

Mikel Arce

**MICRÓFONOS:
TECNOLOGÍA Y PROCESOS
PARA LA CREACIÓN SONORA
Y EL REGISTRO BINAURAL**

ilustraciones: Unai Requejo



eman ta zabalzazu



UPV EHU

Micrófonos: Tecnología y procesos para la creación sonora y el registro binaural

Producción: Sección departamental de Arte y Tecnología de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad el País Vasco.

Comisión editorial: Iñaki Billelabeitia, Juan Crego, Saioa Olmo (coordinadora) y Natalia Vegas.

Editorial distribuidora: Banizu Nizuke.

Autor del texto: Mikel Arce.

Corrección del castellano: Sonia Berger (La Troupe).

Traducción al euskera: Lide Azkue (Elhuyar Fundazioa).

Revisión idiomática del euskera: Jesus Mari Makazaga.

Ilustraciones y tratamiento gráfico: Unai Requejo.

Fotografías: de sus autores.

Diseño y maquetación: Izaskun Álvarez Gainza y Unai Requejo.

Gracias a la colaboración de: el Vicerrectorado de Euskera y Formación Continua, el Servicio de Euskera y el Departamento de Dibujo de la UPV/EHU.

Imprenta: Grafilur.

Primera edición: junio 2021.

ISBN: 978-84-121490-3-6

Depósito Legal: LG BI 00868-2021

Impreso en el País Vasco.

Licencia: Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>



<https://www.ehu.eus/ehusfera/arteaetateknologia/>

<https://addi.ehu.es/>



9 788412 149043

Introducción

En esta edición de los cuadernos de Arte y Tecnología de la UPV/EHU abordamos los aspectos tecnológicos y creativos de una herramienta específica para la creación sonora.

El micrófono como sensor que permite la amplificación y registro de la vibración sonora que percibimos es un «transductor analógico», es decir, convierte las ondas sonoras en una equivalente o proporcional señal eléctrica, comparable y análoga a la sensación sonora percibida. Su desarrollo tecnológico a lo largo de los siglos XX y XXI nos ofrece una enorme variedad de comportamientos, sensibilidades, combinaciones y aplicaciones específicas, que explicaremos y aplicaremos a prácticas concretas que nos ofrecerán experiencias propias de las artes sonoras (microfonía de contacto/piezoeléctrica y binaural).

La socialización de la tecnología audiovisual, la diversidad y todas sus posibilidades tecnológicas han permitido que ciertos medios adquieran un uso específico y plasticidad suficiente para una aplicación en el arte contemporáneo. El micrófono será una de las principales herramientas que permitan observar, experimentar y utilizar el sonido, como medio y material de creación respectivamente.

La audición binaural, como observación del espacio tridimensional que nos rodea, permite escuchar en profundidad y diferenciar el origen de las fuentes sonoras. Es una referencia para la práctica de la espacialidad sonora y que experimentamos a través de un método propio y el proceso de elaboración de una cabeza microfónica para el registro binaural.

La microfonía de contacto o piezoeléctrica proporciona la amplificación (registro) de las vibraciones que se producen en los materiales no gaseosos: si la inmensa mayoría de los micrófonos recogen las vibraciones aéreas, los piezoeléctricos exploran las ondas transmitidas en los sólidos e incluso en los líquidos (hidrófonos). Este mundo sonoro interior, a menudo oculto y totalmente imperceptible, es aumentado analógicamente mediante tecnologías electroacústicas muy simples y económicas, que ofreceremos como otra experiencia práctica en este monográfico.

Palabras clave: micrófonos, binaural, transductor, contacto, analógico, registro.

Índice

1. Microfonía	5
1.1. Micrófonos y transducción sonora	5
1.2. Funcionamiento	6
Transducción piezoeléctrica	6
Transducción electrodinámica	8
Transducción de condensador electret	9
1.3. Directividad	10
1.4. Sensibilidad	14
1.5. Respuesta en frecuencias	17
1.6. Impedancia de las señales sonoras	20
1.7. Formas, usos y aplicaciones	22
4	
2. Aplicaciones específicas	27
2.1. Espacialidad y audición binaural	28
Registro binaural	30
Proceso para la construcción de un sistema de registro binaural (cabeza binaural)	32
2.2. Microfonía de contacto y creación sonora	36
Procesos para la construcción de micrófonos piezoeléctricos y de contacto	39
3. Bibliografía y enlaces de interés	41
4. Anexo: Algunos materiales para sonido disponibles en el Departamento de Arte y Tecnología (2020)	43

1. Microfonía

1.1. Micrófonos y transducción sonora

El micrófono es el elemento principal en el proceso electroacústico de la vibración sonora. Es capaz de recibir estas alteraciones u oscilaciones de presión en el aire (vibraciones) y convertirlas en señales eléctricas, es decir, es un *transductor*: capaz de cambiar la energía acústica que llega a su membrana o diafragma, por una pequeña energía eléctrica a su salida, a partir de diferentes principios de transducción.

Un micrófono es un transductor electroacústico que convierte la energía acústica en energía eléctrica (variaciones de voltaje). El altavoz, como elemento final del proceso, también es un transductor electroacústico, pero sigue el camino contrario. Un altavoz transforma la corriente eléctrica en vibraciones sonoras.

Existen muchos tipos de transductores que en muchos de los casos son auténticos generadores de energía obtenida a partir de otras como podrían ser las dinamos de las bicicletas, las linternas de dinamo (sin baterías) o los parques eólicos (aerogeneradores).

Otros ejemplos son los teclados comunes que transforman el impulso de los dedos sobre las membranas y estas generan el código de la tecla presionada; o un ventilador, que convierte la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento del aspa del ventilador).

El concepto de *transducción*, aunque tiene su origen y describe procesos de la física, podría ser aplicado a procesos artísticos, en los que el/la artista convierte su idea en obra, es decir, procesa su pensamiento y lo expresa de manera sonora, visual o literaria¹.

Para poder clasificar la innumerable variedad de micrófonos que hoy en día se ofrecen, y hacer posible su identificación y así determinar cuál es el tipo de micrófono necesario para aplicaciones específicas, se hace necesario explicar ordenadamente su funcionamiento, su directividad, su sensibilidad, su respuesta en frecuencias, su impedancia y su forma o características externas (dimensiones, aspecto, accesorios o posibilidad de ellos).

¹ Ver la ponencia «Transducción entre sonido e imagen en procesos de composición», Carlos López Charles, 2009: http://www.ceiarteuntref.edu.ar/lopez_charles

1.2. Funcionamiento

La transducción que realizan los micrófonos puede ser de diferentes tipos, lo que definirá ciertas características posteriores que, en algunos casos, determinarán aplicaciones muy concretas. Realizamos una primera clasificación citando los tipos de transducción más habituales, aunque a todos ellos los consideramos como transductores electroacústicos:

- Transductor piezoeléctrico.
- Transductor electrodinámico.
- Transductor electrostático o de condensador.
- Transductor de carbón.

De entre ellos, solo los transductores de tipo piezoeléctrico y los de tipo electrodinámico (bobina móvil o dinámicos) no van a necesitar de una alimentación eléctrica.

La transducción electrostática o de condensador implica siempre la inclusión en el sistema de una fuente permanente de alimentación o suministro eléctrico (batería, pila, *phantom*), lo que requiere una atención previa, es decir, la prevención del buen estado de la batería, o del conocimiento o posibilidad del suministro o activación *phantom*, a través del *mixer* o grabadora, o imposibilitando su conexión a equipos que no lo posean (la mayoría de cámaras réflex digitales no incluyen alimentación *phantom* para poder conectar micrófonos de condensador electret que no posean alimentación de baterías desde el propio micrófono).

Transducción piezoeléctrica

La propiedad de la piezoelectricidad fue observada por primera vez por Pierre y Jacques Curie en 1881 mientras estudiaban la compresión del cuarzo. Al someterlo a la acción mecánica de la compresión, las cargas de la materia se separan y esto da lugar a una polarización de la carga. Esta polarización es la causante de que salten las chispas.

Los materiales piezoeléctricos son capaces de

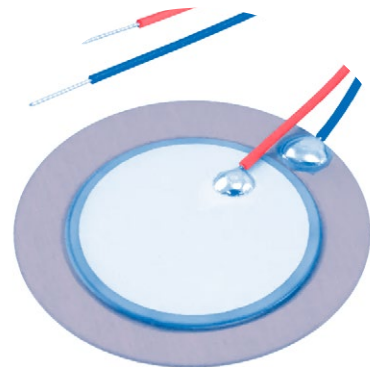


Figura 1. Micrófono piezoeléctrico de contacto.

convertir energía mecánica en energía eléctrica. Los cristales de cuarzo, las micas o minerales como la calcita, forman parte de este grupo de materiales que con una presión mecánica, es decir, al ser deformados externamente, pueden producir campos eléctricos.

Este fenómeno físico se ha venido empleando tanto para la producción de sistemas de encendido al presionar ciertos materiales de tipo cuarzo (sílex, encendedores de gas, etc.), como para el registro de la vibración del sonido a través de materiales conductivos de la vibración de las ondas sonoras, es decir, como micrófonos de contacto.

Ellos, y su forma más básica como aplicación microfónica, constan (Figura 1) de una simple placa circular de latón (actuando como membrana o diafragma) y de diferentes diámetros (de 15 a 40 mm), recubierta de otra fina placa de material piezoeléctrico o mica (donde se generará la señal eléctrica).

Así la señal eléctrica producida en la mica, al deformarse o alterarse por la presión de la vibración sonora, será eléctricamente análoga (comparable o proporcional) a la presión o intensidad de la vibración recogida.

Además de como micrófono de contacto, podemos encontrar usos de la transducción piezoeléctrica en:

- Altavoces de agudos (*tweeters*), pequeños altavoces.
- Cápsula (*pick-up*) de tocadiscos.
- Encendido electrónico de estufas a gas.
- Encendedores o mecheros eléctricos.
- Hidrófonos.
- Líneas de retardo.
- Motores piezoeléctricos.
- Sensores de vibración en guitarras eléctricas.
- Recarga automática de baterías para teléfonos móviles y computadoras portátiles.
- Reloj de cuarzo.
- Sensores.
- Transductores ultrasónicos (como los cabezales de los ecógrafos).

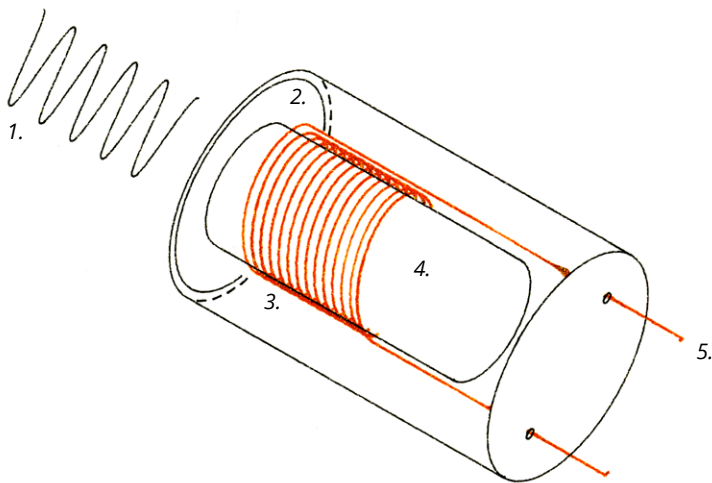


Figura 2. Micrófono electrodinámico (1. Ondas sonoras, 2. Diafragma, 3. Bobina móvil, 4. Imán permanente, 5. Salida de corriente eléctrica).

Transducción electrodinámica

8

Las propiedades de la inducción electromagnética fueron descubiertas por Michael Faraday; estas le llevaron a la invención de la dinamo, precursora del generador eléctrico, y también fundamentaron principios y aplicaciones trascendentales para la electroacústica y la transducción sonora electrodinámica, como son el micrófono electrodinámico, de bobina móvil o simplemente denominado *dinámico*, y también para el altavoz, con el cual comparte el mismo principio de transducción. Es decir, este proceso es en este caso absolutamente reversible, ya que podríamos invertir el sistema: si en la transducción microfónica electrodinámica la presión sonora genera una corriente eléctrica variable y análoga a la primera, en la transducción electrodinámica del altavoz es a la inversa: la energía eléctrica variable del amplificador hace que el altavoz cree una presión o alteraciones en el aire emitiendo sonido.

En este principio de transducción intervienen siempre dos elementos-fuerzas características: un campo magnético de fuerza variable y un campo magnético de fuerza permanente. El primero se genera por el movimiento o presión sonora de una bobina de hilo de cobre esmaltado alrededor de un núcleo formado por la segunda fuerza o imán permanente, generando a la salida del bobinado en sus extremos una carga eléctrica variable y proporcional a la presión sonora ejercida (Figura 2).

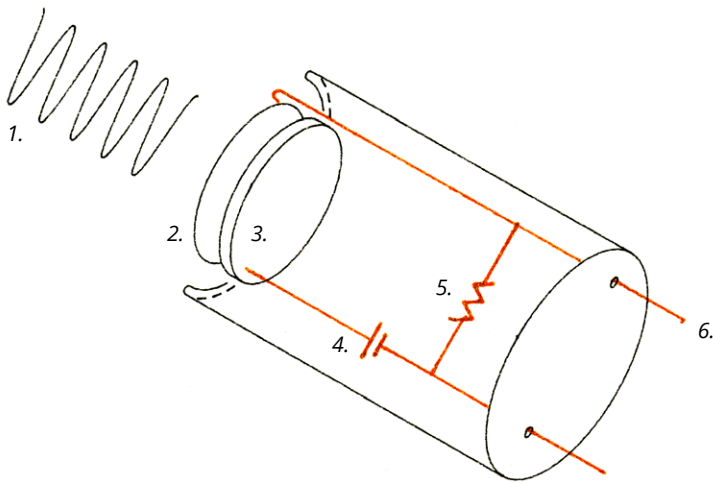


Figura 3. Micrófono de condensador (1. Ondas sonoras, 2. Diafragma - Placa móvil del condensador, 3. Placa fija del condensador, 4. Batería o phantom externo, 5. Resistencia, 6. Salida corriente eléctrica).

El micrófono electrodinámico es un tipo de micrófono en el que la vibración del diafragma provoca el movimiento de una bobina móvil, unida a un imán permanente, con lo que se genera un campo magnético cuyas fluctuaciones son transformadas en tensión eléctrica. La señal eléctrica de salida es análoga en cuanto a forma, amplitud y frecuencia a la onda sonora que la generó.

Existen numerosos tipos de microfonía dinámica o electrodinámica, y no marcan un uso exclusivo ni sensibilidad o directividad determinada. Si bien hoy en día existen transductores mucho más evolucionados con características muy concretas, debemos recordar que un funcionamiento o tipo de transductor en muchos casos no implica una aplicación específica.

Las características que se detallan a continuación explicarán su comportamiento.

Transducción de condensador electret

En los *micrófonos de condensador electret* o simplemente *micrófono electret* (transductor electrostático) la cápsula microfónica está formada por dos placas de condensador, una fija y la otra móvil, separadas por un material aislante.

El micrófono de condensador se basa en un hecho físico: si una de las placas de un condensador tiene libertad de movimiento con respecto

a otra que permanece fija, la capacidad de almacenar carga variará. La placa móvil hace la función de membrana o diafragma del micrófono (Figura 3).

Es esta placa móvil la que se acerca o se aleja de la fija, provocando una variación en el voltaje almacenado (se ganan o pierden electrones en el material aislante situado entre ambas placas).

Las placas del condensador necesitan de corriente eléctrica para poder funcionar, de ahí que estos micrófonos no sean autónomos, sino que requieren alimentación que puede proporcionarles una pila o de manera externa, lo que en el campo de la microfónica se conoce como *phantom power* o alimentación fantasma.

Los micrófonos de condensador electret son hoy en día quizás los más desarrollados y no implican unas características posteriores (directividad, sensibilidad, respuesta en frecuencias) determinadas. Existen infinidad de usos, formas y tamaños, es decir, se construyen y determinan para aplicaciones muy concretas.

Es un gran error no considerar estas características posteriores y creer que un «micrófono de condensador» define a un solo tipo de micrófono al que consideramos «excelente» solo por el hecho de esa primera característica que únicamente define un principio de funcionamiento.

10

Deberemos tener en cuenta siempre la necesidad de observar si el micrófono de condensador electret incorpora una batería en el propio cuerpo del micrófono, o únicamente se alimenta a través de una fuente externa (*phantom*) suministrada desde la mesa de mezclas, grabadora, etc. En cualquier caso, este tipo de micrófonos siempre necesitarán alimentación permanente.

1.3. Directividad

Esta característica va a definir la capacidad del micrófono a la hora de captar las señales procedentes de algunas direcciones y atenuar o rechazar otras.

Dependiendo de su directividad, se clasifican en:

- Omnidireccionales
- Bidireccionales
- Unidireccionales
- Cardioides
- Supercardioides
- Hipercardioides

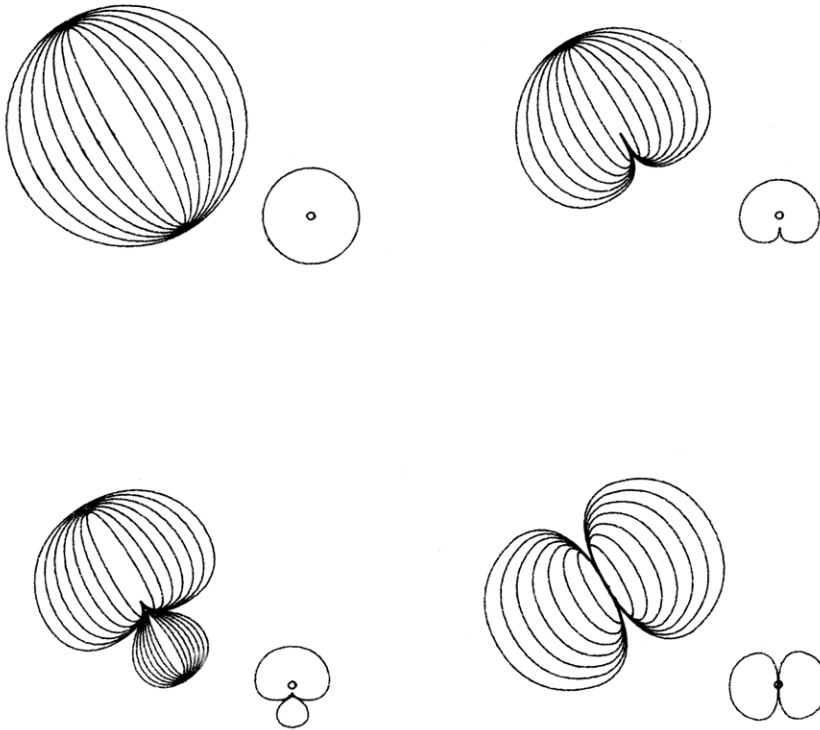


Figura 4. Diagramas polares: omnidireccional, cardioide, supercardioide, bidireccional.

Sobre esta característica debemos considerar siempre que:

- Directividad no es igual a sensibilidad.
- No es equivalente a un teleobjetivo y un micrófono directivo.
- Tampoco es equivalente a un angular y un micrófono omnidireccional.
- El plano visual vídeo-fotográfico está delimitado por sus bordes.
- El plano-campo sonoro de cualquier micrófono no está en ningún caso exactamente delimitado. (Si tenemos sonidos muy fuertes detrás del micro, siempre los recogerá aunque el micrófono sea muy directivo.)
- «Los oídos no tienen párpados», es decir, es imposible dejar de oír. Prácticamente todos los micrófonos, por muy directivos que sean, si el sonido es muy fuerte, podría llegar en menor intensidad, incluso por detrás.

Para representar cómo se comporta un micrófono en cuanto a la sensibilidad con la que puede captar el sonido, según el ángulo con que este incida, se emplea el denominado *diagrama polar*, que es una representación plana de una esfera en torno al diafragma del micrófono.

Los diagramas polares básicos son estos: omnidireccional, cardioide o direccional y bidireccional (Figura 4).

Los *micrófonos omnidireccionales* tienen un diagrama polar de 360° (la circunferencia completa). Ofrecen una respuesta de sensibilidad constante, lo que significa que captan todos los sonidos independientemente de la dirección desde donde lleguen. Su principal inconveniente es que, al captarlo todo, captan tanto lo que queremos como lo que no: ruido del entorno, reflexiones acústicas, etc. Es un tipo de micrófono más utilizado en radio que en televisión, porque posibilita situar a varias personas alrededor de un solo micrófono. No obstante, no se recomienda en vídeo o televisión, donde no queda estético y donde es más recomendable utilizar micros direccionales que atenúen los ruidos no deseados como el producido por el movimiento

de cámaras, etc. Sin embargo, puede ser recomendable su utilización cuando sea imprescindible seguir los movimientos de un sujeto o cuando haya que grabar grupos numerosos. En estos casos, se puede colocar colgado del techo, encima de donde se produzca la acción; por ejemplo, colgado sobre una orquesta (plano lejano sonoro).

La respuesta omnidireccional, aunque debería ser uniforme, no lo es. Los micrófonos omnidireccionales responden mejor ante frecuencias bajas y medias que ante las altas.

Los *micrófonos bidireccionales* o en forma de 8 tienen la máxima sensibilidad para los sonidos que inciden frontalmente al diafragma, ya sea por la cara anterior o posterior. Los sonidos laterales apenas son captados. Estos micrófonos se emplean para locutores enfrentados o cantantes en coros. Aunque son frecuentemente utilizados en entrevistas radiofónicas (para personas

12



Figura 5.
Micrófono estéreo.

sentadas una frente a otra en una mesa), los micrófonos bidireccionales (también llamados «figura ocho») tienen un uso muy limitado en televisión. No hay que confundirlos en ningún caso con los llamados micrófonos estéreo, que son realmente dos micrófonos cardioides unidos en un mismo cuerpo como el modelo de la figura 5.

Los *micrófonos cardioides* o *unidireccionales* son mucho más sensibles a los sonidos provenientes por el frente y muy poco sensibles a los que le llegan por detrás (ver diagramas). Nunca hay que olvidar que esto no los hace absolutamente inmunes o sordos a los sonidos fuertes que puedan existir por su parte trasera o lateral.

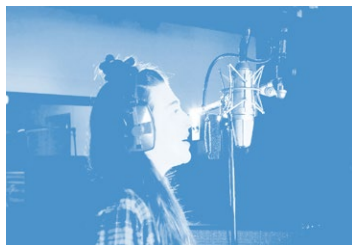


Figura 6. Micrófono de estudio (Neumann U87).

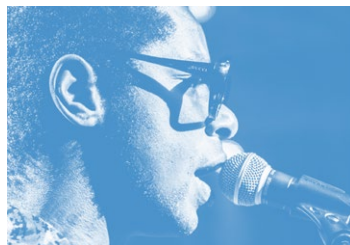


Figura 7. Micrófono de directo (Shure SM58).

Otro gran error es considerar que los *micrófonos direccionales*, *unidireccionales* o *cardioides* resuelven el problema de la necesidad de separarnos de la fuente sonora para captar así sonidos lejanos desde una única procedencia. Existen precisamente construcciones de micrófonos unidireccionales de una muy baja sensibilidad, para uso en directo o *live* donde existirá amplificación o P. A. (*Public Address*). En estos casos se necesita impedir una relación acústica entre micrófonos y altavoces, que se soluciona con micrófonos bastante unidireccionales y muy poco sensibles para recoger la voz muy cercana o pegada al micrófono y expresada con fuerza, evitando que la señal de salida a altavoces vuelva al micrófono, lo realmente y se produzca el clásico pitido o *efecto Larsen*.

13

Baste recordar que un cantante nunca o casi nunca utiliza el micrófono de directo en estudio, pues se trata de dos construcciones y características direccionales y de sensibilidad totalmente distintas.

Además de su aspecto externo diferente y sus características de registro, hay otra particularidad que poseen los micrófonos de estudio (siempre sujetos a estructuras o soportes amortiguados) como es la extrema sensibilidad a vibraciones o contacto manual, a diferencia del habitual contacto manual del vocalista con el micrófono de directo y la respectiva insensibilidad de este al contacto manual (Figuras 6 y 7).

A partir de cierto grado de direccionalidad existen otros tipos de cápsulas microfónicas, que aumentan su directividad haciéndolos más precisos para los sonidos que vienen de una única dirección como son:

- El micrófono *supercardioides*, con un diagrama polar con lóbulo frontal más prominente que el cardioide, pero menos que el hipercardioides. Mayor sensibilidad posterior que el cardioide, pero menor que el hipercardioides.
- El micrófono *hipercardioides*, con un diagrama polar con lóbulo frontal más prominente que el cardioide o el supercardioides, pero con capacidad de recoger más sonido por su parte posterior que el cardioide y el supercardioides.

Finalmente, los *micrófonos unidireccionales* o *direccionales* son aquellos micrófonos muy selectivos al sonido producido desde un único origen o fuente y relativamente sordos a los restantes. Su principal inconveniente es que no dan una respuesta constante: son más direccionales si se trata de frecuencias altas (agudos) que si se trata de bajas (graves), ya que las frecuencias sonoras, cuanto más bajas, son más omnidireccionales o se propagan hacia todas las direcciones y según va disminuyendo su longitud de onda (y aumentando su frecuencia) se van convirtiendo en más direccionales y más agudas. Su principal ventaja es que permiten una captura más localizada del sonido.

14

La direccionalidad muy alta (hiperdireccionalidad), combinada con una sensibilidad muy alta, es necesaria cuando por razones o convenciones de una ficción cinematográfica no deben de aparecer en el cuadro o marco escénico (fotográfico), o se debe mantener una relación del plano sonoro con el plano visual, utilizando el llamado micrófono de cañón, que debería ser dirigido hacia a la fuente sonora, desde una distancia mayor o menor (siempre en los límites del marco), en función de esta relación.

1.4. Sensibilidad

La sensibilidad de un micrófono indica la salida eléctrica que se obtiene para un determinado nivel de presión sonora. Las medidas de sensibilidad de los micrófonos pueden no ser exactamente comparables, ya que los fabricantes usan distintos sistemas de medida. Normalmente, la salida del micrófono (en un campo sonoro de intensidad específica) se mide en dB (decibelios) comparada con un nivel de referencia establecido.

Aunque conocer cómo leer o comparar la sensibilidad del micrófono (salida) es importante, la medida real de la sensibilidad no es por lo general un factor considerable en la selección de un micrófono. De hecho, el nivel de la salida (sensibilidad) es un factor que se tiene en cuenta en el diseño de un micrófono para una aplicación particular, y obviamente en la elección del tipo de micrófono para una aplicación o grabación determinada.

Sin embargo, habría que tener en cuenta que cuando alguien dice: «El micrófono distorsiona», la mayor parte de las veces es la entrada electrónica (mezclador, amplificador o grabador) la que sobrecarga y distorsiona.

Los micrófonos de condensador pueden llegar a ser extremadamente sensibles, comparados con los dinámicos que, aunque puedan existir algunos bastante sensibles (como el Sennheiser MD441), por lo general lo son menos que los de condensador.

No hay que confundir sensibilidad con directividad. La mayor o menor sensibilidad no se corresponde con una directividad determinada. Hay muchos tipos de micrófonos unidireccionales que se construyen (podrían ser de condensador o dinámicos) deliberadamente como muy poco sensibles, para usos generalmente relacionados con el directo, en el que la amplificación simultánea mal equilibrada provoca el temido efecto Larsen, con su consecuente pitido tan molesto o una especie de reverberación desagradable. En cualquier caso, siempre es mejor utilizar un micrófono muy poco sensible (duro) que otro de mayor sensibilidad, con el fin de evitarlo.

15

En resumen, existen diferentes tipos de combinaciones entre directividad y sensibilidad. Podemos encontrar micrófonos unidireccionales muy poco sensibles para vocalistas en directo o para ser empleados en conciertos, reuniones o actos públicos donde hay P. A. o megafonía, y así evitar el acople realimentación o efecto Larsen.

También podemos encontrar micrófonos omnidireccionales con una sensibilidad alta, para uso como micrófono de grabación de reuniones, ruedas de prensa, etc., donde un solo micrófono puede recoger las conversaciones de todos los hablantes, independientemente de su posición y a una distancia considerable. Los micrófonos de nuestros teléfonos móviles en manos libres, por ejemplo, se comportan de modo absolutamente omnidireccional y con una muy alta sensibilidad.

Además, podemos encontrar micrófonos con la posibilidad de seleccionar el tipo de direccionalidad, en los que, con unos símbolos

que representan la direccionalidad (diagrama polar), podemos ajustarla en función de la aplicación.

En este ejemplo de micrófono de condensador de estudio AKG C-4000 (Figura 8) es posible la selección de las características direccionales: omnidireccional, cardioide e hipercardioide.

El *efecto Larsen* (habitualmente llamado acoplamiento, realimentación, o en inglés *feedback*), considerado como un error en el equilibrio electroacústico, ha sido utilizado artísticamente, tanto en la música rock-pop (Jimmy Hendrix², *Metal Machine Music* de Lou Reed³, etc.), como en la creación sonora contemporánea (*Pendulum Music* de Steve Reich⁴, *Empty Vessels*⁵ y *Music on a Long Thin Wire*⁶ de Alvin Lucier).



Figura 8.
Micrófono de condensador de estudio AKG C-4000.

16

Aun así, para evitar el efecto Larsen conviene:

- Utilizar micrófonos direccionales, poco sensibles y situarlos si es posible detrás de los altavoces.
- Limitar la respuesta en frecuencia, si tenemos un ecualizador, cortando al máximo la frecuencia de resonancia (bajar generalmente los graves, o las bajas frecuencias, ya que estas son mucho más omnidireccionales y se expanden en todas las direcciones haciendo más fácil su llegada y acople entre altavoz y micrófono).
- En un lugar reverberante (pabellones) no se debe hablar a más de 20 cm del micrófono, lo mejor es «comérselo».
- Regular el nivel de volumen por debajo del nivel en que se produce la resonancia.

2 <https://youtu.be/53JpbxM7O0>

3 <https://youtu.be/XIMSbKU2oZM>

4 <http://microphonesandloudspeakers.com/2017/01/31/p-88-pendulum-music-steve-reich/>

5 https://youtu.be/g2bejct-K_o

6 <http://socks-studio.com/2016/07/12/music-on-a-long-thin-wire-by-alvin-lucier-1977/>

1.5. Respuesta en frecuencias

En todo sistema sonoro (microfonía, altavoces, *mixers*, reproductores, etc.), para que un equipo sea considerado de calidad (HIFI = High Fidelity, significa Alta Fidelidad, como HD, Alta Definición) debe cubrir al menos el margen de las frecuencias audibles del ser humano (20-20.000 Hz). Por el mismo motivo, cuanto más amplia sea la respuesta en frecuencia de un equipo, más calidad tendrá el sonido final.

La respuesta en frecuencia de cualquier sistema electroacústico debería ser plana, lo que significa que el sistema trata por igual a todo el sonido entrante o saliente. No obstante, en la práctica, la respuesta en graves y agudos normalmente no es la misma.

Una mala respuesta en frecuencia no es lo peor que puede suceder; lo peor es una respuesta desigual. Es decir, como a ciertas frecuencias sube, en otras, baja; por lo que el sonido resultante sale distorsionado. El ideal es que la respuesta en frecuencias de cualquier equipo electroacústico sea lineal o «plana».

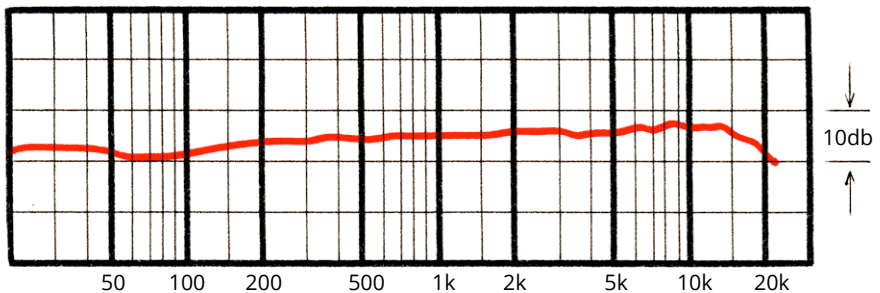


Figura 9. Gráfica de la respuesta de frecuencia de un micrófono AT2020 de Audio-Technica.

Esta es una gráfica de la respuesta de frecuencia de un micrófono AT2020 de Audio-Technica (Figura 9). Una gráfica de una respuesta de frecuencia se denomina «curva de respuesta de frecuencia».

Apreciamos en ella, por ejemplo, que a 80 Hz hay un valle en la gráfica de alrededor de 5 dB. Esto quiere decir que cualquier señal a 80 Hz será atenuada por más o menos 5 dB. Es como tener un filtro paso alto (deja pasar las frecuencias altas medias, cortando o atenuando las graves) en el micrófono (algunos incluyen estos filtros). De hecho, cuando un micrófono tiene un filtro paso alto, lo que hace es modificar la respuesta de frecuencia del micrófono. También se puede apreciar que de 8 KHz a 9 KHz hay un pico de unos 4 dB. Esto quiere decir que las frecuencias en este punto serán realzadas unos 4 dB.

Existen micrófonos diseñados para obtener determinadas respuestas en frecuencias y así están especializados en el registro determinado para un bombo, para una armónica, para una voz en vivo o para una voz en estudio, que tienen ciertas características dependiendo del efecto buscado.



Figura 10. Kit de micrófonos para batería Shure.

18

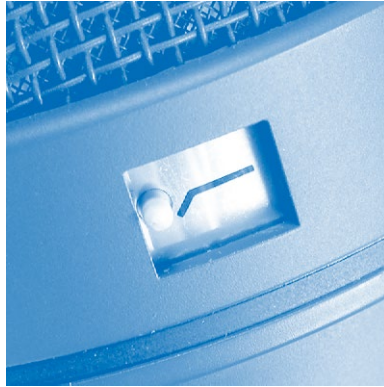
En la imagen (Figura 10) podemos observar un kit de micrófonos para batería Shure: combinación de diferentes sensibilidades, direccionalidades y respuestas de frecuencia, ajustadas a las distintas cajas, bombos y platillos de la batería.

Los *micrófonos de respuesta plana* son aquellos que no tienen ninguna coloración en su respuesta en frecuencia, es decir, en una gráfica de dB (de -10 a 10 dB) vs Hz (desde 20 a 20.000 Hz). Entendemos por «coloración» una determinada respuesta del micrófono a ciertas frecuencias, en detrimento de otras.

La gráfica resultante es una línea casi recta en 0 dB produciendo un sonido muy natural respecto al de la fuente.

Los *micrófonos con respuesta ajustada* son aquellos que el fabricante ya los especializó, como por ejemplo los *micrófonos para cuerdas*, o los *micrófonos para percusiones* que ya tienen cierta coloración.

Los *micrófonos de respuesta ajustable* son aquellos micrófonos que cuentan con un *switch* donde se pueden hacer diferentes cortes (atenuaciones) en bajas frecuencias o dejarlo completamente plano.



El símbolo que aparece en diversos micrófonos (Figuras 11, 12 y 13), indicando el corte para sonidos de bajas frecuencias, es una imagen en forma de línea plana o angulada que señala un corte de determinadas frecuencias, una especie de representación de la respuesta en frecuencias sintetizada gráficamente.

Figuras 11 y 12.
Símbolo de corte para sonidos de bajas frecuencias.

19

Habitualmente es un *filtro pasa altos (High Pass Filter)*, es decir, que deja pasar las frecuencias medias y altas cortando las bajas y que, integrado en algunos modelos de micrófono, atenúa mínimamente los efectos de impactos sonoros (ruido del viento) o sirve para compensar el efecto de proximidad.

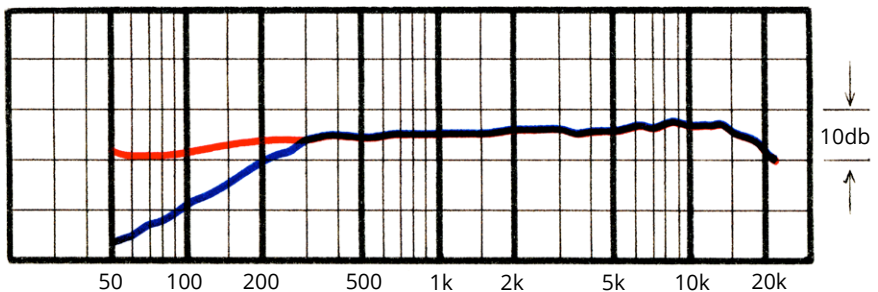


Figura 13. Gráfica que indica el corte de sonidos de bajas frecuencias.

1.6. Impedancia de las señales sonoras

Una importante característica de un micrófono es su impedancia de salida. La impedancia es la oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión. Esta es una medida de la resistencia interior del micrófono y se mide en ohmios: Ω .

Generalmente, los micrófonos pueden dividirse en impedancia baja (50-1.000 ohmios), media (5.000-15.000 ohmios) y alta (más de 20.000 ohmios se puede considerar *línea*).

La mayor parte de los micrófonos son de baja o media impedancia. Hay un límite de longitud de cable que debería usarse entre un micrófono de alta impedancia y su entrada. Cualquier medida por encima de los 6 metros aproximadamente provocará pérdida de los tonos altos y del nivel de salida. Sin embargo, usando micrófonos y cable de baja impedancia, los cables del micrófono pueden ser casi de cualquier longitud, prácticamente sin pérdidas graves de ningún tipo, pero siempre es preferible utilizar cableado de conexión lo más ajustado posible, es decir, tramos de cableado cuanto más cortos siempre mejor.

- 20 Es importante entender que no todas las señales de audio son iguales. Entender la diferencia de nivel e impedancia entre ellas nos ayudará a realizar las conexiones entre equipos de una manera adecuada, usando los cables apropiados, y uniendo salidas y entradas que acepten el mismo tipo de señal: el micrófono a entradas identificadas por *Mic In*, y las señales de líneas de audio (*Line Out*, incluso auriculares o *Earphone Out*) a *Line In* o *Aux In*.

Por lo tanto, existen tres tipos típicos de señales de audio analógicas: señal de nivel de micrófono, señal de nivel de línea y señal de nivel de altavoces.

La *señal de nivel de micrófono* (identificada habitualmente como *Mic In*) es la señal más débil en cuanto a potencia. Es la señal generada por un micrófono que viaja por el cable hacia el preamplificador. Típicamente unos 2 milivoltios (0,002 voltios). Esta señal es muy baja como para que algún dispositivo de audio trabaje con ella (mezclando, ecualizando, etc.), y por ello se necesita de un preamplificador para que la «levante» a un nivel manejable que se conoce como *nivel de línea*. Comparada con los dos tipos de señales de nivel de línea (0.316 y 1.23 voltios), es claro la cantidad de amplificación que una señal a nivel de micrófono requiere y por qué es esencial que los preamplificadores sean de la mayor calidad posible. Este tipo de señales se conocen también como de baja

impedancia y se identifican con las letras *Low-Z*. El número exacto de ohmios que se consideran baja impedancia puede variar, pero lo importante es recordar que las señales de baja impedancia pueden ser transportadas por cables más largos sin sufrir pérdida de señal o nivel. La gran mayoría de veces este tipo de señal es balanceada⁷, lo que también la hace menos susceptible a interferencias de radio.

La *señal de nivel de línea (Line In-out)* es de mucho mayor potencia que una señal a nivel de micrófono. También tiene una impedancia más alta. Las señales a nivel de línea son el tipo de señal con el que las *mixers*, ecualizadores, compresores y demás procesadores de audio pueden trabajar.

El *nivel de línea «profesional»* va a +4 dBu. Este tipo de señal es generalmente balanceada y equivale a unos 1.23 voltios. Los dispositivos profesionales de audio usan este tipo de señal en sus entradas y salidas.

El *nivel de línea «consumidor»* va a -10 dBV. Este tipo de señal es siempre desbalanceada y equivale a unos 0.316 voltios. Como vemos, es más débil que una señal a +4 dBu y además desbalanceada, lo que la hace más susceptible a interferencia y pérdida de señal. Lo importante al trabajar con este tipo de señales es usar cables tan cortos como sea posible, y que nunca sobrepasen los 6 o 7 metros. Este tipo de señal la usan los aparatos de consumidor tales como reproductores mp3, reproductores de CD y equipos de audio asequibles.

Finalmente, la *señal de nivel de altavoces (Speakers Out)* es el tipo de señal que alimenta un altavoz desde un amplificador. Por supuesto, varía enormemente en su nivel dependiendo de la potencia (especificada en vatios = watts = W) del amplificador. Esta señal es muchas veces más potente que todas las otras. Conectar este tipo de señal directamente a una entrada de señal de otro tipo podría quemar y hasta incendiar el circuito del dispositivo que recibe la señal. La ventaja del alto voltaje del nivel de altavoz (comparado con los otros tipos de señal) es que sus cables no necesitan de blindaje especial para proteger la señal de interferencias, pero sí es fundamental respetar la polaridad (color rojo + y negro - habitualmente) de su cableado para evitar el efecto de cancelación por oposición de fase.

7 Los cables balanceados, debido a su configuración de par trenzado, tienen la posibilidad de cancelar mutuamente las interferencias electromagnéticas, mientras que los cables desbalanceados son más sensibles a las interferencias eléctricas.



Figura 14. SH55 (Super 55).



Figura 15. Oldsmobile Six.



Figura 16.
SM58.



Figura 17.
SM57.

1.7. Formas, usos y aplicaciones

Encontramos numerosos tipos de micrófono que, además de poseer unas características muy determinadas de construcción, direccionalidad, sensibilidad y respuesta en frecuencias, son concebidos para aplicaciones muy específicas: cine, vídeo, documental, entrevista, voz o canto en directo o en estudio, instrumental o musical, especializado, científico, marino, deportivo, telefonía o comunicación móvil, etc.

Presentamos algunos tipos de micrófonos de uso frecuente en la creación sonora y audiovisual:

Vocales de mano (con amortiguación interna de su cuerpo para no trasladar la vibración por manipulación a la membrana). Como su uso está asociado al espectáculo en directo, donde habitualmente existirá amplificación, suelen ser generalmente de tipo dinámico, de muy baja sensibilidad (duro) y unidireccionales (ver sensibilidad y *efecto Larsen*). Algunos de ellos se han convertido en verdaderos iconos de la representación de lo sonoro, la música, etc., como el clásico y ya tan veterano Shure Unidyne SH55, concebido hacia 1939, y actualmente denominado Super 55. En una de sus variantes también se le ha llamado *micrófono Elvis*, con un diseño muy original en su concepción allá por los años treinta, inspirado en la calandra (radiador) de un automóvil Oldsmobile Six de su misma época (Figuras 14 y 15).

Otro desarrollo posterior también de la casa Shure son el SM58 y el SM57 (Figuras 16 y 17), muy habituales en prácticamente todos los escenarios, como micrófono vocal e incluso instrumental.

Estos micrófonos presentan no obstante una respuesta en frecuencias que solo es regular en el rango correspondiente a la voz, es decir, entre los 400 Hz y los 4.000 Hz, por lo que fuera de estos usos o de instrumentos en ese rango de frecuencias no son muy útiles, ya que no recogen bien las altas frecuencias mostrando un sonido «apagado» o poco «brillante» para determinados instrumentos (vientos, violines, etc.).



Figura 18. Rode NTG2.

Los micrófonos de *cañón medio, corto o largo* son un tipo muy habitual en la producción audiovisual, para la que fueron diseñados de una manera muy específica, en la que conceptualmente deberían ser direccionales en alto grado y muy sensibles para permitir recoger el sonido alejados de los cuerpos emisores y sin entrar nunca en el plano visual, ya que convencionalmente en la escena audiovisual y en su ficción deben ser invisibles al espectador. Son actualmente casi todos de tipo condensador o electret (atención a su alimentación por batería o *phantom*). Su respuesta en frecuencias es muy brillante, acentuando las altas. En algunos modelos podemos encontrar recortes de frecuencias, *High Pass Filter* o *filtro pasa altos*, para atenuar los sonidos de baja frecuencia.

23

Son del tipo *supercardiode* o *hipercardiode*, es decir, con un diagrama polar de corazón apuntado.



Figura 19. Pértiga.

Son extremadamente sensibles, de forma tubular y con una construcción no aislada internamente, lo que obliga a que sean utilizados siempre en soporte amortiguado (pértiga, pistola) (Figura 19).

Jamás los utilizaremos agarrados directamente con la mano.

Debido a su alta sensibilidad, son perturbados por la más ligera brisa, por lo que prácticamente siempre que se utilicen en exteriores deberemos utilizar accesorios tipo *pantallas antivientos, windshields, windjammers, deadcat* (gato muerto) (Figura 20).



Figura 20. Pantallas antivientos.

24

Los *micrófonos vocales de estudio* son micrófonos muy delicados en su construcción. Se usan exclusivamente en interiores. Actualmente la mayoría son del tipo de transducción por condensador o de electret. Son medianamente sensibles, lo que permite al vocalista mantener una distancia de entre 20 o 30 cm respecto al micrófono (Figura 21). Se colocan verticalmente sobre un soporte siempre con amortiguación, dirigiendo la voz perpendicularmente a ellos (90°). Algunos modelos permiten seleccionar el tipo de direccionalidad, pero generalmente son cardioides. Tienen una respuesta muy nítida, brillante y equilibrada para todas las frecuencias.

Nunca debemos manipularlos durante el registro, ya que su cuerpo no tiene aislamiento interno.



Figura 21. Micrófono vocal de estudio.

Siempre debemos colocar una pantalla *antipop*, para evitar que las consonantes explosivas saturen o provoquen chasquidos o detonaciones sonoras durante el registro.

Los *micrófonos de corbata, lavalier o de diadema* son micrófonos miniaturizados, que ofrecen un mínimo impacto visual. Su calidad puede ser muy alta y se pueden encontrar diferentes combinaciones de sensibilidad y directividad. En algunos casos, como los de diadema (*micrófono Madonna*, Figura 22), son diseñados con el fin de mantener una distancia constante con la fuente sonora (voz).

Actualmente van unidos a un sistema de transmisión inalámbrica lo que permite la total libertad de movimiento.



Figura 22. Micrófono de diadema.

Prácticamente todos son micrófonos de condensador o electret (atención al suministro eléctrico), con una respuesta en frecuencias regular, especialmente para la voz. Las sensibilidades pueden variar, pero generalmente están diseñados para trabajar algo alejados de la fuente sonora, es decir, son de sensibilidad media.



Los *micrófonos instrumentales especializados* están concebidos para registrar los amplios rangos de frecuencias y timbres de la instrumentación acústica. Se encuentra un amplio surtido de microfonía dedicada a veces en exclusiva para determinados instrumentos complejos como es la batería o también los instrumentos de viento o cuerda. Se combinan en ellos distintas tecnologías, sensibilidades y respuestas en frecuencia.

Figura 23.
Sistema de microfonía inalámbrica para micrófono de corbata Sennheiser Ew112p G3.

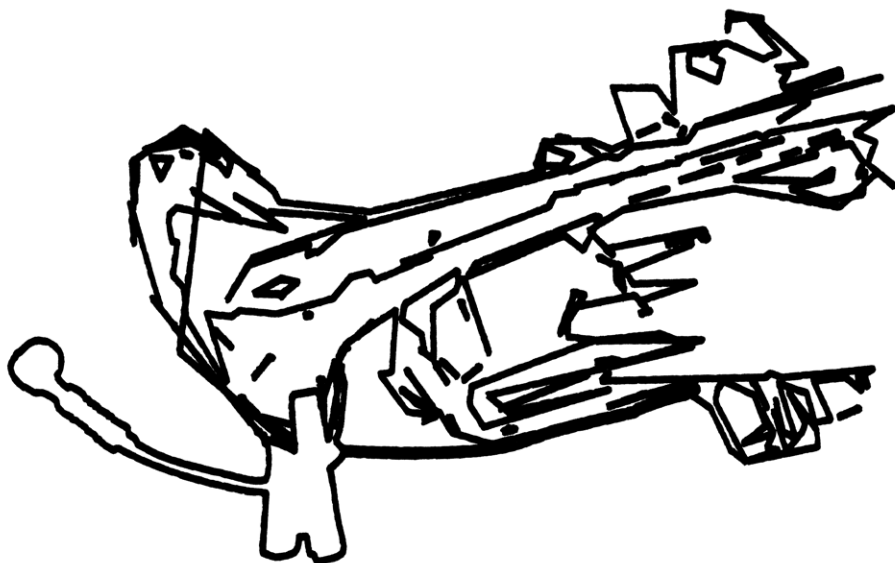


Figura 24.
ILD SYSTEMS WS1000MW.
Micrófono clip para instrumentos de percusión y viento.



Figura 25.
 Aquarian
 Audio, H2A-XLR
 Hydrophone.

Existen también micrófonos preparados para la exploración submarina, también llamados *hidrófonos*, desarrollados para la orientación y detección de submarinos durante las guerras mundiales. Su empleo nos ofrece la escucha de sonoridades ajenas al hábitat humano, descubriendo posibilidades para la experimentación. Son micrófonos típicamente de contacto (transducción piezoeléctrica), aunque existen modelos muy profesionales como los Aquarian Audio.

Es bastante fácil su construcción mediante micrófonos piezoeléctricos o de contacto, impermeabilizados con vinilo líquido o silicona termofusible (Figura 26).



Figura 26.
 Micrófonos de contacto
 impermeabilizados con
 vinilo líquido.

2. Aplicaciones específicas

La creación sonora contemporánea ha utilizado los recursos tecnológicos del micrófono como sistema para explorar nuevas posibilidades del sonido como materia o medio de creación. A finales de los años cuarenta, la microfónica unida a sistemas de grabación magnética permitió la incorporación de los sonidos del entorno, los sonidos industriales u otros, en la producción musical dando paso a la música concreta o *música para cinta*, como apreciamos en *Étude aux*

*chemins de fer*⁸ (Pierre Schaeffer, 1948). También a finales de los años setenta, R. Murray Schafer (con su publicación *The Tuning of the World* y sus registros sonoros de campo obtenidos mediante microfónica de mayor definición y calidad) da paso al concepto de *soundscape* o *paisaje sonoro*. Actualmente la socialización de la tecnología permite el acceso de los artistas a métodos muy simples que permiten el registro y la utilización del sonido como recurso expresivo, como concepto y acto de reflexión sobre el mundo sonoro que nos rodea.

La apreciación de ciertas propiedades del sonido en su campo expandido (espacialidad, dimensionalidad) por parte de artistas sin una trayectoria específicamente musical ha dirigido la investigación y experimentación hacia aspectos que están relacionados con la exploración del espacio y de la materia, dando paso a una serie de aplicaciones específicas de la microfónica que expondremos a continuación.

2.1. Espacialidad y audición binaural

28

La sensación que nos produce cualquier espacio que habitamos no surge exclusivamente de lo que captamos con la mirada, sino de lo que escuchamos al entrar en ese espacio, obteniendo incluso con los ojos cerrados una impresión bastante clara de su dimensión y el origen y situación de las fuentes sonoras que puedan existir en él.

El espacio guarda estrecha relación con el sonido y por esta razón muchos artistas que han pensado en sus construcciones o instalaciones escultóricas como lugares habitables o con capacidad de ser recorridos han valorado las propiedades acústicas de dichos espacios y su capacidad de sugerir sensaciones sonoras o acústicas, informar de las calidades y texturas del material, de lo cóncavo o lo convexo y del tamaño del espacio contenedor. En el caso de *La materia del tiempo* (2005) de Richard Serra, instalada de manera casi permanente en el museo Guggenheim de Bilbao, encontramos un conjunto escultórico en el que el artista propone al espectador un «encuentro con la materia y con el espacio». En esta experiencia de recorrer y habitar estos espacios (espirales, toros, etc.), en los cuales nuestra percepción sonora varía constantemente, nos muestra incluso a ciegas las propiedades del espacio y de la materia de cada forma escultórica.

Nuestra capacidad de audición binaural será clave para esta experiencia con el espacio que Richard Serra plantea de manera inconsciente

8 <https://youtu.be/N9pOq8u6-bA>

o pasiva, pero que estará presente en muchos proyectos artísticos sonoros que actualmente se desarrollan, y que permite incorporar esta percepción a partir del registro binaural que nos ofrece sensaciones absolutamente inmersivas, como son algunos trabajos de la pareja de artistas Janet Cardiff y Bures Miller, por ejemplo su obra *Alter Bahnhof*⁹ (Documenta Kassel 2013).

Para explicar este fenómeno recorreremos brevemente los fundamentos de la *audición binaural*:

- En el ser humano, la audición se produce a través de dos canales independientes (los dos oídos). La información que el cerebro recibe de los dos oídos es diferente (salvo cuando están equidistantes de la fuente), porque ambos oídos están físicamente separados entre sí por la cabeza.
- Esta diferencia en la posición de los dos oídos es la que permite al cerebro la localización de la fuente sonora.
- Por ellos se recibe la información independientemente de que luego el cerebro la procesa comparando los impulsos nerviosos que produce cada sonido e interpretando finalmente las características de las ondas sonoras. 29
- Este proceso, donde los oídos con su separación física reciben la información sonora independientemente y después es descifrada, es cómo escucha el ser humano: es decir, *binauralmente*.
- En el sistema auditivo, la sensación tridimensional está relacionada con la diferencia entre intensidad, tiempo y fase que recibe cada oído. Es decir, la localización de los sonidos en el espacio se consigue con el procesamiento por separado de la información que recibe cada oreja, y con la posterior comparación de intensidad y fase entre ambas señales.

9 <https://youtu.be/sOkQE7m31Pw>

Factores que intervienen en la localización espacial del sonido:

- ITD (*Interaural Time Difference*): es la diferencia de tiempo que existe entre una señal acústica que llega a un oído y al otro. La velocidad de propagación del sonido en el aire es de 340 metros por segundo. Sin embargo, sufre variaciones de acuerdo con la frecuencia debido a interferencias (difracción de la misma cabeza) y su percepción se ve afectada asimismo en bajas frecuencias, cuando la longitud de onda es lo suficientemente larga como para que la diferencia de fase entre la señal percibida por ambos oídos sea despreciable.
- IID (*Interaural Intensity Difference*) o ILD (*Interaural Level Difference*): es la diferencia de intensidad o amplitud que hay entre la señal que llega a un oído y al otro. Esta diferencia obedece al inverso del cuadrado de la distancia. Como en la ITD, también se ve afectada por la cabeza y los pabellones auriculares (orejas), que actúan como filtro reforzando algunas frecuencias y atenuando otras, por lo que las formas y textura de nuestra cabeza influyen determinantemente en la percepción binaural resultante.

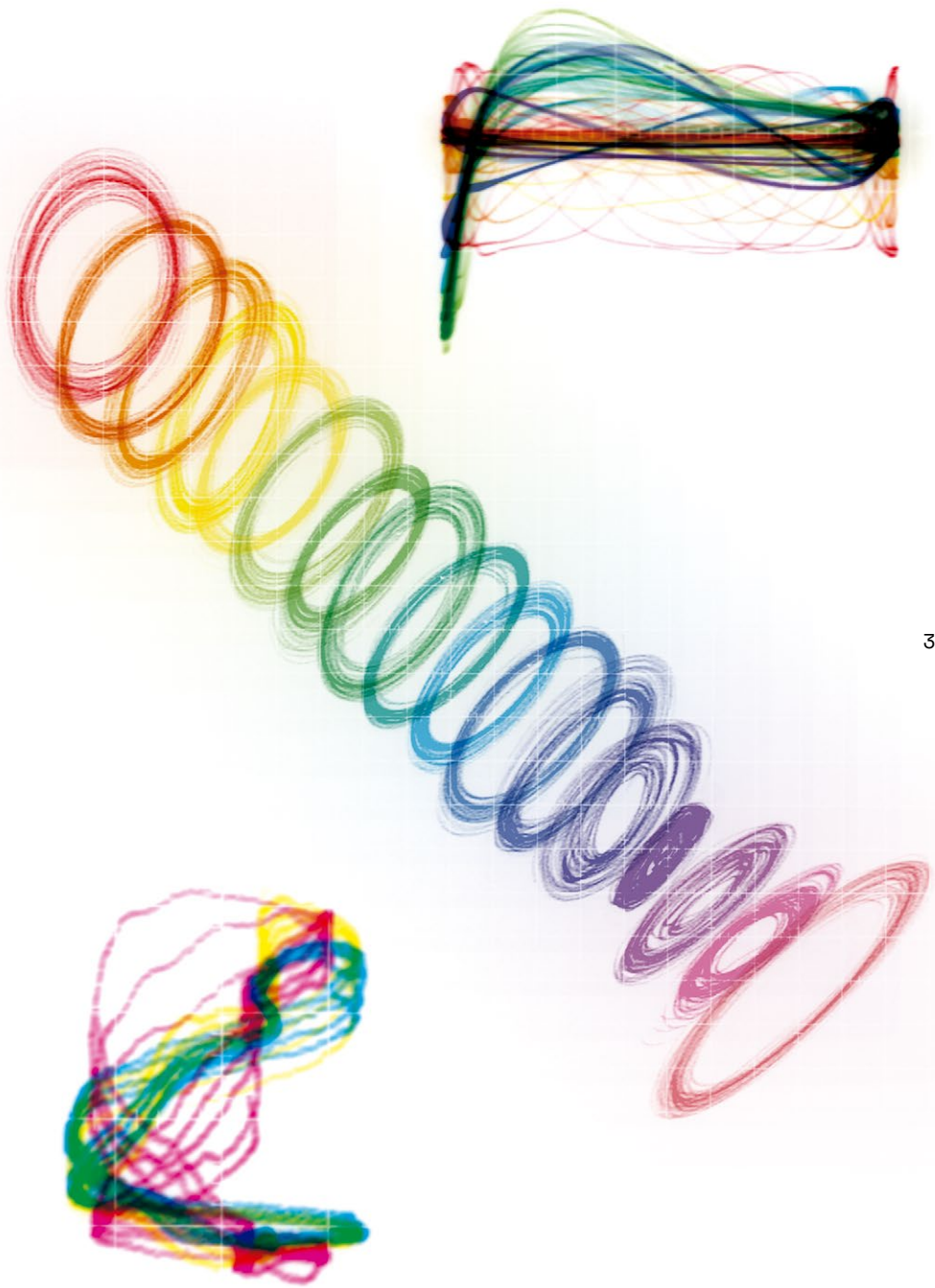
30

Registro binaural

El registro binaural reconstruye la audición humana, sustituyendo nuestro sistema auditivo por dos micrófonos, como si nuestros tímpanos se instalaran en el interior de una cabeza de maniquí con pabellones auditivos morfológicamente fieles a orejas reales. La grabación independiente de los canales izquierdo y derecho correspondientes a dichos micrófonos se debe escuchar imprescindiblemente con auriculares cerrados.

La impresión de esta grabación es tan realista que en algunos casos el oyente no distingue los sonidos reales de los que están grabados, induciendo a girar la cabeza para buscar el origen virtual de lo que escucha en el espacio en el que se sitúa. Un ejemplo clásico es la grabación holofónica (variante de la binaural) *The Barber Shop*¹⁰, de Hugo Zucarelli, uno de los técnicos que más emplearon esta técnica.

10 <https://youtu.be/IUDTlvagjJA>



Proceso para la construcción de un sistema de registro binaural (cabeza binaural)

Hemos desarrollado un proceso particular para la construcción económica de una cabeza binaural que permita dicho registro. Para ello, emplearemos materiales simples, que podríamos abordar con un presupuesto bajo. Se puede emplear cualquier método de construcción: cabezas de maniquí (poliespán) transformadas, papel maché, poliéster, moldes de escayola, silicona, etc. Recomendamos el uso de cabezas de poliespán huecas y de medidas aproximadas a una cabeza real (Figura 27).

Se debe poder acceder a su interior para colocar en los canales auditivos los micros.

Es fundamental obtener pabellones auditivos lo más realistas posibles. Para ello, el método más económico y simple es construirlos a partir de un molde de alginato (negativo) que obtendremos de una persona (ver vídeo)¹¹ y positivaremos con cera dura (las perlas de cera de depilación son las más adecuadas, Figura 28).



Figura 28.
Positivos en cera de
moldes de orejas.

En ellos colocaremos un conducto auditivo insertándolo en la oreja de cera y pegándolo con cera caliente. Se puede realizar un tubo de cartulina, de un diámetro interno de 10 mm o también realizarlos con «fundas termorretráctiles» (Figuras 29 y 30).

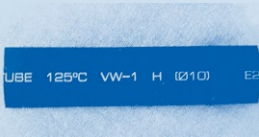


Figura 29



Figura 30

Figura 27.
Cabeza de poliuretano para
fabricar un micrófono binaural.

Este conducto debería tener una longitud de 25 mm desde el orificio exterior hasta la cápsula microfónica que quedará encajada en él. Esta longitud es la que tenemos los humanos desde el exterior del orificio del pabellón auditivo hasta el tímpano. Se debe respetar el ángulo de inclinación interno y la perpendicularidad (ver imagen de corte interno de cabeza humana, Figura 31).

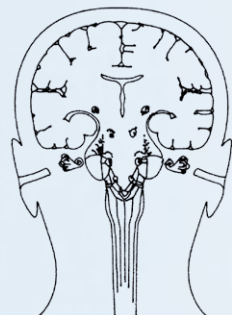


Figura 31

El siguiente paso es confeccionar el sistema microfónico. Este consta de dos micrófonos electret, con unas características de directividad y sensibilidad aproximadas a la audición humana: 2 micros tipo electret/condensador, con directividad omnidireccional, muy sensibles y respuesta en frecuencias de 20 Hz a 20 kHz (aproximadamente) y de 9,5 mm de diámetro (Figura 32).



Figura 32

Aproximadamente, sus características técnicas serían:

Impedancia: 2,2 k Ω

Relación señal/ruido: 60 dB

Tensión de trabajo: 1,5... 10 V

Ancho de banda: -20... 16.000 Hz

Sensibilidad: -44 \pm 2 dB

Corriente de trabajo: 600 μ A

33

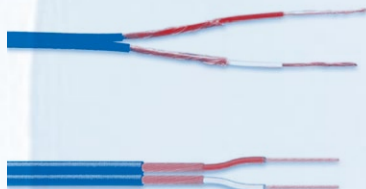


Figura 33



Figura 34.
minijack estéreo
(impreso a escala 1:1)

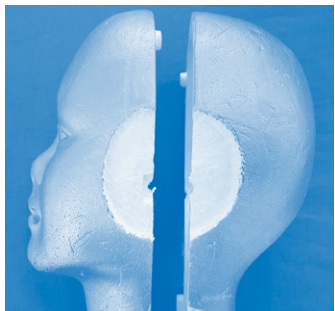


Figura 35

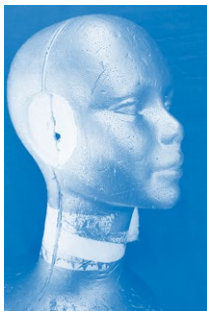


Figura 36

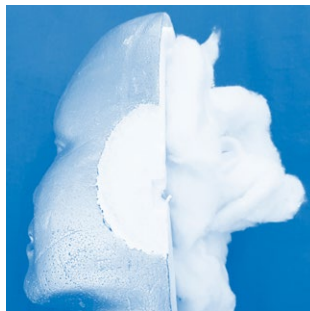


Figura 37

Una vez completadas las conexiones y colocados los micrófonos con sus orejas, hay que rellenar la cabeza con cualquier material ligero: algodón, relleno de cojines, poliespán, etc., a efectos de aislar acústicamente los micrófonos (muy importante), evitar la comunicación entre ambos y las resonancias internas que puedan producirse (Figuras 35, 36 y 37).

34



Figura 38

En el proceso final podríamos personalizar dicha cabeza, pero esto ya no es absolutamente necesario (Figura 38).

La grabación correspondiente podremos realizarla con cualquier grabadora digital (Figura 39) o analógica que permita la grabación de dos pistas independientes y el control manual de grabación, nunca automático. Para escuchar grabaciones binaurales, consultar este enlace de SoundCloud¹³.

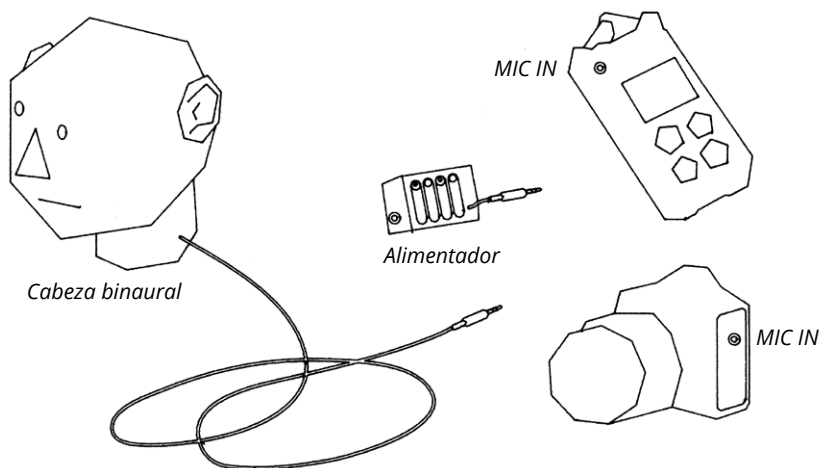


Figura 39.
Esquema de conexiones
para una grabación
binaural.

La conexión (minijack hembra 1/8”) de entrada de micrófono, *Mic In*, del grabador a utilizar, deberá ser siempre del tipo estéreo, alimentada o *Plug-In-Powered*, para poder suministrar alimentación a los dos micros, y obtener su preamplificación requerida. En caso contrario, emplearíamos un alimentador-adaptador intermedio. Las ZOOM H4 y H1 son perfectamente adecuadas.

13 <https://soundcloud.com/mikelarce>

2.2. Microfonía de contacto y creación sonora

El micrófono de contacto permite explorar la vibración de la materia y su sonoridad, es decir, la amplificación electrónica de la vibración de la materia, materiales o cuerpos.

Al igual que el micrófono tradicional recoge el sonido que llega desde la oscilación sonora del aire, los micrófonos de contacto e hidrófonos, actuando mayoritariamente desde el principio transductor piezoeléctrico, captan las vibraciones más íntimas, aparentemente inaudibles en nuestra escucha aérea, permitiendo adentrarnos creativamente en sonoridades amplificadas o magnificadas de un entorno desconocido.

De este modo, un micro de contacto se coloca directamente en la superficie de los objetos. Las ondas sonoras que se desplazan a través de los objetos y las vibraciones se convierten en señal eléctrica (voltaje) mediante los piezoeléctricos integrándose en su estructura. La vibración que se transmite y captura depende del medio. Así, por ejemplo, la velocidad de propagación en un sólido es mucho más rápida que en el aire, y las ondas se transmiten en dirección perpendicular. Existen muchos factores que influyen en la vibración de un sólido: la humedad, la temperatura, su textura, etc. La vibración de un sólido depende también del espacio que lo rodea. El estado *dinámico*, vivo, de un lugar, aparece por tanto recogido en el fenómeno de la vibración de un objeto determinado.

Las posibilidades de amplificación de los micrófonos de contacto van mucho más allá de la mera amplificación de instrumentos musicales acústicos, a través del contacto directo entre sólidos. Estos micrófonos pueden amplificar el sonido interno de cualquier objeto o superficie sólida ampliando enormemente los límites de exploración de universos sonoros y multiplicando el horizonte de posibles instrumentos, con lo que se extiende enormemente la tímbrica. Este tipo de tecnología ha tenido un profuso uso tanto dentro de la práctica del arte sonoro, como en el ámbito de la música culta, en particular en la experimental.

En primer lugar, destaca John Cage (Los Ángeles, 1912 - Nueva York, 1992) quien utilizó amplificación mediante micrófonos de contacto en muchas ocasiones, siendo una de las principales figuras en divulgar su uso en el arte sonoro y en la música experimental. El primer movimiento de *Quest* (1935), *Cartridge Music* (1960), la natura amplificada de *Child of Tree* (1975), *Branches* (1976), *Sunday* (1977-78) o las dos versiones del *0'00"* son ejemplos de su utilización. Los cactus amplificados de Cage son un

conocido ejemplo en el que se transforman plantas en instrumentos sonoro-musicales por medio de la amplificación por contacto. Ver también *Good Morning Mr Orwell* de Nam June Paik (1984)¹⁴.

El interés de Cage por el sonido interno de los objetos surgió al conocer en 1937 a Oskar Fischinger (Alemania, 1900 - Los Ángeles, 1967). La praxis de Fischinger se compone de películas abstractas de animación que forman parte de la música visual. Fischinger habló a Cage sobre el espíritu que habita en todos los objetos y le explicó que para liberarlo solo hacía falta sacar un sonido o ruido de los mismos, como si de su propia voz se tratase. Esta idea estaba inspirada en sus investigaciones sobre el sonido sintético y la fonografía filmica, en la que se producen interesantes correlaciones entre imagen y sonido. Desde entonces, Cage se interesó cada vez más por el sonido interno de las cosas. En otra obra, como la performativa *Reunión* (1968), los artistas Cage y Duchamp (y después Cage y Teeny) juegan al ajedrez sobre un tablero que había sido equipado con micrófonos de contacto (Figura 40); cada vez que una pieza era movida hacía sonar una gama de ruidos electrónicos amplificados e imágenes en osciloscopios como pantallas de televisión visibles para el público.



Figura 40. *Reunión* (1968) de John Cage junto a Marcel Duchamp y Alexina Duchamp.

En esa escucha interior, la amplificación piezoeléctrica o de contacto tuvo un papel fundamental ya que al contactar directamente con la materia sólida que compone el objeto o superficie se ausculta su sonido

14 <https://youtu.be/SIQLhyDIjtl?t=1061>

interno, un sonido que el objeto produce por sí mismo, sin necesidad de que un agente externo lo active. De este modo se puede escuchar la voz de ese objeto que se expresa en libertad gracias a esa tecnología.

El uso del cuerpo como instrumento ha sido utilizado también por muchos otros artistas, como en la pieza *El golpe de cabeza* (*Headknock*, 1980), en la que vemos a la artista Laurie Anderson golpeando su propia cabeza. El siguiente vídeo de la artista Joan Logue es una muestra de esta interesante posibilidad. Se trata de unas gafas amplificadas mediante un piezoeléctrico colocado en el puente de las mismas, de forma que cuando golpea su cabeza las gafas captan el sonido de los huesos e incrementan su intensidad, dándole un gran cuerpo y profundidad. La superficie a percutir es el propio cráneo y la escucha amplificada de las gafas es el sonido que finalmente sale proyectado. La cabeza y su resonar se convierten en un instrumento sonoro aumentado por ese piezoeléctrico.



Figura 41. Fotograma del spot de 30" realizado por Joan Logue en colaboración con Laurie Anderson, quien percute su cabeza llevando su *Headknock* (1980). https://www.youtube.com/watch?v=Qt_zQbu3dFA

38



Figura 42. Atilio Doreste, *Pencas encordadas*, Islas Canarias, 2016. <https://www.atiliodoreste.net/videos>

Muchos otros artistas como Atilio Doreste¹⁵ han explorado la naturaleza realizando performances o intervenciones en ella (Figura 42), utilizando su materia y su vibración, mediante el empleo de micrófonos de contacto o piezoeléctricos en la producción de parte de su obra.

15 <https://youtu.be/3-C94-kY2Hg>

Procesos para la construcción de micrófonos piezoeléctricos y de contacto

El proceso es muy simple y económico: las cápsulas o placas piezoeléctricas cuestan menos de 1 euro (Figura 43), a la venta en tiendas de electrónica (por ejemplo, Radio Rhin en Bilbao). Solo necesitaremos un conector apropiado al equipo que queramos conectar (jack ¼ pulgada, XLR, o minijack ⅛ pulgada), en entradas correspondientes al tipo de señal de nivel de micro o *Mic In*. Además, los uniremos soldando ambas piezas en un cable de audio (micrófono o de línea). Ver vídeo¹⁶.



Figura 43.
Cápsulas piezoeléctricas.

39

Primero cortamos un trozo de cable de audio (del largo que queramos para el alcance de nuestro micrófono) y pelamos la punta dejando el hilo metálico accesible para realizar las soldaduras. Tienen que quedarnos por ambos lados dos grupos de hilos de cobre aislados: uno que es el que llamamos «tierra» y otro que está dentro de otro cable de color en el interior al que llamamos «vivo».

Si nos fijamos en el piezoeléctrico veremos que está formado por dos círculos concéntricos de diferentes materiales superpuestos. Ahora debemos soldar el vivo al círculo interior y la tierra al exterior, evitando que hagan contacto. El otro extremo del cable lo conectamos al jack monofónico y luego lo cerramos. Siguiendo la polaridad, el vivo iría en la pata pequeña del jack y la tierra en la pata larga.

Materiales necesarios:

- 1 piezoeléctrico.
- 1 cable de audio de la longitud que se desee. Este cable consta de una sección de hilos conductores aislados por una cobertura plástica de una malla que lo rodea (cable de micrófono); o bien cable de dos líneas o *línea estéreo* (que podríamos dividir por la mitad y utilizar cada cable por separado, o crear un micrófono piezoeléctrico con dos cápsulas o dos vías independientes).
- 1 jack monofónico de $\frac{1}{4}$ pulgada o 1 jack estéreo de $\frac{1}{4}$ pulgada.
- Soldador, estaño, alicates finos y tijeras o pelacables.

40

A partir de un micrófono de contacto es posible crear una variante interesante llamada hidrófono. Este nos permite hacer grabaciones bajo el agua, pero para ello debemos aislar el micrófono mediante un recubrimiento de silicona termofusible (o vinilo líquido) en la cara del piezoeléctrico, donde tenemos las soldaduras cubriendo toda su superficie y soldaduras, y cualquier posibilidad de contacto eléctrico (por la acción conductora del agua) entre las capas concéntricas y conexiones.

3. Bibliografía y enlaces de interés

Bibliografía

Barber, Llorenç y Montserrat Palacios, *La mosca tras la oreja. De la música experimental al arte sonoro en España*, Colección Exploraciones, Madrid: Fundación SGAE con la colaboración del Instituto Cervantes, 2010.

Cage, John, *Silencio*, traducción de María Pedraza, Madrid: Ardora, 2002.

Chion, Michel, *El sonido*, Barcelona: Paidós Comunicación, 1999.

—, *El arte de los sonidos fijados*, Cuenca: Centro de Creación Experimental, 2003.

Cuenca, David I. y Juan E. Gómez, *Tecnología básica del sonido I y II*, Madrid: Paraninfo, 1997-1999.

Molina, Miguel, *Escuchar la escultura y esculpir el sonido. Interacciones entre el lenguaje escultórico y el sonoro*, [Proyecto de investigación], Facultad de Bellas Artes de San Carlos de Valencia, Universidad Politécnica de Valencia, 2001. 244 págs. Archivo digital cedido por el autor.

41

Nisbett, Alec, *El uso de los micrófonos*, Ed. Instituto Oficial de Radio y Televisión, 2002.

Torres Alberich, Pascual Cresc, *Micrófonos: mirando el sonido*, Editorial Universidad Jaume I, 2009.

Enlaces de interés

Reinterpretación de «Empty Vessels» de Alvin Lucier (1997) realizada en el Departamento de Arte y Tecnología de la facultad de Bellas Artes de la UPV/EHU en octubre de 2016: https://youtu.be/g2bejct-K_o

Ars Electronica, festival y centro dedicados al encuentro entre arte, tecnología y sociedad: <https://ars.electronica.art/news/>

Gràcia Territori Sonor, asociación responsable de la organización de numerosas actividades en torno a la música experimental en Barcelona, entre ellas, el encuentro internacional LEM:
<http://www.gracia-territori.com/>

In-Sonora, festival y plataforma creada para apoyar y dar visibilidad al Arte Sonoro e Interactivo: <http://www.in-sonora.com/>

Hots! radio, radio online cuyo objetivo es mostrar obras sonoras que trabajen sobre la idea de paisaje sonoro:
<https://audio-lab.org/proiektuak/hots/?lang=es>

Ars Sonora, programa de música y arte de Radio Clásica:
<http://www.arssonora.es/>

Referencias acerca del sonido binaural recogidas por Edu Comelles:
<http://educomelles.blogspot.com/2011/01/sonido-binaural.html>

UbuWeb, web sobre arte vanguardista (poesía concreta y sonora, archivos de videoarte, cine underground y arte sonoro): <http://ubu.com/>

Janet Cardiff, *Words Drawn in Water*, 2005:
<http://www.cardiffmiller.com/artworks/walks/wordsdrawn.html>

42

Escoitar, proyecto abierto, libre y colaborativo centrado en la idea de paisaje sonoro: <http://www.escoitar.org>

Lecturas recomendadas por el Estudio de Música Electroacústica de la EUM al hilo del proyecto Paisaje Sonoro Uruguay:
<http://www.eumus.edu.uy/ps/txt/index.html>

Mediateletipos, blog dedicado a la difusión de la cultura aural, el arte sonoro, el activismo audiovisual y la creación con nuevos medios:
<http://www.mediateletipos.net>

Soinumapa, iniciativa abierta y colaborativa de fonografía y mapa sonoro del País Vasco: <http://www.soinumapa.net>

Sonido y Audio. Revista digital sobre sonido y audio profesional: http://www.sonidoyaudio.com/sya/vp-tid:2-pid:13-tecnicas_de_microfonia_estereo.html

4. Anexo: Algunos materiales para sonido disponibles en el Departamento de Arte y Tecnología (2020)

MICRÓFONOS

	<i>MODELO / TIPO</i>	<i>APLICACIONES</i>
	SHURE SM58 <i>Cardioide.</i> <i>Dinámico.</i> <i>De mano.</i>	<i>Directo (cuando hay P. A. o amplificación simultánea).</i> <i>Evita el efecto Larsen / feedback / realimentación.</i> <i>Ecuilizado para la voz en directo.</i>
	SHURE SM57 <i>Cardioide.</i> <i>Dinámico.</i> <i>De mano.</i>	<i>Para audio en directo y en grabaciones de estudio.</i> <i>Capacidad de trabajar bien con instrumentos, como percusiones y guitarras eléctricas.</i> <i>Reduce la generación de feedback acústico.</i>
	SENNHEISER E825S <i>Cardioide.</i> <i>Dinámico.</i> <i>De mano.</i>	<i>Ideal para directo, presentaciones, micrófono vocal e instrumental.</i> <i>Evita el efecto Larsen / feedback / realimentación.</i> <i>Ecuilizado para la voz en directo.</i>
	ELECTRO VOICE RE20 <i>Cardioide.</i> <i>Dinámico.</i> <i>De estudio.</i>	<i>Procesamiento muy bueno y una excelente calidad de sonido, equilibrada y muy detallada, teniendo en cuenta que se trata de una cápsula dinámica. Por eso es apreciado sobre todo para producciones de radio y en situaciones donde se requiere el uso de muchos micrófonos.</i>
	RODE M3 <i>Cardioide.</i> <i>De condensador.</i> <i>De estudio y de mano.</i> <i>Pila interna 9V o phantom.</i>	<i>Se adapta a la perfección en un amplio rango de entornos de grabación, tanto en actuaciones en directo como en estudios de grabación.</i> <i>La calidad del condensador que incorpora reproduce de manera fiel instrumentos y voces, mientras que su amplio rango dinámico permite su uso junto a fuentes sonoras de diversa intensidad. Aconsejable para grabaciones de campo.</i>



**AUDIO TECHNICA
AT4041**

Cardioide.

De condensador.

De campo y de estudio.

Solo phantom.

Siempre sobre soporte elástico.

Micrófono electret de condensador de alta sensibilidad, que ofrece un sonido fiel, bajos niveles de distorsión y una respuesta de frecuencia amplia para situaciones de grabación exigentes.



RODE NT4

Cardioide.

De condensador.

Pila interna 9V o phantom.

Siempre sobre soporte elástico.

Diseñado para la grabación de instrumentos y captación de exteriores y alta sensibilidad. Ofrece dos cápsulas en configuración X/Y para llevar a cabo grabaciones estéreo de gran calidad.

44



MARK DM200

Hipercardioide.

De condensador.

Cañón medio.

Pila interna 1,5V-AA o phantom.

Siempre sobre soporte elástico.

Súper unidireccional, alta sensibilidad y buena respuesta en frecuencia, es adecuado para escenarios o platós de TV y cine. Para exteriores debe de usarse protección antiviento.



RODE NTG1

Supercardioide.

De condensador.

Cañón corto.

Pila interna 1,5V-AA o phantom.

Siempre sobre soporte elástico o pértiga.

Súper unidireccional, alta sensibilidad y buena respuesta en frecuencia, es adecuado para escenarios o platós de TV y cine. Para exteriores debe de usarse protección antiviento.



ASP A02A

Pareja de micros cardioides.

De condensador.

De campo y de estudio.

Omnidireccionales.

Solo phantom.

Siempre sobre soporte.

Para la sonorización de overheads, platós de batería e instrumentos acústicos en general. Alta sensibilidad para grabaciones estéreo. Micrófonos cardioides + cápsulas omnidireccionales intercambiables (suministradas). Incluye: 2 micrófonos, 2 soportes de suspensión, 2 cápsulas omnidireccionales, 2 antivientos.



SENNHEISER EK100+SK100

Micrófono miniatura de corbata.

De condensador.

Sistema inalámbrico, con micro incluido, salida receptor en minijack y canon XLR.



AQUARIANAUDIO H1A-3

Hidrófono.

Piezo sin alimentación.

Grabaciones submarinas.



HOLOPHONE H3-D

Holófono 5.1

Phantom externo.

Grabación 5.1 en directo.



DPA 4088 DIRECTIONAL HEADSET MICROPHONE

Micrófono de diadema.

De condensador.

Uso preferentemente unido al kit inalámbrico SENNHEISER EK100+SK100

Locución en directo, mantiene la distancia constante con la boca y el nivel sonoro. Especial para directo o teatro. Siempre que no importe su ligera presencia.



RODE NTG4

*Supercardiode
Shotgun altamente
direccional.
Conector XLR.*

*Excelente para grabar diálogos en tomas al
aire libre acoplado a una pértiga. Captura más
cantidad de audio de las fuentes de sonido
situadas directamente delante del micrófono
(centrado) y menos cantidad del entorno
circundante (descentrado).*



RODE VIDEOMIC RYCOTE

*Supercardiode.
Incluye pantalla
antivientos y
suspensión de
Rycote.*

*Respuesta en
frecuencia: 40Hz -
20kHz. SPL: 114dB.*

*Requiere batería
de 9V.*

*Conector minijack
estéreo (jack 1/8", 3,5
mm TRRS).*

*Pensado para grabación con el micrófono
acoplado a zapata de flash y la fuente de
sonido no muy lejana.*

ACCESORIOS

MODELO / TIPO

Antiviento.



APLICACIONES

*Paravientos integral para los micrófonos de
cañón como los medio MARK DM200.*

*Es compatible con cualquier otro micrófono
de cañón.*

BLIMP RODE

Antiviento.



*Suspensión y paravientos integral para
micrófonos de cañón como los RODE NTG-1,
NT4-3.*

*Es compatible con cualquier micrófono de
cañón con una longitud de hasta 325 mm.*

RODE BOOMPOLE

Pértiga.



Extensible hasta 3 m.



AKG H-30

Suspensor elástico.

Soporte universal para micrófonos de cañón.

Aplicación: prensa, vídeo, cine, radio, etc.

Características: ajustable a cualquier pie de micro estándar.

GRABADORAS DIGITALES



MODELO / TIPO

ZOOM H1

Grabaciones de campo.

APLICACIONES

Estéreo de 2 pistas.

Micros estéreo incorporados de alta calidad.



ZOOM H4

Grabaciones de campo.

Estéreo de 2 pistas o 4 pistas.

Micros estéreo incorporados de alta calidad.

Múltiples ajustes.

Funciona como alimentación phantom para micros externos.



ZOOM H5

Cápsula de micrófonos X/Y XYH-5 incluida.

Compatible con todas las cápsulas de micrófono intercambiables de Zoom.

Grabaciones de hasta 24 bit/96 kHz en formato wav.

Grabaciones simultáneas de hasta 4 pistas de audio.



TASCAM DR680

Grabaciones de campo.

De 6 pistas.

Uso junto a Holophon H3-D.



ZOOM H6

De 6 pistas.

24 bit/ 96 kHz.

Hasta 6 canales de grabación simultánea.

4 entradas mic/line XLR/jack ampliable a 6 (interfaz de audio USB 6/2 canales).



MARANTZ PMD660
(2005)

Micrófono integrado.

Alimentación phantom.

Requiere 4 pilas AA (unas 4 horas de uso) o alimentación AC. Tarjeta Compact Flash.

Hasta 44.1, 48 kHz.

Grabadora un poco grande comparada con las actuales. Aconsejada para grabación con micrófono externo conectado por XLR.

2 entradas XLR.



ROLAND R-88

Grabador y mezclador de 8 canales.



8 entradas y 8 salidas XLR. Grabación hasta 192 kHz de frecuencia de muestreo (modo 4 canales), y 24 bits.

Requiere 8 pilas AA, 1,5V, o bien alimentación AC.

Grabaciones octofónicas, grabaciones multi instrumentales o de varias fuentes de sonido simultáneas.

48



FOCUSRITE SCARLETT 2i2. 2nd Gen.

Tarjeta de sonido externa por USB 2.0 (alimentada por USB también).

2 entradas mic/line/instrumento con conector XLR/jack (1/4", 6,35mm) y 2 salidas jack (1/4", 6,35 mm).

No tiene conexión MIDI.

Grabación de micro línea o instrumentos en el propio ordenador.

OTROS MATERIALES



MODELO / TIPO

MONOTRON DUO

Sintetizador de cinta analógico portátil.

2 osciladores y 1 VCF.

Salida y entrada auxiliar jack 1/8" (3,5 mm).

Funciona con 2 pilas AAA. Altavoz interno.

Peso 95 gr sin pilas.

APLICACIONES

Generación de sonidos sencillos, performance, etc.

Muy poco peso y tamaño, con el equipo adecuado se pueden conseguir cosas interesantes.



BEHRINGER NEUTRON

Sintetizador semimodular analógico.

Salida de altavoz, de auriculares y entrada auxiliar con conector jack 1/8" (6,35 mm).

Conectores MIDI IN y MIDI OUT/ THRU, además de USB MIDI. Funciona con alimentación AC.

Se puede usar como generador de sonido o como filtro de sonido.

Tiene un patchbay con 32 entradas y 24 salidas para posibilidades avanzadas de dar forma al sonido, y conectividad con otros secuenciadores y sintetizadores modulares.



BOSS RC-1

Pedal de efecto tipo loop.

Tiempo de grabación: 12 minutos. Grabación en mono o estéreo.

16bit/44,1kHz.

Funciona con pila 9V o con alimentador AC (no incluido).

Para experimentar improvisando pistas con cualquier fuente.

También para uso en performance, instalaciones. Enfocado al uso en directo.