RAE

1.**TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO

2.**TÍTULO:** DISEÑO DE ATMÓSFERAS SONORAS TRIDIMENSIONALES UTILIZANDO SISTEMAS AMBISONICS

3.**AUTORES:** Jhosimar Andrés Aguacía Fiscó, Diego Armando Pardo Sabogal y Carlos Andrés Lozano Sarmiento

4.**LUGAR:** Bogotá, D.C

5.**FECHA:** Mayo de 2014

6.**PALABRAS CLAVE:** Atmósferas Tridimensionales, Ambisonics, Decodificación y Codificación B-format, Surround, Soundfield, Nimbus-Halliday**,** Sonido.

7.**DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** En este proyecto se pretende recrear atmosferas sonoras por medio de sistemas Ambisonics. Para esto se debe realizar un proceso de producción audiovisual, donde se deben hacer capturas de audio y video. Primero se implementa un arreglo de micrófonos que permiten obtener señales que simulan el B-Format de Ambisonics. Adicionalmente se graban fuentes puntuales, que se codifican utilizando sistemas de tercer orden. Finalmente en esta cadena de procesos se usan algunas librerías de B-format obtenidos con micrófonos Soundfield, para realizar una proyección audiovisual de una atmosfera sonora, que será reconstruida y reproducida en un espacio especialmente diseñado para este proyecto.

8.**LÍNEAS DE INVESTIGACION:** Línea de Investigación de la USB: Tecnologías actuales. Sub línea de Facultad de Ingeniería: Análisis y Procesamiento de señales. Campo Temático del Programa: Audio y Acústica.

9.**METODOLOGÍA:** Es de carácter Empírico-Analítico, con un enfoque metodológico con base en el estudio del micrófono Soundfield como base para la captura de las señales, codificación y decodificación B-Format y diseño de atmósferas sonoras tridimensionales.

10.**CONCLUSIONES:** Se realizaron mediciones del patrón polar y de la sensibilidad de los micrófonos AKG C414 y los Marshall MXL 2010, donde se confrontó la información con resultados expuestos por otros investigadores mencionados en los antecedentes y se observa que este arreglo de micrófonos funciona correctamente para dicho propósito. A partir de las mediciones de patrón polar, sensibilidad y respuesta en frecuencia, se logró conocer el comportamiento de los micrófonos dentro del arreglo para luego realizar las correcciones necesarias obteniendo una respuesta similar a la entregada por el micrófono Soundfield, logrando una correcta captura en B-Format.

La integración de las diferentes posibilidades que brinda el sistema Ambisonics, como lo son codificación y decodificación de fuentes puntuales, captura por medio del arreglo Nimbus-Halliday y el uso de librerías Ambisonics, le da a las atmosferas grabadas y a las creadas, variedad sonora y permite enriquecer la proyección audiovisual.

El objetivo principal de recrear atmosferas tridimensionales usando sistemas Ambisonics, se logró, pues fue posible tener espacios donde las personas percibieron, altura, profundidad, naturalidad y otros aspectos relacionados con el sonido tridimensional. Esto implica que la grabación, la codificación y la decodificación y la reproducción del sistema funcionaron correctamente, logrando integrar todos estos aspectos en un resultado final.

DISEÑO DE ATMÓSFERAS SONORAS TRIDIMENSIONALES UTILIZANDO SISTEMAS AMBISONICS

JHOSIMAR ANDRÉS AGUACÍA FISCÓ
DIEGO ARMANDO PARDO SABOGAL
CARLOS ANDRÉS LOZANO SARMIENTO

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SEDE BOGOTÁ
INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ D.C.
2014

DISEÑO DE ATMÓSFERAS SONORAS TRIDIMENSIONALES

UTILIZANDO SISTEMAS AMBISONICS

JHOSIMAR ANDRÉS AGUACÍA FISCÓ
DIEGO ARMANDO PARDO SABOGAL
CARLOS ANDRÉS LOZANO SARMIENTO

Proyecto de grado para optar por el título de ingeniero de sonido

Tutor:
Ingeniero de sonido Darío Páez

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SEDE BOGOTÁ
INGENIERÍA DE SONIDO
BOGOTÁ D.C.
2014

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Bogotá D.C., Mayo de 2014

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres y familiares, que siempre estuvieron acompañándonos en este proceso, que siempre nos apoyaron y encontraron la manera para ayudarnos a lograr este objetivo, siempre con su paciencia y apoyo incondicional.

A nuestros profesores, que nos han ayudado a labrar un camino de conocimiento y de experiencias, especialmente a los profesores, Luis Fernando Hermida quien fue un excelente docente, a Marcelo Herrera que siempre nos ha motivado y acompañado, a Jorge Casas quien ha asumido su papel como director de programa siempre creyendo en el grupo de estudiantes y dándoles apoyo en todos los proyectos.

A Daniel Courville, Pablos Tripodakis y George Konstantinidis, que con su experiencia en este tipo de proyectos compartieron sus conocimientos con nosotros y trataron de orientarnos en el desarrollo de este proyecto.

Al ingeniero Darío Páez, quien fue el tutor en este proyecto y nos acompañó en este arduo proceso.

Y a todas las personas que nos apoyaron de alguna manera a lograr nuestro objetivo de culminar satisfactoriamente este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION 17
1.1 ANTECEDENTES 18
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 19
1.3 JUSTIFICACIÓN 19
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 20
1.4.1 Objetivo General 20
1.4.2 Objetivos Específicos 20
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO 20
1.5.1 Alcances 20
1.5.2 Limitaciones 21
2.1 MARCO TEORICO 23
2.1.1 Ambisonics 23
2.1.2. Psicoacústica de Ambisonics 27
2.1.3. Formulación matemática de codificación y decodificación del sistema Ambisonics 30
2.1.4. Nimbus-Halliday 35
2.1.5 Arreglo de monitores 36
2.1.6. Software 40
2.2 MARCO LEGAL –NORMATIVO 41
2.2.1 licencia de uso de contenidos 41
2.2.2 Normativa Acústica 42
2.2.2.1 Norma ISO 3382-1 42
2.2.2.2 IEC 60268 Apartado 1, 2 y 4 43
2.2.2.3 IEC 263 43
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 44
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN 44
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 45
3.3.1 Consulta de material bibliográfico 45
3.3.2 Mediciones Acústicas 46
3.3.3 Encuestas 46
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA 46
3.4.1Poblacion 46
3.4.2 Muestra 46
3.5 VARIABLES 47
3.5.1 Variables Independientes 47
3.5.2 Variables Dependientes 47
3.6 HIPÓTESIS 48
4. DESARROLLO INGENIERIL 49
4.1 ARREGLO DE MICRÓFONOS 49
4.1.1 Selección de los micrófonos. 49
4.1.2 Mediciones del patrón polar y sensibilidad del arreglo de micrófonos. 54
4.1.2.1Patrón Polar 55
4.1.2.2 Sensibilidad y Respuesta en Frecuencia 59
4.2 GRABACIÓN DE ATMOSFERAS SONORAS Y FOLEY 64
4.3 ECUALIZACIÓN 66
4.4 MAX/MSP 6 68
4.5 ARREGLO DE MONITORES 70

4.5 EVALUACION DEL SISTEMA POR METODO ANOVA. 72
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 75
5.1 MÉTODO DE ANÁLISIS OBJETIVO 75
5.2 MÉTODO DE ANÁLISIS SUBJETIVO 79
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 85
6.1 CONCLUSIONES 85
6.2 RECOMENDACIONES 88
7. ERROSES SISTEMATICOS 90
BIBLIOGRAFÍA 93
ANEXOS 95
ANEXO A 95
ANEXO B 99
LISTA DE TABLAS 110
LISTA DE FIGURAS 111
GLOSARIO 115

INTRODUCCION

En este proyecto, se pretende recrear atmosferas sonoras a través de tecnologías no convencionales, para brindar a las personas una experiencia audiovisual enriquecedora, donde la percepción sonora de un determinado espacio cumpla con las expectativas subjetivas de cada individuo.

Para lograrlo se hace uso de la tecnología Ambisonics de primer y tercer orden. Inicialmente se realiza un estudio del arreglo de micrófonos conocido como Nimbus-Halliday, el cual permite grabar el audio y obtener una señal conocida como B-Format (W, X, Y, Z) o como una señal de primer orden. En este estudio se mide el patrón polar y la sensibilidad del arreglo. Al Obtener los resultados estos son comparados con los parámetros del micrófono estándar de Ambisonics el Soundfield y se procede a decodificar la señal grabada, realizando las correcciones necesarias, para tener un comportamiento similar al que se presenta en el micrófono desarrollado por Michael Gerzon. Adicional a esto se graban fuentes puntuales, que se codifican para obtener una señal de tercer orden que ayudan a complementar el ambiente sonoro mediante un proceso de postproducción.

La codificación y decodificación del arreglo de micrófonos y de las fuentes puntuales se lleva a cabo por medio del software MAX/MSP versión 6, haciendo uso de los módulos desarrollados por el ICST para el uso de sistemas Ambisonics. Las señales obtenidas mediante el arreglo de micrófonos y la grabación de fuentes puntuales, son reproducidas en un arreglo de parlantes 10.2 y se complementan con una pantalla frontal que reproduce en video, el ambiente propuesto.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Dentro de la documentación consultada, hay una gran cantidad de artículos publicados en AES (Audio Engineering Society), donde el creador de los sistemas Ambisonics y los principales investigadores de esta tecnología han publicado sus desarrollos y logros. Otro lugar de consulta es la web, acá se encuentra información importante, principalmente en las páginas oficiales de Ambisonics, Universidad de York y algunas Tesis publicadas alrededor del mundo.

Estos antecedentes, exponen el funcionamiento del micrófono Soundfield, la forma en que la señal es grabada en A-Format y codificada para llegar al B-Format. También muestra los lineamientos para implementar un arreglo de micrófonos (Nimbus-Halliday) que simulan las señales obtenidas por un micrófono Soundfield, lo cual es muy importante para el proyecto, pues propone una técnica de grabación alterna al costoso micrófono Soundfield.

Otro punto importante que se encuentra en los antecedentes está relacionado con la codificación de la señal. A lo largo de estos documentos, se exponen diferentes formas de codificar la señal grabada en un tercer orden y así mismo la manera en que se decodifica dicha señal en diferentes arreglos de monitores, mencionando aspectos importantes en cuanto a la distribución especifica de los parlantes y la forma de mejorar la escucha.

Finalmente y siguiendo el proceso esquemático, de este proyecto se procede con un tema muy importante para generar las atmosferas tridimensionales y es el proceso de mezcla y post-producción, donde se expone la forma en que una grabación para audiovisuales puede ser

complementada mediante la implementación de foleys, doblajes y procesos de edición sonora y de video.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La implementación de nuevas tecnologías, es siempre un reto ingenieril, y por supuesto hacerlo de una manera certera y eficaz representa uno de los mayores retos. En este proyecto se busca implementar una tecnología poco convencional y aunque no es nueva desde su desarrollo si es una tecnología que aún no se ha explorado en su totalidad. Se optó por el sistema Ambisonics, como herramienta para brindar al oyente una sensación más allá de lo visual, generando percepciones a través del sistema auditivo. Es por esta razón que nace el siguiente cuestionamiento:

¿De qué manera se pueden generar percepciones psico-acústicas en el ser humano, haciendo uso de tecnologías actuales?

Esto con el propósito de brindar experiencias audiovisuales complementarias, que brinden entretenimiento y una inmersión entre la persona y el sistema digital.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el campo audiovisual se busca llevar al usuario a experimentar nuevas sensaciones, dando la posibilidad de estar inmersos en determinados espacios. En este caso particular se quiere dar al oyente a posibilidad de que él pueda sentirse inmerso en el ambiente y que se capaz de ubicar la procedencia de cada sonido.

Además de ser un campo muy atractivo para el medio audiovisual es también un campo atrayente para la ingeniería, pues en los últimos años se han venido explorando distintas teorías acerca del sonido surround y la forma en que se puede implementar un sistema totalmente tridimensional, en el campo auditivo.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

- Generar atmósferas sonoras tridimensionales, implementando sistemas de captura y codificación Ambisonics.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar e implementar arreglos de micrófonos basándose en el *Soundfield Recording.*
- Diseñar un Plug-in que codifique la señal capturada a un formato Ambisonics (B-Format), usando el software Max/MSP.
- Implementar un arreglo de monitores para la edición, mezcla y reproducción del formato Ambisonics.
- Analizar e identificar características del sistema a partir de una evaluación subjetiva.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.5.1 Alcances

Al implementar el arreglo de micrófonos que recrea el patrón polar B-Format para la captura de la atmosfera sonora, se añade a la base de datos encontrados en la web y las diferentes publicaciones, un Nimbus-Halliday con dos tipos de micrófono y las correcciones hechas en el sistema, para tener un funcionamiento similar a los otros arreglos ya implementados.

Otro punto importante dentro de los alcances de este proyecto, es la implementación del plug-in de Ambisonics, integrándolo desde el uso del codificador y decodificador de fuentes puntuales hasta decodificador de las señales obtenidas a partir del arreglo de micrófonos Nimbus-Halliday y algunos ambientes B-format, obtenidos de distintos autores, para la

postproducción del ambiente sonoro. Dentro del software MAX/MSP 6 también se implementar un módulo de video que ofrece al oyente un apoyo audiovisual del ambiente sonoro que está oyendo.

También se implementa una estructura física capaz de sostener y distribuir el arreglo de monitores para la postproducción, reproducción de los distintos ambientes sonoros. Una vez se culmina el proyecto se desarrolla una evaluación subjetiva, para evaluar el comportamiento del sistema, para esto se elige una población especifica la cual está compuesta por estudiantes de IX y X semestre y algunos de los profesores de ingeniería de sonido, ya que el sistema presenta características muy específicas que no serían evaluadas adecuadamente por personas que no tengan un conocimiento profundo del tema.

1.5.2 Limitaciones

Cabe destacar que durante el diseño y construcción del proyecto se ha de tener en cuenta la disponibilidad de los micrófonos necesarios en la Universidad de San Buenaventura, siendo esta una de las razones por la cual el arreglo Nimbus-Halliday se implementa con dos tipos de micrófonos (AKG 414 y MXL 2010). Además de esto la medición del patrón polar y la sensibilidad del arreglo no se puede realizar en cámara anecóica, razón por la cual se opta a medir en espacio abierto, sin embargo se encontró la limitante del ruido externo, por tal motivo la medición final se implementó en un espacio cerrado.

Otra limitación es la carencia de conocimiento del entorno de programación Max/MSP para el diseño del plug-in motivo por el cual se ha optado por un autoaprendizaje, proceso que retraso la implementación del proyecto. La última limitante que se presenta está relacionada con el presupuesto disponible para desarrollar dicho proyecto, la adquisición de parlantes de gama

baja, el alquiler de una de las interfaces, pues solo se dispone de una interfaz de ocho canales de salida, siendo necesario contar con 12 salidas y la construcción de una estructura económica.

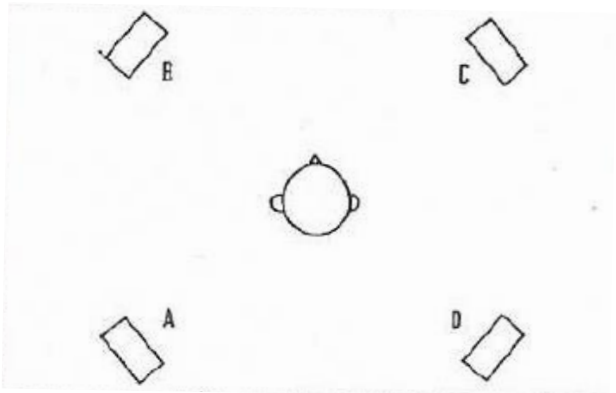
2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Ambisonics

El sistema Ambisonics inicia con el matemático Michael Gerzon, el pretendía generar sonido envolvente a partir de un arreglo de parlantes, distribuidos alrededor del oyente. El primero de estos sistemas, que fue desarrollado por Michael fue el cuadrafónico (ver figura 2.1), sistema en el cual se ubican cuatro parlantes de manera regular, formando un cuadrado donde cada parlante recibe un nombre especifico de acuerdo a su localización (*Lb-Lf-Rb-Rf*).

Figura 2.1. Sistema de reproducción cuadrafónico, implementado por Michael Gerzon.



Fuente: Gerzon, M.A. (1970). The Principles Of Quadraphonic Recording. Studio Sound, Vol12, pp 338-342.

Este arreglo de parlantes pretendía reproducir un sonido envolvente y permitir que el oyente experimentara una sensación de Surround. Sin embargo el sistema tenía problemas de localización en los laterales, donde las fuentes eran difusas y difíciles de ubicar. Posterior a este vinieron otras configuraciones de parlantes, pero siempre manteniendo una regularidad en el arreglo, donde cada parlante tiene un opuesto en la distribución.

En cuanto a la captura del audio Michael desarrollo un arreglo de 3 micrófonos coincidentes con una respuesta cardioide, formando un ángulo de 120° entre capsulas [7], [8] con este arreglo se busca tener una alta coincidencia entre capsulas para evitar problemas de fase. Sin embargo esta técnica de captura también evoluciono, gracias a la empresa Calrec Audio quien desarrolló un micrófono que fue llamado Soundfield (ver figura 2.2).

Figura 2.2. Micrófono Soundfield desarrollado por Calrec Audio

Fuente: Farrar, Ken. (1979). SoundField Microphone. Wireless World.

Este micrófono integro la coincidencia de las capsulas y el sistema de codificación de la señal [6]. La estructura consta de 4 capsulas cardioides que capturan el sonido en un A-Format donde la señal captada proviene directamente de las capsulas y posterior a esto se codifica para obtener el B-format, formato que se usa para decodificar la señal en los distintos arreglos de

monitores. El B-Format se obtiene de sumar y restar las señales que entran en las capsulas [10], [11], [6] de la siguiente manera.

$$X = (-Lb + Lf + Rf - Rb) \qquad (1)$$

$$Y = (Lb + Lf - Rf - Rb) \qquad (2)$$

$$Z = (-Lb + Lf - Rf - Rb) \qquad (3)$$

$$W = (Lb + Lf + Rf + Rb) \qquad (4)$$

En este formato la señal W es asociada con una señal obtenida de un micrófono omnidireccional mientras que las señales X, Y, Z son asociados con señales obtenidas por un micrófono de figura 8. La parte positiva de X apunta hacia adelante, la parte positiva de Y hacia la izquierda y Z apunta hacia arriba, estas señales contienen información relacionadas con la localización. Es importante que las señales de X, Y, Z estén por encima de W 3dB. De esta forma las señales de X, Y, Z se pueden expresar en términos de senos y cosenos.

$$X = \cos\theta \, cos\alpha \qquad (5)$$

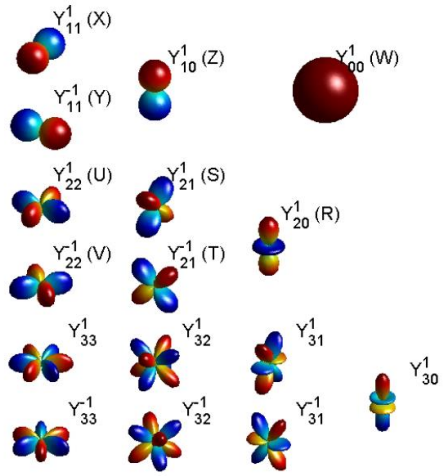
$$Y = \sin\theta \, cos\alpha \qquad (6)$$

$$Z = \sin\alpha \qquad (7)$$

Donde θ es el ángulo en el eje horizontal siendo el frente 0° y α es el ángulo vertical de la fuente sonora siendo el frente 0°. Este sistema de captura codificación y decodificación fue patentado por Michael Gerzon convirtiéndose así en tema de investigación para distintos investigadores entre los cuales se encuentran ingenieros, matemáticos y físicos, algunos de los más representativos son Angelo Farina, Dave Malham, Ville Pulkki, Richard Furse, la Universidad De York, el centro de investigación ICST y muchos otros entes de prestigio académico.

Gracias a este grupo de personas hoy día se cuentan con mejoras en los sistemas de codificación y decodificación de la señal, ya que una de las grandes limitaciones de Michael Gerzon fue la tecnología con la que contaba. Hoy día muchos investigadores han desarrollado sistemas de codificación y decodificación digital los cuales permiten manejar las señales de audio con gran velocidad, fidelidad y a muy bajo costo. Además de eso se han desarrollado nuevos micrófonos para obtener señales de mayor orden [17] donde se pueden incluir una mayor cantidad de armónicos esféricos. Esta teoría de armónicos esféricos es una analogía de las series de Fourier, donde se dice que cualquier señal puede ser reconstruida atreves de la suma de muchas señales seno o coseno, para el caso de los armónicos esféricos este concepto sigue el mismo principio, de poder reconstruir una señal por medio de la suma de componentes individuales, en este caso los llamados armónicos esféricos (ver figura 2.3)**.**

Figura 2.3. Imagen de Armónicos Esféricos.



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

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.

Dentro de las primeras condiciones de decodificación dadas por Michael Gerzon, se estableció que todos los parlantes deben estar una distancia uniforme del centro y deben estar localizados cada uno con un respectivo opuesto. Sin embargo se han desarrollado diferentes teorías para mejorar el posicionamiento de los parlantes, para tener una buena reproducción en arreglo de parlantes no regulares.

2.1.2. Psicoacústica de Ambisonics

Para capturar sonido envolvente por medio de cuatro canales de acuerdo a la teoría desarrollada por Michael Gerzon, se necesita tener una muy alta coincidencia entre las capsulas con el fin de evitar problemas de fase y capturar muy bien el sentido de distancia, localización en los planos verticales y horizontales además de la reverberación del lugar donde se lleva a cabo dicha grabación [7].

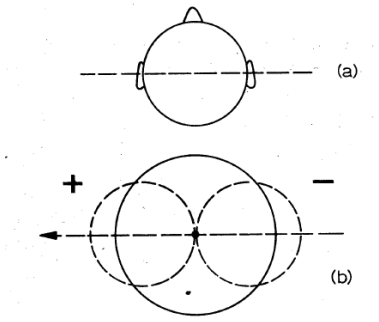
Es necesario conocer también la forma en que el sonido llega a los oídos, de acuerdo al rango de frecuencias (bajas, medias y altas), con lo cual se entra a identificar la localización del sonido por medio de las diferencias de intensidad *ILD* y las diferencias de tiempo *ITD*. Además de esto Michael Gerzon hace mención a los movimientos de la cabeza que ayudan a encontrar la localización de la fuente *HRTF*; en el momento de mover la cabeza en un espacio, el campo reverberante no se ve afectado por estos pequeños movimientos.

Todos estos conceptos que se tratan de abarcar con el sistema Ambisonics son difíciles de cubrir en su totalidad por la limitación de canales de grabación y reproducción, pero aun así el sistema ha mostrado muy buenos resultados en los distintos experimentos e investigaciones.

Lord Rayleigh fue uno de las primeras personas en describir el funcionamiento del sistema auditivo humano, permitiéndose dar una frecuencia de 700Hz como un punto de transición, además el mismo Rayleigh y otros exponentes como Stevens & Newman y Roffler & Butler sugieren que arriba de los 5KHz la forma de la oreja influye en la localización de las fuentes, este fenómeno es conocido como el efecto pinna, Michael Gerzon [9] menciona también que la localización de las fuentes en un espacio auditivo inducido depende de cada oyente, de lo que espera escuchar y de que tanto se concentre en escuchar lo que escucha. Además de mencionar otro punto muy importante, que da pie al desarrollo de sistemas de reproducción que brindan gran fidelidad y es el hecho de que los sistemas envolventes no tienen que reconstruir toda la información auditiva capturada y reproducirla exactamente. De acuerdo a la psicoacústica, para desarrollar estos sistemas es mucho más importante entender las teorías detrás de esto y tener la posibilidad de reconstruir dichos parámetros psicoacústicos, por medio de la generación de determinados estímulos.

En la obtención de la información para frecuencias bajas, el sistema obtiene información de un micrófono omnidireccional y adicionalmente recibe la información de un micrófono de velocidad, el cual recibe la información de los lados en el eje de las orejas (ver figura 2.4). En este caso se asume que la información de velocidad esta 90° fuera de fase con respecto al micrófono omnidireccional.

Figura 2.4 Recepción del audio en el eje horizontal.



Fuente: Gerzon, M.A. (1974). Surround Sound Psychoacustics. Wireless World.

La localización a frecuencias medias se da por arriba de los 700Hz, en este punto lo más importante es el comportamiento direccional de la energía acústica alrededor del oyente, para esto se puede hacer uso de los componentes omnidireccionales y de los componentes de velocidad de los ejes X, Y, de esta manera la fuente será reproducida como la suma de los vectores de energía que genera cada parlante [9].

Por último, para las frecuencias superiores a 5Khz Rayleigh Stevens & Newman y Roffler & Butler exponen ideas sobre la localización del sonido, en las que se ven influenciadas por la forma de la oreja.

El último aspecto mencionado por Michael Gerzon [9] en cuanto a la localización de las fuentes sonoras es la ayuda de un espacio reverberante, según el autor, la ubicación de una fuente se facilitara más en un espacio con reverberación que en un espacio no reverberante, según algunos experimentos que el llevo a cabo, pudo comprobar que la localización es más sencilla cuando el sonido se distribuye en un campo donde la energía está distribuida un poco más uniformemente, que en uno donde la energía procede de un lugar en específico.

En cuanto a la reproducción del sistema se puede describir por medio de la teoría de Makita [12], donde la imagen es construida con la suma de vectores imaginarios, que salen del

parlante con una determinada magnitud, donde para las frecuencias bajas esta magnitud viene dada por la amplitud y en las frecuencia altas la magnitud viene dada por la energía.

2.1.3. Formulación matemática de codificación y decodificación del sistema Ambisonics.

Entrar en detalle sobre la teoría matemática de cómo funciona todo el sistema es muy complejo. La matemática que está detrás de este sistema requiere de un conocimiento muy avanzado y específico; sin embargo se explicara brevemente cual es el funcionamiento del sistema sin entrar en demasiados detalles, en la bibliografía que se presenta en este escrito hay varias fuentes de consulta como artículos y tesis, donde se puede leer con más detalle sobre este tema.

Primero se tiene que entender la formulación matemática del micrófono Soundfield, ya que este es el primer eslabón del sistema, aunque la grabación que se lleva a cabo en este proyecto, no hace uso de este, es necesario entenderlo muy bien para poder reproducir una técnica de grabación que remplace a este micrófono y su codificación. Este micrófono cuenta de 4 capsulas ubicadas ortogonalmente (ver figura 2.2), que capturan la señal en cuatro canales diferentes, obteniendo el A-Format, dentro de este micrófono hay un circuito encargado de convertir la señal a un B-Format [6], En este formato las señales tienen un comportamiento específico y se comportan de la siguiente manera:

W - Presión: Omnidireccional

X – Gradiente de presión (velocidad): Adelante figura ocho

Y – Gradiente de presión (velocidad): Izquierda figura ocho

Z – Gradiente de presión (velocidad): Arriba figura ocho

Como se observa en los comportamientos específicos de cada una de las señales del B-Format, se puede entender el comportamiento que tiene el sistema y por lo tanto a donde se

quiere llegar con el arreglo de micrófonos implementado en el proyecto. La definición matemática a la cual se rige el circuito encargado de transformar el A-Format al B-format y conocido como como el modulo A-B, es la siguiente:

$$X = (-Lb + Lf + Rf - Rb) \qquad (8)$$

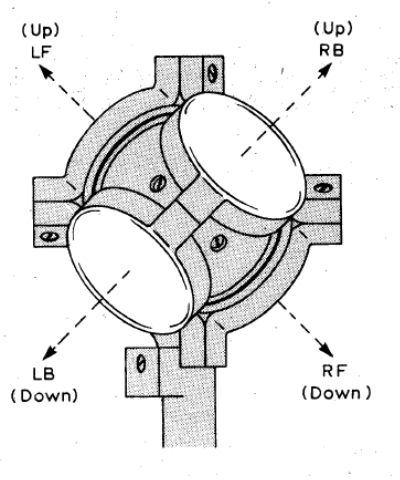
$$Y = (Lb + Lf - Rf - Rb) \qquad (9)$$

$$Z = (-Lb + Lf - Rf - Rb) \qquad (10)$$

$$W = (Lb + Lf + Rf + Rb) \qquad (11)$$

Donde Lb, Lf, Rb y Rf son las señales que capta cada una de las capsulas del micrófono Soundfield (ver figura 2.5).

Figura 2.5 Capsulas del micrófono Soundfield, construido por Calrec Audio.



Fuente: Farrar, Ken. (1979). SoundField Microphone. Wireless World.

Por medio de estas ecuaciones se suman y restan las señales obtenidas por las capsulas, para obtener las respectivas señales en figuras de ocho y el patrón omnidireccional que está presente en el B-Format.

Otra forma de obtener la señal y llevarla a un decodificador de Ambisonics, es capturar una señal monofónica y codificarla para llevarla a un orden, ya sea el primer orden o B-Format o a un orden superior, una vez se decodifica esta señal, está lista para ser decodificada y ser

ubicada en algún punto en el espacio. Como se ha mencionado anteriormente entre mayor sea el orden a utilizar el comportamiento del sistema será mucho mejor. Para este objetivo la formulación matemática utilizada es la siguiente:

$$X = SenalMonofonica \times Cos\theta \times Cos\Phi \qquad (12)$$

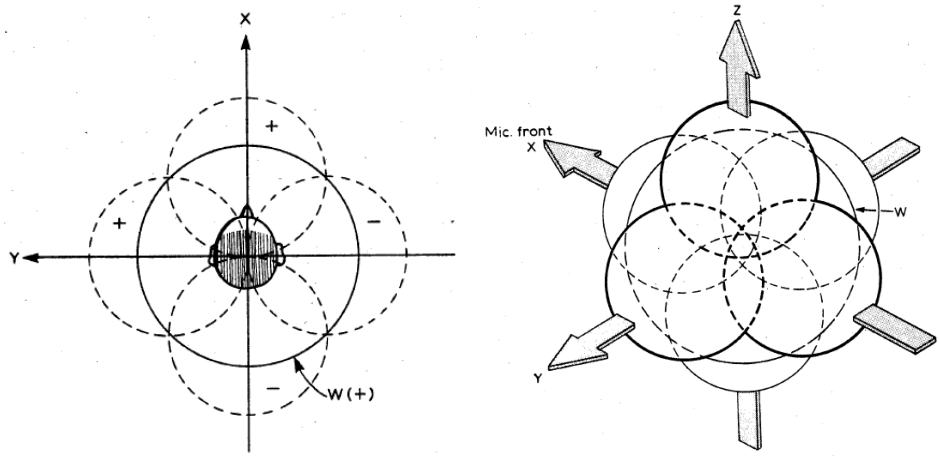
$$Y = SenalMonofonica \times Sin\theta \times Cos\Phi \qquad (13)$$

$$Z = SenalMonofonica \times Sin\Phi \qquad (14)$$

$$W = SenalMonofonica \times 0.707 \qquad (15)$$

Donde θ es el ángulo en sentido anti horario partiendo del frente, Φ es el ángulo de elevación medido desde el frente y el centro u origen, es el punto donde los ejes X, Y, Z toman su referencia (ver figura 2.6).

Figura 2.6 Sistema de coordenadas del B-Format.



Fuente: Farrar, Ken. (1979). SoundField Microphone. Wireless World.

Haciendo uso de las Ecuaciones 8 a 15 se pueden codificar señales para obtener lo que se conoce como B-format ya sea usando un micrófono Soundfield o haciendo uso de fuentes. La formulación matemática para los órdenes superiores en cuanto a la codificación de fuentes

puntuales se puede observar en la tabla 1 donde se muestra las ecuaciones para codificar las señales en órdenes superiores [13], estos ordenes son relativamente nuevos y son desarrollados a mediados de los noventa y resultaron en un gran avance para esta tecnología pues permiten obtener una señal con mayor número de armónicos y por lo tanto un mejor funcionamiento en cuanto a la localización.

Tabla 2.1. Formulación matemática para codificar fuentes puntuales desarrollado por Dave Malham.

Order	m,n,ς	Channel	SN3D definition	FuMa weight
0	0,0,1	W	1	$1/\sqrt{2}$
1	1,1,1	X	$\cos\theta\cos\phi$	1
	1,1,-1	Y	$\sin\theta\cos\phi$	1
	1,0,1	Z	$\sin\phi$	1
2	2,0,1	R	$(3\sin^2\phi - 1)/2$	1
	2,1,1	S	$(\sqrt{3}/2)\cos\theta\sin(2\phi)$	$2/\sqrt{3}$
	2,1,-1	T	$(\sqrt{3}/2)\sin\theta\sin(2\phi)$	$2/\sqrt{3}$
	2,2,1	U	$(\sqrt{3}/2)\cos(2\theta)\cos^2\phi$	$2/\sqrt{3}$
	2,2,-1	V	$(\sqrt{3}/2)\sin(2\theta)\cos^2\phi$	$2/\sqrt{3}$
3	3,0,1	K	$\sin\phi(5\sin^2\phi - 3)/2$	1
	3,1,1	L	$(\sqrt{3}/8)\cos\theta\cos\phi(5\sin^2\phi - 1)$	$\sqrt{45}/32$
	3,1,-1	M	$(\sqrt{3}/8)\sin\theta\cos\phi(5\sin^2\phi - 1)$	$\sqrt{45}/32$
	3,2,1	N	$(\sqrt{15}/2)\cos(2\theta)\sin\phi\cos^2\phi$	$3/\sqrt{5}$
	3,2,-1	O	$(\sqrt{15}/2)\sin(2\theta)\sin\phi\cos^2\phi$	$3/\sqrt{5}$
	3,3,1	P	$(\sqrt{5}/8)\cos(3\theta)\cos^3\phi$	$\sqrt{8}/5$
	3,3,-1	Q	$(\sqrt{5}/8)\sin(3\theta)\cos^3\phi$	$\sqrt{8}/5$

Fuente: Malham Dave. (2003). Space in Music – Music in Space. Thesis, University of York

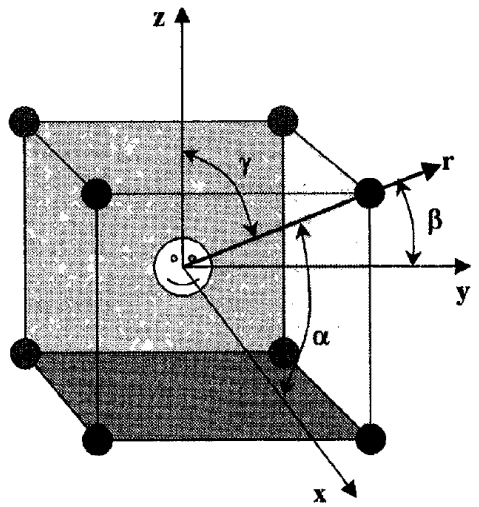
Posterior a la codificación de la señal y obtención del orden, se encuentra la decodificación [5], etapa donde se distribuye la señal de acuerdo al arreglo de parlantes, en lo

más básico de los arreglos donde los parlantes están todos a la misma distancia del centro, y el ángulo entre parlantes es el mismo, se pude hacer uso de la siguiente formula:

$$F_i = \frac{1}{2} \times [G_1 \cdot W + G_2 \cdot (X \cdot \cos \propto + Y \cdot \cos \beta + Z \cdot \cos \gamma)] \qquad (16)$$

Donde $\propto$ es el ángulo formado entre el parlante y el eje frontal de X, β es el angulo formado entre el parlante y el eje que apunta a la izquierda de Y, por ultimo γ es el ángulo formado entre el parlante y el eje superior de Z (ver figura 2.7).

Figura 2.7 Distribución de un arreglo de parlantes y la asignación de los ángulos.



Fuente: Farina, Angelo & Ugolotti, Emanuele. (1998). Software Implementation Of B-Format Encoding And Decoding. AES 104th Convention Amsterdam

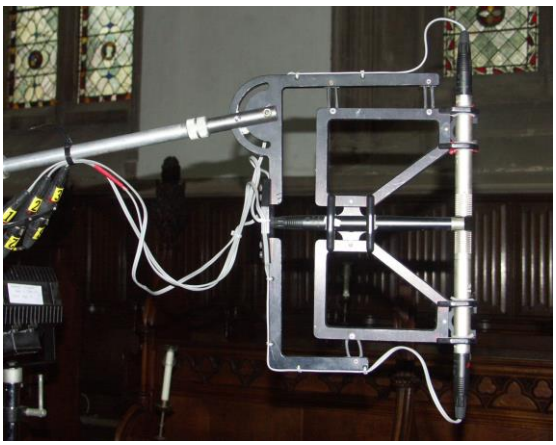
G_1 y G_2 son las ganancias de los dos filtros uno debajo de los 500Hz y el otro arriba, estas ganancias también tienen una dependencia del número de parlantes, varios autores han sugerido diferentes valores para dichas ganancias dependiendo del sitio de reproducción y de si es una reproducción en un plano netamente horizontal o con altura. Esta fórmula se puede extrapolar para órdenes superiores de Ambisonics, incluyendo las señales restantes, de acuerdo al orden que se implementa.

De ser este un arreglo de parlantes no regulares se debe generar una ganancia distinta a cada parlante, para tratar de corregir la irregularidad. Sin embargo este concepto de arreglos irregulares ha sido estudiado y hasta hoy día se presentan investigaciones en este tema, sin tener todavía un concepto o formulación matemática absoluta.

2.1.4. Nimbus-Halliday.

El A-format que se genera a través de las capsulas cardiodes de un micrófono Soundfield, nunca es usado para la codificación de una señal en un sistema Ambisonics, este necesita ser codificado para obtener un B-format, como se ha mencionado en la sección 2.1.1 y la sección 2.1.3 la señal de un B-Format se puede expresar como lo indican las ecuaciones 5 a 7, donde la señal de W equivale a tener un micrófono omnidireccional en tanto la señal X, Y, Z equivale a tener un micrófono con un diagrama polar de figura-8 para cada una de estas señales.

Figura 2.8 Arreglo Nimbus-Halliday compuesto de un micrófono B&K omnidireccional y dos Schoeps bidireccionales.



Fuente: Esta imagen es un archivo de Wikimedia Commons, usted puede encontrar la imagen en internet en http://en.wikipedia.org/wiki/File:Nimbus-Halliday-Microphone-A.jpg. Attribution-ShareAlike 3.0 Unported (CC BY-SA 3.0)

El arreglo Nimbus-Halliday (ver figura 2.8) desarrollado por Jonathan Halliday y la empresa Nimbus record es una simulación del B-Format. Este arreglo se compone de un micrófono omnidireccional, preferiblemente condensador y de diafragma pequeño para el canal

W, un micrófono bidireccional (figura-8) para X el cual apunta al frente del arreglo y un micrófono bidireccional para Y el cual debe apuntar hacia la izquierda. En este tipo de arreglos se experimenta el mismo problema que experimento Gerzon en sus primeros arreglos de micrófonos, donde la coincidencia del arreglo es crítica y se debe buscar capsulas pequeñas para mejorar este aspecto. La coincidencia del micrófono, permite observar hasta que frecuencia el sistema se comporta óptimamente, en la ecuación 17, permite identificar dicha frecuencia crítica, de acuerdo al radio que se produce entre el centro del arreglo y las capsulas del micrófono.

$$F \cong \frac{c}{\pi r} = \frac{10.8}{r} \qquad (17)$$

Para obtener la señal de altura Z es necesario incorporar un tercer micrófono bidireccional dentro del arreglo con su capsula apuntando hacia arriba, aunque el arreglo original Nimbus-Halliday, solamente incorpora el eje X y el eje Y, una gran variedad de investigadores y universidades han implementado este tercer micrófono, obteniendo altura; sin embargo uno de los principales problemas que se presenta al incluir el micrófono extra, es la interferencia entre micrófonos creando reflexiones y enmascaramientos en determinadas frecuencias, especialmente altas. Eric Benjamin y Thomas Chen [2], han expuesto un artículo muy importante donde miden el comportamiento de un arreglo de micrófonos con Z y sin Z, además de esto los comparan con micrófonos Soundfield, exponiendo las principales diferencias que estos presentan y las formas en que se pueden corregir, Daniel Courville, en su página web expone adicionalmente una metodología para implementar dicho arreglo y las correcciones que el realiza en el proceso [4].

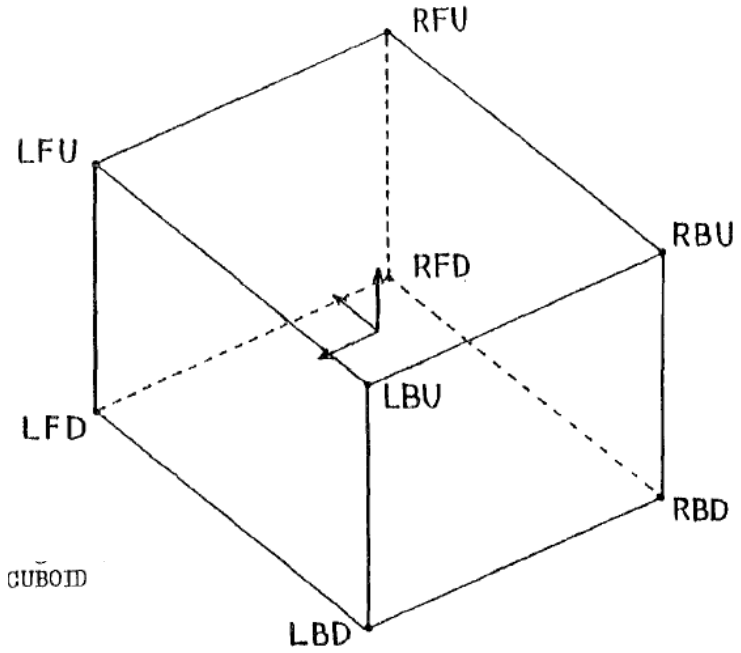
2.1.5 Arreglo de monitores

La configuración de los parlantes ha sido desde el principio un punto importante pues una buena disposición de los mismos, permite reconstruir el espacio sonoro de manera fiel. El primer arreglo de parlantes que se utilizó para Ambisonics fue la disposición de un arreglo

cuadrado donde todos los parlantes estaban a la misma distancia del oyente y cada parlante tenía su respectivo opuesto (ver figura 2.1). Teniendo en cuenta que la reproducción optima de estos sistemas se lleva a cabo en cámaras anecóicas, se debe tener en cuenta que este es un sistema pensado para funcionar en espacio tradicionales, como casas, home-studios, emisoras y algunos otros lugares algo más convencionales.

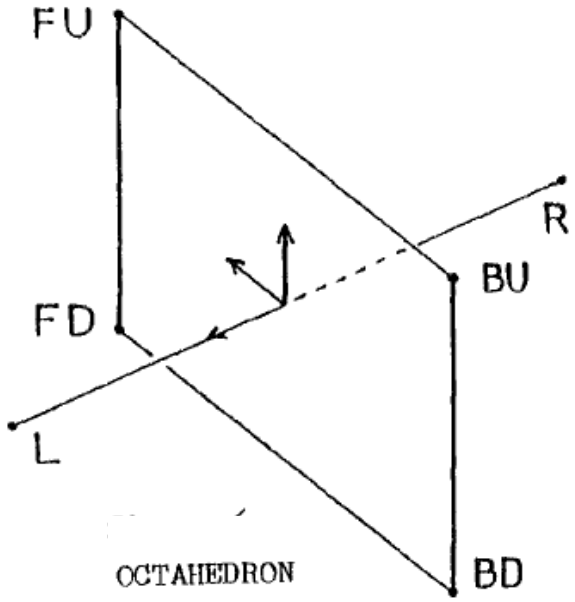
A lo largo de los años se han implementado nuevos arreglos de monitores para reproducir las alturas, entre los más representativos están: el cuboide (ver figura 2.9), el octaedro (ver figura 2.10) y el birrectángulo (ver figura 2.11). Estos arreglos cumplen con la teoría desarrollada por Gerzon, donde cada parlante tiene su respectivo opuesto, están ubicados a la misma distancia del centro y todos tienen el mismo ángulo entre ellos. De acuerdo a la disposición de los parlantes y a la señal que se introduzca, cada parlante tendrá una amplitud y cantidad de energía especifica que permite al oyente ubicar las diferentes fuentes sonoras.

Figura 2.9 Arreglo de monitores para la reproducción de sistemas Ambisonics con altura (Cuboide).



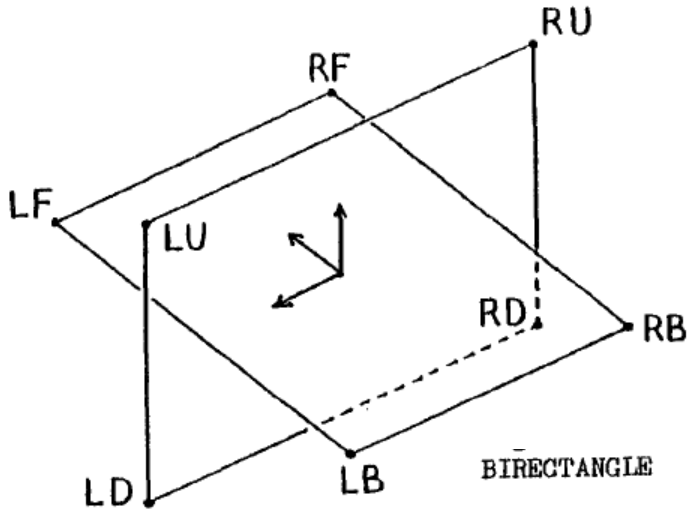
Fuente: Gerzon, M.A. (1980). Practical Periphony: The Reproduction Of Full-Sphere Sound. AES 65th Convention London

Figura 2.10 Arreglo de monitores para la reproducción de sistemas Ambisonics con altura (Octaedro).



Fuente: Gerzon, M.A. (1980). Practical Periphony: The Reproduction Of Full-Sphere Sound. AES 65th Convention London

Figura 2.11 Arreglo de monitores para la reproducción de sistemas Ambisonics con altura (Birrectángulo).



Fuente: Gerzon, M.A. (1980). Practical Periphony: The Reproduction Of Full-Sphere Sound. AES 65th Convention London

Bamford [1] en su tesis realiza, algunos análisis en la distancia de los parlantes y llega a algunas conclusiones muy interesantes acerca de cómo la distancia influye en la respuesta en frecuencia del sistema. Dentro de los problemas que presentaba el sistema inicialmente era localización de las fuentes sonoras dependiendo de la distancia a la que estuvieran ubicados los parlantes, de esta manera con la integración de los sistemas digitales y la versatilidad que estos tienen para codificar y decodificar señales, se han corregido esos problemas permitiendo al sistema reproducir diferentes configuraciones, con diferentes distancias y no necesariamente cada parlante deberá tener un opuestos. Sin embargo la importancia de cumplir estos requisitos aún se mantiene. Aunque los errores en arreglos de parlantes no regulares ya no son tan notorios, si se puede tener una mejor localización de las fuentes en un arreglo convencional.

2.1.6. Software

En la búsqueda de un software que permita trabajar con señales de audio, además de permitir incluir un módulo de video al mismo tiempo, las opciones son reducidas, y se reducen aún más cuando se deben buscar software que hayan desarrollado librerías para trabajar con Ambisonics. A lo largo de la historia el paso del mundo análogo al digital se ha visto impulsado por la velocidad de los procesos y lo económico que se vuelve realizar procesos con un solo ordenador y no tener que construir costosos dispositivos, para procesar señales. En el progreso del sistema Ambisonics una de las primeras personas en desarrollar un sistema digital para el procesamiento de las señales en esta tecnología fue Dave Malham [14], codificando y decodificando la señal capturada por el micrófono SoundField por medio de un sistema digital.

Posteriormente este sistema digital comenzó a ser más popular y se empezó a implementar para procesar las señales del sistema Ambisonics, presentando una ventaja, pues la cantidad de circuitos se veía disminuida a la vez que el costo. Rimell & Hollier [16] desarrollaron por primera vez un sistema que integraba el audio procesado con Ambisonics y la proyección de video en una pantalla cóncava que pretendía emular un espacio de realidad virtual. Otro exponente importante en el uso de software es Ángelo Farina [5], quien genera un GUI (interfaz gráfica para el usuario), que permite al usuario interactuar con el computador de manera rápida y agradable; dentro de su trabajo explica el funcionamiento de su software y la cantidad de recursos que necesita para que el sistema funcione correctamente.

El uso actual de sistemas digitales, va más allá de codificar y decodificar las señales del B-Format, ahora con estos sistemas se implementan espacios virtuales y arreglos de micrófonos virtuales que permiten crear ambientes sonoros más completos e interactivos.

En relación al uso del software de este proyecto se encuentra la librería desarrollada para MAX/MSP que permite al usuario interactuar por medio de un GUI, de manera rápida y muy instintiva, esta librería fue desarrollada por el ICST gracias a los avances en proceso de la señal desarrollado por Dave Malham y la universidad de York. Por medio de esta librería es posible codificar fuentes puntuales en un tercer orden y reproducirlos en un espacio tridimensional, además permite integrar, cualquier señal en B-Format dentro del espacio tridimensional y permite posicionar los parlantes de manera arbitraria, de acuerdo a las necesidades que tenga el usuario [15].

2.2 MARCO LEGAL –NORMATIVO

2.2.1 licencia de uso de contenidos

Licencia Creative Commons

Reconocimiento-NoComercial

CC BY-NC

Esta licencia permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de este trabajo de manera no comercial y, a pesar de que sus nuevas obras deben siempre hacer mención y mantenerse sin fines comerciales, no están obligados a licenciar sus obras derivadas bajo las mismas condiciones.

Este trabajo está licenciado bajo la Atribución-NoComercial 4.0 Licencia Internacional Creative Commons. (Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/ o envíe una carta a Creative Commons, 444 Castro Street, Suite 900, Mountain View, California, 94041, EE.UU.)

Adicionalmente la librería de Ambisonics desarrollada por el ICSTes usada bajo GNU Lesser General Public License (LGPL). Donde se describe que el software libre es una cuestión de libertad de los usuarios para ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y modificar el software. Más concretamente, se refiere a los cuatro tipos de libertades para los usuarios de software:

- La libertad de usar el programa, con cualquier propósito (libertad 0).
- La libertad de estudiar el funcionamiento del programa, y adaptarlo a sus necesidades (libertad 1). El acceso al código fuente es un prerrequisito para esto.
- La libertad de distribuir copias para ayudar a los demás (libertad 2).
- La libertad de mejorar el programa y de publicar las mejoras, de modo que toda la comunidad se beneficie (libertad 3). El acceso al código fuente es un prerrequisito para esto.

Los audios descargados de www.ambisonia.com es copyright de la Universidad de York y no puede ser reproducido sin su permiso. Al descargar estos audios se debe comprender que estos deben ser para uso de personas sin fines comerciales.

El software FlowStone para generar el plug-in implementado dentro de MAX/MSP es usado con una versión de prueba y no es necesario adquirir la licencia comercial.

2.2.2 Normativa Acústica

2.2.2.1 Norma ISO 3382-1

Esta norma fue implementada por el estudiante de Ingeniería de Sonido Andrés Quiroga, quien realizo la medición del tiempo de reverberación del auditorio San Francisco de Asís.

2.2.2.2 IEC 60268 Apartado 1, 2 y 4

Esta norma se implementó, en la medición del patrón polar y la sensibilidad del arreglo de micrófonos, para tal caso se realiza la medición al aire libre, dentro del campus de la Universidad de San Buenaventura Bogotá, pero al estar este ubicado a varias zonas de construcción el ruido de fondo no es adecuado y por tal motivo se opta por medir en el auditorio san francisco. Conociendo las implicaciones acústicas que este tendrá dentro de la medición.

2.2.2.3 IEC 263

Esta es una norma referenciada, por la IEC 60268 en la cual se explica cómo graficar el patrón polar obtenido, cumpliendo con los parámetros internacionales.

3 METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrolla en este proyecto es empírico-analítica; se hace uso de teorías establecidas para los sistemas Ambisonics y se procede de acuerdo a los estándares establecidos, de acuerdo a lo anterior el proceso se describe de la siguiente manera.

Se implementa un sistema de captura de audio por medio de un arreglo de micrófonos que simula la captura de una señal codificada (B-Format), este arreglo de micrófonos es analizado de manera objetiva mediante una medición del patrón polar y sensibilidad. Se implementa también una etapa de codificación de fuentes puntuales y una etapa de decodificación, por medio del software MAX\MSP 6. Implementado la librería del ICST desarrollada para trabajar con sistemas de audio Ambisonics, en esta parte del proyecto se lleva a cabo un exhaustivo estudio teórico, acerca de que configuración de parlantes que funciona mejor en la reproducción de la señal, con la menor cantidad de pérdidas de información y una mayor precisión en la localización de las fuentes, dentro de este proceso se siguen los lineamientos de un proceso de postproducción, donde se complementan los ambientes sonoros con fuente puntuales, foleys , efectos, etc.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto es parte de la línea de investigación de la universidad de San Buenaventura de tecnologías actuales, siendo a su vez parte de la línea de investigación de la Facultad de Ingeniería de Análisis y Procesamiento de señales y el núcleo problémico de Audio y Acústica, debido a que este proyecto se centra en el análisis y manipulación de las señales acústicas provenientes del medio por medio de software.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En el proceso de recolección de información, se realizan mediciones acústicas y se elaboran encuestas encaminadas a la evaluación de parámetros subjetivos del sistema de reproducción Ambisonics, adicionalmente se sigue un riguroso proceso de obtención de información, mediante la lectura, estudio y análisis de fuentes bibliográficas, por medio de las cuales se puedo llegar a tomar decisiones, referentes a la disposición de los parlantes, la técnica de captura optima y la forma de llegar a implementar la librería Ambisonics en MAX/MSP 6.

3.3.1 Consulta de material bibliográfico

La información que se recopila a través del material bibliográfico, se utiliza inicialmente para definir el estado del arte del proyecto y posteriormente se utiliza para comparar, analizar y evaluar distintas teorías, por medio de los resultados obtenidos en cada uno de los artículos y tesis. El primer punto que se evalúa con esta fuente de información fue la utilización de un arreglo de micrófonos, donde se encuentra información acerca de posibilidades de implementar un arreglo de micrófonos (Nimbus-Halliday) para obtener el B-Format y de qué manera funciona el arreglo de manera subjetiva y objetiva.

El segundo punto a analizar es el posicionamiento de los parlantes en el espacio y de qué manera se puede llegar a tener un mejor resultado, basándose en experiencias de distintos autores y las evaluaciones objetivas y subjetivas llevadas a cabo en distintos proyectos.

El tercer punto en el que se empleó este método de recolección de información fue en el uso del Software MAX/MSP y su respectiva librería para sistemas Ambisonics, donde se leyó la documentación referente al funcionamiento del software y la librería del ICST.

El último paso, dentro del proceso de recolección de información, es la consulta de un trabajo desarrollado por estudiantes de la universidad de San Buenaventura Bogotá, donde se

lleva a cabo la medición del tiempo de reverberación del auditorio San Francisco de Asís, lugar donde se efectúa la medición del patrón polar del arreglo de micrófonos, con el fin de conocer las implicaciones acústicas que puede tener sobre la medición del patrón polar.

3.3.2 Mediciones Acústicas

Dentro de las mediciones que se llevan a cabo para determinar el patrón polar y la sensibilidad de los micrófonos de grabación, se implementa la norma IEC 60268 apartados 1, 2 y 4 y la norma IEC 263 donde se indica de qué manera se deben graficar los datos obtenidos para el patrón polar.

3.3.3 Encuestas

Finalmente se ejecutan las encuestas respectivas con el fin de evaluar subjetivamente el sistema y ver de qué manera responden las personas a los diferentes estímulos generados por el arreglo de monitores y evaluar la respuesta al sistema Ambisonics en la reproducción de atmosferas sonoras. (Ver anexo A)

3.4 Población y muestra

3.4.1Poblacion

La población evaluada son estudiantes de ingeniería de sonido de IX y X semestre y profesores de ingeniería de sonido, teniendo un total de 121 personas

3.4.2 Muestra

La muestra será el 30% de la población (36 personas) con el fin de garantizar que la muestra sea significativa y tenga un grado de confianza del 90%.

3.5 VARIABLES

3.5.1 Variables Independientes

- El clima es un factor, que influye en la grabación de los ambientes sonoros, en caso de lluvias la grabación no se pueden llevar a cabo, se tiene que tener un día despejado para poder proceder con la captura del audio
- Las condiciones de los micrófonos a utilizar, al ser estos micrófonos de la universidad que están a disposición de todos los estudiantes, estos micrófonos se van deteriorando y perdiendo sus características de fábrica, además están propensos a romperse o dañarse permanentemente, obligando al cambio de micrófonos.
- Los ambientes a capturar, pueden variar de acuerdo al día y la hora en que se grabe, sin poder tener certeza absoluta de que tan concurrido estará el sitio o lugar de grabación.
- El lugar para la medición de patrón polar y equipos para desarrollar dicha medición, es un factor que genera un problema en cuanto al tiempo y la obtención de resultados, pues el proceso se torna largo y tedioso.

3.5.2 Variables Dependientes

- EL arreglo de micrófonos, es algo que se puede variar, pues la universidad cuenta con variedad de micrófonos, que cumplen con los requisitos necesarios para implementar el arreglo Nimbus-Halliday.
- El diseño del Plug-in de codificación, es también una variable, que se puede variar de acuerdo a las necesidades, pues existen varios institutos, que han desarrollado sistemas para trabajar con sistemas Ambisonics en MAX/MSP.

- El sistema de monitoreo, a pesar de ser gama baja por el presupuesto con el que se cuenta, en el mercado se puede encontrar una variedad, con distintas posibilidades y opciones, permitiendo escoger el que mejor se adapte a las necesidades.

3.6 HIPÓTESIS

Después de hacer un análisis del funcionamiento del micrófono Soundfield usado para los registros Ambisonics, donde se tienen en cuenta las especificaciones propias del sistema, se logra obtener un arreglo de micrófonos que emula dicho micrófono, para su posterior codificación, donde es complementado con fuentes puntuales y ambientes de librerías B-Format, permitiendo obtener atmosferas sonoras, que cumplen con los parámetros subjetivos que desean escuchar las personas.

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 ARREGLO DE MICRÓFONOS

El arreglo de micrófonos implementado en este proyecto, se conoce como Nimbus-Halliday, siendo este una simulación del B-Format de Ambisonics. Conociendo su configuración original de dos micrófonos bidireccionales para capturar los ejes X, Y y un omnidireccional en su centro, se decide agregar un cuarto micrófono al arreglo para el eje Z de acuerdo a la teoría ya expuesta por Michael Gerzon en cuanto a la captura de las señales para obtener el B-Format, el cual, al igual que los otros dos ejes, tiene un patrón bidireccional para obtener una mejor percepción final de altura dentro del sistema.

4.1.1 Selección de los micrófonos.

En la captura del ambiente sonoro se tomó la decisión de implementar, el arreglo de micrófonos Nimbus-Halliday (ver sección 2.1.4), conocido también como Native B-Format. Este arreglo es el único que brinda la posibilidad de capturar el sonido directamente en B-Format, emulando la salida de audio que se tiene de un micrófono Soundfield, la señal obtenida es codificada y reproducida en el arreglo de parlantes deseado para reproducir la atmósfera tridimensional que fue grabada.

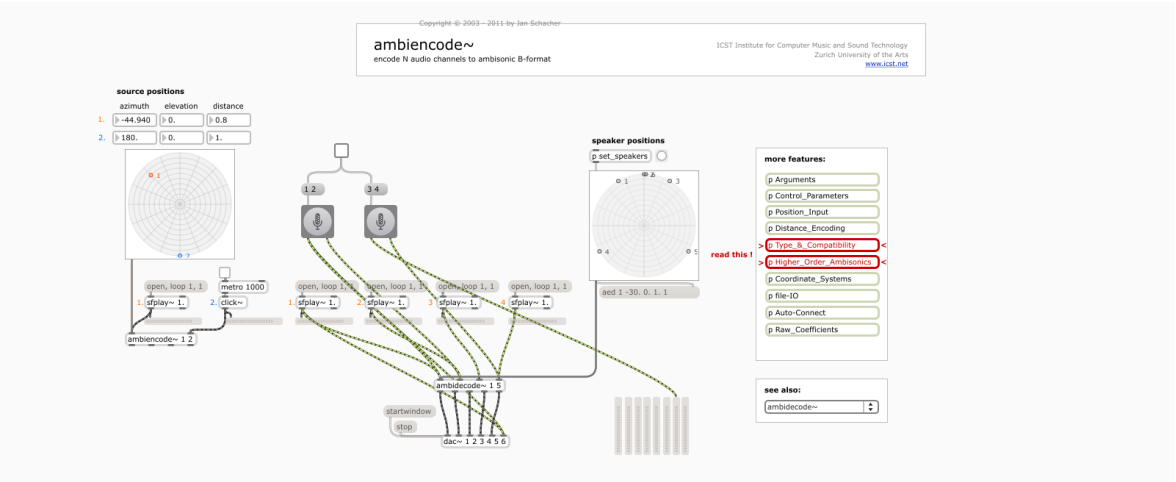
El arreglo Nimbus-Halliday tiene un mejor funcionamiento cuando los micrófonos utilizados comparten las mismas características o son todos de una misma marca y referencia, pues de esta manera se evita tener que realizar correcciones de ganancia y se garantiza además, tener una misma distancia de las capsulas al centro del arreglo.

En el desarrollo de este proyecto se usaron dos tipos diferentes de micrófonos, pues no fue posible adquirir cuatro micrófonos de la misma referencia dentro de la Universidad San Buenaventura, para escogerlos se recurrió a los manuales de los micrófonos multi-patrón y se

seleccionaron teniendo en cuenta: la sensibilidad, el tamaño de las capsulas y su respuesta en frecuencia, siendo estos tres ítems indispensables para obtener una respuesta homogénea en la captura.

El arreglo necesita tres micrófonos en figura 8 (X, Y, Z) y otro omnidireccional (W). Se llevaron a cabo pruebas auditivas en el estudio 5.1 de la Universidad de San Buenaventura. Esta prueba consiste en ubicar una fuente puntual alrededor del arreglo de micrófonos y en tiempo real escuchar la coincidencia entre la fuente y lo que se escucha en el control Room. Para esto se calibraron las entradas del preamplificador, generando una señal de 94dB en el dodecaedro y observando el nivel de entrada en los medidores de pro tools. Una vez calibrados los niveles de entrada, donde se debe tener un nivel de -3dB para W, se implementa la librería Ambisonics del ICST desarrollada para el software MAX/MSP, donde se conectaron los módulos de micrófono en el decodificador (ver figura 4.1).

Figura 4.1 Patch de prueba, funcionando en tiempo real con una fuente puntual en el estudio 5.1 de la Universidad San Buenaventura.



En primera instancia se probó un arreglo conformado por dos micrófonos Studio Projects B3 en las posiciones X, Y, un micrófono Marshall MXL2010 para la posición Z y un micrófono Behringer ECM8000 en posición W cuyo patrón polar es omnidireccional (ver figura 4.2).

Figura 4.2 Arreglo Native B-format con micrófono en el eje Z. X-Y (StudioProjects B3), Z (Marshal MXL2010), W(Behringer ECM 8000).

En este arreglo de micrófonos se encontró un problema con el micrófono ECM 8000, este micrófono se utilizó por el tamaño de su capsula, siendo ideal para ubicarlo entre las capsulas del arreglo, pero el problema se presentó en la etapa de pre amplificación, donde al igualar las ganancias de los preamplificadores para obtener una respuesta homogénea, se escucha ruido eléctrico inducido por el preamplificador, pues se debe poner el pre amplificador a su máxima capacidad, además la aleatoriedad en la información obtenida, es mayor, pues en este caso no son tres sino cuatro micrófonos, lo que significa que cada uno tiene una respuesta en frecuencia diferente y se deben hacer correcciones para cada uno de estos, lo que implica una mayor manipulación de las señales de entrada.

Por los motivos mencionados anteriormente se opta por cambiar los micrófonos, en el segundo arreglo que se implementa, los micrófonos seleccionados son: Marshall MXL2010 en la posición W, reemplazando el Behringer ECM8000, con lo que se obtiene un par de micrófonos, tanto para Z como para W. Dejando los B3 tanto para X como para Y, siendo esta configuración un poco más conveniente, pues las correcciones que se deben hacer son menores, otro aspecto importante es el uso de dos micrófonos similares en X-Y, estos más que representar una señal obtenida en ejes individuales, representan en su totalidad el plano horizontal, dando mejor respuesta en la localización horizontal de las fuentes, otra ventaja de este cambio, es que el centro del arreglo deja de ser el micrófono W y en vez de esto se crea un centro imaginario para todas las capsula, incluyendo el arreglo en una esfera imaginaria.

Los problemas que se experimentan durante esta prueba, de ubicar la fuente puntual y girarla alrededor del arreglo, son:

- La difícil localización en los laterales
- Los saltos aleatorios, que se experimentan de un lugar a otro.

Sin embargo, este comportamiento es mencionado por Farina y por Pulkki. Ellos comentan estas falencias en la ubicación lateral y los saltos aleatorios de las fuentes puntuales, especialmente en sistemas de reproducción 5.1. Al ser esta una grabación de primer orden, con un arreglo Nimbus-Halliday, el problema se hace más notorio.

Durante la implementación del arreglo se consulta a Daniel Courville por medio del foro de la página de cycling 74 (desarrolladores del software Max/MSP), solucionando dudas y dando consejos para implementar el arreglo, esto da paso al cambio de micrófonos, donde se logra una distancia más homogénea hacia el centro imaginario de los micrófonos. Pues al usar los B3 y los

MXL 2010, estos últimos se deben alejar del centro, para obtener una distancia entre capsulas igual a la de los B3, creando un espacio en el centro, perdiendo coincidencia en el arreglo.

El arreglo que se implementa finalmente utiliza los micrófonos AKG C414, que mejoraron notablemente el problema de coincidencia entre las capsulas, con una distancia de 6cm del centro de cada cápsula al centro del arreglo dejando la configuración de la siguiente manera: dos micrófonos Marshall MXL 2010 para las posiciones X, Y y dos micrófonos AKG C414 para las posiciones W, Z (ver figura 4.3)

Figura 4.3 Arreglo Native B-format con micrófono en el eje Z. Usado para grabar las atmosferas sonoras X-Y (MXL2010), W-Z (AKG 414).

Figura 4.3.1 Posición de los microfonos dentro del arreglo (Izq) y distancia de las capsulas al centro del arreglo

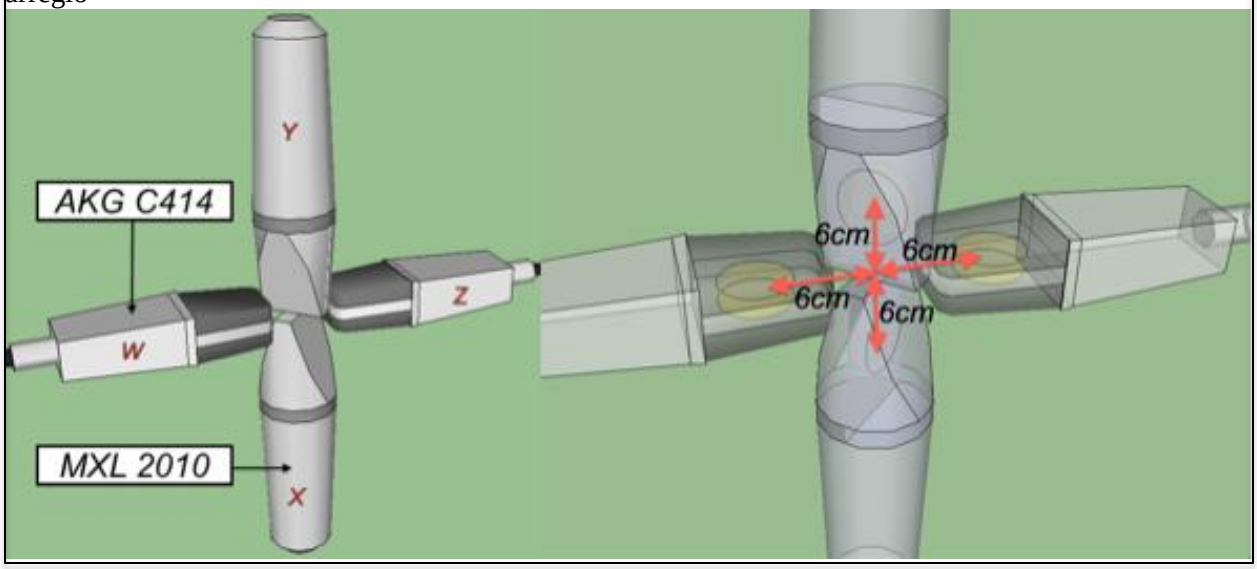
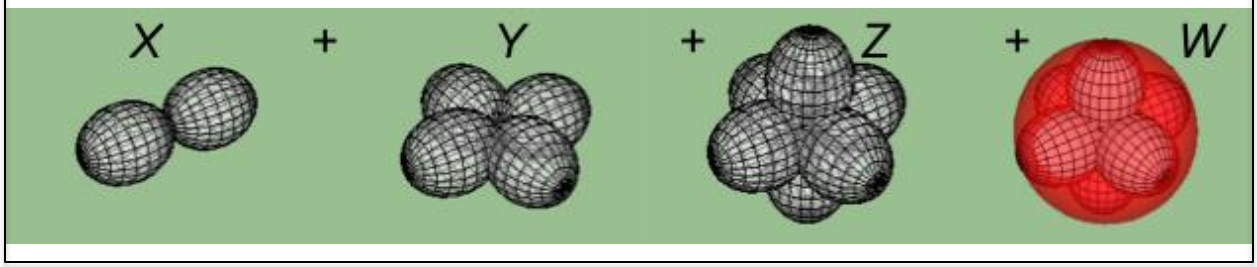


Figura 4.3.2 Comportamiento direccional de las capsulas dentro del arreglo



4.1.2 Mediciones del patrón polar y sensibilidad del arreglo de micrófonos.

Una vez se selecciona la configuración de micrófonos, de acuerdo a la teoría expuesta en el material bibliográfico, páginas web y después de la evaluación que se lleva a cabo en el estudio 5.1, Se procede a evaluar el arreglo, de acuerdo a los parámetros expuestos por Benjamin y Chen [3], en donde se menciona la relación de los patrones polares y la sensibilidad de cada micrófono en su respectiva posición dentro del arreglo, con respecto al Soundfield.

Para esto se realizan las mediciones de acuerdo a las normas IEC 60268-1, IEC 60268-2, IEC 60268-4, IEC, IEC 263, IEC 61938. Estas normas exponen el desarrollo de la medición de elementos electro-acústicos. En este caso particular se procede a medir el patrón polar y

sensibilidad de los micrófonos dentro del arreglo Nimbus-halliday que fue seleccionado para el desarrollo de este proyecto (ver sección 4.1.1).

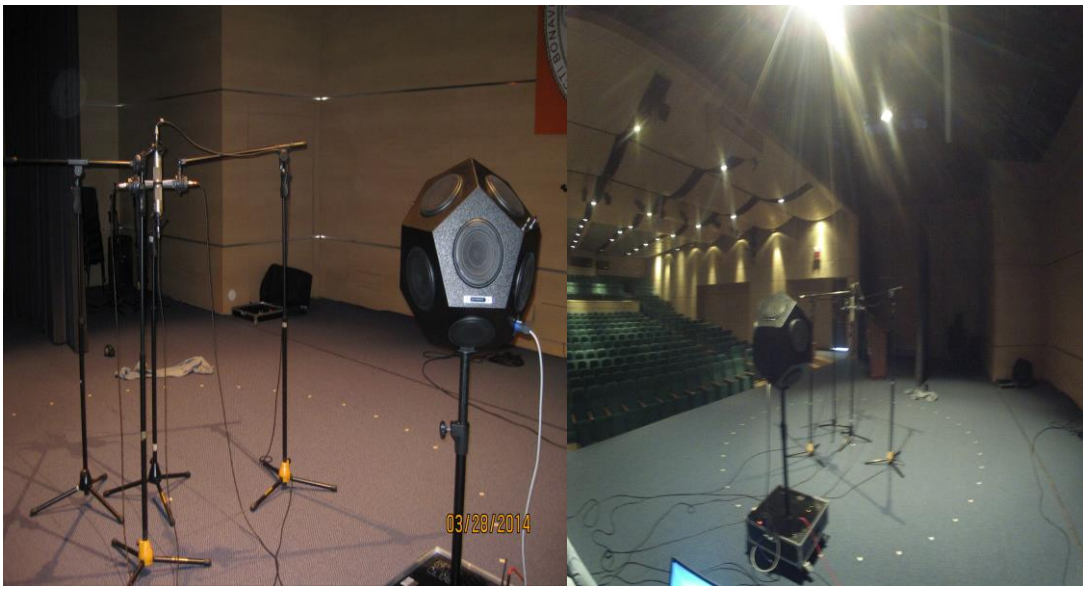
4.1.2.1Patrón Polar

La medición de patrón polar de acuerdo a la norma IEC 60268, se debe realizar en cámara anecóica o campo difuso. Debido a la ausencia de este tipo de recintos, se realizó una primera medición en el campus de la universidad al aire libre, pero por obras de instituciones académicas aledañas, fueron un problema pues el ruido de fondo era muy alto, además de las condiciones climáticas, pues al ser esta medición tan prolongada en el tiempo, el cambio atmosférico varía mucho desde la primera toma de datos hasta la última. Esta medición en campo abierto se intentó hacer en tres oportunidades y no fue posible culminarla satisfactoriamente por las causas ya mencionados, por tal motivo se buscó un recinto con el espacio suficiente para realizar la medición, la cual fue llevada a cabo en el auditorio San Francisco de Asís de la Universidad de San Buenaventura, ya que en este recinto se tiene un ambiente más controlado en cuanto a ruido ambiente se refiere y las dimensiones de la tarima son lo suficientemente grandes para realizar dicha medición (ver figura 4.4).

El protocolo para la medición de patrón polar según la norma es el siguiente:

- Se calibra la señal de entrada de cada micrófono dentro del arreglo manteniendo un comportamiento homogéneo en la ganancia del preamplificador.
- Se deben generar tonos por banda de octava con una distancia de dos metros entre la fuente y el punto de medición donde se ubica el arreglo de micrófonos.
- Los tonos deben ser reproducidos con una variación entre 10 y 15 grados alrededor del arreglo.

Figura 4.4. Medición de los patrones polares de cada micrófono del arreglo B-Format, implementado con los micrófonos AKG-414 En las posiciones de W y Z y los micrófonos MXL-2010 en la posición de X y Y. Llevada a cabo en el Auditorio San francisco de Asís de la Universidad de San Buenaventura Bogotá



Lo primero que se debe hacer es nivelar las entradas del preamplificador, para esto, se usa el micrófono ECM 8000 de Behringer, y se adapta a un pistófono de 94dB a 1 KHz, con este se busca tener la misma ganancia a la entrada de los preamplificadores, para visualizar dichos valores de entrada, se hace uso del software EASERA (ver figura 4.5).

Figura 4.5. Calibración del nivel de ganancia en los preamplificadores por medio del micrófono ECM 8000 y EASERA.

La medición del patrón polar se lleva acabo, con variaciones de 10° y se realiza por bandas de octava, desde 125 Hz hasta 16 KHz. Se usa una fuente omnidireccional que genera tonos puros por medio del software EASERA y también se registran los datos de la medición en este software. La interfaz que se usa en esta medición es una Fast-Track Ultra 8R, ya que esta interfaz permite grabar los 4 canales simultáneamente.

En la medición del patrón polar de Z, es necesario girar el arreglo de micrófonos 90° y realizar de nuevo la medición para este canal. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8.

Figura 4.5 Patrón polar del micrófono AKG C414 (Omni) en posición W del arreglo Nimbus-Halliday.

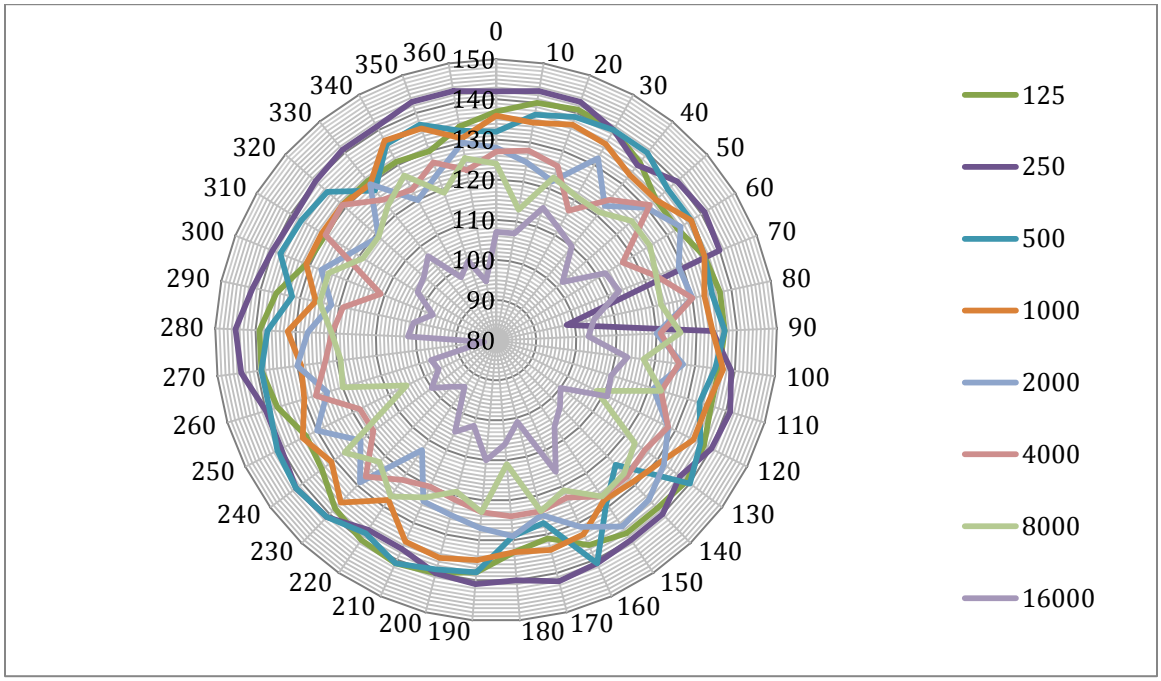


Figura 4.6 Patrón polar del micrófono Marshall MXL 2010 (Figura 8) en posición X del arreglo Nimbus-Halliday

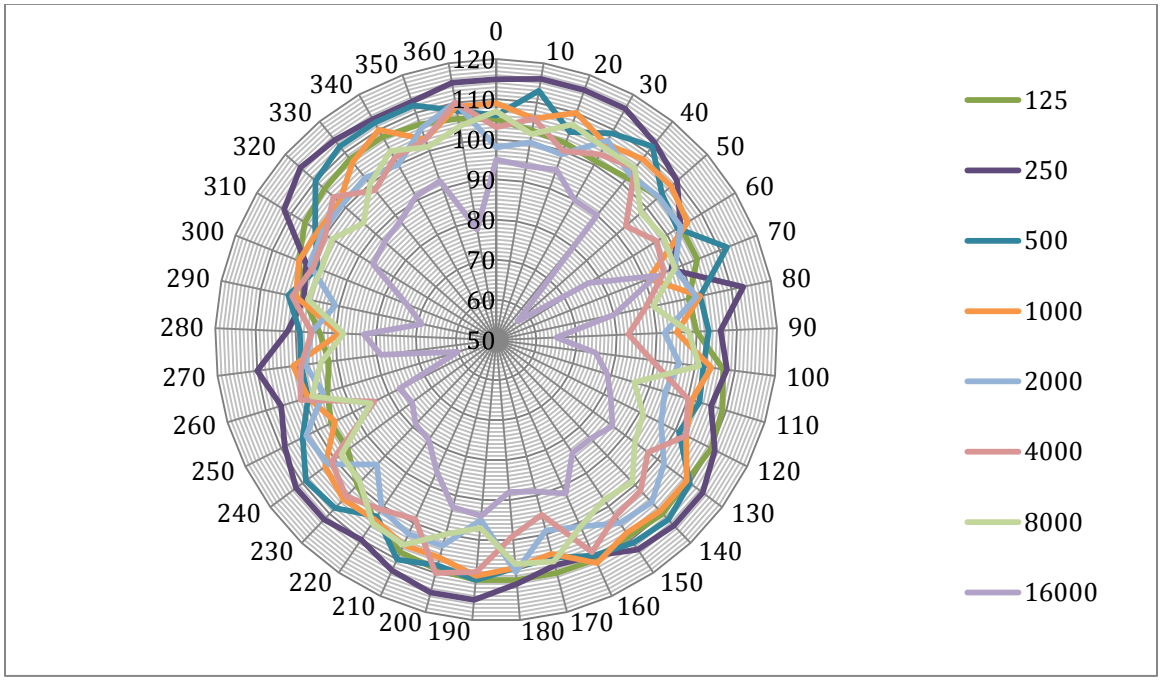


Figura 4.7 Patrón polar del micrófono Marshall MXL 2010 (Figura 8) en posición Y del arreglo Nimbus-Halliday

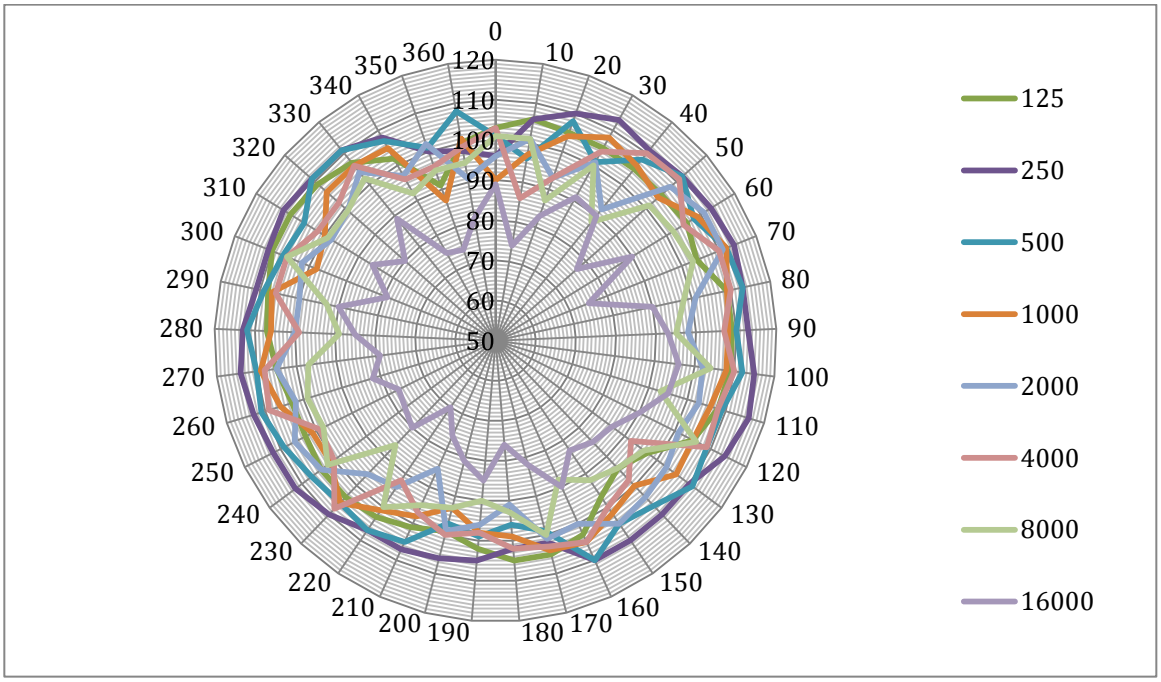
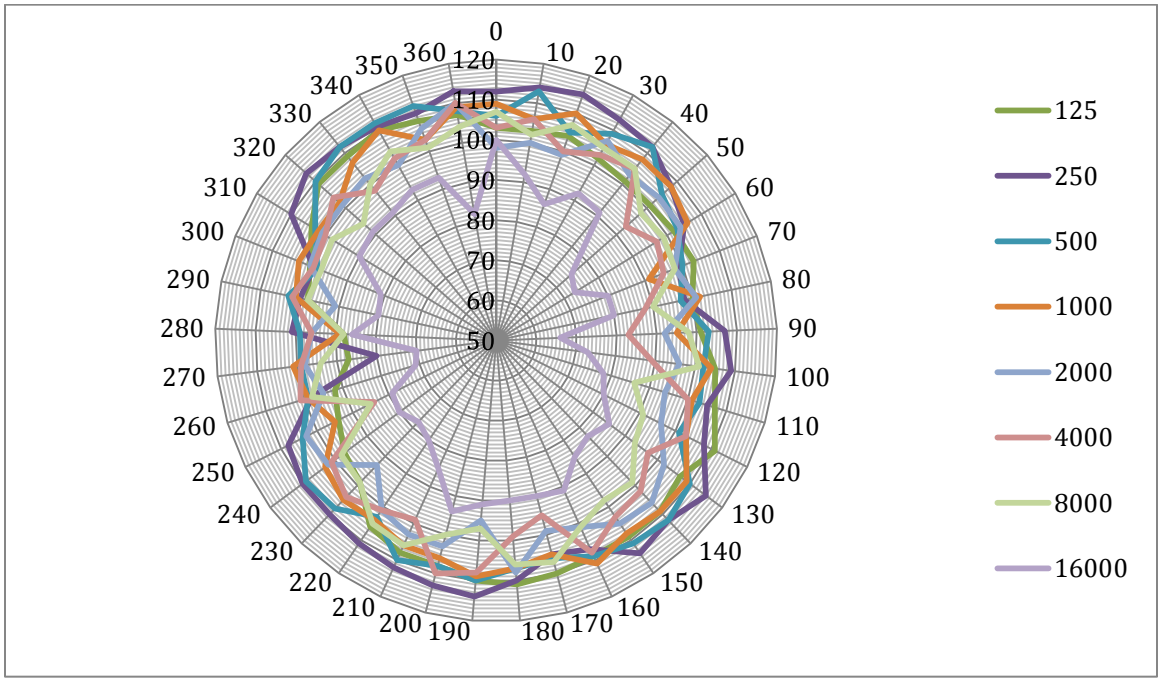


Figura 4.8 Patrón polar del micrófono AKG C414 (Figura 8) en posición Z del arreglo Nimbus-Halliday



Estas Graficas muestran el diagrama polar de cada micrófono, implementando el arreglo Nimbus-Halliday, donde se aprecia un comportamiento aproximado a cada uno de los patrones polares, se debe tener en cuenta que la sala no es la adecuada para medir este tipo de valores, ya que se pueden presentar problemas modales, influencia de la reverberación y también se pueden presentar problemas relacionados con las reflexiones, en las superficies cercanas al lugar de medición.

4.1.2.2 Sensibilidad y Respuesta en Frecuencia

Se realizó la medición de sensibilidad y respuesta en frecuencia de acuerdo al protocolo de medición de las normas IEC61938 y la IEC 60268-4:

Se generaron tonos puros por banda de octava desde 125Hz hasta 16KHz, con un SPL de 94 dB por banda y a una distancia de dos metros (2mts) al arreglo de micrófonos. Con estos tonos puros incidiendo en la parte positiva de la capsula de los micrófonos, se mide el voltaje en

los pernos del micrófono, con un osciloscopio análogo, obteniendo valores en mV. Una vez se conoce el valor por banda de octava, este valor es transformado a dBV, obteniendo así los valores de respuesta en frecuencia por banda de octava y a su vez el valor de sensibilidad de cada micrófono (dato obtenido a la frecuencia de 1 KHz). Todo esto sin la activación del Phantom Power para así obtener los niveles de salida de voltaje de cada micrófono.

Esta medición se lleva a cabo en el estudio hibrido de la Universidad de San Buenaventura (ver Figura 4.9), para evitar las posibles reflexiones producidas por el vidrio, se colocó un panel absorbente cubriéndolo obteniendo una mayor homogeneidad en las superficies del recinto, se seleccionó este espacio por su absorción, y bajos tiempos de reverberación.

Los valores obtenidos en estas mediciones, se muestran en la tabla 4.1 y en las figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 respectivamente. En éstas se muestra el valor en dBV de cada uno de los micrófonos del arreglo. Al igual que en la medición del patrón polar, el arreglo se gira 90° para medir el micrófono especifico de Z.

Figura 4.9 Medición de Sensibilidad y Respuesta en Frecuencia de cada micrófono en posición del arreglo Nimbus-Halliday.

Tabla 4.1 Datos medidos de Sensibilidad de cada micrófono en posición del arreglo

Microfono	AKG C414	MXL 2010	MXL 2010	AKG C414
Posicion	W	X	Y	Z
Sensibilidad (dBV)	-26 dBV	-26 dBV	-28 dBV	-26 dBV
Sensibilidad (mV/Pa)	50	50	40	50

Figura 4.9.1 Especificaciones de Sensibilidad de fabrica de los micrófonos AKG C414 y Marshall MXL 2010

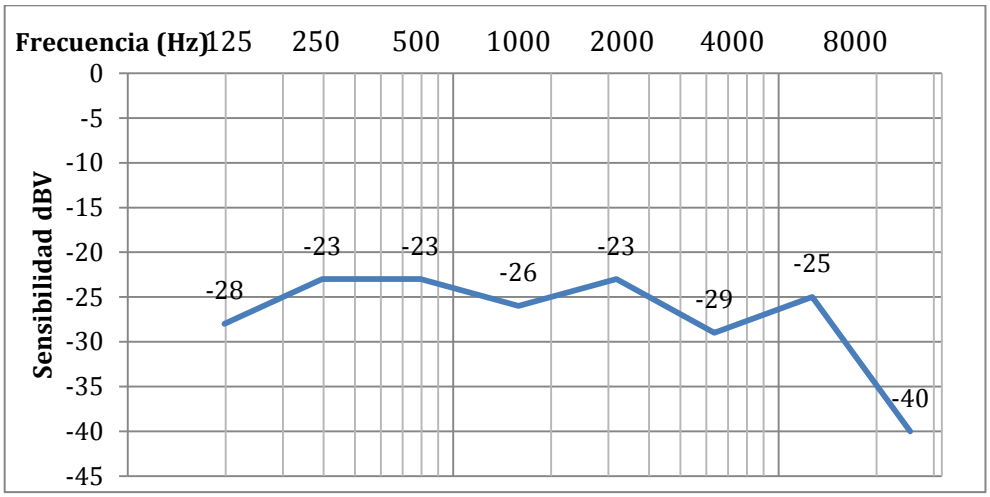
C 414 B-XLS / -XL II

Type:	1-inch large-diaphragm pressure gradient microphone
Polar patterns:	Omnidirectional, wide cardioid, cardioid, hypercardioid, figure eight
Sensitivity:	23 mV/Pa (-33 dBV) ± 0.5 dB
Frequency range:	20 to 20,000 Hz (see frequency response traces)

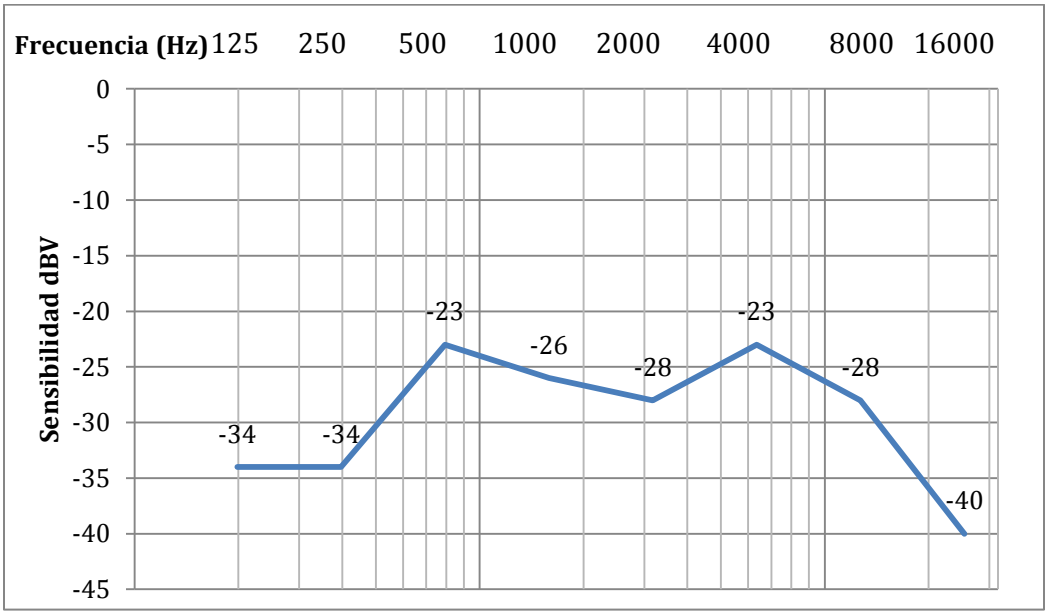
MXL 2010

Frequency Response:	30Hz - 20kHz
Polar pattern:	Cardioid/Figure-8/Omni
Sensitivity:	15 mV/Pa

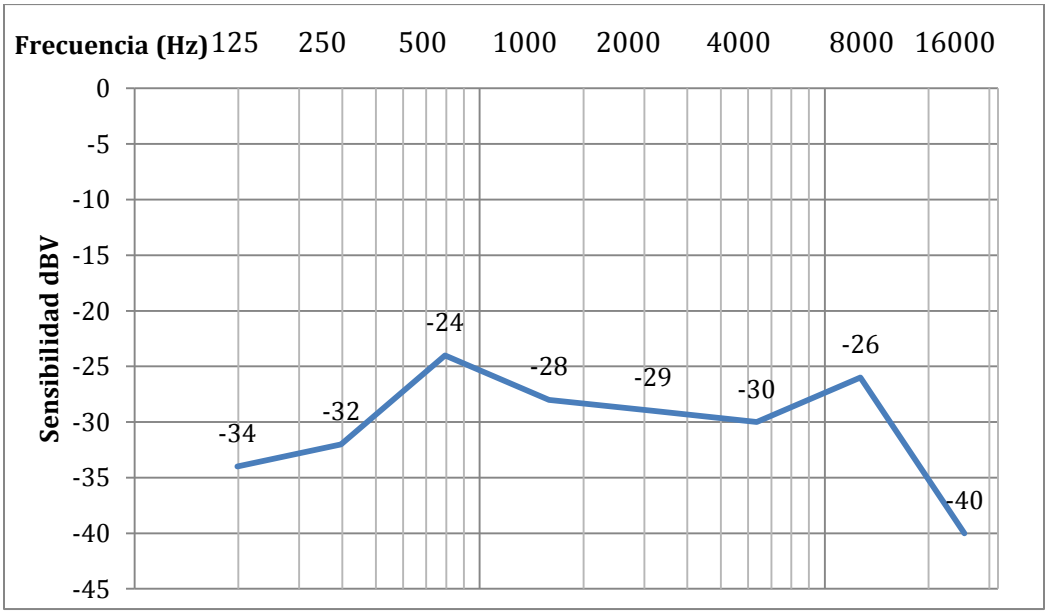
4.10 Respuesta en Frecuencia del Micrófono Marshall MXL2010 por Banda de Octava. Omnidir. (W)



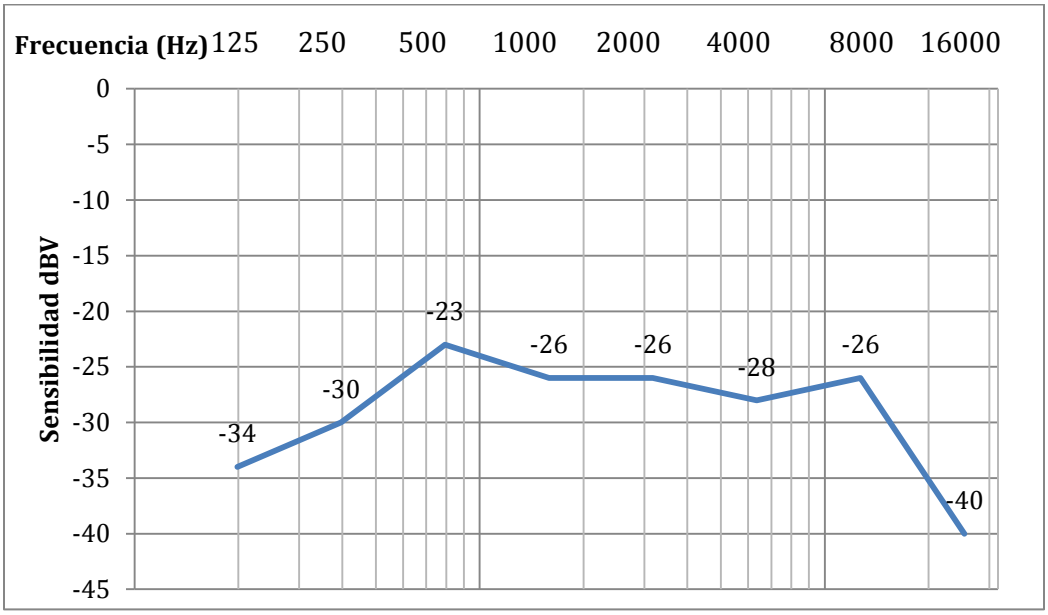
4.11 Respuesta en Frecuencia AKG C414 por Banda de Octava. Figura-8 X



4.12 Respuesta en Frecuencia del Micrófono AKG C414 por Banda de Octava. Figura-8 Y



4.13 Respuesta en Frecuencia del Micrófono Marshall MXL 2010 por Banda de Octava. Figura-8 Z



Los valores que se obtienen, varían de acuerdo a los valores observados en los manuales de cada micrófono, esto se debe a que estos micrófonos están a disposición de los estudiantes de la Universidad tiempo completo y el uso que estos reciben, es demasiado exigente, generando pérdidas en la sensibilidad, y desmejorando la respuesta en frecuencia, con respecto a las características de fábrica.

Estos datos son necesarios para hacer la comparación del arreglo con respecto al comportamiento del micrófono Soundfield [2] y además para hacer las correcciones en el espectro de frecuencia de cada micrófono obteniendo así señales similares a las codificadas por el micrófono Soundfield (B-Format). Correcciones que se especifican en la sección 4.3.

4.2 GRABACIÓN DE ATMOSFERAS SONORAS Y FOLEY.

Las atmosferas sonoras seleccionadas para la validación del proyecto son grabadas en el campus de la Universidad de San Buenaventura, al igual que en la medición del patrón polar, las entradas de los preamplificadores, son calibradas mediante el uso del pistófono. Además de las capturas de Audio se incorpora una cámara de video grabando el frente y la parte posterior del arreglo, para apoyar el registro de forma visual (ver figura 4.14).

Figura 4.14. Medición de atmosferas sonoras en la Universidad de San Buenaventura Bogotá. (Izq. Cancha de Baloncesto) (Der. Polideportivo).

Se escogen cuatro espacios característicos para realizar la evaluación subjetiva del sistema por medio del método estadístico ANOVA, método que permite evaluar parámetros o cualidades de distintos sistemas, haciendo una comparación directa entre ellos, permitiendo analizar qué ambiente sonoro presenta una mejor respuesta.

Los espacios son escogidos con el fin de llevar el sistema a diferentes ambientes acústicas y cubrir las distintas posibilidades de todo el proyecto. Para esto se realizan dos grabación en

campo abierto (cancha de Baloncesto) y otra grabación en un espacio altamente reverberante (Polideportivo), esto tiene como fin ver en qué campo sonoro el sistema podría funcionar mejor. Sin embargo al ser el objetivo principal de este proyecto, generar atmosferas sonoras tridimensionales, implementando sistemas Ambisonics, estos espacios serán complementados, en postproducción por medio de Foley, doblaje, efectos, etc. Dando espacio al cuarto espacio, que se produce por medio de librerías Ambisonics y Foley grabados en la Universidad. Los espacios están distribuidos de la siguiente manera:

1. **Cancha de basketball,** punto de grabación ubicado en el punto de tiro libre.
2. **Cancha de basketball**, punto de grabación ubicado debajo del tablero.
3. **Cancha de Volleyball,** Punto de grabación ubicado a un costado de la cancha.
4. **Espacio artificial,** simulación de una jungla.

La grabación de las fuentes puntuales y algunos efectos de Foley, son grabados en los mismos lugares donde se graban los ambientes sonoros, con el fin de captar el ambiente natural en el que estos están presentes. Sin embargo se deben grabar algunos otros dentro del estudio (ver figura 4.15).

Figura 4.15. Grabación de Foley y Doblajes en el estudio 5.1 de la Universidad de San Buenaventura Bogotá

4.3 ECUALIZACIÓN

Al obtener las señales en B-Format, se debe proceder a realizar algunas correcciones de la señal, con el fin de obtener un comportamiento similar al micrófono Soundfield Original [2]. Para esto se realiza una ecualización, de acuerdo a la respuesta en frecuencia de cada uno de los micrófonos (ver sección 4.1.2.2), buscando obtener una respuesta más uniforme entre los distintos micrófonos, además de esto se compensa la diferencia de 3dB entre W y el resto de los canales X, Y, Z.

Para esto se utiliza, un ecualizador paramétrico de Pro Tools 8 LE (ver figura 4.16). Para cada canal W, X, Y y Z se crean ocho canales auxiliares para las bandas de octava de 125 Hz a 16 KHz respectivamente, se inserta en cada auxiliar un ecualizador paramétrico seleccionando una caída de 12 dB/oct y se ajusta la ganancia respectiva para cada banda de octava de cada micrófono de acuerdo a los datos obtenidos en la medición (ver sección 4.1.2).

Finalmente se realiza una suma de este grupo de señales filtradas obteniendo la corrección necesaria.

Figura 4.16. Ecualizadores Gráficos de Pro Tools 8 LE, filtrando por Banda de Octava

Figura 4.17. Corrección de respuesta en frecuencia mediante ecualización en Pro Tools 8 LE, filtrando por Banda de Octava (ventana de mezcla)

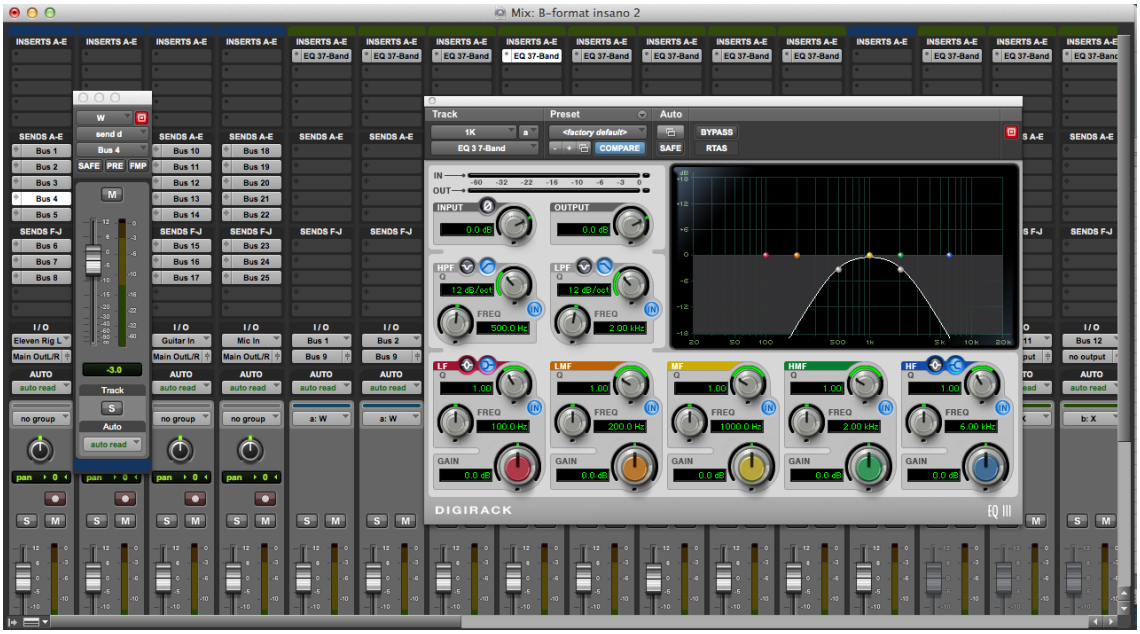
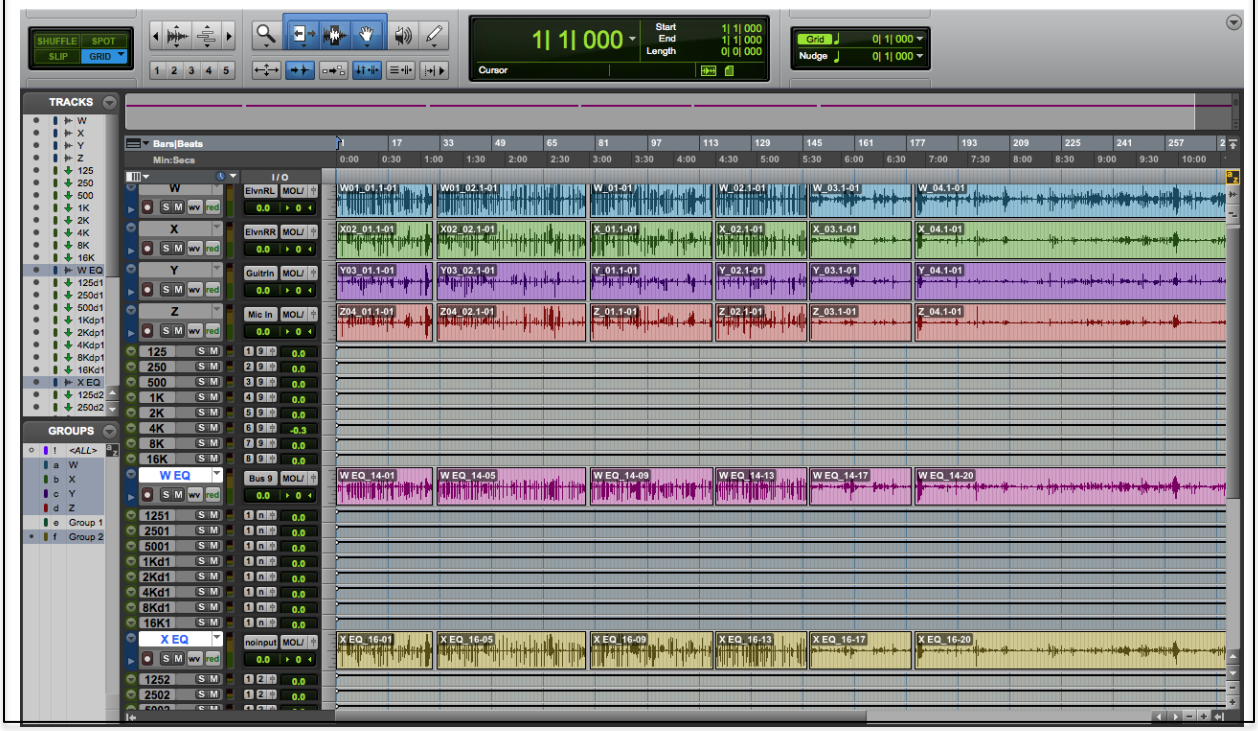


Figura 4.18. Corrección de respuesta en frecuencia mediante ecualización en Pro Tools 8 LE, filtrando por Banda de Octava (ventana de edición)



4.4 MAX/MSP 6 y FlowStone

Dentro del Software MAX/MSP 6, se lleva a cabo el proceso de codificación de las fuentes puntuales y decodificación de todo el ambiente sonoro. Además de la proyección del video y la postproducción.

Lo primero que se hace es descargar la librería de Ambisonics, desarrollada por el ICST, posteriormente se realizan pruebas de funcionamiento de los módulos mediantes fuentes puntuales y audios descargados de librerías Ambisonics., que garantizan la obtención de un B-Format. Una vez se comprueba el funcionamiento de esta librería, se procede a encadenar los módulos de acuerdo a los objetivos del proyecto, para esto se insertan las entradas de audio para las 4 señales (W,X,Y,Z), obtenidas en las grabaciones de este mencionadas en la sección 4.2. En los tres ambientes sonoros grabados, se adiciona un sonido de una librería B-Format, con el fin de ofrecer al oyente en un solo espacio la posibilidad de escuchar un audio obtenido del Nimbus-Halliday y otro obtenido por un micrófono Soundfield o en su defecto un tetrahedral Ambisonic microphone. Además de esto se crean entradas, para las fuentes puntuales, en este caso Foleys y doblajes, las cuales pasaran por el codificador del sistema y por su decodificador correspondiente.

Por otro lado un módulo de video es ingresado, con el fin de visualizar la captura visual que se realizó durante la grabación de las atmosferas sonoras. Además de esto se deben activar acciones programadas en el tiempo, que permitan ir reproduciendo las fuentes puntuales y los audios B-Format adicional, que van ingresando en la atmosfera. Para sincronizar las grabaciones se hace uso del transport en MAX/MSP, el cual permite sincronizar acciones mediante compases. Otro método utilizado es por medio de detección de señales en un umbral determinado dependiendo de la fuente sonora, para el ambiente artificial que se construye al final

es necesario recurrir a módulos que permiten realizar movimientos de las fuentes puntuales en determinados espacios de tiempo, escogidos de acuerdo a la fuente y al estímulo que se quiere generar. De esta manera se tiene un espacio controlado por las acciones a lo largo del tiempo. Ver Anexo C, para obtener una visualización de cada uno de los módulos acá mencionados.

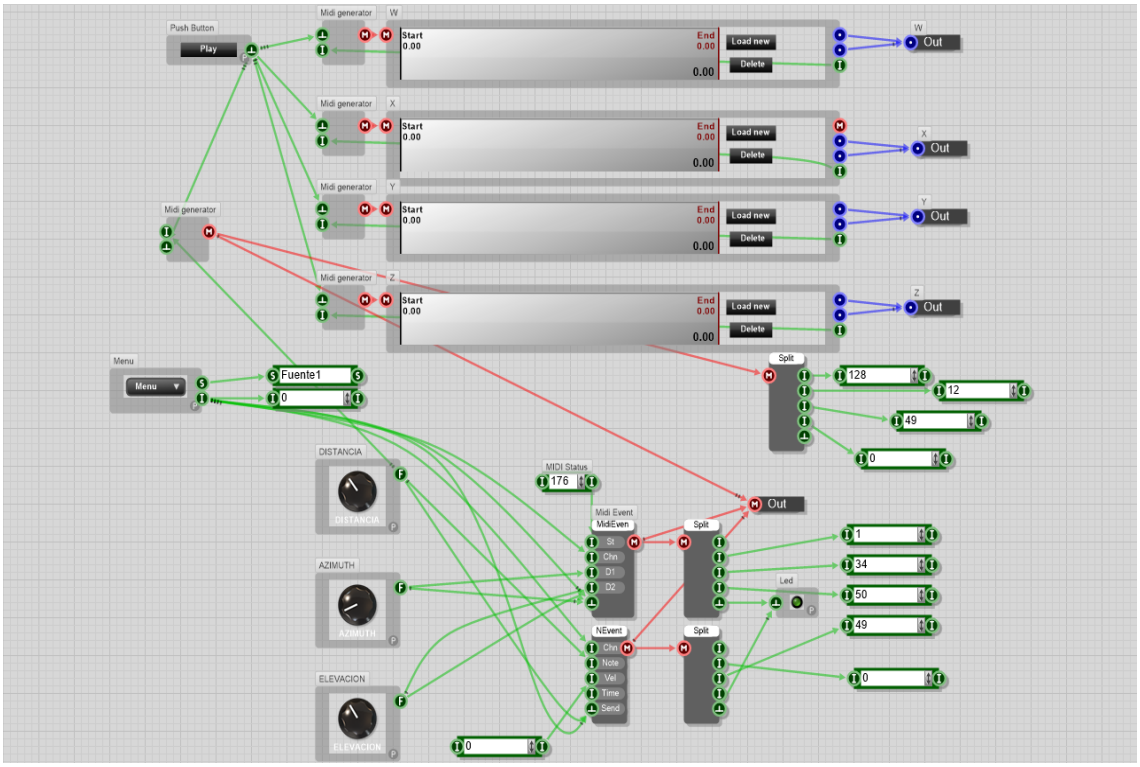
Por otro lado se desarrolló un plugin, que permite el proceso de decodificación de la señal monofónico aun formato B-Format, o de ser necesario a un orden de codificación mayor, siempre y cuando se establezca el nuevo orden en el software MAX/MSP. (ver figura 4.19 y figura 4.20)

Figura 4.19. Vst desarrollado con FlowStone. Que permite cargar el audio Monofónico y ubicarla en el espacio, utilizando los parámetros de Azimuth, Elevación y distancia

El Vst presenta controles muy básicos, que permiten agilizar el proceso de codificación, permitiendo al usuario implementar las fuentes puntuales de manera independiente a los ambientes precargados en el MAX/MSP, para utilizar este plugin lo primero que se debe hacer es cargar el audio, mediante el botón de *Load new* Este permite cargar archivos con extensión .wav, una vez seleccionados los 4 audios para los que fue diseñado este plugin, se debe presionar el

botón *play* que permite enviar los audios cargados al software MAX/MSP. Una vez se está reproduciendo el audio, se puede visualizar en el elemento Ambimonitor de la librería Ambisonics el movimiento de la fuente que se seleccione mediante el botón despegable de *menú* ubicado en la parte superior del VST, este botón permite decidir que fuente puntual quiero mover para posteriormente ubicar las coordenadas mediante los potenciómetros de altura, azimuth y distancia.

Figura 4.20. Diseño del plugin VST con FlowStone. Donde se muestran los módulos implementados al interior del VST



Como se puede ver en la figura 4.20 para el desarrollo de este plugin se usaron módulos prediseñados, como es el caso del módulo que permite cargar el audio, el cual se encuentra en la página oficial de DSPRobotics (*http://www.dsprobotics.com/*). Este módulo permite cargar un audio y visualizarlo en una pequeña interfaz gráfica, además de poder borrarlo, en caso de requerir otro audio diferente, también se observa que los potenciómetros y el selector de fuentes

puntuales envían datos mediante protocolo MIDI este permite sincronizar a las acciones entre los distintos software, permitiendo accionar diferentes funcionalidades dentro de MAX/MSP.

Figura 4.21. Codificador de MAX/MSP producido por el ICST, donde se muestran los dos parámetros implementados relevantes para el uso del plugin, orden y número de entradas.

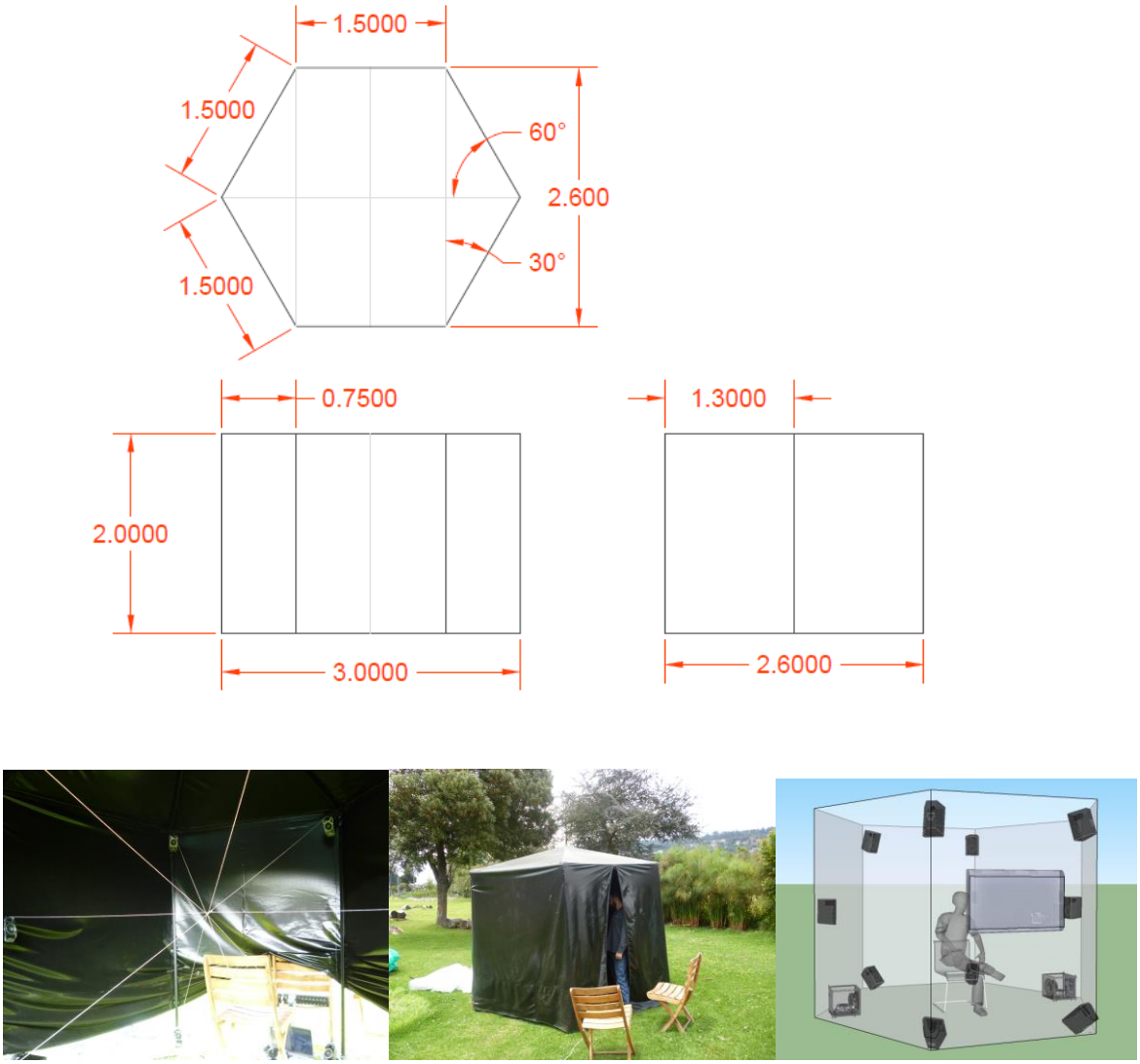
En la figura 4.21 se ve el módulo de codificación que permite establecer el número de entradas y el orden que se usara, en este caso se ve un orden 3 que permite obtener un total de 16 armónicos esféricos, y 2 entradas de fuentes puntuales. En la entrada izquierda del módulo se envían los mensajes procedentes del ambimonitor, donde se indica el número de la fuente y las coordenadas aed (Azimuth, elevación y distancia) que son manipuladas desde el VST y son utilizadas para la codificación de las fuentes puntuales haciendo uso de las ecuaciones (12, 13, 14, 15).

4.5 ARREGLO DE MONITORES

Se utilizaron dos sistemas 5.1, con el objetivo de garantizar una respuesta en frecuencia y un nivel de presión sonoro homogéneo. Estos parlantes son ubicados en una carpa hexagonal construida especialmente para el proyecto (ver figura 4.22). El motivo por el cual se decide usar la carpa, es para evitar reflexiones de algún espacio cerrado, intervención de la reverberación propia de la sala o problemas modales, sin embargo estos problemas siguen estando presente especialmente para frecuencias altas, ya que la carpa puede presentar reflexiones aunque de manera más tenue.

Los parlantes, siguiendo la teoría propuesta, se colocan cada uno con un respectivo opuesto en su eje y además de esto, todos tienen una distancia de 1.5m, al centro de la carpa lugar donde se ubica el oyente y adicionalmente los parlantes de al lado están a una distancia de 1.3m.

Figura 4.22. (Sup.) Vistas de la carpa donde se implementa el arreglo de monitores, (Inf. Izquierda) fotografía tomada durante las pruebas y (Inf. Derecha) levantamiento 3D.



4.5 EVALUACION DEL SISTEMA POR METODO ANOVA.

El método estadístico para comparar los ambientes sonoros y su calificación por parámetro, se realiza por medio del método estadístico ANOVA el cual facilita la comparación

de los 4 Ambientes sonoros. Este método es una herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso.

El primer paso antes de aplicar el método, es seleccionar la población de interés y posterior a esto, seleccionar una muestra representativa. La población que se escoge para desarrollar la evaluación de los ambientes sonoros, son alumnos de Ingeniería de Sonido de la Universidad de San Buenaventura Bogotá, de IX y X semestres adicionalmente se añade
a esta población los profesores del programa, esto con el fin de recibir, la opinión de gente con experiencia en el medio audiovisual y que tengan un criterio más estricto en la reconstrucción de atmosferas sonoras, el total de esta población son 121 personas.

Una vez se conoce el tamaño de la población se procede a escoger la muestra, seleccionando una muestra aleatoria y se procede a aplicar la ecuación 18 y 19.

$$n_0 = \left(\frac{z}{\varepsilon}\right)^2 * p * q \qquad (18)$$

$$n = \frac{n_0}{1+\frac{n_0}{N}} \qquad (19)$$

Donde n_0 es la cantidad teórica de elementos de la muestra, n es la cantidad real de elementos de la muestra a partir de la población asumida o de los estratos asumidos en la población, N es el número total de elementos que conforman la población, o número de estratos totales de la población. Mientras que Z toma un valor de 1,64, con el fin de obtener un 90% de confiabilidad de la muestra seleccionada, el error que se asume (ε) es del 0.05 es decir del 5%. La probabilidad de ocurrencia p será del 95% es decir que toma un valor de 0.95 y la probabilidad de no ocurrencia q será de 5% es decir su valor es de 0.05.

Una vez se suponen estos valores para establecer la muestra a evaluar se obtienen un valor significativo de muestra de 36 personas. Lo cual nos garantiza una confiabilidad del 90%.

Para evaluar el sistema opta por una evaluación subjetiva, en donde se evalúa la naturalidad, profundidad, presencia, realismo, localización, claridad, percepción de altura y percepción de movimiento de la fuente, de cada uno de los ambientes propuestos.

Esta evaluación va acompañado de algunas preguntas específicas que permiten identificar la respuesta del público, de acuerdo al tipo de campo sonoro (Campo Libre ó Campo Reverberante) además de identificar que sonido les gusta o disgusta más, si el producido mediante codificación de fuentes puntuales, o el obtenido mediante el Nimbus-Halliday, o el obtenido mediante las librerías Ambisonics. (Ver Anexo A).

En este proyecto se implementa el ANOVA de la siguiente manera, se establecen como bloques o filas, los parámetros subjetivos evaluados y como tratamientos o columnas, los ambientes.

Una vez entendido el proceso que se debe llevar a cabo para el análisis estadístico, se procede con la realización de las encuestas. Al obtener los datos estos son ingresados en Excel y por medio de la herramienta de análisis de datos se procesan los datos.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de resultados se tienen dos evaluaciones especificas las objetivas, relacionadas con el comportamiento del arreglo Nimbus-Halliday y las subjetivas, relacionadas con el comportamiento del sistema en general y la calidad de la reconstrucción de las atmosferas sonoras, esta última evaluación cubre todos los aspectos del proyecto, pasando por, la grabación, mezcla, postproducción y reproducción en el sistemas escogido para este proyecto específico.

5.1 MÉTODO DE ANÁLISIS OBJETIVO

Para ver el comportamiento del arreglo de micrófonos Nimbus-Halliday implementado en este proyecto, se midió el patrón polar del arreglo (ver figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8.) la sensibilidad (ver tabla 4.1) y respuesta en frecuencia de cada uno de los micrófonos por banda de octava (ver figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13). Lo primero que se observa en este estudio es el patrón polar pues es importante que realmente se capte el comportamiento bidireccional de cada uno de los micrófonos y adicionalmente la respuesta omnidireccional del cuarto micrófono. Es necesario recalcar que la medición no se pudo realizar en un espacio adecuado y tampoco se contó con un equipo especializado para la medición del patrón polar, lo cual interfiere en los resultados de la medición; sin embargo en los resultados obtenidos se observa que aunque el patrón polar de los micrófonos bidireccionales no muestra una figura 8 perfecta, si se presenta una alargamiento en la gráfica, dependiendo de su eje, con lo que podemos inferir que hay una captura estrechamente relacionada con los resultados esperados, ya sea por influencia de la sala o por las variaciones del clima o demás factores mencionados en la sección 4.1.2.1.

Además de esto se puede observar que en frecuencias altas especialmente en la banda de 16KHz, se presentan ciertas variaciones, esto es de esperarse, pues la cercanía y tamaño de las

otras capsulas infieren en la forma en que el sonido es recibido, produciendo reflexiones. Por otro lado el micrófono Omnidireccional , se ve un poco más claro, debido a que las reflexiones que se pudieran producir dentro de la sala no afectan de la misma manera a los micrófonos bidireccionales pero si se observa nuevamente el comportamiento variable en altas frecuencias.

Esta medición del patrón polar se lleva a cabo con el fin de controlar y asegurarse que el arreglo de micrófonos, cumpla con las características direccionales, del B-Format y garantizar una buena respuesta en frecuencia

Posterior a la medición del patrón polar, se lleva a cabo la medición de la sensibilidad y respuesta en frecuencia de cada micrófono dentro del arreglo, por bandas de octava, pues como se menciona en la sección 2.1.4 el funcionamiento del micrófono Soundfield, tiene ciertas características de frecuencia. El propósito del Native B-Format es simular el comportamiento del Soundfield, tratando de cubrir cada uno de los aspectos relevantes, para la codificación de la señal. Con esta medición de respuesta en frecuencia se obtuvieron las gráficas que se muestran en las figuras. 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13, como se puede observar con estos micrófonos la respuesta en altas frecuencias sigue siendo un problema específicamente la banda de 16KHz y en los micrófonos bidireccionales se puede observar una caída en frecuencias bajas en bandas de 125Hz y 250Hz ; sin embargo la respuesta de este arreglo de micrófonos puede considerarse plana, para un rango de frecuencias bajas-medias, medias y medias-altas, lo cual es bueno para el sistema en general, pues proporcionara un buen funcionamiento en las frecuencias más importantes de la escucha humana. Con estos resultados de respuesta en frecuencia se realizan las correcciones relacionadas con los 3dB que hay entre W y las otras tres señales X, Y, Z, pero en este caso se hace la corrección por banda de octava.

Figura 5.1 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono AKG C414 en la posición W

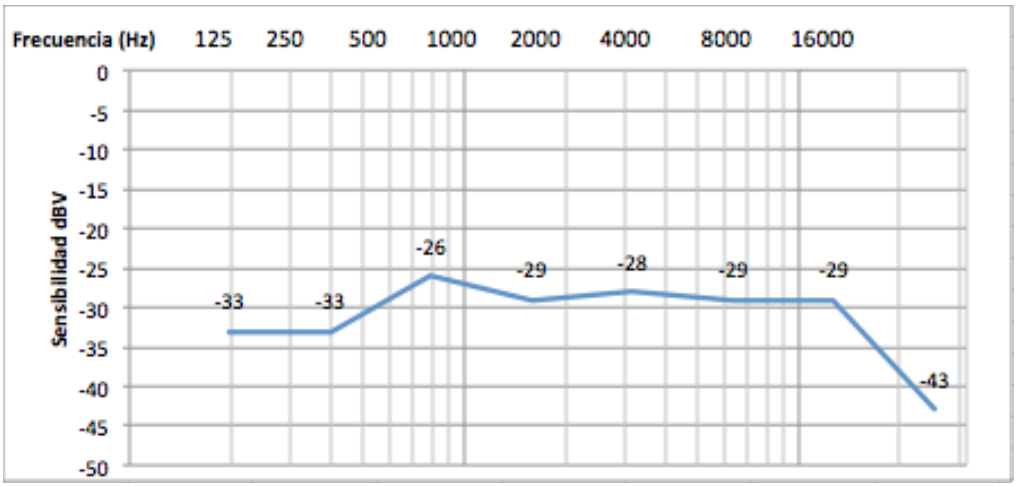


Figura 5.2 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono MXL 2010 en la posición X

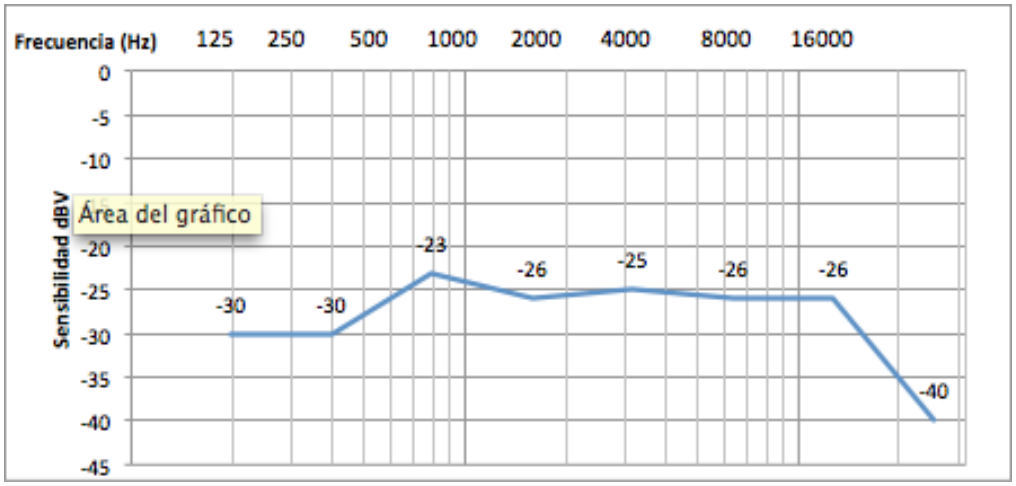


Figura 5.3 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono MXL 2010 en la posición Y

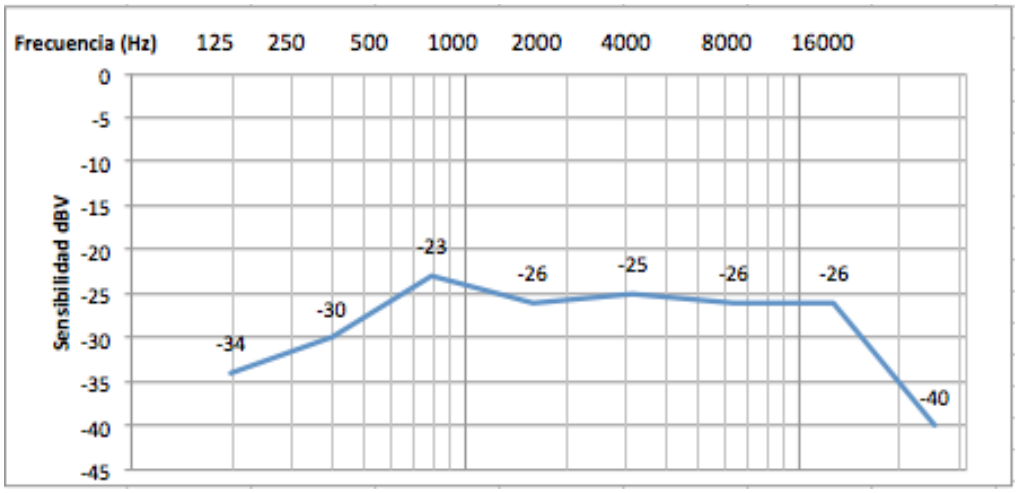
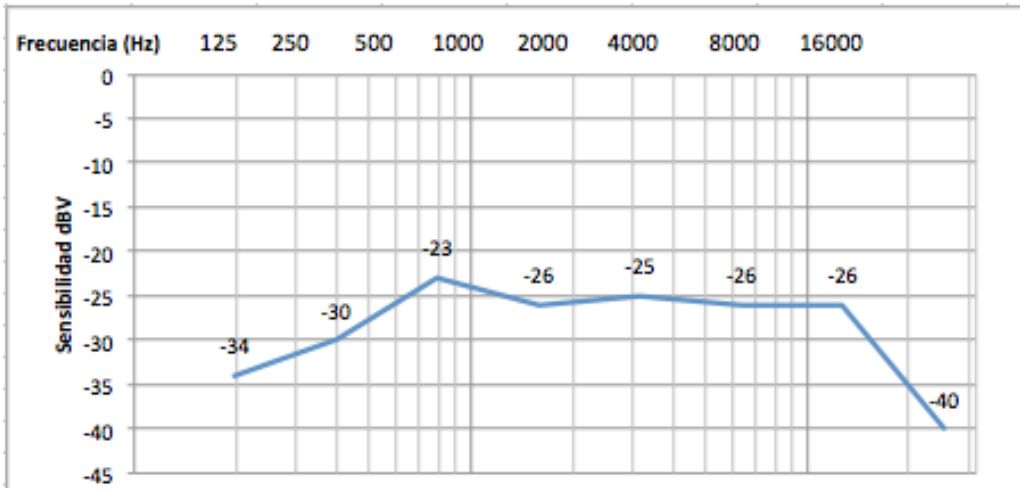


Figura 5.4 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono AKG C414 en la posición Z



Una vez hechas la correcciones de respuesta en frecuencia para cada micrófono del arreglo, se puede observar un comportamiento homogéneo en el espectro de frecuencias óptimo

para la decodificación al sistema de parlantes junto con la compensación de ganancias de 3dB con respecto a la señal de W, compensación que se maneja por razones históricas sobre optimización de niveles en grabaciones análogas.

5.2 MÉTODO DE ANÁLISIS SUBJETIVO

Dentro del análisis subjetivo que se lleva a cabo para evaluar este proyecto, aparte de evaluar parámetros subjetivos de un ambiente específico, se evalúa también aunque de manera implícita todo el proceso dentro de los que estarían, la grabación, codificación, decodificación, mezcla, post-producción y la disposición de los parlantes en un arreglo 10.2, ya que cada uno de estos subsistemas que se encuentran en la cadena de procesos del proyecto, son parte fundamental del resultado final..

A continuación se muestra los resultados obtenidos en las encuestas (ver tabla 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4).

Tabla 5.1. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 1.

votos	Naturalidad	Profundidad	Presencia	Localizacion	Claridad	Altura
1	7	7	7	6	8	6
1	9	8	9	10	10	9
	6	6	7	8	8	9
	10	7	9	9	10	9
	9	10	9	9	9	8
	6	7	6	6	7	7
	9	9	8	8	9	9
	8	6	5	8	7	5
	8	6	7	5	5	2
	7	8	8	9	8	7
	10	7	7	10	10	7
	10	8	7	6	10	8
	5	7	8	6	8	6
	6	5	5	7	6	6
	7	8	7	9	9	8
	5	7	7	9	8	8
	10	9	9	10	9	10
	10	9	10	9	10	9
	6	4	8	4	9	4
	6	7	5	4	8	8
	2	4	4	4	7	5
	7	7	6	8	8	8
	8	7	7	5	6	7
	5	5	5	4	4	3
	6	7	8	5	7	9
	10	9	10	10	10	9
	8	7	9	10	8	9
	9	9	9	5	6	9
	5	7	8	7	8	9
	7	8	6	7	8	8
	8	5	7	9	8	7
	7	7	8	8	6	8
	9	8	7	8	7	9
	6	8	7	8	9	8
	7	7	6	8	8	7
	7	8	8	7	9	6
Promedio	7.361111111	7.166666667	7.305555556	7.361111111	7.97222222	7.38888889
Mediana	7	7	7	8	8	8

Tabla 5.2. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 2.

votos	Naturalidad	Profundidad	Presencia	Localizacion	Claridad	Altura
1	6	5	7	6	7	5
1	10	9	9	10	10	9
1	6	7	8	6	5	7
1	10	10	8	10	9	10
1	9	8	9	8	9	9
1	8	7	8	8	8	7
1	9	10	9	10	9	10
1	4	6	7	8	5	10
	8	6	7	5	5	2
	8	8	7	8	8	7
	5	7	7	5	5	10
	10	10	9	7	10	10
	8	9	9	9	9	8
	8	9	8	7	8	9
	6	7	8	7	7	8
	5	6	5	6	7	6
	9	10	10	9	10	10
	10	9	10	9	9	10
	7	5	8	7	8	8
	8	10	7	8	8	10
	5	7	4	8	6	5
	7	7	7	8	8	9
	7	6	7	5	6	6
	5	5	5	5	5	5
	7	8	6	7	9	9
	10	10	10	10	10	10
	7	9	8	9	10	10
	7	9	4	5	9	7
	7	7	9	5	10	10
	8	7	8	6	9	9
	8	7	8	7	9	10
	6	8	8	7	6	8
	5	7	7	8	7	6
	8	8	7	8	9	10
	6	7	8	7	6	7
	8	8	7	6	7	9
Promedio	7.361111111	7.722222222	7.583333333	7.333333333	7.83333333	8.19444444
Mediana	7.5	7.5	8	7	8	9

Tabla 5.3. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 3.

votos	Naturalidad	Profundidad	Presencia	Localizacion	Claridad	Altura
1	4	5	4	5	6	5
1	10	10	9	10	10	8
1	6	8	7	6	7	7
1	10	8	8	9	9	7
1	6	6	6	7	9	7
1	6	5	5	5	5	6
1	7	8	7	8	8	9
1	5	4	7	6	4	4
	8	8	9	9	8	5
	8	7	6	7	6	6
	9	9	9	5	9	10
	7	8	6	6	9	10
	8	6	6	8	7	6
	8	7	8	7	7	7
	5	6	7	6	8	5
	5	7	6	7	6	6
	7	10	7	7	7	7
	10	10	10	10	10	10
	7	9	8	9	9	6
	9	7	8	9	8	6
	9	7	6	8	6	6
	8	7	8	9	9	7
	7	7	7	5	6	5
	6	7	7	7	7	5
	10	9	9	10	10	10
	10	10	10	9	10	10
	10	10	8	9	9	8
	3	4	6	5	9	6
	6	7	8	7	8	8
	8	8	9	8	8	6
	8	7	9	9	8	7
	9	8	8	8	9	8
	7	6	8	7	8	7
	8	9	9	8	9	9
	7	7	8	8	8	6
	8	7	6	8	8	7
Promedio	7.472222222	7.444444444	7.472222222	7.527777778	7.88888889	7
Mediana	8	7	8	8	8	7

Tabla 5.4. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 4.

votos	Naturalidad	Profundidad	Presencia	Localizacion	Claridad	Altura
1	8	6	8	8	8	6
1	10	9	10	10	10	5
1	7	8	8	9	8	9
1	10	10	10	9	9	9
1	7	8	8	7	8	10
1	9	9	9	9	8	9
1	8	8	9	9	10	9
1	6	5	4	7	6	9
1	8	8	8	8	8	8
1	7	8	8	7	7	9
1	10	10	10	10	10	5
1	8	9	9	9	10	10
1	7	7	7	8	8	7
1	10	9	10	8	9	9
1	8	9	9	10	10	10
1	5	7	6	6	6	5
1	10	9	9	8	9	10
	10	10	10	9	9	9
	10	10	9	10	10	10
	10	8	7	9	7	6
	6	8	6	7	9	6
	8	9	9	9	8	9
	8	8	7	7	8	8
	5	6	5	4	4	3
	9	10	9	10	10	10
	10	9	10	10	10	9
	10	9	10	10	10	9
	10	7	8	9	8	7
	8	9	9	9	8	9
	8	8	9	8	8	7
	7	8	8	9	7	8
	5	7	7	6	7	6
	7	9	9	8	6	7
	8	7	7	7	8	8
	6	7	7	9	8	7
	8	8	6	7	8	8
Promedio	8.083333333	8.222222222	8.166666667	8.305555556	8.25	7.91666667
Mediana	8	8	8.5	9	8	8.5

Adicionalmente se muestran los resultados obtenidos mediante el método Estadístico ANOVA En las tablas 5.5 y 5.6, que permite comparar directamente los tres ambientes sonoros.

Tabla 5.5 Resultados de análisis por medio del análisis ANOVA.

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Naturalidad	4	30.27777778	7.569444444	0.120113169
Profundidad	4	30.55555556	7.638888889	0.202674897
Presencia	4	30.52777778	7.631944444	0.140110597
Localizacion	4	30.52777778	7.631944444	0.209040638
Claridad	4	31.94444444	7.986111111	0.034207819
Altura	4	30.5	7.625	0.285236626
AMB 1	6	44.55555556	7.425925926	0.077983539
AMB 2	6	46.02777778	7.671296296	0.104140947
AMB 3	6	44.80555556	7.467592593	0.080066872
AMB 4	6	48.94444444	8.157407407	0.019650206

ANOVA

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Rows	0.461033951	5	0.09220679	1.458700665	0.260778424	2.901294536
Columns	2.025977366	3	0.675325789	10.68357521	0.000519254	3.287382105
Error	0.948173868	15	0.063211591			
Total	3.435185185	23				

Tabla 5.6 Comparación de ambientes sonoros uno a uno

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	AMB 1	*AMB 2*
Mean	7.425925926	7.671296296
Variance	0.077983539	0.104140947
Observations	6	6
Pooled Variance	0.091062243	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	-1.408359652	
P(T<=t) one-tail	0.094673752	
t Critical one-tail	1.812461123	
P(T<=t) two-tail	0.189347505	
t Critical two-tail	2.228138852	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	AMB 2	*AMB 3*
Mean	7.671296296	7.467592593
Variance	0.104140947	0.080066872
Observations	6	6
Pooled Variance	0.092103909	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	1.16257377	
P(T<=t) one-tail	0.135997857	
t Critical one-tail	1.812461123	
P(T<=t) two-tail	0.271995713	
t Critical two-tail	2.228138852	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	AMB 1	*AMB 2*
Mean	7.425925926	7.671296296
Variance	0.077983539	0.104140947
Observations	6	6
Pooled Variance	0.091062243	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	-1.408359652	
P(T<=t) one-tail	0.094673752	
t Critical one-tail	1.812461123	
P(T<=t) two-tail	0.189347505	
t Critical two-tail	2.228138852	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	AMB 2	*AMB 4*
Mean	7.671296296	8.157407407
Variance	0.104140947	0.019650206
Observations	6	6
Pooled Variance	0.061895576	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	-3.384280647	
P(T<=t) one-tail	0.003476187	
t Critical one-tail	1.812461123	
P(T<=t) two-tail	0.006952374	
t Critical two-tail	2.228138852	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	AMB 1	*AMB 4*
Mean	7.425925926	8.157407407
Variance	0.077983539	0.019650206
Observations	6	6
Pooled Variance	0.048816872	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	-5.734281213	
P(T<=t) one-tail	9.45974E-05	
t Critical one-tail	1.812461123	
P(T<=t) two-tail	0.000189195	
t Critical two-tail	2.228138852	

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances

	AMB 3	*AMB 4*
Mean	7.467592593	8.157407407
Variance	0.080066872	0.019650206
Observations	6	6
Pooled Variance	0.049858539	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	-5.350857312	
P(T<=t) one-tail	0.000161604	
t Critical one-tail	1.812461123	
P(T<=t) two-tail	0.000323209	
t Critical two-tail	2.228138852	

En las Tablas 5.1 a 5.6 se observan las calificaciones que le dieron en una escala de 1 a 10, cada una de las personas encuestadas, a 6 parámetros relacionados con sistemas Surround, que fueron evaluados, para caracterizar el sistema.

Dentro de los datos importantes que se pueden caracterizar es la calificación de altura que reciben los ambientes 2 y 4, en el ambiente dos se ubicó el arreglo de micrófonos justo debajo del tablero de baloncesto, lo cual permite presenciar la altura la mayoría del tiempo, lo que significa que el arreglo es capaz de percibirla siempre y cuando esté presente de manera significativa en el ambiente, por otro lado en el ambiente 4 , al ser un ambiente creado, hay fuentes puntuales que se ubican a ciertos ángulos específicos, de manera tal que la altura está presente de manera significativa. Sin embargo la altura en los otros ambientes obtuvo una buena calificación, aunque no era el propósito de dicho ambientes.

Según la tabla mostrada por el ANOVA, todos los ambientes están muy bien relacionados y hay una similitud entre ellos a excepción del ambiente 4, el cual muestra un p-valor por debajo de 0.05, en comparación con los otros ambientes (ver tabla 5.6), este valor significa que hay una diferencia considerable con el resto de ambientes, en su valor medio. Además en la tabla del ANOVA se puede observar la similitud entre los parámetros subjetivos evaluados, teniendo todos una calificación media por encima de 7.5, lo cual es una muy buena calificación para dicho trabajo, pues representa un en resumen cualidades bien logradas para un ambiente sonoro tridimensional.

Dentro de las preguntas abiertas que se realizaron (Ver Anexo B), de que sonido les gusto más, existe una inclinación por el balón y por el tablero, al ser estos dos sonidos, que se complementaron por Foley, se puede confirmar que las fuentes puntuales, que son codificadas en un tercer orden, le dan a la producción audiovisual, un buen refuerzo sonoros complementando la

atmosfera en general. Hicieron mención sobre la altura, lograda en el espacio, dos el cual fue pensado con dicho propósito al poner el arreglo de micrófonos debajo del tablero de baloncesto. Adicionalmente la gente hizo mención sobre el movimiento de las aves, sonido que se hizo muy dinámico, moviéndolo en toda la esfera sonora, del decodificador Ambisonics.

El ambiente tres y el dos tuvieron calificaciones similares, pero la mención de la espacialidad que creo el ambiente tres relacionado con la reverberación fue buena, logrando recrear el espacio muy bien, el ambiente dos se caracteriza principalmente por su logro en la percepción de altura.

En promedio la calificación de los ambientes estuvo por encima de 7.4, el ambiente 4 presenta una calificación de 8.1, como se mencionó anteriormente este tiene una varianza significativa en relación a los otros tres ambientes, este resalta sobre los demás, debido a que en este ambiente especifico se utilizan grabaciones de Soundfield y gran cantidad de fuentes puntuales, enriqueciendo auditivamente el ambiente, en comparación con los tres primeros ambientes que eran ambientes tranquilos y con muy pocas fuentes puntuales.

En general se puede concluir, que los ambientes reconstruidos por medio de la captura Nimbus-Halliday funcionan muy bien para recrear atmosferas sonoras y que la postproducción realizada a dichos espacios sonoros estuvo acorde y mantuvo una mezcla equilibrada. Adicionalmente la gente disfruta más, encontrar sonidos en espacios poco convencionales, por ejemplo, percibir alturas, fuentes posteriores y fuentes con bastante movimiento.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Se realizaron mediciones del patrón polar y de la sensibilidad de los micrófonos AKG C414 y los Marshall MXL 2010, donde se confrontó la información con resultados expuestos por otros investigadores mencionados en los antecedentes y se observa que este arreglo de micrófonos funciona correctamente para dicho propósito, es importante siempre verificar los niveles de la señal de entrada y buscar la mayor coincidencia posible entre capsulas. Realizar siempre algunas pruebas antes de ejecutar, es de vital importancia, pues ayuda a resolver problemas técnicos que se presentan debido a la complejidad del arreglo.

A partir de las mediciones de patrón polar, sensibilidad y respuesta en frecuencia, se logró conocer el comportamiento de los micrófonos dentro del arreglo para luego realizar las correcciones necesarias obteniendo una respuesta similar a la entregada por el micrófono Soundfield, logrando una correcta captura en B-Format.

El la Figura 4.3.2 se puede ver el comportamiento direccional de cada microfono dentro del arreglo que es el mismo que se obtiene después de la fase de codificacion de señales de un micrófono Soundfield.

Comparando los resultados medidos (figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13) con los resultados de las correcciones hechas por banda de octava de la respuesta en frecuencia (figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4), se puede observar un comportamiento homogéneo en el espectro de frecuencias óptimo para la decodificación al sistema de parlantes, junto con la compensación de ganancias de 3dB con respecto a la señal de W.

Por medio de los software Max/MSP y Flowstone, se obtiene un Plug-in que carga los audios de las señales capturadas y corregidas, codificando y decodificando cada señal para posteriormente ubicarla en el espacio, utilizando el módulo ambimonitor de la librería de ambisonics del ICST, siendo sincronizado con los videos reproducidos de cada ambiente puestos a evaluación.

Se comprobó el funcionamiento del sistema de monitores 10.2 realizando pruebas con el plug-in diseñado junto con el patch de Max/MSP. Estas pruebas se hicieron de manera subjetiva evaluando ciertos parámetros que permitieron conocer el comportamiento del sistema confrontando al ambiente natural capturado, con la atmosfera sonora diseñada. Para esto fue importante la posición de cada parlante dentro del sistema 10.2, siendo ubicado cada uno a 1,50 mts de la posición de escucha, con una angulación que dirige cada monitor al punto central de escucha (Sweet Spot del sistema).

En la evaluación subjetiva se logró identificar y caracterizar el sistema a partir de los parámetros naturalidad, profundidad, presencia, realismo, localización, claridad, percepción de altura y percepción de movimiento de la fuente, de cada uno de los ambientes propuestos. Viendo los resultados mediante el análisis ANOVA, todos los ambientes tienen una similitud entre ellos a excepción del ambiente 4, el cual muestra un valor-p o valor de probabilidad por debajo de 0.05, en comparación con los otros ambientes, este valor significa que hay una diferencia significativa respecto a los otros 3 ambientes, en su valor medio. Además en la tabla del ANOVA se puede observar la similitud entre los parámetros subjetivos evaluados, teniendo todos una calificación media por encima de 7.5, lo que representa en resumen cualidades bien logradas para un ambiente sonoro tridimensional.

El sistema que se implemento fue bien acogido por el público, conociendo con antelación resultados de algunos estudios hechos anteriormente con sistemas Ambisonics, este sistema no es una excepción y por el contrario funciona correctamente, de acuerdo a lo obtenido en las encuestas, se obtuvieron calificaciones de 7 y superiores, en cada uno de los parámetros evaluados, lo cual ubica este proyecto dentro de los estándares de evaluaciones subjetivas, realizadas por otros investigadores.

El ambiente que más gusto a las personas encuestadas, fue el ambiente cuatro donde la mitad de las personas votaron por dicho grupo, esto se debe a que las personas disfrutaron mucho la percepción auditiva que les brindaba dicho ambiente, sin tener alguna distracción visual, además este ambiente tiene muchas más fuentes sonoras que los otros tres y presenta múltiples movimientos en el espacio, lo que produce en el oyente una sensación más agradable, pues se tienen movimiento en el plano horizontal y vertical.

La integración de las diferentes posibilidades que brinda el sistema Ambisonics, como lo son codificación y decodificación de fuentes puntuales, captura por medio del arreglo Nimbus-Halliday y el uso de librerías Ambisonics, le da a las atmosferas grabadas y a las creadas, variedad sonora y permite enriquecer la proyección audiovisual.

El objetivo principal de recrear atmosferas tridimensionales usando sistemas Ambisonics, se logró, pues fue posible tener espacios donde las personas percibieron, altura, profundidad, naturalidad y otros aspectos relacionados con el sonido tridimensional. Esto implica que la grabación, la codificación y la decodificación y la reproducción del sistema funcionaron correctamente, logrando integrar todos estos aspectos en un resultado final.

6.2 RECOMENDACIONES

Se deben buscar espacios adecuados para efectuar cada una de las pruebas, mediciones o grabaciones que se realicen en distintos proyectos, para evitar influencias de factores externos.

Es de vital importancia calibrar el sistema de reproducción, garantizando la perfecta angulación y distancia de los monitores, además de todo el setup, antes de realizar cualquier reproducción.

En el momento de programar, es importante realizar una prueba de escritorio y documentarse muy bien acerca del software que se usa, pues esto facilita la programación. En el caso del MAX/MSP, existen muchas maneras de simplificar procesos, pero es necesario conocer y analizar el funcionamiento de los módulos. Este software presenta una particularidad y es el procesamiento de la señal, de acuerdo a un flujo que va de derecha a izquierda y de abajo hacia arriba, si no se revisa este flujo antes de implementar los módulos, la programación podría no funcionar correctamente y caer en el error de pensar que el análisis teórico no está bien hecho.

En la implementación del sistema de reproducción 10.2, es importante contar con los equipos necesarios y recursos de hardware suficientes, para no tener inconvenientes en la ejecución. Realizar planos de la estructura o del lugar de ejecución es indispensable, pues esto permite calcular los ángulos y distancias necesarias para cada parlante, en algunos casos la mano de obra puede no ser precisa en la construcción de estructuras o elementos específicos, pero al tener estos planos es más fácil adecuar todo, para el nuevo diseño.

El arreglo de monitores escogido, es una muy buena opción y se puede recomendar para futuras, reproducciones que utilizan sistemas Ambisonics, permitiendo percibir el espacio horizontal y vertical.

En el desarrollo de evaluaciones subjetivas, es necesario contar con la asesoría de psicólogos que puedan guiar la encuesta de manera correcta, para evitar problemas de opinión o generar resultados inesperados. Al momento de evaluar los datos se debe ser objetivos con los datos obtenidos.

Las evaluaciones subjetivas, son evaluaciones que contienen muchas variables independientes, cada persona es un mundo distinto de posibilidades en cuanto a la opinión, es importante no darle a las personas encuestadas, posibilidad de conocer la opinión de otros que ya han evaluado el sistema, pues crea ideas preconcebidas y están predispuestos.

Discutir con las personas encuestadas después de la prueba da la posibilidad de ampliar la opinión de las personas, creando discusión y aportando mayor cantidad de detalles al estudio en cuestión.

7. ERROSES SISTEMATICOS

- La sala usada para medir el patrón polar, del arreglo de micrófonos ya que lo que se propone en la norma IEC 60268, es un espacio a campo abierto o anecóico y también da la posibilidad de usar un espacio difuso.

- De la misma manera en la medición de sensibilidad la sala no es la adecuada para la medición, de acuerdo a la normativa utilizada en este proyecto.

- Tanto para las mediciones que se pensaban hacer en campo abierto que no se pudieron llevar acabo, está el factor del ruido en el campus de la Universidad San Buenaventura, en el día los trabajadores de la universidad y de zonas aledañas están trabajando, teniendo el ruido de martillos, sierras, camiones de tráfico pesado entre muchos otros, lo cual afecta de la misma manera la reproducción de las atmosferas sonoras pues el lugar de reproducción tuvo lugar en el campus.

- La utilización de micrófonos, depende de la disponibilidad de equipos de la universidad, además del presupuesto para el proyecto, que limita todo los sistemas a gama baja y media.

- En las correcciones de respuesta en frecuencia se podrían presentar ciertas variaciones en los resultados debido al método utilizado para dicho fin, ya que se hicieron de manera

digital mediante la ecualización en Pro Tools y no mediante correcciones análogas a la entrada del preamplificador.

REFERENCIAS

[1] Bamford, J. S. (1995). *An Analysis of Ambisonics Sound System of First and Second Order.* Ontario, Canadá: Thesis presented to the University of Waterloo.

[2] Benjamin, E., & Chen, T. (2005). The Native B-Format Microphone: Part I. *AES 119th Convention.* New York.

[3] Benjamin, E., & Chen, T. (2006). The Native B-Format Microphone: Part II. *AES 120th Convention.* Paris.

[4] Courville, D. (23 de Abril de 2014). *Ambisonic Studio, Native B-Format Recording*. Obtenido de http://www.radio.uqam.ca/ambisonic/native_b.html

[5] Farina, A., & Ugolotti, E. (1998). Software Implementation of B-Format Encoding and Decoding. *AES 104th Convention.* Amsterdam.

[6] Farrar, K. (1979). Soundfield microphone. *Wireless World*, 48-50, 99-103.

[7] Gerzon, M. A. (1971). Recording techniques for multichanel stereo. *British kinematography sound and televisión*, 274-279.

[8] Gerzon, M. A. (1972). Periphony with height sound reproduction. *AES 2nd Convention, Sección de Europa Central.* Munich.

[9] Gerzon, M. A. (1974). Surround sound psychoacustics. *Wireless World*, 483-486.

[10] Gerzon, M. A. (1975). Ambisonics Part two: Studio techniques. *Studio Sound Vol. 17*, 24-26, 28, 40.

[11] Gerzon, M. A. (1975). The design of precisely coincident microphones arrays for Stereo and surround sound. *Session: Late Arrivals.*

[12] Gerzon, M. A. (1980). Practical periphony: The reproduction of full sphere sound. *AES 65th Convention.* Londres.

[13] Malham, D. (2003). Higher Order Ambisonics. *Space in Music-Music in Space, Mphil thesis, University of York* .

[14] Malham, D. G. (1987). Computer control of ambisonic soundfields. *AES 82nd Convention.* Londres.

[15] Neukom, M. (2006). Decoding Second Order Ambisonics to 5.1 Surround Systems. *AES 121st Convention.* San Francisco, CA.

[16] Rimell, A., & Hollier, M. (1997). Reproduction of spatialised audio in lmmersive Environments with Non-Ideal Acoustic Conditions. *AES 103rd Convention.* New York.

[17] Moreau, S., Daniel, J., & Bertet, S. (2006). *3D Sound field Recording with Higher Order Ambisonics - Objetive Measurements and Validation of Spherical Microphone.* Paris: AES 120th Convention Paper.

BIBLIOGRAFÍA

Bamford, J. S. (1995). *An Analysis of Ambisonics Sound System of First and Second Order.* Ontario, Canadá: Thesis presented to the University of Waterloo.

Benjamin, E., & Chen, T. (2005). The Native B-Format Microphone: Part I. *AES 119th Convention.* New York.

Benjamin, E., & Chen, T. (2006). The Native B-Format Microphone: Part II. *AES 120th Convention.* Paris.

Benjamin, E., Lee, R., & Heller, A. (2010). Why Ambisonics Does Work. *AES 129th Convention* . San Francisco, CA.

Boehm, J. (2011). Decoding For 3D. *AES 130th Convention.* Londres.

Courville, D. (23 de Abril de 2014). *Ambisonic Studio, Native B-Format Recording*. Obtenido de http://www.radio.uqam.ca/ambisonic/native_b.html

Farina, A., & Ugolotti, E. (1998). Software Implementation of B-Format Encoding and Decoding. *AES 104th Convention.* Amsterdam.

Farrar, K. (1979). Soundfield microphone. *Wireless World*, 48-50, 99-103.

Foss, R., & Smith, A. (1999). A distributed system for the creation and delivery of ambisonic surround sound audio. *AES 16th International Conference.*

Gerzon, M. A. (1971). Recording techniques for multichanel stereo. *British kinematography sound and televisión*, 274-279.

Gerzon, M. A. (1972). Periphony with height sound reproduction. *AES 2nd Convention, Sección de Europa Central.* Munich.

Gerzon, M. A. (1974). Surround sound psychoacustics. *Wireless World*, 483-486.

Gerzon, M. A. (1975). Ambisonics Part two: Studio techniques. *Studio Sound Vol. 17*, 24-26, 28, 40.

Gerzon, M. A. (1975). The design of precisely coincident microphones arrays for Stereo and surround sound. *Session: Late Arrivals.*

Gerzon, M. A. (1980). Practical periphony: The reproduction of full sphere sound. *AES 65th Convention.* Londres.

Gerzon, M. A. (1985). *Ambisonics in multichannel broadcasting and video.* New York: Journal Audio Engineering Society, Vol 33, No 11 .

Gerzon, M. A. (1992). General Metatheory of Auditory Localisation. *AES 92nd Convention.* Vienna.

Gerzon, M., & Barton, G. (1984). Ambisonic Surround Sound Mixing For Multitrack Studios. *AES 2nd International Conference.* Anaheim, California.

Hodges, P. (23 de Abril de 2014). *Ambisonic.Info*. Obtenido de http://ambisonic.info/index.html

Jagger, D. S. (1984). New developments and improvements in soundfield microphone technology. *AES 75th Convention.* Paris.

Malham, D. (2003). Higher Order Ambisonics. *Space in Music-Music in Space, Mphil thesis, University of York* .

Malham, D. G. (1987). Computer control of ambisonic soundfields. *AES 82nd Convention.* Londres.

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

Moreau, S., Daniel, J., & Bertet, S. (2006). *3D Sound field Recording with Higher Order Ambisonics - Objetive Measurements and Validation of Spherical Microphone.* Paris: AES 120th Convention Paper.

Neukom, M. (2006). Decoding Second Order Ambisonics to 5.1 Surround Systems. *AES 121st Convention.* San Francisco, CA.

Peters, N., Matthews, T., Braasch, J., & McAdams, S. (2006). Spatial sound rendering in max/MSP with Vimic. *Paper del CIRMMT - Centre for Interdisciplinary Research in Music Media and Technology.*

Rimell, A., & Hollier, M. (1997). Reproduction of spatialised audio in lmmersive Environments with Non-Ideal Acoustic Conditions. *AES 103rd Convention.* New York.

Schacher, J., & Kocher, P. (2006). *Ambisonics Spatialization Tools for Max/MSP.* Zurich: Paper del ICST Institute for Computer Music and Sound Technology, Zurich School of Music, Drama and Dance.

ANEXOS

ANEXO A
(Encuesta realizada, para la evaluación subjetiva del sistema)

ENCUESTA DE EVALUACION PARA EL PROYECTO DE GRADO
"DISEÑO DE ATMÓSFERAS SONORAS TRIDIMENSIONALES UTILIZANDO SISTEMAS AMBISONICS"
UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
BOGOTA D.C. 2014

La siguiente encuesta tiene como propósito hacer la evaluación de ambientes sonoros a partir de los siguientes parámetros subjetivos:
Naturalidad: La naturalidad del sonido, que escucha. El sonido no debe sentirse artificial o sobrepuesto en el ambiente.
Profundidad: La distancia espacial aparente de la fuente de sonido al oyente. Que tan cercana o lejana siente las diferentes fuentes sonoras.
Presencia/Realismo: La impresión de estar inmerso en el lugar. Que tan real es la sensación del ambiente sonoro.
Localización: La ubicación aparente de las diferentes fuentes de sonido. Que tan fácil es la ubicación de los diferentes sonidos dentro del
Ambiente.
Claridad: Grado de separación entre sonidos individuales percibidos dentro del ambiente. Que tan fácil es identificar cada uno de los sonidos
Individualmente.
Percepción de altura: Percepción de sonidos el eje vertical del oyente. Percibe las fuentes sonoras arriba y debajo de usted.

A continuación usted estará diligenciando una encuesta, para evaluar el proyecto de Grado "DISEÑO DE ATMÓSFERAS SONORAS TRIDIMENSIONALES UTILIZANDO SISTEMAS AMBISONICS" Del Programa de Ingeniería de Sonido. Le solicitamos por favor escuchar detenidamente, observar con mucho detenimiento y responder de manera sincera.
Dentro de esta encuesta, usted deberá diligenciar la siguiente tabla siendo 10 la puntuación más alta y 1 uno la más baja. De acuerdo a los parámetros psico-acústicos expuestos anteriormente. Recuerde que usted escuchara la grabación dos veces, por lo cual le solicitamos llenar la encuesta al final de la segunda escucha. Si tiene dudas sobre el método de evaluación por favor hágaselo saber al personal encargado de la encuesta.

Ambiente 1.

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Naturalidad										
Profundidad										
Presencia										
Localización										
Claridad										
Percepción de altura										

Ambiente 2

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Naturalidad										
Profundidad										
Presencia										
Localización										
Claridad										
Percepción de altura										

Ambiente 3

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Naturalidad										
Profundidad										
Presencia										
Localización										
Claridad										
Percepción de altura										

Ambiente 4

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Naturalidad										
Profundidad										
Presencia										
Localización										
Claridad										
Percepción de altura										

DENTRO DE LOS SONIDOS QUE USTED ESCUCHÓ Y PUDO ASOCIAR VISUALMENTE CON EL VIDEO.

¿QUÉ SONIDO EN PARTICULAR LE LLAMO LA ATENCIÓN?

Ambiente1_____

Ambiente2_____

Ambiente3_____

¿POR QUÉ LE LLAMO LA ATENCIÓN DICHO SONIDO?

Ambiente1_____

_____

Ambiente2_____

_____

Ambiente3_____

_____

¿QUÉ SONIDO LE DISGUSTO?

Ambiente1_____

Ambiente2_____

Ambiente3_____

¿POR QUÉ LA LE DISGUSTO DICHO SONIDO?

Ambiente1_____

_____

Ambiente2_____

_____

Ambiente3_____

_____

DENTRO DE LOS SONIDOS QUE USTED ESCUCHÓ

¿QUÉ SONIDO EN PARTICULAR LE LLAMO LA ATENCIÓN?

Ambiente4_____

¿POR QUÉ LE LLAMO LA ATENCIÓN DICHO SONIDO?

Ambiente4_____

_____

¿QUÉ SONIDO LE DISGUSTO?

Ambiente4_____

¿POR QUÉ LA LE DISGUSTO DICHO SONIDO?

Ambiente4_____

_____

¿CUÁL DE LOS 4 AMBIENTES SONOROS LE GUSTO MÁS? ¿POR QUÉ?

Ambiente1 ☐ **Ambiente3** ☐

Ambiente2 ☐ **Ambiente4** ☐

ANEXO B
(Respuesta a las preguntas abiertas)

En algunos casos las personas consideraron que la pregunta no aplica y simplemente no se tiene respuesta. Las preguntas Son utilizadas para ayudar a identificar, opiniones de las personas que ayuden a entender la calificación que le dieron a cada ambiente.

¿QUÉ SONIDO EN PARTICULAR LE LLAMO LA ATENCIÓN? / ¿POR QUÉ?

Ambiente1

- rebote de balón/precisión en ubicación
- balón/poca naturalidad
- balón contra el aro/se destaca
- balón/presencia y naturalidad
- avión/se siente el desplazamiento
- helicóptero /naturalidad
- rebote del balón/en exteriores se escucha muy bien
- rebote del balón/buenas profundidad y localización
- balón en el tablero/se logra apreciar la altura
- percepción de altura del balón/muy claro
- el balón contra la cesta/naturalidad de sentirse en un espacio real
- balón/el sonido más claro
- golpe del balón/el de mayor nivel
- avión y balón contra la cancha/posicionamiento del sonido sobretodo vertical
- tablero/naturalidad y presencia
- tablero/localización
- balón/definición, claridad realismo, sincronización
- tablero, avioneta/percepción de altura y espacio
- silbido/espontaneo, inesperado, ubicación
- balón rebotando/natural y bastante representativo de la deformación del mismo
- balón contra el aro/más llamativo
- balón/por el impacto del balón
- rebote del balón/presente en todo el video
- rebote al tablero/muy claro
- gente atrás/naturalidad y profundidad del sonido
- tablero/suena más duro, más presencia
- balón/claridad
- posición de sucesos cercanos, muy claro a la derecha/perspectiva sonora muy clara

Ambiente 2

- balón contra tablero/fácil localización
- sonido de la locación/junto al balón daban mayor realismo
- rebote del balón contra el suelo/naturalidad
- voces/profundidad con el oyente
- localización del balón/se escucha altura
- rebote en tablero/muy natural
- rebote del balón
- golpe contra la cancha/naturalidad y claridad
- balón en el punto más lejano/se logra apreciar la profundidad
- golpe en el aro/altura del golpe
- rebotes del balón/naturalidad y claridad
- cancha/se sentía arriba
- paso del avión
- balón contra el aro/ubicación en altura y en profundidad es muy real
- llaves/claridad y espacialidad
- llaves/localización
- balón/definición, claridad realismo, sincronización
- llaves/espacialidad
- golpe cesta y agarre de pelota atrás/ubicación
- balón contra el tablero/se nota en el golpe la vibración y movimiento del tablero
- rebote en manos del balón/no es repetitivo
- balón y tablero/el balón al impactar el tablero
- movimiento de la cancha/sensación de golpes con el balón
- el coger del balón/muy claro
- localización del tablero/claridad y altura
- agarre del balón/presencia bastante notoria
- cuando atrapa la pelota a la izquierda y derecha/ perspectiva sonora muy clara

Ambiente 3

- golpes de jugadores al balón y las personas atrás/realismo
- sonido de las pisadas de los jugadores/dinamismo de la escena
- voces atrás/ubicación
- aplausos/presencia y profundidad
- las llaves/fácil de percibir y localizar
- rebote del balón
- golpe contra la malla/claridad
- aplausos/clara su posición
- balón contra el piso después de tocar la malla/la profundidad
- aplausos/se sintió atrás
- voz/se sentía atrás

- balón contra el piso/real en localización X,Y
- golpe con brazos/naturalidad
- balón/definición, claridad realismo, sincronización
- balón/espacialidad
- voces posteriores/origen de fuente, atrás
- el aplauso final/es el sonido más claro
- los gritos/ambientación del juego
- balón/la sensación de espacio
- sonido ambiente del coliseo/resalta frente a los demás
- el retardo del balón (golpes)/es muy real, muy idéntico
- el movimiento de las llaves/se sintió muy cerca
- llaves atrás/ubicación
- aplausos/espacialidad
- llaves/muy claro atrás
- Voces/naturalidad

Ambiente 4

- Pájaros / por su ubicación
- Sonidos en la parte superior/realismo
- Los animales/realismo
- Sonido emitido por el mono/se destacaba sobre los demás
- Luciérnagas/el q mejor se aprecia
- Animales
- Las aves lejos/muy buena profundidad y altura
- Aves/naturalidad y claridad
- Aves/clara su posición
- Mosquito/presencia alrededor en varias direcciones del espacio
- Grillos/espacialidad
- Zumbido por la parte superior derecha/por ubicación
- La abeja/se percibe el posicionamiento del animal en los tres ejes
- Grillos e insectos/naturalidad, presencia, localización y espacialidad
- Moscas/realismo
- Aves, rana/sin imagen que distraiga se siente más el espacio
- Grillos/por espacialidad y claridad del origen
- Aleteo
- Animales/claridad, definición y sensación de inmersión
- Rayos y tormenta/aparecen de forma ideal al ambiente, sensación de tormenta
- Mosco/mucha localización y claridad
- Truenos/naturalidad
- Avión/no se reconoce que produce el sonido

- Sonido del mono/percepción de altura
- Los grillos en el piso/ubicación
- Zumbido abeja/nítido y se nota su movimiento

¿QUÉ SONIDO LE DISGUSTO?/ ¿POR QUÉ?

Ambiente1

- Avión y sonidos incongruentes/un poco fuera de contexto
- Choque del balón con el tablero/no se sentía natural
- Balón/no tiene claridad ni profundidad
- Freq de 16k en todo el ambiente/incomoda y desorienta
- El rebote más cercano del balón en el punto central/no suena real o natural
- Balón/su sonoridad no se asocia con el elemento real
- Pisadas/sin claridad
- Sonido al alejarse del tablero/se pierde profundidad y localización
- Rebote del balón/repetitivo
- El freno de tenis en el pavimento/sonido incomodo
- Rebote al suelo/no mucha orientación

Ambiente 2

- Envolvente/falta un poco de espacialidad
- Rebote en el aro/suena mucho tiempo
- Ruido como de avión/por ser ruido
- Tablero/realismo
- Helicóptero al pasar/fuera de contexto

Ambiente 3

- Aplausos/no sonó real
- Ambiente/la reverberación
- Voces/no eran claras
- Tono puro freq alta
- Aplauso/su timbre no es natural
- Llaves/desconcentra la percepción
- Voces/EQ y Reverb que desubicaban del espacio
- En general todo el sonido es molesto/demasiado reverberante
- Llaves/se sentían mas fuerte q el ambiente natural de la grabación
- El público que no estaba presente/son un público no presente
- Murmullos de atrás/poca ubicación
- Falta de presencia del balón adelante/presencia del balón adelante
- Llaves/no se entiende bien la ubicación

Ambiente 4

- Mosquito/en un solo lado, falta espacialidad y movimiento
- Ruido (rio)/
- Zumbido/no natural
- El avión/no va de acuerdo a la naturaleza del sonido
- Mosca/revoloteaba en repetidas ocasiones
- El mico/se oye en todo lado

AMBIENTE QUE MAS LES GUSTO

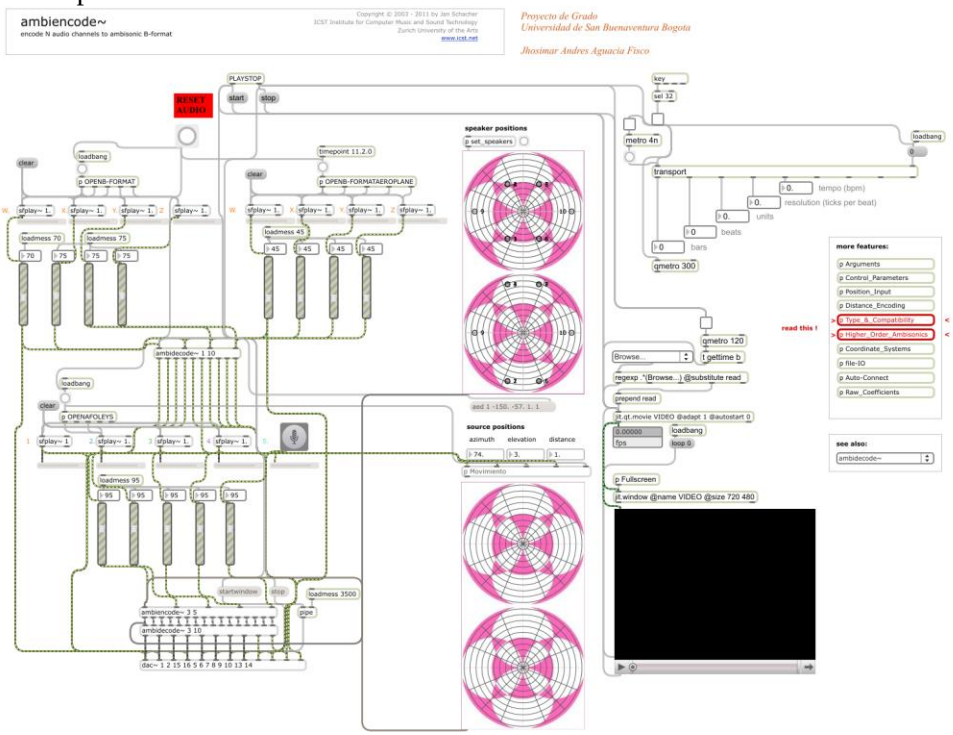
4/más real y variado
3/hizo sentir en el lugar
3/más realista
4/mayor claridad y espacialidad
1/más realismo con el video
4/más definición
4/naturalidad
3/se apreció muy bien cada sonido
4/claridad y percepción de profundidad
4/más inmerso en ese ambiente
2/fue claro la mayor parte
3/dada la imagen lo sumerge y da la sensación de estar presente en el lugar
4/más natural
2/mejor percepción de la altura
2/el efecto en alturas optimo
4/la no asociación frente al video permitía evaluar la experiencia sin prejuicio
2/más claridad
4/más real, más natural, para propósito de relajación
4/se percibe mejor el espacio de sonido sin imagen
3/mayor percepción de espacialidad
4/más natural y con más elementos de juicio, permite ubicar las fuentes fácilmente
4/sonido de ambiente externo
3/la sensación de espacio es más grande
4/se escucha más natural y da sensación de espacialidad e inmersión
4/da la sensación de estar en una selva tropical
2/todo es muy claro, real profundo, es natural
4/naturalidad
2/más real, más ubicación
2/buena espacialidad
4/más inmerso en el ambiente

ANEXO C

El patch que se utilizó cuenta con distintas subprocesos para brindar una interfaz gráfica más limpia y más automatizada. En la figura A1 se muestra una imagen del patch final, que se implementa para reproducir la atmosfera sonora. En esta imagen se muestra los módulos que leen B-Format en la parte superior izquierda, ala derecha se encuentra el ambimoitor, encargado de distribuir los parlantes, a la derecha de este se encuentra el transport, que permite ubicar los eventos en un lapso de tiempo y la sección obtención y reproducción del video por jitter.

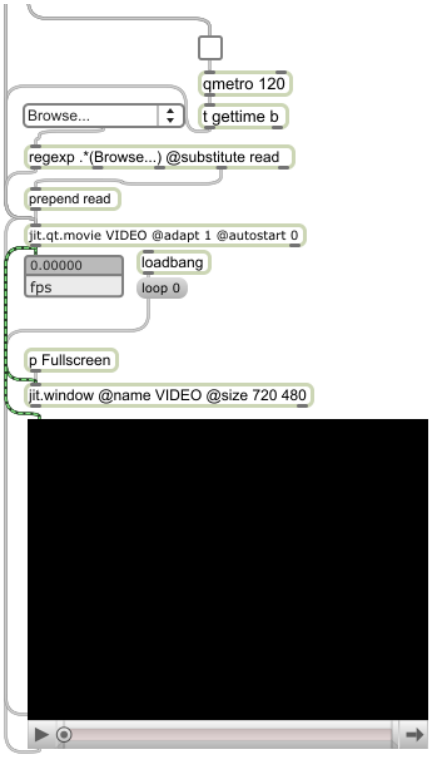
En la parte inferior izquierda esta una pantalla que permite monitorear el video mientras se reproduce el ambiente, en el costado derecho se observa el módulo donde se cargan las fuentes puntuales y finalmente en el costado derecho inferior se encuentra otro ambimonitor que permite mover las fuentes puntuales en el espacio sonoro.

Figura C.1. Patch utilizado para reproducir las atmosferas sonoras, haciendo uso de la librería del ICST desarrollada para codificar y decodificar señales utilizando la teoría de Ambisonics, adicionando un módulo de video para sincronizarlo con el audio.



Comenzando con el módulo de video presentado en la figura C.2, en este módulo se implementa un menú despegable *Browse*, para seleccionar la ruta del video y cargarlo en el patch, lo más recomendado es usar videos con extensión .mov pues el MAX/MSP presenta una mejor compatibilidad con este tipo de video ya que su función de jitter, está desarrollada junto con elementos de quicktime. El elemento jit.qt.movie almacena el video y permite su reproducción mediante el uso de la barra de control ubicada en l aparte inferior de la imagen. Adicionalmente se implementa el objeto jit.window, este permite que el video cargue en una ventana independiente, que facilitara la visualización del video en una pantalla externa.

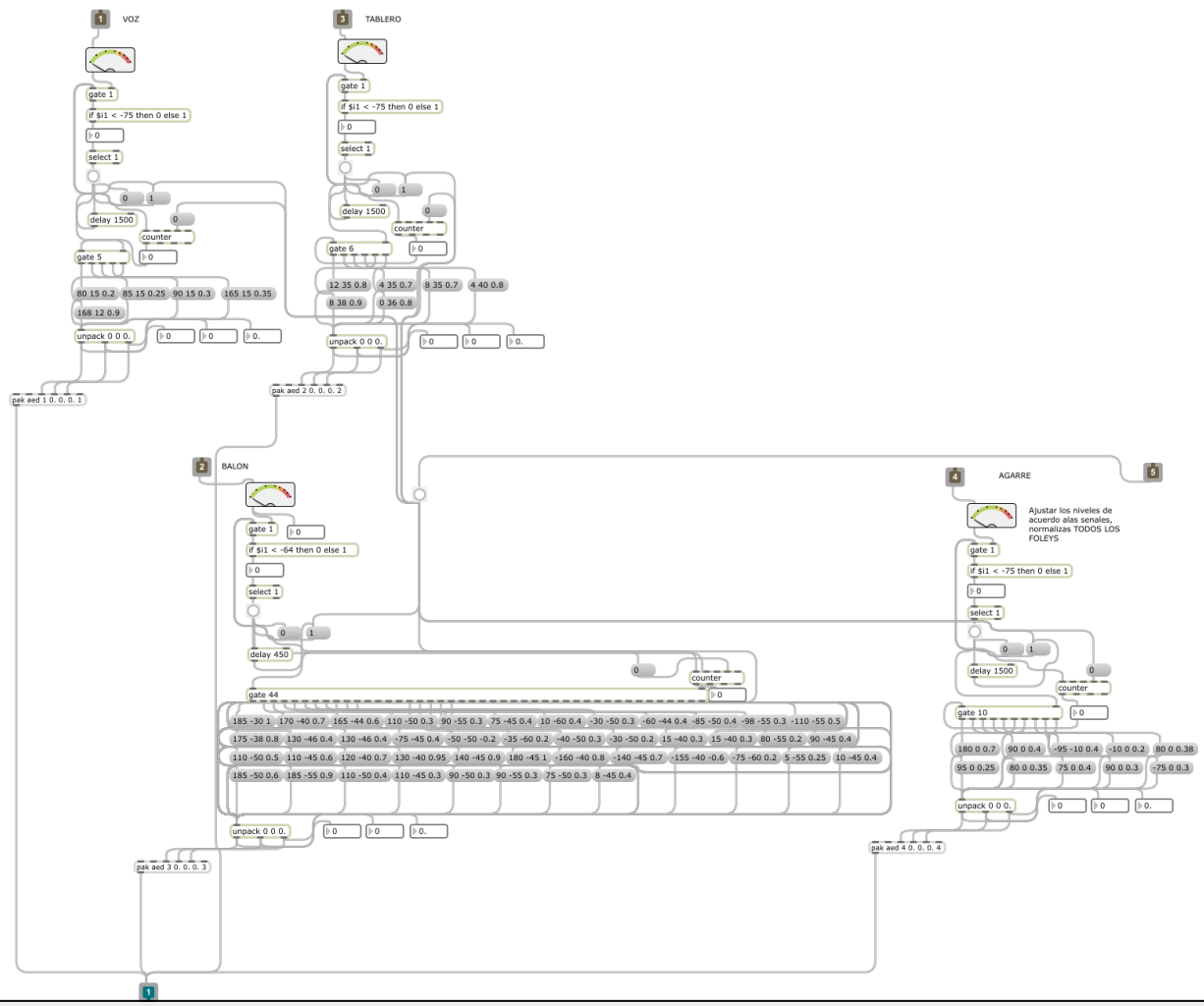
Figura C.2. Modulo destinado a la carga y reproducción del video. En la creación de la atmosfera sonora tridimensional



Otro subproceso importante, es el que se diseñó para la detección de audio de las fuentes puntuales. (Ver figura C.3 y figura C.4), este subproceso permite detectar la señal proveniente de

las fuente sonoras puntuales desarrolladas en este proyecto, al ser sonidos que no están presentes en toda la atmosfera es necesario saber en qué momento están presentes, esto con el fin de programar el movimiento o la posición especifica de la fuente de acuerdo a la necesidad que se tenga en el ambiente sonoro.

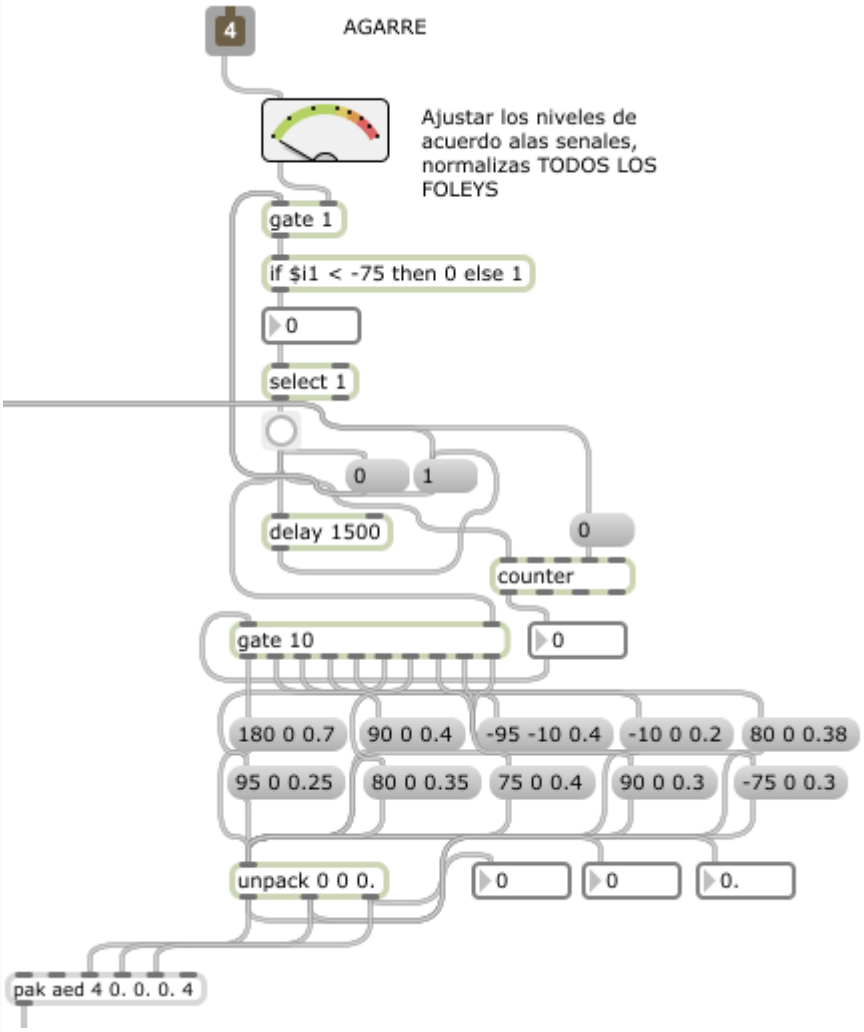
Figura C.3. Modulo de deteccion de la señal, implementado para la atmosfera sonora número 1. Fuentes puntuales de Voz, Tablero, Balon y Agarrae del Balon



Este subpatch recibe la señal proveniente de la fuente puntual específica y pasa a través de un medidor de señal análoga, a la salida de este medidor, se ubica un if que permite establecer un rango de amplitud para la señal proveniente, añadiéndole o quitándole sensibilidad de acuerdo a la necesidad del usuario, los modulos de gate y select, permiten que al detectar la señal envíen

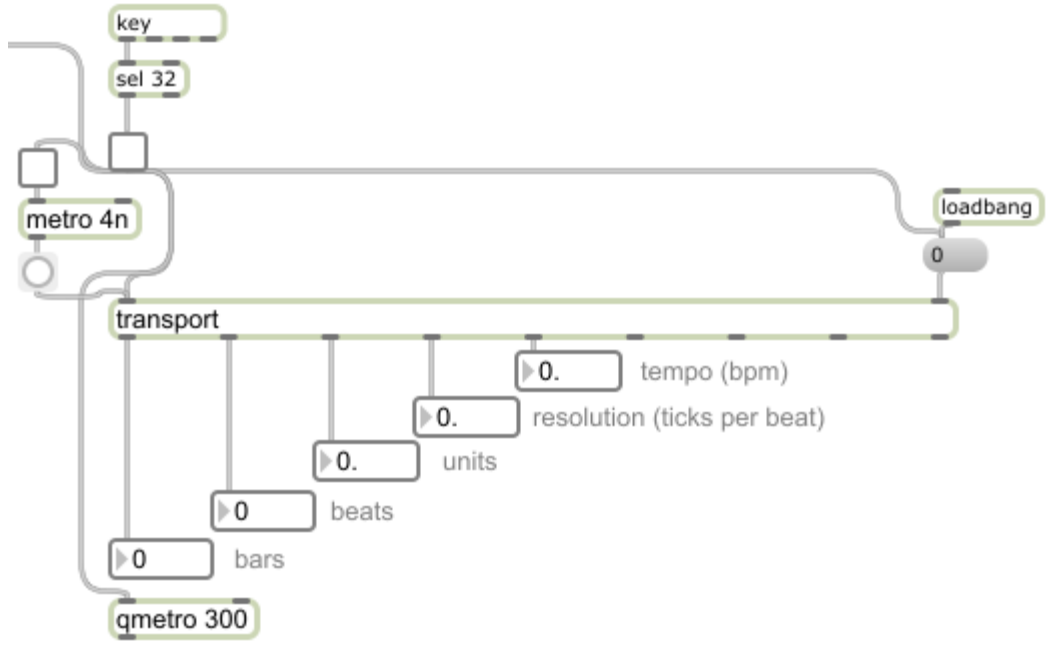
un bang al counter, que nos informara cuantas veces ha ingresado una señal al módulo y de acuerdo a esto decidir qué hacer en cada momento en cuanto a la posición de la fuente. El delay, en este caso es utilizado para retrasar la detección de la señal, pues en algunos casos la señal que ingresa tiene duraciones específicas en las que ninguna acción es requerida por un lapso de tiempo.

Figura C.4. Módulo de detección de la señal, que muestra el ingreso de la señal al detector y la salida de los datos a través de coordenadas estáticas, se son enviadas a una salida, que posteriormente llegara al ambimonitor.



En el proceso de las fuentes puntuales también se implementa el uso de la función transport (Ver figura C.5), que permite sincronizar todas las acciones por medio bars y beats. Una vez se activa el patch la barra comienza a contar el tiempo que trascurre desde el inicio hasta el final, esto permite tener un referente en el tiempo para activar ciertas funciones, o más precisamente decirle al software que envíe una señal determinada, a la atmosfera sonora en un instante de tiempo determinado.

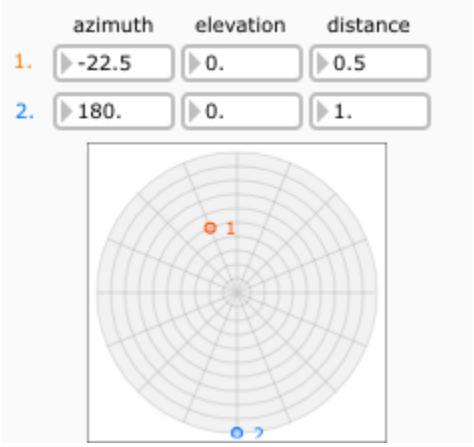
Figura C.4. Barra de transport, accionada mediante el modulo key que detecta el accionamiento de la barra espaciadora.



Dentro de la librería del ICST encontramos algunos elementos relevantes, entre ellos el ambimonitor (ver Figura C.5) y el codificador y decodificador (ver Figura C.6).

EL ambinonitor es una figura en forma de circunferencia, que recibe las coordenadas que permiten ubicar las fuentes sonoras y los parlantes en una esfera imaginaria, estas coordenadas pueden estar dadas por un plano cartesiano (x-y-z) o por unas coordenadas esféricas (aed). Este elemento, es diseñado para tener acceso al sistema de coordenadas, por medio de una interfaz gráfica.

Figura C.5. Ambimonitor, utilizado en la interfaz gráfica de la librería Ambisonic del ICST



El otro elemnto de gran importancia, es el modulo de codificacion y decodificacion, en el decodificador, se ingresan dos parametros relevantes para este proyecto, que son el orden de la codificacion y el numero de entradas, para el decodificador se ingresan otros dos parametros que son el orden y el numero de salidas. Este par de modulos permiten ingresar cualquier tipo de senal monofonic, codificarla y decodificarla en un arreglo de parlantes. Adicionalemnte las senales pueden ingresar directamente al decodificador, en nuestro caso utilizamos las senales provenientes del arreglo de micrófonos Native B-Format. Que pertenecen a un orden 1 en ambisonics.

Figura C.6. Codificador y decodificador de la librería implementada por el ICST

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Formulación matemática para codificar fuentes puntuales desarrollado por Dave Malham…….....…….….…33

Tabla 4.1. Datos medidos de Sensibilidad de cada micrófono en posición del arreglo……61

Tabla 5.1. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 1……..…....80

Tabla 5.2. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 2…….…....80

Tabla 5.3. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 3……..…81

Tabla 5.4. Resultados de la encuesta realizada para el ambiente número 4……..81

Tabla 5.5 Resultados de análisis por medio del análisis ANOVA……....82

Tabla 5.6 Comparación de ambientes sonoros uno a uno…….…….82

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema de reproducción cuadrafónico, implementado por Michael Gerzon.....23

Figura 2.2. Micrófono Soundfield desarrollado por Calrec Audio…….....24

Figura 2.3. Imagen de Armónicos Esféricos…….....26

Figura 2.4 Recepción del audio en el eje horizontal……...….....29

Figura 2.5 Capsulas del micrófono Soundfield, construido por Calrec Audio….....31

Figura 2.6 Sistema de coordenadas del B-Format…….....32

Figura 2.7 Distribución de un arreglo de parlantes y la asignación de los ángulos.....34

Figura 2.8 Arreglo Nimbus-Halliday compuesto de un micrófono B&K omnidireccional y dos Schoeps bidireccionales…….....35

Figura 2.9 Arreglo de monitores para la reproducción de sistemas Ambisonics con altura (Cuboide)…….....38

Figura 2.10 Arreglo de monitores para la reproducción de sistemas Ambisonics con altura (Octaedro)…….....38

Figura 2.11 Arreglo de monitores para la reproducción de sistemas Ambisonics con altura (Birrectángulo)…….....39

Figura 4.1 Patch de prueba, funcionando en tiempo real con una fuente puntual en el estudio 5.1 de la Universidad San Buenaventura…….....50

Figura 4.2 Arreglo Native B-format con micrófono en el eje Z. X-Y (StudioProjects B3), Z (Marshal MXL2010), W (Behringer ECM 8000)…….....51

Figura 4.3 Arreglo Native B-format con micrófono en el eje Z. Usado para grabar las atmosferas sonoras X-Y (MXL2010), W-Z (AKG 414)……53

Figura 4.3.1 Posición de los microfonos dentro del arreglo (Izq) y distancia de las capsulas al centro del arreglo……...54

Figura 4.3.2 Comportamiento direccional de las capsulas dentro del arreglo……...54

Figura 4.4. Medición de los patrones polares de cada micrófono del arreglo B-Format, implementado con los micrófonos AKG-414 En las posiciones de W y Z y los micrófonos MXL-2010 en la posición de X y Y. Llevada a cabo en el Auditorio San francisco de Asís de la Universidad de San Buenaventura Bogotá…….....56

Figura 4.5. Calibración del nivel de ganancia en los preamplificadores por medio del micrófono ECM 8000 y EASERA…….…….56

Figura 4.5 Patrón polar del micrófono AKG C414 (Omni) en posición W del arreglo Nimbus Halliday……....……57

Figura 4.6 Patrón polar del micrófono Marshall MXL 2010 (Figura-8) en posición X del arreglo Nimbus Halliday …….....…58

Figura 4.7 Patrón polar del micrófono Marshall MXL 2010 (Figura-8) en posición Y del arreglo Nimbus Halliday…….....58

Figura 4.8 Patrón polar del micrófono AKG C414 (Figura-8) en posición Z del arreglo Nimbus Halliday …....…….…59

Figura 4.9 Medición de Sensibilidad y Respuesta en Frecuencia de cada micrófono en posición del arreglo Nimbus-Halliday…….....…60

Figura 4.9.1 Espicificaciones de sensibilidad de fábrica de los micrófonos AKG C414 y Marshall MXL 2010……..61

Figura 4.10 Respuesta en Frecuencia del Micrófono Marshall MXL2010 por Banda de Octava. Omnidireccional W…….……...…61

Figura 4.11 Respuesta en Frecuencia del Micrófono AKG C414 por Banda de Octava. Figura-8 X……..…...62

Figura 4.12 Respuesta en Frecuencia del Micrófono AKG C414 por Banda de Octava. Figura-8 Y…….…62

Figura 4.13 Respuesta en Frecuencia del Micrófono Marshall MXL 2010 por Banda de Octava. Figura-8 Z……..63

Figura 4.14. Medición de atmosferas sonoras en la Universidad de San Buenaventura Bogotá. (Izq. Cancha de Baloncesto) (Der. Polideportivo)….....……....64

Figura 4.15. Grabación de Foley y Doblajes en el estudio 5.1 de la Universidad de San Buenaventura Bogotá……...….65

Figura 4.16. Ecualizadores Gráficos de Pro Tools 8 LE, filtrando por Banda de Octava…..……..……....66

Figura 4.17. Corrección de respuesta en frecuencia mediante ecualización en Pro Tools 8 LE, filtrando por Banda de Octava (ventana de mezcla)……67

Figura 4.18. Corrección de respuesta en frecuencia mediante ecualización en Pro Tools 8 LE, filtrando por Banda de Octava (ventana de edición)……67

Figura 4.19. Vst desarrollado con FlowStone. Que permite cargar el audio Monofónico y ubicarla en el espacio, utilizando los parámetros de Azimuth, Elevación y distancia……..69

Figura 4.20. Diseño del plugin VST con FlowStone. Donde se muestran los módulos implementados al interior del VST……70

Figura 4.21. Codificador de MAX/MSP producido por el ICST, donde se muestran los dos parámetros implementados relevantes para el uso del plugin, orden y número de entradas…….71

Figura 4.22. (Sup.) Vistas de la carpa donde se implementa el arreglo de monitores, (Inf. Izquierda) fotografía tomada durante las pruebas y (Inf. Derecha) levantamiento 3D……...72

Figura 5.1 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono AKG C414 en la posición W…...77

Figura 5.2 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono MXL 2010 en la posición X…....77

Figura 5.3 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono MXL 2010 en la posición Y……78

Figura 5.4 Corrección de respuesta en frecuencia, Micrófono AKG C414 en la posición Z……78

Figura C.1. Patch utilizado para reproducir las atmosferas sonoras, haciendo uso de la librería del ICST desarrollada para codificar y decodificar señales utilizando la teoría de Ambisonics, adicionando un módulo de video para sincronizarlo con el audio……...104

Figura C.2. Modulo destinado a la carga y reproducción del video. En la creación de la atmosfera sonora tridimensional……...105

Figura C.3. Módulo de detección de la señal, implementado para la atmosfera sonora número 1. Fuentes puntuales de Voz, Tablero, Balón y Agarre del Balón……..106

Figura C.4. Módulo de detección de la señal, que muestra el ingreso de la señal al detector y la salida de los datos a través de coordenadas estáticas, se son enviadas a una salida, que posteriormente llegara al ambimonitor……...107

Figura C.4. Barra de transport, accionada mediante el modulo key que detecta el accionamiento de la barra espaciadora……108

Figura C.5. Ambimonitor, utilizado en la interfaz gráfica de la librería Ambisonic del ICST…….....109

Figura C.6. codificador y decodificador de la librería implementada por el ICST……109

GLOSARIO

A-Format: Señales de audio obtenidas por las 4 capsulas cardiodes del arreglo del microfono Soundfield.

Ambisonics: Técnica de sonido envolvente (de forma esférica) que a partir de la codificación y decodificación de señales de audio permite la completa representación de un campo sonoro en su plano horizontal y vertical.

Atmosfera Sonora Tridimensional: Campo sonoro representado en un espacio de tres dimensiones (profundidad, altura, anchura).

Audiovisual: Concepto donde se unen elementos sonoros y visuales para su posterior proyección.

B-Format: Representación independiente (señales W, X, Y, Z) de un campo sonoro.

Cámara Anecoica: Sala diseñada para absorber todas las reflexiones producidas por ondas acústicas o electromagnéticas en cualquiera de las superficies que la conforman.

Campo Difuso: Campo acústico en el que todas las direcciones de propagación del sonido aportan la misma intensidad sonora, siendo homogénea la distribución de la energía acústica en cualquier instante y punto del mismo.

Campo Sonoro: Valor que adquiere la presión sonora en cada punto del espacio. Se compone de campo directo y campo reverberante.

Claridad: Grado de separación entre sonidos individuales percibidos dentro de un ambiente.

Codificación: Proceso de conversión de un dato o señal de origen a otro sistema de datos sin modificar en esencia la información proveniente del dato original.

Decodificación: Proceso de conversión de un dato o señal codificada a su formato original.

Doblaje: Proceso de grabación y sustitución de voces y diálogos en un producto audiovisual.

Dodecaedro: Fuente sonora omnidireccional con doce parlantes irradiando energía de forma homogénea.

Ecualización: Proceso en el cual se modifica el volumen del contenido en frecuencias de una señal.

Foley: Denominados también efectos de sala, son sonidos que buscan la recreación de los sonidos ambiente de la grabación de la escena, ya sea para reforzarlos o reemplazarlos.

Localización: La ubicación aparente de las diferentes fuentes de sonido.

Micrófono Soundfield: Micrófono de audio compuesto por cuatro cápsulas coincidentes subcardioides o cardioides dispuestas en un tetraedro.

Patrón Polar: Se refiere a la sensibilidad al sonido de un micrófono en relación a la dirección o ángulo del que procede el sonido.

Plug-in: Módulo de hardware o software que añade una característica o un servicio específico a un sistema más grande.

Pistófono: Denominado también calibrador acústico, es un instrumento que se utiliza para asegurar el buen funcionamiento de un sonómetro.

Profundidad: La distancia espacial aparente de la fuente de sonido al oyente.

Psicoacústica: Estudia la compresión sonora, cualidades o características del sonido determinados por los propios parámetros de este, principalmente, frecuencia y amplitud, buscando la relación existente entre el estímulo de carácter físico y la respuesta de carácter psicológico.

Reverberación: fenómeno derivado de la reflexión que consiste en una ligera prolongación del sonido una vez que se ha extinguido el original, debido a las ondas reflejadas.

Sensibilidad: Eficiencia por la que los micrófonos captan sonidos, convirtiendo la presión sonora en señales eléctricas.

Sonido Surround: Se refiere al uso de múltiples canales de audio para provocar efectos envolventes a la audiencia.