



UNIVERSIDAD DE LAS ARTES

Escuela de Artes Sonoras

Proyecto técnico

Audio inmersivo para conciertos silenciosos

Previo la obtención del Título de:

Licenciado en Producción Musical y Sonora

Autor:

Carlos Andrés Rada Hurtado

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

Declaración de autoría y cesión de derechos de publicación de la tesis

Yo, Carlos Andrés Rada Hurtado declaro que el desarrollo de la presente obra es de mi exclusiva autoría y que ha sido elaborada para la obtención de la Licenciatura en Producción Musical y Sonora. Declaro además conocer que el Reglamento de Titulación de Grado de la Universidad de las Artes en su artículo 34 menciona como falta muy grave el plagio total o parcial de obras intelectuales y que su sanción se realizará acorde al Código de Ética de la Universidad de las Artes. De acuerdo al art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad E Innovación* cedo a la Universidad de las Artes los derechos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, para que la universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando su uso sea con fines académicos.

Firma del estudiante

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

Miembros del tribunal de defensa

Darío Buitrón Merlo
Tutor del Proyecto Interdisciplinario

Diego Benalcázar
Miembro del tribunal de defensa

Daniel Orejuela
Miembro del tribunal de defensa

Agradecimientos:

Mi más sincero agradecimiento en primer lugar a Dios quien me ha dado salud y fortaleza durante todo este proceso, a mi familia quienes han sido un pilar fundamental de apoyo dentro de mi carrera, a mi tutor Darío Buitrón que estuvo guiándome y formando profesionalmente durante todo el semestre, a los docentes Adina Izarra y Rubén Riera: excelentes músicos y personas que ayudaron con su presentación dentro de mi concierto, a Carlos Mejía y Remigio Vásconez que estuvieron ayudándome con los espacios y los equipos necesarios para las prácticas y realización del concierto silencioso, a mi enamorada Vanessa Quimí quien me dio ánimos y ayudó con parte de la logística de todo mi proyecto y a mis amigos que colaboraron con la movilización y préstamos de equipos; a todos ellos, infinitas gracias, que Dios multiplique su generosidad y les conceda éxito en su vida profesional.

Dedicatoria:

El presente proyecto lo dedico a mi papá Carlos Humberto Rada Peralta, apoyo incondicional durante mi carrera universitaria, la persona que siempre confió en mi talento desde el principio de mis estudios superiores y estuvo conmigo en todo momento sin importar la situación en la que me encuentre y a mi tío Widin Orellana quien me dio ánimo para culminar mi carrera, me aconsejó y asesoró en mi trabajo.

Resumen

Los conciertos silenciosos tienen la particularidad de usar audífonos para su escucha sin preocuparse por el uso de suelo o el traslado y montaje de amplificación de sonido; además de manejar diferentes mezclas de instrumentos o dispositivos que son enviados hacia el público por medio de sistemas de monitoreo alámbricos o inalámbricos, esta experiencia poco convencional permite manejar el control de volumen independiente por persona y sentir un mayor grado de inmersión que en un concierto común.

El presente proyecto ofreció un concierto silencioso, denominado Guayaquil Silente, donde el público tuvo a su disposición audífonos con una mezcla en sonido 3D en vivo, experiencia que sirvió para la implementación de un manual técnico para el montaje, creación y diseño de prácticas posteriores. A partir de esta investigación y pruebas, este trabajo ofrece otra forma de disfrutar un concierto que no genera un impacto ambiental acústico y que, con ayuda de nuestro manual de montaje, sea más viable seguir las instrucciones establecidas para la realización del mismo.

Palabras claves: Conciertos silenciosos, Ambisonics, Sonido 3D, Escucha binaural.

Abstract

Silent concerts have the particularity of using headphones to listen without worrying about the use of soil or the transfer and assembly of sound amplification, besides handling different mixes of instruments and devices that are sent to the public through wired or wireless monitoring systems, this unconventional experience allows us to manage the control of independent volume per person and feel a greater level of immersion than in a common concert.

The present project offered a silent concert called “Silent Guayaquil” where people had at their disposal headphones with a live 3D mix, an experience that served for the implementation of a technical mounting, creation and design of subsequent practices. From this investigation and technical manual for mounting, this project offers another way of enjoying a concert that avoids generating an acoustic environmental impact and that, with the help of our mounting manual for the concert, be more viable to follow the mentioned instructions for the realization of the plan.

Keywords: Silent concerts, Ambisonics, 3D audio, binaural listening.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos.....	4
Dedicatoria.....	5
Resumen.....	6
Abstract.....	7
1. Introducción.....	11
1.1. Delimitación del problema.....	12
1.2. Justificación.....	13
1.3. Objetivos:.....	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. Alcance y limitaciones del estudio.....	15
1.4.1 Alcances.....	15
1.4.2. Limitaciones.....	16
1.5. Metodología.....	16
1.6. Tiempo y lugar de estudio.....	18
1.7. Terminología.....	18
2. Marco Teórico.....	19
2.1. El sonido en un medio elástico.....	19
2.2. Percepción de escucha.....	20
2.3. Curvas Isofónicas de Fletcher y Munson.....	22
2.4. Fase.....	23
2.5. Polaridad.....	25
2.6. Transmisión de audio, flujo de señal.....	26
2.7. Escucha binaural.....	27

2.8. Breve historia del desarrollo de los sistemas de reproducción.....	31
2.9. Ambisonics.....	39
2.10. Códecs para audio digital.....	46
2.11. DAW, Software y Plugins.....	46
2.11.1. Reaper.....	46
2.11.2. Max/MSP.....	47
2.11.3. FB360 Spatialiser.....	48
2.11.4. FB360 Converter.....	50
2.11.5. FB360 Control.....	51
3. Desarrollo del concierto silencioso “Guayaquil silente”.....	52
3.1. Listado de equipos.....	52
3.2. Listado de entradas.....	54
3.3. Listado de salidas.....	55
3.4. Mezclas.....	56
3.5. Flujo de señal.....	57
3.6. Montaje / Diagrama de escenario.....	58
3.7. Repertorio “Guayaquil Silente”	58
4. Resultados.....	59
4.1. Manual de implementación de sistema de audio inmersivo para concierto silencioso.....	59
4.2 Manual de implementación de sistema de audio inmersivo para concierto silencioso en la Universidad de las Artes.....	59
4.3. Encuestas realizadas a cada uno de los asistentes al concierto.....	59
4.2.1. Datos estadísticos sobre las encuestas.....	60
5. Conclusiones y recomendaciones.....	61

5.1. Conclusiones.....	61
5.2. Recomendaciones.....	61
6. Bibliografía.....	63
7. Anexos.....	67

1. Introducción

Este proyecto realiza el montaje para un concierto silencioso en el que se presentan dos docentes de la Universidad de las Artes, recreando atmósferas sonoras en 3D, para brindar una experiencia inmersiva por medio de audífonos, que son dispuestos para cada uno de los espectadores con control de volumen independiente para el monitoreo del show. Además, no existan inconvenientes con la contaminación acústica debido a las características que tiene el evento, como menciona Gabriel Albornoz, manager del departamento profesional de Audio-Technica, «Comenzaremos a través de cascos y otros sistemas inalámbricos. Así un concierto podría llevarse a cabo en un museo, por ejemplo, sin molestar a nadie.»¹

Para este concierto se hacen las conexiones respectivas y se emplean *plugins* para el uso de tecnología Ambisonics. Algunos de estos pertenecen al paquete de Facebook 360 *Spatial Workstation*, el cual decodifica las señales para ubicarnos en un espacio 3D con ayuda de un DAW y monitoreo por audífonos. Así mismo, se dispone de un manual de montaje que contiene la información necesaria para replicar dicho show con iguales o similares características o producir un concierto inmersivo obteniendo facilidades de implementación para este tipo de espectáculos.

La experiencia recreada para los espectadores brinda métodos poco convencionales para conciertos de música ya que, gracias a la mezcla en vivo en 3D para audífonos, los asistentes tienen un sonido más envolvente y enriquecedor sin temor a dañar sus oídos o a no escuchar con “buena” definición desde cualquier punto en el recinto del evento.

¹ Juan Scaliter, «Los conciertos serán silenciosos», *Artículo en línea La Razón* (6 de junio. 2018), <https://www.larazon.es/tecnologia/los-conciertos-seran-silenciosos-JE18589123>.

1.1. Delimitación del problema

En el afán de estar a la vanguardia de las experiencias inmediatas que ofrecen las redes sociales y los nuevos medios, este dinamismo emergente en lo que respecta a la inmersión de audio en el mercado, ha sido poco aplicado dentro de Guayaquil y la difusión que se le ha dado ha sido mínima en cuanto al potencial que tiene y a la calidad de performance que puede proveer. Con la elaboración de este trabajo se pretende dar mayor impulso al método de uso de tecnología Ambisonics para obtener este tipo de show y performance y poder plasmarlo en un manual que será de fácil entendimiento y accesibilidad para el usuario.

El uso de suelo es uno de los principales problemas que tienen los conciertos para llevarse a cabo debido a su alta contaminación acústica, creando incomodidad y malestar a los sectores cercanos del lugar del evento, además de los costos elevados de alquiler o adquisición de equipos de amplificación para conciertos convencionales. El punto de escucha óptimo suele ser un problema para los espectadores debido a las cancelaciones de fase que se encuentran en ciertos puntos del recinto, impidiendo disfrutar al 100% del espectáculo. Por otro lado, refiriéndose a la percepción de escucha del público, puede ser variable: desde no percibir el sonido en 3D hasta una inmersión completa. Debido a estos puntos mencionados, se crean los siguientes cuestionamientos:

¿Cómo se logrará obtener un sonido en 3D para una mezcla binaural para un concierto silencioso en vivo? ¿Se podrá percibir la espacialidad necesaria para que el espectador note el sonido en tres dimensiones?

Con la implementación de un sistema de monitoreo para conciertos silenciosos se cubren todos estos inconvenientes, además de brindar una experiencia inmersiva y una propuesta innovadora de hacer un *performance* poco convencional para el espectador, utilizando tecnología Ambisonics, la cual se realizará una breve encuesta donde se evaluará a cada uno de los espectadores para obtener una retroalimentación de cuál fue su experiencia inmersiva durante el concierto.

1.2. Justificación

Dentro de este proyecto, se buscó experimentar con la reproducción de audio binaural, utilizando sonido envolvente y ampliando el panorama sonoro para el oyente, mediante un concierto silencioso (*Silent Concert*), el cual se pudo escuchar en vivo por medio de audífonos dispuestos para el público asistente. Con esto se logró crear un ambiente de inmersión para los oyentes, sin llegar a usar amplificación de audio para promover una forma de entretenimiento diferente a la convencional con respecto a conciertos en vivo. Además que muchas veces en ciertas zonas no permiten el sonido a alto volumen por el miedo a la contaminación acústica que se percibe en los lugares aledaños causando molestias y problemas con el sector ajeno al evento. También el público fue capaz de plasmar su nivel de satisfacción al haber asistido al concierto ya que se le facilitó una encuesta donde se midió el grado de inmersión obtenido durante el evento.

El sonido proveniente de los docentes en escena contó con una mezcla de sonido en 3D a través de audífonos, evitando cancelaciones de fase que se dan generalmente cuando se mueve el oyente en zonas diferentes dentro del sistema de reproducción,

perdiendo la esencia de la obra sonora y/o musical así como también el contenido de frecuencias.

Tal como afirma Andrés Nacrur (cocreador de iniciativa para conciertos silenciosos en Chile) en una entrevista para la agencia de noticias EFE que: «En un gran concierto el sonido que recibe el público depende mucho de la ubicación en la que se encuentre. Con los audífonos escuchas todo con claridad independientemente de donde estés situado.»². Es evidente que con esto se llevó al público a escuchar fielmente la presentación en vivo que brindaron los artistas en escena.

Con todo lo mencionado anteriormente, se logró dar una opción poco convencional para la producción de conciertos en los que los asistentes experimentaron otro ambiente sonoro gracias a la inmersión creada, además de poder obtener un manual de implementación del sistema de audio inmersivo para el montaje de futuros conciertos silenciosos y con ello optimizar tiempo y recursos para producir con mayor efectividad este tipo de eventos y conseguir buenos resultados para el público con tan solo seguir cada instrucción mencionada dentro de este documento, llegando a dar una opción innovadora para la producción de conciertos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar y ejecutar un procedimiento para el uso de herramientas de audio inmersivo en conciertos silenciosos en vivo utilizando sistemas de monitoreo binaural.

² Patricia López Rosell, «Los conciertos “silenciosos” llevan la música a los edificios públicos de Chile», *Agencias EFE* (11 de mayo. 2019), <https://www.efe.com/efe/america/cultura/los-conciertos-silenciosos-llevan-la-musica-a-edificios-publicos-de-chile/20000009-3973708#>.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener nuevas experiencias inmersivas, con ayuda de *plugins* y herramientas destinadas para trabajar y codificar el audio inmersivo.
- Dar alternativas para eventos sin preocupación del uso de suelo evitando niveles altos de contaminación acústica.
- Decodificar las señales de audio en tiempo real para experimentar la inmersión de forma binaural.
- Elaborar un manual de implementación de sistema inmersivo binaural para conciertos silenciosos.

1.4. Alcance y limitaciones de estudio

1.4.1 Alcances

Con este proyecto se consigue mantener una mezcla igual para cada asistente al concierto silencioso, además de configurar el sistema de monitoreo de los músicos en escena de tal forma que se sientan cómodos y puedan desarrollar su performance de la mejor forma.

En el edificio Humberto Salgado, salón Salgado 101, dentro de las instalaciones de la Gobernación (Universidad de las Artes), al implementar todo el sistema de monitoreo para el concierto silencioso y dado que se encuentran oficinas cercanas al salón, igualmente se podrá disfrutarlo de manera tranquila y ordenada.

Un punto importante dentro de este proyecto es crear un documento guía para el montaje del concierto silencioso donde en un futuro cualquier persona: ya sea de la universidad o ajena a ella, pueda realizar este tipo de espectáculo y llevarlo a cabo con éxito sin mayores dificultades.

También, gracias al uso de la tecnología Ambisonics mediante *plugins* del paquete de *FB360 Spatial Workstation* como *FB360 Spatialiser*, *FB360 Control* entre otros, lograremos codificar y decodificar el audio totalmente en vivo para realizar la mezcla para los espectadores.

En adición, este concierto silencioso se experimenta totalmente en vivo con el paneo de la señal (a cargo del operador del sistema de audio en algunas piezas musicales) de una guitarra electroacústica y en ciertos temas del manejo del ambiente generado por uno de los artistas en escena, todas las acciones podrán ser percibidas por los asistentes a lo largo del concierto.

1.4.2 Limitaciones

El evento tiene una capacidad máxima de 24 personas debido a la carencia de audífonos y sus respectivos amplificadores por lo que solo se dispone de tal cantidad para la realización. De igual forma, cada juego de audífonos son alámbricos ya que no se cuenta con un presupuesto alto como para alquilar un sistema de monitoreo inalámbrico.

1.5. Metodología

La siguiente es una investigación de carácter cualitativo debido a que se estuvieron analizando las formas de conectividad y enlace de las señales de audio para realizar la configuración para la espacialidad del sonido en 3D, además de calificar la calidad de recepción sonora y que información se va a captar de manera binaural. De igual modo, este proyecto posee un método cuantitativo ya que se estudió el grado de inmersión que hubo dentro del concierto y qué tanto el espectador logró percibir la espacialidad del audio durante su ejecución.

Se realizó una investigación sobre Ambisonics, escucha binaural y sus antecedentes; qué llevó a realizar y desarrollar dicha tecnología. Adicionalmente se analizaron y probaron diferentes *plugins* que ayudaron a codificar y decodificar el audio para el evento (concierto silencioso) en vivo.

Los docentes de la Escuela de Artes Sonoras de la Universidad de las Artes, Adina Izarra y Rubén Riera brindaron un concierto silencioso, el cual no utilizó amplificación sino que se consiguió amplificadores de audífonos y audífonos (alámbricos) para que los asistentes puedan usarlos y obtuvieran una inmersión de audio de manera binaural. Además, se instalaron luces para ambientar el lugar y se dispuso de una laptop con una consola digital de audio para el respectivo enlace y monitoreo de la señal durante el concierto.

Se utilizaron DAWs como Protools, Cubase, Reaper, el protocolo de audio digital DANTE (*DANTE Controller*) para el enrutamiento de las señales, también diferentes *plugins* como el *FB360 Spatialiser* y el *FB360 Control* de *FB360 Spatial Workstation* para las pruebas previas a la configuración que se definió para el concierto final.

Dentro del concierto se instalaron dos micrófonos dispuestos hacia la audiencia para capturar las reacciones del público en general y enviar dicha señal en vivo hacia los auriculares de los asistentes para generar un ambiente de concierto con el sonido de los mismos. Previo al evento, se realizaron varias pruebas de conexiones, envíos de señal y formas de mezclar los canales; 4 canales de salida de los docentes para los audífonos del público.

También se elaboró un manual instructivo especificando como realizar las conexiones necesarias para la implementación de un concierto silencioso, con diagramas de flujo de señal.

Finalmente, se documentará en audio y video todo el concierto silencioso para posteriormente entregarlo en un DVD.

1.6. Tiempo y lugar de estudio

El presente trabajo tuvo un periodo de 8 meses de investigación y pruebas que fueron importantes para la culminación del mismo. Se realizó dentro de la Universidad de las Artes y tuvo como escenario el aula Salgado 101 del campus centro en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

1.7. Terminología

- **Ambisonics:** tecnología aplicada al audio espacial para sistemas multicanal.
- **Binaural:** recreación de sonido en 3 dimensiones mediante 2 canales.
- **DAW:** Estación de trabajo de audio digital destinada para la grabación, edición, mezcla y masterización del audio.
- **Códecs:** programa o dispositivo hardware destinado a codificar y decodificar datos digitales o señales de audio y video dentro de un contenedor.
- **Psicoacústica:** estudio científico de la percepción del sonido donde el cerebro analiza la relación entre las ondas acústicas que llegan al pabellón auditivo y la percepción de la imaginación del espacio sonoro que experimentan los receptores.
- ***In Ear:*** sistema de monitoreo personal conformado por un receptor y auriculares especializados para obtener la referencia del artista, banda y/o pista.

2. Marco teórico

Dado que nuestra forma de percepción auditiva es compleja, conllevando puntos muy importantes para entender el trasfondo del concierto a realizar, es fundamental mencionar y recordar contenido relevante para el desarrollo de nuestro proyecto; así se garantizaría el éxito del montaje con ayuda de nuestro manual de implementación, donde se detallará la información necesaria para llevar a cabo este proyecto.

2.1. El sonido en un medio elástico

El sonido se origina cuando una fuente sonora vibra y provoca movimiento de las moléculas a través de un medio elástico como los líquidos, gases y sólidos; esto ocurre por la compresión y descompresión de las ondas sonoras que viajan longitudinalmente. Generalmente, escuchamos el sonido a través del aire el cual se compone de moléculas con propiedades elásticas generando ondas longitudinales que chocan entre sí empujándose para provocar una oscilación desde un punto fijo.

Así como describen Rumsey y Mc Cormick sobre como viaja el sonido en el aire:

La velocidad a la que se aleja depende de la densidad y elasticidad de la sustancia que atraviesa. En el aire esta velocidad es relativamente baja, comparada con la velocidad a la que el sonido viaja a través de la mayoría de los sólidos. La velocidad es relativamente baja, comparada con la velocidad a la que el sonido viaja a través de la mayoría de los sólidos. La velocidad del sonido en el aire es, aproximadamente, 340 m/s, aunque ello depende de la temperatura del aire. A la temperatura de congelación la velocidad se reduce hasta estar próxima a los 330 m/s. En

el acero, para dar un ejemplo de sólido, la velocidad del sonido está alrededor de los 5100 m/s.

La longitud de onda y la frecuencia se relacionan entre sí muy fácilmente, siempre que se conozca la velocidad de onda (representada normalmente por la letra c).³

La velocidad de la transmisión sonora depende directamente del medio en el que se transmita y esto es directamente proporcional a la densidad del mismo: a mayor densidad mayor será la velocidad de transmisión del sonido.

2.2. Percepción de escucha

Es necesario entender de una manera más precisa como actúan nuestros oídos a determinadas fuentes sonoras, por lo tanto, explicaremos detalladamente su anatomía de la siguiente manera:

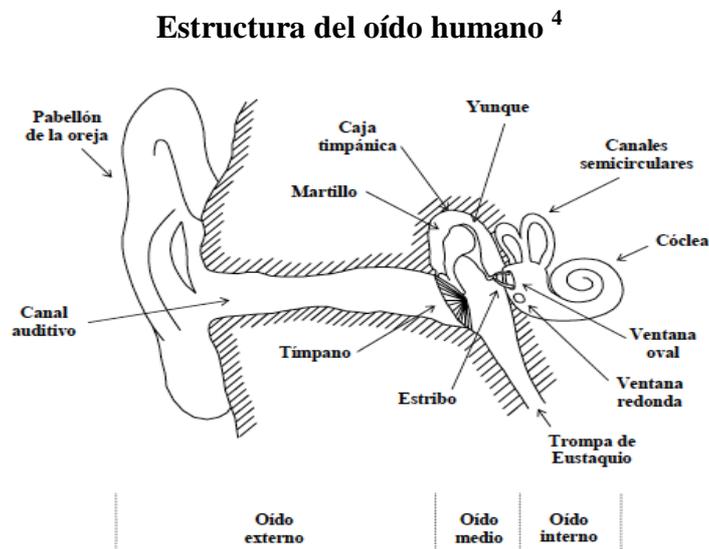


Figura 1

³ Francis Rumsey y Tim Mc Cormick, *Introducción al Sonido y la Grabación*. (IORTV), 19

⁴ Figura tomada de Federico Miyara, *CONTROL DE RUIDO*, 1999.

Linares manifiesta lo siguiente:

El sistema para la escucha se compone de un órgano de toma de datos (oído externo y medio), un órgano de conversión analógica digital (oído interno) y un sistema de memorias u ordenador central (cerebro). Así, las ondas acústicas del entorno inciden sobre el pabellón auditivo penetrando por el canal y poniendo a vibrar el tímpano. Posteriormente se convierten esos impulsos mecánicos en excitaciones nerviosas que llegan al cerebro⁵.

El funcionamiento del oído se basa en la transformación de energía acústica en energía mecánica, luego termina generando impulsos eléctricos enviados al cerebro, para percibir dicha información del sonido.

El oído externo al recibir el sonido a través de sus pliegues, puede localizar la fuente sonora. El conducto auditivo resuena en torno a los 3kHz, creando mayor sensibilidad en el rango de frecuencias donde se encuentra la inteligibilidad de la voz humana. El tímpano cumple una de las tareas más importantes, ya que es el encargado de transformar la energía acústica en energía mecánica. Los tres huesillos (Martillo, Yunque y Estribo) que conforman el oído interno proporcionan el ajuste de impedancias necesarias para que la onda sonora del medio acústico pase al fluido del oído interno. Una parte fundamental dentro del oído interno es la cóclea; la cual percibe la amplitud y la frecuencia del sonido, convirtiendo estas vibraciones en impulso eléctrico para luego ser enviados al cerebro y a las neuronas a través de fibras nerviosas.

⁵ J. Linares, *Acústica arquitectónica* (México: Editorial LIMUSA 2007), 350.

2.3. Curvas Isofónicas de Fletcher y Munson

El oído humano se comporta de una forma no lineal refiriéndose a la frecuencia y al nivel de presión sonora (SPL) por lo que los físicos estadounidenses Harvey Fletcher y Wilden A. Munson crearon un conjunto de curvas Isofónicas, las cuales mostraban el comportamiento del oído humano con ayuda de señales senosoidales

Rumsey y Mc Cormick mencionan que:

A partir de estos resultados pudieron dibujarse curvas con el promedio de «igual sonoridad», que indican para cada frecuencia el SPL necesario para que un sonido se perciba con un determinado nivel sonoro (ver figura). El nivel se mide en fonios, siendo la curva de cero fonios aquella que pasa por 0 dB de SPL para 1kHz; en otras palabras, esta es la curva de umbral de audición. Cualquier punto a lo largo de la curva de 0 fonios, tendrá el mismo nivel sonoro, si bien, como puede verse claramente, en los extremos del espectro se requiere un SPL mayor que en el centro.⁶

Con esto se logró representar la sensibilidad del oído humano con diferentes frecuencias para todo el rango audible (20hz – 20 kHz), sometiendo con experimentos a un gran número de personas quienes ajustaban el nivel de intensidad de diferentes tonos de prueba hasta que logaran sentir una igualdad sonora de referencia con una frecuencia de 1kHz; dando como resultado el diagrama:

⁶ Francis Rumsey y Tim Mc Cormick, *Introducción al Sonido y la Grabación*, 45.

Ilustración de las curvas isofónicas de Fletcher y Munson⁷

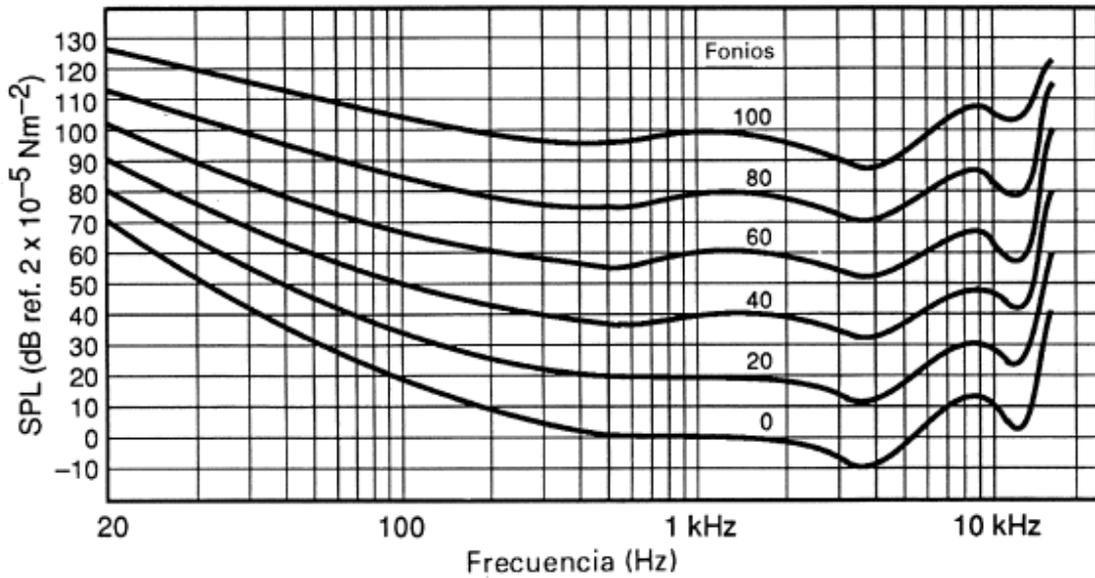


Figura 2

2.4. Fase

Cuando dos ondas correspondientes a la misma frecuencia se encuentran “en fase”, se debe a que sus semiciclos de compresión (+) y descompresión (-) coinciden exactamente en el tiempo y espacio. Si estas dos señales en fase e igual amplitud se superponen se obtiene como resultante la misma frecuencia pero al doble de amplitud.⁸

Onda sinusoidal en fase

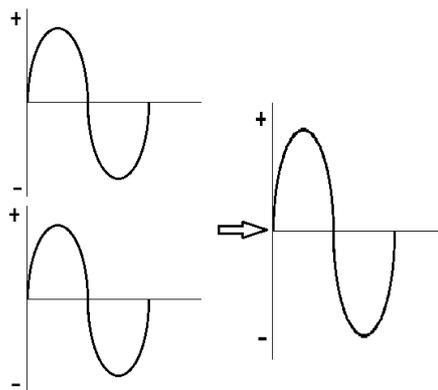


Figura 3

⁷ Figura tomada del libro *Introducción al Sonido y la Grabación*, 45.

⁸ F. Alton Everest, Ken C. Pohlmann, *Master Handbook of Acoustics*. (New York: Mc Graw Hi, 2009), 9.

Por otro lado cuando estas dos señales coinciden entre sí con su semiciclo positivo y otra con el negativo, la resultante que se obtiene es igual a cero; es decir que no habrá señal alguna.

Onda sinusoidal desfasada 180°

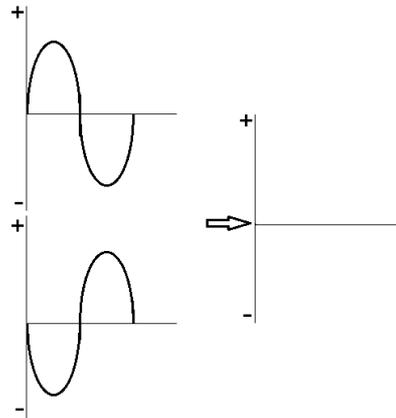


Figura 4

Las diferencias de fase entre señales se deben a la diferencia de tiempo que hay entre sí, es decir que si una señal parte desde un punto y la segunda desde otro punto la resultante dependerá de la magnitud de este retraso.

Onda sinusoidal desfasada en tiempo

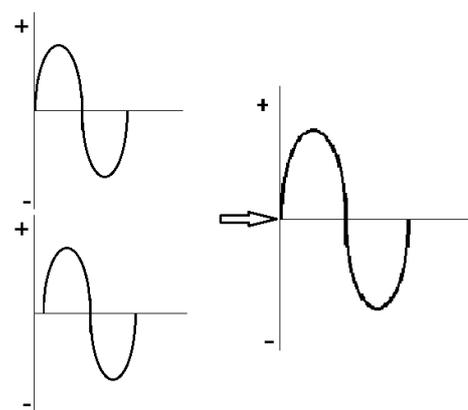


Figura 5

Generalmente la fase se representa en grados como 0, 90, 180, 270 y 360° y está relacionada con la forma de una onda sinusoidal.

2.5. Polaridad

Se define como el positivo y negativo de una señal o también de una forma binaria en 0 y 1. Para que todos los equipos trabajen de manera óptima se referenció una señal eléctrica con una acústica.

Como menciona el ingeniero Eduardo Sacerdoti:

De esta manera se fijó que cuando un frente de presión positiva se aplica al diafragma de un micrófono la tensión que crea a la salida debe ser positiva. Análogamente si una tensión positiva se le aplica a un altoparlante el cono o diafragma debe moverse hacia afuera (hacia el oyente). En los altoparlantes se define entonces que aplicando una tensión positiva al terminal rojo o +, el diafragma debe moverse hacia fuera.⁹

Analógicamente, sucede lo mismo cuando microfoneamos un redoblante por ambos parches, se debe invertir la polaridad de uno de los micrófonos ya que cada parche va a reaccionar diferente que el otro (uno hacia arriba y el otro hacia abajo) y se hace esto para evitar la cancelación de la señal.

⁹ Ing. Eduardo Sacerdoti, «Fase y Polaridad» (9-julio-2017), <http://www.equaphon-university.net/fase-y-polaridad/>.

Arriba: señal original. Abajo: Señal con polaridad invertida¹⁰

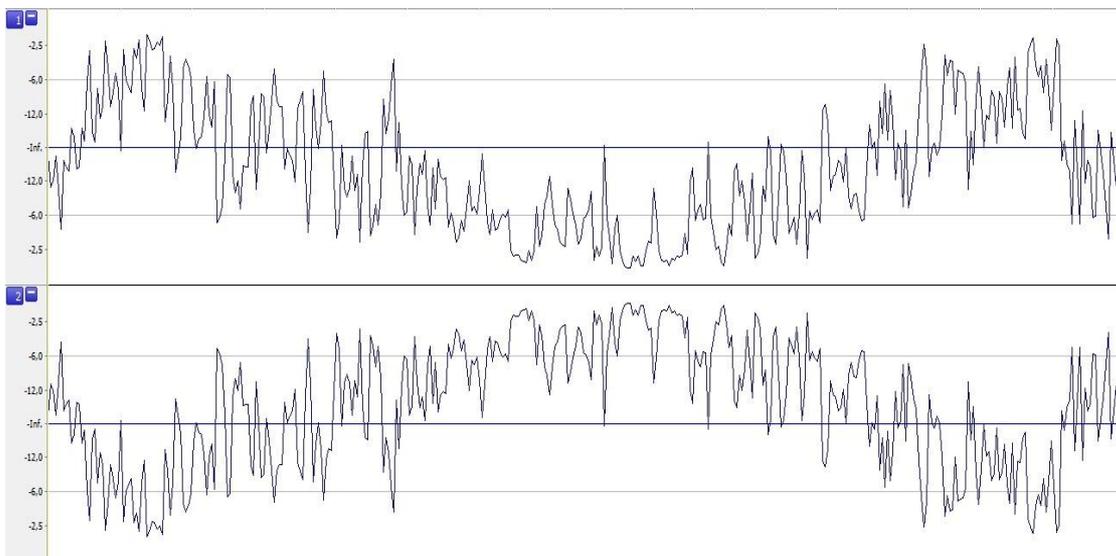


Figura 6

2.6. Transmisión de audio, flujo de señal

Toda transmisión de audio necesita una vía por la cual viajar, para que así pueda pasar de un punto a otro. En cuanto a la transmisión electrónica para audio, utilizamos los cables y el aire como medio acústico, no obstante existen otras formas magnéticas y mecánicas. Este proceso de transmisión entre diferentes medios se denomina transducción. La distancia física que se necesita para tener un ciclo completo en un determinado medio se llama longitud de onda y regularmente se mide en metros o pies. El tamaño de esta forma de onda dependiendo de la frecuencia, es proporcional a la velocidad de transmisión que posee el medio en el que viaja la onda.

Bob McCarthy señala que:

La naturaleza física del componente de amplitud de la forma de onda es dependiente del medio. En el caso acústico, el medio es el aire y las vibraciones se expresan como cambios en la presión. La mitad del ciclo que es mayor que la presión ambiental se llama presurización, mientras

¹⁰ Imagen tomada de <http://www.equaphon-university.net/fase-y-polaridad/>

que la parte de baja presión se llama rarefacción. El movimiento de un altavoz hacia adelante en el aire crea una presurización y el movimiento hacia detrás crea rarefacción.¹¹

El sonido tiene diferentes formas de transmitirse a través de diferentes medios y es así como podemos escucharlo de manera electroacústica.

2.7. Escucha binaural

La escucha binaural es un punto de relevancia significativa dentro de la psicoacústica refiriéndose a cómo reacciona el cuerpo humano frente a una fuente sonora. La audición se produce mediante varios componentes del sistema auditivo por medio de dos canales independientes denominados oídos. La información sonora, que es llevada al cerebro mediante un complejo enlace de órganos y sistema nervioso, la mayoría del tiempo es captada de manera diferente debido a que las fuentes sonoras no siempre están en el plano central (*sweet spot*) equidistantes, siendo que ambos oídos se encuentran físicamente separados entre sí por la cabeza. Esta diferencia en la posición de los oídos es la que permite y ayuda al cerebro a localizar inmediatamente la fuente sonora. Esta cualidad fisionómica se denomina escucha binaural.¹²

Dentro del sistema auditivo, la sensación tridimensional está relacionada con la diferencia entre intensidad y fase que percibe cada oído. Por lo tanto, la localización de los sonidos en el entorno se logra con el procesamiento de dicha fuente por separado de la información que recibe cada oído.

¹¹ Bob McCarthy, *Sistemas de Sonido: Diseño y Optimización* (Editorial Alvalena, 2009), 24.

¹² Jorge Andrés Torres Viveros, *Aplicación de técnica de grabación y mezcla binaural para audio comercial y/o publicitario* (Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana, 2009), 26.

Planos característicos¹³

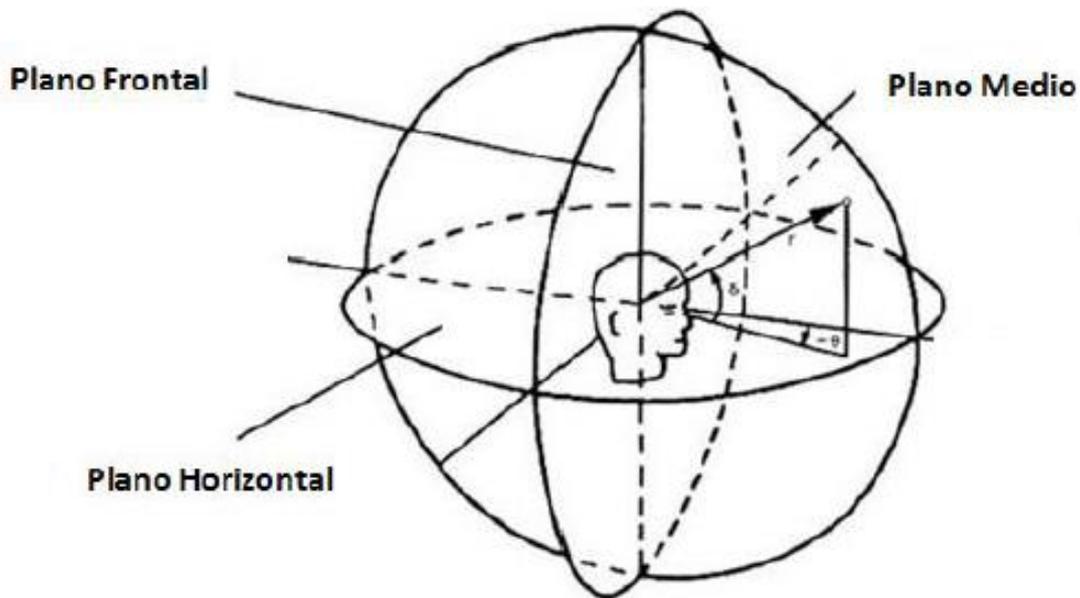


Figura 7

Por esto obtenemos diferentes formas de cómo nuestros oídos reaccionan:

- *ILD (Interaural Level Difference)*: Es la diferencia de intensidad entre las señales que arriban a cada oído; puesto que, por la forma de nuestra cabeza, el sonido es difractado alrededor de ella, es decir que el sonido viaja alrededor de la cabeza para llegar al otro oído y por lo tanto deberá recorrer una distancia extra y gastará más energía. Las ondas sonoras que posean una longitud de onda (λ) menor a 35cm (frecuencias mayores 1kHz) sufrirán esta diferencia de intensidad entre los dos oídos.¹⁴
- *ITD (Interaural Time Difference)*: Se refiere a la diferencia de tiempo de llegada de la fuente sonora con respecto a cada oído. Es posible detectar esto para longitudes de onda elevadas como las frecuencias bajas (dependiendo de la persona: menores a un rango entre 800 y 500Hz.) Con esto somos capaces de

¹³ Imagen extraída de Lorena Armenta Flores, *Diseño y construcción de una cabeza binaural*, 19.

¹⁴ Lorena Armenta Flores, *Diseño y construcción de una cabeza binaural*, (México D.F.: Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2011), 27

identificar rápidamente la ubicación de la fuente sonora con respecto a nuestra cabeza.¹⁵

- *HRTF (Head-Related Transfer Functions)*: Es la forma en como nuestra cabeza y oídos perciben el sonido, esto depende de la forma de nuestras orejas, el canal auditivo, el tamaño y forma de nuestra cabeza, la densidad de la cabeza, el tamaño y forma de las cavidades oral y nasal. Todas estas características que varían en cada persona, transforman el sonido y afectan directamente a nuestra percepción; potenciando algunas frecuencias y atenuando otras. La función HRTF vendría a ser la mezcla del ILD y el ITD que altera la forma de onda acústica y con ello nos permite encontrar la posición de la fuente sonora en específico.¹⁶
- *Efecto Doppler*: Consiste en los cambios de longitud de onda ocasionados por el movimiento de la fuente sonora, este cambio suele ser relativo acorde a como lo percibe su observador. Un ejemplo muy claro, encontramos cuando una ambulancia se acerca con la sirena sonando. El sonido emitido por esta cambia conforme se va acercando al receptor, empieza sonando agudo luego en el momento en que se encuentra en frente nuestro suena normal para finalmente sonar más grave cuando se va alejando.¹⁷
- *Efecto Hass*: la forma de captación de nuestros oídos no solo se basa en la intensidad de la fuente sonora, sino en el tiempo en el que demora en llegar dicho sonido, nuestro cerebro procesa esta información a través de nuestros oídos y por medio de esto es posible localizar de dónde viene la fuente sonora, si esta se encuentra muy alejada, nuestro cerebro no puede percibir la dirección de

¹⁵ Jorge Andrés Torres Viveros, *Aplicación de técnica de grabación y mezcla binaural para audio comercial y/o publicitario*, 27.

¹⁶ FACEBOOK 360, *Spatial Workstation user guide*, 1.

¹⁷ Jorge Andrés Torres Viveros, *Aplicación de técnica de grabación y mezcla binaural para audio comercial y/o publicitario*, 33.

donde proviene debido a la llegada de varios sonidos independientes con un valor inferior a 50 ms, este termina mezclando los sonidos interpretándolo como uno solo.¹⁸

- La Localización: de una fuente sonora permite a las personas ubicar dicha fuente en el espacio donde se encuentran. Si la fuente de sonido se encuentra ubicada a la derecha del oyente, se dice que el oído izquierdo se halla en el área de sombra provocada por la cabeza en referencia a la fuente.

Sombra acústica¹⁹

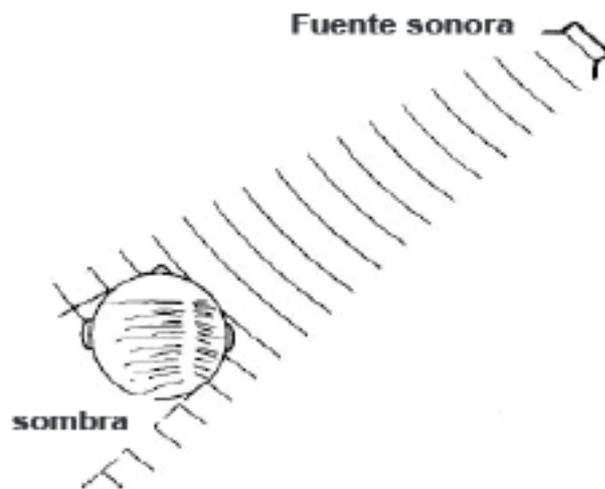


Figura 7

Por consiguiente, la señal que percibe el oído derecho posee mayor intensidad que la del oído izquierdo, ya que está directamente relacionado con el ITD que hay entre estos dos oídos.

- La Lateralización: es usada para identificar la forma y la ubicación de la fuente sonora permitiendo escuchar la percepción espacial dentro de la cabeza a lo largo del eje interaural entre los oídos. Para obtener la sensación de percepción

¹⁸ Francis Rumsey y Tim Mc Cormick, *Introducción al Sonido y la Grabación*, 50.

¹⁹ Figura tomada de Lorena Armenta Flores, *Diseño y Construcción de una cabeza binaural*, 19.

espacial se aplica diferencias de tiempo o de intensidad interaural sobre los audífonos del oyente.

Lorena Armenta indica que:

La posición donde se ubica la imagen sonora a lo largo de una línea imaginaria trazada entre los oídos, se denomina lateralización de la imagen. (...) Un sonido presentado idénticamente a ambos oídos a través de auriculares, llamado estímulo diótico, se lateraliza en el centro de la cabeza. Se puede lograr que la imagen se mueva al oído derecho, por ejemplo, introduciendo un retardo de tiempo a la derecha del oído izquierdo o bien haciendo más intensa la señal del oído derecho.²⁰

Debido a diferentes experimentos psicoacústicos, la laterización se ha podido manejar modificando estos parámetros con ayuda de procesadores de señal, dando la sensación que la fuente se mueve de un oído a otro.

2.8. Breve historia del desarrollo de los sistemas de reproducción

El 21 de noviembre de 1877 el inventor francés Thomas Alva Edison creó el Fonógrafo: dispositivo mecánico, el cual permitía grabar y reproducir el sonido de manera monofónica. Este sistema funcionaba por medio de un transductor acústico mecánico que vibraba al captar las ondas sonoras. Estas ondas, movían un estilete que tallaba unas ranuras sobre un cilindro de cera sólida (al principio se usaban cilindros de carbón parafinado y/o cilindros de estaño.)²¹

En 1888 el alemán Emilio Berliner inventó el Gramófono el cual se volvió popular rápidamente y como mencionan Rumsey y Mc Cormick:

²⁰ Lorena Armenta Flores, *Diseño y construcción de una cabeza binaural*, 21.

²¹ Guillermo Picomell Pérez, *Evolución de los sistemas técnicos de reproducción musical* (Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015), 30-31.

Se trataba de un sistema que utilizaba una pequeña bocina terminada en un diafragma flexible y alargado. Este, a su vez, estaba unido a una aguja capaz de trazar un surco de profundidad variable sobre una lámina de hojalata maleable (...). Durante la reproducción las ondulaciones del surco hacían vibrar la aguja y el difragma, provocando que el aire dentro de la bocina se moviera en simpatía creando sonidos. El margen de frecuencias era limitado y el sonido tenía excesiva distorsión.²²

Ya que se grababa en un disco plano de una sola cara con un diámetro de 7 pulgadas, a partir de la matriz era posible replicar miles de copias fácilmente ayudando a que la industria musical empiece a crecer.

Con el pasar de los años y la implementación de transductores eléctricos-acústicos y viceversa se desarrolló el disco de vinilo el cual estaba hecho de goma laca proveniente de la secreción del escarabajo tropical de India y Malaya. Luego, encontraron la forma de hacer un sustituto de este material llegando a utilizar copolímero de cloruro de vinilo y acetato de vinilo siendo este, más resistente que los discos anteriores permitiendo realizar más surcos sobre él. Debido a las nuevas características de de estos discos, el tamaño de los surcos era mucho menor junto con la reducción del ruido de la superficie llegando a mejorar la relación señal/ruido y realzar la señal que se grababa. Por lo tanto, permitía a los ingenieros de sonido y productores grabar más información dentro del mismo tamaño del disco por medio de una reducción de velocidad mejorando la salida del sonido.²³

En el siglo XX, con el avance de la tecnología, la grabación musical tuvo un auge con la implementación de la cinta magnética (cinta de papel recubierta de óxido

²² Francis Rumsey y Tim Mc Cormick, *Introducción al Sonido y la Grabación*, 53.

²³ Guillermo Picomell Pérez, *Evolución de los sistemas técnicos de reproducción musical*, 35-36.

de metal) inventada por Fritz Pflüemer en 1928 y lanzada comercialmente por la compañía alemana AEG en 1934. El inconveniente con esta cinta era que tenía una limitada repuesta de frecuencia y sus grabaciones sonaban con mucha distorsión.

Seguidamente al pasar la Segunda Guerra mundial, se fabricó una versión mejorada de la cinta a cargo de la compañía 3M además de un dispositivo llamado Ampex creado por una compañía más pequeña en California.

Luego ocurre una de las renovadas y más importantes versiones de esta cinta como señala Guillermo Pérez:

La mejora más importante vendría de la mano de lo que se conoce como grabadores de cinta *polarizados con corriente alterna* (AC-biased), que trajeron consigo una buena calidad de sonido y la posibilidad de editar. Además estos modelos incluían ya plásticos en vez de papel, que se deterioraba menos y eran de manejo fácil.²⁴

Con esto, los editores y productores tenían la opción de cortar y editar con esta cinta ya sea en medio de las grabaciones (facilitando las sesiones de grabación sin tener que hacer una toma entera de la canción) o como medios de masterización.

Para 1963, la danesa Philips mejora la cinta magnética y da a conocer el casete compacto, el cual se convertiría en el nuevo estándar mundial para grabar y escuchar música. Luego Sony inventa el primer reproductor estéreo con auriculares llamado: Walkman (1979) el cual tenía una calidad aceptable con una pequeña señal del amplificador además que funcionaba con baterías. Después las empresas Phillips y Sony lanzan el disco compacto que tiene una excelente acogida por su fácil reproducción en varios dispositivos y por consiguiente Sony crea el Discman.²⁵

²⁴ Guillermo Picomell Pérez, *Evolución de los sistemas técnicos de reproducción musical*, 38.

²⁵ Guillermo Picomell Pérez, *Evolución de los sistemas técnicos de reproducción musical*, 75-76.

A finales del siglo XX, nace la grabación digital que se va convirtiendo con el tiempo en nuevos formatos físicos, como el CD, el DVD y el Blu-Ray. Todos ellos con cada vez mayor capacidad que el otro. Esta música se almacenaba codificada en ceros y unos.

Si queremos irnos adentrando en el sonido en tres dimensiones, es necesario revisar algunos puntos relevantes en la historia del cine para entender como este tipo de configuraciones de parlantes se codifican luego a una mezcla binaural.

En la industria del cine en las primeras décadas paralelamente se proyectaron películas mudas donde los productores cinematográficos enviaban una orquesta para combinarla en vivo a las imágenes de la película. Invención que permitió tener música y sonido ambiental mientras se reproducía la película obviando la interpretación en vivo de una orquesta. Fue “*Photokinema*” el sistema de sonido utilizado para cortos en 1921 el cual utilizaba un disco similar a los discos de vinilo, donde se grababa el audio y este tenía que ser reproducido durante la proyección. Dicha tecnología fue usada por primera vez en la película “La calle de los sueños”, de D. W. Griffith (director de cine estadounidense). Seguidamente en 1926 Fox realizó algo diferente lo cual consistía en grabar el sonido directamente en la película obteniendo una sincronización más precisa entre el audio y las imágenes. Esta nueva tecnología llamada *Movietone* fue usada por primera vez en la película “El precio de la gloria”.²⁶

En todo este lapso de la década de los años 20 y 30, todas las películas tenían sonido monofónico (reproducción de audio en un canal), para esto, algunos visionarios de la industria como Walt Disney quisieron aumentar la calidad del sonido para el cine implementando una banda sonora, interpretada por la Orquesta de Filadelfia, dentro de

²⁶ Juan Carlos López, «De uno a 64 altavoces: la evolución del sonido en el cine a lo largo de los años», *Azataka* (30 de septiembre. 2014), <https://www.xataka.com/audio/de-uno-a-64-altavoces-la-evolucion-del-sonido-en-el-cine-a-lo-largo-de-los-anos>.

la película “Fantasía”, llegando así a nacer el *Fantasound* que era un sistema de sonido estéreo hecho para esta película. El sonido se consiguió grabar en 8 pistas: 6 para distintas secciones de la orquesta, otra para la mezcla de estas 6 pistas y la última para toda la orquesta cuyo fin era captar la reverberación del entorno donde se grabó. Finalmente se mezclaron en 3 pistas ópticas sonoras de doble ancho para luego imprimirlas en una tira de 35 milímetros que se reproducía por separado en sincronía con la película.²⁷

En 1953 llegó *CinemaScope* quien creó el uso de cuatro canales de sonido: central, izquierdo, derecho y un canal de efectos envolventes todos almacenados en bandas magnéticas separados del rollo de película, pero más adelante acabó integrándose junto con la copia de la película. En 1954 se creó *Perspecta*, tecnología que consiguió simular sonido estéreo utilizando solo un canal monofónico enviando el audio de forma selectiva a los diferentes canales de sonido central, izquierdo o derecho. Después en 1974 nació *Sensurround*, con el fin de generar más tensión en los espectadores incrementando la presencia de las frecuencias bajas y como era de esperarse, fue un éxito en esta época cuando se lo aplicó a la película de Mark Robson: “Terremoto”.²⁸

Uno de los grandes avances dentro de la industria cinematográfica fue llevado a cabo por *Dolby Stereo* con la película *La guerra de las galaxias*, en la que resolvieron el problema de integrar las pistas de sonido en el rollo de película ya que su espacio era muy limitado, para lo que los ingenieros de Dolby lograron codificar cuatro canales de sonido (central, izquierdo, derecho y efectos traseros) en tan solo dos pistas por medio

²⁷ Asociación nacional de tiendas especialistas en audio y video, *Evolución del Sonido en el Cine*, (SUSTRAI), 5.

²⁸ Camera & light, «Un breve recorrido por la historia del sonido en el cine», *Revista técnica Cinematográfica* (20 de enero. 2014), <https://www.cameraandlightmag.com/noticias/un-breve-recorrido-por-la-historia-del-sonido-en-el-cine/1#>.

de un sistema óptico reemplazando al magnético. Debido a la experiencia adquirida durante la época del *Dolby Stereo*, crearon una tecnología de reducción de ruido que permitía mejorar la calidad de sonido de las películas de 70 mm dispuestas en pistas de audio magnéticas, logrando lanzar en 1978 *Dolby Stereo de 70 mm*, innovando con el sonido envolvente 5.1, como lo conocemos actualmente, que permitía crear una sensación de inmersión más fiel y superior a las otras tecnologías que se encontraban en el medio.²⁹

En el año 1990 las empresas *Kodak* y *Optical Radiation Corporation* crearon el sistema CDS (*Cinema Digital Sound*) consiguiendo codificar 5.1 canales utilizando tecnología digital, y permitir reducir el ruido de las pistas analógicas. Un año más tarde llegó *Dolby Digital* (Tecnología de compresión de audio AC-3), tecnología diseñada para optimizar de una mejor forma el espacio dispuesto dentro de los rollos de películas, permitiendo incluir una pista de sonido analógico de seguridad por si se tenía problemas al recuperar la información digital. *Dolby Digital* posee hasta un total de 6 canales de audio, con 5 canales de ancho de banda completa de 20Hz a 20kHz para sus altavoces además de un canal destinado para los sonidos de baja frecuencia.

Para el año 1993 aparecieron dos nuevas tecnologías de sonido: DTS que permitía almacenar el sonido multicanal digital (6 canales independientes de audio comprimidos en una sola señal) en un soporte óptico llamado CD-ROM necesario para poder sincronizar junto con las imágenes (código de tiempo) y SDDS (*Sony Dynamic Digital Sound*) que logró superar los 5.1 canales que se venía utilizando y diseñar esta tecnología para ocho canales de audio: cinco en la parte delantera, dos canales laterales

²⁹ Juan Carlos López, «De uno a 64 altavoces: la evolución del sonido en el cine a lo largo de los años», *Azataka*.

y uno exclusivo para la reproducción de frecuencias graves. Esta tecnología se encuentra dentro de los márgenes de las películas estándar de 35 mm.³⁰

En 1999 Dolby creó la tecnología *Digital Surround EX* que adicionaba a la configuración 5.1 (*Dolby Digital*) un canal trasero ayudando a mejorar más la inmersión de los espectadores dentro del espacio sonoro. La primera película que usó esta configuración fue “La amenaza fantasma” del primer capítulo de “La guerra de las galaxias”. La tecnología *Surround 7.1* en el año 2010 renovó con gran éxito el audio inmersivo logrando añadir dos canales independientes en la parte posterior de la sala dentro del sistema principal de sonido 5.1.

Galaxy Studios en colaboración con el fabricante de proyectores profesionales Barco dio a conocer el sistema “Auro 11.1”. Dicho sistema era similar al 5.1 ya conocido, pero este añadió cinco canales adicionales dispuestos en altura para conseguir sumergir a los espectadores de una forma más convincente en el sonido.

Seguidamente *Dolby Atmos* empezó a imponerse en el mercado de audio cinematográfico con su espectacular tecnología que permitía manejar hasta 128 pistas de audio (10 destinados para los “*Beds*” y 118 para pistas de objetos) más los metadatos de descripción espacial de audio asociadas, para configurar los datos de ubicación y automatización de los paneos, que se distribuirían en los cines para obtener una representación óptima y dinámica en los altavoces basados en las capacidades del teatro. *Dolby Atmos* posee el manejo de los llamados “*Beds*” que son sub-mezclas o *Stems* basados en canales destinados generalmente para ambientes (configuraciones en 5.1, 7.1 o 9.1 incluyendo arreglos de altavoces sobre cabeza) los cuales, en combinación con los “objetos” (sonidos puntuales con salida de hasta 64 altavoces), agregan mayor realismo dentro de la mezcla. Estos sistemas poseen sonidos que se originan sobre la

³⁰ Asociación nacional de tiendas especialistas en audio y video, *Evolución del Sonido en el Cine*, 8-13.

cabeza, sus procesadores mejoran la calidad de audio y la coincidencia de timbre y se tiene mayor control y resolución espacial al poder dirigir específicamente un objeto destinado a un solo altavoz de la sala.³¹

Si bien antes en el mundo del audio se reproducía el sonido de una manera monofónica, Alan Blumlein fue el que sugirió el uso de un “Sistema binaural” para diferenciar el sonido directo de las reflexiones creadas por las paredes de los recintos y darle una mayor direccionalidad al sonido emitido por la fuente sonora. En marzo de 1932, *Bell Laboratories* llevó a cabo la grabación de la Orquesta de Filadelfia mediante un sistema estereofónico, utilizando dos micrófonos conectados a dos agujas grabadoras dispuestas sobre la misma cara del disco en diferentes canales. Luego en 1933 *Bell Laboratories* lanzó al público una demostración de un sistema estereofónico de tres canales con la Orquesta de Filadelfia. Seguidamente, en 1940 se mostró de igual manera el sistema de tres canales para la reproducción de música grabada en tres pistas ópticas encima de una cinta de cinematografía. Adicionalmente, una cuarta pista anclada con una señal para la compresión del rango dinámico. En el año 1968, Peter Scheiber (músico estadounidense) inventó una fórmula matemática la cual permitía comprimir cuatro pistas análogas discretas y restaurarla a través de un decodificador de fases. Al cabo de todo este proceso y experimentación dio como resultado lo que hoy se denomina cuadrafonía. Entre las grabaciones más conocidas codificadas en un sistema cuadrafónico se encuentran: *The Dark Side of the Moon* y *Wish You Were Here* de Pink Floyd.³²

³¹ Dolby, *Dolby® Atmos® Next-Generation Audio for Cinema* (Dolby Laboratories, 2014), 4-8.

³² Victor Perales, «Antecedentes de los sistemas de sonido envolvente para la reproducción de música», *Wordpress* (oct. 2015), <https://victorperales.wordpress.com/tag/estereofonia/>.

2.9. Ambisonics

En la década de 1970, un grupo de investigadores británicos, bajo el auspicio de la British NRDC (*National Research and Development Centre*), desarrolló una nueva tecnología para el sonido envolvente de esfera completa llamado “Ambisonics”, la cual permitía manipular y reproducir el audio en sistemas de altavoces convencionales y de esta manera los oyentes puedan percibir los sonidos ubicados en un espacio tridimensional. Esto se puede realizar a lo largo de un escenario horizontal de 360 grados (sistemas pantofónicos) o a lo largo de una esfera completa (sistemas perifónicos). Su principal precursor fue Michael Gerzon quien dispuso un arreglo de cuatro parlantes (Lb-Lf-Rb-Rf) alrededor del oyente para así reproducir un sonido envolvente y causar una sensación *Surround*. La teoría matemática principal utilizada en Ambisonics es la teoría de los armónicos esféricos proveniente de la analogía de las series de Fourier donde se reconstruye una señal por medio de la suma de componentes individuales.

Luego M. Gerzon ideó un arreglo de 3 micrófonos cardioides coincidentes ubicándolos de tal manera que formen un ángulo de 120 grados entre sus cápsulas para así evitar problemas de fase debido su alta concordancia entre las mismas. Fue la empresa *Calrec Audio* la que desarrolló un micrófono llamado *Soundfield* que evolucionó su técnica de captura ya que constaba de 4 cápsulas cardioides que capturaban el sonido en un *A-Format* para luego ser codificadas a un *B-Format* el mismo que se usaba para decodificar la señal para ser usada en distintos arreglos de monitores.³³

En función del estudio de Ambisonics se pudo crear un nuevo formato a parte del B-Format: formato básico de Ambisonics conformado por las señales W, X, Y y Z,

³³ Jhosimar Andrés Aguacía, *Diego Armando Pardo y Carlos Andrés Lozano, Diseño de atmósferas tridimensionales utilizando Sistemas Ambisonics*, (Bogotá D.C.: Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, 2014), 23-24.

donde W es la salida de un micrófono de Omnidireccional y los canales X, Y y Z son la salida de micrófonos bidireccionales (figura 8) dispuestos en los ejes de un espacio tridimensional, con su cara positiva en dirección al frente, la izquierda y arriba respectivamente. El *B-Format* resulta de sumar y restar las señales provenientes de las cápsulas de los micrófonos por medio de un circuito llamado Módulo AB que usa una matriz lineal en el tiempo:

$$X = \frac{1}{2} (-Lb. + Lf + Rf - Rb)$$

$$W = \frac{1}{2} (Lb + Lf + Rf + Rb)$$

$$Y = \frac{1}{2} (Lb + Lf - Rf - Rb)$$

$$Z = \frac{1}{2} (-Lb + Lf - Rf + Rb)^{34}$$

Sistema de coordenadas del Formato B³⁵

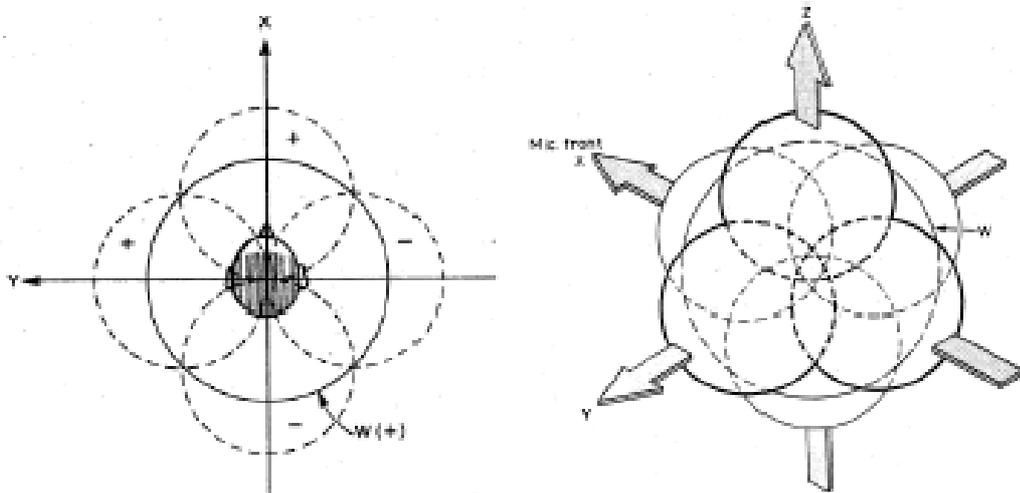


Figura 8

³⁴ Michael Gerzon, *Ambisonics. Part two: Studio techniques*, (Studio Sound, 1975), 3.

³⁵ Figura tomada de Ken Farrar, *SoundField Microphone*. (Wireless World, 1979), 48.

A partir de esta teoría y su aplicación al diseño sonoro es posible proponer un sistema de grabación y reproducción de un campo sonoro tomando como punto la descomposición en funciones armónicas esféricas de las ondas que la conforman.

Así como afirma Victor Perales:

Inferir que la resolución de dicho campo será tanta como el orden máximo de las armónicas esféricas que se puedan grabar y reproducir, y proponer que la grabación y la reproducción sean independientes una de la otra, de tal manera que el número de canales disponibles para ésta no limite la resolución de aquella.³⁶

Toda la información captada por estos canales simboliza una aproximación al campo sonoro envolvente los cuales dan alusión a sus armónicos esféricos.

Armónicos esféricos³⁷

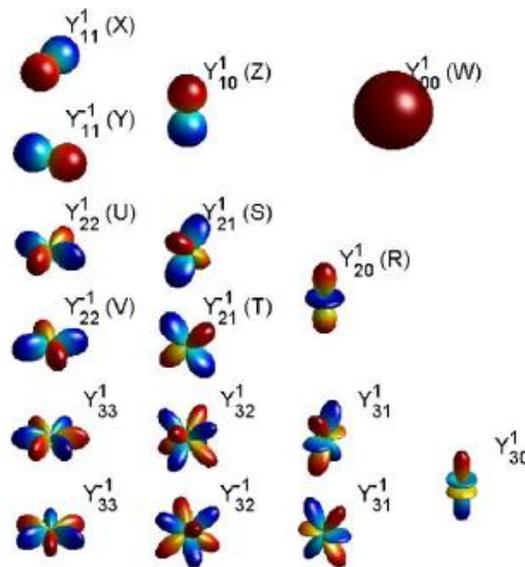


Figura 9

³⁶Victor Perales, «Ambisonics como alternativa de sonido inmersivo», *Wordpress* (nov. 2015), <https://victorperales.wordpress.com/2015/11/02/ambisonics-como-alternativa/>.

³⁷ Imagen tomada de Moreau, S., Daniel, J., & Nicol, R. *Further Investigations Of High Order Ambisonics And Wavefield Synthesis For Holophonic Sound Imaging*. (AES 114th Convention Amsterdam, 2003)

Aguacía, Pardo y Lozano comentan sobre la teoría de Ambisonics y sus armónicos que:

La cantidad de armónicos es lo que se conoce como orden en la teoría de Ambisonics, entendiendo como orden cero la función omnidireccional, el primer orden incluye el orden cero y las señales X, Y, Z, el segundo orden además de estos cuatro incluye otros cinco armónicos R, S, T, U y V, y así sucesivamente entre mayor sea el orden mayor será el número de armónicos. Dentro de los avances más notorios se encuentran las codificaciones fuentes puntuales, dando muy buenos resultados en la localización de la fuente.³⁸

Se puede expandir el sistema a órdenes superiores de armónicas esféricas para sistemas perifónicos de segundo y tercer orden. Es por eso que Ambisonics de orden “n” puede reproducir un ambiente sonoro con tanta precisión como canales haya disponibles para definirlo.

En 1980, Hugo Zucarelli, un científico argentino creó la holofonía gracias a su curiosidad por descubrir cómo reacciona el oído a las distintas fuentes sonoras que se encuentran dentro de un entorno. Se dio cuenta que todavía no se había investigado sobre el oído interno y mediante diferentes pruebas logró crear un micrófono (Micrófono holofónico monoaural) que captara de forma fiel lo que el oído humano percibe y poderlo reproducir en un sistema tridimensional.

Zucarelli menciona dentro de su hipótesis que la holofonía se diferencia de la técnica de *Head-related transfer function* (HRTF) en que esta última trata de representar mediante el procesamiento de la señal agregando retardos interaurales y

³⁸ Jhosimar Andrés Aguacía, Diego Armando Pardo y Carlos Andrés Lozano, *Diseño de atmósferas tridimensionales utilizando Sistemas Ambisonics*, 26-27.

diferencias espectrales entre los dos canales, lo que la holofonía registra de una manera más puntual y directa.

Llegué a la conclusión de que el oído humano podía emitir sonidos y que esa era la clave de su localización en el espacio. Me propuse fabricar un tímpano artificial, y lo logré en 1980.³⁹

La industria que maneja la realidad virtual ha adoptado Ambisonics como una tecnología estándar para brindar audio en 3D junto con juegos, videos y experiencias de realidad virtual. La mayoría de veces el usuario generalmente escucha esto mediante auriculares por lo que se creó una nueva tecnología de audio binaural llamada el “*UHF Format*” la cual permite que la mayoría de información horizontal de las señales W, X y Y del *B-Format* se codifiquen en una matriz para crear una señal estéreo.⁴⁰

En la actualidad, Facebook se ha adentrado en el mundo del audio 360 y ha desarrollado un paquete de plugins (*FB360 Spatial Workstation*) para trabajar el audio 360; entre ellos está el Spatialiser el cual con ayuda de un DAW (*Digital Audio Workstation*) puede recrear un ambiente sonoro completamente inmersivo con tan solo usar auriculares. Esta conversión binaural decodifica los canales Ambisonics para cierta cantidad de parlantes de una matriz, para después enviarlo a altavoces reales, estos canales se envían a un procesador binaural quien los ubica en la dirección en la que el hablante real los habría transmitido para que así finalmente el oyente pueda experimentar mediante audífonos un campo de sonido esférico inmersivo.⁴¹

³⁹David Pérez, «El inventor olvidado que pudo cambiar la historia de la música con la holofonía», El Confidencial (1 Enero, 2014) https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-01-15/el-inventor-olvidado-que-pudo-cambiar-la-historia-de-la-musica-con-la-holofonia_76168/.

⁴⁰ Victor Perales, «Ambisonics como alternativa de sonido inmersivo», *Wordpress* (nov. 2015), <https://victorperales.wordpress.com/2015/11/02/ambisonics-como-alternativa/>.

⁴¹ Maitane Vicuña Zubiria, *Diseño, grabación y reproducción de paisajes sonoros mediante Ambisonics*. (Pamplona: Universidad Pública de Navarra, 2018), 14-15.

Otro acontecimiento importante fue los llamados *Silent Events* los cuales empezaron a salir a la luz gracias a una película finlandesa de ciencia ficción *Ruusujen Aika*⁴². En esta película fue la primera ocasión donde se observó a un grupo de personas usando auriculares y bailando mientras escuchaban música, todo esto para evitar y minimizar la contaminación acústica.⁴³ En mayo del año 2000, la BBC *Live Music* realizó un concierto silencioso en el *Chapter Arts Centre* de Cardiff, donde el público escuchó por auriculares a un grupo llamado *Rocketgoldstar* y también a varios Dj. Esta fue la primera vez en la que la audiencia asistió y disfrutó de un evento así en la que se utilizó esta tecnología de los eventos silenciosos.⁴⁴

Sin embargo como señala Esther Redondo para Radio Madrid en su artículo:

Suena a nuevo pero lo cierto es que este innovador sistema ya se impuso en los años 80 "Lo que entendemos por conciertos silenciosos empezó en el año 2005. Sin embargo, el movimiento como tal se inició mucho antes. Todo comenzó en los 80 con la utilización de los walkman. La gente de forma espontánea se reunía para escuchar música con sus auriculares propios", explica Kyron Russ, responsable de la empresa británica 'Silent Arena'.⁴⁵

A partir de estos eventos se empezaron a crear discotecas silenciosas usando este mismo método, en el que el público, baila mientras escucha música a través de

⁴² En español: *El tiempo de las rosas*

⁴³ Risto Jarva, «*Ruusujen Aika*», película rodada en 1969, video en YouTube, 1:11:20. Acceso el 10 de junio de 2019. https://www.youtube.com/watch?v=_VIXdNGshWg

⁴⁴ BBC, «BBC Music Live events unfold», *BBC News* (may. 2000), http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/wales/764290.stm.

⁴⁵ Esther Redond, «El Orgullo Gay tendrá conciertos en Chueca con auriculares».

auriculares inalámbricos, además de poder seleccionar uno de entre 2 a 3 canales diferentes de reproducción de música a cargo de los Dj.⁴⁶

En cuanto a referencias de conciertos silenciosos que han sido relevantes tenemos:

La banda de rock Metallica, ofreció en el año 2013 un concierto silencioso para un reducido público en la Antártida ubicado en el helipuerto de la Base Carlini, concierto que se realizó dentro de una carpa transparente cuyas medidas eran de quince metros de diámetro y una altura de 6,6 metros, más dos carpas pequeñas que estas fueron utilizadas para los equipos de audio, video y staff. Por su estructura esférica especial, los asistentes al concierto pudieron soportar vientos y acumulaciones de nieve. Para llevar a cabo el show obtuvieron la energía por medio de paneles solares y el concierto fue transmitido a través de auriculares inalámbricos sin amplificación de instrumentos para preservar el medio ambiente y fauna del lugar.⁴⁷

Por otro lado, tenemos al Museo de Historia Natural situado en Santiago de Chile, "Kuervos del Sur", un grupo de rock que brindó un concierto durante una hora para un aproximado de casi cien personas, los visitantes quedaron sorprendidos al presenciar el concierto silencioso en donde el público disfrutó del show por medio de audífonos inalámbricos dispuestos para cada uno de ellos.⁴⁸

En la explanada del centroparque Parque Araucano localizado en Chile, participaron dos bandas musicales formando parte del evento *Life Concert*, un concierto silencioso, donde los asistentes debían descargar la aplicación que fue creada por los

⁴⁶ El Universo, «La tendencia de discotecas silenciosas gana espacio», *The New York Times*, (jul. 2015), <https://www.eluniverso.com/vida-estilo/2015/07/12/nota/5012686/tendencia-discotecas-silenciosas-gana-espacio>.

⁴⁷ Coca-Cola, «Coca-Cola Zero lo hizo posible: Música Zero presentó Metallica en la Antártida», *Coca-Cola Journey* (dic. 2013), <https://www.coca-colamexico.com.mx/sala-de-prensa/Comunicados/coca-cola-zero-lo-hizo-posible-m-sica-zero-present-metallica-en-la-ant-rtida>.

⁴⁸ Patricia López Rosell, «Los conciertos "silenciosos" llevan la música a los edificios públicos de Chile», *Agencias EFE* (11 de mayo. 2019).

organizadores para iPhone y Android y así la música sea ejecutada por medio de audífonos inalámbricos puestos y no por los tradicionales parlantes.⁴⁹

2.10. Códecs para audio digital

El término códec viene de las iniciales de las palabras: Codificador y Decodificador y consiste en llevar a un tipo de lenguaje digital, el cual necesita tener el mismo decodificador que sepa analizar dicho lenguaje para poder leer la información. El códec después del muestreo y de la cuantización de los datos coge todos estos ceros y unos y los lleva a un lenguaje, mientras que el decodificador transduce este lenguaje para hacer posible su reproducción.

En cuanto a códecs de audio; conllevan un conjunto de algoritmos que permiten codificar y decodificar la información digital para disminuir la cantidad de bits que ocupa el fichero de audio. Estos códecs sirven para comprimir los ficheros de audio con un flujo de datos, con el fin de ocupar el menor espacio posible sin perder tanto la calidad del archivo, y descomprimiendo para ser reproducidos o usados en un formato más acorde a la necesidad del usuario.

2.11. DAW, *Software* y *Plugins*

2.11.1. *Reaper*

Reaper es un *software* completo usado para producción de audio digital para computadoras, el cual proporciona múltiples herramientas de grabación, edición, procesamiento, mezcla y masterización de audio y multipista de varios canales. Esta herramienta es compatible con una gran infinidad de *hardware*, formatos digitales y *plugins*, además que permite ampliar, crear *scripts* y editarlos de una manera eficiente.

⁴⁹ LA TERCERA, «Los Tres y Los Jaivas darán conciertos silenciosos en Parque Araucano», *LT finde.*, (may. 2019), <http://finde.latercera.com/panorama/life-concert-los-tres-los-jaivas/2019-05-05/>.

Este DAW posee gran flexibilidad y estabilidad para el procesamiento de audio digital, así como también estudios comerciales y domésticos, transmisión, ciencia e investigación, educación, diseño de sonido, desarrollo de juegos y mucho más.⁵⁰

Dentro de sus características principales encontramos el potente enrutamiento de audio y MIDI con soporte multicanal en todo, soporte completo de *hardware* y *software* MIDI, automatización, modulación agrupación, envolvente, *scripting* VCA, superficies de control, *skins* personalizados, diseños y OSC. Se puede procesar el audio interno en 64 bits, además de importar, grabar y renderizar en diferentes formatos de medios a casi cualquier profundidad de bits y frecuencia de muestreo. Es compatible con diversos efectos de *plugins* e instrumentos virtuales, incluidos VST, VST3, AU, DX y JS.⁵¹

2.11.2. Max/MSP

Max/Msp es un *software* de desarrollo gráfico hecho para la creación de música y multimedia mediante la programación permitiendo controlar audio y video digital en tiempo real además de permitir la conectividad con controladores MIDI, proyectos de video, placas Arduino, sintetizadores, etc.

Este *software* utiliza una plataforma enfocada en la visualización y organización de cuadros con objetos donde se escribe la acción que se desea realizar. Se divide en 3 partes fundamentales: Max el cual se encarga de realizar las operaciones de cálculo y MIDI, MSP procesa el audio y las señales programadas dentro del *software* y Jitter que permite manipular gráficos y videos.⁵²

En la página de internet de Max/MSP mencionan que:

Max es un lenguaje de programación visual para las necesidades especializadas de artistas, educadores e investigadores que trabajan con

⁵⁰ Reaper, 2019, <https://www.reaper.fm/>.

⁵¹ Reaper, *Up and Running A REAPER User Guide v 5.979*, (Version 5.979: junio. 2019)

⁵² Musiki, «Max/MSP», *cc3 musiki 2016*, (jun. 2019), <http://musiki.org.ar/Max/Msp>.

audio, medios visuales y computación física. Es el único software que te permite hacer todo esto. Crear un instrumento de placas de cobre. Usar un teléfono para controlar un algoritmo de síntesis cruzada. Utilice un Arduino para crear una trompeta wah-wah. Interactúa con el sonido mediante el control de gestos.⁵³

Por las características que posee este programa muchos músicos que hacen canciones electrónicas optan por el uso de Max además de ser utilizado para video, videojuegos, obras interactivas investigaciones, etc.

Para poder llevar a cabo el concierto se necesitó de algunos *plugins* del paquete de *Facebook 360 Spatial Workstation* como:

2.11.3. FB360 Spatialiser

Captura de pantalla VST: FB360 Spatialiser

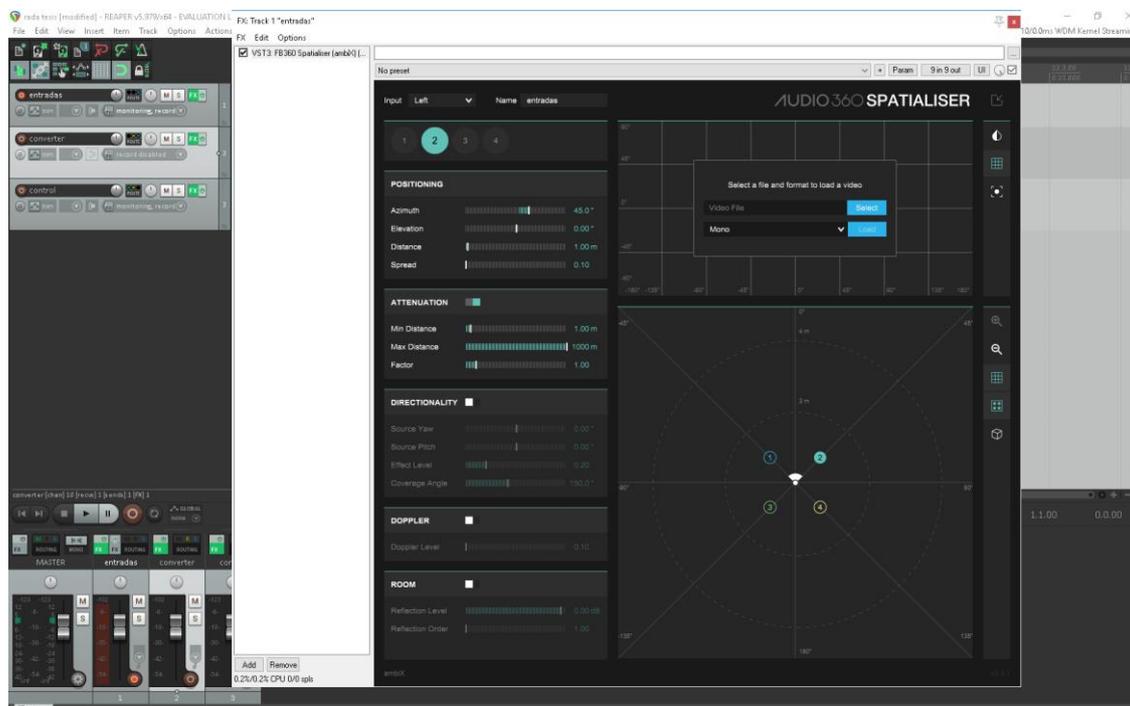


Figura 7

⁵³ Max/MSP, Cycling '74, San Francisco, <https://cycling74.com/>.

Este *plugin* no es como otros *plugins* convencionales sino que éste nos ayuda a tener una ubicación completa de la imagen estéreo en tres dimensiones, además que posee parámetros de atenuación y modelado de ambientes. Para el correcto funcionamiento de este *plugin* se deberá usar como último complemento dentro del canal de audio. Cualquier otro procesamiento como ecualización y compresión, deberá usarse antes.

Todos los canales que posean este *plugin* agregado deberán enviarse por medio de un canal auxiliar el cual tenga el *plugin* Control FB360.

Dentro de los parámetros más relevantes que tiene este *plugin* tenemos:

- Azimut: permite ubicar el sonido en el plano horizontal. 0 grados es cuando la fuente de sonido está directamente en frente del oyente, 90 grados es a la derecha, - 90 grados es a la izquierda y +/- 180 grados es detrás.
- Elevación: se refiere a la posición del sonido en el plano vertical. 0 grados es cuando la fuente está frente al oyente, 90 grados es arriba o sobre la cabeza del oyente y -90 es debajo.
- Distancia: con este parámetro se puede ubicar en metros la fuente de sonido desde el oyente. Los parámetros de modelado de la habitación y de atenuación de la distancia se ven afectados por este valor.⁵⁴

⁵⁴ Facebook 360 Spatial Workstation user guide, 2018. Edición en PDF, 6-7.

2.11.4. FB360 Converter

Captura de pantalla VST: FB360 Converter

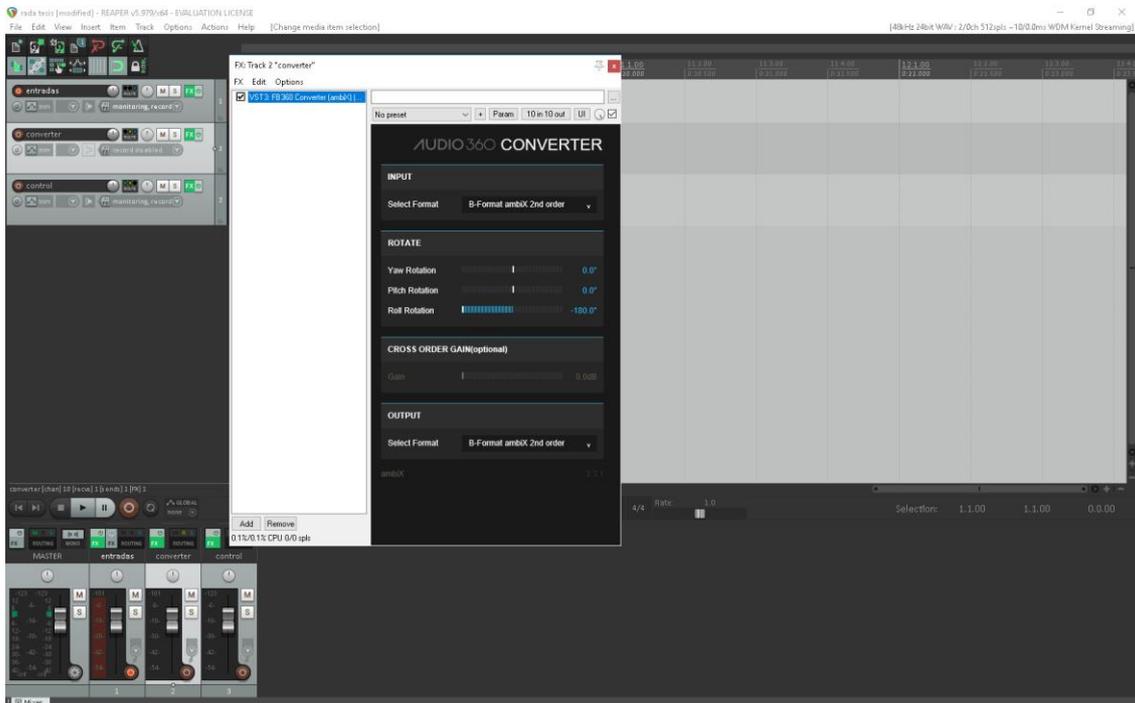


Figura 8

El *plugin Converter* es un procesador muy útil y fácil de manejar el cual se deberá insertar entre el FB360 *Spatialiser* y el FB360 *Control* permitiendo la rotación en 360 grados de la salida del FB360 *Spatialiser*.

El formato de entrada de este *plugin* se puede escoger entre el Formato B ambiX de segundo orden y el de 8 canales de *Spatial Workstation*. El formato de salida puede configurarse en Binaural, B-Format ambiX (1er. orden), *Spatial Workstation 8 channel* (si la entrada también es *Spatial Workstation 8 channel*), B-Format ambiX (2do. orden), B-Format ambiX (3er. orden). La salida de audio rotará acorde al número de grados que se escoja.

Se puede ubicar este *plugin* en cualquier lugar de la cadena de señal o en combinación de ellos:

En un track después del *plugin FB360 Spatialiser* para rotar las fuentes contenidas en esta pista, como por ejemplo: rotar una mezcla completa en 5.1 sin tener que automatizar cada fuente del altavoz por separado.

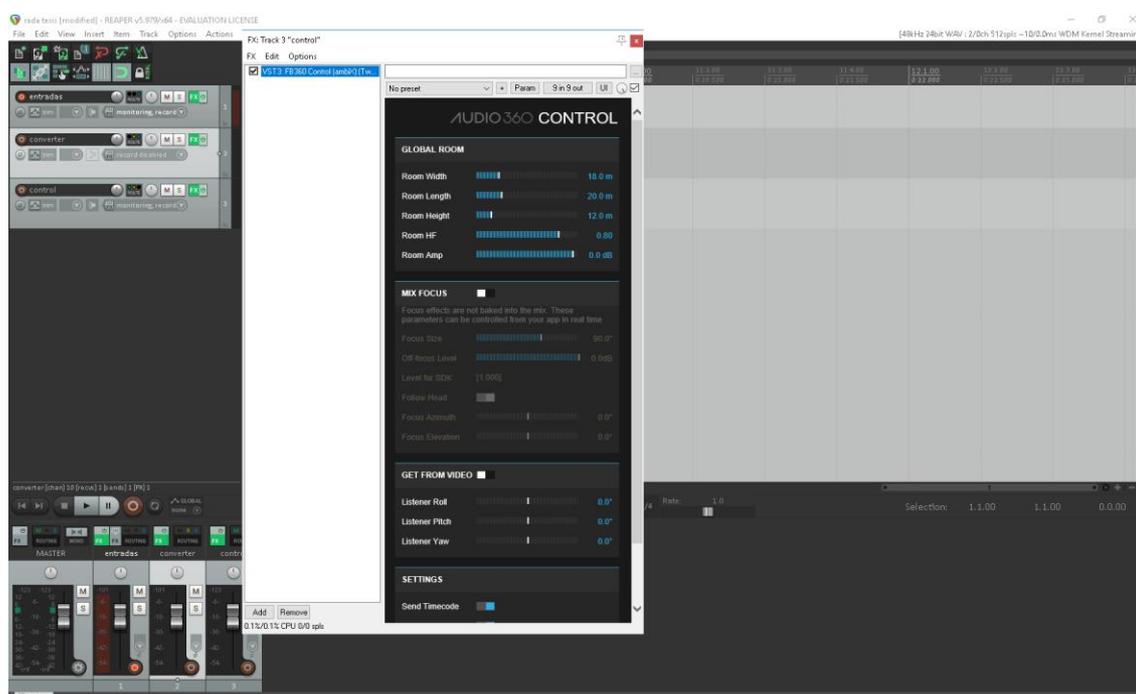
En un bus de segundo orden Ambisonics de 9 o 10 canales que recibe la salida de varios tracks con el *plugin FB360 Spatialiser*. Esto ayudaría a girar la mezcla espacial para todas estas pistas.

En la misma pista con el *plugin FB360 Control* (debe estar ubicado antes del *plugin FB360 Control*) para girar la mezcla espacial completa y transmita el audio espacial al *plugin Control*.

El *plugin FB360 Converter* también puede ser usado para convertir una mezcla de *Spatial Workstation 8 channel* a *B-Format ambiX* (2do orden). Esto es útil para cuando se desee incluir *stems* de audio espaciales mezclados con una versión anterior de *Spatial Workstation*.⁵⁵

2.11.5. FB360 Control

Captura de pantalla VST: FB360 Control



⁵⁵ Facebook 360 Spatial Workstation user guide, 2018. Edición en PDF, 9.

Figura 9

Este *plugin* debe usarse por medio de un canal auxiliar que reciba el audio de todos los canales espacializados dentro del proyecto. Todo procesamiento como masterización, compresión o ecualización debe aplicarse a la señal antes que llegue a este *plugin*. *FB360 Control* permite controlar globalmente el tamaño de la sala, sin embargo las reflexiones de modelado de sala son mezcladas con la salida de segundo orden Ambisonics (ambiX) y por lo tanto, existe una mezcla de exportación junto con cualquier otro efecto aplicado antes del *plugin Spatialiser*. Los controles de enfoque y orientación del oyente se proporcionan para mezclar y previsualizar el audio y no se aplican a la mezcla de exportación del audio espacial. El enfoque y la orientación del oyente se aplican en tiempo real durante la reproducción del video.⁵⁶

3. Desarrollo del concierto silencioso “Guayaquil silente”

Dentro de esta sección encontraremos puntos claves para el montaje y realización de nuestro concierto silencioso usando los equipos de la Universidad de las Artes y tomando como referencia el manual anexo adicional a nuestro objeto de estudio.

3.1. Listado de equipos

Para la realización de este concierto silencioso se deberá contar con el siguiente listado de equipamiento:

⁵⁶ Facebook 360 Spatial Workstation user guide, 2018. Edición en PDF, 10.

LISTADO DE EQUIPOS PARA CONCIERTO SILENCIOSO		
CANTIDAD	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
1	Conosola digital YAMAHA QL1	
1	Yamaha Rio 1608-D Dante I/O	
1	Laptop	Mínimo 1GHz del procesador, 512Mbyte de RAM
2	Amplificadores de audífonos BEHRINGER HA8000	Para 8 audífonos por amplificador
2	Amplificadores de audífonos BEHRINGER P1	
1	Amplificador de audífonos	Para 4 audífonos
2	Micrófonos SHURE SM81	Público
20	Audífonos SHURE SRH440	
10	Extensiones de audífonos	Preferible de 3m mínimo
5	Cajas directas	
1	Controlador MIDI	Mínimo con 9 knobs y 4 faders
2	Cables Ethernet (RJ45)	1 de 15m y otro de 1m
20	Cables XLR	
5	Cables TS	
6	Adaptadores de XLR hembra a TRS macho	
3	Pedestales con boom para micrófono	
1	Adaptador de audífonos de 1 a dos salidas estéreo	
8	Extensiones eléctricas	2 de 10m y 6 de 5m
3	Regletas eléctricas de 6 tomas	
1	UPS	
4	Cables de poder	
1	Consola DMX (Iluminación)	
4	Tachos LED	
3	Mesas	Mínimo de 1.5m x 0.50m
3	Atriles	Robustos capaces de estabilizar y soportar cada amplificador de audífonos
23	Sillas	

3.2. Listado de entradas

INPUT LIST “Guayaquil Silente”			
Canal	Instrumento	Micrófono / DI.	Envíos
1	Salida 1 interfaz	DI.	Mix bus 1
2	Salida 2 interfaz	DI.	Mix bus 2
3	Salida 3 interfaz	DI.	Mix bus 3
4	Salida 4 interfaz	DI.	Mix bus 4
5	Guitarra electroacústica	DI.	Mix bus 5
6	Presentador	SHURE Sm58	ST
7	Público L	SHURE Sm 81	ST
8	Público R	SHURE Sm 81	ST

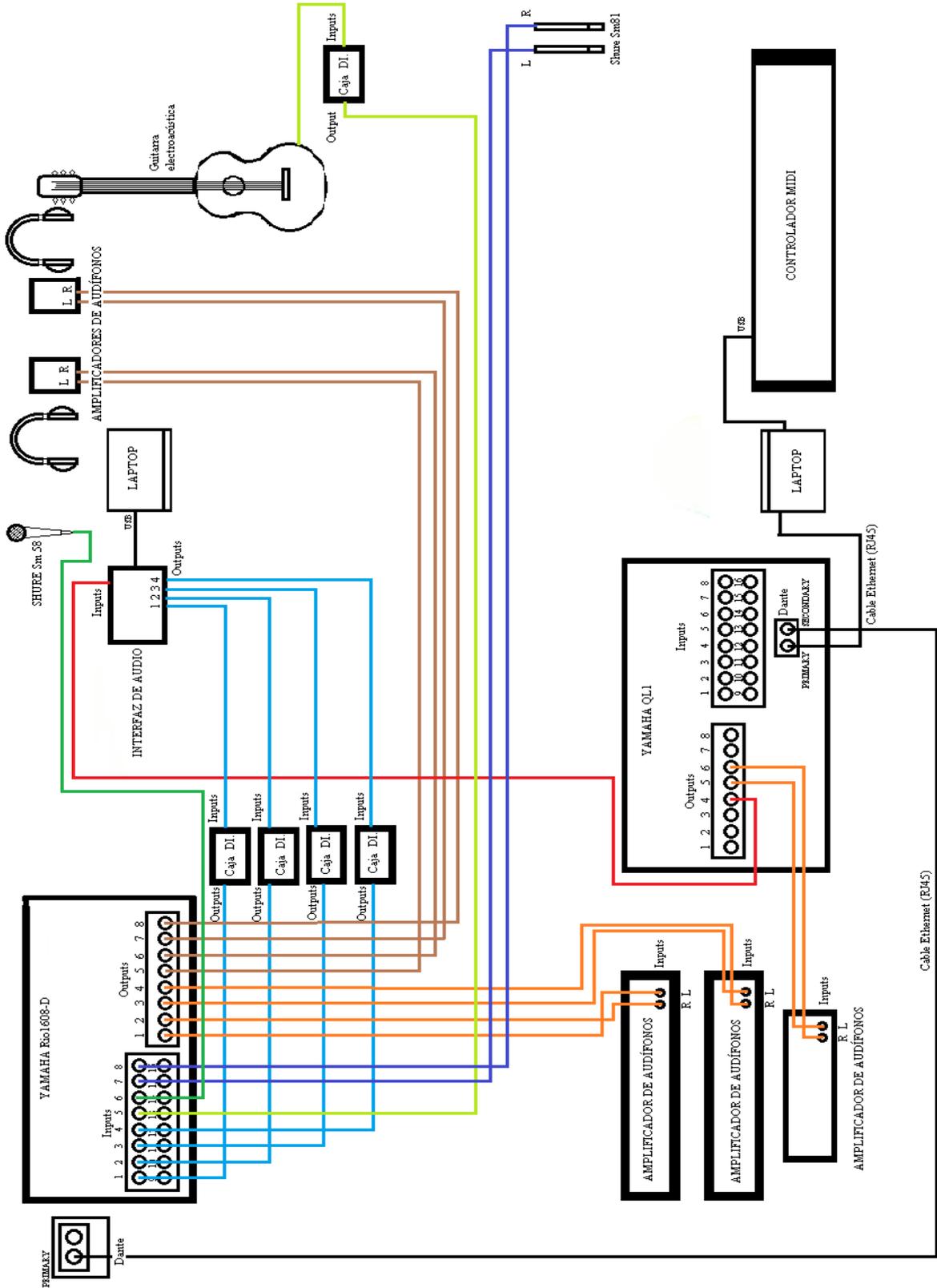
3.3. Listado de salidas

OUTPUTS		
Salidas	Descripción	Observaciones
Dante 1	Matrix 1	Envío ST L (Amp. Audífonos 1)
Dante 2	Matrix 2	Envío ST R (Amp. Audífonos 1)
Dante 3	Matrix 3	Envío ST L (Amp. Audífonos 2)
Dante 4	Matrix 4	Envío ST R (Amp. Audífonos 2)
Dante 5	Matrix 5	Envío ST L (Bodypack Adina)
Dante 6	Matrix 6	Envío ST R (Bodypack Adina)
Dante 7	ST L	Bodypack Rubén (Guitarrista)
Dante 8	ST R	Bodypack Rubén (Guitarrista)
Omni 1		
Omni 2		
Omni 3		
Omni 4	Retorno Guitarra Rubén	Procesado por interfaz de Adina
Omni 5	Matrix 7	Envío ST L (Amp. Audífonos 3)
Omni 6	Matrix 8	Envío ST R (Amp. Audífonos 3)
Omni 7		
Omni 8		

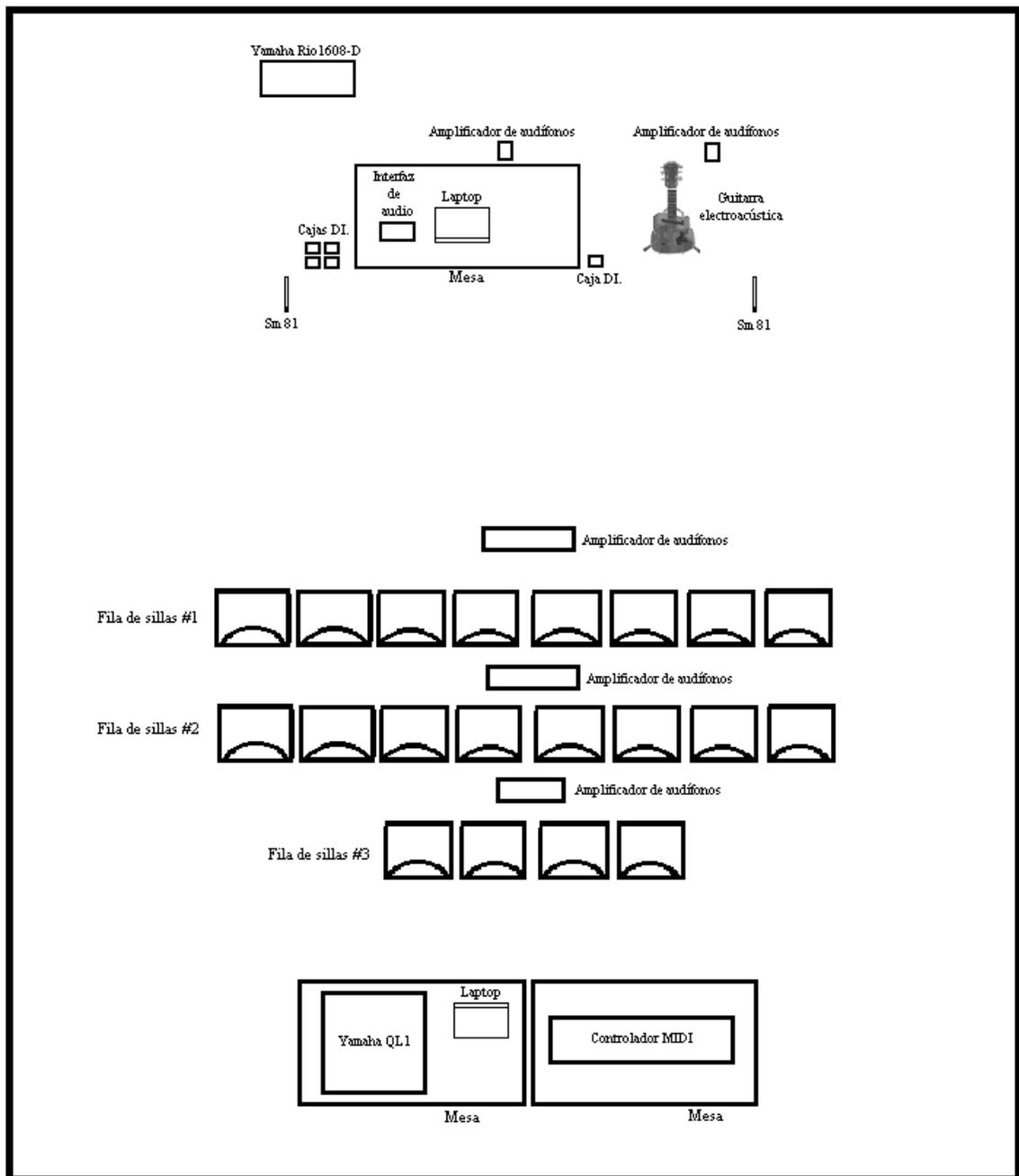
3.4. Mezclas

MEZCLAS		
Mix	Descripción	Observaciones
1	Canal 1 de inmersión	Post fader
2	Canal 2 de inmersión	Post fader
3	Canal 3 de inmersión	Post fader
4	Canal 4 de inmersión	Post fader
5	Canal GTR de inmersión	Post fader

3.5. Flujo de señal



3.6. Montaje / Diagrama de escenario



3.7. Repertorio “Guayaquil Silente”

1. John Downland, remix
2. Desde una ventana con loros
3. Guinguirigongo
4. Summer time, remix de Gershwin

4. Resultados

Acorde a las pruebas realizadas junto con la realización del concierto silencioso, pudimos obtener dos manuales con los que se describe como realizar el montaje, conexiones y enrutamiento de las señales para un sistema de audio inmersivo con una mezcla binaural en 3 dimensiones. Además, encontraremos las encuestas que se realizaron a cada uno de los asistentes al finalizar el evento.

4.1. Manual de implementación de sistema de audio inmersivo para concierto silencioso

Revisar en los Anexos

4.2. Manual de implementación de sistema de audio inmersivo para concierto silencioso en la Universidad de las Artes

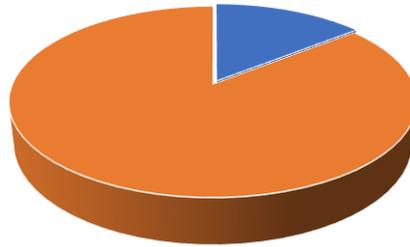
Revisar en los Anexos

4.2. Encuestas realizadas a cada uno de los asistentes al concierto

Revisar en los Anexos

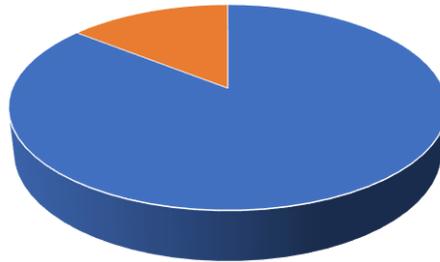
4.2.1. Datos estadísticos sobre las encuestas

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso o escuchó hablar de él?



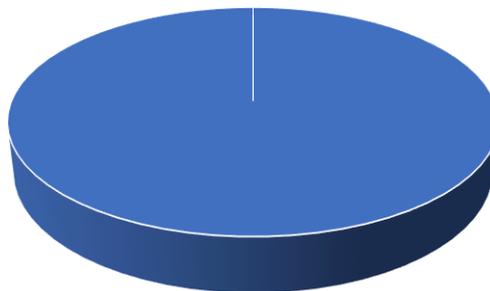
■ SI ■ NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?



■ Inmersión completa ■ No se percibía la espacialidad del campo sonoro ■ Nula

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?



■ SI ■ NO

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones:

- Acorde a las pruebas que realizamos durante todo el periodo de preparación del presente proyecto, obtuvimos un satisfactorio resultado logrando crear un ambiente inmersivo en 3D a través de audífonos donde los espectadores de nuestro concierto silencioso pudieron notarlo sin problemas.
- La mezcla creada con ayuda del paquete de plugins de *Spatial Workstation* de Facebook fue realizada por medio de 4 canales provenientes de los docentes de la Universidad de las Artes. En estos canales también pudimos manejar la espacialidad en el campo estéreo durante la presentación totalmente en vivo de manera que se pudo experimentar junto con las improvisaciones de los músicos en escena haciéndonos parte del show en determinadas ocasiones.
- El documento de implementación creado con este proyecto técnico podrá ser utilizado como archivo guía para futuros conciertos en los que se quiera obtener los mismos resultados de inmersión.
- En adición al manual de implementación, se creó otro manual anexo que describe el proceso de implementación para un concierto silencioso usando los equipos de la Universidad de las Artes

5.2. Recomendaciones

- Ajustar la ganancia adecuada dejando un *headroom* de -6 dB para que así se pueda manejar la dinámica dentro de la mezcla.
- Cuidar el nivel de mezcla del público ya que en las partes en las que existe mayor intensidad de volumen puede ser molesto para los oídos del público.

- Recordar que cuando se está usando el *Spatialiser* y se dirige al centro de la mezcla, el nivel de ganancia sube considerablemente llegando a saturar la señal si no se la controla adecuadamente.
- Si se usan sistemas de monitoreo alámbrico tratar de esconder los cables y extensiones de audífonos que están cercanos al público para evitar accidentes o daño de los auriculares. Si se tiene la posibilidad de contar con sistemas inalámbricos para audífonos, sería lo más recomendable.
- Usar un controlador MIDI que tenga mayor sensibilidad en el *Velocity* ya que con esto se logra tener un mejor control sobre los parámetros previamente enlazados al plugin.

6. Bibliografía

- Andersen, Asbjorn. «Bienvenido al maravilloso mundo de Ambisonics: una introducción de John Leonard». *A Sound Effect* (7 enero. 2016) <https://www.asoundeffect.com/ambisonics-primer/>.
- Aguacía, Jhosimar Andrés. Diego Armando Pardo y Carlos Andrés Lozano. *Diseño de atmósferas sonoras tridimensional utilizando Ambisonics*. Bogotá: Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, 2014.
- Armenta Flores, Lorena. *Diseño y construcción de una cabeza binaural*. México D.F.: Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2011.
- Audinate. *Dante Controller User Guide*, (dic. 2018).
- BBC. «BBC Music Live events unfold», *BBC News* (may. 2000). http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/wales/764290.stm.
- Camera & light. «Un breve recorrido por la historia del sonido en el cine». *Revista técnica Cinematográfica* (20 de enero. 2014). <https://www.cameraandlightmag.com/noticias/un-breve-recorrido-por-la-historia-del-sonido-en-el-cine/1#>.
- Coca-Cola. «Coca-Cola Zero lo hizo posible: Música Zero presentó Metallica en la Antártida». *Coca-Cola Journey* (dic. 2013). <https://www.coca-colamexico.com.mx/sala-de-prensa/Comunicados/coca-cola-zero-lo-hizo-posible-m-sica-zero-present-metallica-en-la-ant-rtida>.
- Dolby, *Dolby® Atmos® Next-Generation Audio for Cinema*. Dolby Laboratories, 2014.
- El Universo. «La tendencia de discotecas silenciosas gana espacio». *The New York Times*, (jul. 2015). <https://www.eluniverso.com/vida-estilo/2015/07/12/nota/5012686/tendencia-discotecas-silenciosas-gana-espacio>.

FACEBOOK 360, *Spatial Workstation Guide, Release 3.1.1* Mar 09, 2018. Edición en PDF.

García Riber, Adrián. *Técnica de control de sonido en directo*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA, 2017.

<https://books.google.com.ec/books?id=zOKMDgAAQBAJ&lpg=PA12&dq=curvas%20isof%C3%B3nicas%20de%20fletcher%20y%20munson&pg=PA12#v=onepag e&q& f=false>.

Gerzon, Michael. *Ambisonics. Part two: Studio techniques*, Studio Sound, 1975.

Jarva, Risto. «*Ruusujen Aika*». Película rodada en 1969. Video en YouTube, 1:11:20. Acceso el 10 de junio de 2019.

https://www.youtube.com/watch?v=_VIXdNGshWg.

LA TERCERA. «Los Tres y Los Jaivas darán conciertos silenciosos en Parque Araucano». *LT finde..* (may 2019). <http://finde.latercera.com/panorama/life-concert-los-tres-los-jaivas/2019-05-05/>.

Linares, J. *Acústica Arquitectónica*. México: Editorial LIMUSA, 2007

López, Juan Carlos. «De uno a 64 altavoces: la evolución del sonido en el cine a lo largo de los años». *Azataka* (30 de septiembre. 2014). <https://www.xataka.com/audio/de-uno-a-64-altavoces-la-evolucion-del-sonido-en-el-cine-a-lo-largo-de-los-anos>.

López Rosell, Patricia. «Los conciertos “silenciosos” llevan la música a los edificios públicos de Chile», *Agencias EFE* (11 de mayo. 2019). <https://www.efe.com/efe/america/cultura/los-conciertos-silenciosos-llevan-la-musica-a-edificios-publicos-de-chile/20000009-3973708#>.

Max/MSP. *Cycling '74*. San Francisco. <https://cycling74.com/>.

Musiki, «Max/MSP», *cc3 musiki 2016*, (jun. 2019), <http://musiki.org.ar/Max/Msp>.

- McCarthy, Bob. *Sistemas de Sonido: Diseño y Optimización*. Editorial Alvalena, 2009.
- Mc Cormick, Tim y Francis Rumsey. *Introducción al Sonido y la Grabación*. IORTV.
- Moreau, S., Daniel, J., & Nicol, R. *Further Investigations Of High Order Ambisonics And Wavefield Synthesis For Holophonic Sound Imaging*. AES 114th Convention Amsterdam, 2003.
- Perales, Victor. «Ambisonics como alternativa de sonido inmersivo», Wordpress (nov. 2015). <https://victorperales.wordpress.com/2015/11/02/ambisonics-como-alternativa/>.
- Perales, Victor. «Antecedentes de los sistemas de sonido envolvente para la reproducción de música». *Wordpress* (oct. 2015). <https://victorperales.wordpress.com/tag/estereofonia/>.
- Perez, David. «El inventor olvidado que pudo cambiar la historia de la música con la Holofonía», *El Confidencial* (1 de enero, 2014) https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-01-15/el-inventor-olvidado-que-pudo-cambiar-la-historia-de-la-musica-con-la-holofonia_76168/
- Pulkki, Ville. y Matti Karjalainen. *Communication acoustics: An introduction to speech audio and psychoacoustics*, Finland: Aalto University, 2015. ProQuest Ebook central. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uartes-ebooks/reader.action?docID=1840832&query=ambisonics>
- Quintero Higuera, Sebastián. *Síntesis binaural dinámica para posicionamiento de fuentes sonoras en tiempo real*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Xaveriana, 2018
- Reaper. 2019, <https://www.reaper.fm/>.
- Reaper, *Up and Running A REAPER User Guide v 5.979*, Version 5.979: 2019.

- Redondo, Esther. «El Orgullo Gay tendrá conciertos en Chueca con auriculares». *Radio Madrid* (20-06-2011).
https://cadenaser.com/emisora/2011/06/20/radio_madrid/1308527416_850215.html.
- Scaliter, Juan. «Los conciertos serán silenciosos». *Artículo en línea La Razón* (6 de junio. 2018). <https://www.larazon.es/tecnologia/los-conciertos-seran-silenciosos- JE18589123>.
- Suzuki, Yoiti, Douglas Brungart, Yukio Iwaya, Densil Iida, Hiroake Kato. *Principles and applications of spatial hearing*. World Scientific, 2009. ProQuest Ebook central. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/uartersebooks/reader.action?docID=840567&query=Ambisonics>
- Torres Viveros, Jorge Andrés. *Aplicación de técnica de grabación y mezcla binaural para audio comercial y/o publicitario*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Salesiana, 2009.
- Vicuña Zubiria, Maitane. *Diseño, grabación y reproducción de paisajes sonoros mediante Ambisonics*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra, 2018.
- Waves, «Ambisonics Explained: A Guide for Sound Engineers». (10 octubre, 2017)
<https://www.waves.com/ambisonics-explained-guide-for-sound-engineers>.

7. Anexos

- Encuestas:

about:blank

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón

 Universidad
de las Artes

Concierto Silencioso “Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa
 No se percibía la espacialidad del campo sonoro
 Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Experiencia con muchas sensaciones y percepciones bonoras.

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI
 NO

¿Por qué?

Puedes apreciar con más detalle ciertos recursos musicales y técnicas de producción.

Nombre del encuestado: *Adriano Calderín O.*

1 de 1 11/07/2019 15:56

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Dario Buitrón



Concierto Silencioso

“Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Muy agradable, una experiencia única el poder escuchar una mezcla de sonidos dando una armonía en su conjunto.

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

Experiencia maravillosa

Nombre del encuestado: *Maríaela Guerrero*

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Dario Buitrón



Concierto Silencioso

“Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

EXCELENTE.

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

ES MUY BONITO, SIN DUDA NOVEDOSO Y FUERA
DE LO COMUN EN RITMOS Y SONIDO

Nombre del encuestado: CARLOS RADA PERALTA

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Dario Buitrón



Concierto Silencioso

“Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Interesante, un nuevo campo para la investigación

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

Es una experiencia nueva y desearía que hubieran más.

Nombre del encuestado: *Christian Lozano*

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón



Concierto Silencioso

“Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Nueva Experiencia

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

Se escucha mejor la electrónica y con más detalle el guitarrista.

Nombre del encuestado: *Marcela Ruiz*

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón



Concierto Silencioso “Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Invóluta, por un momento al cerrar los ojos parecía estar en el juego de luces

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

Por que es otra dimensión y espacio para nuevos conceptos

Nombre del encuestado: *César Cuevas*

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón



Concierto Silencioso “Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Relajante, transporta a una realidad virtual

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

UNA EXPERIENCIA POSITIVA Y PUEDE
DESCOMPACTAR LA MENTE A LA REALIDAD INTERSABER

Nombre del encuestado: ERICA ARGUELLO

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón



Concierto Silencioso

“Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Rebajante

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

Muy Agradable

Nombre del encuestado:

Lein Jatto

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón



Concierto Silencioso

“Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SÍ

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

OK, muy agradable experiencia

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SÍ

NO

¿Por qué?

Nombre del encuestado: *Adina*

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Dario Buitrón



Concierto Silencioso “Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Poder controlar el nivel de audio para mi escucha personalizado.

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

Creo que es mejor captable y se entiende muy claramente la mezcla de los sonidos.

Nombre del encuestado: *Wilson Cajo Chauca.*

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón



Concierto Silencioso

“Guayaquil Silente”

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Experiencia nueva

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

Porque me permite experimentar otro tipo de sensaciones y emociones

Nombre del encuestado: *Luis Alvarez*

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Dario Buitrón



Concierto Silencioso "Guayaquil Silente"

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

otro nivel

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

son muy llamativos y totalmente
experimentales

Nombre del encuestado: Jonathan Pilay

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Dario Buitrón



Concierto Silencioso "Guayaquil Silente"

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Una experiencia única y vanguardista.

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SI

NO

¿Por qué?

*Porque es una nueva experiencia para nosotros
y sentidos, ya que puede ver los sentidos y
Sería excelente que muchos más lo comos con*

Nombre del encuestado: Venus

Guayaquil, 11 de junio del 2019
Tesis de grado
Proyecto Técnico:
Audio inmersivo para conciertos silenciosos
Autor: Carlos Rada H. / Producción Musical
Tutor: Ing. Darío Buitrón



Concierto Silencioso "Guayaquil Silente"

Encuesta de percepción de audio

1. ¿Asistió alguna vez a un Concierto Silencioso escuchó hablar de él?

SI

NO

2. ¿Qué grado de inmersión sintió durante este show?

Inmersión completa

No se percibía la espacialidad del campo sonoro

Nula

3. ¿Cuál fue su experiencia al haber acudido a este concierto?

Me transporta en ciertos sonidos

4. ¿Recomendaría asistir a este tipo de conciertos silenciosos?

SÍ

NO

¿Por qué?

*Es una experiencia diferente, más concentrada
sin ser tan ruidosa*

Nombre del encuestado: Carolina Rada González

- Fotos





