

## RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO.
2. **TÍTULO:** DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES IPAD QUE SIMULE EL COMPORTAMIENTO DE MICRÓFONOS CON RESPECTO A FUENTES GRABADAS DESDE EL DISPOSITIVO.
3. **AUTORES:** Andrés Márquez Ramírez, Samuel Antonio Galindo Campos.
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C
5. **FECHA:** Julio de 2019
6. **PALABRAS CLAVE:** Patrón polar, respuesta en frecuencia, rango en frecuencia, sensibilidad, dispositivo móvil, micrófono.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** Este proyecto busca fabricar una aplicación para dispositivos móviles puntualmente iPad, que permite al usuario simular las características de un micrófono (rango en frecuencia, respuesta en frecuencia, patrón polar y sensibilidad) y realizar ejercicios de escucha con fuentes grabadas desde el dispositivo.
8. **LÍNEAS DE INVESTIGACION:** Línea de Investigación de la USB: Tecnologías actuales. Sub línea de Facultad de Ingeniería: Análisis y Procesamiento de señales. Campo Temático del Programa: Audio y Acústica.
9. **METODOLOGÍA:** Es de carácter empirico-analitico, con un enfoque metodológico con base en el diseño e implementación de aplicación para dispositivos móviles iPad.
10. **CONCLUSIONES:** La aplicación desarrollada cumple con los objetivos planteados, pero debido al micrófono propio del iPad la simulación en frecuencias inferiores a 250 Hz y superiores a 8 KHz es limitada.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES  
IPAD QUE SIMULE EL COMPORTAMIENTO DE MICRÓFONOS CON RESPECTO A  
FUENTES GRABADAS DESDE EL DISPOSITIVO**

**Samuel Antonio Galindo Campos**

**Andrés Márquez Ramírez**

**Universidad de San Buenaventura**

**Facultad de Ingeniería**

**Ingeniería de Sonido**

**Bogotá, D.C.**

**2019**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES  
IPAD QUE SIMULE EL COMPORTAMIENTO DE MICRÓFONOS CON RESPECTO A  
FUENTES GRABADAS DESDE EL DISPOSITIVO**

**Samuel Antonio Galindo Campos  
Andrés Márquez Ramírez**

**Proyecto de grado para optar por el título de:  
Ingeniero de Sonido**

**Tutor  
Manuel Fernando Torres Cifuentes**

**Línea de investigación  
Diseño de sistemas de audio.**

**Universidad de San Buenaventura  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería de Sonido  
Bogotá, D.C.  
2019**

## **Agradecimientos**

A nuestros familiares, que siempre estuvieron brindándonos su apoyo en este proceso, los cuales tuvieron paciencia y encontraron la mejor manera de ayudarnos a lograr este objetivo. Agradecemos a nuestras familias por que sin su apoyo no hubiera sido posible lograr estudiar y llegar a la meta de presentar nuestro proyecto de grado.

Gracias a nuestros profesores, que durante en el proceso, nos brindaron su conocimiento y apoyo, por contarnos sus anécdotas y experiencias en este gran ámbito laboral, por apoyarnos frente al proyecto, en el cual contamos con el tiempo incondicional ante cualquier duda, cuando era necesario.

A todas las personas que fueron participes y nos orientaron en este gran proyecto que para nuestras vidas ha sido sumamente importante.

## **Resumen**

Desde la creación del primer micrófono en el año 1876 desarrollado por Elisha Gray y Alexander Graham Bell, hasta la actualidad, podemos encontrar en el mercado diferentes tipos de micrófonos, los cuales se pueden clasificar por su tipo de fabricación y aplicación. A raíz de esto, actualmente en el mercado se pueden encontrar una gran variedad de micrófonos para un uso específico.

Por otro lado, debido al avance de la tecnología, se han creado dispositivos móviles que incluyen micrófonos, como por ejemplo el iPad. El uso de estos dispositivos móviles se ha masificado a nivel mundial, creando un mercado para desarrolladores, los cuales fabrican un sin número de aplicaciones con diferentes tipos de usos o enfoques.

Este proyecto busca fabricar una aplicación para dispositivos móviles puntualmente iPad, que permite al usuario simular las características de un micrófono y realizar ejercicios de escucha con fuentes grabadas desde el dispositivo.

**Palabras claves: patrón polar, respuesta en frecuencia, rango en frecuencia, sensibilidad, dispositivo móvil, micrófono.**

## **Abstract**

Since the creation of the first microphone in the year 1876 developed by Elisha Gray and Alexander Graham Bell, until today, we can find in the market different types of microphones, which can be classified by their type of manufacture and application. As a result of this, currently in the market you can find a wide variety of microphones for a specific use.

On the other hand, due to the advancement of technology, mobile devices have been created that include microphones, such as the iPad. The use of these mobile devices has become widespread worldwide, creating a market for developers, who manufacture a number of applications with different types of uses or approaches.

This project seeks to manufacture an application for mobile devices on iPad, which allows the user to simulate the characteristics of a microphone and perform listening exercises with sources recorded from the device.

**Keywords: polar pattern, frequency response, frequency range, sensitivity, mobile device, microphone.**

## Tabla de contenido.

<b>1. Problema de investigación.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. Justificación .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
1.1.1. Objetivo general.....	17
1.1.2. Objetivos específicos .....	17
<b>2. Marco de referencia.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2. Marco conceptual.....</b>	<b>19</b>
2.2.1. Micrófono .....	19
2.2.2. Sensibilidad.....	19
2.2.3. Rango en frecuencia.....	20
2.2.4. Respuesta en frecuencia.....	20
2.2.5. Directividad.....	21
2.2.5.1. Cardioide.....	21
2.2.5.2. Hipercardioide.....	22
2.2.5.3. Subcardioide .....	22
2.2.5.4. Bidireccional .....	23
2.2.5.5. Omnidireccional.....	23
2.2.6. Tipo de micrófonos según su mecanismo de transducción.....	24
2.2.7. Señal de audio .....	25
2.2.8. Conversión análogo digital .....	25
2.2.9. Audio digital .....	26
2.2.10. Dispositivos Móviles. ....	26
2.2.11. iPad .....	27
2.2.12. iOS .....	27
2.2.13. X-Code.....	27
2.2.14. X-Code ID.....	28
2.2.15. LLVM compilador .....	28
2.2.16. Apple LLVM compilador .....	28
2.2.17. Swift.....	28
2.2.18. RealmSwift .....	28
2.2.19. UIKit .....	29
2.2.20. AVFoundation.....	29
2.2.21. Media Player .....	29
2.2.22. Simulador de iOS.....	30
<b>3. Diseño Metodológico .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Líneas De Investigación .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. Alcances .....</b>	<b>31</b>

<b>3.3. Limitaciones.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4. Hipótesis.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5. Variables .....</b>	<b>32</b>
3.5.1. Variables dependientes .....	32
3.5.2. Variables independientes .....	32
<b>4. Desarrollo ingenieril .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1. Desarrollar un algoritmo que permita simular el comportamiento de patrón polar, respuesta en frecuencia, rango en frecuencia y sensibilidad de un micrófono. ....</b>	<b>33</b>
4.1.1. Medición y caracterización del micrófono del iPad. ....	34
4.1.2. Diseño de algoritmo para simular rango en frecuencia, respuesta en frecuencia, patrón polar y sensibilidad de un micrófono.....	38
4.1.2.1. Rango en frecuencia.....	38
4.1.2.2. Respuesta en frecuencia.....	38
4.1.2.3. Sensibilidad.....	39
4.1.2.4. Patrón polar.....	39
<b>4.2. Implementar el algoritmo desarrollado para dispositivos móviles iPad optimizado para iOS 9.3.5 con una interfaz gráfica que permita desplazar la fuente alrededor del micrófono. ....</b>	<b>39</b>
4.2.1. Diseño de una interfaz gráfica. ....	39
4.2.2. Implementación módulo “Micrófonos” para ingreso de características de micrófonos en la aplicación. ....	40
4.2.3. Implementación del módulo “Audios” para almacenar audios grabados desde el dispositivo. ....	43
4.2.4. Implementación del módulo “Jugar” para realizar el ejercicio de escucha. ....	44
<b>4.3. Realizar pruebas objetivas de directividad, respuesta en frecuencia, rango en frecuencias y sensibilidad, para evaluar su funcionalidad.....</b>	<b>45</b>
4.3.1. Grabación y almacenamiento de ruido rosa y tono puro de 1 KHz en dos de los bancos disponibles en el módulo “Audios” de la aplicación. ....	45
4.3.2. Medición de la simulación del módulo “Jugar” de la aplicación móvil con Smaart. ....	45
4.3.3. Medición de la simulación del módulo “Jugar” de la aplicación móvil con osciloscopio.....	46
<b>4.4. Evaluar mediante pruebas subjetivas, el desempeño de la aplicación propuesta. ....</b>	<b>46</b>
4.4.1. Definir muestra para realizar la encuesta.....	47
4.4.2. Definir las variables a evaluar.....	48
4.4.3. Estructurar la prueba subjetiva.....	48
4.4.3.1. Escalas de apreciación. ....	49
4.4.3.2. Tiempo total de la prueba subjetiva.....	49
4.4.3.3. Metodología de la evaluación subjetiva:.....	49
4.4.3.4. Lugar de realización de la evaluación subjetiva: .....	50
4.4.4. Realización de la prueba subjetiva.....	50
<b>5. Pruebas y resultados .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1. Caracterización del micrófono del iPad.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

5.2.	Rango de sensibilidad de un micrófono para la simulación.....	52
5.3.	Promediación de patrón polar para la simulación.....	52
5.4.	Resultados de la medición de la simulación del módulo “Jugar” con Smaart.....	54
5.5.	Resultados de la medición de la simulación del módulo “Jugar” con osciloscopio. 57	
5.6.	Resultados de las pruebas subjetivas de la aplicación.....	61
6.	Análisis de resultados .....	77
7.	Conclusiones:.....	79
8.	Bibliografía .....	81
9.	Anexos A:.....	84
10.	Anexos B .....	88

## Lista de figuras

Figura 1 Respuesta en frecuencia. ....	20
Figura 2 Patrón polar Cardioide.....	21
Figura 3 Patrón polar Hipercardioide. ....	22
Figura 4 Patrón polar Subcardioide. ....	22
Figura 5 Patrón polar Bidireccional.....	23
Figura 6 Patrón polar Omnidireccional.....	23
Figura 7 Micrófono dinámico. ....	24
Figura 8 Micrófono de condensador. ....	24
Figura 9 Conversión analogo -> digital. ....	26
Figura 10 Diagrama de bloques, desarrollo ingenieril.....	33
Figura 11 Diagrama de medición.....	35
Figura 12 Diagrama de bloques de medición del iPad. ....	35
Figura 13 Menú principal aplicación AllMics. ....	40
Figura 14 Módulo "Micrófonos" de la aplicación. ....	41
Figura 15 Menú de micrófonos inicial.....	42
Figura 16 Menú de micrófonos luego de introducir frecuencia inicial y final. ....	42
Figura 17 Módulo "Audios" de la aplicación AllMics. ....	43
Figura 18 Menú de audios inicial.....	43
Figura 19 Módulo "jugar" en la aplicación AllMics.....	44
Figura 20 Diagrama de bloques de medición del iPad. ....	45
Figura 21 Diagrama de bloques de la evaluación subjetiva.....	48
Figura 22 Diagrama de bloques de funcionamiento de la aplicación. ....	51
Figura 23 Respuesta en frecuencia micrófono iPad.....	37
Figura 24 Directividad del micrófono del iPad.....	38
Figura 25 Promedio de patrón polar Cardioide.....	52
Figura 26 Promedio de patrón polar Omnidireccional. ....	52
Figura 27 Promedio de patrón polar Bidireccional.....	53
Figura 28 Promedio de patrón polar Supercardioide. ....	53
Figura 29 Promedio de patrón polar Hipercardioide. ....	53
Figura 30 Promedio de patrón polar Subcardioide. ....	54
Figura 31 Respuesta en frecuencia. ....	55
Figura 32 Simulación en Smaart del patrón polar Cardioide.....	55
Figura 33 Simulación en Smaart del patrón polar Omnidireccional.....	55
Figura 34 Simulación en Smaart del patrón polar Bidireccional.....	56
Figura 35 Simulación en Smaart del patrón polar Supercardioide. ....	56
Figura 36 Simulación en Smaart del patrón polar Hipercardioide. ....	56
Figura 37 Simulación en Smaart del patrón polar Subcardioide. ....	57
Figura 38 Medición en el osciloscopio de la aplicación AllMics.....	57
Figura 39 Medición de osciloscopio con un valor máximo de voltaje pico a pico.....	58
Figura 40 Medición de osciloscopio con un valor mínimo de voltaje pico a pico. ....	58
Figura 41 Simulación en la aplicación del patrón polar Cardioide.....	59
Figura 42 Simulación en la aplicación del patrón polar Omnidireccional.....	59
Figura 43 Simulación en la aplicación del patrón polar Bidireccional.....	59
Figura 44 Simulación en la aplicación del patrón polar Supercardioide. ....	60
Figura 45 Simulación en la aplicación del patrón polar Hipercardioide. ....	60

Figura 46 Simulación en la aplicación del patrón polar Subcardioide. .... 60

## **Lista de ilustraciones**

Ilustración 1	Pregunta 1.a expertos.....	61
Ilustración 2	Pregunta 1.a no expertos.....	62
Ilustración 3	Pregunta 1.b expertos.....	63
Ilustración 4	Pregunta 1.b no expertos.....	63
Ilustración 5	Pregunta 1.c expertos.....	64
Ilustración 6	Pregunta 1.c no expertos.....	64
Ilustración 7	Pregunta 2.a expertos.....	65
Ilustración 8	Pregunta 2.a no expertos.....	66
Ilustración 9	Pregunta 2.b expertos.....	67
Ilustración 10	Pregunta 2.b no expertos.....	67
Ilustración 11	Pregunta 2.c expertos.....	68
Ilustración 12	Pregunta 2.c no expertos.....	69
Ilustración 13	Pregunta 2.d expertos.....	70
Ilustración 14	Pregunta 2.d no expertos.....	70
Ilustración 15	Preguntas 2.e expertos.....	71
Ilustración 16	Preguntas 2.e no expertos.....	71
Ilustración 17	Pregunta 2.f expertos.....	72
Ilustración 18	Pregunta 2.f no expertos.....	72
Ilustración 19	Pregunta 3.a expertos.....	73
Ilustración 20	Pregunta 3.a no expertos.....	73
Ilustración 21	Pregunta 3.b expertos.....	74
Ilustración 22	Pregunta 3.b no expertos.....	74
Ilustración 23	Preguntas 3.c expertos.....	75
Ilustración 24	Pregunta 3.c no expertos.....	75

## **Lista de tablas**

Tabla 1 Valores de respuesta en frecuencia del micrófono del iPad. ....	37
Tabla 2 Valores de respuesta en frecuencia de la simulación medidos con Smaart. ....	54
Tabla 3 Valores de patrón polar para la simulación. ....	88
Tabla 4 Patrón polar medido con Smaart.....	89
Tabla 5 Patrón polar medido con osciloscopio. ....	90
Tabla 6 Patrón polar normalizado.....	91

## **Lista de ecuaciones**

Ecuación 1 Sensibilidad.....	20
Ecuación 2 Velocidad del sonido.....	34
Ecuación 3 Longitud de onda. ....	34
Ecuación 4 Distancia.....	35
Ecuación 5 Rango de la sensibilidad. ....	52

## **Introducción**

Actualmente las grandes compañías de dispositivos móviles compiten en desarrollo, creación e innovación, dando como resultado, continuos avances tecnológicos con el fin de obtener un crecimiento cuantitativo en sus ventas para lograr posicionarse en el mercado. Puntualmente los beneficios para Apple por las ventas del iPad crecieron un 22% durante el primer trimestre de 2019 con respecto al año anterior y sigue siendo la Tablet más vendida. (Serio j. Ortiz, 2019).

Adicionalmente y debido a que tanto los fabricantes de estos dispositivos móviles como desarrolladores se han dedicado fabricar todo tipo de aplicaciones, el mercado de estas también sigue en crecimiento, tan solo en 2017 Apple Store recibió 755.000 nuevas aplicaciones y Google Play 1.500.000. (Samuel Hernandez, 2018).

Por otro lado, desde la creación del primer micrófono en el año 1876 desarrollado por Elisha Gray y Alexander Graham Bell, (Angelica Sánchez y Andrés Millán., 2014). Hasta la actualidad, podemos encontrar en el mercado diferentes tipos de micrófonos, los cuales se pueden clasificar por su tipo de fabricación y aplicación. A raíz de esto, actualmente en el mercado se pueden encontrar una gran variedad de micrófonos para un uso específico.

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca diseñar e implementar una aplicación para dispositivos móviles iPad, la cual permita simular las características de respuesta en frecuencia, patrón polar, sensibilidad y rango de frecuencia de un micrófono; adicionalmente realizar un ejercicio de escucha con audios grabados desde el dispositivo y almacenados en la aplicación, el cual permite al usuario realizar una comparación de las características de diferentes micrófonos de manera práctica y didáctica.

Esta aplicación tiene utilidad tanto en la academia como en el campo profesional ya que permite a los usuarios tener una aproximación al funcionamiento de un micrófono y comprender sus características mediante un ejercicio práctico.

## **1. Problema de investigación**

### **1.1. Planteamiento del problema**

Existen diferentes micrófonos para usos variados los cuales se pueden clasificar según su fabricación o principio de funcionamiento. Cada micrófono cuenta con diferentes características en cuanto a su sensibilidad, respuesta en frecuencia, patrón polar y rango en frecuencia.

Tanto en el campo académico como profesional, comprender cada una de las características de un micrófono son esenciales para una correcta selección y utilización de este.

Teniendo en cuenta lo anterior, y la masificación del uso de dispositivos móviles, entre ellos el iPad el cual es la tablet más vendida hasta la actualidad, nos lleva a plantear la siguiente pregunta:

**¿Cómo diseñar una aplicación para dispositivo móvil iPad que permita al usuario un acercamiento práctico y auditivo a las características de sensibilidad, respuesta en frecuencia, patrón polar y rango en frecuencia de un micrófono?**

### **1.2. Justificación**

En vista de la variedad de micrófonos que encontramos en el mercado y basado en las características de estos en cuanto a su patrón polar, sensibilidad, rango en frecuencia y respuesta en frecuencia, y siendo conscientes de la importancia de una correcta selección de un micrófono para un uso específico tanto en el proceso de formación como en el campo profesional, se desarrolla una aplicación para dispositivos móviles iPad, debido a su popularidad, que simule estas características y permita al usuario realizar un ejercicio de escucha con fuentes grabadas en el dispositivo.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.1.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar una aplicación para dispositivos móviles iPad que simule las características de diferentes micrófonos para realizar un ejercicio de escucha con fuentes grabadas desde el dispositivo.

#### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Desarrollar un algoritmo que permita simular el comportamiento de patrón polar, respuesta en frecuencia, rango en frecuencia y sensibilidad de un micrófono.
- Implementar el algoritmo desarrollado para dispositivos móviles iPad optimizado para iOS 9.3.5 con una interfaz gráfica que permita desplazar la fuente alrededor del micrófono.
- Realizar pruebas objetivas de directividad, respuesta en frecuencia, rango en frecuencias y sensibilidad, para evaluar su funcionalidad.
- Evaluar mediante pruebas subjetivas, el desempeño de la aplicación propuesta.

## **2. Marco de referencia.**

### **2.1. Antecedentes**

En la última década diferentes desarrolladores han fabricado aplicaciones móviles que buscan brindar al usuario información sobre las características y el funcionamiento de diferentes micrófonos, algunas de ellas incluso han llegado a simular un micrófono en espacios precargados.

Una de estas aplicaciones móviles que brindaba información de micrófonos se llamaba “Miclopedia”, (MicLopedia, 2010). En la cual se encontraban una gran cantidad de micrófonos organizados por marcas y series, donde el usuario podía ver las características en cuanto a su impedancia, respuesta en frecuencia, rango en frecuencia, patrón polar, peso, valor estimado y aún en algunos casos se podía ver una imagen del micrófono.

Otra aplicación móvil la cual se desarrolló en Barcelona, España denominada “Arapolarmic” (ARATECHLABS S.L., 2014) contenía la misma información de Miclopedia pero adicionalmente permitía al usuario visualizar en realidad aumentada el patrón polar sobre el micrófono físico a través de la cámara del iPad.

También se han desarrollado varias aplicaciones de grabación que hacen uso del micrófono del iPad como “Voice Record Pro”, (Dayana Networks Ltd, 2016). La cual utiliza el micrófono del iPad para realizar grabaciones de audio y almacenarlas en una librería.

Adicionalmente, se han desarrollado trabajos de simulación de micrófonos, los cuales se pueden encontrar en diferentes papers. Uno de ellos llamado “Simulating the response of multiple microphones to a single acoustic source in a reverberant room”, (Peterson, 1986). Busca simular el comportamiento de varios micrófonos cuando una fuente dentro de un recinto medido con anterioridad se mueve, teniendo en cuenta los problemas de fases entre varios micrófonos de un arreglo.

Otro trabajo de simulación de micrófonos se titula “Simulation of Directional Microphones in Digital Waveguide Mesh-Based Models of Room Acoustics”, (Hacıhabiboğlu et al., 2010). El cual

presenta un método para la simulación de micrófonos direccionales en los modelos basados en DWM de una sala acústica. El método se basa en la ponderación direccional de la respuesta del micrófono de acuerdo con la dirección instantánea de la incidencia en un punto dado.

Algunos de los trabajos realizados referente a simulaciones de micrófonos, hacen uso de algoritmos de programación como se puede ver en “A new beamformer design algorithm for microphone arrays”, (Tashev & Malvar, 2005). El cual hace una simulación de los patrones de directividad de micrófonos para calcular soluciones óptimas para un arreglo de micrófonos en una geometría arbitraria. Otros, además de hacer uso de algoritmos de programación, utilizan una interfaz gráfica como se puede encontrar en el paper llamado “A Spherical Microphone Array for Synthesising Virtual Directive Microphones in Live Broadcasting and in Post Production”, (Farina, Capra, Chiesi, & Scopece, 2010). El cual es un sistema de grabación multicanal basado en un conjunto de 32 cápsulas esféricas y permite sintetizar hasta 7 micrófonos virtuales en tiempo real y además permite al usuario interactuar de manera gráfica variando los micrófonos virtuales en una imagen de video 360°.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Micrófono**

El micrófono es un transductor electroacústico. Su función es transducir las vibraciones de presión acústica ejercida sobre su cápsula, en energía eléctrica, permitiendo capturar sonidos de cualquier índole. En otras palabras, convierten las vibraciones acústicas o mecánicas en señales eléctricas. (Eargle, 2004).

Generalmente los micrófonos tienen un diafragma o superficie móvil sometida a una onda acústica. La salida correspondiente es una señal eléctrica.

### **2.2.2. Sensibilidad**

La sensibilidad es un concepto el cual indica la capacidad del micrófono de captar los sonidos que son débiles o de gran amplitud y convertirlos en señales eléctricas.

Las unidades de medida están dadas fundamental en V/Pa, suele expresarse también en mV/ Pa. Dado que el micrófono proporciona muy poca tensión por cada pascal de presión.

$$S = \frac{E}{p}$$

*Ecuación 1 Sensibilidad.*

E=Tensión,  $p$  = presión, S= sensibilidad.

(Eargle, 2004).

### 2.2.3. Rango en frecuencia

El oído y la voz humana se encuentran en el rango en frecuencias de 20 Hz a 20kHz. El rango en frecuencia de un micrófono indica qué rango del espectro audible que es capaz de recoger.

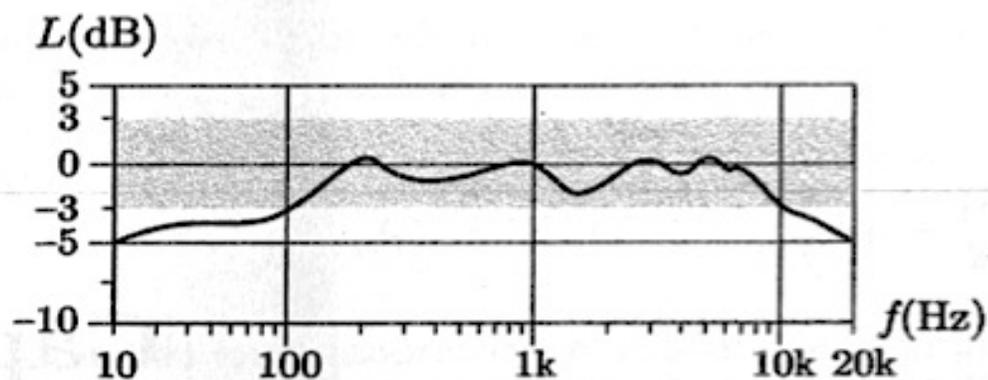
(Mireia Hidalgo, 2012)

### 2.2.4. Respuesta en frecuencia

Indica la variación en la sensibilidad de las distintas bandas de frecuencias. Esta permite obtener un comportamiento a la salida del micrófono en función de la frecuencia.

Viene dada mediante una gráfica donde se representa la sensibilidad frente a la frecuencia dada en dB relativos a la sensibilidad de 1 KHz, donde 0 dB corresponde siempre a la frecuencia de 1 KHz.

En la figura 5, se observa la respuesta en frecuencia de un micrófono que fue medido.



*Figura 1 Respuesta en frecuencia.*

Fuente:(Eargle, 2004).

### 2.2.5. Directividad

La directividad de un micrófono, se entiende como la variación que presenta la sensibilidad en función de la orientación del micrófono, o del ángulo con el que incide una fuente sonora. Es decir, muestra como varía la sensibilidad respecto a la dirección de procedencia del sonido. (Eargle, 2004).

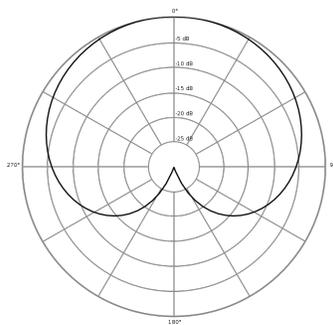
Esta variación se puede mostrar mediante diagramas polares, los cuales indican como varía la sensibilidad del micrófono con el ángulo entre la fuente sonora y el eje principal, es decir aquella dirección de máxima sensibilidad.

En el patrón polar o diagrama polar de un micrófono se refleja la sensibilidad con que es capaz de captar una señal sonora, esto dependiendo del ángulo que este incidiendo sobre este, para determinar el patrón polar de un micrófono, es necesario tener una cámara anicónica (cámara aislada sin reverberación) (Eargle, 2004).

Existe una forma de poder realizar un diagrama polar y es mediante el sistema de espectrometría, el cual consiste en realizar una medida de la respuesta en frecuencia del micrófono cada 15° desde los 0° hasta los 360°, después se toma cada dato para las frecuencias que desee graficar.

#### 2.2.5.1. Cardioide

Son micrófonos unidireccionales, donde la mayor sensibilidad está dada en su parte frontal y la mínima está dada en la parte posterior.



*Figura 2 Patrón polar Cardioide.*

Fuente: (Hacıhabiboş et al., 2010)

### 2.2.5.2. Hipercardioides

El ángulo de captación frontal es más cerrado a comparación de los cardioides como se observa en la figura 2, lo que da lugar a un mayor rechazo del ruido no deseado y de realimentación. El ángulo de captación típico de un micrófono hipercardioides como se observa en la figura 3 es aproximadamente de 105 grados. Esta concentración especial es beneficiosa cuando se trabaja en entornos con escenarios muy ruidosos. (Eargle, 2004).

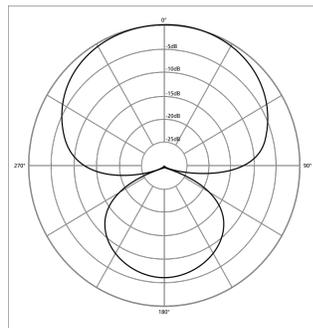


Figura 3 Patrón polar Hipercardioides.

Fuente: (Hacihabibó et al., 2010)

### 2.2.5.3. Subcardioides

Toma la calidad de un micrófono de estudio, lo cual es posible gracias al volumen más bajo en el escenario y a la reducción del riesgo de acoples. La reducción mínima de sensibilidad a sonidos que vienen de atrás de un micrófono subcardioides es suficiente para controlar la realimentación en un concierto a bajo volumen, mientras que permite beneficiarse del tono natural de un micrófono.

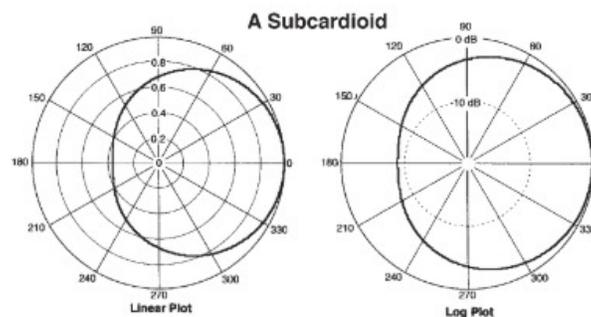


Figura 4 Patrón polar Subcardioides.

Fuente: (Eargle, 2004).

#### 2.2.5.4. Bidireccional

Tienen un diagrama polar en forma de figura de 8. Captan el sonido que llega por su parte frontal como por su parte posterior como observa en la figura 5. Sin embargo, suprimen los sonidos que llegan lateralmente. Un inconveniente del diagrama polar en forma de figura de ocho, son las interferencias destructivas que puedan producirse por efectos de contrafase. Para esto basta una reorientación del micrófono.

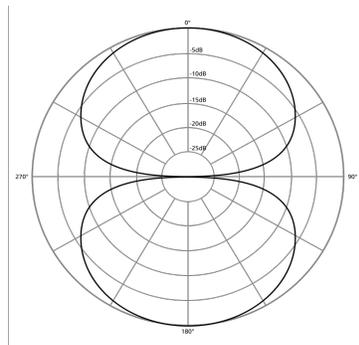


Figura 5 Patrón polar Bidireccional.

Fuente: (Hacihabibó et al., 2010)

#### 2.2.5.5. Omnidireccional

Tienen una sensibilidad uniforme en todos los ángulos, lo que implica que es capaz de captar sonidos procedentes de todas las direcciones. Por este motivo, este tipo de micrófonos no han de ser orientados hacia una dirección concreta, lo que resulta especialmente útil como micrófonos para ambientes, teniendo una gran ventaja donde mantienen una igualdad en la sensibilidad para todos los grados de incidencia.

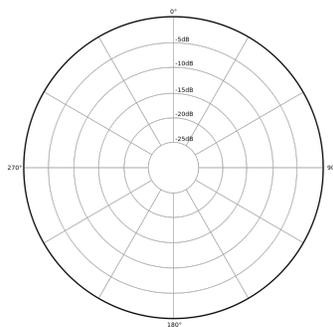


Figura 6 Patrón polar Omnidireccional.

Fuente: (Hacihabibó et al., 2010)

### 2.2.6. Tipo de micrófonos según su mecanismo de transducción

Los micrófonos se pueden clasificar según su mecanismo de transducción, entre esta clasificación se encuentran los micrófonos dinámicos, cuyo principio de funcionamiento está basado en el uso de una membrana, la cual se encuentra adherida a una bobina móvil que es movida a través de los cambios de presión creando desplazamientos al interior de un campo magnético que crea un imán permanente como se muestra en la figura 7.

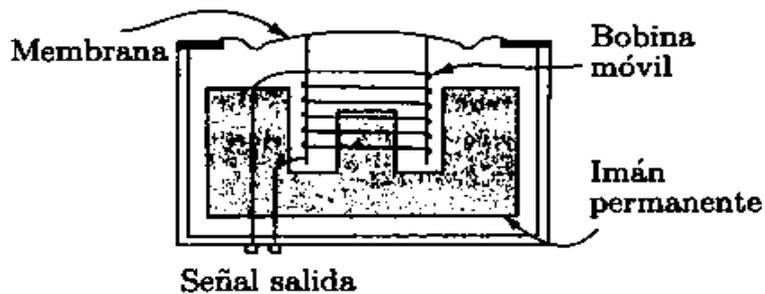


Figura 7 Micrófono dinámico.

Fuente: (Eargle, 2004).

Otros, son los micrófonos de condensador, los cuales son usados para instrumentación y calibración debido a la fase y su respuesta en frecuencia, tienen baja distorsión y ruido, entre otras características que presentan. Su construcción se basa en el uso de un condensador cuya capacidad varía con las variaciones en reposo, una fuente de tensión continua y una resistencia de carga.

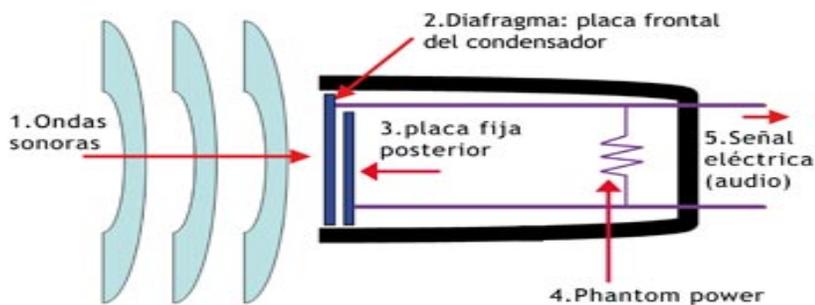


Figura 8 Micrófono de condensador.

Fuente: (Eargle, 2004).

### **2.2.7. Señal de audio**

Es una señal analógica eléctricamente exacta a una señal sonora y consta de tres aspectos fundamentales: frecuencia, amplitud y fase. Se encuentra dentro de un rango de frecuencias de 20 Hz a 20 KHz, el cual es el rango de frecuencias audibles por los seres humanos, aunque pocas personas logran escuchar por encima de los 16 KHz o por debajo de los 40 Hz. (Daoudi, 2000).

Una señal de audio está compuesta normalmente por una frecuencia fundamental y sus armónicos, estos últimos son múltiplos y submúltiplos de la frecuencia fundamental a los que se conocen como timbre, y son los que diferencian a dos fuentes de audio con la misma frecuencia fundamental. Al sumar frecuencias fundamentales más la suma y diferencia de sus armónicos se crea una forma de onda totalmente compleja con respecto al tiempo y la amplitud. (Daoudi, 2000).

### **2.2.8. Conversión análogo digital**

Es un proceso en el cual una señal eléctrica es convertida en números binarios digitales (bits) para ser procesada por un aparato digital. El proceso de esta conversión es muestreo, cuantización y codificación.

Durante el proceso de muestreo, la frecuencia de muestreo define número de muestras tomadas en 1 segundo a una señal análoga de sonido. Se mide en Hz y determina la velocidad con la que trabaja el convertidor análogo digital, normalmente es de 44.1 kHz para sonido en CD y de 48 kHz para video. (García Álvarez, 2015).

La cuantización, representa el componente de muestreo de las variaciones de valores de tensiones o voltajes tomados en diferentes puntos de la onda sinusoidal, que permite medirlos y asignarles sus correspondientes valores en el sistema numérico decimal, antes de convertir esos valores en sistema numérico binario.

Por último, la codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores de tensiones o voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original.

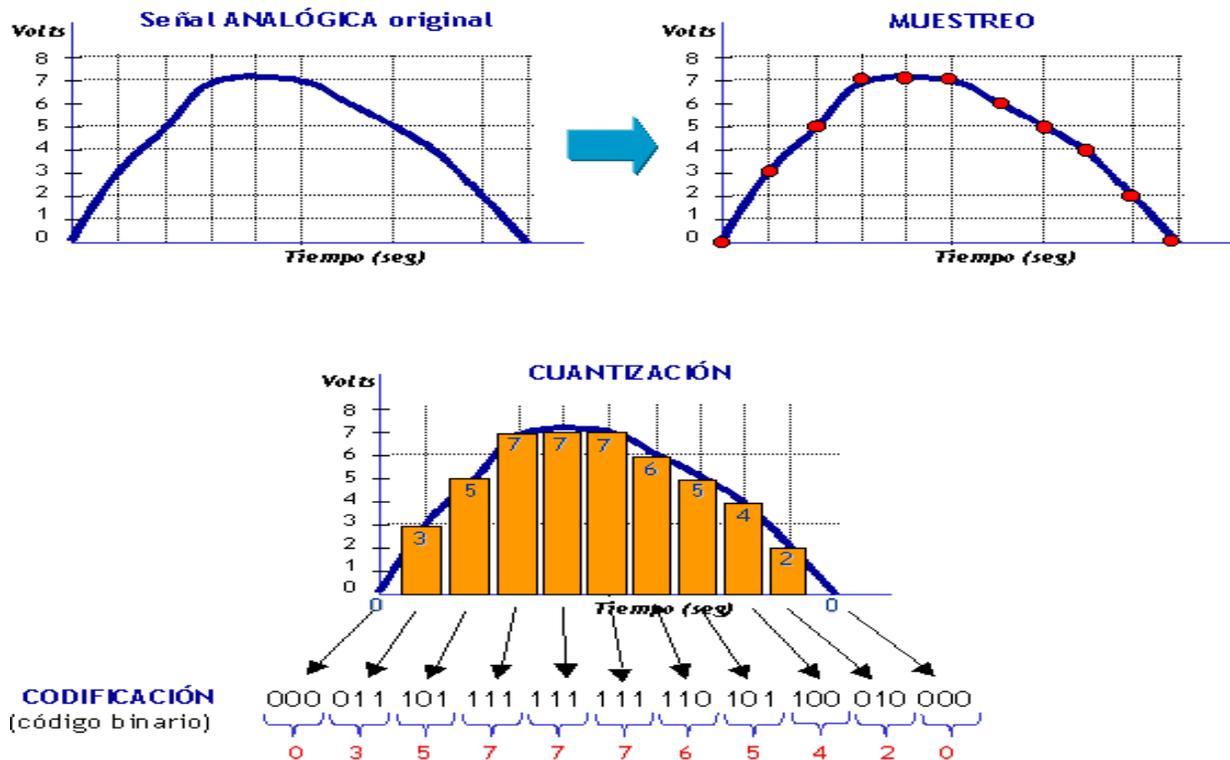


Figura 9 Conversión Analogo -> digital.

Fuente: (Diana Karen, 2011).

### 2.2.9. Audio digital

Es la representación de señales sonoras mediante un conjunto de datos binarios luego del proceso de conversión análogo digital.

(Bousono, 2010).

### 2.2.10. Dispositivos Móviles.

Es un dispositivo portátil que generalmente incluye una pantalla y un método de entrada. El mercado de los dispositivos móviles está en evolución permanente, así que constantemente aparecen nuevas versiones y actualizaciones de los distintos sistemas operativos.

(Dédalo, 2019).

Cada sistema operativo cuenta con un acceso directo a su propia tienda de aplicaciones en internet para elegir e instalar las aplicaciones móviles que el usuario desee.

Actualmente existen tres grandes organizaciones rivales que coexisten en el mercado: Apple, Google y Microsoft. Cada uno de ellos está especializado en diferentes marcas y modelos de dispositivos.

#### **2.2.11. iPad**

Es un dispositivo móvil desarrollado por Apple tipo tablet, esto quiere decir, que asume la modalidad de computadora portátil a través de la cual el usuario puede interactuar por medio de una pantalla táctil (Florencia Ucha, 2010).

Existen varios modelos de iPad ya que desde su lanzamiento en enero 27 de 2017 Apple ha lanzado cerca de 10 versiones diferentes del mismo.

#### **2.2.12. iOS**

iOS es un sistema operativo propio de Apple que se ejecuta en dispositivos iPhone, iPod touch, y iPad. Gestiona el hardware del dispositivo y proporciona las tecnologías necesarias para implementar las aplicaciones; incluye varias aplicaciones nativas de Apple (Apple, 2019a).

Cuenta con la biblioteca del desarrollador, el cual es un recurso útil en el desarrollo de aplicaciones ya que contiene guías de programación, código de ejemplos, consejos y orientación al momento de crear sus aplicaciones.

#### **2.2.13. X-Code**

Es una plataforma diseñada por Apple para el desarrollo de aplicaciones en sistemas operativos iOS y Mac OSX. Cuenta con una interfaz integrada que incluye menús de editores para diseñar e implementar el código de la aplicación y como tal la interfaz de usuario. Tiene una ventaja, la cual se basa en mostrar errores de la sintaxis del código en tiempo real y proponer soluciones. Cuenta con una sola ventana, la cual se llama ventana de trabajo (Apple, 2019c).

#### 2.2.14. X-Code ID

En esta herramienta el programador puede digitar el código fuente para la depuración, en el momento de presentar un error el programa pondrá una alerta de manera instantánea para que el programador se percate de solucionar dicho error (Apple, 2019c).

#### 2.2.15. LLVM compilador

Es una herramienta diseñada para detectar los posibles errores en una línea de código y dar una solución a ellos. Contiene diferentes de lenguaje de programación como lo son:

- C
- C++
- Objective-C

#### 2.2.16. Apple LLVM compilador

Este compilador trabaja a partir de un grupo de librerías que permite mejoras en la sintaxis, también cuenta con opciones de completar la digitación, métodos y clases.

Se puede adicionar que Apple también tiene un nuevo motor de depuración el cual fue diseñado por ellos mismos con el fin de lograr un menor consumo de memoria y mayor rapidez en su rendimiento. (LLVM.org, 2012).

#### 2.2.17. Swift

Es un lenguaje de programación de código abierto creado por Apple para desarrollar aplicaciones de iOS, Mac, Apple TV y Apple Watch. (Apple, 2018a)

#### 2.2.18. RealmSwift

Realm Swift permite escribir de manera eficiente el modelo de la aplicación de manera segura, persistente y rápida. La plataforma Realm se compone de dos componentes principales. La base de datos de Realm y el servidor de objetos de Realm. Estos dos componentes trabajan en conjunto

para sincronizar automáticamente los datos, lo que permite una gran cantidad de casos de uso que van desde aplicaciones sin conexión a integraciones complejas de back-end (Apple, 2019b).

#### **2.2.19. UIKit**

Proporciona la infraestructura necesaria para las aplicaciones iOS o tvOS, contiene la arquitectura de ventana y vista para implementar su interfaz, una función es el manejo de eventos para entregar a multi-touch y otros tipos de entrada a la aplicación, la ejecución principal es mediante el bucle, que es necesario para administrar las interacciones entre el usuario el sistema y la aplicación.

Otras características que ofrece el framework es que incluye soporte de animación, documentos, dibujo e impresión, información sobre el dispositivo actual, gestión y visualización de texto, soporte de búsqueda, soporte de accesibilidad, soporte de extensión de aplicaciones y gestión de recursos. (“UIKit | Documentación para desarrolladores de Apple,” 2018)

#### **2.2.20. AVFoundation**

Es un framework que se usa para reproducir y crear medios audiovisuales basados en el tiempo donde se puede capturar, procesar, sintetizar, controlar, importar y exportar medios audiovisuales en la plataforma de Apple. Contiene una interfaz llamada Objective-C y se puede usar para examinar, crear, editar o volver a codificar archivos multimedia (“AVFoundation | Apple Developer Documentation,” 2018).

#### **2.2.21. Media Player**

Proporciona a los desarrolladores varias formas de reproducir audios, estos reproductores de música incorporados contienen una manera sencilla de acceder y reproducir audio desde la biblioteca de música. Así mismo los reproductores de audio que sean externos, pueden recuperar y reproducir elementos multimedia desde la biblioteca de música del usuario. No se pueden reproducir elementos de medios de video usando el marco de media player.

También da la opción de reproducir su propia música en la aplicación, puede ser usado mientras se usa un videojuego al mismo tiempo, puede tener dos tipos de reproductores de multimedia esto dependiendo de lo que esté desarrollando, (“Media Player | Apple Developer Documentation,” 2018).

### 2.2.22. Simulador de iOS

La función del simulador como su palabra lo indica es permitir simular el funcionamiento de la aplicación dentro de cualquier dispositivo iOS para poder visualizar paso a paso cómo se va comportando.

X-Code y Swift 3.3 son las versiones en las cuales se trabaja el proyecto, estas ofrecen una interfaz con herramientas rediseñadas con el objetivo de facilitar el desarrollo de aplicaciones para iOS y Mac OSX. (Apple, 2019a).

### **3. Diseño Metodológico**

#### **3.1. Líneas De Investigación**

El enfoque del Proyecto es empírico analítico, ya que después de desarrollar la aplicación, se realizarán una serie de pruebas comparativas para luego analizar los resultados. Adicionalmente, y debido a que el proyecto busca desarrollar una aplicación móvil, es necesario utilizar software de programación que permitan realizar el procesamiento digital de señales de audio.

Este proyecto pertenece a la línea de investigación de “Diseño de Sistemas de Audio” de la Universidad San Buenaventura de Colombia, Sede Bogotá.

#### **3.2. Alcances**

- Brinda la posibilidad de agregar a la librería cualquier micrófono del cual se conozcan las características de patrón polar, sensibilidad, rango en frecuencias y respuesta en frecuencias.
- Permite grabar mediante el dispositivo cualquier fuente y adicionar este audio a la librería.
- Al realizar el ejercicio de escucha entre los micrófonos y los audios de las librerías se puede realizar un desplazamiento de la fuente alrededor de el para evidenciar su comportamiento.

#### **3.3. Limitaciones**

- No se cuenta con cámara anecoica para realizar la medición y la caracterización del micrófono del iPad.
- La aplicación guarda máximo cuatro audios grabados desde el dispositivo y realizar el ejercicio de escucha y máximo cinco micrófonos.
- La variación de la fuente con respecto al micrófono solo se podrá realizar cada 15° desde 0° hasta 360°.

- Al introducir un micrófono, el patrón polar (omnidireccional, subcardioide, cardioide, supercardioide, hypercardioide y bidireccional) se escogerá de una librería cargada dentro de la aplicación.
- La aplicación esta optimizada para iPad modelo A1432 con versión de software iOS 9.3.5.

### **3.4. Hipótesis**

Es posible simular el comportamiento de un micrófono a partir de las características entregadas por el fabricante.

### **3.5. Variables**

#### **3.5.1. Variables dependientes**

- Versión del dispositivo móvil iPad.
- Estado de la fuente.
- Estado del micrófono del iPad
- Condiciones ambientales del lugar al momento de grabar.

#### **3.5.2. Variables independientes**

- Características del micrófono a incluir en la librería.
- Estado del micrófono del iPad.

## 4. Desarrollo ingenieril

Este proyecto cuenta con cuatro objetivos específicos, los cuales se pueden observar en la Figura 10. Cada bloque muestra el objetivo principal y las tareas necesarias para cumplirlo.

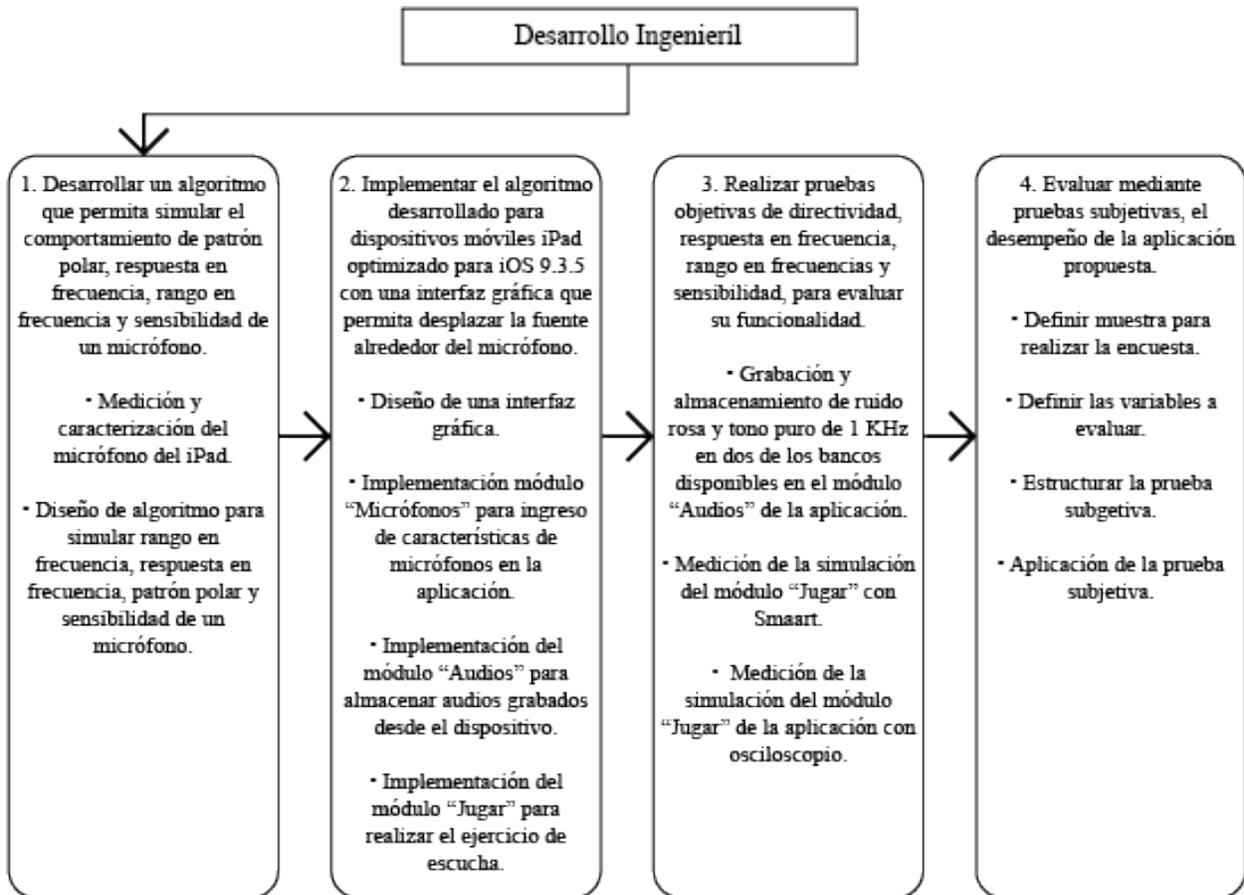


Figura 10 Diagrama de bloques, desarrollo ingenieril.

### 4.1. Desarrollar un algoritmo que permita simular el comportamiento de patrón polar, respuesta en frecuencia, rango en frecuencia y sensibilidad de un micrófono.

Para cumplir este objetivo se realizan una serie de mediciones del micrófono del iPad y se estructura el algoritmo que se necesita para realizar la simulación.

#### 4.1.1. Medición y caracterización del micrófono del iPad.

A raíz de que no se encuentra información referente al micrófono del iPad más allá de su ubicación y con el fin de conocer el patrón polar, la respuesta en frecuencia, el rango en frecuencia y la sensibilidad de este, es necesario medirlo.

Para realizar las mediciones y debido a que no se cuenta con una cámara anecoica en la Universidad se utiliza la sala de “live room” del estudio 5.1 de la Universidad. Para evitar que las características físicas y acústicas de la sala distorsionen la medición a realizar y teniendo en cuenta el valor de distancia crítica de esta (0,9 m) se utilizan los paneles absorbentes de la Universidad para rodear la medición (Eargle, 2004).

Se ubica el dodecaedro a un extremo y en el otro extremo el iPad. De la siguiente forma se calcula la distancia entre el dodecaedro y el iPad:

La temperatura ( $T$ ) en el momento de realizar la medición es de catorce grados centígrados, utilizamos la ecuación de Velocidad del Sonido ( $C$ ):

$$C = 331.4 + 0.61 * T$$

$$C = 331.4 + 0.61 * 14$$

$$C = 339.94 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

*Ecuación 2 Velocidad del sonido.*

Luego con la velocidad obtenida y tomando como base la frecuencia ( $f$ ) de 1 Khz para todas las mediciones, calculamos la ecuación de Longitud de Onda ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{C \left[ \frac{m}{s} \right]}{f [Hz]}$$

$$\lambda = \frac{0.33994 \left[ \frac{m}{s} \right]}{1000 [Hz]}$$

$$\lambda = 0.33994 [m]$$

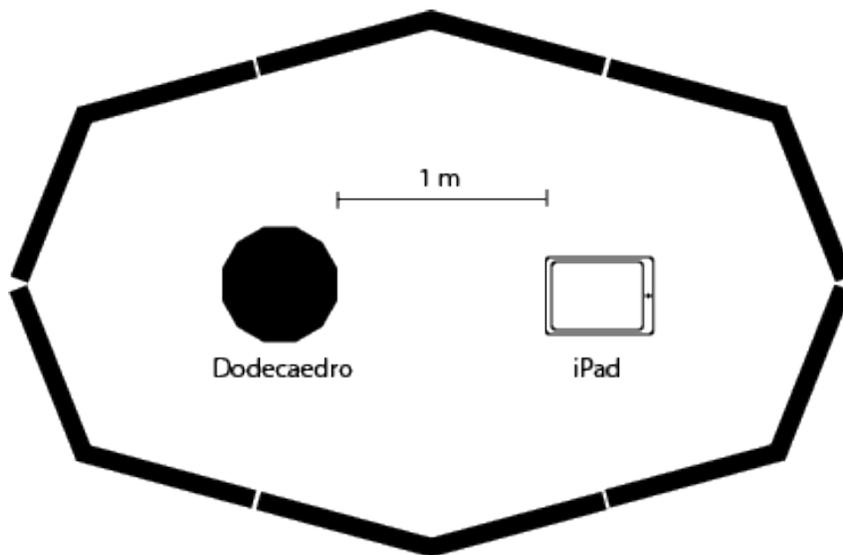
*Ecuación 3 Longitud de onda.*

Posteriormente, teniendo en cuenta que las mediciones de micrófonos se realizan a 1 m de distancia y con una frecuencia de 1 KHz (Uribe, 2015). Y teniendo en cuenta la longitud de onda ( $\lambda$ ) obtenida, calculamos la distancia ( $d$ ) igual a tres veces la Longitud de Onda obtenida:

$$d = \lambda [m] * 3$$
$$d = 0.33994 [m] * 3$$
$$d = 1.01982 [m]$$

*Ecuación 4 Distancia.*

Se ubica el iPad a una distancia de 1.01982 m del dodecaedro.



*Figura 11 Diagrama de medición.*

Con el fin de garantizar un nivel adecuado de medición se mide el ruido de fondo con un sonómetro y se genera un nivel 30 dB mayor al ruido de fondo. La medición se realiza a 79,2 dB.

Con un transportador se traza una grilla en el suelo con cinta, colocando líneas cada quince (15) grados. Se utiliza Logic Pro como generador conectado al dodecaedro y se realiza la conexión que se puede ver en el siguiente diagrama de bloques:



*Figura 12 Diagrama de bloques de medición del iPad.*

Para medir la directividad del iPad se genera un tono puro de 1 KHz. Debido a que este no cuenta con una aplicación nativa que permita grabar solo audio, se graba un video en cada posición con una duración de diez (10) segundos cada uno, se desplaza cada quince (15) grados en la grilla trazada en el suelo y se repite el proceso desde cero (0) hasta (360) grados.

Para la medición de la respuesta en frecuencia y rango en frecuencia, se genera ruido rosa y se graba un video con una duración de diez (10) segundos.

Posteriormente se separa el audio de cada uno de los videos utilizando Logic ProX y posteriormente por medio de Smaart, un analizador de espectro, se analizan las grabaciones y se tabulan los valores obtenidos para tener una gráfica de la respuesta en frecuencia por banda de octava, rango en frecuencia y patrón polar.

Luego de realizar las mediciones del iPad y tabular los datos obtenidos se evidencia que desde la frecuencia de 250 Hz hacia abajo existe una caída constante y desde la frecuencia de 8 KHz hacia arriba igualmente se presenta un decaimiento constante. En frecuencias medias entre 250Hz y 8 KHz la respuesta en frecuencia varía máximo en 1,2 dBFS.

Se intenta compensar en la programación estas caídas de la respuesta en frecuencia del iPad tanto en frecuencias bajas como en frecuencias altas en la programación, pero debido a que es bastante significativo el decaimiento no es posible conseguir esta compensación. Debido a esta limitación del micrófono propio del dispositivo la simulación tendrá limitaciones en frecuencias fuera del rango de 250 Hz y 8 KHz.

Se tabulan y grafican los valores obtenidos para tener una gráfica de la respuesta en frecuencia del micrófono del iPad por banda de octava:

Frecuencia (Hz)	Nivel (dBFS)
31.5	-4.9
63	-4.7
125	-1.8
250	0.6
500	0.5-
1000	0.0
2000	-0.6
4000	0.2
8000	-0.3
16000	-8.4

Tabla 1 Valores de respuesta en frecuencia del micrófono del iPad.

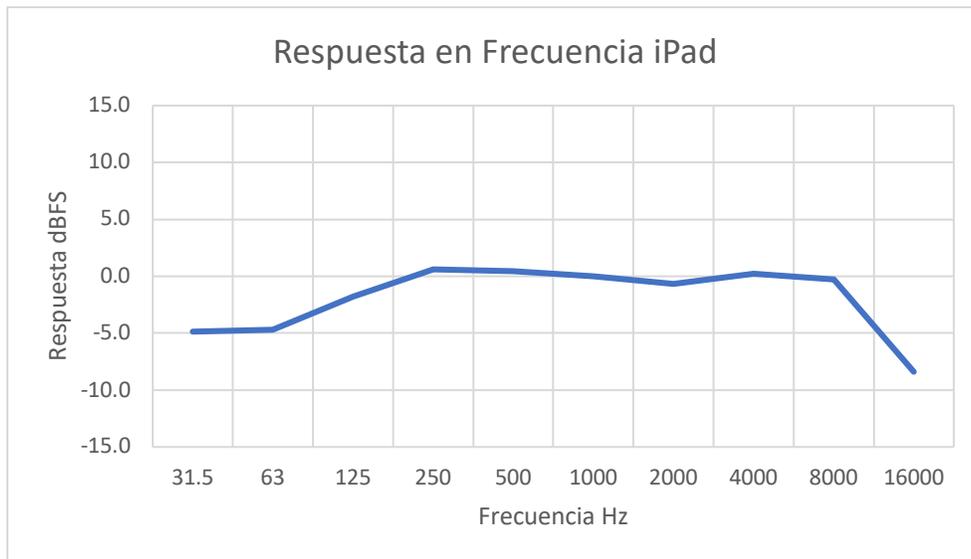
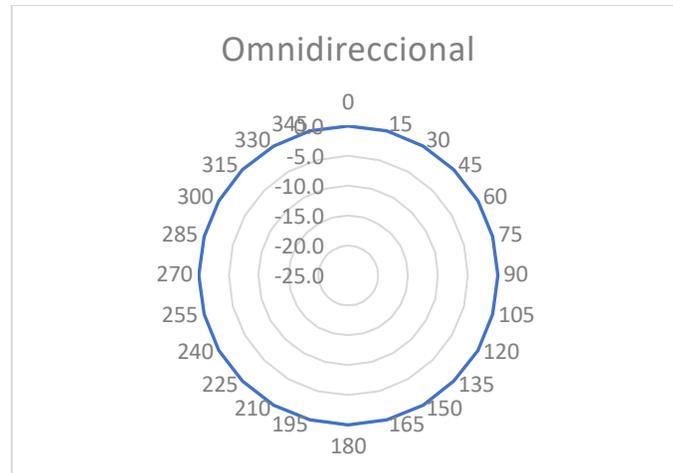


Figura 13 Respuesta en frecuencia micrófono iPad.

Igualmente se tabulan los datos de directividad medidos del iPad y posteriormente se grafican. Se encuentra que el micrófono propio del iPad tiene un patrón polar omnidireccional.



*Figura 14 Directividad del micrófono del iPad.*

#### **4.1.2. Diseño de algoritmo para simular rango en frecuencia, respuesta en frecuencia, patrón polar y sensibilidad de un micrófono.**

Luego de realizar estas mediciones y de obtener los datos, se procede a diseñar un algoritmo que permita simular las características de un micrófono.

Con el fin de tener claro el procedimiento del ingreso de datos en la aplicación, se organiza en una hoja de cálculo de Excel como guía para luego implementar esto en un algoritmo para iPad.

##### **4.1.2.1. Rango en frecuencia**

Para la simulación, se define la frecuencia inferior del rango en frecuencia como un límite inferior de la respuesta en frecuencia y la frecuencia superior del rango en frecuencia como un límite superior de la respuesta en frecuencia. El usuario debe ingresar estos dos valores antes de ingresar la respuesta en frecuencia y dependiendo de las frecuencias ingresadas, se activan las bandas de octava que se encuentre dentro del rango ingresado.

##### **4.1.2.2. Respuesta en frecuencia**

Teniendo en cuenta los intervalos de banda de octava normalizados el usuario debe ingresar un valor para cada banda de octava, este valor debe estar entre un intervalo de -10 dBFS a 10 dBFS, siendo -10 dBFS el mínimo valor posible y 10 dBFS el máximo.

#### **4.1.2.3. Sensibilidad**

Para la simulación de la sensibilidad se toman las hojas de datos de los micrófonos que se encuentran en la universidad, se tabulan las sensibilidades de los diferentes micrófonos y se define un rango de valores válidos para la simulación.

Las unidades de la sensibilidad están en mV/Pa y el estándar de la medición de los fabricantes es con una frecuencia de 1 KHz a 1 metro de distancia. El usuario debe ingresar estos valores para iniciar la simulación.

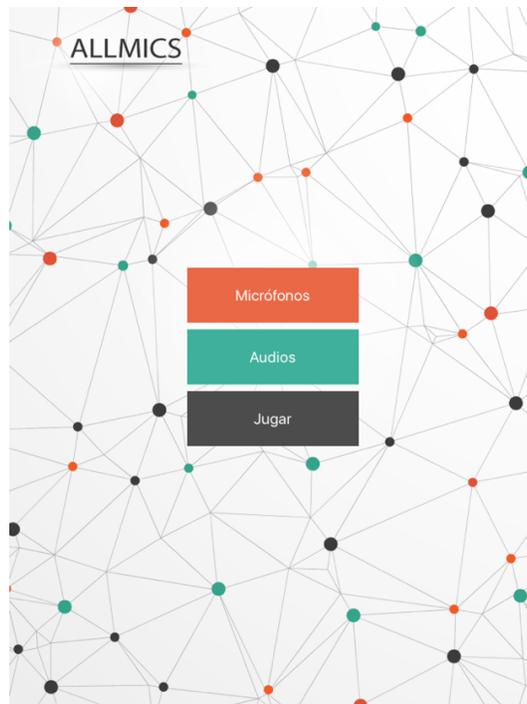
#### **4.1.2.4. Patrón polar**

Para la simulación de patrón polar y al igual que en el caso anterior se toma como referencia 1 KHz, se toman las hojas de datos dadas por los fabricantes de los micrófonos que se encuentran en la universidad y se tabulan para luego agrupar los diferentes tipos de patrones polares y promediarlos, como se evidencia en el Anexo B y el usuario solo debe seleccionar un patrón polar para la simulación.

### **4.2. Implementar el algoritmo desarrollado para dispositivos móviles iPad optimizado para iOS 9.3.5 con una interfaz gráfica que permita desplazar la fuente alrededor del micrófono.**

#### **4.2.1. Diseño de una interfaz gráfica.**

Se diseña una interfaz gráfica usando Adobe Illustrator CC, en la cual se usa una paleta de cuatro colores para evitar saturar gráficamente la aplicación. Se busca un diseño amigable al usuario, sencillo y funcional. Para implementar la interfaz de usuario se utiliza el framework UIKit.



*Figura 15 Menú principal aplicación AllMics.*

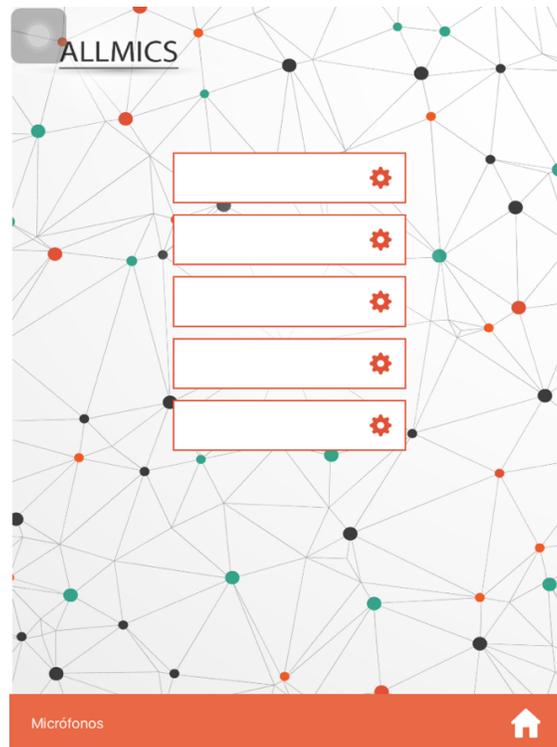
#### **4.2.2. Implementación módulo “Micrófonos” para ingreso de características de micrófonos en la aplicación.**

Para implementar el algoritmo en dispositivos iPad, se parte de los análisis realizados anteriormente, los cuales definen qué datos debe ingresar el usuario y que datos debe tener cargados la aplicación. Para ello, se utiliza el entorno de desarrollo para macOS Xcode y el lenguaje de programación Swift, de este último se utiliza la versión 3.3, además, se hace necesario el uso de diferentes frameworks para completar la simulación.

Debido a que la aplicación debe tener almacenados los valores de banda de octava con los límites inferior y superior, los valores de patrón polar y adicionalmente almacenar los valores que introduzca el usuario de sensibilidad, rango en frecuencia y respuesta en frecuencia por banda de octava, se usa el framework RealmSwift y sus dos componentes base datos y el servidor de objetos para almacenar estos valores.

Se crean tres módulos diferentes en la aplicación. El primer módulo se llama “Micrófonos”, el segundo “Audios” y el tercero “Jugar”.

Al seleccionar el módulo de “Micrófonos” se dirige al usuario a un nuevo menú el cual contiene cinco bancos diferentes.



*Figura 16 Módulo "Micrófonos" de la aplicación.*

Al ingresar a uno de estos bancos se abre una nueva ventana, donde el usuario debe introducir el “Nombre” del micrófono, la “Frecuencia Inicial Hz” y la “Frecuencia Final Hz”, la “Sensibilidad mV/Pa” y debe seleccionar el patrón polar.

Cuando se introducen las frecuencias del rango de frecuencias, se activan las casillas de respuesta en frecuencia, las cuales muestran la frecuencia central de las bandas de octava de 20 Hz a 20.000 Hz que se encuentren dentro del rango de frecuencia.

Luego de introducir y seleccionar las características del micrófono que se desee simular el usuario debe oprimir el botón “Guardar”, en caso de que el usuario desee descartar los cambios realizados

en el banco debe oprimir la figura de la casa que se encuentra en la parte inferior derecha, la cual lleva al usuario a la ventana anterior.

The screenshot shows the initial state of the ALLMICS microphone menu. The background features a network of black nodes connected by thin grey lines, with some nodes highlighted in red and green. The ALLMICS logo is in the top left corner. The form contains the following elements:

- A text input field labeled "Nombre".
- Two text input fields labeled "Frecuencia Inicial Hz" and "Frecuencia Final Hz".
- Two text input fields labeled "Patrón Polar" and "Sensibilidad mV/Pa".
- A large orange button labeled "Guardar".
- An orange footer bar with the text "Micrófonos" on the left and a white house icon on the right.

Figura 17 Menú de micrófonos inicial.

The screenshot shows the ALLMICS microphone menu after the user has entered values for the initial and final frequencies. The background and logo are the same as in Figure 17. The form is now populated with the following data:

- The "Nombre" field is empty.
- The "Frecuencia Inicial Hz" field contains the value "20".
- The "Frecuencia Final Hz" field contains the value "20000".
- A row of frequency selection buttons is visible, with "63 Hz", "125 Hz", "250 Hz", "500 Hz", "1 KHz", "2 KHz", "4 KHz", "8 KHz", and "16 KHz".
- The "Patrón Polar" field contains the value "Cardioide".
- The "Sensibilidad mV/Pa" field contains the value "10".
- The "Guardar" button remains orange.
- The footer bar is orange with "Micrófonos" and a house icon.

Figura 18 Menú de micrófonos luego de introducir frecuencia inicial y final.

#### 4.2.3. Implementación del módulo “Audios” para almacenar audios grabados desde el dispositivo.

El segundo módulo “Audios” contiene cuatro bancos diferentes. Al ingresar a uno de estos bancos se abre una nueva ventana, donde el usuario debe introducir el “Nombre” con el que desea guardar el audio y encontrará tres botones.

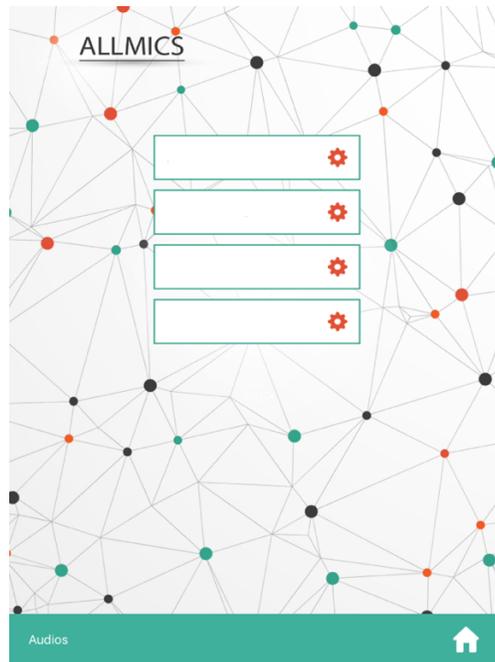


Figura 19 Módulo "Audios" de la aplicación AllMics.

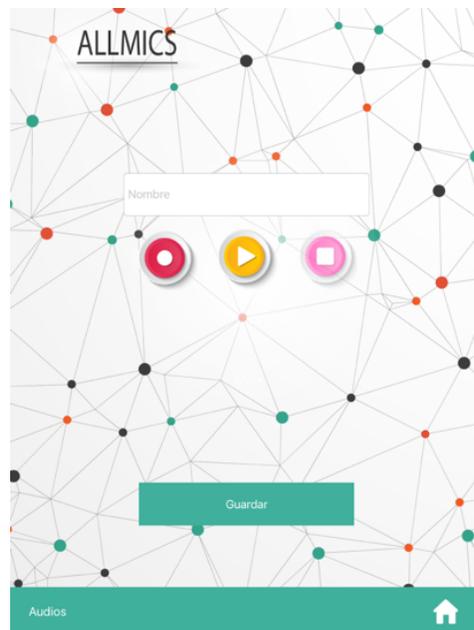


Figura 20 Menú de audios inicial.

El primer botón “Grabar” permite al usuario iniciar una grabación, la cual se detiene con el tercer botón “Detener”; cuando el usuario detiene la grabación se activa un pop-up con: “El mensaje de audio ha sido grabado correctamente”. El segundo botón “Reproducir” permite al usuario escuchar la grabación que se realizó o que contiene el banco de audio y al igual que en el caso anterior, esta se puede detener con el tercer botón. Para almacenar los audios, reproducirlos y detenerlos se utiliza framework AVFoundation.

El usuario debe oprimir el botón “Guardar” para guardar con éxito la grabación, en caso de que el usuario desee descartar los cambios realizados en el banco debe oprimir la figura de la casa que se encuentra en la parte inferior derecha, la cual lleva al usuario a la ventana anterior.

#### 4.2.4. Implementación del módulo “Jugar” para realizar el ejercicio de escucha.

Para llegar al tercer módulo el usuario deberá volver al home y oprimir el botón “Jugar” el cual dirige al usuario a la ventana donde se realiza la simulación.

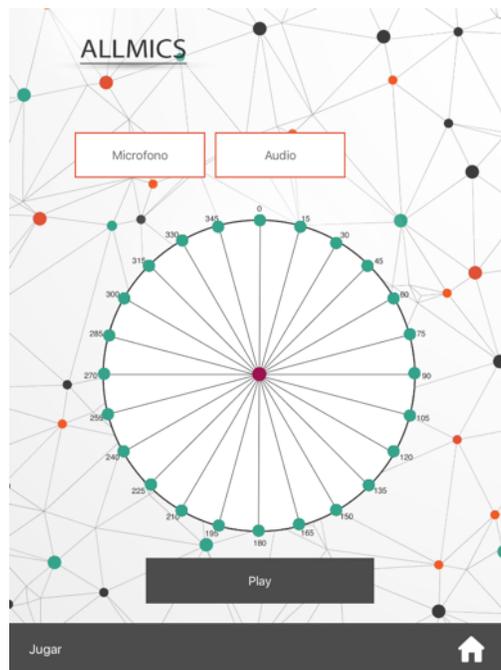


Figura 21 Módulo "jugar" en la aplicación AllMics.

En el módulo jugar el usuario selecciona un micrófono y un audio de los bancos respectivos para la simulación. Para iniciar la simulación es necesario oprimir “Play”, el usuario podrá seleccionar el grado en el que desee realizar el ejercicio de escucha, esta variación se puede realizar cada

quince grados de 0° a 360°. Para reproducir los audios se utiliza The Media Player framework, además de los frameworks anteriormente usados, los cuales combinados permiten llegar al objetivo de la simulación.

### **4.3. Realizar pruebas objetivas de directividad, respuesta en frecuencia, rango en frecuencias y sensibilidad, para evaluar su funcionalidad.**

#### **4.3.1. Grabación y almacenamiento de ruido rosa y tono puro de 1 KHz en dos de los bancos disponibles en el módulo “Audios” de la aplicación.**

Con el fin de tener unas mediciones objetivas de la aplicación se realizan dos mediciones diferentes. Para estas mediciones se graba ruido rosa en la aplicación y un tono puro de 1 KHz, para ello se realiza el mismo montaje de la medición inicial utilizada para caracterizar el micrófono del iPad, la única diferencia es que esta vez la información se graba directamente en dos bancos diferentes, en el módulo de audios de la aplicación, como se muestra en el siguiente diagrama de bloques.



*Figura 22 Diagrama de bloques de medición del iPad.*

Para analizar los datos obtenidos se utiliza Smaart, y con el fin de no tener ninguna coloración de una interfaz, se conecta directamente el iPad al MacBook Pro utilizando un cable TRS – TRS de 1/8”; de la salida de audífonos del iPad a la entrada del computador.

#### **4.3.2. Medición de la simulación del módulo “Jugar” de la aplicación móvil con Smaart.**

Para medir la respuesta en frecuencia de la simulación de la aplicación, se crea un micrófono en el módulo de “Micrófonos”; se introduce una frecuencia inicial de 20 Hz y una frecuencia final de 20.000 Hz, la máxima sensibilidad y se selecciona el patrón polar omnidireccional. Para estas mediciones se utiliza el audio previamente grabado en la aplicación de ruido rosa.

El siguiente procedimiento se realiza con cada banda de octava, el cual consiste en guardar el micrófono sin modificar los niveles de banda de octava de la respuesta en frecuencia, ingresar al módulo de “Jugar”; seleccionar el micrófono guardado y audio del ruido rosa, se inicia la

simulación y se mide el valor de la banda de octava con Smaart. Luego se ingresa al micrófono guardado y se introduce el mayor nivel de realce que permite la aplicación en la banda de octava que se está midiendo, es decir, 10 dB, se guarda el micrófono y se realiza la medición. Por último, se ingresa de nuevo al micrófono y se introduce el menor valor posible en la banda de octava que se está midiendo, es decir, -10 dB, se guarda y se realiza la medición. El valor que se obtiene de cada medición de cada banda de octava se tabula en Excel para lograr graficar la respuesta en frecuencia de la aplicación.

#### **4.3.3. Medición de la simulación del módulo “Jugar” de la aplicación móvil con osciloscopio.**

Con el fin de comprobar en 1 KHz el nivel normalizado de la simulación y los valores de variación máximos y mínimos, se conecta un cable TRS 1/8” – RCA, un extremo al iPad y el extremo RCA a un osciloscopio y se realiza el mismo procedimiento anterior.

Para la medición de directividad, se crea un micrófono en el módulo de “Micrófonos” y luego se introduce una frecuencia inicial de 20 Hz y una frecuencia final de 20.000 Hz, no se modifica la respuesta en frecuencia y se coloca la máxima sensibilidad y por último se selecciona un patrón polar a medir y se guarda el micrófono.

Con el fin de evaluar la simulación de directividad de la aplicación, ingresamos al módulo “Jugar” y seleccionamos el micrófono guardado y el audio de 1 KHz e iniciamos la simulación, la cual analizamos directamente en Smaart y por último introducimos los valores de la simulación de directividad en una tabla de Excel desde 0° hasta 360°, cada 15°. Se repite el procedimiento con todos los patrones polares que se incluyen en la aplicación y se tabulan todos los datos obtenidos.

#### **4.4. Evaluar mediante pruebas subjetivas, el desempeño de la aplicación propuesta.**

La evaluación de la percepción de la calidad de audio de la aplicación, se realiza un estudio subjetivo, cuyo propósito es registrar la impresión de las personas al momento de manipular la aplicación en el dispositivo, su diseño, funcionamiento y navegabilidad.

#### 4.4.1. Definir muestra para realizar la encuesta.

Para esto se usa la norma ITU-R BS. 1284-1 la cual indica, un proceso para poder realizar las evaluaciones subjetivas. Mediante esta se determina el número de personas y el grupo que va a ser evaluado en el objetivo del proyecto.

Usualmente se piensa que es preferible seleccionar personas expertas en el tema que se va a evaluar, la norma indica que personas que no tengan el conocimiento del tema, pueden ser representativos y es posible que estos se conviertan en expertos, si se les indica de qué manera funciona previamente la aplicación.

Por lo tanto, es recomendable realizar la prueba con personas que no son expertas y con personas expertas, ya que esto indica rápidamente cuáles serán los resultados a largo plazo. El número de personas que recomienda la norma ITU-R BS. 1284-1 es de mínimo 10 personas si se trata de un grupo de expertos en el tema y máximo 20 personas si se trata de un grupo de no expertos. Se decide evaluar a personas tanto expertas como no expertas.

Para realizar estos procedimientos con personas no expertas, como primer paso es necesario realizar un adiestramiento en cómo funciona la aplicación, procedimientos y como navegar.

Al momento de realizar la estructura de la prueba subjetiva es necesario tomar una serie de pasos, el primero es denominar las variables a evaluar, las cuales corresponden a los parámetros subjetivos nombrados anteriormente, estas se evaluarán respecto a la navegabilidad de la aplicación, funcionamiento y cambio en la percepción de los sonidos grabados desde el iPad, con la posibilidad de emular hasta 5 micrófonos diferentes para escuchar el cambio y determinar su funcionamiento. Las pruebas se rigen por la norma ITU-R BS. 1284-1 donde indica que ninguna sesión debe durar más de 15 o 20 minutos.

Finalmente se seleccionan 20 personas a evaluar, 10 personas no expertas (no tienen conocimiento en temas de audio) y 10 personas expertas (tienen conocimiento en temas de audio).

#### 4.4.2. Definir las variables a evaluar.

Para este paso es necesario dejarle claro al participante cuales son las variables, ya que corresponden a parámetros subjetivos como diseño, funcionalidad y navegabilidad, la prueba la van a realizar personas expertas y no expertas.

Para la aplicación de estas definiciones planteadas deben ser comprendidas por el grupo que va a participar de la prueba. Para así lograr una contextualización y no generar ninguna duda a las personas que tomen la prueba.

#### 4.4.3. Estructurar la prueba subjetiva.

La evaluación consta de dos fases, la primera corresponde al banco de micrófonos y la segunda al banco de audios; en el banco de micrófonos encontramos cinco opciones diferentes de configuración, seguido se encuentra cuatro opciones de configuración de los bancos de audio, al terminar cada fase de la aplicación, se realiza una pregunta donde se pretende evaluar cada punto visto dentro de la misma. Esto da por resultado 12 preguntas. Como referencia de las preguntas a realizar al usuario, se presenta el esquema general de la evaluación subjetiva de la aplicación.

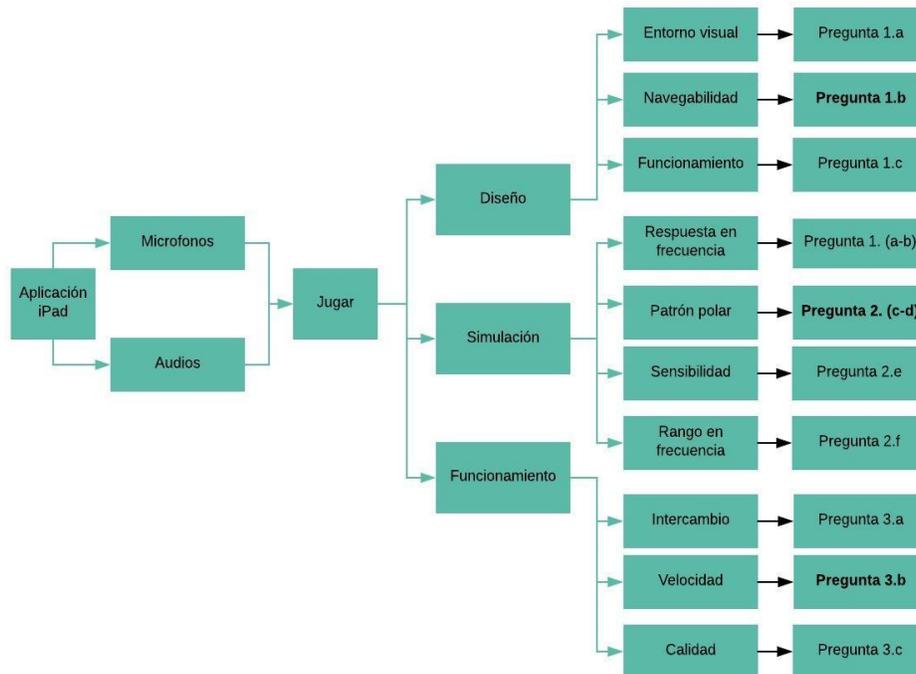


Figura 23 Diagrama de bloques de la evaluación subjetiva.

#### **4.4.3.1. Escalas de apreciación.**

Según la norma ITU-R BS. 1284-1, las escalas de apreciación empleadas en la evaluación subjetiva, sugiere que se utilicen cinco posibles calificaciones. Así mismo se toma como referencia la escala de Likert que corresponde a una de las manera de medir opiniones, percepciones y comportamientos de la persona encuestada.

Se formulan las preguntas de la siguiente manera:

- En la parte de diseño, se formulan 3 preguntas que tienen 5 niveles de respuesta posibles.
- En la parte de simulación se encuentran 4 preguntas con 5 niveles de respuesta posibles y dos de opción múltiple.
- En la parte de funcionalidad se formulan 2 preguntas con 5 niveles de respuesta posibles y uno con opción múltiple

#### **4.4.3.2. Tiempo total de la prueba subjetiva**

Según la norma es necesario que la prueba subjetiva sea realizada en un tiempo adecuado para la persona que la realice. La duración total de los audios equivaldría a 1 minuto (60 segundos). Por lo tanto, que cada persona tome por audio aproximadamente 30 segundos, y para responder cada pregunta 30 segundos, quiere decir 5 minutos para responder 10 preguntas, se obtiene como fin que la duración total sea de 15 minutos, y según la norma ITU-R BS. 1284-1, como mínimo debe estar entre 15 y 20 minutos, para la prueba total.

Para el proceso de respuesta de las preguntas se realizará un acompañamiento al usuario en el momento de estar realizando la prueba, para así descartar cualquier error al momento de esta.

#### **4.4.3.3. Metodología de la evaluación subjetiva:**

Consta de dos módulos que son independientes, dentro de los cuales existen opciones de configuración de la aplicación. En la parte de micrófono se compone por 5 opciones de configuración que son:

- Nombre de micrófono
- Rango de respuesta en frecuencia
- Valores de respuesta en frecuencia
- Patrón polar
- Sensibilidad

Luego de haber ingresado los valores y datos se usa el botón de guardar para tener esa opción activa al momento de hacer la comparación de los micrófonos. El siguiente módulo es el de audio en el cual cuenta con 4 bancos para guardar audios, dentro de cada banco se encuentran:

- Grabar
- Parar
- Reproducir

Para poder ingresar y guardar diferentes audios, que serán utilizados para realizar la comparación.

Se determina hacer uso de los audífonos SONY MDR-7506. Debido a que la reproducción mediante audífonos, como está especificado en la ITU-R BS. 1284-1, no depende de las características acústicas de la sala permitiendo que las evaluaciones se realicen con mayor facilidad al momento de realizar la prueba.

#### **4.4.3.4. Lugar de realización de la evaluación subjetiva:**

Las pruebas subjetivas se llevarán a cabo en el estudio 5.1 de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá. Debido a que se quiere tener el menor ruido posible, para que el usuario pueda estar en un estado de concentración al momento de realizar la prueba.

#### **4.4.4. Realización de la prueba subjetiva.**

Se realiza la prueba subjetiva estructurada a la muestra seleccionada. Se tabulan los resultados y se analizan.

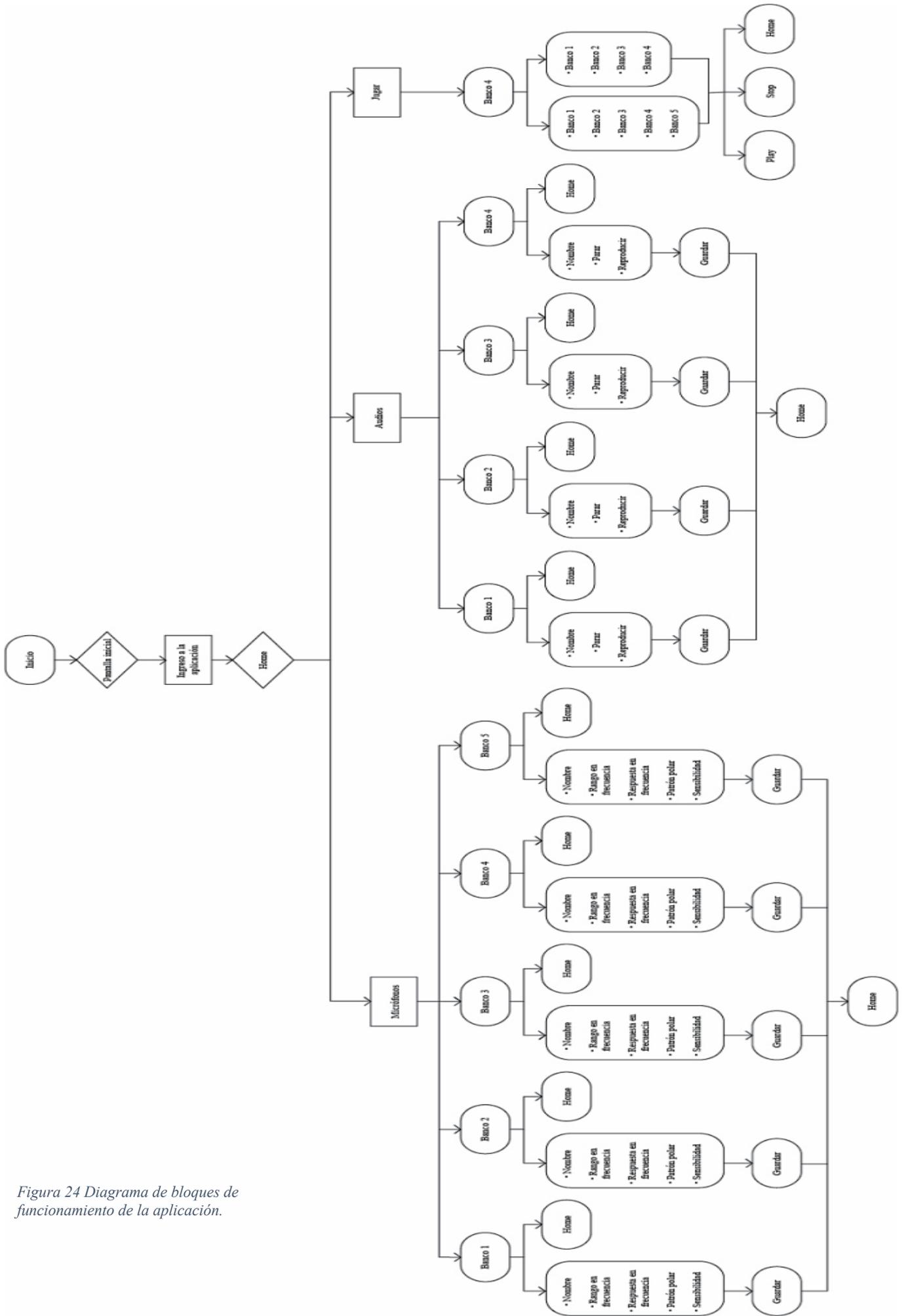


Figura 24 Diagrama de bloques de funcionamiento de la aplicación.

## 5. Pruebas y resultados

### 5.1. Rango de sensibilidad de un micrófono para la simulación.

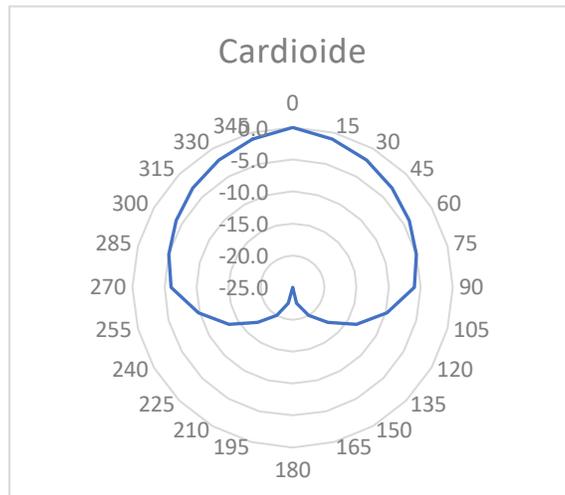
El rango definido de sensibilidad para la simulación es de:

$$0 \text{ mV/Pa} < \text{sensibilidad} < 30 \text{ mV/Pa}$$

*Ecuación 5 Rango de la sensibilidad.*

### 5.2. Promediación de patrón polar para la simulación.

Los patrones polares que estarían precargados en la aplicación son:



*Figura 25 Promedio de patrón polar Cardioide.*



*Figura 26 Promedio de patrón polar Omnidireccional.*

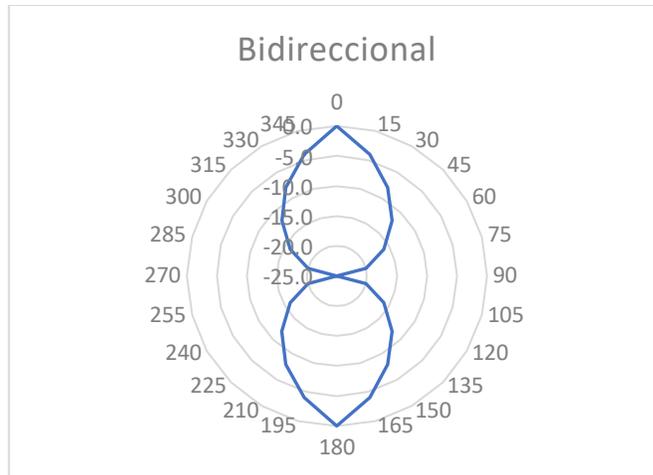


Figura 27 Promedio de patrón polar Bidireccional.

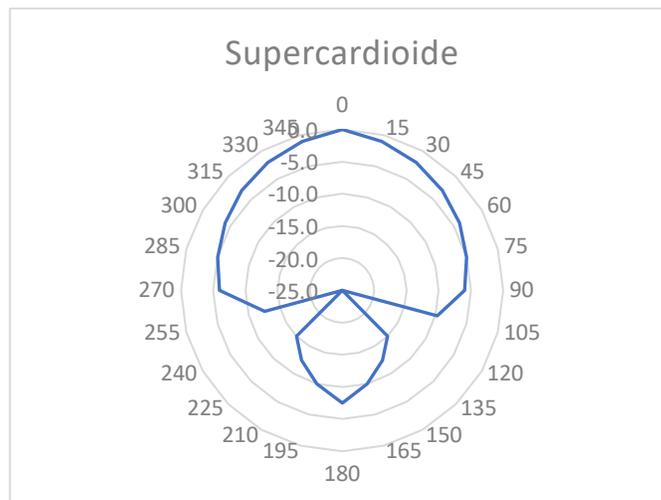


Figura 28 Promedio de patrón polar Supercardioides.

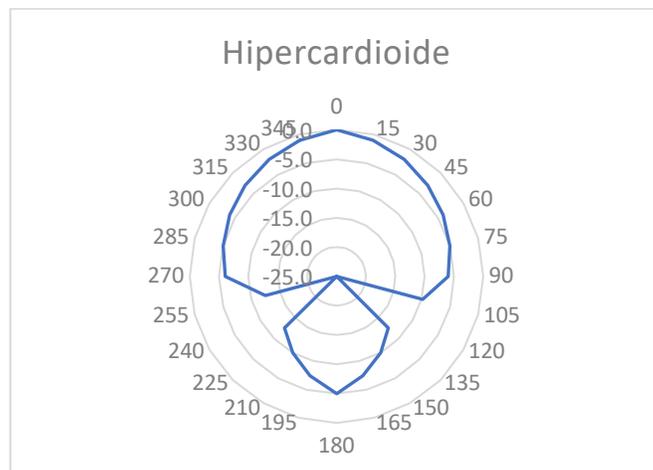


Figura 29 Promedio de patrón polar Hipercardioides.

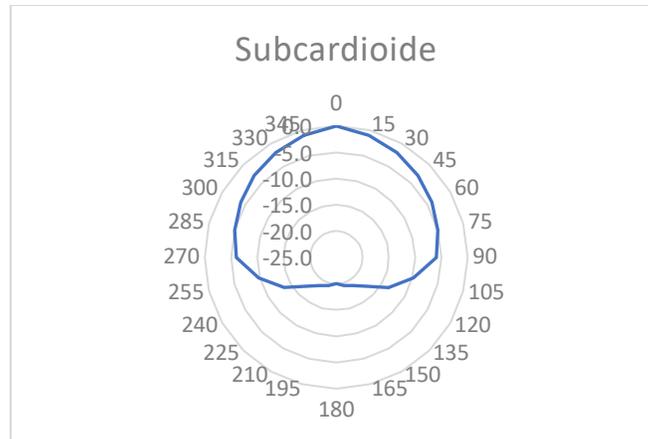


Figura 30 Promedio de patrón polar Subcardioide.

### 5.3. Resultados de la medición de la simulación del módulo “Jugar” con Smaart.

Se tabulan los valores obtenidos al variar los niveles máximo y mínimo de cada banda de octava.

Frecuencia (Hz)	Respuesta en Frecuencia		
	Valor Nominal(dBFS)	Realce Máximo(dBFS)	Atenuación Máxima(dBFS)
31.5	-7.9	-5.7	-9.9
63	-4.4	-2.2	-7.6
125	-1.5	0.8	-7.7
250	-0.3	2.0	-6.5
500	-0.4	1.8	-6.6
1000	0.0	2.2	-6.2
2000	0.0	2.2	-6.3
4000	-0.6	1.6	-6.8
8000	-7.5	-5.3	-8.8
16000	-9.8	-7.6	-8.5

Tabla 2 Valores de respuesta en frecuencia de la simulación medidos con Smaart.

Se tabulan los valores obtenidos para encontrar la gráfica de la respuesta en frecuencia de la aplicación y las variaciones máximas y mínimas que se pueden simular por cada banda de octava.

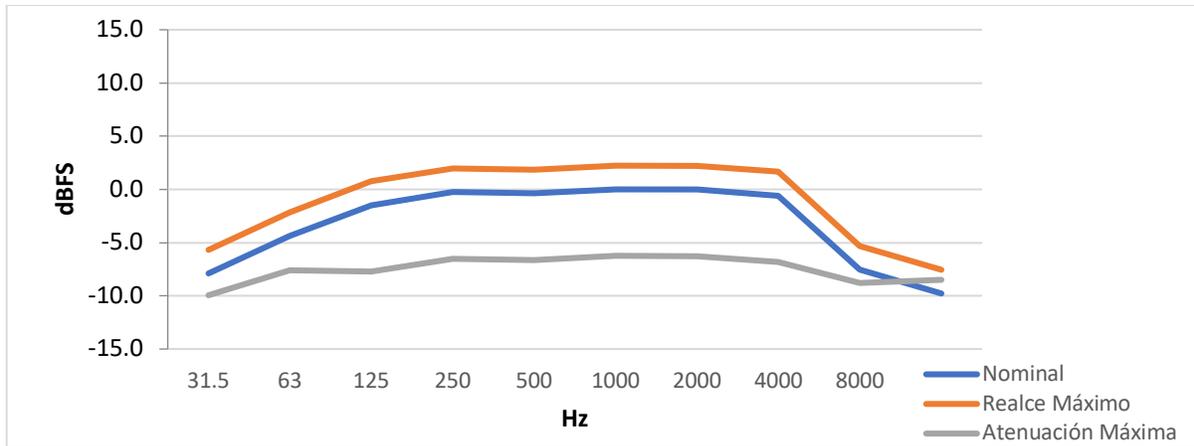


Figura 31 Respuesta en frecuencia.

Se realiza el mismo procedimiento para verificar la simulación de patrón polar:

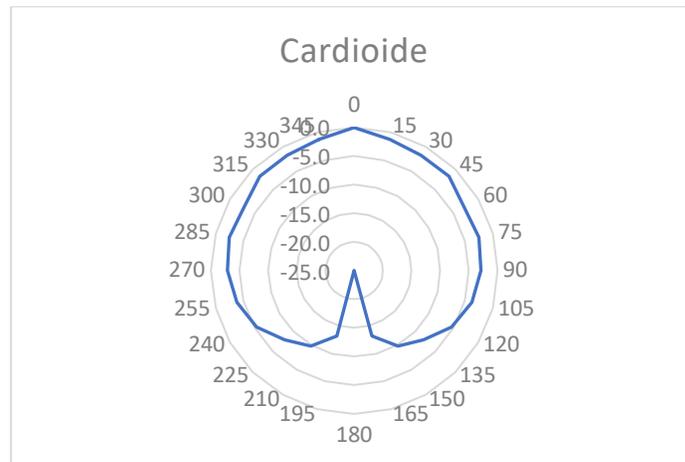


Figura 32 Simulación en Smaart del patrón polar Cardioide.

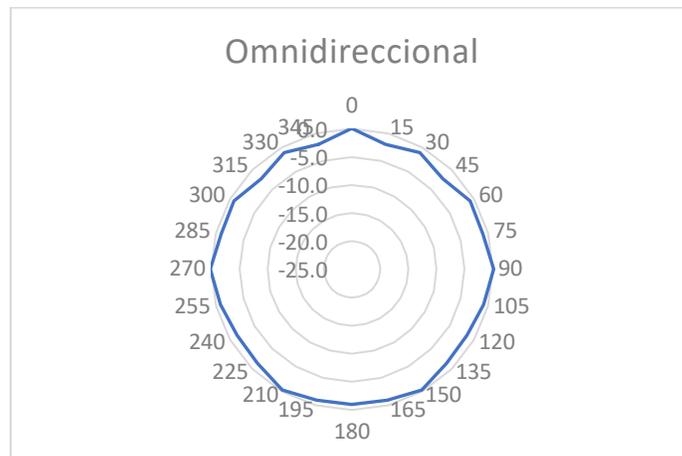


Figura 33 Simulación en Smaart del patrón polar Omnidireccional.

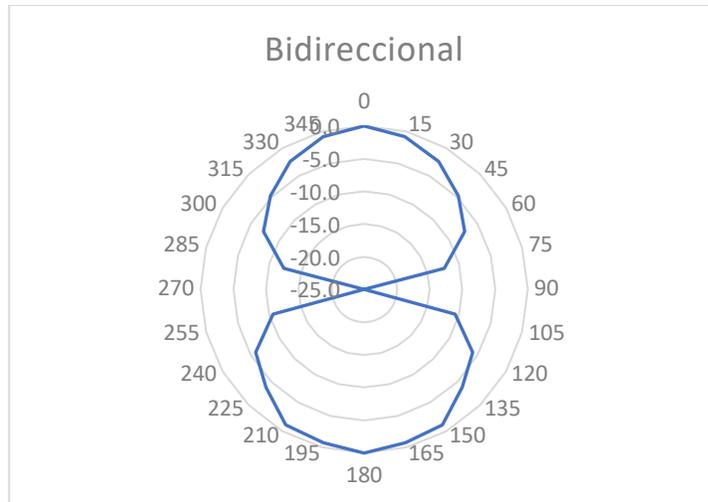


Figura 34 Simulación en Smaart del patrón polar Bidireccional.

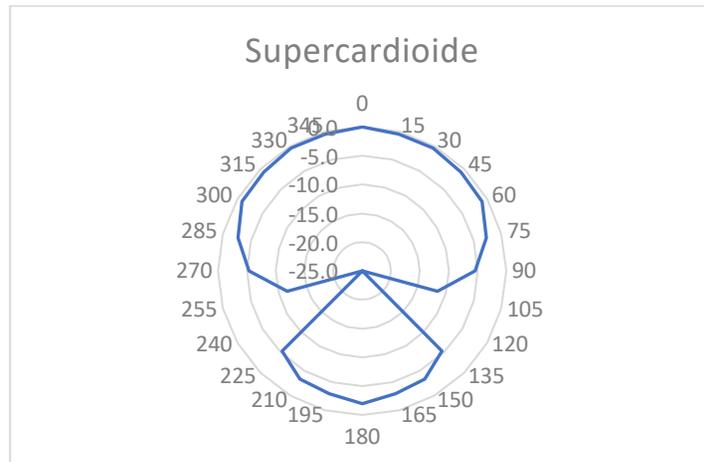


Figura 35 Simulación en Smaart del patrón polar Supercardioides.

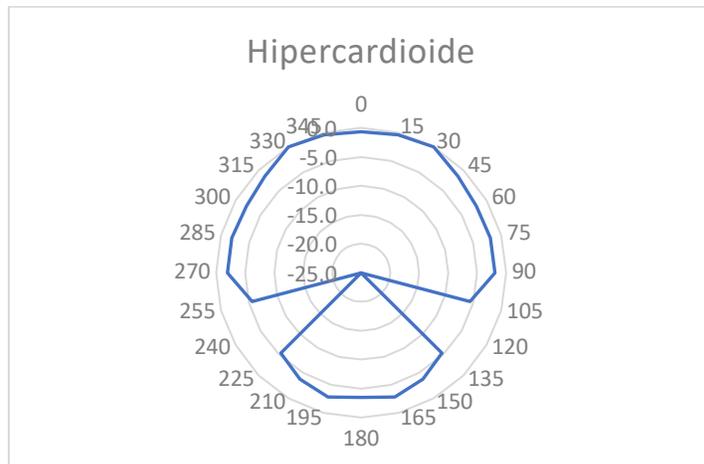


Figura 36 Simulación en Smaart del patrón polar Hiper cardioides.

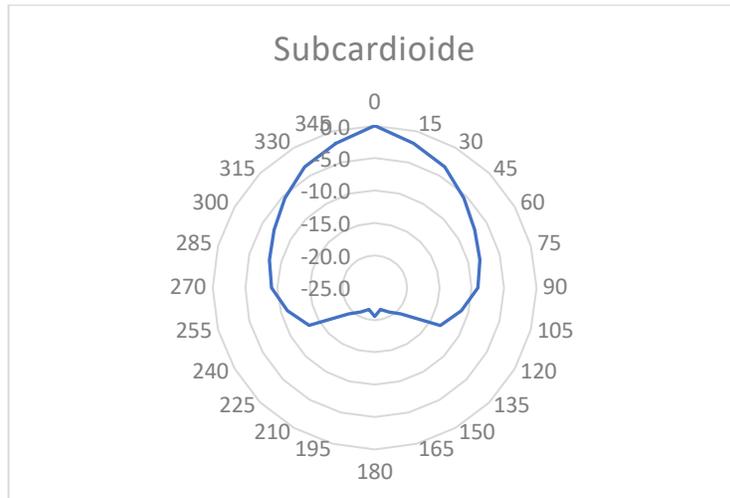


Figura 37 Simulación en Smaart del patrón polar Subcardioide.

#### 5.4.Resultados de la medición de la simulación del módulo “Jugar” con osciloscopio.

Para la primera medición no se realiza ningún cambio en la banda de octava de 1 KHz y se obtiene un valor de voltaje pico a pico de 264 mV.

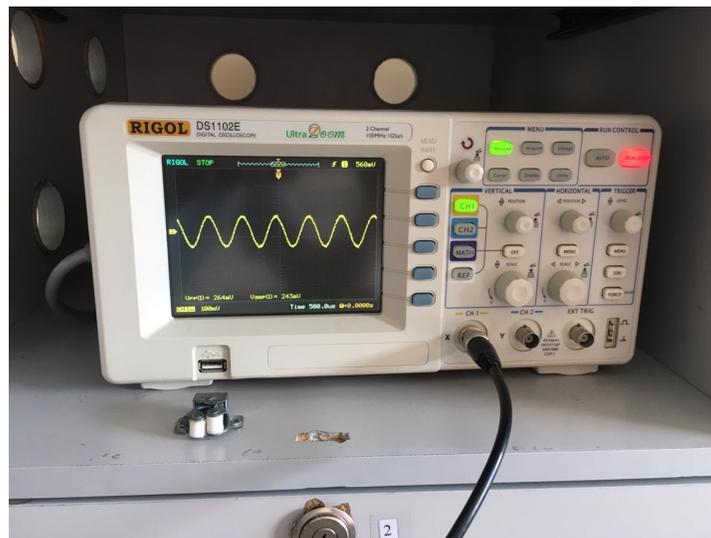


Figura 38 Medición en el osciloscopio de la aplicación AllMics.

Para la segunda medición se introduce el valor máximo que permite la aplicación en la banda de 1 KHz, es decir, 10 dBFS y se obtiene un valor de voltaje pico a pico de 2.76 V.

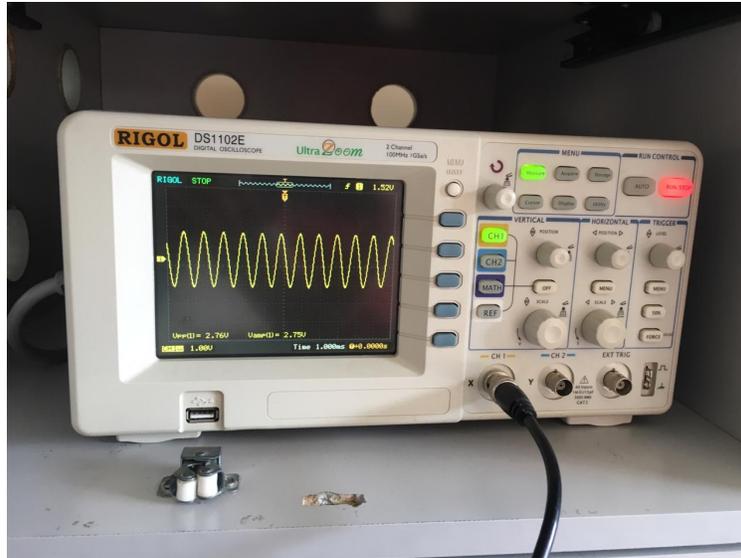


Figura 39 Medición de osciloscopio con un valor máximo de voltaje pico a pico.

Para la última medición se introduce el valor mínimo que permite la aplicación en la banda de 1 KHz, es decir - 10 dBFS y se obtiene un valor de voltaje pico a pico de 24 mV.

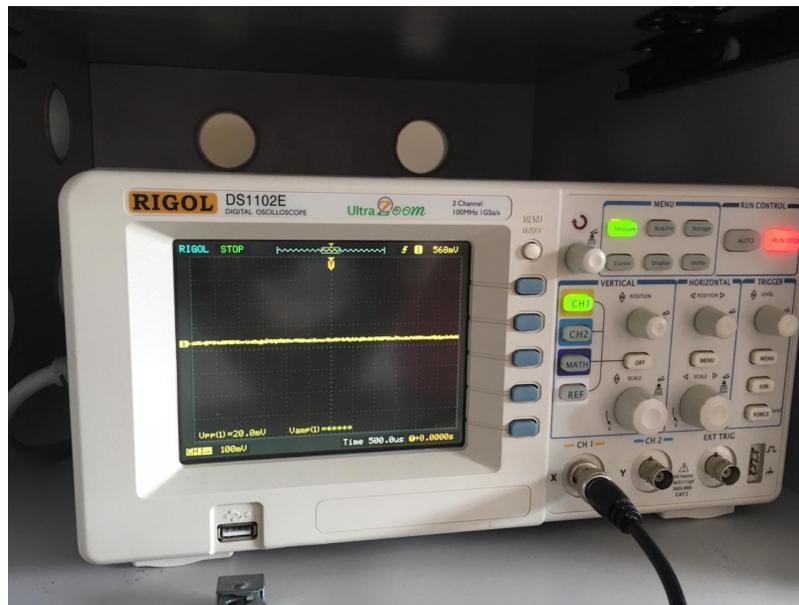


Figura 40 Medición de osciloscopio con un valor mínimo de voltaje pico a pico.

Se miden con el osciloscopio la simulación de cada uno de los patrones polares con el audio de 1 KHz, se tabulan los valores obtenidos y se grafican con el fin de comprobar la simulación.

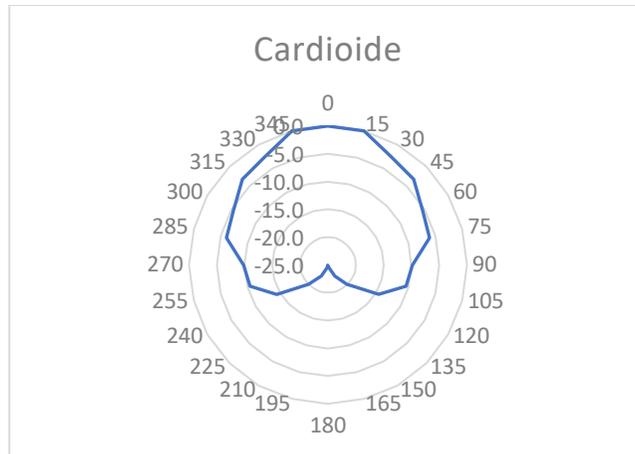


Figura 41 Simulación en la aplicación del patrón polar Cardioide.

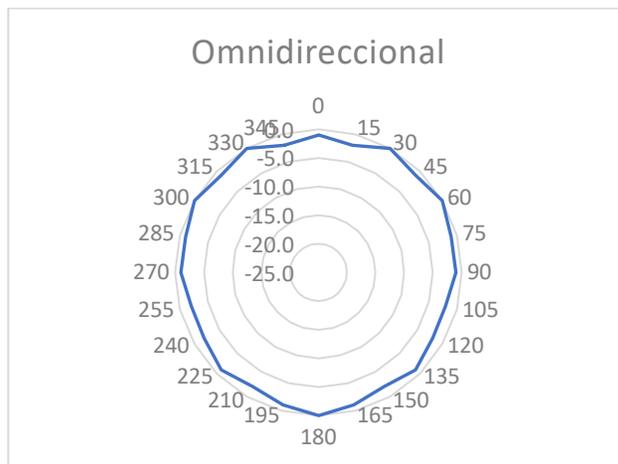


Figura 42 Simulación en la aplicación del patrón polar Omnidireccional.

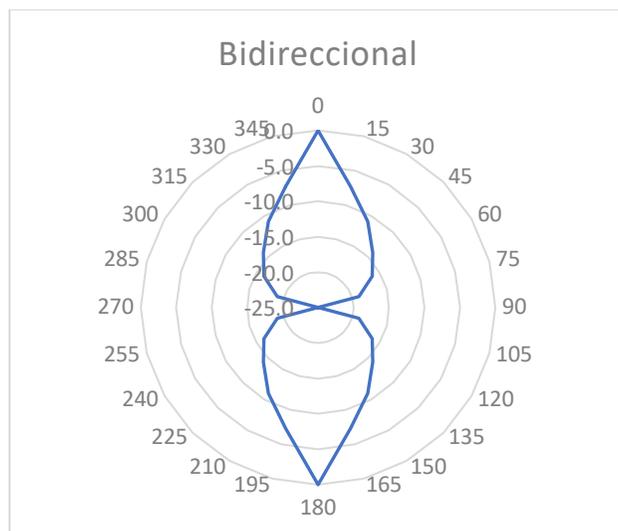


Figura 43 Simulación en la aplicación del patrón polar Bidireccional.

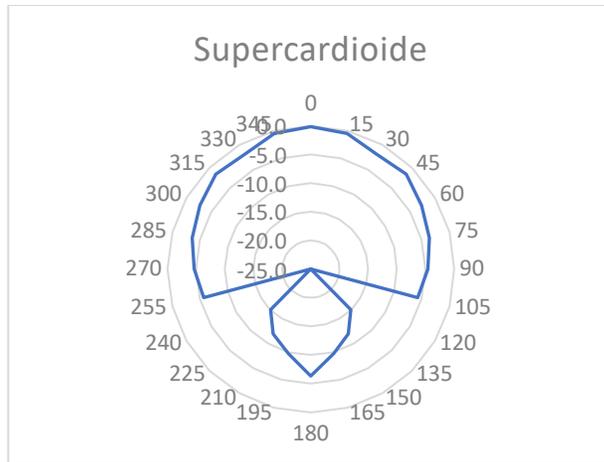


Figura 44 Simulación en la aplicación del patrón polar Supercardioide.

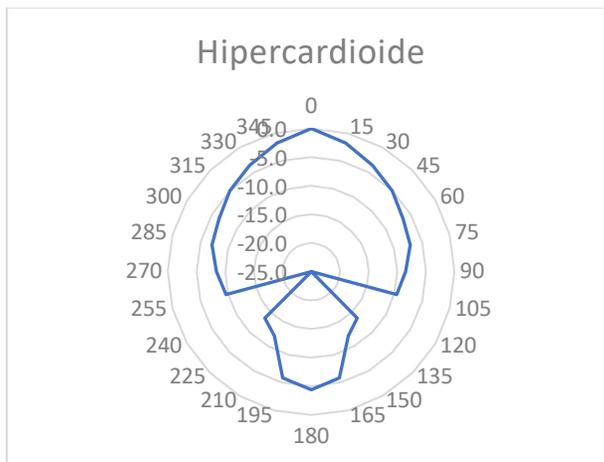


Figura 45 Simulación en la aplicación del patrón polar Hipercardioide.

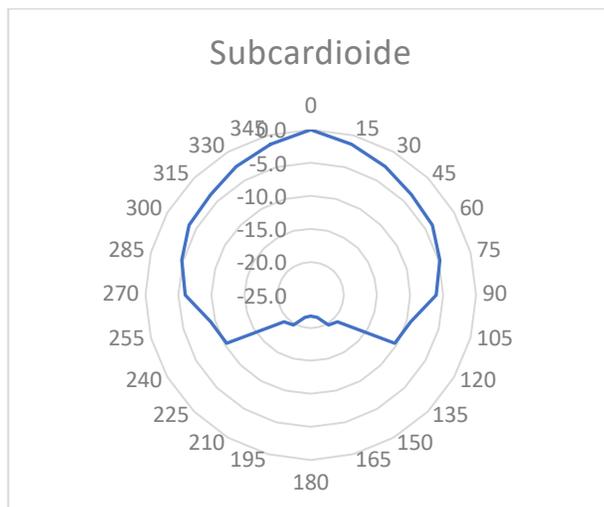


Figura 46 Simulación en la aplicación del patrón polar Subcardioide.

## 5.5. Resultados de las pruebas subjetivas de la aplicación

Gracias a la encuesta diseñada para evaluar la aplicación y su funcionamiento, se realiza la evaluación subjetiva (Anexo A) que incluye las preguntas planteadas relacionadas con cada uno de los parámetros a evaluar; en la evaluación se usaron los audios directamente capturados desde el micrófono del iPad, en este caso las preguntas están formuladas para evaluar el funcionamiento de la aplicación en su totalidad.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación realizada previamente, en donde se encontrarán cada una de las preguntas, así mismo las gráficas resultantes correspondientes a las personas evaluadas nombradas en este caso, como expertos y no expertos; cabe aclarar que la prueba realizada para las personas expertas como no expertos es la misma.

### Parte 1. Pregunta a.

Es planteada de la siguiente manera: “Considera que el entorno visual de la aplicación es:”

Donde se encuentran con 5 posibles respuestas, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la (Ilustración 1), que se muestra a continuación.

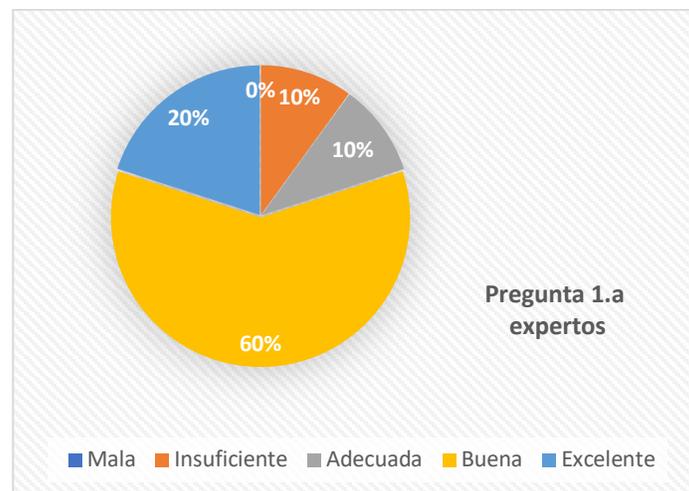


Ilustración 1 Pregunta 1.a expertos.



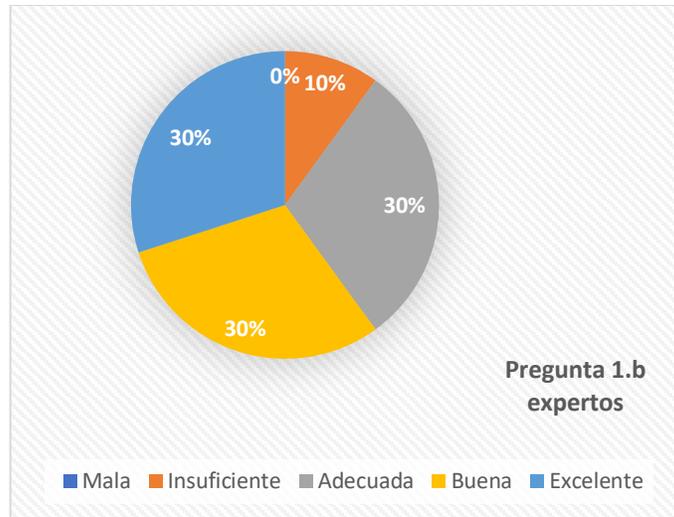
*Ilustración 2 Pregunta 1.a no expertos.*

**Fuente: propia**

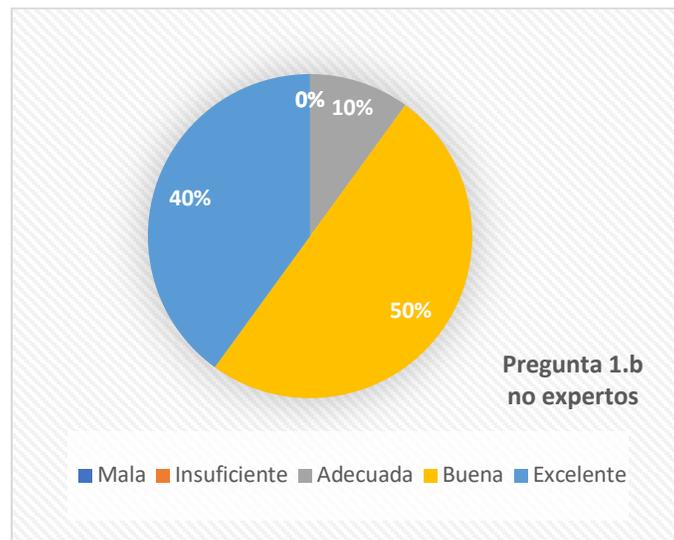
Según la Ilustración 1, se observa que en los dos grupos de personas encuestadas se evidenció que la aplicación es buena obteniendo un 60% en las personas expertas y 50% en las personas no expertas, queriendo decir que la aplicación visualmente es buena. El 20% de las personas expertas afirma que es excelente y así mismo 30% de las personas no expertas. Se puede evidenciar que la aplicación tiene una gran aceptación frente a los grupos, también obteniendo como resultados 20% adecuada en personas expertas y 20% personas no expertas, por último, tan solo el 10% consideran que el entorno de la aplicación es insuficiente.

**Parte 1. Pregunta b**

Es planteada de la siguiente manera: “La navegabilidad de la aplicación es:”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 3, Ilustración 4, que se muestra a continuación.



*Ilustración 3 Pregunta 1.b expertos.*



*Ilustración 4 Pregunta 1.b no expertos.*

**Fuente: propia**

Según la Ilustración 3, Ilustración 4, se observa que en los dos grupos como lo son personas expertas el 30% y 40% personas no expertas, consideran que la aplicación tiene una navegabilidad excelente, 30% personas expertas y 50% personas no expertas, consideran que es buena. El 30% de personas expertas y 10% personas no expertas, consideran que es adecuada. Por último, tan solo el 10% de personas expertas consideran que la aplicación es insuficiente.

## Parte 1. Pregunta c

Es planteada de la siguiente manera: “El funcionamiento de la aplicación es:”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 5, Ilustración 6, que se muestra a continuación.

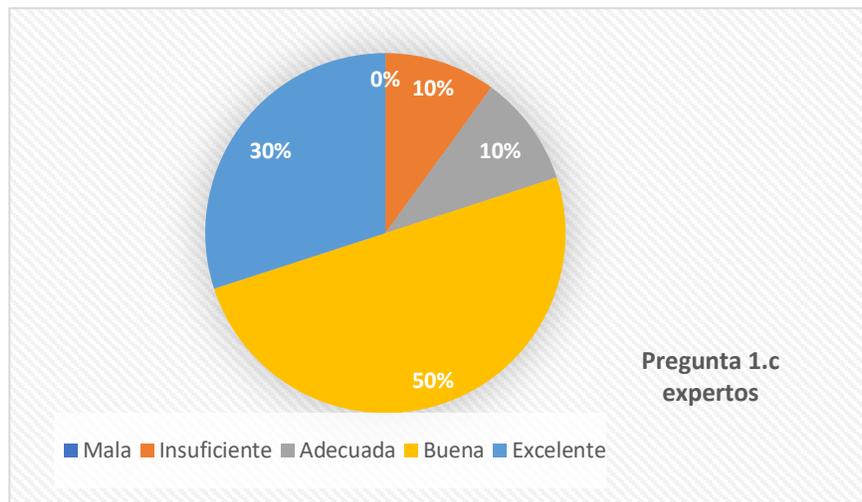


Ilustración 5 Pregunta 1.c expertos.

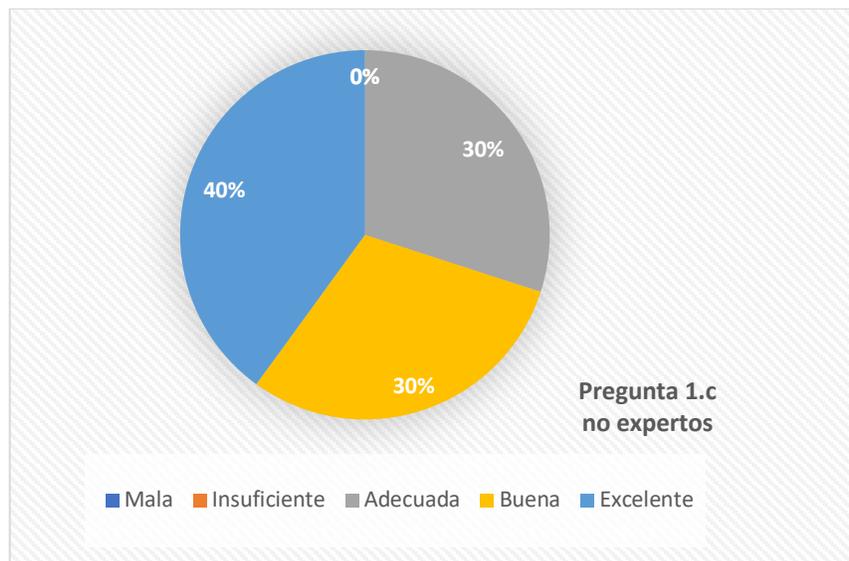


Ilustración 6 Pregunta 1.c no expertos.

Fuente: propia

Según la Ilustración 5, Ilustración 6, se observa que el 30% de personas expertas y el 40% de las personas no expertas, califican como excelente el funcionamiento de la aplicación, el 50% de personas expertas, y el 30% de personas no expertas, afirman que la aplicación es buena. El 10% de personas expertas y 30% de personas no expertas, según la prueba afirman que el funcionamiento de la aplicación es aceptable, por último el 10% de las personas expertas, afirman que la aplicación es insuficiente.

## Parte 2. Pregunta a

Es planteada de la siguiente manera: “la simulación de respuesta en frecuencia considera que es:”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 7, Ilustración 8, que se muestra a continuación.

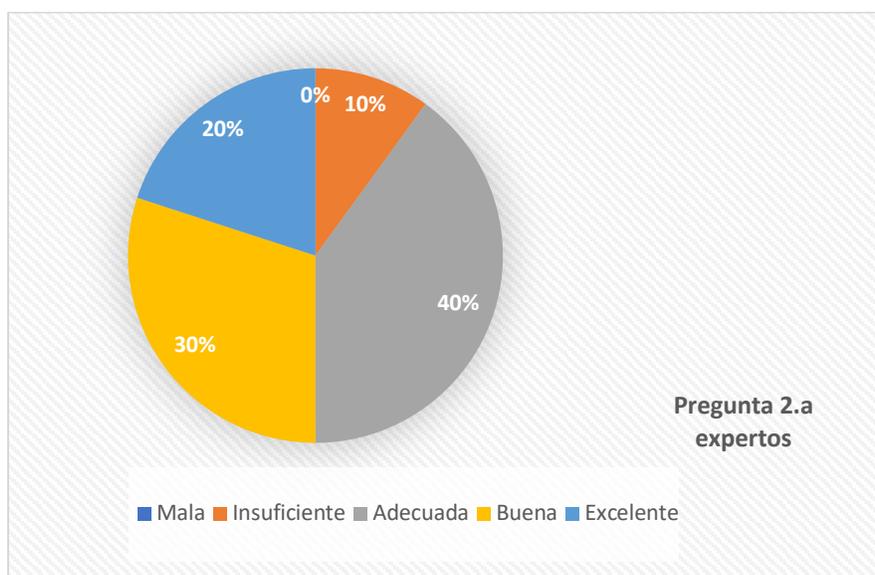
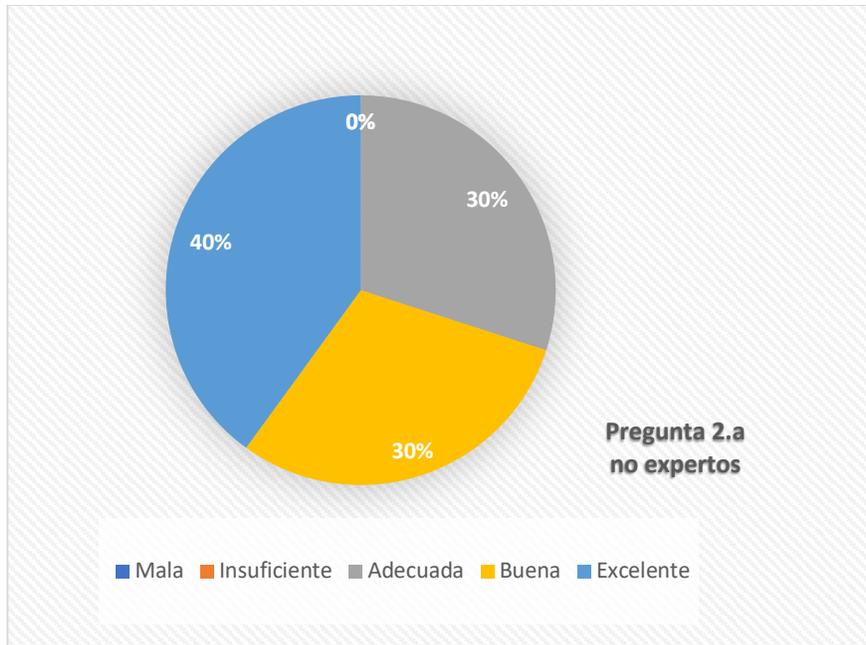


Ilustración 7 Pregunta 2.a expertos.



*Ilustración 8 Pregunta 2.a no expertos.*

**Fuente: propia**

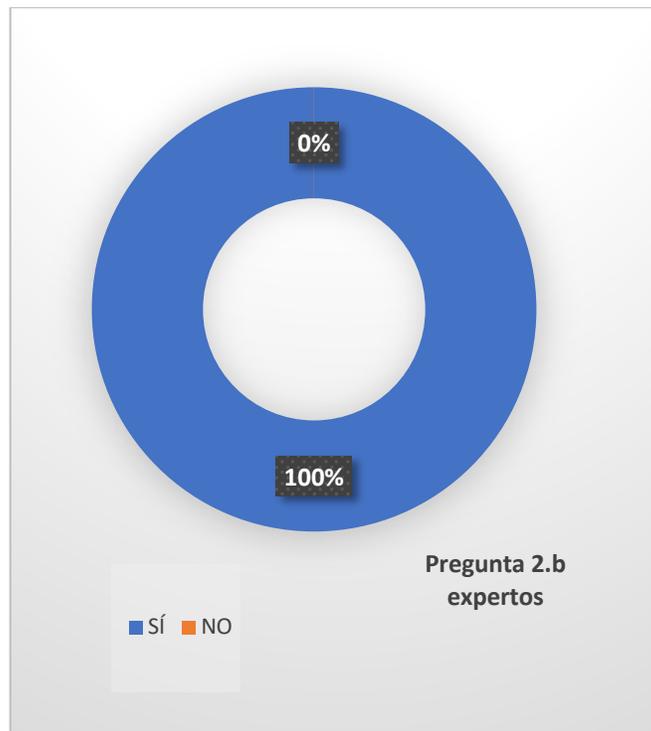
Según la Ilustración 7, Ilustración 8, se observa que el 20% de personas expertas y el 40% de las personas no expertas, afirman que la aplicación según la simulación de repuesta en frecuencia es excelente, el 30% de personas expertas y el 30% de personas no expertas, consideran que es buena. Así mismo el 40% de personas expertas y el 30% de personas no expertas, creen que la aplicación es adecuada, tan solo el 10% de personas expertas consideran que la aplicación es insuficiente, llegando de nuevo a la conclusión que para la mayoría es funcional la aplicación.

**Parte 2. Pregunta b**

Es planteada de la siguiente manera: “Al variar los valores de respuesta en frecuencia, considera que auditivamente existieron cambios:”. Donde se encuentran con 2 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 9, Ilustración 10, que se muestra a continuación.



*Ilustración 9 Pregunta 2.b expertos.*



*Ilustración 10 Pregunta 2.b no expertos.*

**Fuente: propia**

Según la Ilustración 9, Ilustración 10, se observa que el 80% de personas expertas y el 100% de personas no expertas, afirman que la variación de los valores de respuesta en frecuencia fue acertada, esto quiere decir que la mayoría de las personas encuestadas, percibieron el cambio al momento de usar la aplicación, el 20% de personas expertas, considera que la aplicación no generaba cambios al momento de practicar la prueba. Concluyendo que esta pregunta fue totalmente acertada por las dos partes encuestadas, agregando que la aplicación ha cumplido con la parte de su funcionamiento para esta pregunta en concreto.

## Parte 2. Pregunta c

Es planteada de la siguiente manera: “Respecto a la simulación de patrón polar, considera que es:”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 11, Ilustración 12, que se muestra a continuación.

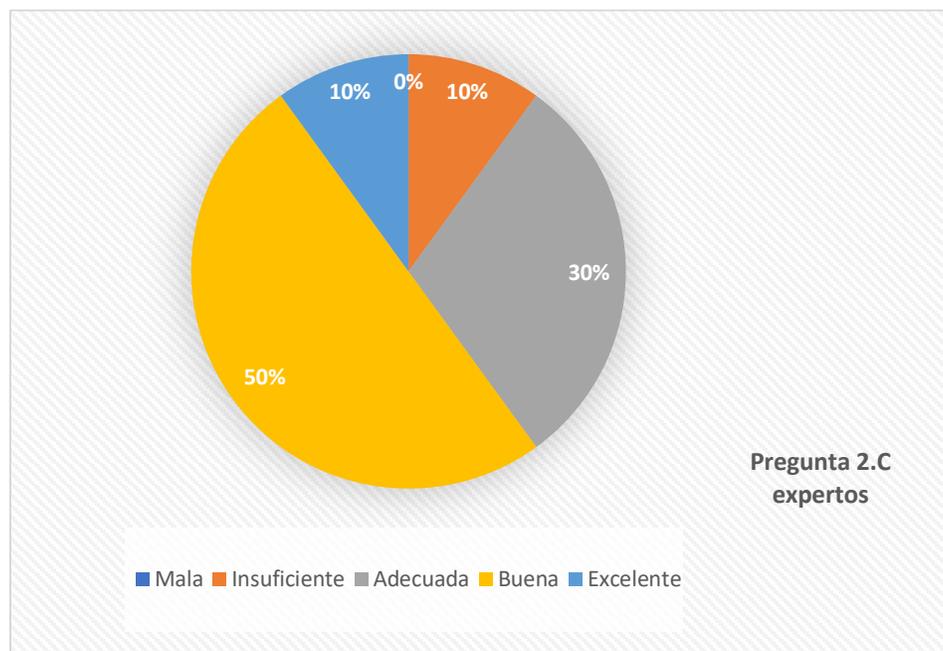
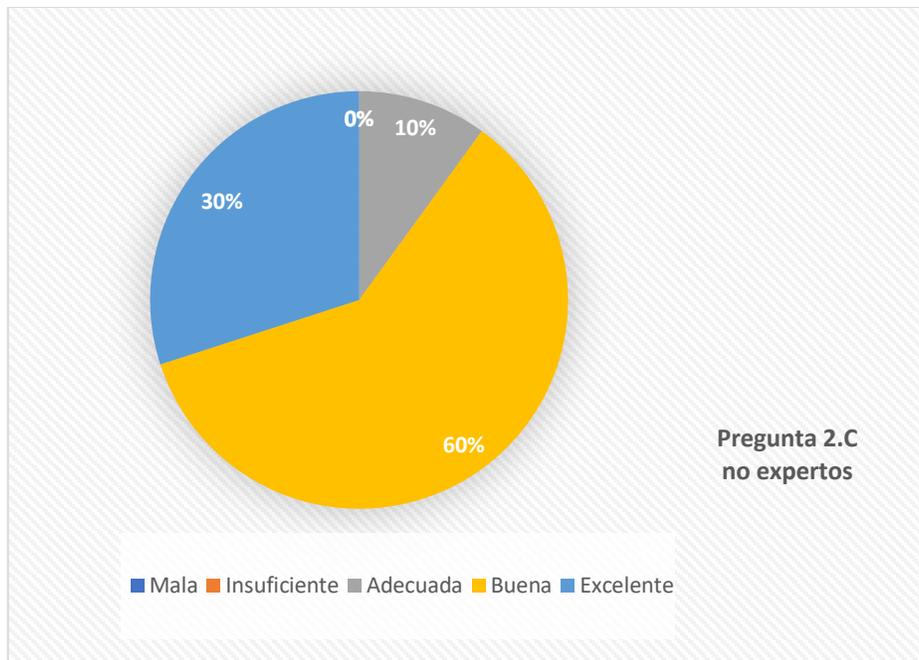


Ilustración 11 Pregunta 2.c expertos.



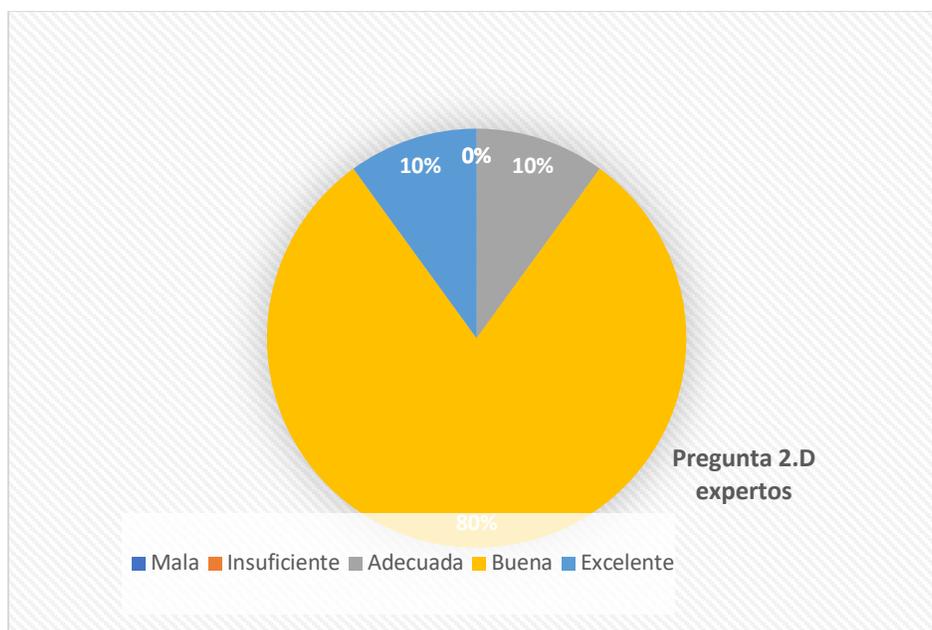
*Ilustración 12 Pregunta 2.c no expertos.*

**Fuente: propia**

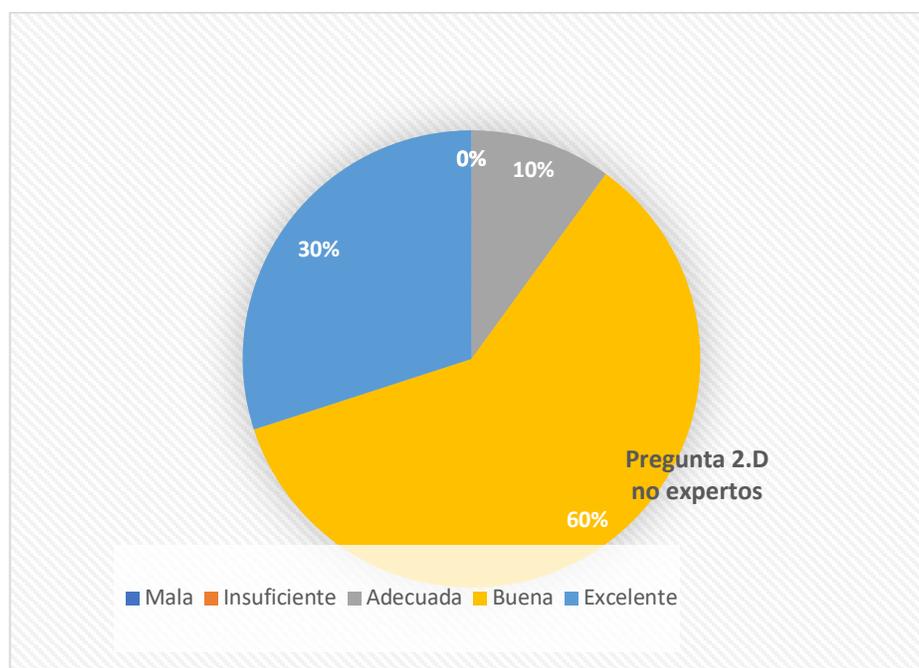
Según la Ilustración 11, Ilustración 12, se observa que el 10% de personas expertas, y el 30% de personas no expertas, consideran excelente la aplicación respecto a la simulación del patrón polar, el 50% de personas expertas y el 60% de no expertas, afirman que es buena. El 30% de personas expertas y el 10% de personas no expertas, creen que es adecuada la simulación, y el 10% de las personas expertas afirman que es insuficiente. Considerando que la mayoría afirma que la aplicación es buena y excelente, nos damos cuenta de que puede ser usada por cualquier tipo de persona, al momento de ser manipulada la interacción con el patrón polar.

**Parte 2. Pregunta d**

Es planteada de la siguiente manera: “Al cambiar el patrón polar considera, que auditivamente se percibe?”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 13, Ilustración 14, que se muestra a continuación.



*Ilustración 13 Pregunta 2.d expertos.*



*Ilustración 14 Pregunta 2.d no expertos.*

**Fuente: propia**

Según la Ilustración 13, Ilustración 14, se observa que el 10% de personas expertas y el 30% de personas no expertas, afirman que el cambio de patrón polar es excelente, el 80% de personas expertas y el 60% de personas no expertas, consideran que el cambio es bueno, el 10% de personas

expertas y el 10% de personas no expertas, califican que es adecuada. Es importante considerar todos los puntos de vista de los expertos y no expertos, ya que cada uno de ellos percibe de manera diferente el cambio auditivamente, por esto concluimos que se percibe de buena manera en la mayoría de los participantes en este punto de la prueba.

## Parte 2. Pregunta e

Es planteada de la siguiente manera: “En una escala de 1 a 5, siendo 5 muy notorio y 1 poco notorio, al variar la sensibilidad ¿qué tan perceptible es el cambio?”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 15, Ilustración 16, que se muestra a continuación.

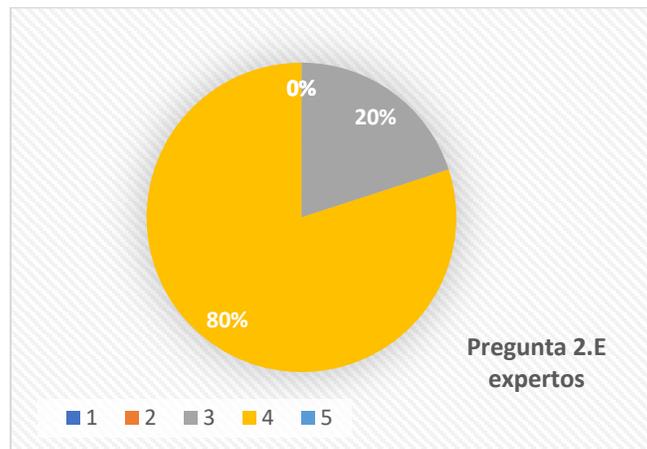


Ilustración 15 Preguntas 2.e expertos.

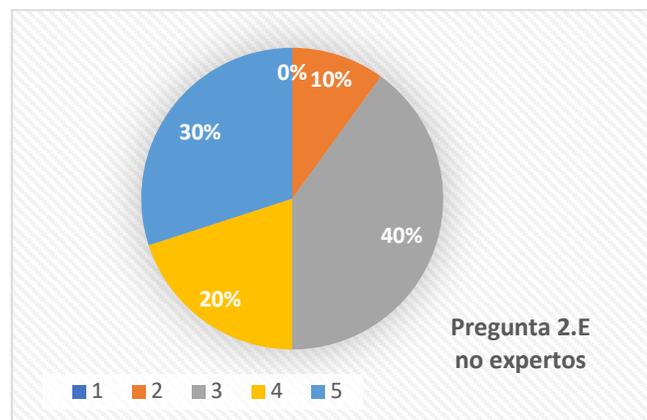


Ilustración 16 Preguntas 2.e no expertos.

Fuente: propia

Según la Ilustración 15, Ilustración 16 , se observa que el 80% de personas expertas y el 20% de personas no expertas, afirman que es muy notorio el cambio de la sensibilidad, el 30% de las personas no expertas consideran que el cambio es muy notorio, el 20% de las personas expertas y el 40% de personas no expertas, consideran que no es un cambio grande y no es tan perceptible al momento de realizar el ejercicio de escucha, por último el 10% de las personas no expertas, no percibieron ningún cambio en el ejercicio.

## Parte 2. Pregunta f

Es planteada de la siguiente manera: “Al introducir la frecuencia inicial y la frecuencia final, ¿nota un cambio en el rango de respuesta en frecuencia?”. Donde se encuentran con 2 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 17, Ilustración 18, que se muestra a continuación.



Ilustración 17 Pregunta 2.f expertos.

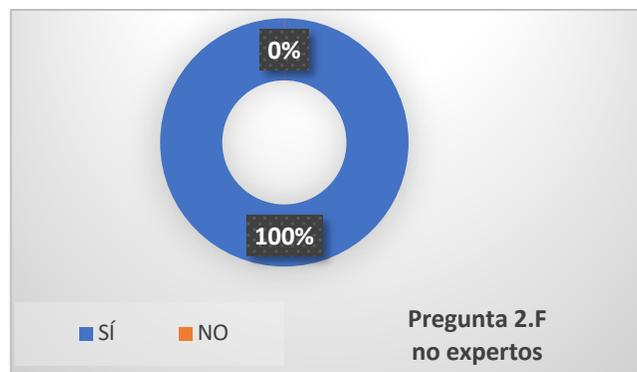


Ilustración 18 Pregunta 2.f no expertos.

Fuente: propia

Según la Ilustración 17, Ilustración 18, se observa que el 80% de las personas expertas y el 100% de las personas no expertas, afirman que existen un cambio en el rango de frecuencia al momento de manipular los valores presentados en la prueba, tan solo el 20% de las personas expertas, considera que no hay un cambio al momento de manipular los valores presentados en la aplicación, llegando a la conclusión que se cumple con la totalidad del punto a evaluar que es la gran mayoría afirmar que existe una variación, cuando se ingresa la frecuencia inicial y la frecuencia final.

### Parte 3. Pregunta a

Es planteada de la siguiente manera: “El intercambio que se realiza en la aplicación entre audios y micrófonos, al momento de reproducir cada uno de ellos, considera que es:”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 19, Ilustración 20, que se muestra a continuación.



Ilustración 19 Pregunta 3.a expertos.

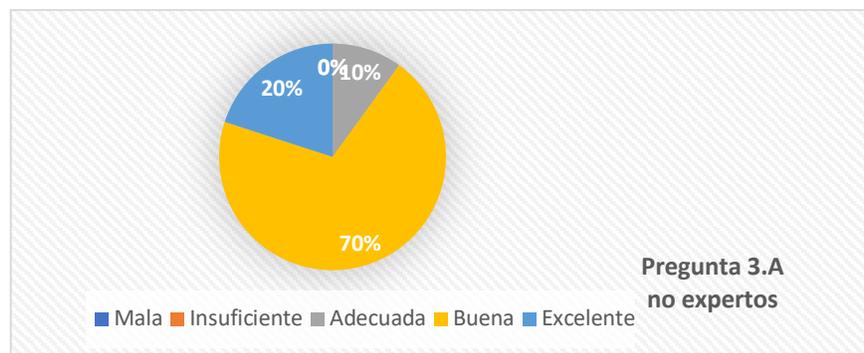


Ilustración 20 Pregunta 3.a no expertos.

Fuente: propia

Según la Ilustración 19, Ilustración 20, el 20% de personas expertas y el 20% de personas no expertas, consideran el intercambio que realiza la aplicación entre audios y micrófonos, es excelente. El 70% de personas expertas y no expertas, en este caso en su calificación de este punto coinciden al decidir que la aplicación es buena, y por último el 10% de personas expertas y no expertas consideran que el intercambio de la aplicación es adecuado.

### Parte 3. Pregunta b

Es planteada de la siguiente manera: “La velocidad de la simulación es:”. Donde se encuentran con 5 respuestas posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 21, Ilustración 22, que se muestra a continuación.

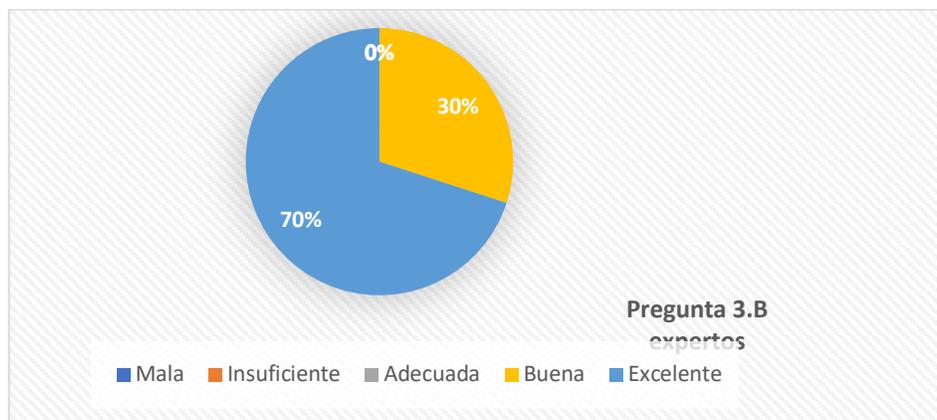


Ilustración 21 Pregunta 3.b expertos.

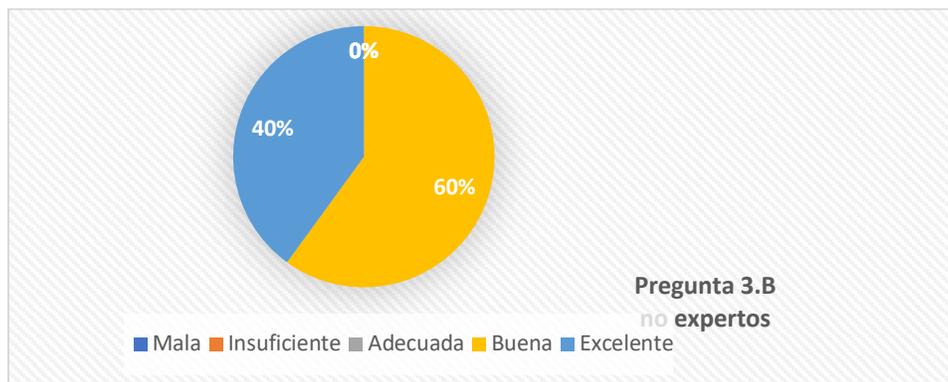


Ilustración 22 Pregunta 3.b no expertos.

Fuente: propia

Según la Ilustración 21, Ilustración 22, el 70% de personas expertas y el 40% de personas no expertas afirman que la velocidad de la aplicación es excelente. El 30% de personas expertas y el 60% de personas no expertas, afirman que es buena la velocidad con la que funciona la aplicación.

### Parte 3. Pregunta c

Es planteada de la siguiente manera: “Al grabar desde el micrófono del iPad, ¿escucha con claridad el audio?”. Donde se encuentran con 2 respuesta posibles, las cuales están ubicadas en la parte inferior de la Ilustración 23, Ilustración 24, que se muestra a continuación.

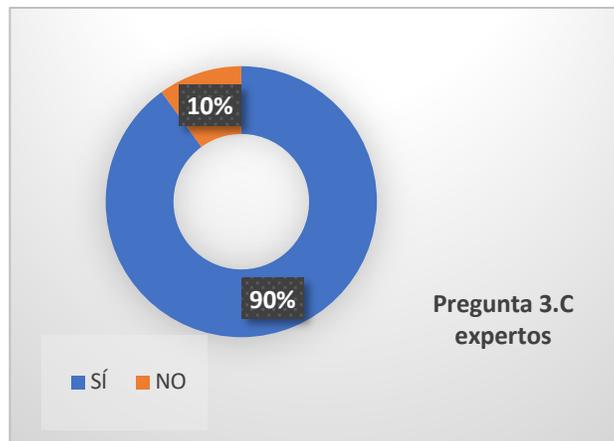


Ilustración 23 Preguntas 3.c expertos.



Ilustración 24 Pregunta 3.c no expertos.

**Fuente: propia**

Según la Ilustración 23, Ilustración 24, el 90% de las personas expertas y el 100% de las personas no expertas, afirman que, si es claro el audio al momento de escuchar lo que iPad grabó, el 10% de personas expertas, consideran que no es claro el audio al momento de escucharlo después de grabado.

## 6. Análisis de resultados

En la Figura 22, se observa que el micrófono del iPad tiene una atenuación en frecuencias bajas de desde la frecuencia de 250 Hz, hacia abajo. Igualmente se observa una atenuación aún más pronunciada en frecuencias altas, desde la frecuencia de 8000Hz en adelante. También se puede evidenciar que entre las frecuencias de 250Hz a 8000Hz el comportamiento es poco variable, la máxima variación es de 1,2 dBFS entre si los valores. Dentro de este intervalo la máxima atenuación se encuentra en la banda de octava de 2 KHz con un valor de -0,6 dbFS y el máximo realce se encuentra en la banda de octava de 250Hz con un valor de 0,6 dBFS.

En la Figura 30, se puede observar que, aunque se intentó corregir en la aplicación la atenuación propia del micrófono del iPad no se logró completamente, ya que al aumentar el nivel en programación para realizar una compensación, se percibía una distorsión. Se puede observar también en esta gráfica que los valores cuando se introduce la máxima atenuación a las bandas de octava son prácticamente iguales y que por el contrario cuando se asigna los máximos valores el comportamiento es igual a la respuesta en frecuencia, pero con un mayor nivel.

Con la medición que se realizó en el osciloscopio se evidencia el cambio en voltaje pico a pico en la banda de octava de 1KHz. Si se deja normalizado el voltaje medido es de 264 mV pico a pico; si se coloca el valor máximo posible a la banda, es decir, 10 dBFS el valor medido es de 2,76 V pico a pico, diez veces mayor y por último si se coloca la atenuación máxima posible, es decir, -10 dBFS el valor medido es de 24 mV pico a pico, más de diez veces menor.

Tomando como referencia las graficas obtenidas mediante la promediación de patrón polar para la aplicación y las graficas que se obtuvieron mediante Smaart, se determina que existe una diferencia de hasta 10,2 dBFS entre 120° hasta 240°.

Luego de observar los resultados de las pruebas subjetivas, realizadas a los dos grupos de personas, expertas y no expertas, se puede concluir que respecto a las preguntas enfocadas al diseño de la aplicación, navegabilidad, funcionamiento y entorno visual se obtiene que el 60% consideran que la aplicación en estos puntos evaluados es buena, debido a que se puede manipular de manera fácil,

al momento de ingresar los datos es clara y como punto importante lograron simular el comportamiento de un micrófono.

El 50% consideran que la simulación al momento de realizar los cambios de patrones polares y realizar el ejercicio de escucha es aceptable, donde notaron que existe un cambio pero no lograron comprobar en su totalidad el funcionamiento de la aplicación, tan solo el 20% de las personas evaluadas entre expertos y no expertos no consideran que la aplicación es funcional.

## 7. Conclusiones

Las mediciones del iPad permitieron caracterizar el comportamiento del micrófono en cuanto a respuesta en frecuencia y directividad. La respuesta en frecuencia encontrada muestra una caída en frecuencias bajas a partir de la frecuencia de 250 Hz al igual que en frecuencias altas a partir de la frecuencia de 8 KHz. De la frecuencia de 250 Hz a 8 KHz se observa un comportamiento uniforme con una variación de máximo 1 dBFS.

En cuanto a la directividad se evidencio, que al variar el ángulo de grabación no hay un cambio mayor a 1 dBFS en el nivel y luego de graficar cada uno de los valores obtenidos podemos concluir que el patrón polar del micrófono del iPad es omnidireccional.

Al implementar el algoritmo de la simulación y debido a las limitaciones propias del micrófono del iPad, esta se realiza correctamente entre las frecuencias de 250 Hz y 8 KHz. La simulación del rango en frecuencia se logró simular ya que se definió como un limite inferior y superior entre 20 Hz y 20 KHz. En cuanto a la respuesta en frecuencia, la simulación también se logró realizar correctamente ya que al momento de medir la variación máxima y mínima de cada banda de octava en voltaje, esta era de 10 veces mayor y 10 veces menor respectivamente. En cuanto al patrón polar la simulación se logró realizar aunque en este caso entre 120° hasta 240° si se comparan los valores promediados con los valores medidos, se encuentra una variación de hasta 10 dBFS. Por último la variación de la sensibilidad aunque se intento simular, es poco perceptible para los usuarios.

En las pruebas objetivas se pudo comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación. En cuanto a la respuesta en frecuencia, es evidente la variación de niveles al introducir los valores máximos y mínimos de cada banda de octava. El valor mínimo equivale a un 0.87% del valor máximo, según las mediciones. En cuanto al patrón polar es notorio el cambio de nivel en el momento de desplazar la fuente.

El entorno diseñado y la implementación del algoritmo en la aplicación según los usuarios tiene una buena velocidad de simulación y una buena navegabilidad.

En términos generales la evaluación subjetiva según los 3 factores evaluados los cuales son diseño, navegabilidad y funcionalidad, y teniendo en claros los lineamientos de la norma se puede concluir que la aplicación móvil en términos generales es buena.

## 8. Bibliografía

- Angelica Sánchez y Andrés Millán. (2014). Historia del Micrófono. Retrieved June 14, 2019, from <http://www.diffusionmagazine.com/index.php/biblioteca/categorias/historia/365-historia-del-microfono>
- Apple. (2018a). Swift - Apple Developer. Retrieved November 29, 2018, from <https://developer.apple.com/swift/>
- Apple. (2018b). UIKit | Documentación para desarrolladores de Apple. Retrieved November 29, 2018, from <https://developer.apple.com/documentation/uikit>
- Apple. (2019a). iOS 12 - Apple (CO). Retrieved November 29, 2018, from <https://www.apple.com/co/ios/ios-12/>
- Apple. (2019b). realm - URLProtectionSpace | Apple Developer Documentation. Retrieved November 29, 2018, from <https://developer.apple.com/documentation/foundation/urlprotectionspace/1416007-realm>
- Apple. (2019c). Xcode - Desarrollador de Apple. Retrieved June 15, 2019, from <https://developer.apple.com/xcode/>
- ARATECHLABS S.L. (2014). Arapolarmic. Retrieved June 14, 2019, from <https://appadvice.com/app/arapolarmic/899075725>
- AVFoundation | Apple Developer Documentation. (n.d.). Retrieved November 29, 2018, from <https://developer.apple.com/documentation/avfoundation>
- Bousoño, C. (2010). *Introducción al audio digital*. Retrieved from <http://www.iescarlosbousoño.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/09/Sonido-digital.pdf>
- Daoudi, M. (2000). Audio Measurement Handbook. *Journal of Visual Languages & Computing*, 11(3), 287–301. <https://doi.org/10.16242/j.cnki.umst.2014.04.005>
- Dayana Networks Ltd. (2016). Voice Record Pro en App Store. Retrieved June 14, 2019, from <https://apps.apple.com/us/app/voice-record-pro/id546983235>
- Dédalo, F. (2019). Dispositivos móviles.
- Diana Karen. (2011). coversion digital. Retrieved July 31, 2019, from <http://dinhakaren.blogspot.com/>
- Eargle, J. (2004). *The Microphone Book*. *The Microphone Book*. <https://doi.org/10.1016/B978-0->

240-51961-6.50018-3

- Farina, A., Capra, A., Chiesi, L., & Scopece, L. (2010). A Spherical Microphone Array for Synthesising Virtual Directive Microphones in Live Broadcasting and in Post Production. *AES 40th International Convention*, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00766-009-0078-8>
- Florencia Ucha. (2010). Definición de Ipad » Concepto en Definición ABC. Retrieved June 15, 2019, from <https://www.definicionabc.com/tecnologia/ipad.php>
- Hacıhabiboğlu, H., Günel, B., Cvetković, Z., Hacıhabiboğlu, H., Günel, B., & Cvetković, Z. (2010). Simulation of directional microphones in digital waveguide mesh-based models of room acoustics. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*, 18(2), 213–223. <https://doi.org/10.1109/TASL.2009.2025100>
- José Antonio E. García Álvarez. (2015). ASÍ FUNCIONA LA CONVERSIÓN ANALÓGICO-DIGITAL. Retrieved June 16, 2019, from [http://www.asifunciona.com/electronica/af\\_conv\\_ad/conv\\_ad\\_5.htm](http://www.asifunciona.com/electronica/af_conv_ad/conv_ad_5.htm)
- LLVM.org. (2012). compilador LLVM. Retrieved July 11, 2019, from <https://developer.apple.com/library/archive/documentation/CompilerTools/Conceptual/LLVMCompilerOverview/index.html>
- Media Player | Apple Developer Documentation. (n.d.). Retrieved November 29, 2018, from <https://developer.apple.com/documentation/mediaplayer>
- MicLopedia. (2010). MicLopedia: Microphone Encyclopedia. Retrieved June 14, 2019, from <https://www.appspy.com/app/376768/miclopedia-microphone-encyclopedia/>
- Mireia Hidalgo. (2012). Manual para Radialistas Analfatécnicos. Retrieved July 31, 2019, from <https://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=34>
- Peterson, P. M. (1986). Simulating the response of multiple microphones to a single acoustic source in a reverberant room. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 80(5), 1527–1529. <https://doi.org/10.1121/1.394357>
- Samuel Hernandez. (2018). Android recibe cada año el doble de apps que iOS, pero el iPhone siendo la primera opción para muchos desarrolladores. Retrieved June 14, 2019, from <https://www.xatakamovil.com/aplicaciones/android-recibe-cada-ano-el-doble-de-apps-que-ios-pero-el-iphone-siendo-la-primera-opcion-para-muchos-desarrolladores>
- Serio j. Ortiz. (2019). Las ventas de iPad siguen creciendo durante el primer trimestre de 2019. Retrieved June 14, 2019, from <https://www.ipadizate.es/2019/05/01/ventas-ipad-primer->

trimestre-2019/

- Tashev, I., & Malvar, H. S. (2005). A new beamformer design algorithm for microphone arrays. In *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings* (Vol. III, pp. 101–104). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2005.1415656>
- Uribe, M. F. E. (2015). *Tres Técnicas Estéreo De Grabación ( Binaural , Xy Zoom H4N , Y Ms Zoom H2N )*.

**9. Anexos A:**

**UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA**

**APLICACIÓN DE SIMULACIÓN DE MICRÓFONOS PARA DISPOSITIVOS  
MÓVILES IPAD**

**ENCUESTA**

**NOMBRE:** \_\_\_\_\_

**CÓDIGO:** \_\_\_\_\_

**SEMESTRE:** \_\_\_\_\_

**Responda las siguientes preguntas (marque su respuesta con una X).**

Diseño

Considera que el entorno visual de la aplicación es:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

La navegabilidad de la aplicación es:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

El funcionamiento de la aplicación es:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

Simulación:

la simulación de respuesta en frecuencia considera que es:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

Al variar los valores de respuesta en frecuencia, considera que auditivamente existieron cambios:

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Respecto a la simulación de patrón polar, considera que es:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

Al cambiar el patrón polar considera, que auditivamente se percibe:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

En una escala de 1 a 5, siendo 5 muy notorio y 1 poco notorio, al varia de sensibilidad ¿qué tan perceptible es el cambio?

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_

Al introducir la frecuencia inicial y la frecuencia final, ¿nota un cambio en el rango de respuesta en frecuencia?

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Funcionalidad

El intercambio que se realiza en la aplicación entre audios y micrófonos, al momento de reproducir cada uno de ellos, considera que es:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

La velocidad de la simulación es:

Mala	Insuficiente	Adecuada	Buena	Excelente
------	--------------	----------	-------	-----------

Al grabar desde el micrófono del iPad, ¿escucha con claridad el audio?

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

**OBSERVACIONES:**

## Consentimiento informado

Nombre

Edad

Carrera

Fecha

Le presente es el soporte para la realización de la prueba subjetiva realizada por los estudiantes Andrés Márquez Ramírez y Samuel Antonio Galindo Campos, que tiene como objetivo determinar el funcionamiento y la calidad de audio de la aplicación sustentada en esta tesis, los cuales pretenden evaluar: diseño, simulación, funcionalidad. En marco del Proyecto de grado “diseño e implementación de aplicación para dispositivos móviles iPad que simule el comportamiento de micrófonos con respecto a fuentes grabadas desde el dispositivo”.

Los datos obtenidos en esta evaluación serán confidenciales y solamente de uso investigativos. Es importante aclarar que por ningún motivo las respuestas que sean dadas en la evaluación tendrán un efecto negativo o personal, académico y/o laboral.

Debido a esto, acepto evaluar el funcionamiento de la aplicación contando con audios contenidos en esta evaluación los cuales hacer parte del presente estudio.

---

---

Nombre.

C.C.

## 10. Anexos B

Patrón Polar						
Grados	Cardioide	Omni	Bidireccional	Supercardioide	Hipercardioide	Subcardioide
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	-1.0	0.0	-4.0	-1.0	-1.0	-1.0
30	-2.0	0.0	-8.0	-2.0	-2.0	-2.0
45	-3.0	0.0	-12.0	-3.0	-3.0	-3.0
60	-4.0	0.0	-16.0	-4.0	-4.0	-4.0
75	-5.0	0.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
90	-6.0	0.0	-25.0	-6.0	-6.0	-6.0
105	-9.8	0.0	-20.0	-9.8	-9.8	-9.8
120	-13.5	0.0	-16.0	-25.0	-25.0	-13.5
135	-17.3	0.0	-12.0	-15.0	-12.5	-17.3
150	-20.0	0.0	-8.0	-12.5	-10.0	-18.8
165	-22.5	0.0	-4.0	-10.0	-7.5	-19.5
180	-25.0	0.0	0.0	-7.5	-5.0	-20.0
195	-22.5	0.0	-4.0	-10.0	-7.5	-19.5
210	-20.0	0.0	-8.0	-12.5	-10.0	-18.8
225	-17.3	0.0	-12.0	-15.0	-12.5	-17.3
240	-13.5	0.0	-16.0	-25.0	-25.0	-13.5
255	-9.8	0.0	-20.0	-12.5	-12.5	-9.8
270	-6.0	0.0	-25.0	-6.0	-6.0	-6.0
285	-5.0	0.0	-20.0	-5.0	-5.0	-5.0
300	-4.0	0.0	-16.0	-4.0	-4.0	-4.0
315	-3.0	0.0	-12.0	-3.0	-3.0	-3.0
330	-2.0	0.0	-8.0	-2.0	-2.0	-2.0
345	-1.0	0.0	-4.0	-1.0	-1.0	-1.0

Tabla 3 Valores de patrón polar para la simulación.

Grados	Patrón Polar App					
	Cardioide	Omnidireccional	Bidireccional	Supercardioide	Hipercardioide	Subcardioide
0	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.7	0.0
15	-1.2	-2.0	-0.8	-0.4	-0.4	-2.0
30	-1.7	-1.0	-2.3	-0.4	0.0	-3.4
45	-1.7	-2.2	-4.7	-0.8	-1.5	-5.5
60	-2.8	-0.8	-7.2	-1.0	-2.1	-7.1
75	-2.4	-1.0	-12.3	-2.7	-1.9	-8.2
90	-2.9	0.2	-25.0	-5.4	-1.9	-9.0
105	-3.8	-0.8	-10.6	-11.5	-5.6	-11.1
120	-5.4	-1.5	-5.9	-25.0	-25.0	-13.3
135	-7.9	-1.3	-3.8	-5.4	-5.3	-19.3
150	-9.8	-0.2	-1.1	-3.4	-3.8	-20.6
165	-13.2	-0.9	-0.8	-2.9	-2.7	-21.5
180	-25.0	-1.0	0.0	-2.0	-3.5	-20.6
195	-13.2	-0.9	-0.8	-2.9	-2.7	-21.5
210	-9.8	-0.2	-1.1	-3.4	-3.8	-20.6
225	-7.9	-1.3	-3.8	-5.4	-5.3	-19.3
240	-5.4	-1.5	-5.9	-25.0	-25.0	-13.3
255	-3.8	-0.8	-10.6	-11.5	-5.6	-11.1
270	-2.9	0.2	-25.0	-5.4	-1.9	-9.0
285	-2.4	-1.0	-12.3	-2.7	-1.9	-8.2
300	-2.8	-0.8	-7.2	-1.0	-2.1	-7.1
315	-1.7	-2.2	-4.7	-0.8	-1.5	-5.5
330	-1.7	-1.0	-2.3	-0.4	0.0	-3.4
345	-1.2	-2.0	-0.8	-0.4	-0.4	-2.0

Tabla 4 Patrón polar medido con Smaart.

Grados	Patrón Polar App [mV]					
	Cardioide	Omnidireccional	Bidireccional	Supercardioide	Hipercardioide	Subcardioide
0	221.0	278.0	261.0	234.0	270.0	244.0
15	221.0	277.0	190.0	231.0	252.0	233.0
30	201.0	279.0	155.0	219.0	234.0	224.0
45	195.0	278.0	125.0	222.0	220.0	216.0
60	178.0	279.0	105.0	212.0	205.0	214.0
75	172.0	278.0	77.3	204.0	199.0	206.0
90	142.0	278.0	19.7	195.0	185.0	196.0
105	137.0	277.0	77.3	186.0	174.0	170.0
120	105.0	277.0	105.0	19.0	20.0	162.0
135	59.0	278.0	125.0	105.0	134.0	91.2
150	39.0	277.0	155.0	132.0	149.0	88.0
165	24.0	278.0	190.0	151.0	212.0	74.0
180	20.0	279.0	261.0	180.0	226.0	71.0
195	24.0	278.0	190.0	151.0	212.0	74.0
210	39.0	277.0	155.0	132.0	149.0	88.0
225	59.0	278.0	125.0	105.0	134.0	91.2
240	105.0	277.0	105.0	19.0	20.0	162.0
255	137.0	277.0	77.3	186.0	174.0	170.0
270	142.0	278.0	19.7	195.0	185.0	196.0
285	172.0	278.0	77.3	204.0	199.0	206.0
300	178.0	279.0	105.0	212.0	205.0	214.0
315	195.0	278.0	125.0	222.0	220.0	216.0
330	201.0	279.0	155.0	219.0	234.0	224.0
345	221.0	277.0	190.0	231.0	252.0	233.0

Tabla 5 Patrón polar medido con osciloscopio.

Grados	Patrón Polar App Normalizado					
	Cardioide	Omnidireccional	Bidireccional	Supercardioide	Hipercardioide	Subcardioide
0	0.0	-1.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
15	0.0	-2.0	-7.4	-0.5	-1.8	-1.4
30	-2.5	0.0	-11.0	-1.9	-3.6	-2.5
45	-3.2	-1.0	-14.1	-1.5	-5.0	-3.5
60	-5.3	0.0	-16.2	-2.7	-6.5	-3.8
75	-6.1	-1.0	-19.0	-3.6	-7.1	-4.8
90	-9.8	-1.0	-25.0	-4.6	-8.5	-6.1
105	-10.4	-2.0	-19.0	-5.7	-9.6	-9.3
120	-14.4	-2.0	-16.2	-25.0	-25.0	-10.3
135	-20.1	-1.0	-14.1	-15.0	-13.6	-19.3
150	-22.6	-2.0	-11.0	-11.9	-12.1	-19.7
165	-24.5	-1.0	-7.4	-9.7	-5.8	-21.5
180	-25.0	0.0	0.0	-6.4	-4.4	-21.8
195	-24.5	-1.0	-7.4	-9.7	-5.8	-21.5
210	-22.6	-2.0	-11.0	-11.9	-12.1	-19.7
225	-20.1	-1.0	-14.1	-15.0	-13.6	-19.3
240	-14.4	-2.0	-16.2	-25.0	-25.0	-10.3
255	-10.4	-2.0	-19.0	-5.7	-9.6	-9.3
270	-9.8	-1.0	-25.0	-4.6	-8.5	-6.1
285	-6.1	-1.0	-19.0	-3.6	-7.1	-4.8
300	-5.3	0.0	-16.2	-2.7	-6.5	-3.8
315	-3.2	-1.0	-14.1	-1.5	-5.0	-3.5
330	-2.5	0.0	-11.0	-1.9	-3.6	-2.5
345	0.0	-2.0	-7.4	-0.5	-1.8	-1.4

Tabla 6 Patrón polar normalizado.