabaja con el instrumento frotado, y Terry fox es el más temprano y pionero en experimentar con los amónicos del instrumento.

---

13 Op. cit. 76.



Fig; 3. *Erossore* (1977), Terry Fox.

## La cuerda frotada, Paul Panhuysen y Ellen Fullmann

Si Terry Fox construye su primera intervención sonora de cuerdas largas en el año 1978, Ellen Fullmann (Memphis, 1957) lo haría en el año 1980 y Paul Panhuysen (Borgharen, 1934) en el año 1982. No existen datos en relación a una posible conexión entre ambos en los años en que se gestó el instrumento, ya que Ellen Fullman lo desarrolla en Estados Unidos mientras que Fox presenta su pieza *Erossore* instalado ya en Europa, al igual que Paul Panhuysen. Posteriormente Panhuysen y Fullmann trabajarían en común en varias ocasiones, ya que el instrumento finalmente ha constituido el eje central de la obra de cada uno de ellos. Se puede decir que han sido los únicos, dentro del mundo del arte y de la música que lo han desarrollado hasta el día de hoy.

Como se ha mencionado anteriormente, Terry Fox hizo sonar sus cuerdas usando la resina de colofonia en las primeras obras de cuerda frotada. En el organistrum, la rueda que hace girar el manubrio, estaba impregnada de resina, pero en el caso del instrumento de cuerdas largas el elemento que hace resonar la cuerda es la propia mano con la yema de los dedos; y en este caso tanto la mano como la cuerda se impregna de resina de colofonia tanto para conseguir la fricción necesaria como para hacer mover la cuerda y sonar. En este caso, el intérprete ha de adentrarse en el instrumento y caminar en paralelo a las cuerdas manteniendo con la punta de los dedos una fricción continua, y consiguiendo así un tono constante. Panhuysen tituló a su primera obra de intervención con cuerdas largas *Die Grosse Violine* (1982), del alemán “el gran violín”, haciendo una clara referencia a lo musical, y es que el arco del violín, construido con crines de caballo, se impregna de resina para atacar las cuerdas. Estas instalaciones las tituló “long string installations”<sup>14</sup>. Se cuentan entre 250 instalaciones desde el año 1982 hasta el 2011 y son un ejemplo de búsqueda de relaciones entre el espacio, el sonido como creador de espacio, y con una fuerte implicación en lo visual, una “cercana simbiosis entre sonido y espacio”<sup>15</sup>, o tal que afirma Jade Kujper: “la obra ejerce presión sobre la relacionalidad interna del espacio, y como resultado de esto es a la vez reforzada y socavada”<sup>16</sup>.

En las *long string installations* se intentó encontrar un medio para ir más allá de los límites entre lo material, el espacio y el espacio intervenido por las cuerdas, y lo inmaterial, el sonido, “El sonido es audible y efímero, es de una existencia inmaterial y sin forma propia,

14 KUIJPER, Jade. Paul Panhuysen long strings 1982-2011. Eindhoven: Het Apollohuis, 2012. 106 p.

15 Op. cit. p. 65

16 Op. cit. p. 71

autónoma, de forma física. Todo sonido al cual se le quiera asumir una forma física tangible, necesitará ser amarrado en un dispositivo de grabación o en un espacio que le proporcione un cuerpo acústico temporal: una forma visual que captará y fijará el carácter específico de la breve temporada de sonido definido por la duración, la ubicación y la reverberación, para ser repetido y transportado”<sup>17</sup>, las piezas sonoras de Panhuysen se idean para una ejecución y materialización en directo y en un espacio determinado, son acciones sonoras, no presta atención en un resultado técnico de grabación como pueda ser la discografía de Terry Fox con el instrumento de cuerdas largas. Las obras de Paul Panhuysen se caracterizan por ser obras de carácter *site-specific*, como *Rheinbrücke Köln-Deutz* (2000) en la que instala cuerdas sobre un puente en el que los coches que circulan en la parte superior, construyen la sonoridad de la pieza.

Técnicamente y de la misma manera que Terry Fox, Panhuysen utiliza medios acústicos como fuentes sonoras, con frecuencia cubos metálicos de pintura, latas, bidones industriales u objetos semejantes que amplifican el sonido de las cuerdas, pero a diferencia de Fox, no es una constante en su obra, ya que en *Die Grosse Violine* o en *Hommage to Phil Spector* (1987) o algunas otras piezas, se hace uso de varios amplificadores como principal fuente sonora. Las obras de Fox son en ese sentido mucho más adecuadas al concepto de *site-specific* porque son los elementos propios del mismo espacio los que sirven de resonadores y fuentes sonoras de las cuerdas, como en la obra *Erossore* o en la pieza de cuerda frotada *Suono Interno* (1979) donde se instalaron una serie de cuerdas de acero de piano en el interior de la iglesia de Santa Lucía de Bolonia, siendo el portón de madera del edificio el principal amplificador.

Ellen Fullmann es la artista que quizá haya llegado más lejos en el plano técnico de un instrumento de cuerdas largas, y se proclama creadora del *Long String Instrument*, su versión personal del instrumento, el cual ha diseñado y desarrollado desde los años ochenta. Cabe decir que Fullmann trabaja desde el ámbito musical y dota al instrumento de un carácter casi orquestal, apto para ser afinado y con el fin de crear composiciones junto a familias de cuerdas y vientos. Tal es así que el instrumento tiene una afinación precisa: “Las cuerdas están afinadas en la afinación justa por unas abrazaderas colocadas en cada cable. Así, nos dice, se establece la longitud de vibración de las cuerdas, tal como lo haría un traste en la guitarra. Se extienden tres octavas, desde el *La* (55 hertz) a treinta y dos metros de longitud (El *La* bajo el *Do* bemol del violonchelo) a *La*

---

17 Op. cit . p. 43

(440 hertz) a cuatro metros de longitud (*La al aire en el violín*)<sup>18</sup>. Con esta descripción de la afinación se deduce que el instrumento porta unas escalas adaptadas para un solo intérprete, y no especifica cuantos dedos puede usar, ya que si se extendieran mas cuerdas y de mayor longitud se aumentaría el número de tonos.

Fullman, además de experimentar con los tipos de resina y el grosor de las cuerdas con el fin de mantener unos armónicos continuos, diseñó las cajas resonantes, que son simples cajones de madera fácilmente transportables. La idea inicial de la artista era es que el instrumento fuera totalmente acústico y apto para cualquier espacio, aunque para sus conciertos elaboró una lista de requerimientos técnicos en los que incluye algunos como: “Sistema de refuerzo de sonido con dos micrófonos de condensador de alta calidad (Neumann, AKG, etc), soportes de micrófono, y una mesa de mezclas.”<sup>19</sup>, como consecuencia y a diferencia de los autores anteriores, Fullmann deja de lado la atención y la relación con el espacio para centrarse en el instrumento musical aislado, como aquí afirma: “Otros artistas han usado cuerdas largas, normalmente en instalaciones *site-specific*, pero mis décadas de desarrollo del instrumento han sido una persecución de persistente actividad”<sup>20</sup>. Nos resulta curioso el hecho de que Ellen Fullmann no haga referencia a estos artistas a los que se refiere en la anterior cita, hecho que deja en evidencia el escaso intercambio entre investigadores y artistas, dando lugar a una documentación casi inexistente sobre el tema, Ellen Fullmann sólo trabajó de manera esporádica con Panhuysen durante los años 90.

---

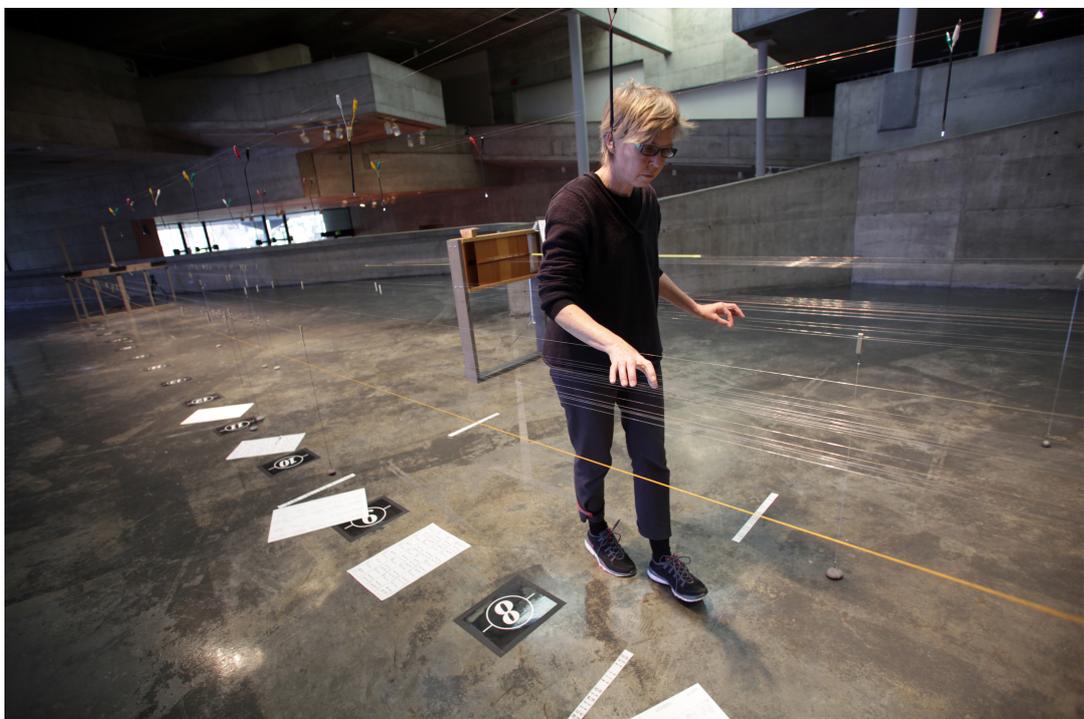
18 FULLMAN, Ellen. *Staggered stasis* [grabación]. Seattle: Anomalous Records, 2004. 1 disco son.

19 Op. cit. p. 4

20 FULLMAN, Ellen. The long string instrument. *Musicworks*. (85): 20-28, 2003.



Fig; 4. *Die Grosse Violine* (1982), Paul Panhuysen.



Fig; 5. *The Long String Instrument* (1998), Ellen Fullmann.

## **Alvin Lucier, *Music for a long thin wire***

La obra que inspiró a Ellen Fullmann para comenzar a trabajar sobre las cuerdas se titula *Music for a long thin wire* (1977) de Alvin Lucier (Nashua, New Hampshire, 1931) artista sonoro, compositor experimental y artista de la instalación y acción sonora así como explorador del fenómeno auditivo. Esta obra, puramente científica y tecnológica la describe así: “el cable se extiende a través de una habitación grande, sujeta a unas tablas en los dos extremos. Los extremos del cable están conectados a los terminales del altavoz de un amplificador de potencia colocado bajo una de las mesas. Un oscilador de onda sinusoidal está conectado al amplificador. Un imán se extiende a ambos lados del cable en un extremo. Los puentes de madera se insertan por debajo del alambre en ambos extremos a los que están incorporados micrófonos de contacto, enviados a un sistema de sonido estéreo. Los micrófonos recogen las vibraciones que el cable imparte a los puentes y se envía a través del sistema de reproducción. Mediante la variación de la frecuencia y el volumen del oscilador, se producen una rica variedad de cambios de frecuencia, ritmos audibles y otros fenómenos sonoros”<sup>21</sup>. Es una pieza que no necesita de un intérprete que se adentre en el instrumento ni manipule físicamente la cuerda, es una pieza sonora fija y continua, que varía en función de los cambios que se le apliquen al oscilador.

Nos interesa de esta obra especialmente el uso del micrófono y el amplificador, ya que es de la manera como se ha abordado nuestro trabajo. Nos interesa también la motivación de Lucier para crear esta obra, ya que coincide plenamente con la nuestra: “es un buen ejemplo nos dice, del interés que tengo en la exploración de las características naturales de las ondas sonoras. Se trata de una simple exploración esencial del monocordio Pitagórico, se inicia desde esa idea. Es una de las piezas más importantes que creo que hice. Es una pieza esencial, que describe la mayor parte del trabajo que he hecho”<sup>22</sup>. Al igual que Alvin Lucier, uno de nuestros nuestro propósitos es el estudio de los parámetros básicos del sonido a través de la vibración de un sólido, de una forma muy básica.

---

21 LUCIER, Alvin. *Music on a long thin wire* [grabación]. Nueva York: Bowling Green, 1979. 1 disco son  
22 Op. cit. p. 4.

## ***Apuntes de Historia de la acústica aplicada a las cuerdas***

Alvin Lucier se aproximó al estudio de la cuerda vibrante a partir de una revisión del monocordio pitagórico. En la escuela de Pitágoras (ca.570-497AC) se incluía la aritmética y la música de forma conjunta. “La aritmética permitía la comprensión del universo físico y espiritual, en tanto que la música era un ejemplo de la armonía universal”<sup>23</sup>. La escuela de Pitágoras se interesó principalmente en la *canónica* o ciencia de los *intervalos musicales*, es decir, las relaciones entre pares de sonidos. En la actualidad se sabe que dichas relaciones pueden ser caracterizadas mediante el cociente entre sus frecuencias, es decir, es el resultado de dividir una cantidad entre otra, y son las veces que cabe el divisor en el dividendo. Por ejemplo , 500 entre 100 es igual a 5 que es el cociente,significa que 100 cabe 5 veces en 500. En aquella época las relaciones entre los sonidos se estudiaban mediante el monocordio, instrumento formado por una sola cuerda, para lo cual se procedía a subdividir la cuerda en un número pequeño de partes iguales. En la terminología actual, si una cuerda tiene un modo fundamental de vibración con frecuencia  $f$ , al dividirla en  $n$  partes la frecuencia pasará a ser  $nf$ . El descubrimiento crucial de Pitágoras fue que la subdivisión de la cuerda en partes cuyas longitudes estaban en proporción  $(n + 1):n$  (es decir, en *relación superparticular*<sup>24</sup>) y  $n:1$ , con  $n$  número natural pequeño que daba origen a sonidos armoniosos o *consonantes* entre sí<sup>25</sup>. Esto dió un gran impulso a la idea de que el número gobernaba el universo. A partir del monocordio y los estudios de Pitágoras se ha elaborado la teoría musical con el principio de los intervalos. El monocordio es el antecesor del organistrum y se utilizó durante la edad media se utilizó como diapasón para la afinación de instrumentos.

Nos hemos de remontar al *Siglo de las Luces* para encontrar las claves del desarrollo científico en cuanto a la física acústica y las cuerdas vibrantes. Es en la física matemática del siglo XVIII cuando se establecen las teorías hoy vigentes de la teoría acústica desde los experimentos con cuerdas.

Fué Brook Taylor (1685-1731) quien en 1715 propuso por primera vez, en su obra *Methodus incrementorum directa et inversa*, el problema de la cuerda vibrante. Una

---

23 GROUT, Donald. A history of western music. Nueva York: W.W. Norton Company Inc. 1960. 742 p.

24 MIRAYA, Federico. Las música de las esferas: de Pitágoras a Xenakis... y más allá. *Revista On. Line de estudios musicales* [en línea] Mayo-Junio 2007 [citado mayo 12, 2013] Disponible de: <http://www.sectormatematica.cl/musica/esferas.pdf>

25 Op. cit. p. 23

cuerda vibrante produce un sonido cuya frecuencia en la mayoría de los casos es constante. Por lo tanto, dado que la frecuencia caracteriza la altura, el sonido producido es una nota constante. Las cuerdas vibrantes son la base de todos los instrumentos de cuerda tales como la guitarra, el cello, o el piano<sup>26</sup>. Se trata de determinar el movimiento de una cuerda elástica así como el tiempo de vibración de la misma si ésta es tensada mediante la aplicación de cierta fuerza externa, para dejarla libre a continuación. Daniel Bernoulli (1700-1782) es quien por primera vez, adquirió conciencia de la existencia de un conjunto infinito de modos fundamentales de vibración. En particular, se percató de la existencia de soluciones oscilatorias muy complejas a las que no se podía asignar una frecuencia de vibración concreta<sup>27</sup>. Pero no fue hasta el año 1740 cuando D'Alembert (1717-1783) obtuvo la ecuación general de las ondas estableciendo la base teórica de la acústica musical. El pulso que viaja a través de una cuerda con puntos fijos, como el instrumento de cuerdas largas, es modelado por la ecuación de onda.

Es importante reiterar la importancia y el valor de la ciencia en la cuestión puesto que nuestro trabajo práctico con el instrumento se basa precisamente en el experimento científico de la cuerda vibrante, aunque sirviéndonos de ello con el objetivo de crear una obra artística, y que en palabras de Alvin Lucier refiriéndose a *Music for a long thin wire*: “es tan amplio que sale del ámbito científico hasta llegar al reino de lo imaginativo”<sup>28</sup>

---

26 TUFILLARO, Nicholas. An experimental investigation into the dynamics of a string. *American Journal of Physics*, (9): 1157-1169, 2004.

27 DARRIGOL, Olivier. The acoustic origins of harmonic analysis. *History of exact sciences*, (61): 343-424, 2003.

28 LUCIER, Alvin. *Music on a long thin wire* [grabación]. Nueva York: Bowling Green, 1979. 1 disco son

## ***Música y ruido***

Si prestamos atención al sonido del instrumento de largas cuerdas, y queremos catalogarlo y escudriñarlo a partir de la escucha y atención en su calidad de timbre, el procedimiento no sería sencillo, porque al hacerlo sonar, tanto de la manera frotada, como pulsada, encontraríamos infinitas variaciones. A partir de la escucha una cuerda larga pulsada nuestra memoria probablemente recordaría los cables de alimentación de los trenes cuando chocan, si es que alguna vez los ha escuchado, y en cuanto a la cuerda larga frotada, dependiendo del tipo de resina y del grosor de la cuerda, se podría reconocer como un instrumento de la familia de la cuerda frotada pero mucho más grave y con una cantidad de armónico que con dificultad nos harían reconocerlo como instrumento musical. En esta ambigüedad se mueve el trabajo que planteamos, en el no-reconocimiento del timbre, en la no-catalogación entre música, sonido y ruido, de manera contraria a como actualmente en el mundo del estudio musical se trata a la música como sistema que articula los sonidos de manera racional y a los ruidos como sonidos inarticulados o interferencias, haciendo una rotunda distinción entre ambas cosas, y sin la menor pretensión de tomar el ruido como parte de la música y considerando a ésta como algo vivo, tan vivo que signifique formar parte de nuestra existencia. Ésta es la lección que John Cage nos ha brindado a todos los artistas, especialmente a los músicos y artistas de acción, cuando afirmó que: “el ruido y los sonidos musicales, cuanto más se descubre que los ruidos del mundo exterior son musicales, más música existe”<sup>29</sup>. Podríamos establecer un vínculo entre el piano de cola *Luthéal*(1922), la obra *Piege de Meduse*<sup>30</sup>(1913) de Satie, y lo que posteriormente Cage diseñaría y denominaría *Piano preparado*(1940), ya que son obras en las que se manipula el instrumento rey con el propósito de modificar y transfigurar su timbre, así como en nuestro caso hemos alterado el timbre del monocordio como instrumento musical. Cuando hablamos de timbre nos referimos al rasgo característico y propio de un sonido, que puede variar de agudo a grave dependiendo de su altura, y que a su vez depende de la frecuencia, que tiene que ver con la dimensión que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de las ondas sonoras<sup>31</sup>. El timbre nos permite identificar y reconocer la fuente sonora y tiene que ver con lo que

---

29 CAGE, John. Para los pájaros. Caracas: Monte Avila Editores, 1981. 319 p.

30 Pieza musical en la que Satie añadió papeles extendidos sobre las cuerdas del piano.

31 FERRER, Rodrigo, MASSMANN. Herbert, Instrumentos musicales, artesanía y ciencia. Santiago de Chile: Dolmen Editores, 1993. 191 p.

comúnmente se asocia con agradable y desagradable. Los sonidos que escuchamos son complejos, es decir, están compuestos por varias ondas simultáneas, aunque nosotros lo percibamos como uno. En los instrumentos musicales el timbre depende de la cantidad de armónicos que tenga un sonido y de la intensidad de cada uno de ellos. Existe en un sonido una onda base llamada *onda sinusoidal base*, que es la frecuencia fundamental o *tono puro*<sup>32</sup>. La teoría matemática del análisis armónico o análisis de Fourier (1768-1830) establece que existe una superposición de ondas o armónicos en base a un tono base o puro<sup>33</sup>. Con esto se deduce que los sonidos se pueden reconocer unos de otros, aún siendo proyectados en un mismo tono, en relación a la diferencia de los armónicos que acompañan a la frecuencia fundamental. La música y lo que popularmente se conoce como ruido están dentro de estos parámetros, por lo tanto consideramos cualquier entidad sonora como música y como material fundamental con el que trabajar.

### ***Música acusmática o música concreta***

El compositor Pierre Schaeffer (1910-1995) abrió un nuevo camino en la expresión musical mediante los medios de grabación y reproducción de sonidos que se desarrollaron en gran medida en los años cuarenta. Cualquier sonido audible podría ser grabado y posteriormente manipulado, mezclado y reproducido. Esto significaba que cualquier emisión del sonido ambiente, incluido lo que se consideraba como ruido, podría ser un elemento con el que componer música. El término *acusmática* lo toma prestado Schaeffer del griego *akousma* que significa “sonido imaginario, del que no se conoce la causa”, tal como Pitágoras trabajaba, sin su presencia física. Solamente con su voz ofrecía las lecciones a sus alumnos. Se denomina concreta porque el sonido pasa a ser una entidad autónoma, según Schaeffer, todos los sonidos se convierten en lo que él denominó como *objetos sonoros*<sup>34</sup>. Éstos sonidos no remiten ni al mundo musical ni a los ruidos, porque al ser tratados por medios tecnológicos se desvinculan y descontextualizan de sus fuentes sonoras originales, en palabras de Schaeffer: “por otra parte los instrumentos de los cuales disponemos (sistemas tecnológicos de grabación y manipulación) nos permiten el acceso a una infinidad de sonidos nuevos que no son ni sonidos musicales en el sentido clásico, ni ruidos: es decir que no recuerdan ni el

---

32 GRABNER, Hermann. Teoría general de la música. Barcelona: Akal, 2001. 392 p.

33 Op. cit. p. 178

34 SCHAEFFER, Pierre. Tratado de los objetos musicales. Madrid: Alianza Editorial, 1996. 336 p.

fenómeno musical puro ni el fenómeno dramático, sino que se presentan como seres sonoros indiscutibles colmando todo el espacio - todo el abismo por así decirlo- que media entre lo explícito musical y lo explícito dramático (entonces cómo no decir Objeto sonoro)”<sup>35</sup>.

Schaeffer desarrolló un sistema en el que clasificaba los objetos sonoros a partir de unos parámetros que él mismo estableció creando una nueva vía de expresión en el mundo de la creación sonora, “La clasificación del universo de sonidos que realizó Schaeffer es similar a la que puede hacer un naturalista o un botánico. Sin embargo esta investigación tuvo un doble objeto. Por un lado, realizar una ordenación del universo sonoro -tal como la haría un botánico con el reino vegetal, y por otro, tomar como objeto de conocimiento a las propias percepciones, es decir, a los mecanismos a partir de los cuales esa ordenación se realiza” <sup>36</sup>. .Ante todo hay que entender y valorar la obra de Schaeffer como un trabajo que invita a trabajar la escucha, “Se trata de una nueva condición del observador”<sup>37</sup>.

## **El Ruido en el instrumento de cuerdas largas**

Si se asocia popularmente a los ruidos como sonidos indeseables por las molestias que puedan causar en un oyente, a causa generalmente de un volumen excesivo, uno de nuestros ejemplos en la práctica de instrumento de cuerdas largas se podría considerar como ruidoso. Esto se debe a que la intensidad o potencia acústica, en su percepción subjetiva denominado volumen, se ha trabajado a gran potencia a través del micrófono de contacto. Con el micrófono conseguimos darle forma al instrumento y casi considerarlo como *objeto sonoro*, ya que el éste no se percibe de manera muy bien definida si lo consideramos en su aspecto acústico, es decir, en sus condiciones naturales acústicas y sin hacer uso del amplificador. El micrófono nos permite escuchar lo inaudible de las cuerdas metálicas y también potencia el volumen de aquello que de manera acústica intuimos, exagerándolo hasta producir distorsiones. Por esta razón consideramos que el micrófono nos permite extraer el ruido de las cuerdas vibrantes como *objeto sonoro*, aunque con la diferencia de que en nuestro caso la pretensión es la acción en directo, el concierto, y el concepto de Schaeffer se aplica desde una perspectiva de grabación y

---

35 Op. cit. p. 233

36 EIRIZ, Claudio. El oído tiene razones que la física no conoce. (De la falla técnica a la ruptura ontológica). *Cuadernos del centro de estudios de diseño y comunicación*, (41): 59-79, 2012.

37 Op. cit. p. 62

posterior manipulación.

El uso de una elevada potencia de nuestro instrumento hace que sature y distorsione, dando lugar a una situación ruidosa, pero teniendo en cuenta el uso que se ha hecho del instrumento como una fuente de *objetos sonoros*, consideraremos a la sonoridad del instrumento como neutra y libre de su origen gracias al uso del micrófono, y no establecemos con rigor nuestro instrumento como dentro de lo musical o del ruido, ya que parte y se desarrolla desde ambos puntos.

## ***Música Drone, Rock y Noise***

Por otra parte se pueden encontrar referentes claros de la calidad instrumental de las piezas para cuerdas largas en el mundo musical, como es el caso de la música *Drone, Rock y Noise*. La *música drone*, o los instrumentos aptos para este tipo de música se pueden encontrar en numerosos lugares del mundo, como por ejemplo en la tradición gaitera, incluyendo en las músicas escocesas el *pibroch*, el *didgeridoo* en Australia, en la música Carnática del sur de la India donde se toca la *tambura*, un cordófono construido con un puente que por su curva crea un gran *sustain*<sup>38</sup>, así como también en el *gagaku* japonés.

Históricamente en la Europa medieval se pueden encontrar antecedentes a este tipo de música en los cantos de música sacra polifónicos a los que acompañaba el *organistrum*, así como también en los cantos Bizantinos, con la citada anteriormente *lira bizantina*.

El género moderno, que se denomina *Música Drone*, así como también “dronología” para diferenciarlo de la música étnica, se relaciona con los movimientos *underground* que tienen que ver con el *post-rock* y con todos los subgéneros musicales cercanos a la música experimental, como la música concreta, el *ambient*, *drone metal* y el *noise*. Muy a menudo se utilizan dispositivos electrónicos o procesos electrónicos sobre instrumentos musicales acústicos, creando una atmósfera densa propia del *Drone*. Así pues que se crea este tipo de música desde varios ámbitos distintos y con diferentes objetivos y es hoy todavía un género por explorar, en palabras de uno de los máximos exponentes del Minimalismo y en particular del drone, el compositor norteamericano La Monte Young (1935) que expresó esta afirmación en el año 2000: “Sobre el estilo de música que originé, la rama de un minimalismo con sustain, también llamado *música drone*, es un

---

38 Efecto sonoro por el cual una cuerda mantiene su vibración por un largo periodo de tiempo.

área fértil de exploración”<sup>39</sup>. Al igual que Cage diría sobre la música *Rock*: “ ¡si usted habla del rock la cosa cambia! La electrónica ha transformado todo. El jazz estaba subordinado a sus tradiciones; en el rock las tradiciones se ahogan en sonoridad. Todo se torna confuso... ¡es algo espléndido! Y todos los intérpretes parecen estar de acuerdo... ¡Viven! La regularidad del compás desaparece cuando hay amplificación suficiente. Ya nadie tiene por delante un objeto sacudido rítmicamente, como un juguete. Uno está *en* el objeto, y se da cuenta de que ese objeto es un río... El rock trae un cambio de escala: uno se precipita en la corriente. El rock arrastra todo”<sup>40</sup>.

A partir de las ideas clásicas del futurismo sobre el ruido y a través de dadá, Fluxus y posteriormente el rock más experimental dentro del *underground*, se nutre la llamada “música noise” del inglés “ruido”. “El ruido triunfa y domina soberano sobre la sensibilidad de los hombres”<sup>41</sup> en palabras de Luigi Russolo. Se desarrolla a partir de los años 50, y fundamentalmente en los años 80 y 90 tiene su auge a partir de combos de Rock, como por ejemplo Ground Zero en la amplia escena noise japonesa, así como también de la música industrial, acompañándose del desarrollo de los aparatos y dispositivos que como en la música concreta, ayudaron a manipular el sonido llegando a la cacofonía, la atonalidad y la distorsión.

Es común en los combos “rockeros” de noise fabricar instrumentos o dispositivos sonoros que ayuden a crear la atmósfera ruidosa y manipular instrumentos acústicos o eléctricos, como la *guitarra preparada* inspirada en el piano de Cage, que utilizaron músicos como Fred Frith o la banda Sonic Youth, muy cercanos al noise.

Encontramos un estímulo en estos subgéneros musicales por sus referentes en común y por la forma de tratar la acústica, lo que nos sirve como material físico con el que trabajar, del mismo modo que para un escultor sería el material mismo. Nos consideramos escultores en la medida en que trabajamos continuamente con el espacio, y en la línea de Panhuysen nuestras piezas sonoras juegan con la dialéctica de espacios, sonidos y espectador, considerando el sonido como una potencia creadora de espacio. Desde la música o desde la música concreta Frank Zappa afirma: “ Mis solos de guitarra son como esculturas en el aire”<sup>42</sup>, La principal función del escultor remite en el juego y la dialéctica con el espacio, y el sonido como ente físico se manifiesta en el espacio, crea espacio, por lo tanto cabe también denominar al trabajo que aquí se desarrolla, como pieza escultórica.

---

39 ARIZA, Javier. Poética del minimalismo. *Música y audiovisión* (3): 34-37, 2003.

40 CAGE, John. Para los pájaros. Caracas: Monte Avila Editores, 1981. 319 p.

41 RUSSOLO, Luigi. El arte de los ruidos. Madrid: Taller de ediciones, 1998. 93 p.

42 ZAPPA, Frank. Them of us. Los Angeles: Barfko Swill, 1984. 351 p.

## Desarrollo práctico

### *Antecedentes en la obra personal*

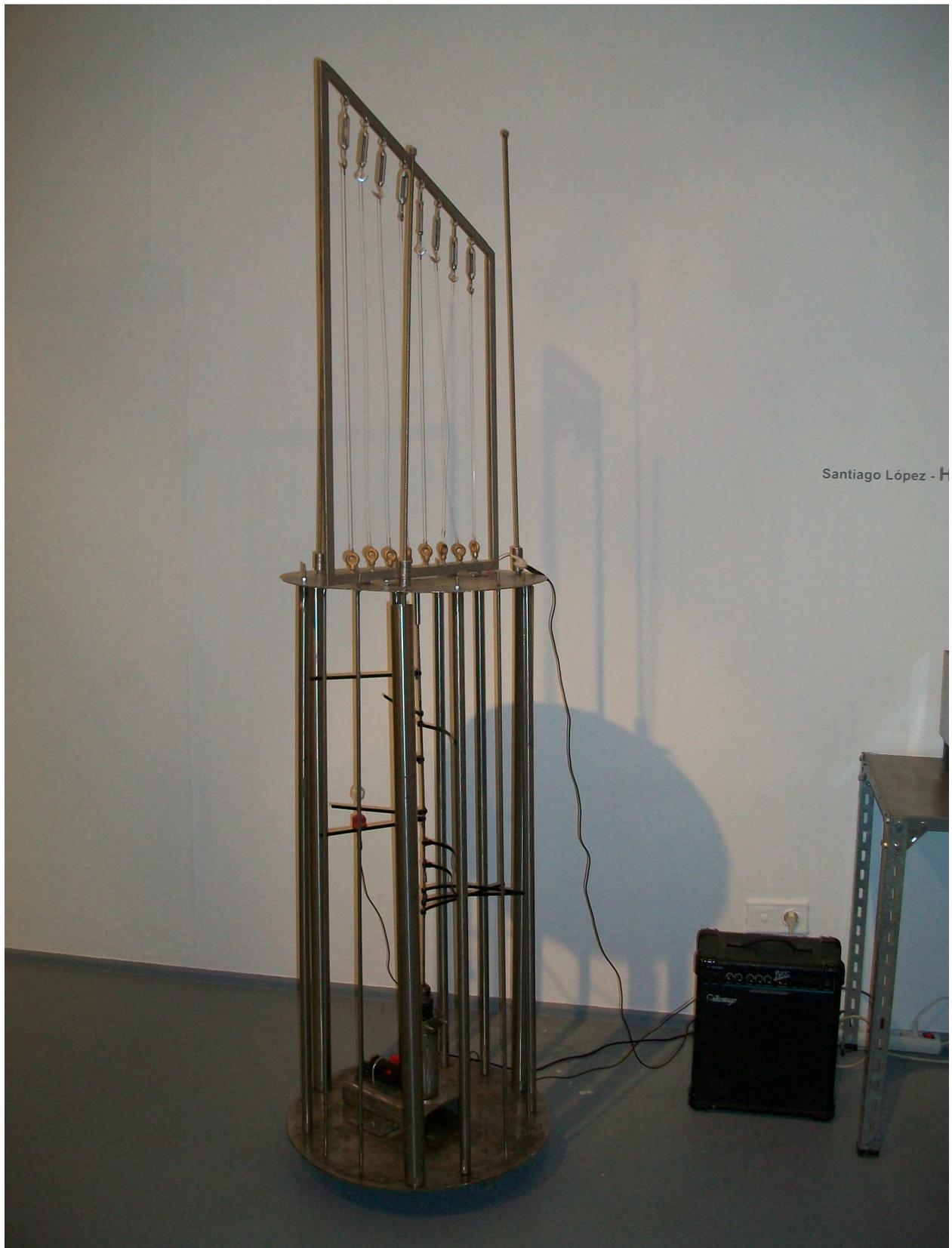
El trabajo desde el cual partimos tiene que ver con el arte sonoro desde varias prácticas y ámbitos, tales como: la acción, la pieza escultórica, la instalación o la música. Desde estos ámbitos el instrumento de cuerdas largas nos ha motivado a estudiar y buscar referentes en la ciencia, la acústica y el arte.

El instrumento de cuerdas largas se convierte en un dispositivo que nos permite darnos cuenta y conocer los parámetros básicos del sonido, en una búsqueda por llegar a lo primordial, a un trabajo muy básico, tal que la obra de Alvin Lucier *Music for a Long Thin Wire*, con el objetivo de descifrar e intentar de entender lo que ocurre con un cuerpo sólido vibrante y que posibilidades expresivas tiene. En nuestro trabajo abundan los trabajos en los que se hace uso de cuerdas o sólidos amplificadas con micrófonos de contacto, en todos los casos con materiales metálicos. Las *Máquinas sonoras*, toman como referencia al Futurismo y a Tinguely, y tratan de ser dispositivos o instrumentos contruidos con metal con los cuales se pueden interpretar piezas sonoras. En otras obras se crean conciertos tomando objetos fabricados de forma industrial como dispositivos sonoros sin manipular su forma o estructura. Objetos tales como: recogedores metálicos, estanterías metálicas, varillas de batir, bandejas de horno y el instrumento con el que más se ha trabajado y explorado, un tendedero metálico. La pieza *Concierto para tendedero* (2009) es una obra sonora con una duración de veinticinco minutos que se interpreta en directo con una amplificación básica, pantallas autoamplificadas, sin necesidad de mesa de mezclas, utilizando un micrófono de contacto. El instrumento se ataca de forma pulsada con la mano, generando unos armónicos que cuando se amplifican con el micrófono de contacto resultan muy similares a los de las campanas al tratarse de un sólido metálico. El objetivo principal de las obras con objeto tiene que ver con descontextualizar el objeto de su uso cotidiano para utilizarlo como herramienta expresiva en el contexto de un concierto, a través del piezo-eléctrico se consigue extraer la onda estacionaria acústica del mismo objeto, y potenciarla con la amplificación en función del espacio donde se toque, dependiendo de las características del espacio se trabaja a más o menos potencia (volumen). Se colocan las fuentes sonoras

(amplificadores) en los puntos donde se pueda crear más rebote, reverberación o resonancia, como ocurre de igual manera con las distintas piezas que componen la totalidad de obras sonoras con las que trabajamos. Por ello la experiencia con la composición y acción sonora del tendedero nos hace cuestionar el papel fundamental que la acústica juega en nuestra obra. La cuestión básica en física de la cuerda vibrante es una de las principales motivaciones para la creación del instrumento de cuerdas largas en cuanto a una reflexión de nuestro trabajo personal en el ámbito de la acción sonora.



Fig; 6. *Concierto para tendedero* (2009), Santiago López.



Santiago López - H

Fig; 7. *Máquina sonora* (2010), Santiago López.

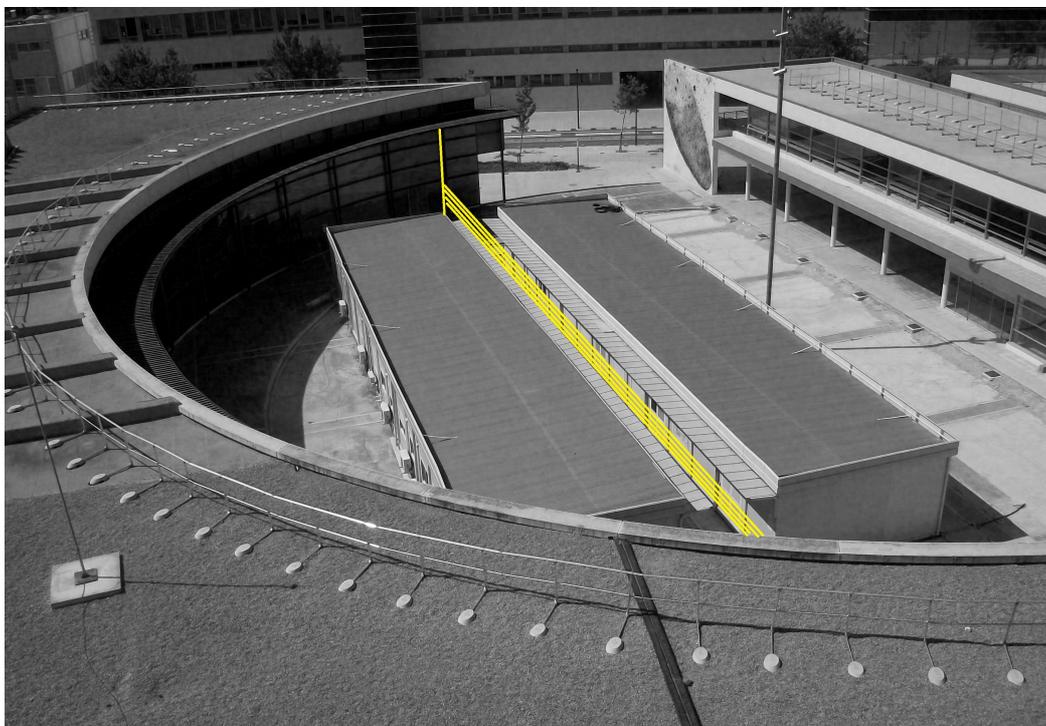
## ***Estudio de monocordio de cinco cuerdas a través de aire ambiente, una versión personal del instrumento de cuerdas largas en exterior***

En este primer caso de estudio tratamos de crear un instrumento de cuerdas largas con el fin de ejecutar un concierto, siendo esta pieza la principal en nuestra investigación debido a la pretensión de tomar un primer acercamiento a los diferentes planteamientos del instrumento por parte de los referentes anteriormente tratados. La pieza tuvo lugar el día nueve de Mayo del año 2013 con motivo de las jornadas de arte de acción *Performance, Teoría y Práctica*, comisariada por Álvaro Terrones y Bartolomé Ferrando, una actividad financiada por el Área de Gestión Cultural de la Universidad Politécnica de Valencia a través de las ayudas concedidas en las convocatorias de proyectos culturales 2012-2013 . El espacio de la intervención fue el exterior del edificio 3M en la Facultat de Belles Arts de Sant Carles, un edificio semicircular, con unas características estructurales idóneas para una obra de carácter sonoro por sus ecos y rebotes. En el marco de este espacio se construyó y se instaló el dispositivo sonoro, es decir, que se aprovechó el espacio arquitectónico como caja resonante, resultando este mismo espacio como el lugar de la audición de la pieza y lugar de presencia del espectador. Se trata de un gran cordófono que consta de cinco cuerdas divididas en dos grupos: tres de ellas de cuerdas aceradas que se tensan por peso a modo de plomadas y dos restantes de hilo de soldadura MIG de 1,2mm dispuestas con tensores convencionales, los puentes o amarres se insertan en los pilares de la estructura exterior de la fachada sin causar daños en la misma. De esta manera se determina la longitud y tensión, resultando el diámetro de la curva del edificio como el límite de longitud de las cuerdas de extremo a extremo . La fuente de sonido de las cuerdas se filtran a través de micrófonos de contacto piezo-eléctricos con salida a dos amplificadores que se colocan en los puntos resonantes del exterior del edificio. En definitiva, tratamos de ejecutar un concierto o acción sonora con instrumentación de un cordófono pulsado y frotado a modo de monocordio de concierto de cinco cuerdas compuestas, instalado en el diámetro de la semicircunferencia del edificio 3M, donde se dispondrán dos amplificadores como fuentes sonoras en los puntos resonantes de dicho edificio, dentro del cual se construirá el espacio sonoro.

La instalación está construida con diferentes piezas, todas ellas metálicas, al igual que los pilares de la estructura del edificio. Fue diseñada y elaborada en el taller de la asignatura *Procesos Constructivos en Madera y Metal*, impartida por Ricardo Pérez Bochons.



Fig; 8. Edificio 3M de la Facultat de Belles Arts de Sant Carles.



Fig; 9. Esquema del lugar que ocupan las cuerdas en el espacio y de uno de los pilares que soportan la instalación y funciona a su vez de resonador acústico.

## Objetivos

- Construir un cordófono (monocordio) de cuerdas metálicas.
- Usar la estructura del edificio 3M de la Facultad de Bellas Artes de San Carlos como soporte y caja de resonancia del instrumento.
- Adaptar la longitud de las cuerdas metálicas al diámetro del edificio-instrumento.
- Diseñar y crear dos puentes a partir de piezas metálicas que soporten el peso y la tensión de las cuerdas y que se instalen en elementos estructurales del edificio sin causar ningún daño o desperfecto.
- Utilizar un medio seguro para no sobrepasar la tensión máxima de las cuerdas: plomadas y tensores.
- Imitar utilizando cucharas los puentes de los instrumentos tradicionales de la India (Jawari) para conseguir una mayor y más rica resonancia.
- Amplificar el sonido natural del acero en el aire ambiente a través de micrófonos piezo-eléctricos y dos amplificadores dispuestos en ambas partes del edificio con el fin de aprovechar las calidades acústicas del edificio, intentando conseguir frecuencias bajas para ello.
- Presentar la pieza a modo de concierto y convertir al edificio en instrumento y en espacio de audición a la misma vez.

## **Material empleado.**

- Dos chapas de carbono de 350x110x5 mm.
- Seis poleas zincadas de 20 mm de diámetro.
- Seis chapas de acero inoxidable de 80x40x5 mm.
- Cuatro cucharas.
- Tubo de sección circular de acero inoxidable de 9 mm de diámetro.
- Tubo de sección circular de acero inoxidable de 210 mm de diámetro.
- Dos chapas de acero inoxidable de 370x40x3 mm.
- Varilla roscada de 18 mm de diámetro x100 mm de largo.
- Dos chapas de carbono de 120x140x5mm.
- Dos chapas de acero inoxidable de 130x40x3 mm.
- Dos tensores de ocho pulgadas.
- Ocho arandelas de 20 mm de diámetro.
- Dos arandelas de 40 mm de diámetro x20 mm de espesor.
- Seis tubos macizos de sección circular de acero inoxidable de 100 mm de diámetro x60mm de altura.
- Cuerda de acero de piano de 240 metros de largo de 0,7 mm de diámetro.
- Hilo de soldadura tipo MIG de aleación de 160 metros de largo acerada de 1,2 mm de diámetro.

## **Fases de trabajo**

1. Se preparan las bases del doble puente del instrumento con dos chapas de carbono de 350x110x5 mm. Se taladran las chapas con el fin de conseguir seis ranuras donde se aposentarán las seis poleas encargadas y se resuelven las ranuras a golpe de cortafríos y limado.

Se colocan las poleas taladrando la chapa y se atornilla en la estructura externa a la polea a modo de contratuerca, precisamente en la parte posterior a la chapa para una fácil manipulación y mantenimiento.

2. Se construyen las piezas fundamentales del puente. Se preparan unas cucharas con el fin de aprovechar su superficie posterior por la reverberación de la cuerda sobre la cuchara en favor de un enriquecimiento a la hora de ejecutar el concierto. Se cortan las puntas tres cucharas normales y otra sopera, las tres primeras sirven para el primer puente y se les suelda con electrodo 309 (inoxidable y carbono) unos soportes para ganar altura, la cuchara sopera, diseñada para el segundo puente, se corta a modo de que exista espacio para el trabajo de las poleas. Se hace uso de un tubo de acero inoxidable de 9 mm de diámetro efectuando un corte perpendicular a la base del puente para el paso y fijación de las cuerdas de acero de piano sobre los elementos del puente.

Se sueldan con electrodo 309 dos tensores al primer puente y al segundo dos arandelas de 20 mm de diámetro con el fin de colocar las cuerdas del hilo de la soldadura MIG.

3. Se usará una sección circular de tubo de acero inoxidable de 210 mm de diámetro para la sujeción de ambos puentes a los pilares del edificio donde se presentará el concierto. Cortando la sección de tubo por la mitad de su diámetro resultan dos piezas que se adaptan a modo de camisa a los pilares, siendo la métrica de éstos precisamente de 210 mm de diámetro. Las dos piezas se sueldan con soldadura MIG, y con electrodo 309 a la placa principal de los puentes, preparándose en éstos un corte curvo preciso para efectuar un cordón de soldadura mayor y por tanto más sujeción.

Para mayor seguridad y perpendicularidad se monta una escuadra entre los puentes y los pilares doblando una pletina de acero inoxidable que se sujeta a los puentes con tornillos y se suelda a unas chapas de carbono con electrodo 309 que reposan sobre los pilares del edificio manteniendo el peso de los puentes.

4. Los puentes, gracias a que el tubo abarca exactamente la mitad del diámetro del pilar adonde estarán sujetos y a sus escuadras, se mantienen por sí solos sin las cuerdas del instrumento, para sujetarlos a los pilares a la hora de presentar el concierto, se diseñan dos piezas de seguridad a modo de abarcones. Para ello se doblan dos pletinas de acero inoxidable que abarcan la mitad del diámetro de los pilares que soportan los puentes soldando con electrodo 309 una varilla roscada de 18 mm de diámetro a cada extremo de la pletina con el fin de que haga la función

del abarcón. Para la unión del abarcón con el puente se suelda con electrodo 309 una arandela de 40 mm de diámetro y 20 mm de espesor a la sección de tubo que mantiene al puente sujeto al pilar. La varilla teniendo holgura en la arandela penetra fácilmente en la arandela y se apreta con tuerca y contratuerca.

5. Se sueldan unas arandelas con electrodo 309 a la base de los seis tubos macizos que harán de plomadas para mantener la tensión de las cuerdas de acero de piano. Se construye una pieza con cáncamos para la sujeción de las cuerdas mediante nudo.

A partir de las características estructurales del edificio, se consiguió una longitud de setenta y cinco metros de cuerdas. Si consideramos las conclusiones de Ellen Fullman en cuanto a la afinación de su instrumento, en las cuales afirma que con cuatro metros de cuerda obtenemos un *La* en clave de *Sol*, en nuestro caso obtuvimos un *Mi* en clave de *Fa*, restando aproximadamente tres cuartos de tono sobre las cuerdas de hilo MIG, las cuales eran de mayor grosor, y dos cuartos de tono en las cuerdas de acero de piano, de menor grosor. Con esto podemos concluir que hemos trabajado a frecuencias muy bajas, y como las frecuencias bajas viajan a mayor distancia que las más altas, se puede decir que hemos aprovechado al máximo las calidades de eco y rebote del edificio, ya que las frecuencias han permanecido por más tiempo en el espacio. Se ha creado un espacio resonante y cambiante a partir del movimiento del espectador puesto que el sonido ha permanecido en frecuencias muy bajas debido a la longitud de las cuerdas. En diferencia a los artistas citados anteriormente que han desarrollado el instrumento de largas cuerdas, se ha echo uso del micrófono de contacto con la pretensión de potenciar la intensidad sonora, aumentando así las calidades de eco y rebote en el espacio del concierto.

La aplicación de la resina juega también un papel importante. A partir del visionado de los trabajos citados anteriormente de Paul Panhuysen y Ellen Fullmann, nos dan una idea de que las resinas utilizadas por estos artistas son de alta calidad, ya que la sonoridad de sus trabajos se acercan a un registro musical, similar a los instrumentos de cuerda frotada los cuales utilizan brea, un material de similar composición, pero fabricado especialmente para instrumentos musicales. En nuestro caso utilizamos resina de colofonia convencional, de menor calidad que la brea, con el fin de aumentar los armónicos que obtenemos al frotar nuestras cuerdas, con el resultado de un sonido mucho más

estridente cercano a la música *noise* que describimos anteriormente.

Otro factor que hace que el sonido de nuestro instrumento se asimile al *noise* y a la música *drone*, es la tensión de las cuerdas. Con el fin de que las cuerdas no resultaran un peligro por una posible rotura, se optó por usar las plumadas. Las plumadas no nos ofrecen una gran tensión, por lo que al hacer sonar las cuerdas conseguimos frecuencias aun mas bajas, ya que a mayor longitud y menor tensión se obtienen las frecuencias más bajas.

El uso del micrófono, la longitud de las cuerdas, su baja tensión, las características del espacio en cuanto a la reflexión del sonido y la amplificación a mucha potencia de la vibración de las cuerdas, hacen de esta pieza un ejemplo de aplicación singular del instrumento de cuerdas largas, teniendo en cuenta la metodología de trabajo de nuestros referentes artísticos. En el trabajo de Fox encontramos una búsqueda de fuentes sonoras en en espacio mismo de la acción, en nuestro caso ocurre lo mismo, ya que los pilares en los que se inserta el instrumento hacen a su vez de resonadores, pero a su vez la resonancia se incrementa gracias a el uso del micrófono y el amplificador. Nuestro objetivo tiene que ver más con una mayor potencia de recepción por parte del espectador. Se creó un espacio sonoro envolvente, hasta el punto de llegar de tener que ver también con el tacto, con lo háptico; el espectador podía recorrer el espacio haciendo un continuo cambio en su realidad perceptiva.

El material documental del concierto se puede encontrar en el DVD adjunto a este trabajo, en formato fotográfico y video (en dos diferentes formatos).



Fig; 10. Detalle del dispositivo.



Fig; 11. Detalle de la cuerda frotada.

## ***Estudio de monocordio de tres cuerdas a través de refracción del sonido. El instrumento de cuerdas largas aplicado a la sordera***

En nuestro propósito de investigar acerca de las fuentes sonoras, hemos encontrado una vía por la cual el camino está aun por explorar en el ámbito del arte sonoro o la acción sonora.. Se trata de la refracción del sonido, un fenómeno acústico que consiste en guiar a las ondas sonoras a través de los materiales, con el fin de que el material de nuestro propio cuerpo recoja la potencia física hasta nuestro oído. En diferencia de la pieza anterior, la cual se sirve del aire ambiente para propagar y hacer audible las ondas proyectadas. En ambos casos el factor de lo háptico esta presente, en el primer caso por la potencia sonora y en este porque el medio de propagación del sonido es el cuerpo

El proyecto consiste en crear un concierto que centrará su fuente sonora en el material mismo, es decir, que mediante el recorrido físico del sonido a través del material, en este caso cables de acero, será directamente recibido al oído interno del oyente por medio de la refracción del sonido en sus propios huesos, a través de sus propios cuerpos. En general, el sonido o las ondas mecánicas (que es lo mismo) viajan a mayor velocidad en los sólidos que en los líquidos o gases. Esto se debe a que la velocidad de las ondas mecánicas la determina una relación entre las propiedades elásticas del medio en que se propagan y la masa por unidad de volumen de éste (densidad). A través de cuerdas vibratorias, que sería en el caso de esta instalación el medio de propagación, el sonido es transportado desde las cuerdas a otras cuerdas que a su vez están en contacto con unas cucharillas, las cuales el oyente mete en su boca. Desde las cucharillas el sonido viaja a través de otro medio sólido, el hueso, siendo éste un medio menos elástico que el acero, pero que aún así el oído interno recoge y procesa hasta el cerebro. Este es un proceso que en física se denomina refracción del sonido, que se aprovecha en este caso como un medio para llegar al espectador. Por lo tanto estamos hablando de una escultura sonora la cual puede ser sentida por sordos, ya que se ataca mediante la refracción del sonido el caracol del oído interno de la persona sorda, pudiendo ser registrado a través de su oído en el caso de padecer una sordera completa, es decir, que su oído carezca de oído interno, lo que se denomina sordera conductiva o de transmisión, donde la alteración se encuentra en el oído externo o el oído medio.

La pieza fue diseñada y construida en los talleres de la asignatura *Talla en Madera y piedra* impartida por Vicente Ortí., y finalmente presentada como proyecto en uno de los

espacios *project room* del Departamento de Escultura de la Facultat de Belles Arts de Sant Carles, dentro del programa de la asignatura *Instalaciones, espacio e intervención* impartida por Sara Vilar y Pilar Crespo.

## Objetivos

- Utilizar la piedra como soporte de un dispositivo-instalación, por su peso y por tener una menor propagación del sonido, aprovechando así la mayor frecuencia posible sobre el cable de acero, que es el material más elástico para la velocidad del sonido, consiguiendo una mayor refracción del sonido y cantidad de frecuencias en los huesos de la mandíbula del oyente hacia su oído interno.
- Considerar tal dispositivo como un instrumento sonoro y musical y ejecutar un concierto.
- Instalar dos piedras para como fijación de tres cuerdas a modo de monocordio pitagórico.
- Colgar las piedras del techo o el lugar a exponer, manteniendo una diálogo con el espacio y determinando de esa manera la tensión precisa de las cuerdas , permitiendo incluso variar la tensión o afinación durante la ejecución del concierto.
- Usar cucharillas y cuerda de acero de piano para conseguir la refracción del sonido, siendo estos los medios de propagación del material hasta alcanzar el oído interno del espectador.

## Fases de trabajo

1. Partir una piedra en dos mitades. Efectuar varios taladros en la mitad de la piedra, posteriormente colocar cuñas en los respectivos taladros y martillar hasta que la piedra rompa.

2. Marcar en ambas piedras dos curvas para el paso de las cuerdas, la curva es similar a la de una cuchara. Efectuar cortes perpendiculares en la base de las piedras calculando el ángulo sobre el que pasará la curva. Cincelar y sustraer la piedra con el martillo.

3. Una vez calculado el desarrollo de la curva se trabaja con radial hasta alcanzar un mayor nivel de precisión. Se hace uso de un nivel para medir de un lado al otro y conseguir la curva de igual manera en ambos lados.

4. Cortar con radial el lado por el que ha sido partida la piedra por la mitad, ejecutando cortes perpendiculares de igual manera que se ha construido la curva con el fin de encontrar dos superficies totalmente lisas y perpendiculares a la base. Se hace uso de la radial para modelar e igualar la superficie.

5. Modelar la piedra en su totalidad con el disco de corte de la radial y posteriormente con el de lija hasta alcanzar una superficie homogénea. Se cortan y arreglan las aristas manteniendo una coherencia entre éstas y la curva realizada con el fin de llegar a una forma simple y apta para instalar las cuerdas.

6. Realizar seis taladros con una broca de 8 mm, tres en cada piedra, en una de las partes de la curva de las piedras con el fin de colocar un espirro de 8 mm en cada uno de los taladros. Se coloca una arandela en los espirros para que el hilo de soldadura MIG de 1,2 mm de diámetro lo abrace y quede totalmente sujeto a la piedra.

7. Realizar pruebas de tensión para calcular el número de metros de hilo o cuerda acerada que ha de soportar la piedra en función de su peso.

8. Realizar pruebas de sonido, en primer lugar de sonido ambiente, con un amplificador a través de micrófonos de contacto, para comprobar la sonoridad de las cuerdas y posteriormente atar nudos con cuerda de acero de piano al hilo de soldadura MIG para comprobar la refracción mediante otro nudo en el extremo a cucharillas.

Durante el proceso se realizaron diversas pruebas de la sonoridad de la pieza en personas que padecen sordera, consiguiendo que la vibración de la cuerda alcanzara el oído interno, pudiendo ser procesado y registrado. De esta manera se obtenía un estímulo sonoro-respuesta haciendo sonar las cuerdas de manera pulsada y frotada. En casos en los que la persona carece totalmente de oído, el fenómeno no podría ser experimentado. En personas que mantienen sano su oído, el resultado fue audible, aunque con poca intensidad, aunque en el caso de las personas que oyen, se deben de tapar los oídos previamente a la experiencia sensitiva de la refracción del sonido, y si se tapa su oído sano, puede existir un rebote en el interior mismo del aparato auditivo, que en teoría debería incrementar la intensidad de la frecuencia. Como consecuencia, una fuerza física conduce el sonido de dentro hacia afuera, y no al contrario, como acostumbramos a oír de manera natural a través del aire, desde fuera hacia adentro. De esta manera es como experimenta una persona sorda el concierto de cuerda, de manera que una vibración mecánica circula desde el interior de los huesos hasta el oído.

Pero para hacer llegar la vibración de la cuerda hasta el oído interno, era necesario utilizar otra cuerda externa a la del instrumento, la cual porte la cucharilla y haga la función de fuente sonora, de medio para alcanzar el oído. Una cuerda que por un extremo permanezca en conexión a las cuerdas vibrantes que toca el intérprete, y por otro la cucharilla. El principal problema recae en la tensión de la cuerda externa, la cual está en constante cambio debido al movimiento del oyente, un hecho positivo debido al factor de interactividad del espectador con la pieza, pero que en los casos en los que la cuerda no tenía la suficiente tensión la vibración resultaba casi imperceptible. Se aconsejó pues al oyente a permanecer a una distancia apropiada para una mejor audición.

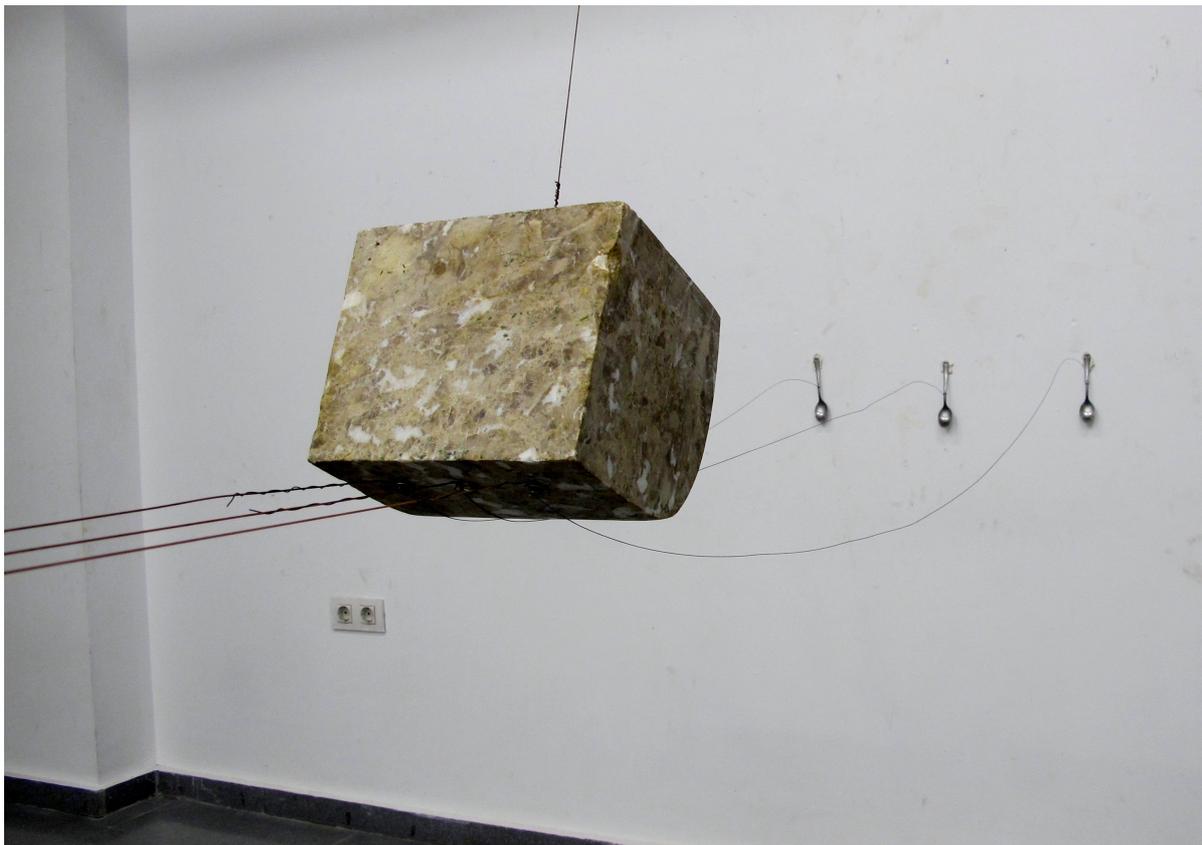
A partir del desarrollo de esta pieza se creó otra obra que se basa en las mismas

premisas. En este caso el experimento de la refracción del sonido como estímulo para la creación de una obra sonora se resolvió de forma distinta. Se trata de una pequeña caja con una cuerda metálica, una cuchara, un lápiz y unas instrucciones que indican como componer una pieza de cuerda para uno mismo. La obra no tiene una gran longitud en sus cuerdas, pero tiene que ver con la refracción del sonido, haciendo referencia a lo anterior. Es una aportación más a un amplio desarrollo en torno al instrumento que hemos creado. Esta pieza tiene que ver con lo lúdico, con las cajas Fluxus y con muchas otras propuestas dentro del ámbito de los juegos didácticos científicos que de alguna manera han inspirado este experimento, como por ejemplo un dispositivo diseñado para que se use como teléfono, que consta de una cuerda que une dos envases de yogur. La pequeña caja puede resultar como una previa presentación a la pieza fundamental de tres cuerdas. Los juegos que se aplican a personas sordas a través de las vibraciones son en buena parte un referente y un estímulo para la creación de este trabajo, juegos que tienen que ver con la estimulación del oído interno, en los casos en los que la persona lo conserve intacto, a través de la vibración de pelotas de goma o globos. De igual manera, personas sordas y no-sordas pueden sentir la pieza, siempre que se utilice tapones o cascos.

Solo existe documentación fotográfica, en el anexo que acompaña esta memoria, debido a que el registro sonoro de la pieza mediante micrófono ambiental o de contacto no resultaría coherente como documento real, puesto que la audición de la pieza estimula directamente el oído.



Fig; 11. Longitud de las cuerdas.



Fig; 12. Detalle de las cucharillas.



Fig; 13. Caja cerrada.



Fig; 14. Interior de la caja.

## Conclusiones

Desde el principio hemos intentado acercarnos a los conceptos básicos acerca de los parámetros físicos del sonido y su aplicación al propio trabajo artístico. Creemos acertada y coherente la decisión de tomar el camino de la experimentación con un dispositivo sonoro concreto, el instrumento de cuerdas largas. El instrumento nos ha brindado una oportunidad para la investigación, ofreciéndonos al final de este proceso, un camino aun fértil de investigación.

En base a la revisión y análisis de los trabajos de los referentes artísticos con los que trabajamos, y al desarrollo de producción de obra artística propia sobre la cuestión de la cuerda vibrante, la presente memoria resulta carente de referencias científicas que den forma a la fundamentación teórica de una manera integral. Es por ello que esta investigación se presta a un trabajo conjunto, de manera interdisciplinar, entre el ámbito artístico, que es nuestro caso, y el ámbito científico, con el fin de resultar una investigación del todo completa.

Por otra parte, y a partir de nuestra experiencia y la del espectador que ha tenido ocasión de experimentar las diferentes situaciones que hemos planteado en acciones y conciertos con el instrumento de cuerdas largas, se ha deducido que en las piezas mencionadas, nuestra intención de llegar a una experiencia del hecho sonoro o del concierto cercana a la idea de lo háptico ha sido posible a través del interés y el estudio de las fuentes sonoras. Se nos ha planteado en este trabajo la cuestión de las fuentes sonoras, llegando a la conclusión de que existen por lo menos tres formas de abordar la emisión y recepción del sonido en el contexto de nuestro trabajo: 1. A partir del uso del micrófono de contacto y haciendo uso de amplificación. Esta no es la forma de trabajar de los artistas que hemos tomado como referentes, siendo expresamente rechazada por Terry Fox, y ausente en los trabajos de Ellen Fullmann, que usa un refuerzo acústico con micrófonos de condensador y también en las instalaciones de Paul Panhuysen. En nuestro caso el micrófono de contacto se ha convertido en una herramienta para conseguir una amplitud de potencia, con el fin de que las ondas sonoras, en un espacio resonante, se conviertan en algo similar a esculturas que envuelven y traspasan al espectador. 2. El uso de los instrumentos de manera acústica, es decir, sin la necesidad de potenciar el sonido a través del micrófono y del amplificador. No ha tenido lugar en nuestro trabajo este método,

y por lo tanto cabría preguntarse si se puede llegar a la experiencia sensorial que perseguimos a partir de una aplicación exclusivamente acústica en nuestros trabajos, de manera que se puedan construir objetos con una alta capacidad resonante, o un espacio que potencie la sonoridad del objeto. 3. La refracción del sonido aplicada a la audición del concierto. Aquí aportamos un nuevo enfoque en lo que se refiere a la emisión-recepción del sonido en un concierto. De este modo nos acercamos a una experiencia sensitiva directa con el espectador, el cual ha de estar en contacto físico con la pieza.

Así pues a través de experimentar con el fenómeno físico de la refracción del sonido, abrimos una vía en nuestro trabajo que puede trasladarse por ejemplo a otros ámbitos, como por ejemplo la aplicación de la refracción del sonido a la poesía sonora, donde desde las cuerdas vocales se pudiera emitir estímulos físicos o señales hacia personas con sordera, acciones sonoras para sordos.

## Referentes bibliográficos y discográficos

BALFOUR, Henry. The History of the Musical Bow. A Chapter in the Developmental History of Stringed Instruments of Music. Oxford : Clarendon Press, 1899. 87 p.

CAGE, John. Para los pájaros. Caracas: Monte Avila Editores, 1981. 319 p.

CARRIÓN, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Barcelona: Edicions UPC, 1998, 433 p.

DARRIGOL, Olivier. The acoustic origins of harmonic analysis. *History of exact sciences*, (61): 343-424, 2003.

EIRIZ, Claudio. El oído tiene razones que la física no conoce. (De la falla técnica a la ruptura ontológica). *Cuadernos del centro de estudios de diseño y comunicación*, (41): 59-79, 2012.

FERRER, Rodrigo, MASSMANN. Herbert, Instrumentos musicales, artesanía y ciencia. Santiago de Chile: Dolmen Editores, 1993. 191 p.

FOX, Terry. Ataraxia [grabación]. Munich: Edition S Press, 1998. 1 disco son.

FOX, Terry, OSTERWOLD, Matthias, SCHMIDT, Eva. Terry Fox, Works with sound, Arbeiten mit klang. Munich: Edition S Press, 1999. 119 p.

FULLMAN, Ellen. Staggered stasis [grabación]. Seattle: Anomalous Records, 2004. 1 disco son.

FULLMAN, Ellen. The long string instrument. *Musicworks*, (85): 20-28, 2003.

GRABNER, Hermann. Teoría general de la música. Barcelona: Akal, 2001. 392 p.

GROUT, Donald. A history of western music. Nueva York: W.W. Norton Company Inc. 1960. 742 p.

HORNBOSTEL, Erich, SACHS, Kurt. *Classification of Musical Instruments* [en línea]. The Galpin Society Journal Vol 14 [Londres, Reino Unido]: Galpin Society, Marzo 1961 [citado Marzo 3, 2012]. Disponible de Jstor: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/842168?>

KUJPER, Jade. Paul Panhuysen long strings 1982-2011. Eindhoven: Het Apollohuis, 2012. 106 p.

LUCIER, Alvin. Music on a long thin wire [grabación]. Nueva York: Bowling Green, 1979. 1 disco son.

MIRAYA, Federico. Las música de las esferas: de Pitágoras a Xenakis... y más allá. *Revista On. Line de estudios musicales* [en línea] Mayo-Junio 2007 [citado mayo 12,

2013] Disponible de: <http://www.sectormatematica.cl/musica/esferas.pdf>

PANHUYSEN, Paul. Partitas for long strings [grabación]. Nueva York: XI Records, 1998. 1 disco son.

ROBERTSON, Alec, STEVENS, Denis. Historia general de la música. De las formas antiguas a la polifonía. Madrid: Istmo, 1972. 480 p.

ROTHENBULER, Eric, DURHAM, John. Defining phonography: An experiment in theory. *Musical Quarterly*. (2): 242-243, 1997.

RUSSOLO, Luigi. El arte de los ruidos. Madrid: Taller de ediciones, 1998. 93 p.

SCHAEFFER, Pierre. Tratado de los objetos musicales. Madrid: Alianza Editorial, 1996. 336 p.

TUFILLARO, Nicholas. An experimental investigation into the dynamics of a string. *American Journal of Physics*. (9): 1157-1169, 2004.

ZAPPA, Frank. Them of us. Los Angeles: Barfko Swill, 1984. 351 p.