

RAE

1. TIPO DE DOCUMENTO: Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de Sonido

2. TÍTULO: Diseño y programación de una aplicación móvil para grabación binaural

3. AUTORES: Sebastián Muñoz y Juan Sebastián Sierra

4. LUGAR: Bogotá D.C

5. FECHA: Octubre del 2016

6. PALABRAS CLAVE: Escucha binaural, aplicaciones móviles, Android studio, formato WAV, localización de sonidos, micrófonos binaurales in ears, cabeza binaural.

7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: En el proyecto se evidencia el desarrollo de una aplicación móvil que permita la grabación de audio de micrófonos in ears, para la obtención de sonidos binaurales. Se evalúan diferentes parámetros de los micrófonos como sensibilidad y patrón polar del arreglo; por otro lado se hacen pruebas de la aplicación con un grupo de personas que retroalimentan su experiencia con la aplicación y se miden los diferentes tiempos que tomaron para realizar ciertas actividades, por último se hacen pruebas a un grupo de personas para determinar cómo localizan los sonidos subjetivamente.

8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Línea de la facultad: Tecnologías actuales y sociedad; sub línea de la facultad: Tecnologías de información y comunicaciones; campo temático del programa: acústica y audio, diseño de sistemas de sonido y aplicaciones móviles.

9. METODOLOGÍA: El proyecto sigue una línea cuantitativa; es decir que se realizarán tablas estadísticas del número de procesos y del tiempo que requieren, cerciorándose que la hipótesis se cumpla por medio de la grabación y procesamiento de señales.

Para algunos parámetros del proyecto se seguirá una línea cualitativa, ya que se registran datos de las opiniones que tienen los usuarios acerca de la aplicación.

En el transcurso del desarrollo se tuvieron en cuenta los siguientes procesos: Método experimental, evaluación subjetiva de las grabaciones, evaluación interactiva.

10. CONCLUSIONES: La integración entre la aplicación, el dispositivo móvil, la interfaz de audio y los micrófonos in ears funciona correctamente y se puede implementar como un sistema o técnica de grabación binaural.

El entorno de desarrollo Android Studio permitió implementar los diseños de la aplicación, sin embargo las librerías que contiene son muy limitadas para la programación de audio, por ello fue necesario programar objetos que permitieran la manipulación de audio; lo que dificultó en gran parte el desarrollo del proyecto.

El algoritmo de convolución de señales con respuesta al impulso implementado es muy lento; debido al consumo en la memoria de los dispositivos móviles, por ello no se implementó formalmente en la aplicación ni se evaluó.

Los diagramas de patrón polar del arreglo de los micrófonos in ears y de la cabeza binaural; muestran las diferencias de intensidad entre los dos micrófonos en frecuencias por encima de los 2 kHz, para baja frecuencia se observa que los niveles son muy parecidos.

La sensibilidad de los micrófonos in ears SB 205 tiene una diferencia de 4 mili voltios, lo que quiere decir que los micrófonos graban prácticamente al mismo volumen evitando alterar la localización de las fuentes por errores en las diferencias de presión interaural.

Del análisis de resultados que se hizo de las pruebas de localización tridimensional los participantes localizaron correctamente más fuentes en el plano horizontal que en cualquier otro por lo tanto se concluye que la cabeza binaural y los micrófonos in ears funcionan mejor para las fuentes localizadas en el plano horizontal.

La distancia interaural de los participantes no supera 1 cm respecto a la cabeza binaural o la cabeza de la persona que implementa los micrófonos in ears; y la mejor prueba para los micrófonos in ears fue de una persona con la misma distancia interaural, sin embargo los resultados son muy dispersos y no se puede hallar una relación entre la distancia interaural y la localización aparente de los audios por parte de los participantes.

**DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA GRABACIÓN
BINAURAL**

Sebastián Muñoz Mora.

Juan Sebastián Sierra Goenaga.

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
INGENIERÍA DE SONIDO.
BOGOTÁ D.C.
2016.**

**DISEÑO Y PROGRAMACIÓN DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA GRABACIÓN
BINAURAL**

Autores:

Sebastián Muñoz Mora.

Juan Sebastián Sierra Goenaga.

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero de
Sonido.**

Asesor: Ingeniero

Miguel Olivares

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

INGENIERÍA DE SONIDO.

BOGOTÁ D.C.

2016.

CONTENIDO

CONTENIDO	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
ANTECEDENTES.....	14
Antecedentes de la aplicación de la ingeniería de sonido en desarrollo de software para dispositivos móviles.....	14
Antecedentes de aplicaciones para dispositivos móviles como herramientas para la ingeniería de sonido	15
Antecedentes Universidad de San Buenaventura	16
DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
PREGUNTA PROBLEMA.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	18
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
ALCANCES Y LIMITACIONES	20
ALCANCES	20
LIMITACIONES.....	20
MARCO DE REFERENCIA	21
DESARROLLO DE APLICACIONES PARA DISPOSITIVOS MÓVILES.....	21
Dispositivos móviles.....	21
Aplicaciones para dispositivos móviles	21
Lenguajes de programación	22
Programación orientada a objetos.....	22
Java	22
Android	22
Android Studio.....	23
Wireframes.....	23

Casos de uso.....	24
Teoría del pulgar.....	24
Test guerrilla.....	25
Modelado de software.....	25
AUDIO DIGITAL.....	26
Propiedades del audio digital.....	26
Formato de audio WAV.....	26
Espectro en frecuencia.....	28
Cálculo de valores RMS.....	28
Decibeles full scale.....	29
TEORÍA DE LA ESCUCHA BINAURAL.....	29
Diferencia de tiempo interaural (DTI).....	29
Diferencia de presión interaural (DPI).....	30
SISTEMAS DE GRABACIÓN BINAURAL.....	31
Cabeza binaural.....	31
Micrófonos in ears.....	31
Procesamiento por convolución.....	31
CARACTERÍSTICAS DE LOS MICRÓFONOS.....	32
Sensibilidad.....	32
Directividad.....	32
Respuesta en frecuencia.....	32
METODOLOGÍA.....	33
ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	33
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	33
TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	34
POBLACIÓN Y MUESTRA.....	35
HIPÓTESIS.....	36
VARIABLES.....	36
Variables independientes.....	36
Variables dependientes.....	36
DESARROLLO INGENIERIL.....	37

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	38
DISEÑO DE LA APLICACIÓN.....	40
PROGRAMACIÓN EN SOFTWARE DE DESARROLLO PARA DISPOSITIVOS MÓVILES	47
Grabación de audio	47
Grabación en formato WAV.....	48
Representación en tiempo real del audio estéreo durante la grabación	51
Organización de archivos de audio en la memoria del dispositivo móvil	54
Reproducción de las grabaciones.....	55
Cambios de configuración para la grabación de audio	57
Convolución de señales de audio, con respuesta al impulso	57
PRUEBA DE USABILIDAD	59
Descripción de la prueba.....	59
Muestra	59
Preparación	60
Aplicación de la prueba	61
Resultados.....	61
SELECCIÓN DE LOS MICRÓFONOS BINAURALES IN-EARS	67
Descripción general de los micrófonos.....	67
Implementación de los micrófonos binaurales SB205W	67
EVALUACIÓN DE LAS GRABACIONES HECHAS CON LA APLICACIÓN Y LOS MICRÓFONOS BINAURALES	68
Medición de la respuesta en frecuencia de los micrófonos binaurales in-ears y de la cabeza binaural	71
Medición del patrón polar de los micrófonos in ears y de la cabeza binaural	75
EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE LAS GRABACIONES BINAURALES	79
Definición de las posiciones en tres dimensiones de los audios.....	79
Definición de los audios a implementar en la prueba	82
Herramienta para medición de distancia interaural	85
Grabación de bancos de audios de alta, media y baja frecuencia en diferentes posiciones..	86
Procedimiento de grabación.....	86

Aplicación de la prueba	89
ANÁLISIS Y RESULTADOS	90
De las Figuras 52 y 53 anteriores se hace el siguiente análisis de resultados:.....	99
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
APÉNDICE.....	109
APÉNDICE A	109
APÉNDICE B.....	114
1. PLAY STORE	114
2. PAGINA DE INICIO.....	116
3. VENTANA PROYECTO.....	119
3.1 SELECCIONAR PROYECTO.....	121
4. VENTANA GRABACIÓN	123
5. BIBLIOTECA.....	127
6. CONFIGURACIÓN Y OTROS	129
APÉNDICE C	132
Diagrama UML de componentes.....	132
Diagrama UML De Secuencia.....	133
ANEXOS.....	134
ANEXO A.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de diagramas y narrativas de casos de uso.(Alarcon, 2006).	24
Figura 2.Formato de escritura WAV.(Sound File, 2014)	27
Figura 3.Ondas de sonido procedentes de una fuente sonora.....	29
Figura 4. Estadísticas del MIN TIC sobre el uso de los dispositivos móviles.	35
Figura 5. Persona utilizando los micrófonos binaurales, interfaz de audio y dispositivo móvil con la aplicación "3D Sound" instalada.	38
Figura 6. Diagrama de flujo de señal de audio en el sistema móvil de grabación binaural.	39
Figura 7.Proceso de diseño y desarrollo de una aplicación.....	40
Figura 8.Wireframes de la ventana de proyecto y ventana de grabación.	41
Figura 9. Diagrama de casos de uso.	42
Figura 10. Logo de la aplicación, logo de la Universidad de San Buenaventura y logo de la facultad de Ingeniería de sonido.	43
Figura 11. Actividad de proyecto.	44
Figura 12. Actividad de grabación, pestaña de grabadora.	45
Figura 13. Pestaña de biblioteca.	45
Figura 14. Actividad de configuración.....	46
Figura 15. Actividades de información sobre la aplicación	46
Figura 16. Diagrama de grabación de audio.....	50
Figura 17. Diagrama de clase para el objeto "WavAudioRecorder".....	51
Figura 18. Diagrama de clase para el objeto "LedMeter".	52
Figura 19. Diagrama de representación de una señal estéreo.	53
Figura 20. Organización de archivos en la memoria del dispositivo móvil	54
Figura 21. Diagrama de clase para el objeto "Project Activity".	55
Figura 22. Máquina de estados del objeto "MediaPlayer" (Android Developer, 2016)	56
Figura 23. Diagrama de clase del objeto "MPlayer".....	57

Figura 24. Diagrama de clase del objeto "SettingsClass"	57
Figura 25. Pantalla del celular Huawei G7.....	60
Figura 26: Pantalla principal con el ícono. Aplicación "3D Sound"	62
Figura 27. Ventana Proyecto. Aplicación "3D Sound"	63
Figura28.Ventana Record Activity. Aplicación "3D Sound"	64
Figura 29. Ventana record activity en la pestaña biblioteca aplicación"3D Sound"	65
Figura 30.Ventana Record Activity con el menú desplegado. Aplicación "3D Sound".	65
Figura 31. Medición de sensibilidad micrófonos con pistófono.....	71
Figura 32. Respuesta en frecuencia cabeza binaural.....	73
Figura 33. Respuesta en frecuencia micrófonos in ears.	73
Figura 34.Ruido rosa micrófonos in ears canal izquierdo.....	74
Figura 35. Ruido rosa original.	74
Figura 36. Grabación con el sistema móvil de grabación binaural.	76
Figura 37. Patrón polar de los micrófonos binaurales in ears en 63 Hz y 16 kHz	77
Figura 38. Patrón polar de la cabeza binaural en 63 Hz y 16 kHz	77
Figura 39. Plano transversal, frontal y sagital.(Fundamentos De Anatomia, 2015)	80
Figura 40. Posiciones de fuente en el sistema de coordenadas tridimensional.	81
Figura 41.Nomenclatura de los puntos para la región frontal, posterior y central.	82
Figura 42, División de frecuencias en bajas, medias y altas (Songs of the cosmos, 2016).....	83
Figura 43.Espectro del audio de alta frecuencia.	83
Figura 44.Espectro del audio de media frecuencia.	84
Figura 45. Espectro del audio de baja frecuencia.....	85
Figura 46.Calibrador tipo "pie de rey". (Instrumentación Metrologia, 2016).	85
Figura 47. Calibrador con puntas largas.	86
Figura 48. Interfaz grafica para la prueba de localización de audios.....	88
Figura 49. Gráfica de los resultados clasificados por punto de prueba.....	92
Figura 50. Gráfica de los resultados clasificados por componentes.....	95

Figura 51. Agrupación de resultados por distancia interaural implementando el sistema móvil de grabación binaural.	96
Figura 52. Agrupación de resultados por distancia interaural de la persona que implementando el sistema móvil de grabación binaural.	97
Figura 53. Agrupación de resultados por edades implementando el sistema móvil de grabación binaural.	98
Figura 54. Agrupación de resultados por edades implementando la cabeza binaural.	98
Figura 55. Patrón Polar 31Hz.....	109
Figura 56. Patrón Polar 63Hz.....	109
Figura 57.Patrón Polar 125Hz.....	110
Figura 58.Patrón Polar 250 Hz.....	110
Figura 59.Patrón Polar 500Hz.....	111
Figura 60.Patrón Polar 1k Hz.....	111
Figura 61.Patrón Polar 2k Hz.....	112
Figura 62.Patrón Polar 4k Hz.....	112
Figura 63.Patrón Polar 8k Hz.....	113
Figura 64.Patrón Polar 16k Hz.....	113
Figura 65.Diagrama de componentes de la aplicación (software Visual Paradigm).....	132
Figura 66.Diagrama de secuencia de software.(software)	133
Figura 67. Hoja de datos de los micrófonos in ears SB 205 W proporcionada por Andrea Electronics.	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proceso de desarrollo de una aplicación.	41
Tabla 2. Encabezado WAV.	48
Tabla 3. Tiempos promedios de tareas.	66
Tabla 4. Resultados de medición de sensibilidad.	70
Tabla 5. Datos del participante Carlos en la prueba de espacialidad.	89
Tabla 6. Descomposición por plano de los puntos de referencia.	91
Tabla 7. Conteo de cada parte de los puntos de referencia.	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cálculo de valores RMS. (Aolivella, 2010)	28
Ecuación 2. Full Scale. (RS Met, 2015).	29
Ecuación 3. Cálculo del tamaño del archivo. (Sound File, 2014)	49
Ecuación 4. Cálculo de la razón de bytes. (Sound File, 2014)	49
Ecuación 5. Cálculo del "Block Align". (Sound File, 2014)	49
Ecuación 6. Cálculo del valor RMS de una señal discreta. (Aolivella, 2010)	51
Ecuación 7. Cálculo para decibeles full scale. (Aolivella, 2010)	52
Ecuación 8. Cálculo de decibeles relativos a la magnitud de 1 kHz.	72
Ecuación 9. Cálculo de asignación de nota al participante.	92
Ecuación 10. Cálculo Nota.	94
Ecuación 11. Ejemplo de cálculo de nota.	94

RESUMEN

En este documento se evidencia el desarrollo ingenieril de una aplicación para grabación de señales binaurales, además se registran los resultados que se obtuvieron luego de evaluar el desempeño gráfico y de los tiempos que le toma a los usuarios realizar actividades como grabación y cambios de configuración; Se evalúa la calidad de las grabaciones de acuerdo a las mediciones de patrón polar, sensibilidad y respuesta en frecuencia de los micrófonos in ears SB-205W de Andrea Electronics; y Se hace una comparación de las estadísticas de la prueba psicoacústica de localización espacial de sonidos de alta media y baja frecuencia para los micrófonos binaurales in ears y la cabeza binaural, indicando en qué puntos y ejes tridimensionales, hubo más errores o aciertos.

INTRODUCCIÓN

Los dispositivos móviles han evolucionado fuertemente en los últimos años, tanto que se pueden implementar para la captura y procesamiento de audio.

Existen diferentes técnicas de captura de audio como XY, ORTF y DeccaTree; que tienen como objetivo grabar las fuentes agregando espacialidad en los sonidos, implementando varios micrófonos en diferentes posiciones, de tal forma que los oyentes perciban que las fuentes están localizadas en diferentes lugares.

Otras técnicas de captura más elaboradas se basan en la teoría de la escucha binaural, las cuales explican cómo las personas localizan las fuentes que escuchan debido a las diferencias de los sonidos que perciben en cada uno de los oídos. Para poder realizar grabaciones binaurales es necesario implementar un sistema que se ajuste a dicha teoría, el más conocido es la cabeza binaural (Dummy Head).

Otros equipos que permiten la grabación de señales binaurales son los micrófonos in ears; los cuales aplican el mismo principio de escucha binaural al ser implementados en los oídos de una persona.

El proyecto unifica las capacidades de los dispositivos móviles y de las técnicas de captura binaural para la elaboración de un sistema móvil de grabación binaural.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

ANTECEDENTES

Se presentan antecedentes relacionados con la aplicación de la ingeniería de sonido en el desarrollo de software para dispositivos móviles, aplicaciones móviles orientadas a la ingeniería de sonido y antecedentes sobre las técnicas de grabación binaural.

Antecedentes de la aplicación de la ingeniería de sonido en desarrollo de software para dispositivos móviles

En la publicación “Scalable binaural synthesis on mobile devices”(Sander, Wefers, & Leckschat, 2012) se habla acerca del desempeño que tienen los dispositivos móviles para síntesis binaural en tiempo real, evaluando diferentes factores computacionales como el tiempo de procesamiento, manejo de memoria y concluye explicando cómo el motor de procesamiento en tiempo real se puede aplicar en videojuegos, tele-conferencias y reproducción en múltiples canales.

En la publicación “3D Audio for mobile devices via Java” (Jonathan Karlsson, Paavola, & Page, 2005) se describe cómo utilizar los denominados “Advanced Multimedia Supplements” que proporciona mecanismos para el procesamiento en tiempo real de audio, aplicando efectos de reverberación y posicionamiento en un espacio tridimensional.

Pierre Louis Bossart describe detalladamente en la publicación “A survey of mobile audio architecture issues”(Bossart, 2006) la forma en que se maneja el audio en dispositivos móviles desde la programación de codificadores de audio, conversión entre digital y análogo, transmisión de audio por bluetooth, etc.

En la publicación “Automatic volume and equalization control in mobile devices”(Sergey, Budkin, & Goldin, 2006) se describe cómo se puede aplicar el control del volumen automático en los dispositivos móviles, implementando el micrófono integrado para monitorear los niveles de ruido de fondo y cambiar el volumen de acuerdo a los niveles.

Antecedentes de aplicaciones para dispositivos móviles como herramientas para la ingeniería de sonido

“USB Audio Recorder PRO” (Development, 2015) permite grabar y reproducir audio desde una interfaz USB.

“Audio Recorder” (Sony Mobile Communications, 2016) esta aplicación facilita la grabación y la reproducción de audio en un smartphone o tablet. Tiene una interfaz de grabación intuitiva que proporciona acceso fácil a las funciones de grabación, pausa y edición de audio, entre otras.

“SPL Meter”(Smart Tools co, 2016)esta aplicación para medición de presión sonora utiliza el micrófono integrado de los dispositivos móviles para realizar la captura de audio y representar el

nivel de presión sonora con fines indicativos; estos valores no son tan exactos teniendo un margen de error del 5 al 10%.

“Tool Box for acoustics”(Acoustassist LTD, 2014)es una aplicación que tiene información, ecuaciones y cálculos útiles para ingenieros, estudiantes y consultores interesados en el campo del sonido y las vibraciones, cuenta con medidor de decibeles, cálculo de modos de recintos acústicos, espectro en frecuencia en bandas de octava y tercios de bandas de octava con ponderaciones A, B y C.

“USB MIDI Monitor” (Development, 2015) permite la visualización de los mensajes MIDI provenientes del puerto USB del dispositivo.

Antecedentes Universidad de San Buenaventura

"Aplicaciones y especificación del modelo de captación binaural utilizando un material en su relleno que proporcione un desempeño natural" (Maria Isabel Arango, 2004). Prueba varios materiales para conseguir niveles de absorción cercanos a los del cráneo humano; así mismo utilizaron una técnica estéreo para grabar las señales y compararlas con las de la cabeza binaural.

“Desarrollo de una producción musical (EP) basada en la comparación de 4 técnicas que simulan captura binaural" (Fabian Alejandro Arenas, 2009). Este proyecto se enfoca en la comparación

de distintos montajes de micrófonos para obtener grabaciones cercanas a las obtenidas por medio de una cabeza binaural.

"Desarrollo de un stand-alone software para simular el comportamiento de una cabeza binaural" (Cesar Albeto Arevalo, 2014). Desarrollo de un software para trabajar con secuenciadores de audio (Cubase, Ableton Live y Pro Tools) manipulando una señal de audio, realizando convoluciones obtenidas de una cabeza binaural.

"Aplicación multimedia interactiva para dispositivos móviles de análisis de parámetros acústicos"(Salamanca, 2013). Crea una interfaz donde se puedan simular diferentes puntos de fuentes sonoras y de medición, en donde se pueda hacer una predicción del comportamiento de la energía en campo libre.

“Desarrollo de un software de análisis acústico para dispositivos móviles” (Cuervo, 2013). Crea una aplicación que determina diferentes parámetros acústicos como suma de niveles de presión sonora, tiempos de reverberación por medio de la respuesta al impulso y coeficientes de absorción de materiales.

DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se han desarrollado aplicaciones para dispositivos móviles que sirven como herramienta para los ingenieros de sonido en diferentes campos como acústica, producción de audio, sonido en vivo, sonido para videojuegos etc. A pesar de los avances tecnológicos en los dispositivos móviles y su capacidad de procesamiento se evidencia que en el campo de grabación se podrían programar aplicaciones que estén al alcance de una mayor población y que faciliten la captura de sonidos

más reales aportando no sólo un diseño colorido en la interfaz gráfica si no conocimientos de ingeniería de sonido que ayuden a solucionar problemas en este campo.

PREGUNTA PROBLEMA

¿Cómo grabar y procesar señales binaurales en dispositivos móviles?

JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la teoría de la escucha binaural, las personas localizan las fuentes sonoras debido a la interpretación cerebral que hacen de las señales provenientes de ambos oídos (efecto Haas), dichas señales tienen una función de transferencia (HRTF) dependiente de las diferencias de tiempo, intensidad y fase entre las señales de ambos oídos; y de la modificación que tienen las señales al interactuar con la fisonomía de la persona.

Actualmente existen sistemas de grabación diseñados para simular el comportamiento anteriormente descrito, entre ellos, el más común es la cabeza binaural (dummy head). Es un maniquí compuesto de materiales con propiedades como rigidez y densidad, que asemejan a los del cuerpo humano. Por otro lado cuenta con dos micrófonos ubicados dentro de las orejas que asemejarían la escucha binaural.

Este sistema funciona muy bien; sin embargo es muy costoso y está limitado en cuanto a movilidad debido a su peso, múltiples conexiones y es dependiente de corriente externa.

Por ello se busca la forma de capturar señales binaurales de forma distinta, en donde la persona aporta la función de transferencia con la implementación de micrófonos in ears y las grabaciones se almacenan en un dispositivo móvil. Es necesario desarrollar una aplicación para grabar las señales binaurales provenientes de los micrófonos in ears y/o implementar la convolución con respuesta al impulso de señales.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y programar una aplicación móvil de grabación binaural.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar y programar la aplicación en el lenguaje de programación.
2. Evaluar la calidad de las grabaciones hechas con la aplicación usando los micrófonos in-ears.
3. Evaluar en una población la percepción subjetiva del efecto tridimensional al que se aproximan las grabaciones.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

- Se podrán reproducir las grabaciones binaurales en la aplicación.
- La aplicación funcionará en dispositivos con sistema operativo Android.
- Se podrán crear proyectos específicos y ser modificados dentro de la aplicación.

LIMITACIONES

- La velocidad de operación de la aplicación dependerá de las especificaciones del dispositivo móvil.
- La aplicación sólo funcionará en dispositivos móviles Android que tengan la versión del sistema operativo definida en la programación.
- La aplicación no estará disponible en la tienda Play Store.

MARCO DE REFERENCIA

Para el desarrollo del proyecto es necesario definir conceptos en los campos de desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles, audio digital y grabación binaural.

DESARROLLO DE APLICACIONES PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

Dispositivos móviles

Son equipos electrónicos que tienen diferentes características como movilidad, tamaño reducido, comunicación inalámbrica, interacción con las personas, capacidad de procesamiento y memoria. Existen varios tipos de dispositivos móviles: teléfonos, smartphones, handheld PC, tablet PC, tablets entre otros. Cuentan con diferentes elementos como: teclado “qwerty”, pantalla táctil, sensores de movimiento, luz y sonido; conectores micro USB, baterías de litio, cargadores, cámaras entre otros. (Pozo, 2011)

Aplicaciones para dispositivos móviles

Es un software que permite la manipulación de los dispositivos móviles para diferentes propósitos ya sea para enviar o recibir mensajes, reproducir música, grabar sonido etc.

Las aplicaciones móviles básicas son aquellas que sólo manipulan los datos ingresados por el usuario, las web móviles convergen los datos ingresados por el usuario con bases de datos almacenadas en internet. (Vique, 2011)

Lenguajes de programación

Un lenguaje de programación se define como: "Un conjunto de reglas, símbolos y palabras especiales que permiten construir un programa." (Universidad Nacional De Mexico).

Existen diferentes lenguajes de programación como Java, C, C++, C# etc. Diseñados para diferentes sistemas, pueden ser estructurados u orientados a objetos.

Programación orientada a objetos

La unidad básica de este tipo de programación es el objeto o clase, se puede definir como: "Una entidad lógica que contiene datos y un código que manipula estos datos." (Universidad de Murcia)

La estructura básica de un objeto está dada por sus constructores y métodos, los constructores definen el objeto y los métodos permiten la manipulación y adquisición de los datos a través de los argumentos.

Java

Es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por James Gosling en la empresa "Sun Microsystems" en el año 1995, comprado posteriormente por Oracle. Nace con la idea de crear aplicaciones "Write once, run anywhere" (WORA), es decir que las aplicaciones funcionan en cualquier dispositivo que tenga una máquina virtual de Java (JVM) instalada. (Oracle, 2015).

Android

Sistema operativo para dispositivos móviles basado en Linux, desarrollado por Google y Open Handset Alliance, un consorcio de 84 compañías de desarrollo de hardware y software. Hasta el

momento se han desarrollado alrededor de 6 versiones del sistema operativo siendo “Marshmallow” la última versión de lanzamiento y “Nougat” el próximo estreno para finales del año 2016. (Begin Android, 2016)

Android Studio

Es un entorno integrado de desarrollo libre (IDE) de software oficial de Android basado en IntelliJ IDEA, permite el desarrollo de aplicaciones para todos los dispositivos Android en todas sus versiones. Cuenta con estructuración de proyecto por carpetas, editor de código, compilación “Gradle”, depuración y ventanas para la elaboración de la interfaz gráfica. (Developer Android, 2016)

La estructuración por carpetas permite al programador tener diferentes vistas de la organización de su proyecto, el editor permite al usuario escribir el código implementando la sintaxis de Java para ser compilado posteriormente por Gradle. La depuración se hace en tiempo real implementando un dispositivo móvil conectado por el puerto USB del computador o por red inalámbrica, adicionalmente cuenta con un simulador de dispositivo móvil en el computador; el desarrollo de la interfaz gráfica se hace mediante la edición de archivos XML dentro del entorno donde se puede ver tanto el código, como los objetos gráficos a implementar.

(Developer Android, 2016)

Wireframes

Es un prototipo que normalmente se escribe en papel para realizar un diseño visual de cómo se espera que la aplicación se vea e interactúe con el usuario. Son la guía que el diseñador le entrega al programador. Se plasman las principales características, funciones y contenido del

producto. Tal como un plano explica las características de una construcción los wireframes dan a entender el cuerpo de una aplicación. (Saffer, 2009)

Casos de uso

Los casos de usos están formados por dos elementos, los diagramas de casos de uso y las narraciones de casos de usos. Los diagramas muestran el comportamiento del sistema a partir de los usuarios que van a interactuar con el sistema; mientras que las narraciones describen de forma escrita los eventos de negocio y la interacción con el sistema. En la Figura 1 se muestra un ejemplo. (Alarcon, 2006)

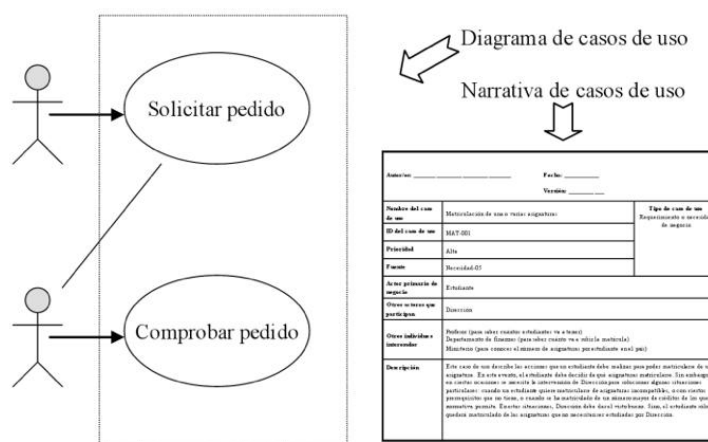


Figura 1. Ejemplo de diagramas y narrativas de casos de uso. (Alarcon, 2006).

Teoría del pulgar

Se refiere a la interacción que la anatomía del ser humano juega en el diseño de una aplicación móvil; algunos autores definen la teoría del dedo pulgar como la superficie de la pantalla en la que el dedo toca con mayor facilidad la pantalla de un dispositivo. Al realizar el diseño de la

aplicación es importante que aquellos patrones o botones que contengan información esencial de la aplicación (como eliminar o compartir contenido) no estén al alcance de manera fácil al dedo pulgar; esto para evitar que puedan ser manipulados de manera directa. (Vittone, 2013)

Test guerrilla

“Es un test en el que se le pide al participante que use un sistema mientras piensa continuamente en voz alta, verbalizando sus pensamientos mientras se mueve por la interfaz de usuario.(Dispersium, 2016)”

El usuario interactúa con la aplicación a medida que va realizando actividades específicas dentro de la misma. Manifiesta los problemas que encuentra en la interfaz gráfica y en el diseño de la aplicación.

Modelado de software

Para la documentación del funcionamiento de un software, se hace un modelado que describe gráficamente cada parte del sistema; se implementa principalmente el código UML (Unified Modeling Language), el cual es un estándar que indica cómo hacer diagramas de clases, de componentes y de secuencia del sistema.

AUDIO DIGITAL

Propiedades del audio digital

Es necesario recurrir a los conceptos de señales y sistemas, específicamente del teorema de muestreo; éste es el puente entre las señales continuas y discretas ya que una señal discreta puede representar una señal continua, teniendo en cuenta su frecuencia de muestreo.

La frecuencia de muestreo se define como la cantidad de muestras por segundo con que se representa una señal continua, en una señal discreta. Es directamente proporcional a la frecuencia más alta de la señal continua ya que, si es menor, no es posible representar fielmente la señal continua; este comportamiento lo define el teorema de Nyquist.(Comunicaciones)

Por otro lado en el audio digital se habla de la profundidad en bits, hace referencia a la cantidad de bits utilizados para representar la magnitud de cada muestra de una señal discreta. Este concepto se aplica principalmente para los sistemas digitales binarios cuyo funcionamiento depende del manejo de variables definidas por la cantidad de bytes que implementan. En términos generales entre más bits se implementen, mayor es la cantidad de magnitudes diferentes que se pueden registrar; de este factor dependen diferentes propiedades como el rango dinámico y la relación señal ruido del audio.(Copro, 2016)

Formato de audio WAV

Formato de audio desarrollado por Microsoft e IBM, es una aplicación de “RIFF” (Resource interchange file format) especializado en guardar cadenas de información por tramos. Generalmente se implementa para guardar archivos de audio sin compresión en LPCM (Linear

pulse code modulation), debido a esto el formato se utiliza para aplicaciones que requieran de una alta calidad de audio.

El encabezado WAV estándar está especificado en la Figura 2 donde se indica la manera de escribir los primeros 44 bytes incluyendo información importante como la frecuencia de muestreo, profundidad en bits y el número de canales.

Dentro del formato WAV también se especifica el llamado “Endianess”, es el orden en qué se escriben los bytes en la memoria e influye en la velocidad de lectura del archivo. En la escritura “Little endian” se guarda primero el byte menos significativo (LSB) y por último el byte más significativo (MSB); por el contrario “Big endian” escribe primero el MSB y por último el LSB. (Concept, 2012)

The Canonical WAVE file format

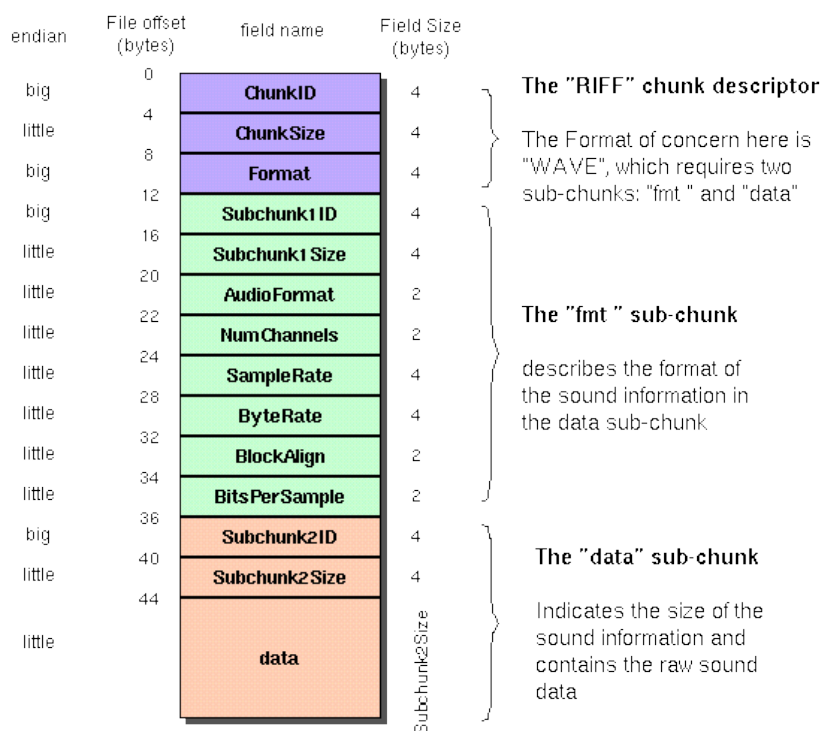


Figura 2. Formato de escritura WAV. (Sound File, 2014)

Espectro en frecuencia

El espectro en frecuencia de una señal de audio es la descomposición que se hace en el rango audible de (20 Hz a 20 kHz) en donde se puede ver la cantidad de energía que tiene en cada una de las frecuencias; para poder hacer dicha descomposición es necesario realizar la transformada de Fourier, la cual descompone en señales sinusoidales diferentes frecuencias, amplitudes y fases.(Universidad Nacional Del Nordeste, 2014)

Cálculo de valores RMS

La mejor forma de cuantificar la energía sonora que hay en un lapso de tiempo de una señal de audio se hace implementando la media cuadrática ya que permite cuantificar las cantidades negativas y positivas en un rango de valores determinado. La media cuadrática está dada por la Ecuación 1:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$$

Ecuación 1: Cálculo de valores RMS. (Aolivella, 2010)

Decibeles full scale

Son cantidades logarítmicas que permiten cuantificar la cantidad de energía que hay en una señal digital. Se tiene en cuenta la profundidad en bits de las muestras; la escala varía de $-\infty$ a 0 y se calculan implementando la Ecuación 2:

$$\text{dBfs} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Valor digital}}{\text{máximo valor digital}} \right)$$

Ecuación 2. Full Scale. (RS Met, 2015).

TEORÍA DE LA ESCUCHA BINAURAL

Diferencia de tiempo interaural (DTI)

Es la diferencia de tiempo en que las ondas que siguen la vía W1 y la vía W2 llegan al oyente. Dependiendo de la localización de la fuente sonora, habrá una diferencia de tiempo concreta entre el momento en que el oído derecho escucha el sonido de W1 con el que el oído izquierdo escucha el sonido de W2. En la Figura 3 se muestra cómo la onda W1 alcanza el oído derecho del oyente antes de que la onda W2 alcance el oído izquierdo. (Cardozo, 2009)

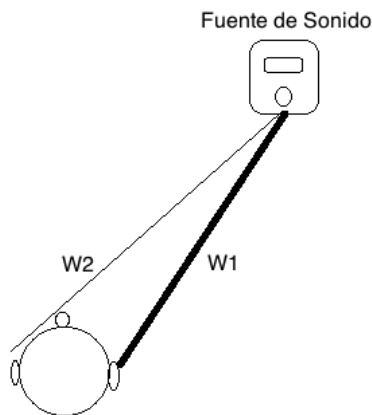


Figura 3. Ondas de sonido procedentes de una fuente sonora.

Diferencia de presión interaural (DPI)

Si una fuente de sonido se encuentra a menor distancia del oído izquierdo que del oído derecho entonces el nivel de presión sonora será mayor.

El sonido binaural se fundamenta principalmente en recrear las condiciones descritas anteriormente, simulando el método por el cual las ondas de sonido son captadas por el oído y cómo estas son interpretadas por el cerebro.

SISTEMAS DE GRABACIÓN BINAURAL

Cabeza binaural

Conocido como “Dummy head” es un maniquí compuesto de materiales con propiedades como rigidez y densidad que se asemejan a los del cuerpo humano. Cuenta con dos micrófonos ubicados dentro de un conducto auditivo que conecta a las orejas, lo que asemejaría la escucha binaural.(Dummy Head Recording, 2016)

Micrófonos in ears

Están diseñados para ser usados en los oídos de una persona en donde la función de transferencia (HRTF) y las diferencias interaurales de tiempo e intensidad son aportadas por las características físicas de cada individuo.(Roland, 2016)

Procesamiento por convolución

Operación matemática entre dos señales, donde se invierte una señal en el dominio del tiempo, se desplaza y se suma la multiplicación punto a punto de las señales. Cuando se aplica el operador entre una señal de audio y la respuesta al impulso de una cabeza binaural, se obtiene una tercera señal de dos canales, que es el resultado de ingresar la señal de audio en el sistema LTI de la cabeza. (Analog, 2014)

CARACTERÍSTICAS DE LOS MICRÓFONOS

Sensibilidad

Es el voltaje que produce un micrófono cuando es excitado por una presión sonora, generalmente de 1 pascal; es decir 94 dB SPL. (UNPA, 2013)

Directividad

Hace referencia al patrón polar, indica en una escala de decibeles en función del ángulo, la sensibilidad alrededor del micrófono; los más comunes son el patrón polar omnidireccional, cardioide e hipercardioide. (UNPA, 2013)

Respuesta en frecuencia

Es la capacidad que tiene un micrófono de captar fielmente una señal en todas sus frecuencias, generalmente se grafica en una escala semi-logarítmica donde los decibeles relativos a 1kHz se grafican en función de la frecuencia. (UNPA, 2013)

METODOLOGÍA

ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El proyecto seguirá una línea cuantitativa; es decir se realizarán tablas estadísticas del número de procesos y del tiempo que requieren, cerciorándose que la hipótesis se cumpla por medio de la grabación y procesamiento de señales.

Para algunos parámetros del proyecto se seguirá una línea cualitativa, ya que se registran datos de las opiniones que tienen los usuarios de la aplicación.

En el transcurso del desarrollo se tuvieron en cuenta los siguientes procesos:

- Método experimental.
- Evaluación subjetiva de las grabaciones.
- Evaluación interactiva.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dentro de los núcleos problemáticos propuestos por la Facultad, el proyecto se clasifica como:

Línea de Investigación: Tecnologías Actuales y Sociedad.

Sub Línea de la Facultad: Tecnologías de Información y Comunicaciones.

Campo Temático del Programa: Acústica y Audio.

- Diseño de Sistemas de Sonido.
 - Aplicaciones Móviles.

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Los tres objetivos específicos tienen técnicas de recolección diferentes:

En el primer objetivo específico “Diseñar y programar la aplicación en el lenguaje de programación” se hace una prueba de usabilidad (test guerrilla) que pretende medir de forma cualitativa el desempeño de los usuarios al implementar la aplicación, recolecta información por medio de tareas específicas donde expresan su opinión; el encuestador observa lo que ve cuando el participante se encuentra en diferentes etapas de la aplicación.

Para el segundo objetivo específico: “Evaluar la calidad de las grabaciones hechas con la aplicación usando los micrófonos binaurales in-ears”, fue necesario hacer pruebas de los micrófonos in ears utilizando ruido rosa e implementando el dispositivo móvil y los micrófonos. Ya que el ruido rosa tiene energía en todo el rango de frecuencias, es una buena forma para evaluar la respuesta en frecuencia con sólo una señal de prueba.

También se registran los datos del voltaje RMS que medía el osciloscopio para la medición de sensibilidad de los micrófonos excitados a 94 dB SPL (1 Pascal).

Y para el tercer objetivo específico “Evaluar en una población la percepción subjetiva del efecto tridimensional al que se aproximan las grabaciones”, fue necesario crear, preparar, aplicar y analizar una prueba que se denominará “Prueba de localización tridimensional de sonidos alta, media y baja frecuencia”, en términos generales la prueba busca cuantificar los resultados subjetivos que arrojan los participantes, dichos resultados son indicaciones de la localización o del punto en donde escuchan diferentes audios clasificados por su frecuencia y por el sistema de grabación implementado.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Para el primer objetivo específico y para el último, se definió la población que más utiliza los dispositivos móviles, de acuerdo a la estadística presentada en la Figura 4 (Ministerio De Tecnologías De La Información Y Las Comunicaciones, 2016)



Figura 4. Estadísticas del MIN TIC sobre el uso de los dispositivos móviles.

Según la Figura 4 los dos rangos de edades que más utilizan smartphones en Colombia se encuentran de 18 a 24 años y de 25 a 34 años. La población consiste en 200.000 personas y el

porcentaje es del 0.01%. La muestra utilizada consiste de 20 personas; número suficiente para aplicar las pruebas de usabilidad más comunes en una aplicación. (App Design Book, 2016).

HIPÓTESIS

Con el diseño y programación de una aplicación móvil para grabación binaural es posible grabar y procesar señales binaurales en dispositivos móviles.

VARIABLES

Variables independientes

- Capacidad de procesamiento del dispositivo móvil.
- Tamaño del dispositivo móvil.
- Propiedades electroacústicas de los micrófonos.
- Propiedades acústicas de los lugares de medición.

Variables dependientes

- Funcionamiento de la aplicación móvil.
- Procesamiento interno de la señal.
- Calidad de las grabaciones hechas con los micrófonos y con la aplicación.

DESARROLLO INGENIERIL

Para cumplir con el objetivo general “Diseñar y programar una aplicación móvil de grabación binaural”, se deben cumplir los tres objetivos específicos propuestos:

- Diseñar y programar la aplicación en el lenguaje de programación.
- Evaluar la calidad de las grabaciones hechas con la aplicación usando los micrófonos in-ears.
- Evaluar en una población la percepción subjetiva del efecto tridimensional al que se aproximan las grabaciones.

Es menester programar la aplicación y evaluar que efectivamente sea útil como un medio de grabación de señales binaurales; el nombre de la aplicación es “3D Sound”.

Por lo tanto, se empezará a describir cómo se desarrolla el primer objetivo específico “Diseñar y programar la aplicación en el lenguaje de programación.”, una vez programada; se deberán hacer las pruebas respectivas de usabilidad y se procede a al desarrollo de los otros dos objetivos específicos, donde se evalúan las grabaciones.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto busca realizar grabaciones binaurales implementando micrófonos in ears, una interfaz de audio, un dispositivo móvil y una aplicación, la unión de dichos elementos se describe a continuación y se definirá como el “Sistema móvil de grabación binaural”.

Se requieren de cinco elementos esenciales:

1. Persona que usará los micrófonos binaurales.
2. Micrófonos binaurales (SB-205W).
3. Interfaz de audio (Andrea Electronics incluida con los micrófonos).
4. Cable OTG (On The Go) de USB a micro USB.
5. Dispositivo móvil con sistema operativo Android superior o igual a 5.1 con la aplicación “3D Sound” instalada.



Figura 5. Persona utilizando los micrófonos binaurales, interfaz de audio y dispositivo móvil con la aplicación "3D Sound" instalada.

La unión de dichos elementos se describe en el siguiente diagrama de flujo de señal de audio (representada por flechas) partiendo de la salida de audio proveniente de los micrófonos pasando por la aplicación móvil “3D Sound”, hasta la posterior reproducción en los audífonos.

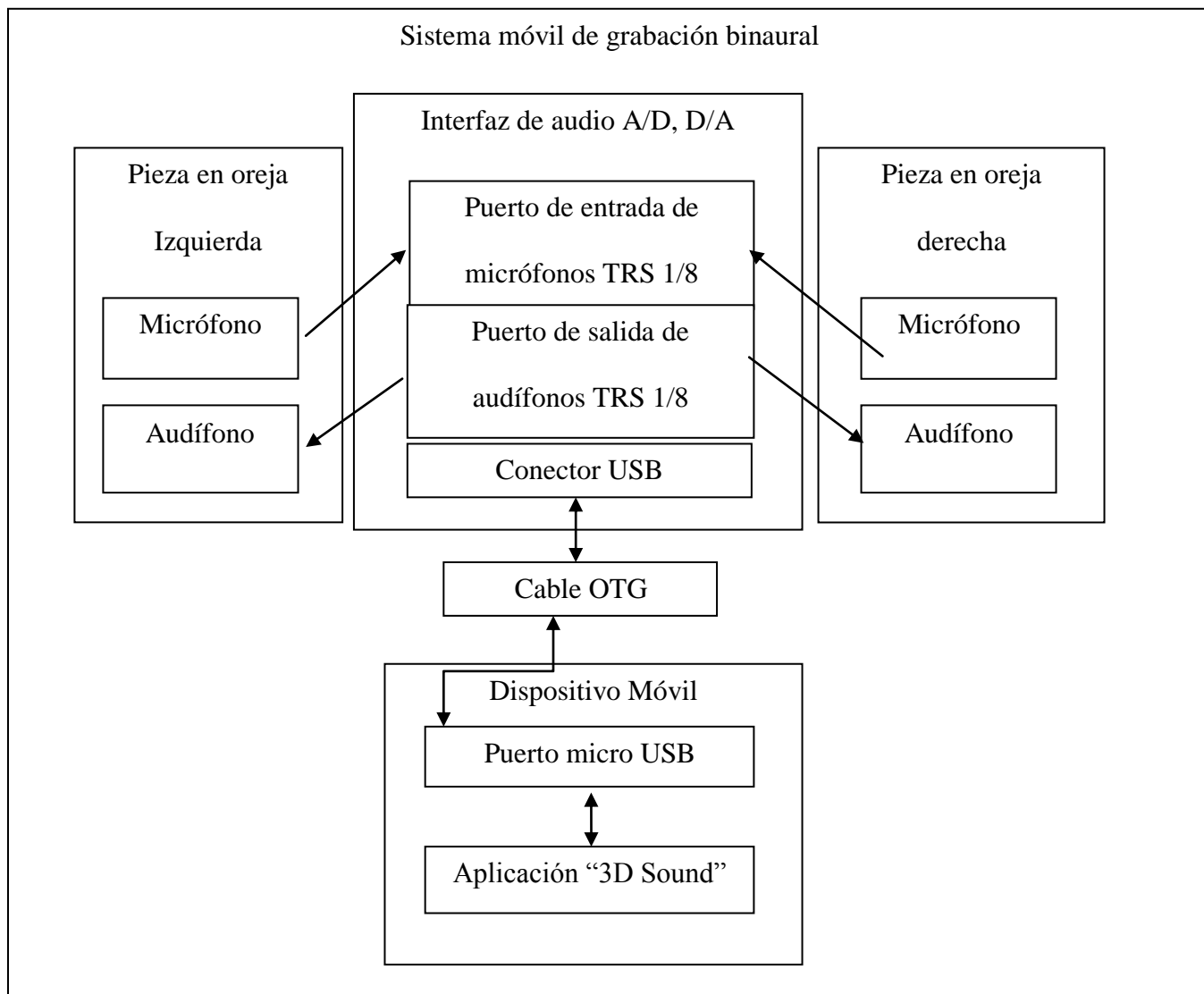


Figura 6. Diagrama de flujo de señal de audio en el sistema móvil de grabación binaural.

DISEÑO DE LA APLICACIÓN.

Para dar comienzo a una aplicación es necesario diferenciar entre una aplicación móvil y una web; entendiendo que la programación e interacción de cada una de ellas es completamente distinta. En el desarrollo de una aplicación se ven implicados dos papeles principales, el de desarrollador y el de programador.

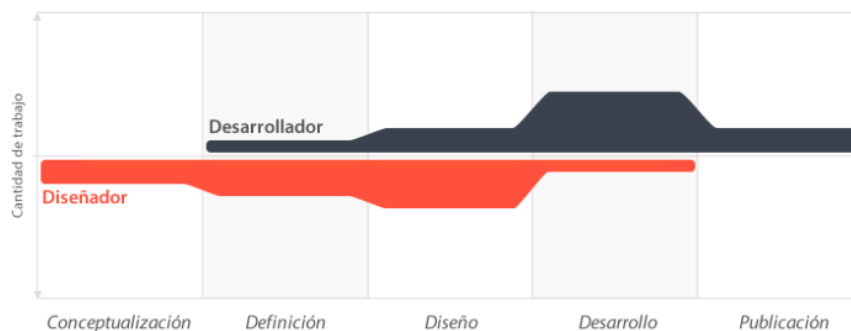


Figura 7. Proceso de diseño y desarrollo de una aplicación.

La conceptualización abarca la idea principal en la que se basa la aplicación teniendo en cuenta las necesidades y problemas de los usuarios; en segunda instancia la definición específica hacia qué tipo de usuarios estará desarrollada la aplicación, en ella se define la funcionalidad de la aplicación. El proceso de diseño es el más crítico, en este se exponen las ideas y es allí donde la aplicación comienza a tomar forma por medio de los “wireframes”. Se realizan como un boceto, pueden utilizarse herramientas web o hacerlo a mano que es lo más recomendado, la Figura 8 muestra algunos diseño de wireframes diseñados para la aplicación 3D Sound. Por medio de ellos se obtuvo un primer acercamiento de la aplicación en donde se evidenciaron las fortalezas y debilidades de la misma; este proceso es de gran ayuda en el diseño de aplicaciones.

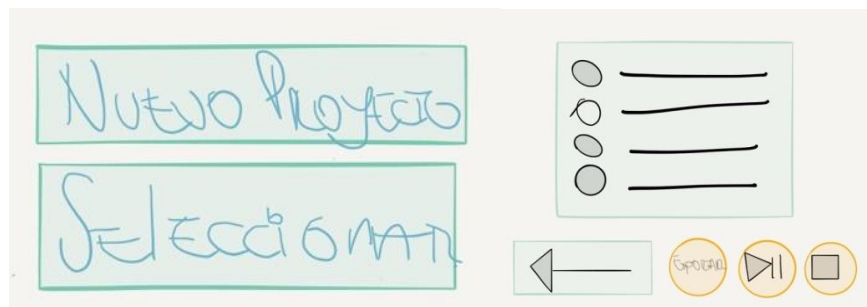


Figura 8. Wireframes de la ventana de proyecto y ventana de grabación.

El proceso de desarrollo es exclusivo del programador pero para que esto suceda es necesario el desarrollo de los casos de uso; estos detallan las acciones e interacciones que tendrá la aplicación, los casos de uso para cada una de las actividades y ventanas se encuentran en el apéndice B; a modo de ejemplo se expone en la Tabla 1 y Figura 9 un caso de uso general.

Tabla 1. Proceso de desarrollo de una aplicación.

Id. del caso de uso	PAG02
Nombre del caso de uso	Transición 2
Prioridad	Baja
Fuente	N/A
Tipo	Ventana
Descripción	Transición con el logotipo de la Universidad San Buenaventura, sede Bogotá.

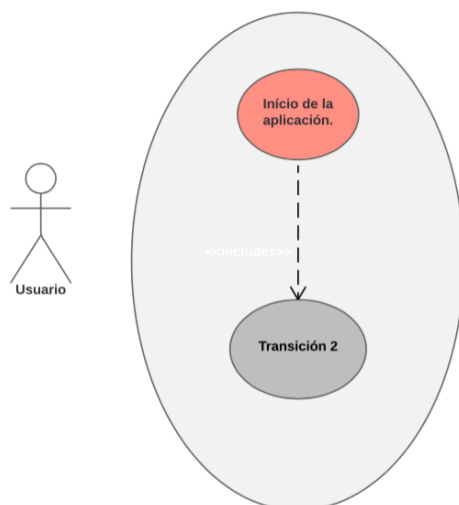


Figura 9. Diagrama de casos de uso.

Todos los casos de uso se encuentran documentados en el apéndice B; con los casos de uso y los wireframes finalizados se procede al diseño de la aplicación. Para una pre visualización de la aplicación se utilizó el software Illustrator (Adobe, 2016) en donde se realizó el diseño de todas las ventanas y botones; esta fue la guía que utilizó el programador para finalizar la aplicación. La Teoría del pulgar fue tomada en cuenta para el diseño de la aplicación, esta expresa los puntos en donde el pulgar tiene una incidencia positiva y negativa en la pantalla. Más adelante se dará cuenta de la actualización que se hizo al diseño luego de la prueba de usabilidad (test guerrilla) con los usuarios.

En primer lugar se seleccionó el software para programar la aplicación, los sistemas operativos más conocidos de dispositivos móviles son Android y iOS; se diseñó y programó para ambos sistemas en Android Studio y Xcode, para probar en cuál de los lenguajes de programación es más factible desarrollar la aplicación. Para hacer pruebas en dispositivos móviles con sistema operativo iOS era necesario pagar alrededor de \$150.000 a la tienda y la programación se

dificultó más en este lenguaje, por ello se prefirió programar para dispositivos con sistema operativo Android en el cual es mucho más fácil y económico probar la aplicación.

La aplicación cuenta con cuatro “Actividades” o secciones:

1. Actividad de inicio.
2. Actividad de proyecto.
3. Actividad de grabación.
 - Pestaña de grabación.
 - Pestaña de reproducción.
4. Actividad de configuración.

Actividad de inicio

Compuesta por 3 ventanas que aparecen cada vez que se abre por primera vez la aplicación. El diseño está pensado en poder establecer el logo de la aplicación, el de Ingeniería de Sonido de la Universidad San Buenaventura y el de la facultad de Ingeniería de Sonido. La Figura 10 muestra estas 3 ventanas.



Figura 10. Logo de la aplicación, logo de la Universidad de San Buenaventura y logo de la facultad de Ingeniería de sonido.

Actividad de proyecto

Permite al usuario crear o seleccionar una carpeta de trabajo donde se guardarán las grabaciones; cuenta adicionalmente con un campo para ingresar el nombre del proyecto. La Figura 11 muestra esta ventana:

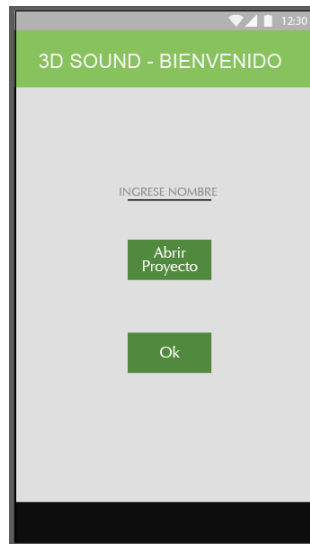


Figura 11. Actividad de proyecto.

Actividad de grabación

Contiene dos pestañas, en la primera llamada “Grabadora” el usuario elige un nombre para sus grabaciones y tiene los controles básicos de inicio, pausa y parada del archivo; así mismo esta ventana cuenta con dos medidores de energía correspondientes al canal izquierdo y derecho arrojando valores en dB FS. Se puede visualizar en la parte inferior el tiempo de grabación en minutos y segundos. La Figura 12 muestra esta actividad:

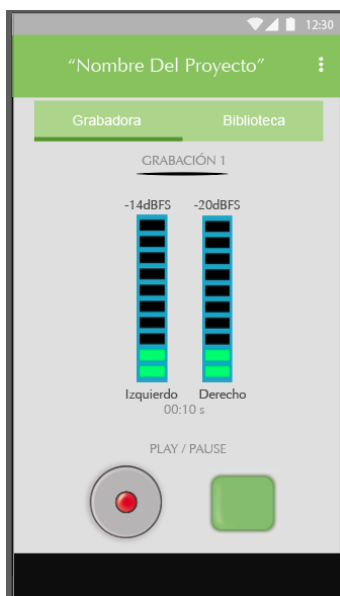


Figura 12. Actividad de grabación, pestaña de grabadora.

La segunda pestaña llamada "Biblioteca" muestra un listado de todas las grabaciones realizadas en dicho proyecto; muestra información esencial como el nombre de la grabación, el formato, la duración y la frecuencia de muestreo.



Figura 13. Pestaña de biblioteca.

Actividad de configuración

Permite al usuario elegir la frecuencia de muestreo que desea implementar para grabación; se diseñó para cambiar la profundidad en bits sin embargo no se implementó debido a la versión del dispositivo móvil de prueba. La Figura 14 muestra esta ventana en la aplicación:

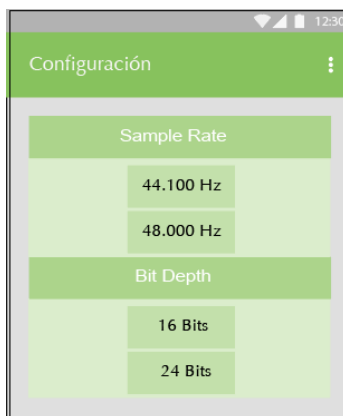


Figura 14. Actividad de configuración

Finalmente se agregaron dos ventanas de información general acerca del funcionamiento de la aplicación e información sobre el programador y el diseñador. La Figura 15 muestra esta información:

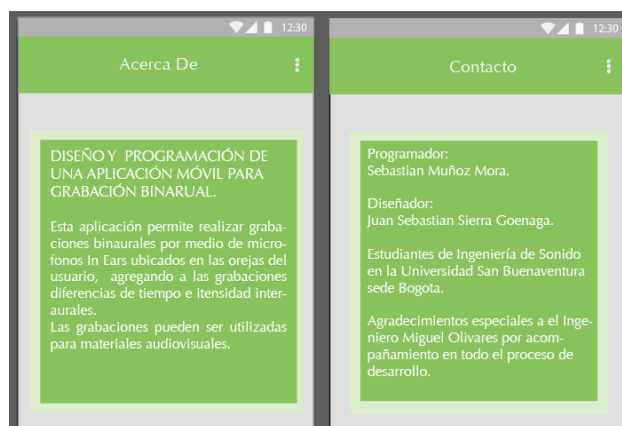


Figura 15. Actividades de información sobre la aplicación

PROGRAMACIÓN EN SOFTWARE DE DESARROLLO PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

Se programaron los diseños planteados en los casos de uso en el software de desarrollo integrado (IDE Integrated Developer Environment) Android Studio, los diagramas de componentes y de secuencia de la aplicación se encuentran en el Apéndice C.

Grabación de audio

Como parte esencial del proyecto, se describirá a continuación el proceso de grabación de la aplicación. Se busca que las grabaciones queden con características como frecuencia de muestreo profundidad en bits y número de canales apropiados.

Una frecuencia de muestreo de 44100 Hz permite capturar frecuencias hasta de 20 kHz cubriendo todo el rango de frecuencias que una persona puede escuchar; una profundidad en bits de 16 permite que las muestras se puedan separar considerablemente de acuerdo a su amplitud dándole un rango dinámico considerable a las grabaciones; finalmente la grabación a dos canales, permite capturar las señales provenientes de los dos micrófonos, en un sólo archivo.

Por lo tanto las grabaciones en la aplicación se graban en formato LPCM de 44.100 Hz a 16 bits estéreo.

El formato WAV, permite reunir las propiedades anteriormente descritas por lo tanto se procede a realizar grabaciones de audio en dicho formato.

Grabación en formato WAV

Es un encabezado que se le coloca a las muestras de audio guardadas en LPCM. Se implementará el de 44 bytes y para las muestras se implementa el tipo de variable “short”, que sencillamente guarda en dos bytes (16 bits), cada muestra.

También es importante tener en cuenta el orden en que se deben escribir los bytes ya sean “Little endian” o “Big endian”, de acuerdo a lo que diga el formato y el tipo de variable implementada

El encabezado se escribe en un arreglo de bytes que se describe en la Tabla 2:

Tabla2.Encabezado WAV.

Bytes	Endianess y tipo de variable	Descripción
Bytes [1-4]	Big endian	Caracteres “R”, “I”, “F”, “F” respectivamente para cada byte.
Bytes [5-8]	Little endian, int	Tamaño de todo el archivo descrito por la Ecuación 3
Bytes [9-12]	Big endian	Caracteres: “W”, “A”, “V”, “E”, respectivamente para cada byte.
Bytes [13 -16]	Big endian	Caracteres: “I”, “m”, “t”, “ ”, respectivamente para cada byte
Bytes [17-20]	Little endian, int	Número 16 para formato PCM.
Bytes [21 , 22]	Little endian, short	Número 1 para formato PCM.
Bytes [23 , 24]	Little endian, short	Número de canales: dos (2).
Bytes [25 - 28]	Little endian, int	Frecuencia de muestreo de 44100 Hz
Bytes [29 – 32]	Little endian, int	Razón de bytes, descrita por la Ecuación 4
Bytes [33 , 34]	Little endian, short	El número de bytes que ocupa cada muestra de audio denominada “Block align” descrito por la ecuación 5
Bytes [35 , 36]	Little endian, short	La profundidad en bits, en este caso, 16
Bytes [41 - 44]	Little endian, short	Tamaño total de las muestras en bytes
Bytes [44 - fin]	Little endian, short	Todas las muestras de audio.

Es necesario calcular el tamaño del archivo sumando las muestras y la cantidad de bytes del encabezado.

$$\text{Tamaño Archivo} = 36 + \text{tamaño de muestras}$$

Ecuación 3. Cálculo del tamaño del archivo.(Sound File, 2014)

También se debe calcular la razón de bytes teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo el número de canales y la profundidad en bits.

$$\text{Razón de Bytes} = \frac{\text{Frec. Muestreo} \times \text{Número Canales} \times \text{Profundidad bits}}{8}$$

Ecuación 4. Cálculo de la razón de bytes.(Sound File, 2014)

El “Block Align” se calcula teniendo en cuenta el número de canales y la profundidad en bits; es el número de bytes que utiliza cada muestra para ambos canales, para una muestra de 16 bits estéreo, serían 4 bytes

$$\text{Block Align} = \frac{\text{Num Canales} \times \text{Bits por muestra}}{8}$$

Ecuación 5. Cálculo del "Block Align".(Sound File, 2014)

Para la captura de cada buffer de audio se implementa el Figura 16:

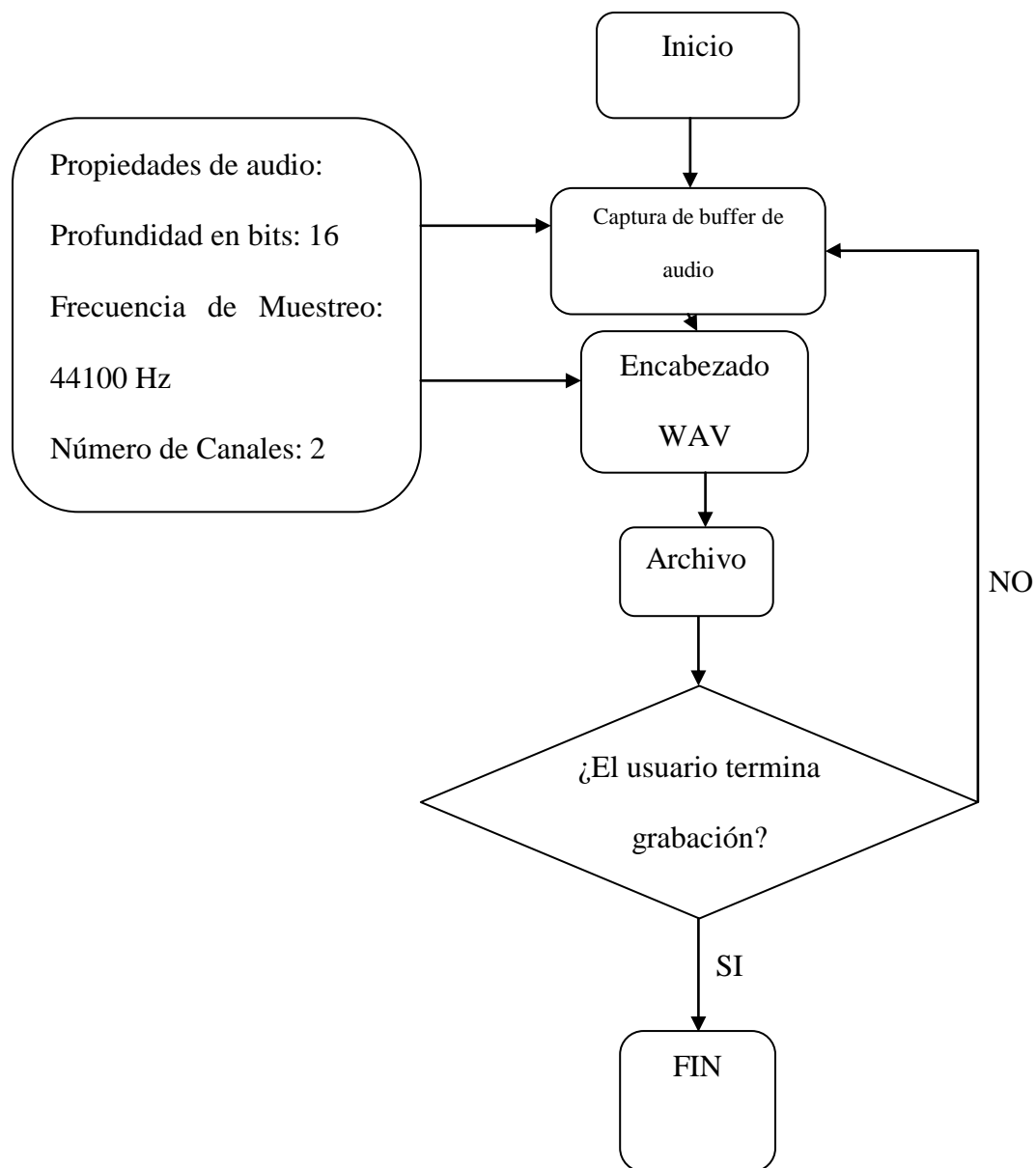


Figura 16. Diagrama de grabación de audio.

El proceso de grabación se logra gracias a la creación e implementación del objeto “WavAudioRecorder” creada e implementada para el manejo del formato WAV y del buffer de audio. Adicionalmente se implementan los objetos propios del lenguaje de programación “AudioRecord” y “RandomAccessWriter”, los cuales permiten la captura del buffer de audio y el

manejo de archivos en la memoria del dispositivo respectivamente. En la Figura 17 se ve la descripción UML de la clase.

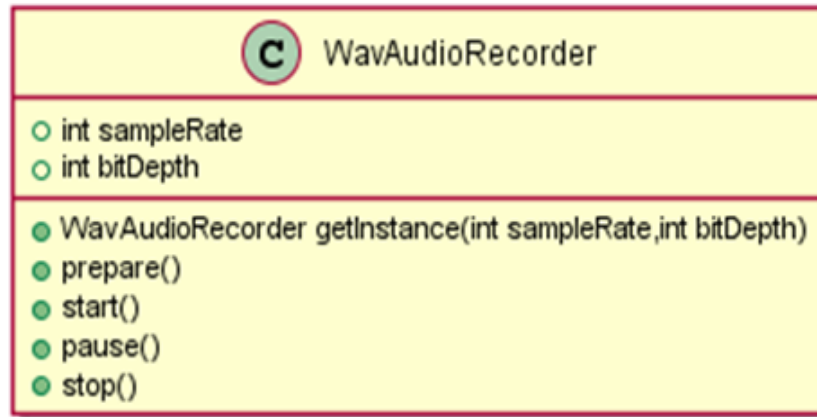


Figura 17. Diagrama de clase para el objeto "WavAudioRecorder".

Representación en tiempo real del audio estéreo durante la grabación

Para que el usuario pueda ver y tener una idea de la cantidad de energía sonora que se captura en cada micrófono, es necesario aplicar dos procesos:

El primero consiste en separar y procesar el buffer de entrada de audio para cada canal, obteniendo el valor cuadrático medio (RMS) aplicando la Ecuación 6:

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2)}$$

Ecuación 6. Cálculo del valor RMS de una señal discreta. (Aolivella, 2010)

Debido a que la variación de valores RMS es muy grande en periodos de tiempo cortos, es necesario aplicar un segundo proceso en donde los valores RMS se transforman a una escala de decibeles "Full Scale", la escala varía desde $-\infty$ hasta 0 siendo 0 el valor máximo posible en el

sistema que depende de la profundidad en bits de la grabación, para 16 bit es de 2^{15} . La Ecuación 7 describe el cambio de escala.

$$\text{dBfs} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Valor cuadrático medio (RMS)}}{2^{15}} \right)$$

Ecuación 7. Cálculo para decibeles full scale. (Aolivella, 2010)

Una vez se tienen los valores dB de cada canal, se procede a implementarlos en el objeto gráfico “LedMeter”. Este objeto cuenta con un medidor para cada canal, cada medidor cuenta con diez rectángulos verticales siendo el inferior la representación de niveles bajos y el superior el máximo valor adquirido en 16 bits.

El objeto está descrito de acuerdo al siguiente diagrama de clase UML que se puede ver en la Figura 18.

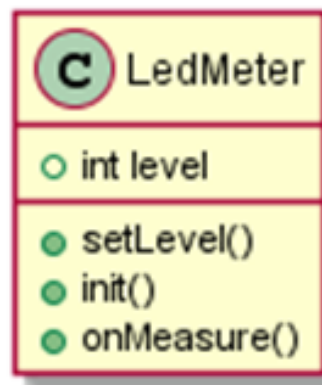


Figura 18. Diagrama de clase para el objeto "LedMeter".

El funcionamiento de la representación de audio se puede ver en la Figura 19:

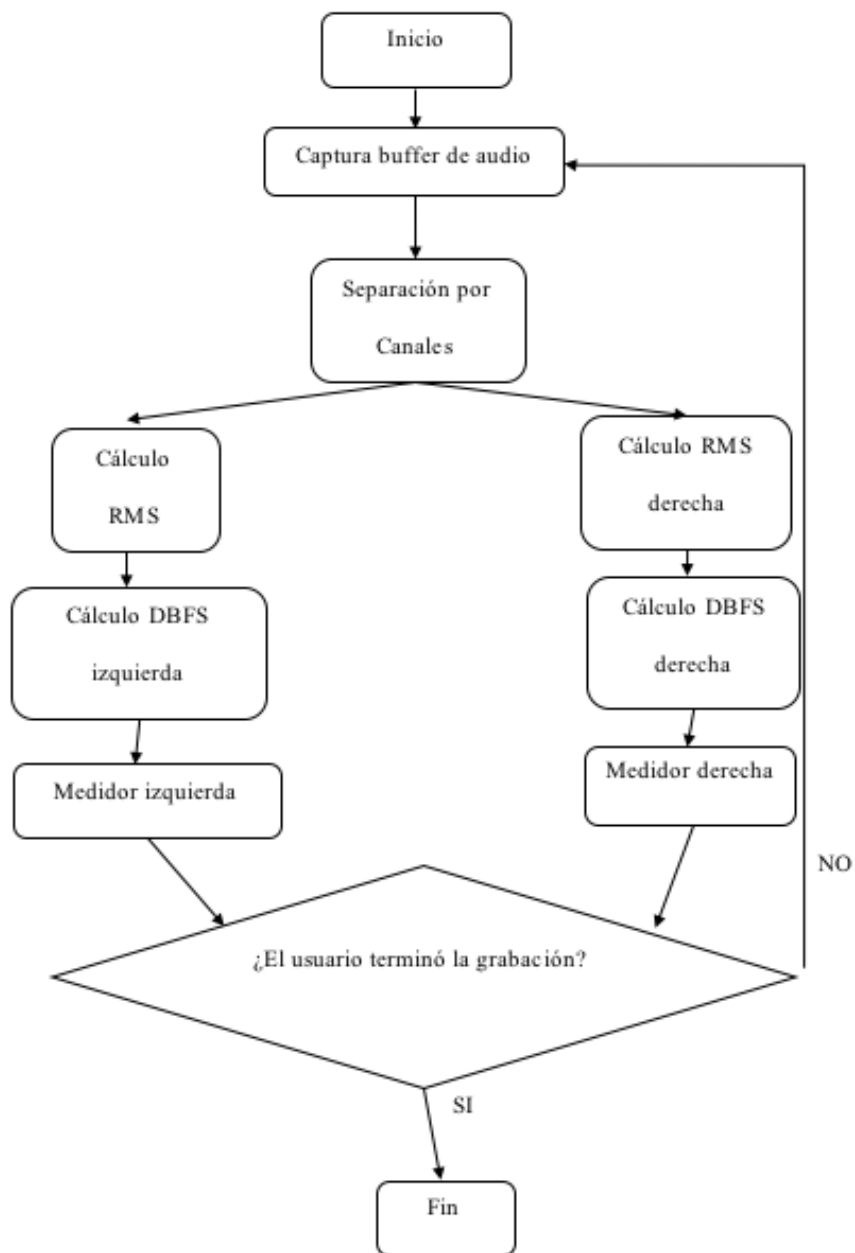


Figura 19. Diagrama de representación de una señal estéreo.

Organización de archivos de audio en la memoria del dispositivo móvil

Para que el usuario pueda clasificar las grabaciones que realiza con la aplicación, es importante que se haga una clasificación por carpetas de archivos de la siguiente forma:

En primer lugar, se crea una carpeta llamada “BinaRecordings”, en esta carpeta se guardan todos los proyectos que cree el usuario. En segundo lugar, en la “Actividad de proyecto”, se crean subcarpetas denominadas “Proyectos” y por último, en cada una de las subcarpetas se guardarán los archivos de audio.

Esta configuración de carpetas se puede ver en la Figura 20:

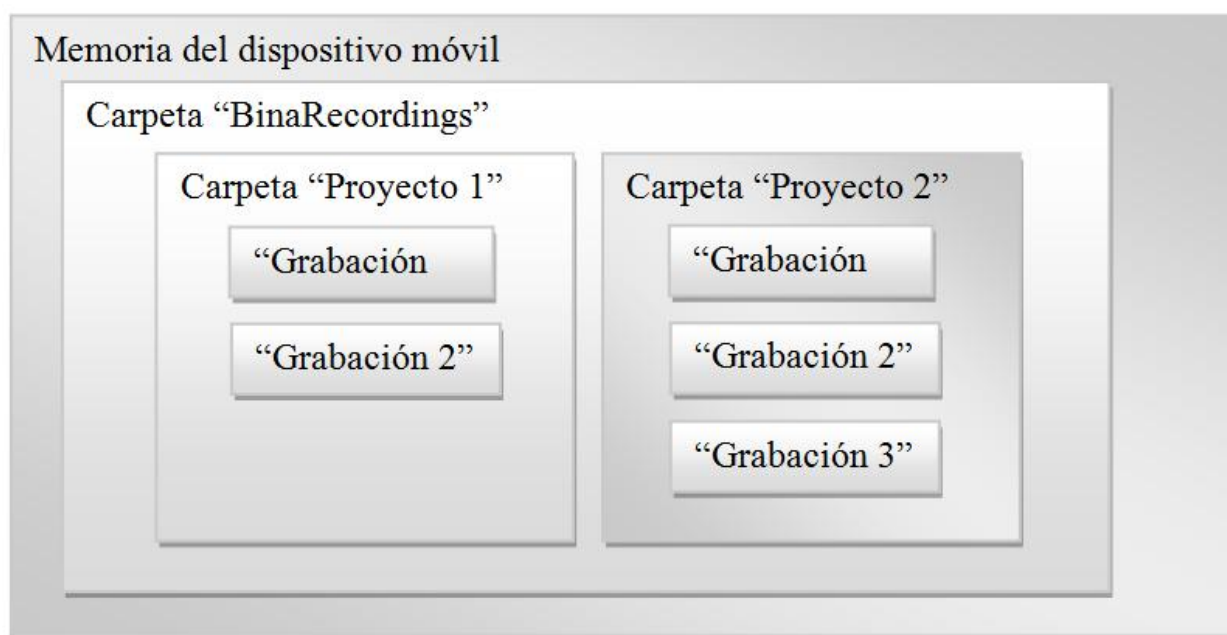


Figura 20. Organización de archivos en la memoria del dispositivo móvil

la base de la organización, es la clasificación que se hace por carpetas de cada proyecto, por ello se creó la “Actividad de Proyecto”. El diagrama de clase se muestra en la Figura 21:

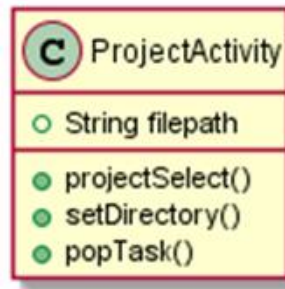


Figura 21. Diagrama de clase para el objeto "Project Activity".

En pocas palabras, la actividad permite la escritura de carpeta de proyecto con el nombre ingresado por el usuario o la selección de una carpeta ya creada.

Reproducción de las grabaciones

Para que el usuario pueda escuchar las grabaciones que hizo en la “Pestaña de grabadora” debe ingresar a la “Pestaña de reproducción”, en esta pestaña puede elegir cuál grabación desea escuchar.

Cada uno de los audios fue listado por el objeto de interfaz gráfica “ListView” y fue necesario realizar la lectura del encabezado WAV previamente generado para poder mostrar los datos como tiempo total de grabación, frecuencia de muestreo y profundidad en bits.

Para la reproducción de audio se implementó el objeto “MediaPlayer”, propio del lenguaje de programación de Android cuyo funcionamiento lo muestra el desarrollador en la Figura 22.

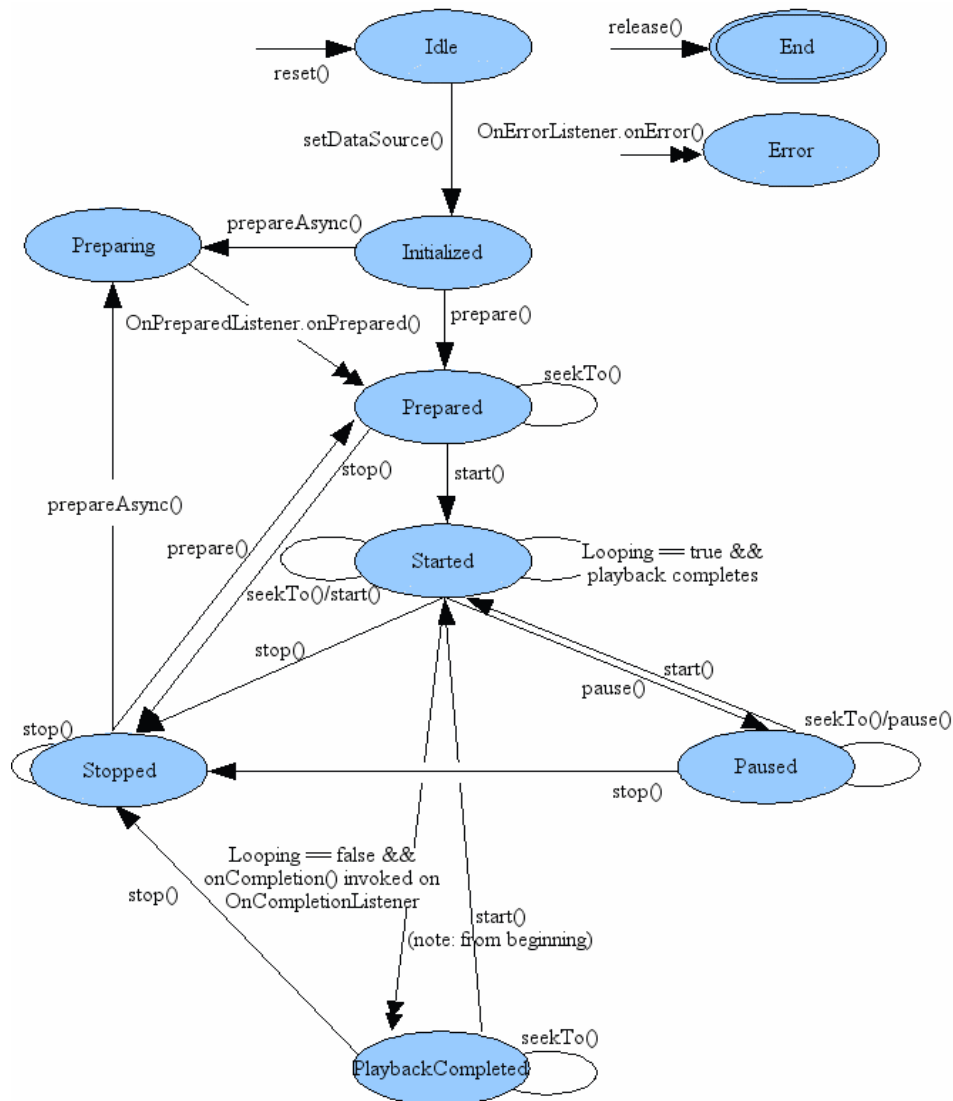


Figura 22. Máquina de estados del objeto "MediaPlayer" (Android Developer, 2016)

Dicho diagrama, se implementó en otro objeto creado con el nombre de "MPlayer" y en términos generales, maneja los diferentes métodos y estados el objeto "Media Player". El diagrama de clase "MPlayer" se puede ver en la Figura 23.

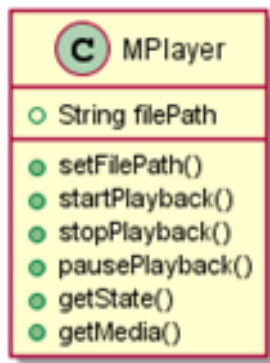


Figura 23. Diagrama de clase del objeto "MPlayer".

Cambios de configuración para la grabación de audio

Para que el usuario pueda cambiar la frecuencia de muestreo es necesario crear e implementar la denominada "Actividad de configuración" el funcionamiento es muy básico; sencillamente permite al usuario elegir una frecuencia de muestreo de 44100 Hz o de 48000 Hz.

El diagrama de clase se describe de la Figura 24.

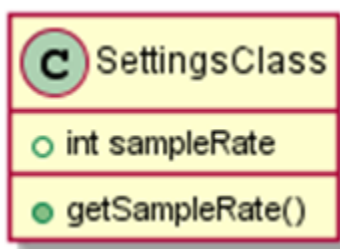


Figura 24. Diagrama de clase del objeto "SettingsClass".

Convolución de señales de audio, con respuesta al impulso

Adicionalmente se agrega una actividad que permita obtener audios binaurales implementando solamente el micrófono integrado del dispositivo. Para ello, es necesario implementar un

procesamiento de convolución entre la señal de audio del micrófono integrado y la respuesta al impulso correspondiente a la posición deseada.

Inicialmente se obtiene una base de datos de funciones de transferencia de una cabeza binaural, posteriormente se extraen las muestras de cada canal de la respuesta al impulso y por último se genera un archivo con los datos que se obtienen de la convolución.

Debido a que el lenguaje de programación no tiene un objeto que permita la convolución de señales fue necesario crear y aplicar un algoritmo basado en un método de convolución de señales discretas.

Se hicieron pruebas con audios de 2 segundos grabados a una frecuencia de muestreo de 44100 Hz y profundidad en bits de 16, el algoritmo de convolución tomo alrededor de 6 minutos en completar el proceso. Posteriormente se hicieron pruebas con audios de 1 segundo grabados a una frecuencia de muestreo de 8 kHz y el procesamiento toma alrededor de un segundo; debido a los tiempos tan largos de procesamiento es difícil implementar el algoritmo de convolución y esto no lo hace práctico.

PRUEBA DE USABILIDAD

La prueba de usabilidad de la aplicación tiene como objetivo analizar la interacción “usuario-aplicación” para corregir errores y mejorar la navegación en la misma.

Descripción de la prueba

Se llevó a cabo mediante la observación a los usuarios tomando nota de sus comentarios buenos y negativos con respecto a la aplicación, se comprobó si a los usuarios les resultó fácil la navegación y usabilidad; y si la aplicación cumple con la finalidad a la cual fue diseñada. Los usuarios realizan una retroalimentación de forma tal que sea posible corregir y mejorar aspectos de diseño e interacción.

Es importante anotar que una prueba de usabilidad no es un control de calidad que se lleva a cabo al finalizar el proceso, en el diseño de aplicaciones se debe realizar un constante control y evaluación de la misma a medida que se van agregando detalles y actualizaciones. (Armengol, 2016)

Muestra

La prueba fue realizada a 20 personas al azar posterior a la realización de la prueba de espacialidad. Estas personas en su totalidad son usuarios del sistema operativo Android. El tipo de test que se realizó es al que se le conoce como “Test Guerrilla”; este consiste en reunir a una determinada cantidad de usuarios para probar la aplicación, con el objetivo principal de ver cómo se comportan y obtener información que permita corregir errores. (Chisnell, 2016).

Preparación

Se estableció que la aplicación sería evaluada en su totalidad y se dieron las pautas para esta evaluación estableciendo tareas fijas que el usuario realizo en un orden específico dentro de la aplicación. Las tareas en su orden fueron:

- Buscar la aplicación dentro del celular.
- Realizar una grabación (sin los micrófonos in ears).
- Escuchar la grabación.
- Ingresar a la ventana configuración.

Las pruebas se hicieron en el Live Room del estudio 5.1 de la Universidad San Buenaventura, Sede Bogotá; este espacio cuenta con una iluminación adecuada y con aislamiento acústico de ruidos exteriores ofreciendo un espacio de tranquilidad y sin distracciones para el participante.

La aplicación fue montada en un celular con sistema operativo Android con una pantalla de 720 x 1280 pixeles, de 5.5 pulgadas, el tamaño de la pantalla se muestra en la Figura 25:



Figura 25. Pantalla del celular Huawei G7.

Aplicación de la prueba

Se le indicó a cada uno de los usuarios el nombre de la aplicación (3D Sound) y cuál es la utilidad de la misma. Se le explicó en qué consistía la prueba y cuanto tiempo duraría (en promedio 2 minutos), también se le invito a que expresara en voz alta como se sentía a medida que realizaba las tareas que se le habían asignado. Se le pidió que no se sintiera en una prueba contra reloj y que por el contrario, utilizara la aplicación de manera natural y libre.

A pesar que el usuario solo realizaría 4 tareas específicas se midieron 7 aspectos de tiempo dentro de la aplicación; estos fueron:

1. Buscar la aplicación.
2. Tiempo en que se tardo la aplicación desde el inicio hasta la ventana proyecto.
3. Tiempo en ingresar a la ventana “Record Activity”.
4. Realizar una grabación.
5. Tiempo de la grabación.
6. Escuchar una grabación.
7. Ingresar a la ventana configuración.

Durante el desarrollo de la prueba se recomienda que el modelador no intervenga en lo absoluto ayudando a el usuario en alguna tarea específica; el modelador esta allí solo para observar y hacer anotaciones. Al finalizar la prueba se dio una pequeña recompensa en agradecimiento por los aportes haciendo sentir al usuario que sus ideas serian tenidos en cuenta.

Resultados

Al finalizar las pruebas con los usuarios estos fueron los comentarios de acuerdo con cada una de las tareas que realizaron:

- **Buscar la aplicación:** en general todos los usuarios encontraron con facilidad el ícono de la aplicación, reconociendo en la imagen y en el tamaño de letra el nombre de la aplicación.



Figura 26: Pantalla principal con el ícono. Aplicación “3D Sound”.

- **Realizar una grabación (sin los micrófonos in ears):** casi todos los usuarios tuvieron problemas en la “Actividad Proyecto” ya que al abrir el teclado para ingresar el nombre del nuevo proyecto este no desaparece con sólo oprimir en el fondo blanco de la aplicación u oprimiendo la tecla “Enter” si no que es necesario oprimir el botón inferior izquierdo del celular para ocultar el teclado.

Otros usuarios también manifestaron que el nombre del botón “Seleccionar Proyecto” podría cambiarse a “Abrir Proyecto” ya que la palabra seleccionar tiende a confundirlos con la opción “Ok” que es opacado por la interfaz del teclado.

La ventana del “Record Activity” fue la que más inconveniente tuvo para los usuarios; el 90% de ellos no se dio cuenta que para realizar una grabación es necesario asignar un nombre al archivo que se va a grabar; el 80% no se percató que el texto que aparece en dicha casilla es informativo.

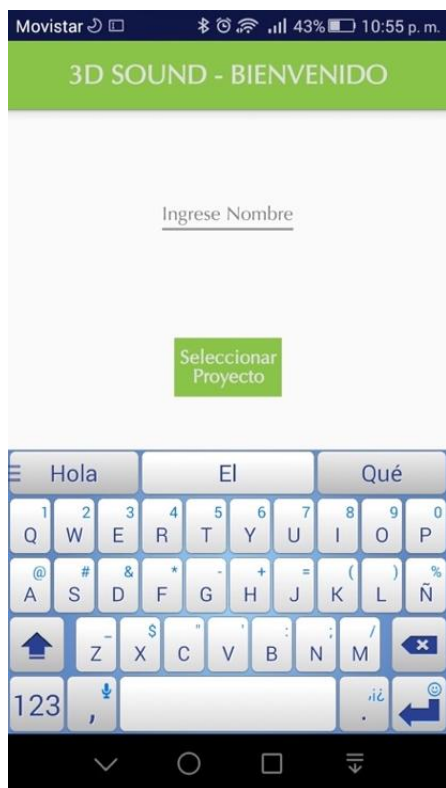


Figura 27. Ventana Proyecto. Aplicación “3D Sound”.



Figura28. Ventana Record Activity. Aplicación "3D Sound".

- El 50% de los usuarios confundieron la pestaña "Grabar" pensando que era un botón y no un título de pestaña.
 - El ícono de "Grabar" no fue claro para el 30% de los usuarios.
 - El ícono de "Guardar" el archivo no fue claro para el 20% de los usuarios.
- **Escuchar una grabación:** la pestaña "Biblioteca" fue entendida perfectamente por todos los usuarios; solamente uno de ellos quiso borrar una de las grabaciones que había realizado; esto mostro una deficiencia de diseño en el aplicación que no había sido contemplada con anterioridad.



Figura 29. Ventana record activity en la pestaña biblioteca aplicación “3D Sound”.

- **Ingresar a la ventana configuración.**
Ningún usuario tuvo problema con esta tarea.



Figura 30. Ventana Record Activity con el menú desplegado. Aplicación “3D Sound”.

El análisis anteriormente expuesto trata acerca de la interacción de los usuarios con la aplicación realizando 4 tareas específicas nombradas con anterioridad; a continuación se exponen los tiempos promediados en segundos para los 7 aspectos internos de medición.

Tabla 3. Tiempos promedios de tareas.

Actividad	Tiempo [s]
Buscar aplicación	9,5
Ventana proyecto	7,6
Record activity	21,0
Grabación	20,0
Tiempo de la grabación	5,2
Escuchar grabación	4,5
Ventana configuración	2,5
Total	70,3

Análisis de Resultados

- El tamaño de la letra no fue un inconveniente para ninguno de los usuarios, se recomienda un mayor contraste en algunos de los fondos de la aplicación.
- Es necesario añadir otras alternativas para ocultar el teclado de una manera más rápida y sencilla. La ubicación de información esencial como botones y texto no debe ser obstaculizada por el teclado u otros elementos visuales de la aplicación.
- Se recomienda tener una ventana de primera ayuda para mejorar la experiencia inicial del usuario; algunas aplicaciones tienen un tutorial sencillo de 4 pasos para aprender a interactuar con la aplicación.
- Los íconos esenciales como los botones de grabar y guardar las aplicaciones deben ser estándar; se recomienda utilizar el color rojo para el ícono del botón de grabación.
- Algunos nombres de pestañas y botones deben ser más claros y concisos en cuanto a su función dentro de la aplicación.
- En la pestaña “Biblioteca” en donde se encuentran las grabaciones hechas es importante implementar las funciones de eliminar archivo y compartir.
- En la opción de “Menú” es necesario informar al usuario la ubicación y nombres de las carpetas en la memoria interna del celular.

SELECCIÓN DE LOS MICRÓFONOS BINAURALES IN-EARS

La primera opción fue adquirir los micrófonos del fabricante “Roland” de referencia: “CS10-EM” que actualmente tienen un costo de 101.99 dólares (alrededor de 300.000 pesos colombianos sin importación) en la plataforma de ventas en línea Amazon, dicho precio es muy alto por lo tanto se buscaron micrófonos más baratos.

Los micrófonos que se importaron e implementaron fueron los “SB205W” del fabricante “Andrea Electronics” que actualmente tienen un valor de 12.99 dólares y fueron importados por un valor de 48.000 pesos colombianos, adicionalmente en la caja de compra viene incluida una interfaz de audio USB.

El fabricante proporciona una hoja de datos poco detallada de los micrófonos que se encuentra en el Anexo A sin embargo cómo parte importante del proyecto, se midieron las características más importantes de los micrófonos.

Descripción general de los micrófonos

Son dos piezas que se colocan en los oídos, cada una cuenta con un micrófono electret, un audífono y el respectivo cable acoplado al conector TRS de 1/8 de micrófono y audífono.

Implementación de los micrófonos binaurales SB205W

Una vez diseñada y programada la aplicación se procede con la implementación de los micrófonos binaurales in-ears, que son los que le darán el efecto tridimensional a las grabaciones.

EVALUACIÓN DE LAS GRABACIONES HECHAS CON LA APLICACIÓN Y LOS MICRÓFONOS BINAURALES

Para resolver el segundo objetivo específico “Evaluar la calidad de las grabaciones hechas con la aplicación usando los micrófonos binaurales in-ears.”, se realizaron diferentes pruebas y procedimientos para caracterizar los micrófonos, que dan una idea de cómo deberían quedar las grabaciones. Se evaluaron diferentes parámetros como la sensibilidad y respuesta en frecuencia. Por otro lado se hicieron mediciones y gráficas del patrón polar del arreglo acoplado a una persona, de ambos micrófonos donde se podrán apreciar las diferencias de intensidad en cada uno.

Medición de sensibilidad micrófonos

Se tienen en cuenta tres factores: el voltaje de alimentación de los micrófonos, el nivel de presión sonora de referencia y por último el voltaje de salida del micrófono.

Equipos implementados:

- Pistófono Svantek.
- Cabina JBL Eon 15 pulgadas.
- Micrófonos binaurales in-ears SB205W.
- Multímetro.
- Osciloscopio.
- Fuente DC.
- Dispositivo móvil Motorola XT 1032 Moto G.
- Cable OTG.
- Interfaz de audio USB Andrea Electronics CA072.
- Cable TRS 1/8.
- Decibelímetro Lutron SL 4010.

Procedimiento de medición

Medición del voltaje de alimentación de la interfaz

1. Se conecta la interfaz USB al dispositivo móvil por medio del cable OTG.
2. Se conecta el cable TRS de 1/8 a la entrada de micrófono de la interfaz y se mide con el multímetro el voltaje dc entre el “Tip” y “Sleeve” y entre el “Ring” y “Sleeve.”

Calibración del nivel de presión sonora de referencia

Se implementaron dos equipos como fuentes de presión sonora, un pistófono y una cabina.

Con el pistófono:

1. Se configura el pistófono a 94 dB de presión sonora y a una frecuencia de 1 kHz.
2. Se acopla el decibelímetro en el pistófono y se mide que efectivamente el nivel de presión sonora es de 94 dB.

Con la cabina:

1. Se reproduce por la cabina un tono de 1kHz.
2. Se coloca el decibelímetro a un metro de distancia de la cabina.
3. El volumen de la cabina se gradúa hasta que el decibelímetro marque un valor de 94 dB.

Medición de la sensibilidad de los micrófonos

En la Figura 31 se muestra la manera en que se realizó la medición.

Con el pistófono:

1. Se alimentan los micrófonos con 1.5 voltios dc (el mismo voltaje de alimentación de la interfaz de audio).
2. La salida de los micrófonos (conector TRS 1/8) se conecta a la entrada del osciloscopio.
3. El micrófono se acopla dentro del pistófono y se reproduce un tono de 1 kHz a 94 dB.
4. En el osciloscopio se mide el voltaje RMS de entrada para cada micrófono.

Con la cabina:

1. Los pasos 1 y 2 de la medición con pistófono se repiten.
2. Los micrófonos se colocan a una distancia de 1 metro de la cabina.
3. La cabina reproduce un tono de 1 kHz a 94 dB.
4. Se mide el voltaje RMS en el osciloscopio para cada micrófono.

Resultados de la medición de sensibilidad

En la Tabla 4 se agrupan los resultados de ambas mediciones, en la segunda columna se muestran los resultados de ambos micrófonos de la medición que se hizo con pistófono y en la tercera se muestran los resultados de la medición con cabina.

Tabla 4. Resultados de medición de sensibilidad.

	Medición con pistófono [mv]	Medición con cabina a 1 metro [mv]
Micrófono izquierdo	9.3	9.9
Micrófono derecho	10	9.5

Análisis de resultados de la medición de sensibilidad

- El acople entre los micrófonos y el pistófono no era el más adecuado, ya que la forma de ambos no es compatible, además que el cable del transductor no permitía introducir el micrófono totalmente dentro del pistófono.
- Debido al acople inapropiado entre el pistófono y el micrófono, los resultados durante la medición fluctuaban por ruidos ocasionados por el movimiento del micrófono dentro del pistófono; por lo tanto los resultados más confiables son los de la medición con cabina.
- Hay una diferencia de 0.4 mili voltios entre ambos micrófonos en la medición por cabina, quiere decir que las grabaciones que se hagan con el micrófono derecho, quedarán ligeramente más suaves que las que se hagan con el micrófono izquierdo, como la diferencia no supera 1 mili voltio no se considera de mayor importancia.



Figura 31. Medición de sensibilidad micrófonos con pistófono.

Medición de la respuesta en frecuencia de los micrófonos binaurales in-ears y de la cabeza binaural

Se hace la medición de la cabeza binaural y de los micrófonos in ears para tener una referencia y poder comprar un sistema respecto al otro.

Primero se grabó con la cabeza binaural y con los micrófonos binaurales una señal de referencia (ruido rosa), posteriormente se procesan para ver el espectro en frecuencia y por último los datos se registran en gráficas para su análisis.

Procedimiento de captura de la señal de referencia

Se implementaron los siguientes equipos:

- Cabina JBL EON 15.
- Dispositivo móvil con la aplicación “3D Sound instalada”
- Micrófonos binaurales SB2015W.

} Sistema móvil
de grabación
binaural

- Interfaz USB Andrea Electronics CA072.
- Cabeza binaural Cortex 01dB.
- Decibelímetro.

Se reprodujo ruido rosa por la cabina a 80 dB SPL (40 dB por encima del ruido de fondo), en el liveroom del estudio 5.1 en la Universidad de San Buenaventura y se grabó un segundo del ruido rosa implementando primero la cabeza binaural y luego el sistema móvil de grabación binaural.

Procesamiento de las grabaciones

A continuación se listan los pasos de procesamiento tanto para la cabeza binaural como para el sistema móvil de grabación binaural:

1. Lectura de archivos WAV generados por la aplicación “3D Sound” en el software MATLAB.
2. Se aplica la transformada de Fourier a cada canal y se registra la magnitud en las bandas de octava: 31.5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8kHz y 16 kHz.
3. La magnitud de 1 kHz se referencia como 0 dB y con base en esta magnitud, se escalan las otras cantidades a decibeles relativos aplicando la Ecuación 8:

$$dB \text{ relativo} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{x \text{ magnitud}}{\text{magnitud a 1 kHz}} \right)$$

Ecuación 8. Cálculo de decibeles relativos a la magnitud de 1 kHz.

4. Por último cada decibel se representa en frecuencia para los micrófonos in-ears y para la cabeza binaural en las Figuras 32 y 33, donde la línea con el círculo y la “x” corresponde al micrófono izquierdo y la línea con el círculo blanco, al micrófono derecho.

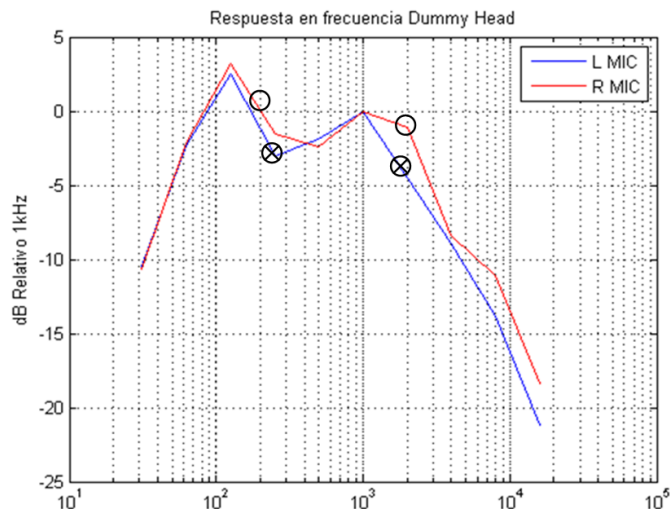


Figura 32. Respuesta en frecuencia cabeza binaural.

Análisis de resultados de la medición de respuesta en frecuencia de la cabeza binaural

- En el micrófono derecho de la Figura 32 se aprecia que es ligeramente más sensible que el micrófono izquierdo.
- Para ambos micrófonos se puede ver que alrededor de 250 Hz hay una caída de 4 dB
- En todo el rango de frecuencias se puede ver la caída de nivel que tiene el ruido rosa. Para hacer una medición más exacta se debe implementar ruido blanco.

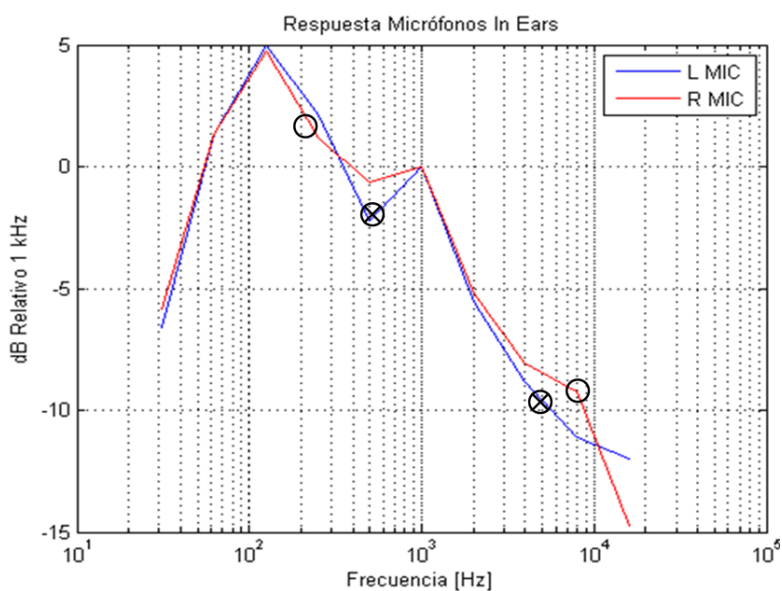


Figura 33. Respuesta en frecuencia micrófonos in ears.

Análisis de resultados de la medición de respuesta en frecuencia de los micrófonos in ears

- Se aprecia que para ambos micrófonos alrededor de la frecuencia de 125 Hz hay un pico fuertemente pronunciado, 2 dB más que la cabeza binaural.
- Por otro lado ambas gráficas están más cercanas entre sí lo que quiere decir que para efectos de capturar diferencias de intensidad se comportan mejor que la cabeza binaural.
- En el micrófono izquierdo, se ve que se separa 2 dB respecto al micrófono derecho.
- Al igual que la medición de respuesta en frecuencia de la cabeza binaural, se aprecia la caída de energía que presenta el ruido rosa, por lo tanto es mejor hacer la medición con ruido blanco.

A continuación se muestran las Figuras 34 y 35 de la señal original, respecto a la señal capturada con los micrófonos:

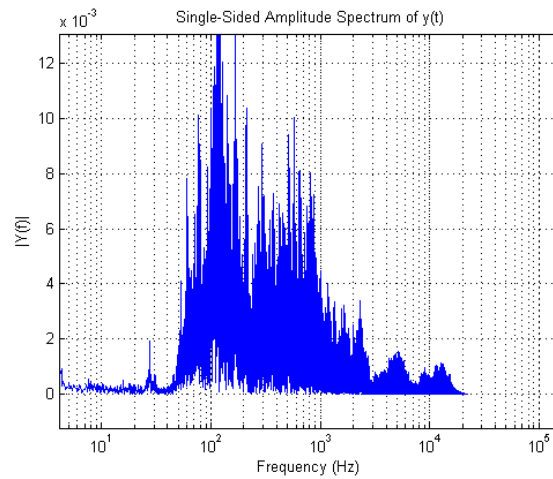


Figura 34. Ruido rosa micrófonos in ears canal izquierdo.

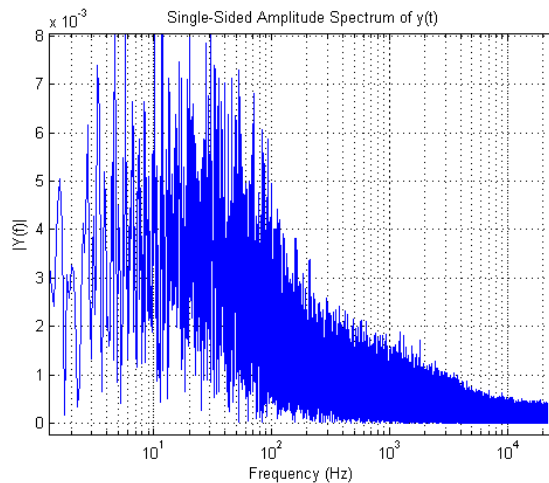


Figura 35. Ruido rosa original.

Análisis del espectro en frecuencia de la señal original y de la señal capturada

- Alrededor de 4 kHz y de 8 kHz se aprecia que el espectro en frecuencia de los micrófonos in ears tienen una caída en su magnitud considerable, prácticamente la mitad de energía que hay en la señal original.
- En baja frecuencia se aprecia que no hay energía hasta llegar a los 60 Hz y en alta frecuencia, después de los 16 kHz existe una fuerte caída de energía, por lo tanto se puede decir que el rango de frecuencias útil de los micrófonos es [60 Hz-16kHz].

Medición del patrón polar de los micrófonos in ears y de la cabeza binaural

Se define un sistema de coordenadas en tres dimensiones donde se evalúan 26 posiciones, ubicadas esféricamente alrededor de cada sistema de grabación binaural, dadas de la siguiente forma:

- 8 posiciones a 1 metro de distancia, separadas un ángulo de 45° entre sí, horizontalmente alrededor del sistema de grabación.
- 8 posiciones a 1 metro de distancia, separadas un ángulo de 45° entre sí, ubicadas horizontalmente 45° por debajo del sistema de grabación.
- 8 posiciones ubicadas horizontalmente 45° por encima del sistema de grabación.
- 2 posiciones a 1 metro de distancia a un ángulo de 90° por encima y 90° por debajo del sistema de grabación.

Equipos implementados:

- Cabina JBL EON 15.
- Dispositivo móvil con la aplicación “3D Sound” instalada.
- Micrófonos in ears SB205W.
- Cabeza binaural Cortex 01dB.
- Decibelímetro Lutron SL4010.
- Computador con software de grabación.

Las mediciones se hicieron en el “live room” del estudio 5.1 de la Universidad de San Buenaventura, es un espacio diseñado para la grabación de música, doblaje y Foley. Cuenta con aislamiento y acondicionamiento acústico. La Figura 36 muestra a una persona utilizando los micrófonos in ears junto con la cabina durante la medición.



Figura 36. Grabación con el sistema móvil de grabación binaural.

Procesamiento de las capturas para obtener el patrón polar

A las grabaciones hechas con ambos sistemas de grabación se les aplicó el siguiente procesamiento:

1. Lectura de archivos WAV en el software Matlab generados por el sistema móvil de grabación binaural y por la cabeza binaural.
2. Transformada de Fourier para cada canal y recolección de magnitudes para las bandas de octava: 31.5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8kHz y 16 kHz.
3. Escalamiento a decibeles relativos a las grabaciones hechas a 0° del sistema por banda de octava.
4. Generación de gráficas de patrón polar para todas las bandas de octava por sistema de grabación con separación por canales izquierdo y derecho.

Resultados de la medición de patrón polar de los sistemas de grabación binaural.

Debido a que sólo se requiere un análisis en baja y alta frecuencia, se muestran las gráficas de 63 Hz y 16 kHz, las otras gráficas de patrón polar se pueden observar en el Apéndice A. La flecha en la Figura 37 y 38 indica la dirección a la que apunta el sistema de grabación binaural, la línea con el círculo “x” corresponde al micrófono izquierdo y la línea con el círculo blanco al micrófono derecho.

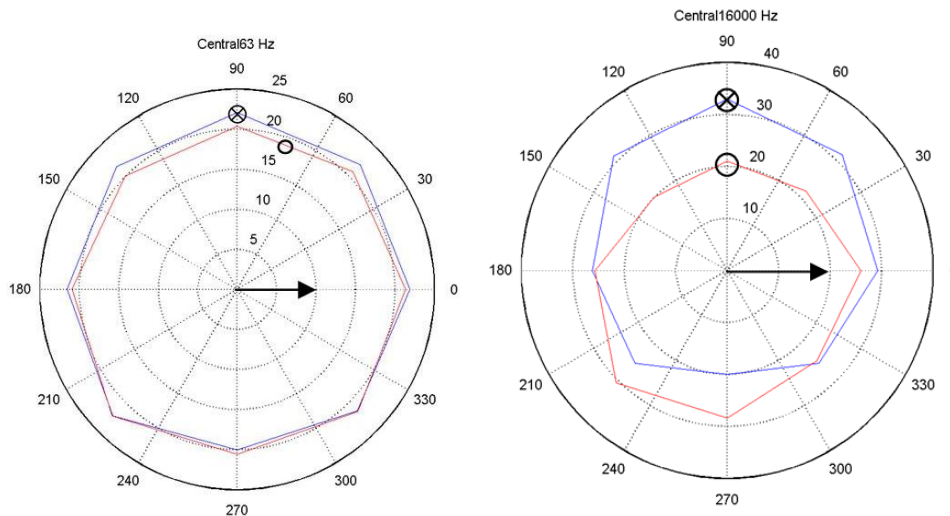


Figura 37. Patrón polar de los micrófonos binaurales in ears en 63 Hz y 16 kHz

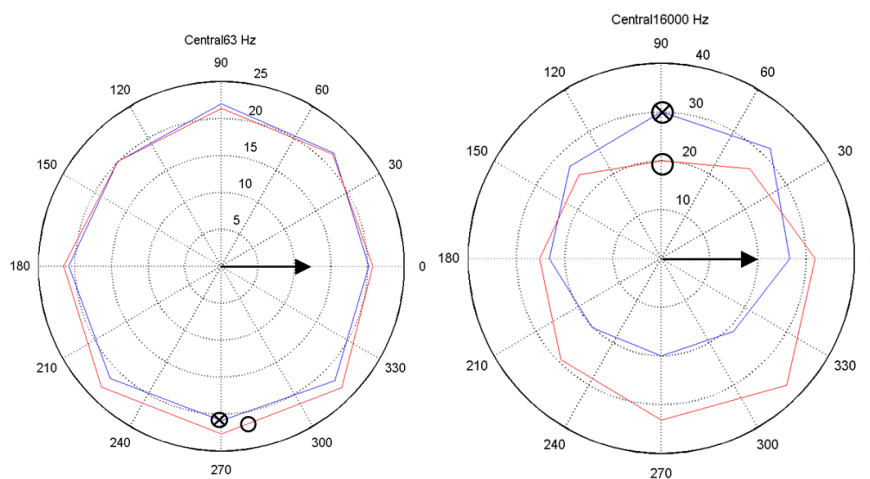


Figura 38. Patrón polar de la cabeza binaural en 63 Hz y 16 kHz

Análisis de resultados de la medición del patrón polar de los sistemas de grabación

binaural

- En la Figura 37 y Figura 38 para el patrón polar de 63 Hz de los micrófonos in ears y de la cabeza binaural, se aprecia que el micrófono izquierdo y el micrófono derecho presentan un patrón omnidireccional muy cercanos entre sí.
- En la Figura 37 y Figura 38 de 16 kHz de los micrófonos in ears y de la cabeza binaural, se aprecia que a 270°, en el canal izquierdo hay una disminución de 10 dB aproximadamente respecto al canal derecho.
- En la Figura 37 y Figura 38 de 16 kHz de los micrófonos in ears y de la cabeza binaural, se aprecia que a 90°, en el canal derecho hay una disminución de 10 dB aproximadamente respecto al canal izquierdo.

- En alta frecuencia se evidencia que para ambos sistemas se presentan diferencias de niveles, mientras que en baja frecuencia, el patrón se mantiene prácticamente omnidireccional.

EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE LAS GRABACIONES BINAURALES

Con el ánimo de responder al tercer objetivo específico: “Evaluar en una población la percepción subjetiva del efecto tridimensional al que se aproximan las grabaciones” se creó, preparó y aplicó, una prueba denominada “Prueba de localización tridimensional de sonidos de alta, media y baja frecuencia”.

La prueba busca evaluar las grabaciones hechas con dos sistemas de grabación binaural: la cabeza binaural y el sistema móvil de grabación binaural.

Para evaluar rigurosamente el “efecto tridimensional” que tienen las grabaciones, es necesario tener en cuenta dos propiedades del sonido: la “espacialidad” o “localización” de los sonidos respecto al oyente y la frecuencia de cada audio.

La prueba tiene como objetivo diferenciar la localización aparente que percibe el participante, con la localización real de cada audio.

Preparación de la prueba:

1. Se definen las posiciones de audios en un sistema de coordenadas tridimensional.
2. Se definen qué audios se deben implementar para crear un banco de audios grabados con el sistema móvil de grabación binaural (micrófonos in ears y celular con la aplicación) y otro con la cabeza binaural.
3. Se fabrica un instrumento de medición de distancia interaural para las orejas del participante.
4. Se elabora una herramienta en el software matemático “Matlab”(Mathworks, 2016) que permite la reproducción de los diferentes audios y da la opción al participante de escuchar con audífonos e indicar en qué posición aparentemente escuchó los sonidos.

Definición de las posiciones en tres dimensiones de los audios

Es necesario que los audios estén posicionados en los tres planos dimensionales (transversal u horizontal, frontal y sagital) relativos a la anatomía humana, por lo tanto, siendo la cabeza de la

persona el punto central en un plano cartesiano tridimensional, las posiciones de los audios estarán distribuidas en forma esférica (equidistante) alrededor del oyente. La Figura 39 nos muestra estos tres planos de los que se ha hablado.

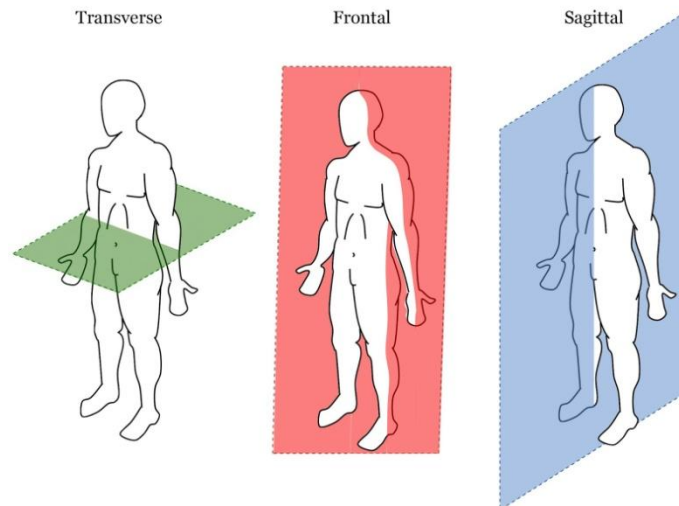


Figura 39. Plano transversal, frontal y sagital. (Fundamentos De Anatomía, 2015)

Para combinar todos los planos al menos una vez, las posiciones están a un metro del oyente y separadas cuarenta y cinco (45°) grados entre sí; la distribución se muestra en la Figura 40. (Hay posiciones de fuentes que no se muestran).

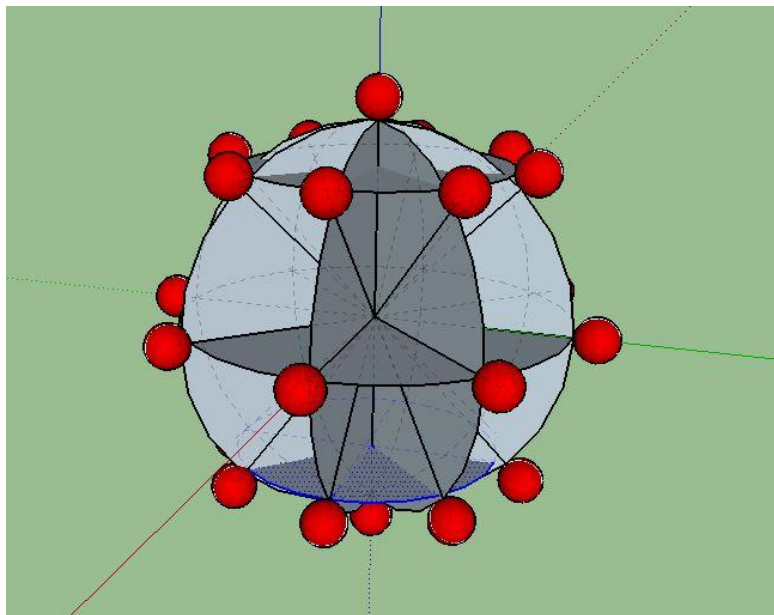


Figura 40. Posiciones de fuente en el sistema de coordenadas tridimensional.

A cada una de estas posiciones se les asignó una numeración de identificación dada por la Figura 41, donde la primera imagen hace referencia a las posiciones ubicadas al lado anterior (al frente del oyente o sistema de grabación binaural), el punto 6 estaría ubicado centrado al frente; la imagen del centro hace referencia a las posiciones ubicadas al lado posterior (atrás) del oyente (el punto 15 estaría ubicado centrado y atrás); y la imagen de la derecha hace referencia a las posiciones ubicadas alrededor del oyente en el plano frontal (el punto 1 estaría ubicado centrado y arriba).

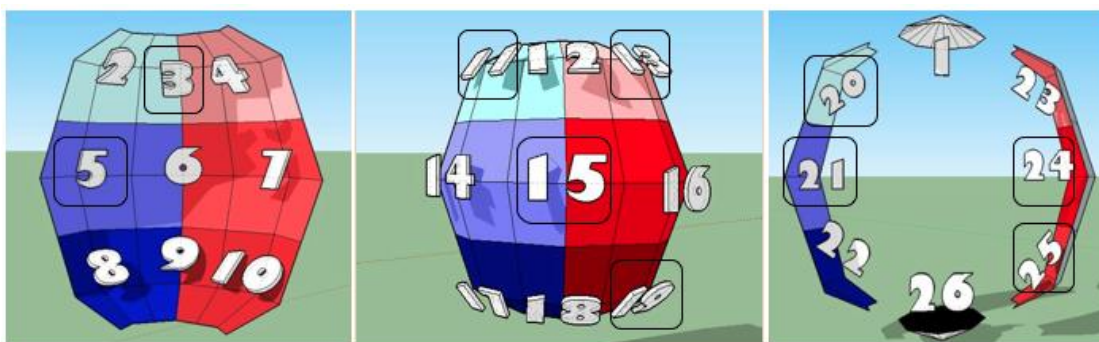


Figura 41. Nomenclatura de los puntos para la región frontal, posterior y central.

Debido a que hacer una prueba en todas las 26 posiciones tomaría mucho tiempo (más de una hora por participante), fue necesario limitar el número de posiciones a 10 y se escogieron puntos que estuviesen distribuidos en varios planos para no sesgar ningún eje de la prueba.

Se definen puntos espaciales que se encuentren en la combinación de los tres planos dimensionales y serán variables espaciales; de acuerdo a la Figura 41, marcados con rectángulo son los puntos: P3, P5, P11, P13, P15, P19, P20, P21, P24 y P25.

Definición de los audios a implementar en la prueba

Se tomaron en cuenta variables como el tiempo total de reproducción, el rango de frecuencias y el tipo de sonido (que no ocasione molestias al oyente). Se requiere de un tiempo corto, no mayor a 30 segundos para que las pruebas no tomen más de 20 minutos.

La percepción de localización de fuentes sonoras se puede comportar de forma distinta a diferentes frecuencias, ya que las diferencias de tiempo e intensidad interaural se pueden alterar por problemas de fase dependientes de la relación entre la distancia interaural del oyente y la longitud de onda. Se eligieron sonidos que tengan diferencias en frecuencias evidentes (evitar solapamientos) y que esté en un rango de frecuencias bajas, medias y altas.

A continuación se definen los rangos de frecuencias:

- Baja frecuencia: de 20 Hz a 300 Hz.
- Media frecuencia: de 300 Hz a 2 kHz.
- Alta frecuencia: de 2 kHz a 20 kHz.

Dicha división por bandas de baja, media y alta frecuencia; se hace para los audios se encuentren distribuidos en el rango audible, de tal forma que a los participantes se les reproduzcan audios con longitudes de onda bien diferentes y que ellos diferencien los sonidos entre graves, medios y

agudos, en la Figura 42 se muestra la división de frecuencia, los rangos “Upper Bass” y “Upper Midrange” se mezclaron con los rangos “Bass” y “High End” respectivamente.

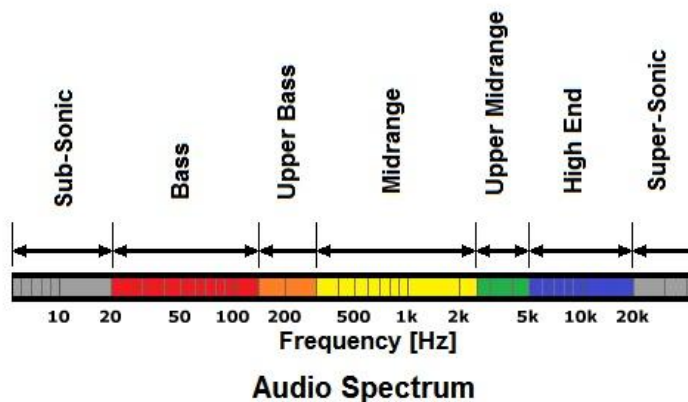


Figura 42, División de frecuencias en bajas, medias y altas (Songs of the cosmos, 2016)

Es importante que los sonidos implementados durante la prueba no ocasionen fatiga auditiva o molestias para el oyente, evitando alteraciones de los resultados.

De las características anteriormente mencionadas se seleccionaron tres audios distintos y se denominan “Audios de la prueba de localización espacial en alta, media y baja frecuencia”.

En alta frecuencia el sonido de unos metales frotándose entre sí, cuyo espectro en frecuencia está dado por la Figura 42 donde se aprecia que la mayor parte de la energía se encuentra por encima de los 5 kHz en escala semi-logarítmica.

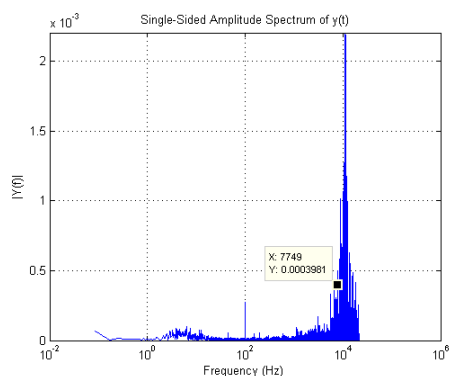


Figura 43. Espectro del audio de alta frecuencia.

En media frecuencia se eligió el sonido de una conversación entre un hombre y una mujer cuyo espectro en frecuencia se puede ver en la Figura 43, donde se aprecia que la mayor parte de la energía se encuentra entre 200 Hz y 1 kHz.

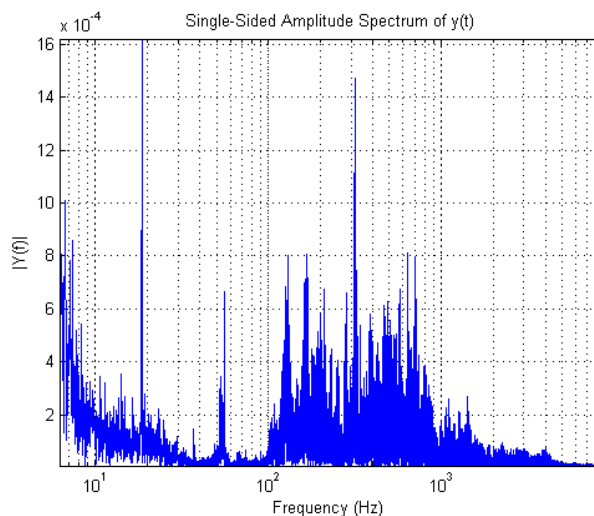


Figura 44. Espectro del audio de media frecuencia.

En baja frecuencia se eligió el sonido de un bajo tocado en una melodía corta (no más de 10 segundos) cuyo espectro en frecuencia se puede ver en la Figura 44, se aprecia que la mayor parte de la energía se encuentra entre 40 Hz y 200 Hz.

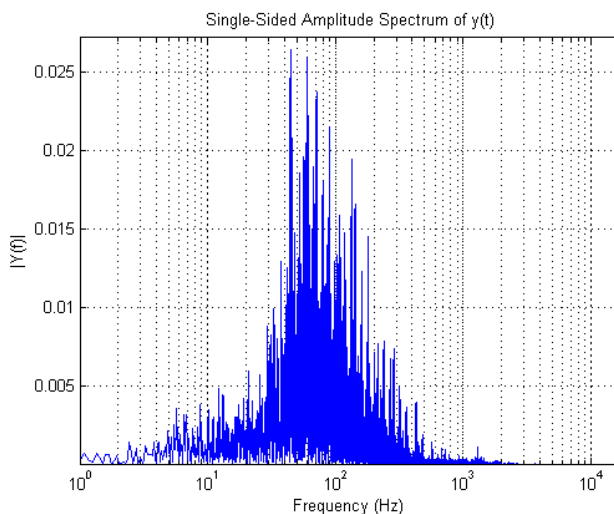


Figura 45. Espectro del audio de baja frecuencia.

Herramienta para medición de distancia interaural

Como la teoría de la escucha binaural recalca la importancia de la distancia interaural y cada participante tiene una distancia interaural diferente, es necesario medirla y evaluar el desempeño de los participantes de acuerdo a este parámetro.

Se fabricó e implementó un instrumento parecido a un calibrador pie de rey mostrado en la Figura 45:

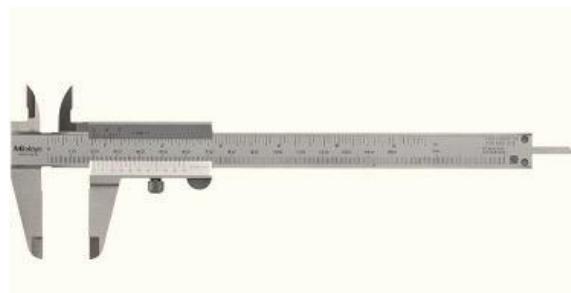


Figura 46. Calibrador tipo "pie de rey". (Instrumentación Metrología, 2016).

El instrumento fabricado tiene las puntas de medición y la regla, más largas para poder tomar medidas en la cabeza de una persona, sencillamente se le agregaron las puntas a una regla convencional y se midió que la distancia que indica la regla sea la misma que marcan las puntas en la Figura 46 se muestra el calibrador que se hizo.



Figura 47. Calibrador con puntas largas.

Grabación de bancos de audios de alta, media y baja frecuencia en diferentes posiciones

Las capturas se hacen en la “posición real” de la fuente respecto al oyente y se realizaron en el “live room” del estudio 5.1 de la Universidad de San Buenaventura, es un espacio diseñado para la grabación de música, doblaje y Foley. Cuenta con aislamiento y acondicionamiento acústico.

Se implementaron los siguientes equipos:

- Computador portátil con software de grabación Pro Tools.(Avid, 2016)
- Interfaz de audio Scarlett Focusrite 8i8.
- Cabeza Binaural Cortex 01dB.
- Celular con sistema operativo “Android 5.1” y con la aplicación “3D Sound” instalada.
- Micrófonos In-Ears SB-205W con su interfaz USB.
- Cabina JBL Eon 15.
- Decibelímetro Lutron SL 4010.
- Metro y transportador.

Procedimiento de grabación

La cabeza binaural y el sistema móvil de grabación binaural se colocaron a 1.6 metros del piso y a 1 metro de distancia de la cabina, variando su ángulo para cada punto; reproduciendo por la cabina en forma secuencial cada uno de los audios a 93 dB SPL (40 dB por encima del ruido de fondo) y así mitigar ruidos no deseados en las capturas. A la cabeza binaural y a la cabeza de la persona que usó el sistema móvil de grabación binaural se le tomó la medida de la distancia interaural con la herramienta para medición de distancia interaural.

Las grabaciones hechas con la cabeza se guardaron en el computador utilizando la Scarlett Focusrite 8i8 y las grabaciones hechas con el sistema de grabación binaural móvil se almacenaron en el dispositivo móvil.

De este procedimiento de grabación, se obtuvieron seis (6) bancos de audios, cada uno tiene 10 audios localizados en los puntos acordados; están clasificados por frecuencia y por el tipo de sistema de grabación binaural implementados. Se listan los bancos de la siguiente forma:

- Banco de audios de alta frecuencia grabados con el sistema móvil de grabación binaural.
- Banco de audios de media frecuencia grabados con el sistema móvil de grabación binaural.
- Banco de audios de baja frecuencia grabados con el sistema móvil de grabación binaural.
- Banco de audios de alta frecuencia grabados con la cabeza binaural.
- Banco de audios de media frecuencia grabados con la cabeza binaural.
- Banco de audios de baja frecuencia grabados con la cabeza binaural.

Descripción de la herramienta para la aplicación de la prueba de localización espacial

Se programó en el software Matlab (Mathworks, 2016) una herramienta que permite aplicar seis pruebas descritas de la siguiente forma:

- Prueba con cabeza binaural en alta frecuencia.
- Prueba con cabeza binaural en media frecuencia.
- Prueba con cabeza binaural en baja frecuencia.
- Prueba con sistema móvil de grabación binaural en alta frecuencia.
- Prueba con sistema móvil de grabación binaural en media frecuencia.
- Prueba con sistema móvil de grabación binaural en baja frecuencia.

Procedimiento de uso del programa

En primer lugar el participante debe escribir los siguientes datos personales:

- Nombre.
- Edad.
- Distancia Interaural.

El nombre del participante se requiere para diferenciar posteriormente cada prueba. La edad, y la distancia interaural se registran para diferenciar la población y para el análisis de datos; Posteriormente el usuario debe seleccionar cual de las 6 pruebas desea realizar, luego escucha con los audífonos el banco de audios correspondiente a la prueba y se desplaza entre los diez diferentes canales indicando la posición en que escucha los audios.

La interfaz de usuario del programa se puede ver en la Figura 47, en la parte superior se encuentran los campos de recolección de datos personales y el botón de guardado para registrar todos los datos en una tabla de Excel que permitirá la agrupación de datos en el análisis de resultados; en el centro se encuentran las gráficas que los usuarios utilizan para indicar en qué posición percibieron el sonido y en la parte inferior se encuentran los diez canales donde se puede desplazar escuchando los diferentes audios correspondientes.

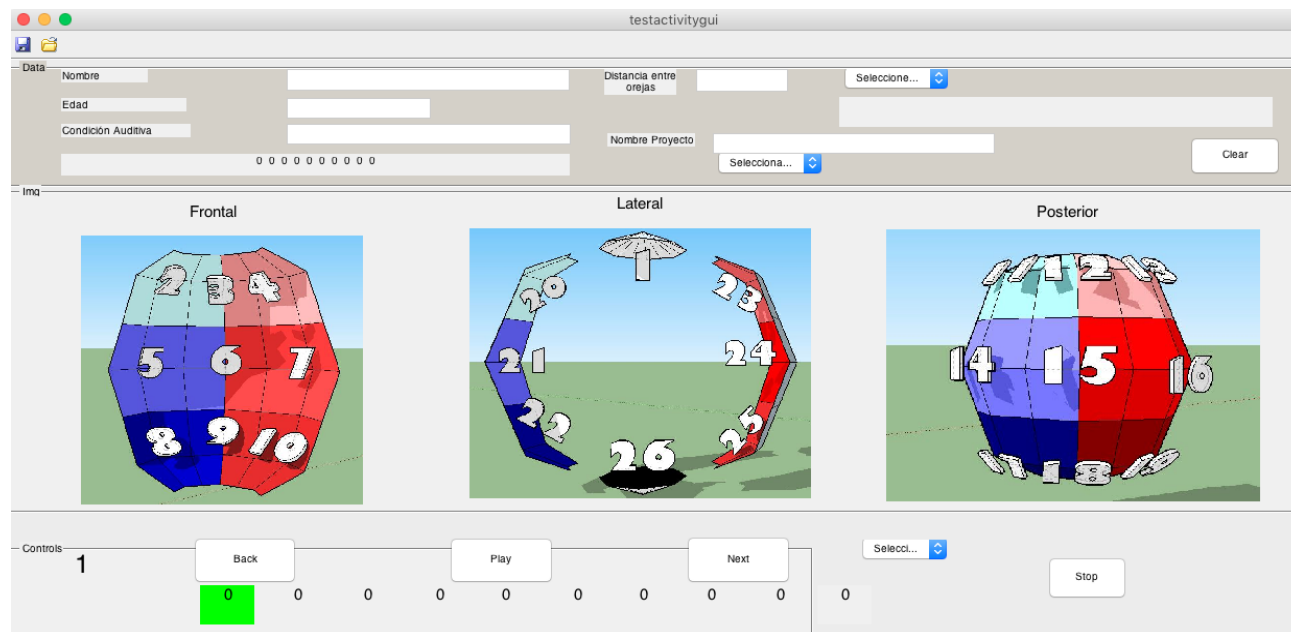


Figura 48. Interfaz grafica para la prueba de localización de audios

Aplicación de la prueba

Una vez se ha preparado, se procede con la aplicación en una muestra de una población

La toma de datos la hizo el estudiante y co-autor de este proyecto de grado, Juan Sebastián Sierra en la primera semana de Mayo (día 1 al 8) del año 2016 en la Universidad de San Buenaventura utilizando el software y explicando a los participantes detalladamente los sonidos que sonarán e indicándoles qué deben decir en qué punto los localizaron. A cada participante se le aplicaron tres de las seis pruebas, que tienen en común el sistema de grabación para cada participante, variando solamente la frecuencia; es decir que algunos participantes se les aplicó la prueba con el sistema móvil de grabación binaural en alta, media y baja frecuencia y a otros las pruebas con la cabeza binaural en alta, media y baja frecuencia. (Se aplicaron una vez a cada participante con variación aleatoria de los audios para evitar la memorización por parte del participante del orden de reproducción de los puntos).

Cada prueba registró un total de 13 datos diferentes: nombre, edad, distancia interaural y 10 puntos de localización aparente de la fuente sonora, registrados en la Tabla 5 a modo de ejemplo. En donde las columnas P3 a P25 hacen referencia a las respuestas de cada punto del participante.

Tabla 5. Datos del participante Carlos en la prueba de espacialidad.

Nom.	Edad	Dist. Inter.	P3	P5	P11	P13	P15	P19	P20	P21	P24	P25
Carlos	22	17cm	4	10	11	20	22	24	26	24	11	2

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se agruparon los datos de acuerdo a las diferentes variables: frecuencia, posición por punto, edad y distancia interaural.

Agrupación de resultados por puntos

Se hizo una descomposición de los puntos de prueba, posteriormente se cuantificó la diferencia de los resultados respecto a la referencia y por último se promediaron todas las pruebas.

Descomposición de los puntos por planos

Para comparar los resultados de la localización aparente de fuente sonora que perciben los participantes con los puntos de referencia, fue necesario que cada uno de los puntos de referencia de la prueba (P3, P5, P11, P13, P15, P19, P20, P21, P24, P25) y todos los puntos de los resultados de la localización aparente de los participantes que varían en todas las posiciones (P1-P26) se descompusiesen en 9 partes: izquierdo, derecho, superior, inferior, frontal, posterior, centrado entre izquierda y derecha; centrado entre arriba y abajo, y centrado entre el frente y atrás; estas variables se clasificaron de acuerdo a su plano de origen (frontal, sagital u horizontal) de la siguiente forma:

Plano frontal:

- Frontal (Fr).
- Posterior (Po).
- Centrado frente atrás (CFB/Centro FB).

Plano sagital:

- Izquierda (Iz).

- Derecha (De).
- Centrado izquierda y derecha (CLR/Centro LR).

Plano horizontal:

- Superior (Ar).
- Inferior (Ab).
- Centrado arriba y abajo (CUD/Centro UD).

De esta forma se puede evaluar lo que se denominará como “Grado de acierto” el cual se define como una magnitud que permite cuantificar qué tan diferente es un punto respecto al otro de acuerdo al acierto en cada una de las partes clasificadas por planos. El grado de acierto varía en 0, 1, 2 y 3, siendo cero si el participante no acierta en ningún plano, y tres si acierta en los tres planos.

En la Tabla 6 se agruparon los datos de acuerdo a las variables de descomposición mencionadas anteriormente, acortadas por sus siglas; fueron clasificadas de acuerdo a su plano de origen (frontal, sagital u horizontal).

Tabla 6. Descomposición por plano de los puntos de referencia.

	P3	P5	P11	P13	P15	P19	P20	P21	P24	P25
Plano sagital	CLR	Iz	Iz	De	CLR	De	Iz	Iz	De	De
Plano horizontal	Ar	CUD	Ar	Ar	CUD	Ab	Ar	CUD	CUD	Ab
Plano frontal	Fr	Fr	Po	Po	Po	Po	CFB	CFB	CFB	CFB

Por ejemplo: si el participante elige el punto 5 (P5) cuando el sonido de referencia estaba localizado en el punto 3 (P3) de la Tabla 6, el grado de acierto es de 1; ya que acertó en el plano frontal, pero erró en el plano sagital y horizontal.

El grado de acierto de cada punto se escaló de cero (0) a diez (10) y se cuantificó en la variable Nota definida por la Ecuación 9 para cada una de las pruebas:

$$\text{Nota} = \frac{\text{Grado de acierto} * 10}{3}$$

Ecuación 9. Cálculo de asignación de nota al participante.

El promedio de todas las notas se clasificó de acuerdo al tipo de prueba en frecuencia, por tipo de sistema de grabación binaural y se agrupó respectivamente para cada punto de posición de la prueba de referencia. La clasificación de los promedios de las notas se ordenó en la Figura 48 utilizando las siguientes siglas:

- SM AF: sistema móvil de grabación binaural en alta frecuencia.
- CB AF: cabeza binaural en alta frecuencia.
- SM MF: sistema móvil de grabación binaural en media frecuencia.
- CB MF: cabeza binaural en media frecuencia.
- SM BF: sistema móvil de grabación binaural en baja frecuencia.
- CB BF: cabeza binaural en baja frecuencia.

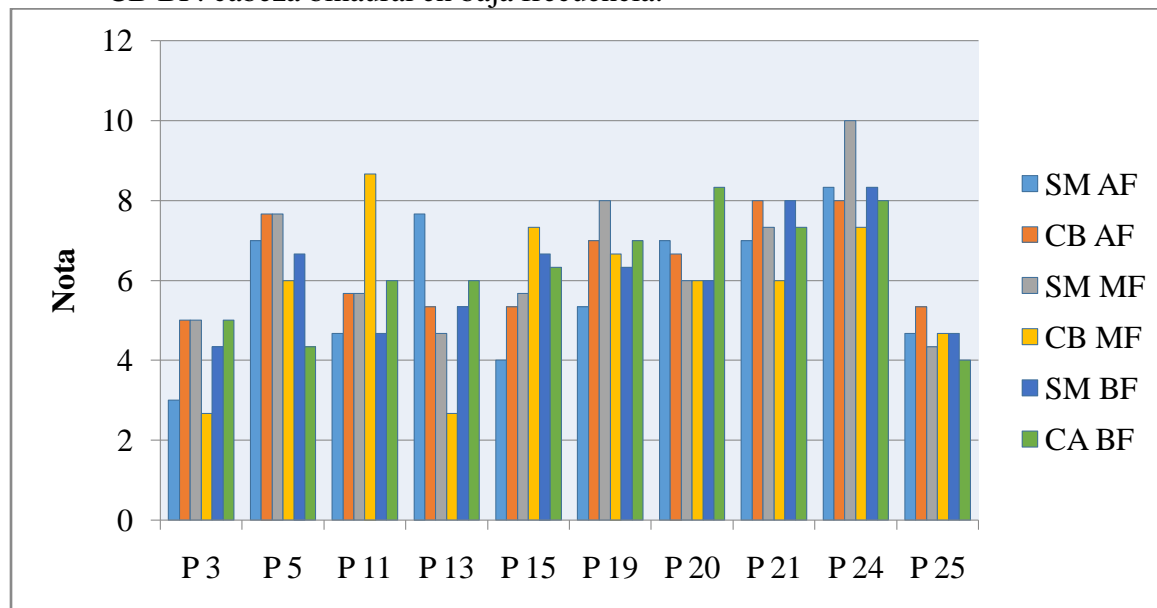


Figura 49. Gráfica de los resultados clasificados por punto de prueba.

Análisis de datos agrupados por posición, frecuencia y sistema de grabación binaural.

En la Figura 48 se observa que en el punto 24 (P24) hubo una nota máxima de diez (10) en promedio de la prueba de media frecuencia con micrófonos in ears (De las 10 personas participantes con micrófonos in ears en media frecuencia, 10 acertaron el punto 24). El punto 3 (P3) tuvo las notas más bajas de acierto en todas las frecuencias y sistemas (por debajo de 5) respecto a los otros puntos; por lo que sería el punto con mayor dificultad para localizar.

Agrupación de resultados por partes

Para identificar en qué regiones de los planos dimensionales (frontal, sagital y horizontal) hay mayor o menor error en los resultados respecto a los puntos de referencia y tener mayor precisión a la hora de describir cómo escucharon los participantes, se contabilizó para cada uno de los puntos de referencia el número de partes; el conteo se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Conteo de cada parte de los puntos de referencia.

Izquierda	Derecha	Centro Izquierda Derecha	Arriba	Abajo	Centro Arriba Abajo	Frontal	Posterior	Centro Frontal Atrás
4	4	2	4	2	4	2	4	4

De la Tabla 7 se puede decir que en la totalidad de los puntos de referencia hay 4 componentes al lado izquierdo, 4 componentes al lado derecho, 2 centrados entre izquierda y derecha, y así sucesivamente.

A los puntos que contestaron los participantes se les hizo un conteo similar al anterior, con la diferencia que se debían omitir aquellos datos que no estén acertados respecto a su punto de referencia.

La razón entre el número de componentes acertados y el número de componentes de la referencia se indicó en la variable “Nota” donde se escaló el resultado de 0 a 10; se describe en la Ecuación 10.

$$\text{Nota} = 10 * \frac{\# \text{ aciertos componente de prueba}}{\# \text{ componente de referencia}}$$

Ecuación 10. Cálculo Nota.

Ejemplo:

Si en todos los puntos de referencia el número de componentes “Izquierda” es 4 y en la prueba, el número de componentes “Izquierda” acertados es de 2 el cálculo de la nota sería igual a:

$$\text{Nota Izquierda} = 10 \frac{2 \text{ aciertos}}{4 \text{ de referencia}} = 5 \text{ (Escala de 0-10)}$$

Ecuación 11. Ejemplo de cálculo de nota.

Luego se promediaron las notas en cada componente de los resultados de cada prueba y fueron clasificados por frecuencia y por sistema de grabación binaural implementado; a cada prueba se le promediaron las “Notas” de todos los componentes y así se obtuvo la variable “PROM”, dichos promedios se organizaron en la Figura 51.

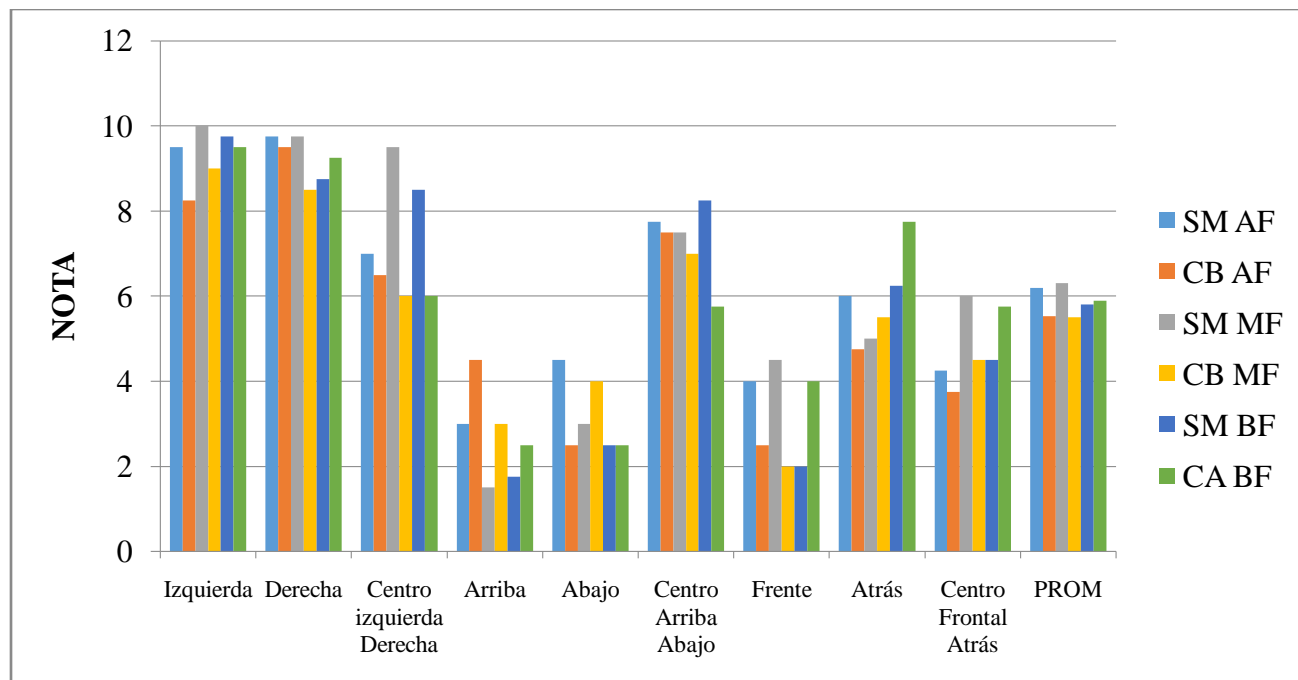


Figura 50. Gráfica de los resultados clasificados por componentes.

De la Figura 51 se hace el siguiente análisis de resultados para agrupación por “Variables de localización” respecto a la nota:

- Los componentes Izquierda y Derecha de la prueba fueron acertados por encima de 8 en todas las frecuencias.
- Los componentes Arriba, Abajo y Frente; fueron reprobados por debajo de 5 en todas las frecuencias.
- El componente “Atrás” fue aprobado por encima de 7 en baja frecuencia en grabaciones con la cabeza binaural y aprobado por encima del 60 % en baja frecuencia de las grabaciones hechas con el sistema móvil de grabación binaural.
- El componente “Centro Izquierda Derecha” fue más acertado que el componente “Centro Arriba Abajo” y “Centro Frontal Atrás”.
- Las grabaciones hechas con el sistema móvil de grabación binaural, en alta frecuencia y media frecuencia tuvieron en promedio (PROM) más aciertos que las grabaciones hechas con la cabeza binarual con una diferencia de 0.6 en alta frecuencia y de 0.8 en media frecuencia.
- Las grabaciones hechas con el sistema móvil de grabación binaural, en baja frecuencia tuvieron en promedio (PROM) menos aciertos que las grabaciones hechas con la cabeza binaural con una diferencia de 0.08.

Agrupación de resultados por distancia interaural

Para conocer el comportamiento de las grabaciones en los participantes analizando su distancia interaural fue necesario organizar los datos de una forma que permitiera comparar como varían de acuerdo a las diferencias de distancia interaural.

En principio la distancia interaural de cada participante se comparó con la distancia de la cabeza binaural y con la distancia interaural de la persona que hizo las grabaciones con el sistema móvil de grabación binaural. Posteriormente se compararon los promedios (PROM) de las Notas de la clasificación por componentes con la distancia y se graficaron respecto a la diferencia de distancia interaural.

Se organizaron los datos de acuerdo al sistema de grabación implementado en gráficas separadas y se muestran todos los promedios (PROM) diferenciados por frecuencia.

En la Figura 50 se muestra la relación entre los resultados de las grabaciones hechas con la cabeza binaural y la diferencia de distancia interaural de cada participante respecto a la distancia interaural de la cabeza binaural.

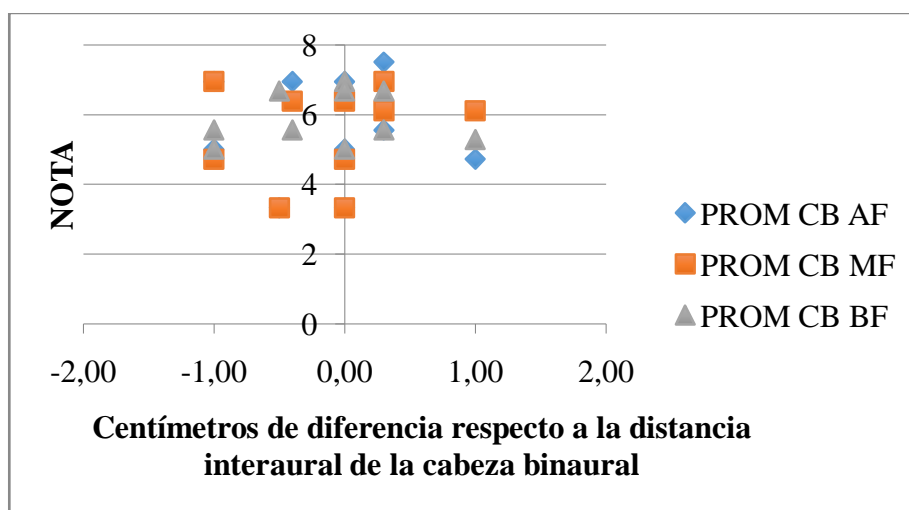


Figura 51. Agrupación de resultados por distancia interaural implementando el sistema móvil de grabación binaural.

En la Figura 51 se muestra la relación entre los resultados de las grabaciones hechas con el sistema móvil de grabación binaural y la diferencia de distancia interaural de cada participante respecto a la distancia interaural de la persona que usó el sistema.

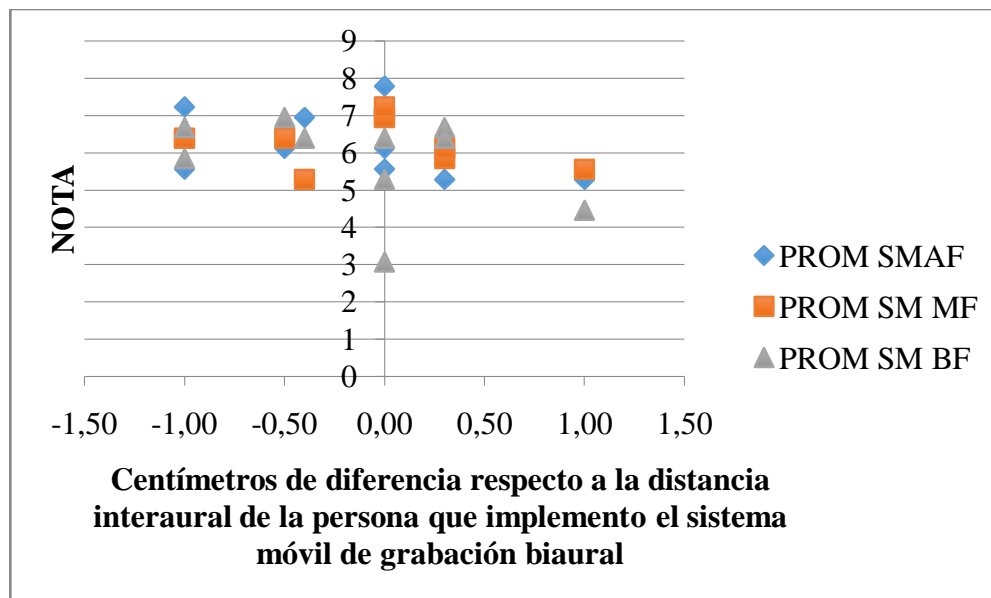


Figura 52. Agrupación de resultados por distancia interaural de la persona que implementando el sistema móvil de grabación binaural.

De las Figuras 50 y 51 se hace el siguiente análisis de resultados:

- La diferencia de distancia interaural de los participantes respecto a la distancia interaural de ambos sistemas de grabación no supera 1 cm.
- Se observa una pendiente negativa cuanto más grande es la cabeza respecto a la referencia.
- Para verificar si existe una relación entre la edad de una persona y los resultados de la prueba se organizan los datos que se muestran en las Figuras 56 y 57, se separaron los resultados de acuerdo al sistema de grabación implementado y a la frecuencia.

En la Figura 52 se muestran los promedios (PROM) obtenido con las grabaciones hechas con el sistema móvil de grabación binaural. Hubo una prueba hecha a una persona fuera del rango de

edad de la población, sin embargo se decidió incluir la prueba. No se planeaba realizar esta distribución ya que los datos de edad se usaban sólo para clasificar a la población, sin embargo se decide agregar estos resultados como comentario.

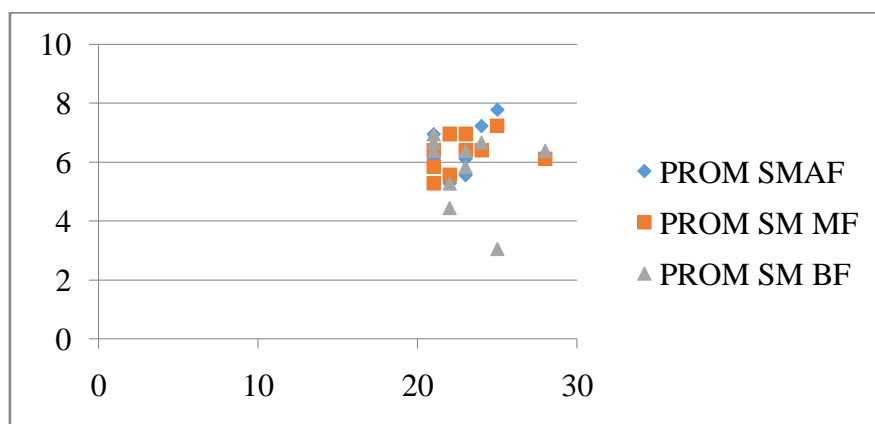


Figura 53. Agrupación de resultados por edades implementando el sistema móvil de grabación binaural.

En la Figura 53 se muestran los promedios (PROM) obtenidos con las grabaciones hechas con la cabeza binaural.

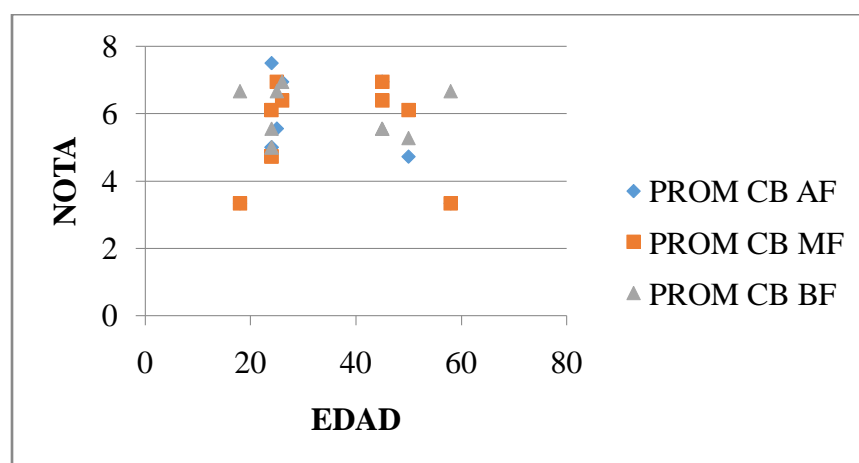


Figura 54. Agrupación de resultados por edades implementando la cabeza binaural.

De las Figuras 52 y 53 anteriores se hace el siguiente análisis de resultados:

- Los participantes de 23 a 25 años tuvieron el mejor desempeño.
- En media y alta frecuencia, la persona de mayor edad tuvo un desempeño bajo; sin embargo en baja frecuencia tuvo un desempeño similar al de las personas más jóvenes.

CONCLUSIONES

- La integración entre la aplicación, el dispositivo móvil, la interfaz de audio y los micrófonos in ears funciona correctamente y se puede implementar como un sistema o técnica de grabación binaural.
- El entorno de desarrollo Android Studio permitió implementar los diseños de la aplicación, sin embargo las librerías que contiene son muy limitadas para la programación de audio, por ello fue necesario programar objetos que permitieran la manipulación de audio; lo que dificultó en gran parte el desarrollo del proyecto.
- El algoritmo de convolución de señales con respuesta al impulso implementado es muy lento; debido al consumo en la memoria de los dispositivos móviles, por ello no se implementó formalmente en la aplicación ni se evaluó.
- Los diagramas de patrón polar del arreglo de los micrófonos in ears y de la cabeza binaural; muestran las diferencias de intensidad entre los dos micrófonos en frecuencias por encima de los 2 kHz, para baja frecuencia se observa que los niveles son muy parecidos.
- La sensibilidad de los micrófonos in ears SB 205 tiene una diferencia de 4 mili voltios, lo que quiere decir que los micrófonos graban prácticamente al mismo volumen evitando alterar la localización de las fuentes por errores en las diferencias de presión interaural.

- Del análisis de resultados que se hizo de las pruebas de localización tridimensional los participantes localizaron correctamente más fuentes en el plano horizontal que en cualquier otro por lo tanto se concluye que la cabeza binaural y los micrófonos in ears funcionan mejor para las fuentes localizadas en el plano horizontal.
- La distancia interaural de los participantes no supera 1 cm respecto a la cabeza binaural o la cabeza de la persona que implementa los micrófonos in ears; y la mejor prueba para los micrófonos in ears fue de una persona con la misma distancia interaural, sin embargo los resultados son muy dispersos y no se puede hallar una relación entre la distancia interaural y la localización aparente de los audios por parte de los participantes.

RECOMENDACIONES

- Si se desea hacer grabación de audio con una profundidad en bits mayor a 16, se recomienda implementar dispositivos que funcionen con versión de Android igual o superior a la 6.0 “Marshmallow”; ya que las versiones en donde se programó la aplicación no permiten el trabajo en más bits.
- Debido a que los medidores de nivel de señal de grabación implementados consumen mucho procesamiento del dispositivo, se recomienda inhabilitarlos si se implementa la aplicación en dispositivos móviles con baja capacidad de procesamiento. Esta opción está disponible dentro de la aplicación.
- Si se desea mejorar el procesamiento del algoritmo de convolución, se recomienda implementar métodos de convolución de señales “Overlap add”; ya que este no satura tanto la memoria del dispositivo y probablemente la velocidad del procesamiento sea mucho mayor.
- Para la elaboración de los Wireframes existen herramientas en líneas capaces de simular todos los botones y gestos que la aplicación va a contener; pueden ser una buena herramienta dependiendo de qué tan complejo sea el diseño de la aplicación.
- Tener conocimientos básicos de manejo de escala de colores, contrastes, tamaño y tipo de letra, píxeles y relaciones de aspectos ayuda a que la aplicación pueda funcionar en varios dispositivos.
- Para las pruebas de usabilidad es importante que la población que se elija para aplicar el test este dentro del grupo en el cual se clasifica la aplicación; es decir si se realiza una aplicación de videojuegos que los usuarios que realicen el test utilicen estas aplicaciones usualmente.

BIBLIOGRAFÍA

Programación Orientada a objetos,. Obtenido de Universidad De Murcia:
<http://dis.um.es/~jfernand/0506/dai/poo.pdf>

Test de usuarios de guerrilla (2016). Recuperado el 5 de Julio de 2016, de Dispersium:
<http://dispersium.es/tests-de-usuarios-de-guerrilla-como-hacerlos-bien/>

Acoustassist LTD. (25 de Marzo de 2014). toolBox For Acoustic. Play Store.

Adobe. (2016). Recuperado el 18 de Agosto de 2016, de
<http://www.adobe.com/la/products/illustrator.html>

Alarcon, V. F. (2006). *Desarrollos de sistemas de información: Una metodología basada en el modelo*. Barcelona, España.

Analog. (2014). Recuperado el 24 de Julio de 2016, de
http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/dsp-book/dsp_book_Ch6.pdf

Android Developer. (30 de Mayo de 2016). *Android*. Obtenido de
<http://developer.android.com/reference/android/media/MediaPlayer.html#StateDiagram>

Aolivella. (2010). Recuperado el 24 de Agosto de 2016, de
<http://www.aolivella.cat/Rafanell/SIGLO%20XXI/ESTADISTICA%20WP/MEDIAS%20ESTADISTICAS.doc>

App Desing Book. (2016). Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://appdesignbook.com/es/contenidos/test-de-usabilidad-apps/>

Armengol, D. (30 de Mayo de 2016). *Usolab*. Recuperado el 17 de Abril de 2016, de Usolab: <http://www.usolab.com/wl/2012/08/que-es-un-test-de-usabilidad.php>

Avid. (2016). Recuperado el 30 de Agosto de 2016, de <http://www.avid.com/pro-tools?cid=homepage,secondaryhptile2,PT,06232016>

Begin Android. (2016). Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de <http://www.beginandroid.com/intro.shtml>

Bossart, P. L. (1 de Septiembre de 2006). A Survey of Mobile Audio Architecture Issues. *AES Paper* .

Cardozo, M. A. (2009). *Empleo De Técnicas De Grabación Para Emulación De Tridimensionalidad En Una Aplicación Estereofónica*. Bogota.

Cesar Albeto Arevalo, L. T. (2014). *Desarrollo de un atand-alone Software para simular el comportamiento de una cabeza binaural*. Universidad San Buenaventura , Bogota.

Chisnell, D. (30 de Mayo de 2016). *Alista Part*. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de Alista Part: <http://alistapart.com/article/usability-testing-demystified>

Comunicaciones, S. D. (s.f.). *Universidad Nacional de La Plata*. Obtenido de [http://www2.fisica.unlp.edu.ar/~jarne/Clases-EET-](http://www2.fisica.unlp.edu.ar/~jarne/Clases-EET-N2/Sistemas_de_comunicaciones/Oppenheim%20Señales%20y%20Sistemas.pdf)

[N2/Sistemas_de_comunicaciones/Oppenheim%20Señales%20y%20Sistemas.pdf](http://www2.fisica.unlp.edu.ar/~jarne/Clases-EET-N2/Sistemas_de_comunicaciones/Oppenheim%20Señales%20y%20Sistemas.pdf)

Concept, B. O. (2012). Recuperado el 5 de Agosto de 2016, de http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/data_communications/Byte_Ordering_Concept_Little_Endian_Big_Endian.pdf

Copro. (2016). Recuperado el 22 de Agosto de 2016, de http://copro.com.ar/Profundidad_de_bits_de_audio.html

Cuervo, A. T. (2013). *Desarrollo de un software de análisis acústico para dispositivos móviles*. Universidad De San Buenaventura, Bogota.

Developer Android. (2016). Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de <https://developer.android.com/studio/intro/index.html>

Development, e. S. (26 de Julio de 2015). USB Audio Recorder PRO. Play Store.

Dummy Head Recording. (2016). Recuperado el 30 de Agosto de 2016, de <http://www.michaelgerzonphotos.org.uk/articles/Dummy.pdf>

Fabian Alejandro Arenas, S. Q. (2009). *Desarrollo de una Producción Musical (EP) Basada en la Comparación de 4 Técnicas que Simulan Captura Binaural*. Universidad De San Buenaventura, Bogota.

Fundamentos De Anatomia. (2015). Recuperado el 23 de Agosto de 2016, de <http://fundamentosdeanatomia2015.blogspot.com.co/>

Instrumentación Metrologia. (2016). Recuperado el 23 de Agosto de 2016, de <http://www.instrumentacion-metrologia.es/530-316-Pie-de-Rey-Mitutoyo-150-mm>

Jonathan Karlsson, E., Paavola, M., & Page. (1 de Mayo de 2005). 3D Audio for Mobile Devices via Java. *AES Paper* .

Maria Isabel Arango, N. J. (2004). *Aplicaciones y especificación del modelo de captación binaural utilizando un material en su relleno que proporcione un desempeño natural*. Universidad De San Buenaventura, Bogota.

Mathworks. (2016). Recuperado el 30 de Agosto de 2016, de <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

Ministerio De Tecnologias De La Información Y Las Comunicaciones. (2016). Recuperado el 23 de Agosto de 2016, de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-1629.html>

Netquest. (Septiembre de 2016). Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de <http://www.netquest.com/blog/es/que-tamano-de-muestra-necesito/>

Oracle. (2015). Recuperado el 15 de Agosto de 2016, de <http://www.oracle.com/technetwork/java/intro-142807.html>

Pozo, J. D. (2011). *Introducción a los dispositivos móviles* (Vol. II). Catalunya, Universidad Oberta de.

Roland. (2016). Recuperado el 5 de Agosto de 2016, de <http://www.pdf-manuals.com/roland-cs-10em-binaural-microphones-earphones-cs-10em-116256-manual>

RS Met. (2015). Recuperado el 13 de Agosto de 2016, de <http://rs-met.com/documents/tutorials/AmplitudeAndDecibels.pdf>

Saffer, D. (2009). *Designing Gestural Interfaces*. Canada: O' Really Books.

Salamanca, S. (2013). *Aplicación multimedia interactiva para dispositivos móviles, de análisis de parámetros acústicos*. Universidad De San Buenaventura, Bogota.

Sander, C., Wefers, F., & Leckschat, D. (25 de Octubre de 2012). Scalable Binaural Synthesis on Mobile Devices. *AES* .

Sergey, K., Budkin, A., & Goldin, A. A. (1 de Octubre de 2006). Automatic Volume and Equalization Control in Mobile Devices. *AES Paper* .

Smart Tools co. (14 de Junio de 2016). Sonómetro: Sound Meter. Play Store.

software, P. V. (s.f.).

Songs of the cosmos. (2016). Obtenido de http://www.songsofthecosmos.com/encyclopedia_of_modern_music/A/audio_spectrum.html

Sony Mobile Communications. (20 de Mayo de 2016). Audio Recorder. Play Store.

Sound File. (2014). Recuperado el 5 de Junio de 2016, de <http://soundfile.sapp.org/doc/WaveFormat/>

Sound File. (2014). Recuperado el 2 de Julio de 2016, de <http://soundfile.sapp.org/doc/WaveFormat/>

Universidad Nacional De Mexico. (s.f.). Recuperado el 20 de Julio de 2016, de http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/98/4/informatica_4.pdf

Universidad Nacional Del Nordeste. (2014). Recuperado el 30 de Agosto de 2016, de http://exa.unne.edu.ar/depar/areas/informatica/teleproc/Comunicaciones/Presentaciones_Projector/SenialesyEspectros.pdf

UNPA. (2013). Recuperado el 6 de Julio de 2016, de Universidad Nacional De La Patagonia Austral:

http://www.unpa.edu.ar/sites/default/files/descargas/Administracion_y_Apoyo/Materiales/2015/T228/Equipos%20de%20audio.%20Microfonos.pdf

Vique, R. R. (2011). *Metodos para el desarrollo de aplicaciones móviles* (Vol. IV). (U. O. Catalunya, Ed.) España: Universidad Oberta de Catalunya.

Vittone, J. C. (2013). *Diseñando Apps Para Mobiles*.

APÉNDICE

APÉNDICE A

A continuación se mostrarán diez gráficas correspondientes al patrón polar de los micrófonos in ears implementados en una persona, las líneas de color azul representan al micrófono izquierdo y las líneas de color rojo representan al micrófono derecho. La dirección a la que apunta la persona y por lo tanto el arreglo es 0° .

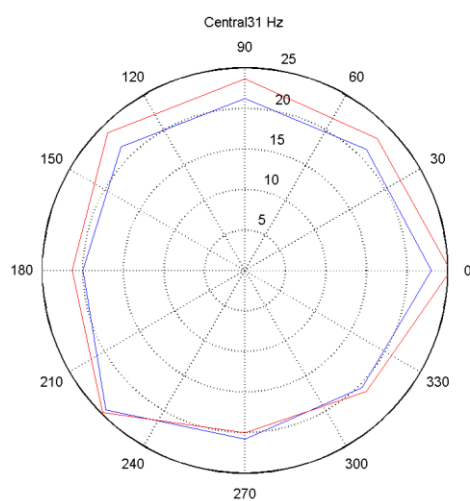


Figura 55. Patrón Polar 31Hz

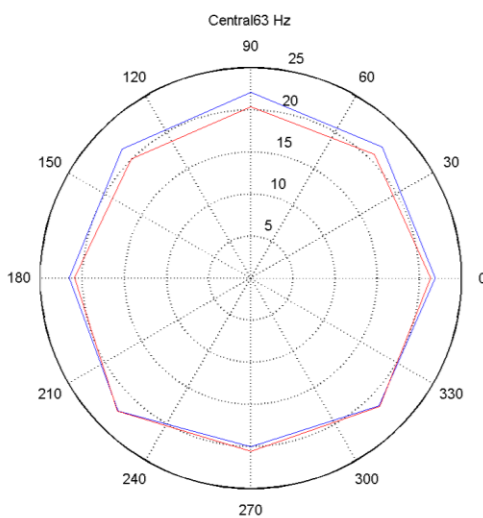


Figura 56. Patrón Polar 63Hz.

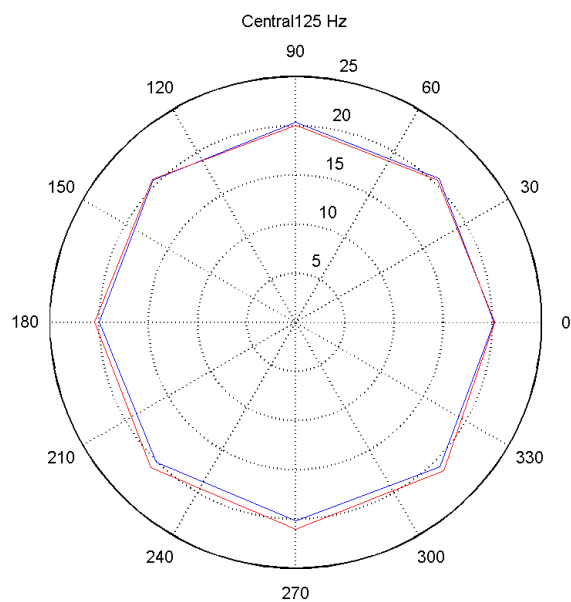


Figura 57. Patrón Polar 125 Hz.

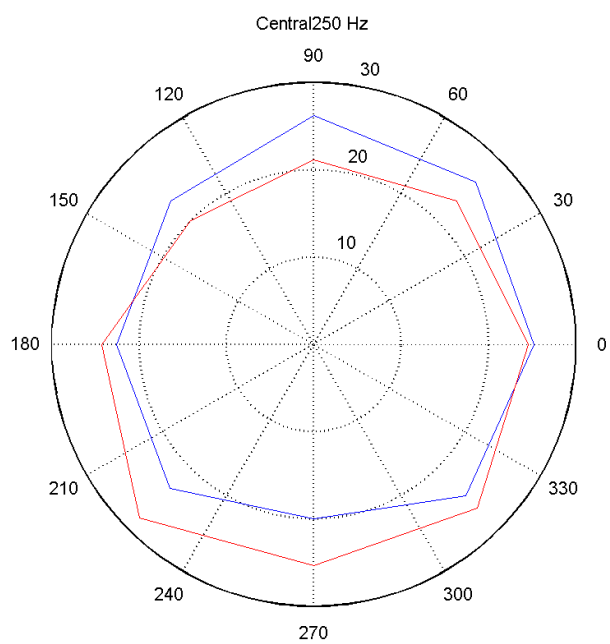


Figura 58. Patrón Polar 250 Hz.

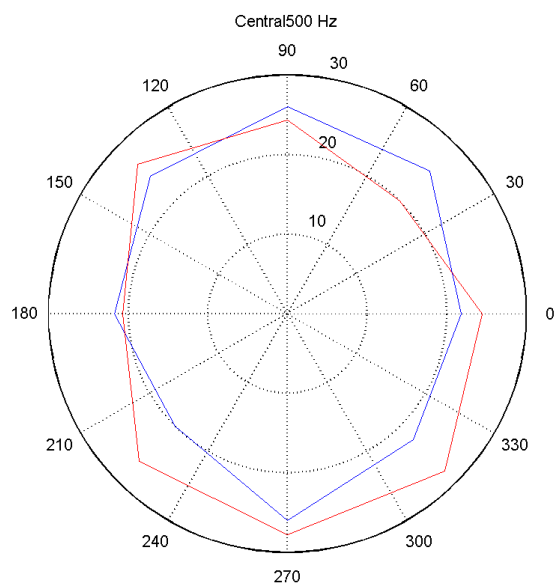


Figura 59. Patrón Polar 500Hz.

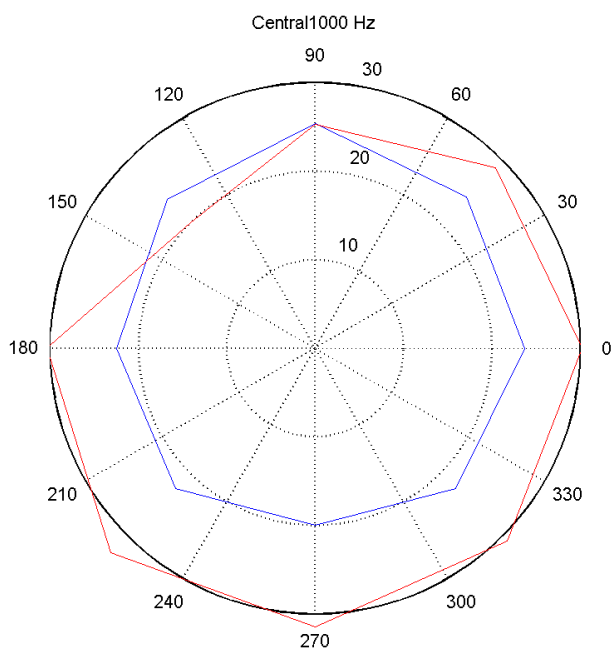


Figura 60. Patrón Polar 1k Hz.

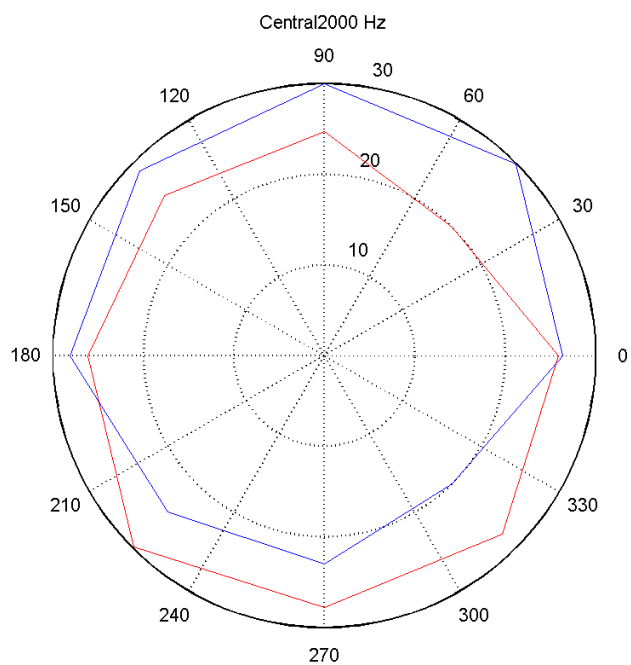


Figura 61. Patrón Polar 2k Hz.

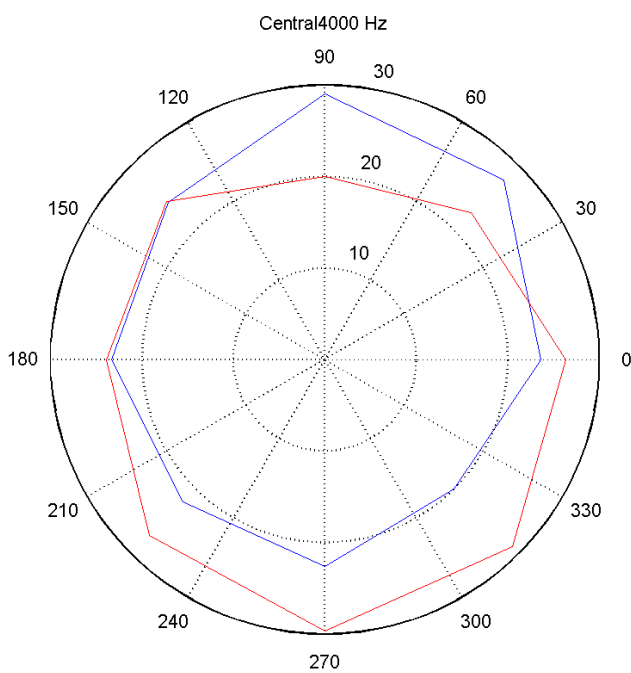


Figura 62. Patrón Polar 4k Hz.

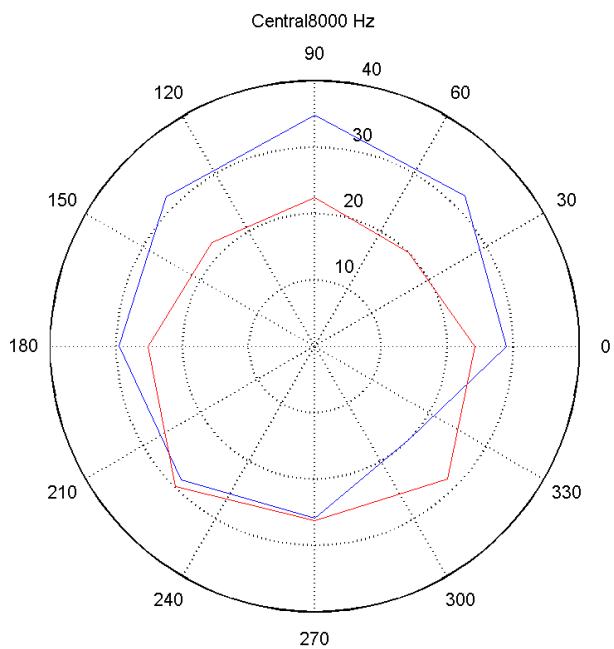


Figura 63. Patrón Polar 8k Hz.

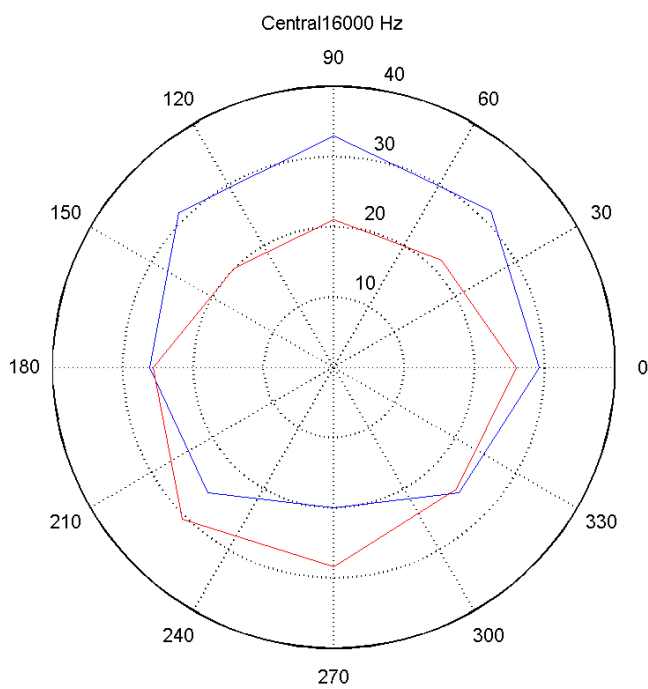
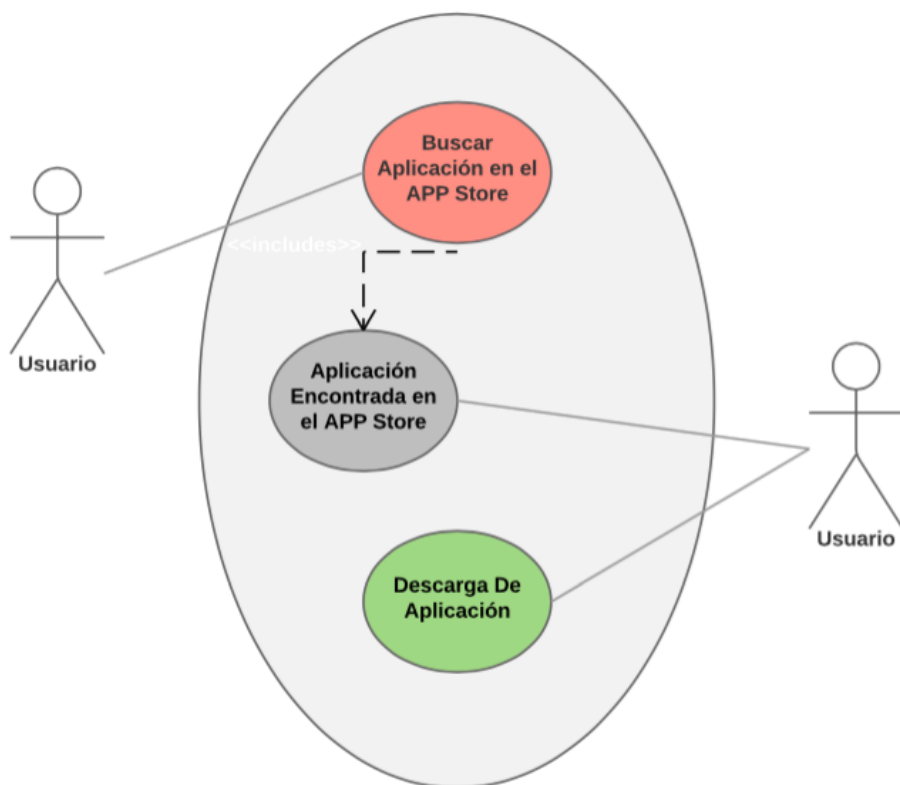


Figura 64. Patrón Polar 16k Hz.

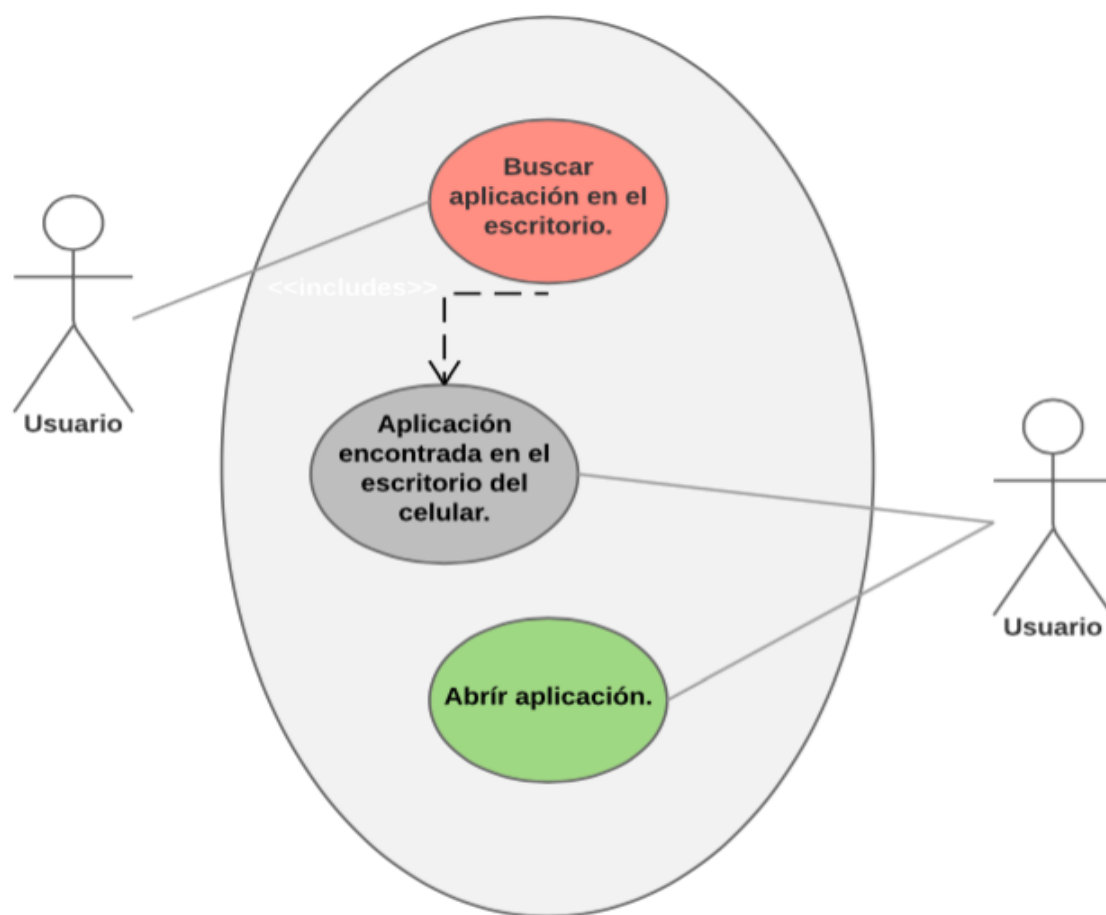
APÉNDICE B

1. PLAY STORE

ID del caso de uso	PST01	
Nombre del caso de uso	Aplicación en el Play Store	
Prioridad	Baja	
Fuente	Time New Roman	
Descripción	El icono de la aplicación se verá en la tienda virtual con la reseña correspondiente.	

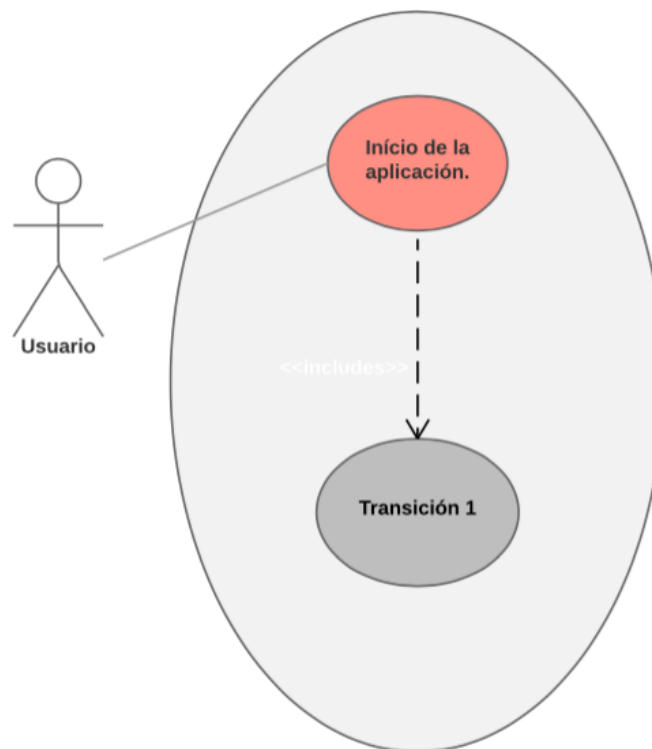


ID del caso de uso	PST02	
Nombre del caso de uso	Aplicación en el escritorio. Logotipo.	
Prioridad	Baja	
Fuente	N/A	
Tipo	Ventana	
Descripción	La aplicación será descargada directamente en el escritorio de inicio del celular y se verá el icono de la misma.	

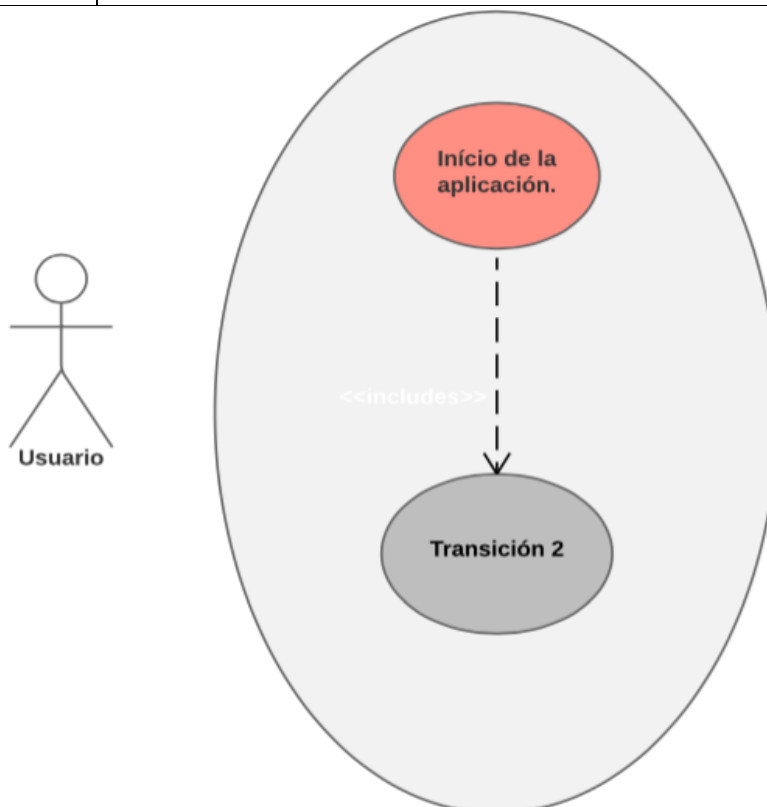


2. PAGINA DE INICIO

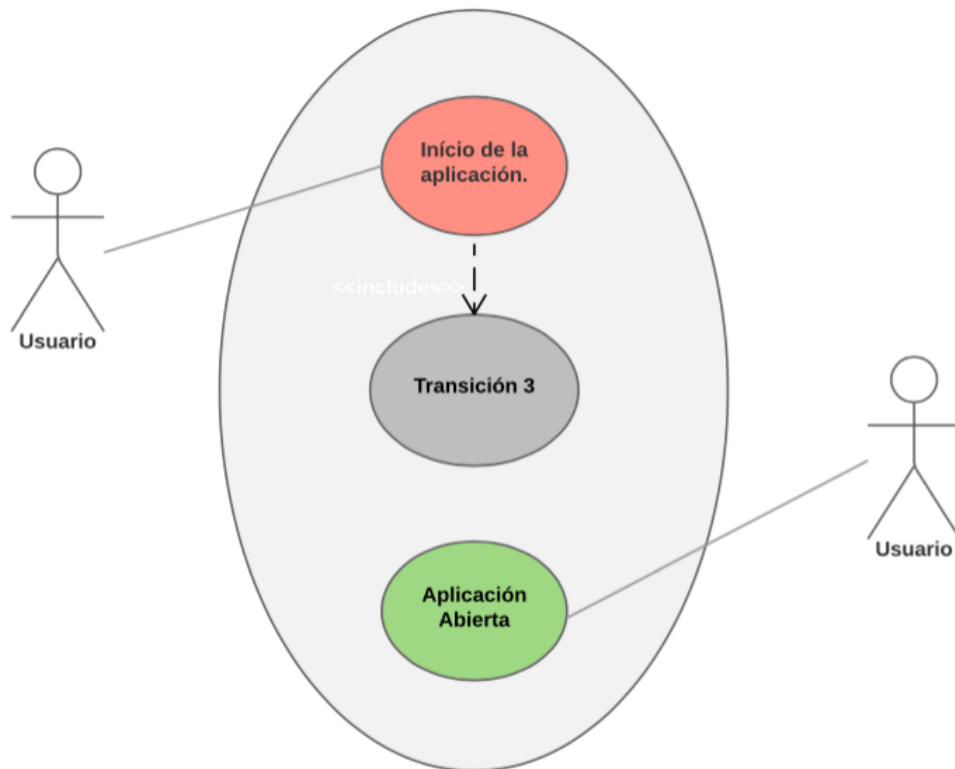
ID. del caso de uso	PAG01	
Nombre del caso de uso	Inicio de la aplicación (Transición 1)	
Prioridad	Baja	
Fuente	N/A	
Tipo	Ventana	
Descripción	Se inicia la aplicación, con el logotipo de la misma.	



ID del caso de uso	PAG02	
Nombre del caso de uso	Transición 2	
Prioridad	Baja	
Fuente	N/A	
Tipo	Ventana	
Descripción	Transición con el logotipo de la Universidad San Buenaventura, sede Bogotá.	



ID Del Caso De Uso	PAG03	
Nombre del caso de uso	Transición 3	
Prioridad	Baja	
Fuente	N/A	
Tipo	Ventana	
Descripción	Transición con el logotipo del programa de Ingeniería de Sonido de la Universidad San Buenaventura, sede Bogotá.	

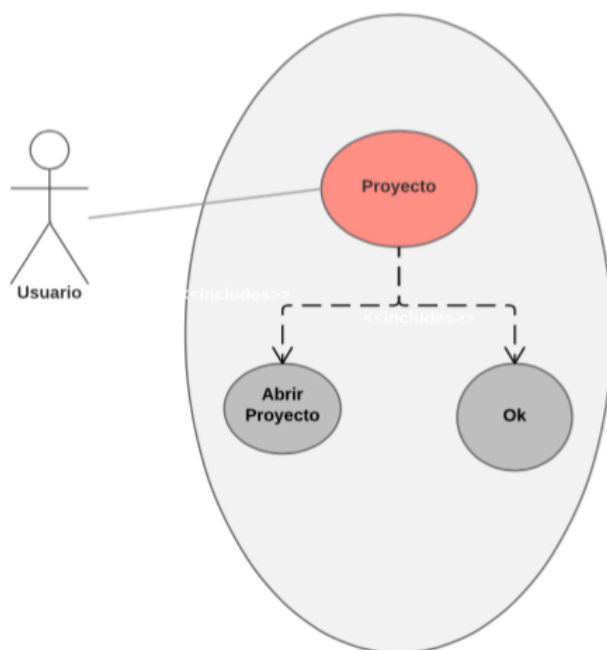


3. VENTANA PROYECTO

ID del caso de uso	PYT01	
Nombre del caso de uso	Proyecto	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Ventana	
Descripción	Ventana inicial en donde aparecerán las opciones "Abrir Proyecto" y "Ok".	

ID del caso de uso	PYT02	
Nombre del caso de uso	Abrir proyecto	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Botón De Acción	
Descripción	Al oprimir el botón a el usuario se le desplegara un menú con los proyecto guardados con anterioridad	

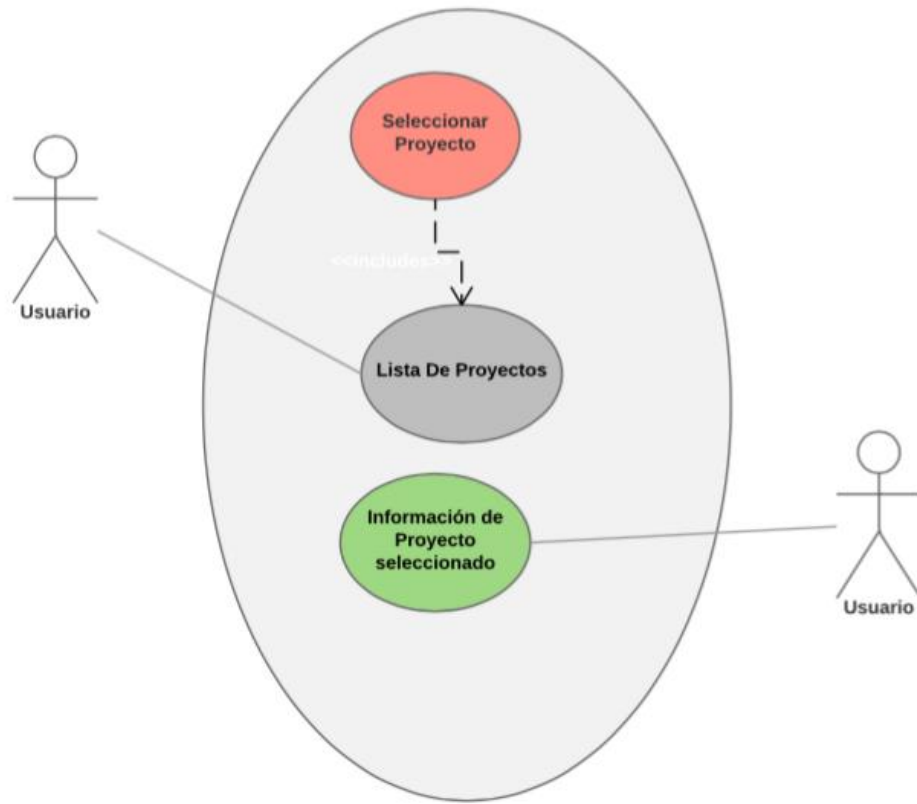
ID del caso de uso	PYT03	
Nombre del caso de uso	Ok	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Botón de acción	
Descripción	Cuando el usuario oprima Ok, el nombre que ingreso creara una carpeta en el disco local el móvil con el nombre que se haya ingresado; esto con el fin de almacenar los audios que estén allí.	



3.1 SELECCIONAR PROYECTO

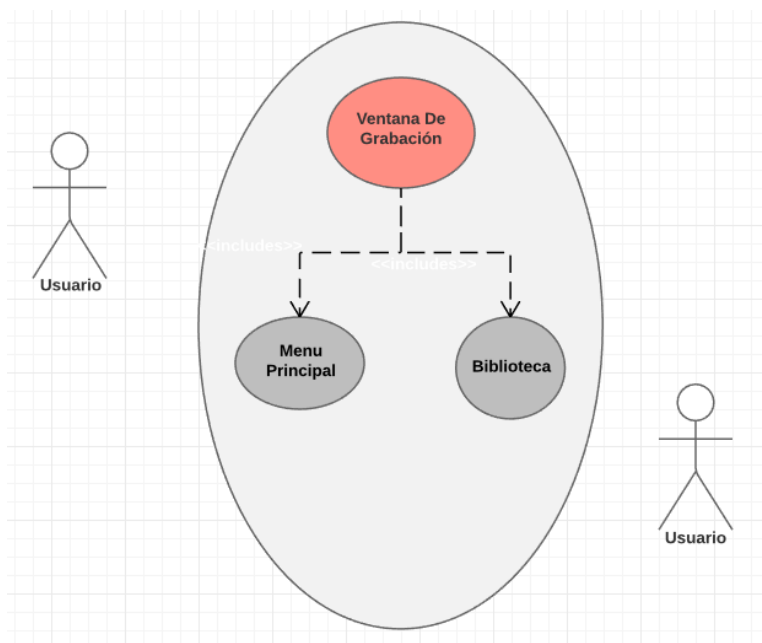
ID del caso de uso	PYT04	
Nombre del caso de uso	Seleccionar proyecto	
Prioridad	Media	
Fuente	N/A	
Tipo	Ventana	
Descripción	Ventana en donde el usuario podrá seleccionar de una lista de proyectos el que desee.	

ID del caso de uso	PYT05	
Nombre del caso de uso	Información seleccionar proyecto	
Prioridad	Media	
Fuente	N/A	
Tipo	Ventana	
Descripción	Información del proyecto seleccionado, SampleRate and Bit Depth y el formato.	



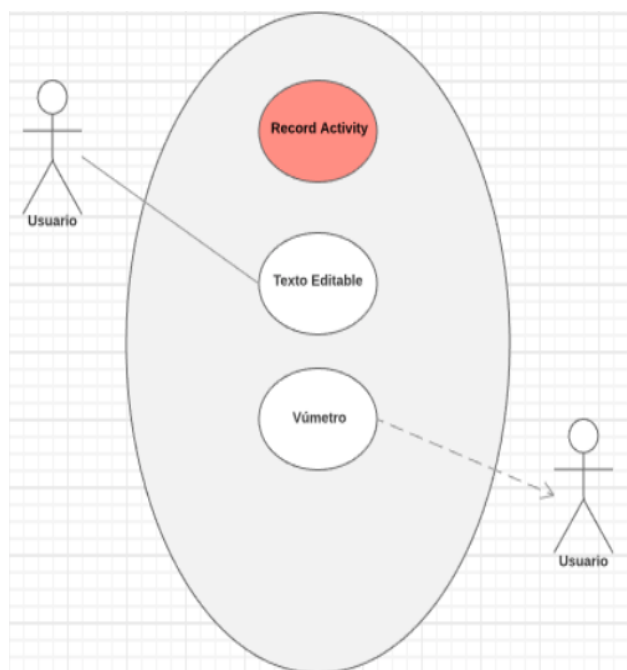
4. VENTANA GRABACIÓN

ID del caso de uso	RA01	
Nombre del caso de uso	Record activity	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Ventana	
Descripción	Ventana principal de trabajo, en ella se encuentran las herramientas necesarias para realizar una grabación, el botón de grabar y stop son visibles al usuario al igual que la opción de ingresar el nuevo nombre a la grabación.	
ID del caso de uso	RA02	
Nombre del caso de uso	Pestañas principales	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Pestaña	
Descripción	Esta pestaña principal contiene dos sub pestañas, la primera ubicada del lado izquierdo tendrá como nombre "Menú Principal" y la del lado derecho se llamará "Biblioteca"	



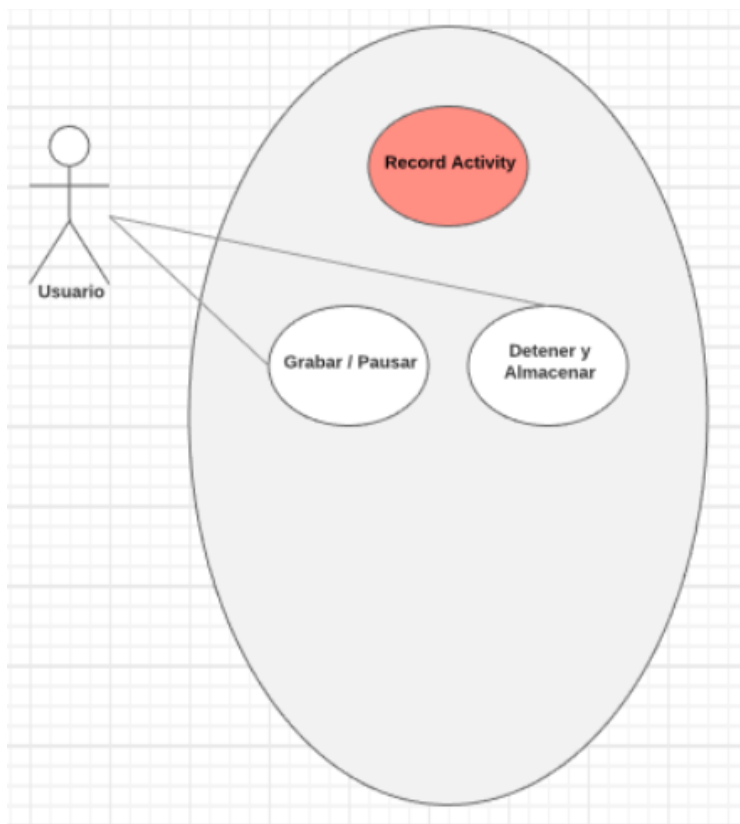
ID del caso de uso	RA03	
Nombre del caso de uso	Vúmetros	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Vúmetro	
Descripción	Los vúmetros estarán configurados para que el nivel de entrada en dBFS se vea reflejado en ellos, tendrán 10 cajones de longitud vertical.	

ID Del Caso De Uso	RA04	
Nombre del caso de uso	Nombre de grabación	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Texto editable	
Descripción	El usuario deberá para poder grabar ingresar el nombre para un nuevo archivo; en caso de que el usuario no ingrese el nombre aparecerá una ventana fantasma informándole acerca de la necesidad de ingresar el nombre. La ventana de advertencia llevara el siguiente texto: “Seleccione un nombre de grabación”.	



ID del caso de uso	RA05	
---------------------------	------	--

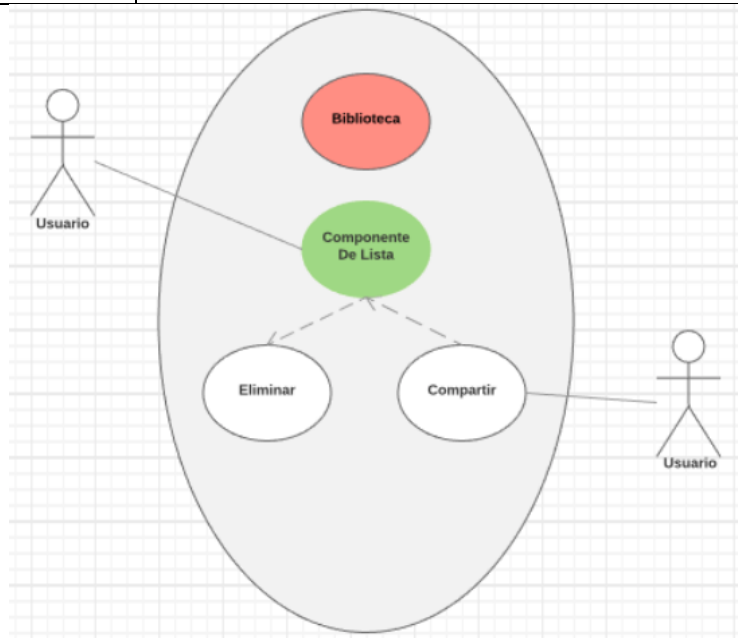
Nombre del caso de uso	Grabar						
Prioridad	Alta						
Fuente	N/A						
Tipo	Botón						
Descripción	Botón principal de grabación, el cual tendrá dos estados. Grabar y pausar la grabación. La imagen tendrá que cambiar para cada uno de los estados.						
ID del caso de uso	RA06						
Nombre del caso de uso	Detener						
Prioridad	Alta						
Fuente	N/A						
Tipo	Botón						
Descripción	Botón principal que indica detener la grabación, cuando el usuario lo oprima el archivo será almacenado como un archivo nuevo junto con el nombre que se ingresó para el mismo.						



5. BIBLIOTECA

ID del caso de uso	BTC01	
Nombre del caso de uso	Biblioteca	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Ventana	
Descripción	Ventana principal en donde se muestra una lista de los archivos almacenados dentro del proyecto, cada uno de los archivos viene acompañado de un texto que indica la información más	

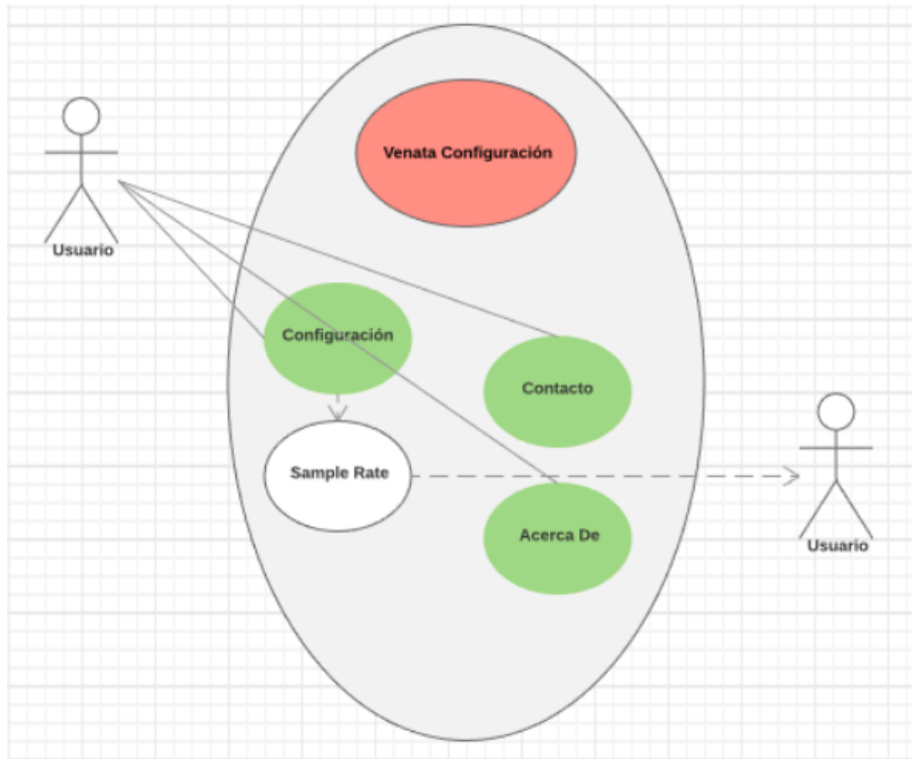
	relevante del mismo; es decir, el SampleRate, el BithDepth y la duración en segundos del archivo.	
ID del caso de uso	BTC02	
Nombre del caso de uso	Lista de archivos	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Componente de lista	
Descripción	Cada uno de los archivos aparece en el listado, cuando el usuario mantiene presionado se le desplegará una pequeña ventana con la opción de eliminar el archivo y compartirlo.	



6. CONFIGURACIÓN Y OTROS

ID del caso de uso	CNF01	
Nombre del caso de uso	Ventana de configuración	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Configuración	
Descripción	Ventana en donde aparecerá la opción de cambiar el SampleRate de el proyecto; no aplica a los archivos que ya están almacenados.	
ID del caso de uso	CNF02	
Nombre del caso de uso	Listado de botón	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	ListBotton	
Descripción	El usuario tendrá dos opciones para la frecuencia de muestreo; 44.100 Hz y 48.000 Hz. Solo podrá seleccionar una de estas.	
	CNF03	

ID del caso de uso		
Nombre del caso de uso	Contacto	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Ventana	
Descripción	Ventana que expondrá la información del programador, diseñador y acompañamiento por parte del docente de la materia.	
ID del caso de uso	CNF04	
Nombre del caso de uso	Acerca de	
Prioridad	Media	
Fuente	Óptima	
Tipo	Ventana	
Descripción	Ventana que explicará en qué consiste la aplicación y cómo utilizarla	



APÉNDICE C

Diagrama UML de componentes

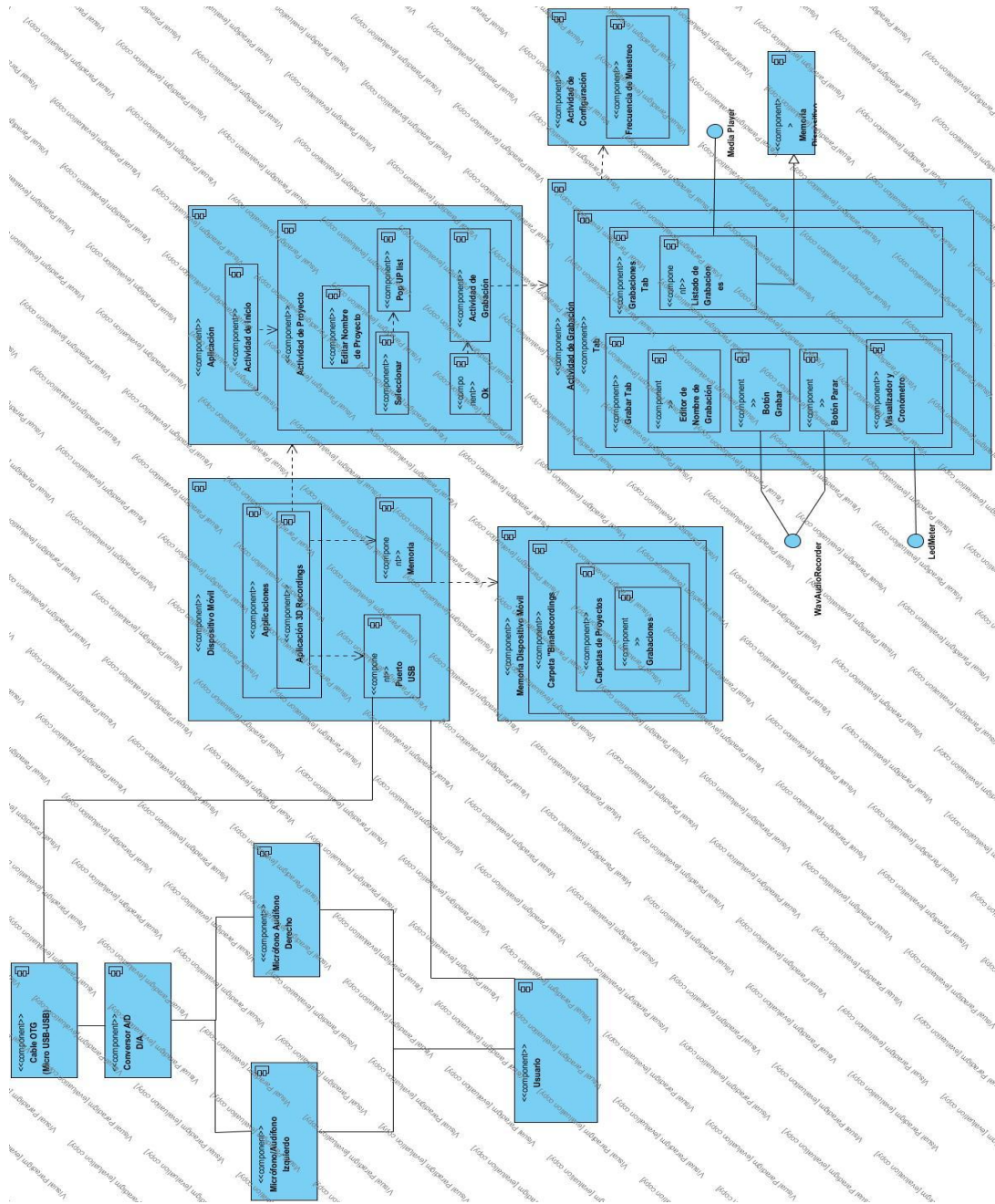



Figura 65. Diagrama de componentes de la aplicación (software Visual Paradigm).

ANEXOS

ANEXO A



ANDREA
SB-205W

SUPERBEAM[®]BUDS

HI DEFINITION USB "BOOM FREE" STEREO HEADSET WITH
ARRAY MICROPHONES AND 3D SURROUND SOUND RECORDING

Music Listening

VOIP


Video Conferencing

Computer Gaming


Speech Recognition

Stereo Recording


FEATURES:




Hi Fidelity speaker drivers with acoustic bass expansion



USB soundcard with digital sample rates for Hi definition audio




Binaural microphone placement for 3D surround sound recording



Adaptive beam forming noise cancellation for boom free microphone VoIP communications

***Red represents voice direction**



(AVAILABLE IN BLACK AND WHITE)

MIC INPUT


- A/D Conversion Resolution 16 bit
- THD + N -84 dB
- Supply Bias Resistor 2.2K Ohm @ 3.3VDC
- Frequency Response 20-20,000 Hz
- Input Range 0 - 1.25 Vrms
- Dynamic Range 95 dB
- Record Gain Range -6 to 33 dB

STEREO OUTPUT


- D/A Conversion Resolution 16 bit
- THD + N -91 dB
- Frequency Response 20-20,000 Hz
- Output Load 32 Ohm
- Output Voltage 1.27 Vrms

CONNECTION


- Standard USB 2.0
- Microphone Jack 3.5mm (Red)
- Speaker Jack 3.5mm (Green)




USB HD AUDIO ADAPTER



BOOM FREE MICROPHONE



VOLUME/MUTE CONTROL



AUDIOCOMMANDER SOFTWARE

An intuitive graphical user interface that controls the SuperBeam headsets' beam forming, noise cancellation, speaker equalization and Digital Audio Recorder with AE3D surround sound recording feature.

*AUDIO FILTERS FOR PC AND MAC

Andrea Electronics Corporation - 65 Orville Drive Suite One - Bohemia, NY 11716 (800) 442-7787 - www.andreaelectronics.com

Figura 67. Hoja de datos de los micrófonos in ears SB 205 W proporcionada por Andrea Electronics.