



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE Y EFECTIVIDAD EN LA MEDICIÓN
DE
NIVELES SONOROS DE APLICACIONES MÓVILES



AUTOR

DIEGO RENATO CUVI GUTIÉRREZ

AÑO

2017



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE Y EFECTIVIDAD EN LA MEDICIÓN DE
NIVELES SONOROS DE APLICACIONES MÓVILES

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica

Profesor guía

M.Sc. Luis Alberto Bravo Moncayo

Autor

Diego Renato Cuvi Gutiérrez

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

Luis Alberto Bravo Moncayo
Magíster en Administración de Negocios
CI: 1711710606

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Jorge Páez Rodríguez

Máster en Gestión y Evaluación de la Contaminación Acústica

CI: 1756773154

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Diego Renato Cuvi Gutiérrez

CI: 0104670955

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en la realización de un estudio de incertidumbre y efectividad referente a la medición de niveles sonoros mediante la utilización de aplicaciones móviles diseñadas para teléfonos basados en tecnología Android y Apple. Para llevar a cabo los experimentos se utilizaron 5 aplicaciones gratuitas disponibles en la tienda virtual de aplicaciones capaces de entregar niveles de presión sonora a manera de nivel continuo equivalente de ponderación A. Se utilizaron 7 modelos de teléfonos distintos de fabricación reciente y compatibles con sistemas operativos actuales. Los resultados de incertidumbre indican poca coherencia entre aplicaciones y teléfonos, salvo ciertas excepciones. De manera general, la medición de niveles de presión sonora utilizando teléfonos móviles puede ser viable en un futuro, dependiendo de la evolución de los diseños y la innovación en el campo acústico vinculado a aplicaciones móviles, pero actualmente no es recomendable utilizar información obtenida por estos medios como información confiable y verosímil.

ABSTRACT

The present titling work consists in the realization of a study of uncertainty and effectiveness regarding the measurement of sound levels through the use of mobile applications designed for phones based on technology Android and Apple. To carry out the experiments were used 5 free applications available in the virtual store of applications capable of delivering sound pressure levels to the equivalent continuous level of A-weighting. Seven models of different phones from recent manufacturing and compatible with current operative systems. Uncertainty results indicate inconsistency between applications and phones, with certain exceptions. In general, measuring sound pressure levels using mobile phones may be feasible in the future, depending on the evolution of designs and innovation in the field of acoustics linked to mobile applications, but it is not currently recommended to use information obtained by these means as reliable and credible information.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Marco referencial	4
1.3 Alcance.....	5
1.4 Justificación	6
1.5 Objetivos	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos específicos	7
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Fundamentos y ecuaciones.....	7
2.1.1 Ruido: Concepto y medición	7
2.1.2 Leq (Nivel continuo equivalente)	8
2.1.3 Escalas de ponderación frecuencial.....	9
2.1.4 El sonómetro: calibración y funcionamiento	11
2.1.5 Clases y tipos de sonómetro	12
2.1.6 Utilización del sonómetro	13
2.1.7 Ruido de emisión: ruido rosa.....	15
2.1.8 Ruido de emisión: ruido de fondo.....	16
2.2 Hardware y software referente al procesamiento de ruido por dispositivos móviles.....	16
2.2.1 Micrófonos utilizados en telefonía <i>smartphone</i> : sistemas microelectromecánicos.....	16
2.2.2 Desarrollo de aplicaciones móviles diseñadas para la captación y procesamiento de sonido	20
2.2.3 Descripción de las aplicaciones utilizadas para los experimentos de medición.....	23
2.3 Métodos de análisis estadístico e incertidumbre	37
2.3.1 Incertidumbre: concepto y cálculo de resultados	37

2.3.2 Repetibilidad y reproducibilidad	39
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	45
3.1 Descripción del proceso de medición.....	45
3.2 Recopilación de datos.....	46
3.3 Características físicas del recinto.....	46
3.4 Distancia emisor-receptor	48
3.5 Ubicación de la fuente emisora y los dispositivos receptores en función del recinto	50
3.6 Ruido y niveles de emisión y radio crítico	51
3.7 Descripción de ensayos individuales.....	55
4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
4.1 Análisis descriptivo de resultados	58
4.1.1 NoiseTube.....	59
4.1.2 Sound Analyzer	67
4.1.3 Armstrong Sound Lvl.....	72
4.1.4 Sound Level Analyzer Lite.....	76
4.1.5 NIOSH Sound Level Meter	78
4.2 Análisis general del rendimiento de las aplicaciones	80
4.3 Análisis de repetibilidad y reproducibilidad	82
4.4 Comparación general de resultados.....	86
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1 Conclusiones:.....	94
5.2 Recomendaciones	96
REFERENCIAS	98
ANEXOS	103

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Actualmente el 80% de los usuarios de internet utilizan tecnología móvil o “*smartphones*” para navegar o generar contenido en la red (Chaffey, 2013). Es fácil predecir el hecho de que esta cifra seguirá aumentando en los próximos años, lo cual es una buena noticia y representa una gran oportunidad para todo tipo de actividades que basen su accionar en la interacción de personas por medio del internet.

Hace algunos años la funcionalidad de los teléfonos móviles se limitaba exclusivamente a la comunicación verbal y textual entre usuarios, mientras que las computadoras eran las que corrían con el trabajo de la ejecución de software complejo y de realizar funciones de cálculo con una naturaleza y perspectiva científica y fiable. Desde hace pocos años, el rol funcional de los dispositivos móviles ha ido cambiando lentamente, y están recibiendo más atención por parte de la comunidad científica, razón por la cual es cada vez más común encontrar investigadores utilizando dispositivos *smartphone* para ejecutar llamativos y poderosos programas de cálculo y predicción (Nature America, 2010).

Las aplicaciones móviles que utilizan un diseño tecnológico avanzado tienen el potencial de realizar estudios y análisis de fenómenos medioambientales de una manera lo suficientemente fiable como para obtener información verídica y precisa. Esto genera la oportunidad de revolucionar la manera en la que se recopila datos de campo, volviendo los métodos más accesibles y económicos, al mismo tiempo que podrían ser compartidos y almacenados de una manera más inmediata por medio de la conectividad a la que están ligados los dispositivos móviles. Esto permite que el uso de este tipo de tecnología para recolectar información relacionada con el ruido, que representa una problemática medioambiental que está siendo tomada en cuenta por cada vez más personas, comunidades e instituciones.

Estudios referentes a la medición de parámetros acústicos han sido brevemente explorados en los últimos años, tomando en cuenta aplicaciones móviles para el análisis de tiempo de reverberación, niveles de emisión de ruido ambiental, o la evaluación de espectro sonoro mediante analizadores en tiempo real.

La incertidumbre que puede generar este tipo de mediciones ha sido puesta bajo observación en varios casos de estudio recientes (Citar los varios estudios!). Uno de ellos llevado a cabo en República Checa en el año 2016 estuvo enfocado al desarrollo de algoritmos para el cálculo y compensación de la incertidumbre generada por el error de localización satelital que existe al realizar y procesar información de ruido ambiental mediante aplicaciones ligadas a un servidor web destinado a la recopilación e interpretación de datos a manera de mapas de ruido (Duda, 2016).

En el año 2014, investigadores del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Ohio realizaron estudios de efectividad sobre una serie de aplicaciones móviles referentes a mediciones de niveles sonoros, diseñadas para distintas plataformas. Se compararon los resultados obtenidos de las aplicaciones y dispositivos móviles con mediciones realizadas utilizando equipamiento de medición certificado bajo las mismas condiciones de laboratorio (Kardous y Shaw, 2014).

Otro estudio realizado en Dublín en el año 2015, tomó una muestra más grande de dispositivos de varias marcas, acotando la muestra de aplicaciones de medición de niveles sonoros, y concluyeron que la utilización de dispositivos *smartphone* y aplicaciones móviles para la medición de ruido ambiental, pese a que está en una etapa inicial, tiene potencial para convertirse en una forma de monitoreo de niveles de ruido basada en el constante aporte de información técnica por parte de los usuarios (Murphy y King, 2016).

Han habido varios intentos de generar mapas de ruido en localidades pequeñas para poner a prueba la exactitud de la que puede ser capaz la

calidad de información recolectada con dispositivos móviles, al exponerlos a medios más realistas que a condiciones controladas de laboratorio. En 2016, los investigadores irlandeses Murphy y King realizaron un experimento de campo para probar la incertidumbre de las aplicaciones, esta vez acercando el estudio a un enfoque más práctico en el campo laboral. El ejercicio consistió en la creación de un mapa de ruido basándose en la utilización de las aplicaciones móviles más precisas, y compararlo con otro mapa de ruido, realizado con el equipo y procedimiento estandarizado. El experimento no obtuvo resultados que indiquen que las aplicaciones móviles puedan cumplir el rol preciso de obtener datos fiables comparables a los obtenidos con instrumentación profesional debido al cambio drástico de condiciones al que fueron sometidos los teléfonos móviles en comparación con el primer experimento, el cual fue ejecutado dentro de un laboratorio en un ambiente sonoramente controlado (Murphy y King, 2016).

En 2016, Kardous y Shaw expandieron su trabajo complementándolo con una serie de ensayos similares, esta vez utilizando micrófonos externos adheribles a los dispositivos móviles. Los resultados demostraron que las aplicaciones alcanzaron un nivel de precisión aún mayor a los descubiertos en el primer experimento, pero concluyeron que las aplicaciones móviles todavía no son lo suficientemente exactas como para reemplazar instrumentos de medición profesionales o de obedecer estándares ANSI o IEC (Kardous y Shaw, 2016).

El mismo año fue realizado un trabajo de investigación por un estudiante de la Universidad Politécnica de Madrid el cual consistió en la evaluación de la fiabilidad de aplicaciones móviles diseñadas para medir el tiempo de reverberación. Los resultados obtenidos concluyeron con el hecho de que las aplicaciones que existen actualmente en las tiendas virtuales para **smartphone** no son fiables para medir este tipo de características sonoras todavía. El problema radica en la falta de estandarización existente en la línea de producción de dispositivos móviles capaces de ejecutar sistema operativo Android. Al existir tantas marcas y modelos distintos genera incertidumbre y

poca coherencia al comparar los resultados obtenidos, una problemática que es mucho menos visible en dispositivos Apple (Araceli, 2016).

De manera similar un estudio realizado en octubre del mismo año por el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Extremadura en España, evaluó un grupo de aplicaciones móviles diseñadas como herramientas de medición acústica utilizando un solo teléfono móvil. Se analizaron parámetros de directividad, niveles de presión sonora y tiempo de reverberación, cuyos resultados fueron comparados posteriormente con mediciones realizadas con equipamiento profesional de medición. Los resultados demuestran la limitación a la que los dispositivos móviles se encuentran ligados, pero afirman el potencial de desarrollo al que se prestan (Méndez y Vílchez, 2016)

Actualmente se está desarrollando un proyecto de mapeo acústico en la ciudad de Quito, y dependiendo de los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación, es posible que se realicen estudios de validación utilizando aplicaciones móviles para continuar con el estudio y aportar con conclusiones válidas referentes al desempeño que tienen los dispositivos *smartphone* en una situación de trabajo de campo.

1.2 Marco referencial

En los últimos años se han realizado estudios referentes a la efectividad de las aplicaciones móviles con respecto a la toma de muestras y medición de ruido debido al avance tecnológico que han tenido los desarrolladores tanto de hardware como de software. La posibilidad de contar con medios económicos y logísticamente más accesibles abre las puertas a un nuevo método de recopilación de datos, el cual puede ser utilizado para mantener información referencial muy precisa en constante actualización, haciendo posible en el futuro la monitorización de ruido en tiempo real.

Los estudios que se han realizado al respecto son muy recientes y valiosos para describir la evolución que han tenido estos métodos, los cuales cuentan con un potencial muy alto de desarrollo y estandarización. Además, la facultad de adquirir y monitorear niveles de exposición sonora en tiempo real, ofrece a muchos trabajadores la facilidad de mantenerse alerta y al tanto de los niveles a los cuales están sometidos, lo cual permite un mejor diseño de medidas de seguridad ocupacional (Kardous y Shaw, 2014).

1.3 Alcance

El alcance del presente trabajo de titulación consiste en realizar una serie de experimentos basados en la medición de niveles de presión sonora generados en campo sonoro controlado por una fuente emisora de ruido. Los experimentos consisten en la obtención de información mediante la utilización de un grupo determinado de aplicaciones móviles diseñadas para la medición de niveles de ruido, siendo ejecutadas desde varios modelos de dispositivos *smartphone*. Entre los modelos de teléfonos móviles a utilizarse solo se encuentran marcas que puedan ejecutar sistema operativo iOS o sistema operativo Android. Para el análisis de aplicaciones en plataforma Apple se usarán los modelos iPhone 5s, iPhone 6s y iPhone 7, mientras que para la evaluación de aplicaciones Android se utilizarán los modelos Samsung Galaxy J5 Prime, Samsung Galaxy S5 y One PLUS 2.

En cuanto a las aplicaciones escogidas para el análisis que se tomarán en cuenta para sistema operativo iOS, se han seleccionado las siguientes: Sound Level Analyzer Lite, NoiseTube y NIOSH Sound Level Meter. Por otro lado, para sistema Android se han escogido: Sound Analyzer, NoiseTube y City Soundscape. A su vez, los ensayos serán ejecutados de manera similar, con equipamiento de medición calificado y estandarizado para obtener el mismo tipo de información, de manera precisa y prácticamente infalible bajo las condiciones controladas de tal manera que el experimento sea fácilmente

reproducibles. Una vez realizados los ensayos, los datos obtenidos serán analizados y comparados entre sí, para obtener conclusiones concretas referentes a la efectividad que presentan las aplicaciones móviles en esta área de investigación científica, además de calcular los niveles de incertidumbre que generan este tipo de mediciones, para de esta manera, sustentar aún más las conclusiones obtenidas.

1.4 Justificación

La realización de este proyecto busca expandir y actualizar los conocimientos existentes referentes al análisis de la incertidumbre en la medición de niveles sonoros de aplicaciones móviles, generando una fuente más de información referente al caso, la cual pueda ser tomada en cuenta para futuras investigaciones con respecto a muchas áreas de desarrollo con las que esta temática se encuentra relacionada, como lo son el diseño de medidas de seguridad ocupacional, la evaluación de ruido medioambiental, la producción industrial de dispositivos móviles y la optimización de aplicaciones móviles. Es muy probable que en años posteriores se brinde una mayor importancia al diseño de hardware y software de telefonía móvil en función de la facultad de recolectar información sonora, y a su vez, de generar de manera inclusiva y social, métodos de detección de ruido ambiental con bases de datos confiables las cuales puedan ser tomadas en cuenta por autoridades y organismos reguladores para construir solución.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Analizar la incertidumbre y efectividad que presentan las aplicaciones móviles diseñadas para la medición de niveles sonoros en comparación con dispositivos de medición estandarizados.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis comparativo entre varios modelos *smartphone* para determinar que marcas y modelos ofrecen los mejores resultados de medición sonora.
- Analizar la relación que existe entre los resultados obtenidos y las características de hardware o software que posean los dispositivos utilizados, para determinar la influencia que podría tener el sistema operativo, marca o modelo, en la captación de niveles de ruido con telefonía móvil.
- Determinar la repetibilidad y reproducibilidad del procedimiento de medición bajo las condiciones de laboratorio vigentes en el recinto utilizado dentro de las instalaciones de la Universidad de Las Américas.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos y ecuaciones

2.1.1 Ruido: Concepto y medición

El sonido es el resultado de oscilaciones o fluctuaciones de presión atmosférica las cuales excitan el mecanismo interno del oído generando la sensación de la escucha. El ruido es catalogado como cualquier tipo de sonido no deseado, razón por la cual esta definición es subjetiva dependiendo del receptor o escucha. El oído humano es capaz de responder a cambios de presión sonora dentro de un rango muy amplio, por ejemplo, la presión sonora más intensa que es capaz de soportar es diez millones de veces más fuerte que la presión sonora más suave a la cual responde el mismo.

Es por eso que este rango tan extenso que existe entre los estímulos más suaves y más fuertes, es reducido de una manera más conveniente y manejable mediante la utilización de una escala logarítmica, que permite una mejor interpretación y expresión matemática. Para evitar que la escala esté demasiado comprimida, se utiliza un factor de 10, dando así paso a la existencia de la unidad conocida como decibel [dB] (Brown, 2008).

2.1.2 Leq (Nivel continuo equivalente)

En circunstancias normales, los niveles de presión sonora generados por una fuente pueden variar durante el transcurso de cierto tipo de emisión. Dichos niveles pueden tender a subir o bajar de manera irregular dependiendo de factores vinculados con la fuente. Un ejemplo muy claro es el ruido ambiental, cuyos niveles pueden variar de manera aleatoria e impredecible al ser influenciados por distintos fenómenos no controlados, lo que es normal en una medición de este tipo. El **Nivel Continuo Equivalente (Leq)** es una medida análoga a lo que podría ser descrito como un nivel promedio de nivel de presión sonora, y es definido como una constante hipotética de nivel sonoro en función de un período de tiempo (INERCO Acústica, 2012)

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right]$$

(Ecuación1)

Donde:

L_{eq} = Nivel continuo equivalente de presión sonora expresado en dB

p_0 = Nivel de presión referencial, usualmente establecido como 20 μPa

p_A = Nivel de presión adquirida

t_1 = Tiempo de inicio de la medición

t_2 = Tiempo de finalización de la medición

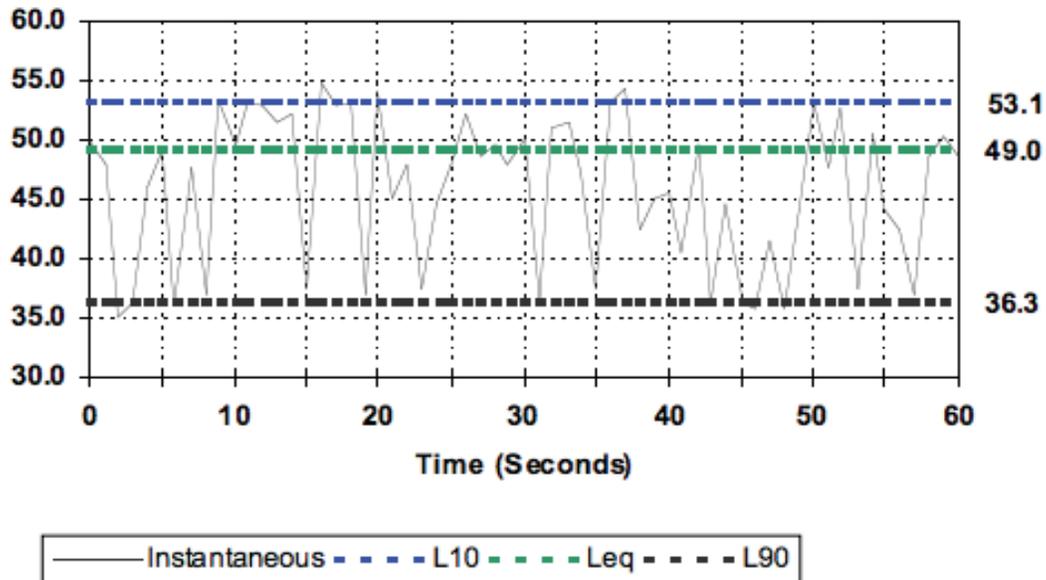


Figura 1. Niveles instantáneo y continuo

Tomado de Brown, 2008. p. 22

2.1.3 Escalas de ponderación frecuencial

El oído humano es el resultado de millones de años de evolución, razón por la cual no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias existentes en el espectro. Es por eso que resulta muy útil el realizar mediciones de ruido tomando en cuenta estas peculiaridades presentes en la fisiología del oído, para así obtener una idea más acertada de cómo recibe el ser humano los estímulos sonoros de una manera más realista. (Lamancusa, 2000)

El umbral de audición humana varía con la frecuencia, siendo el rango frecuencial entre 500 Hz y 4000 Hz el más sensible, y siendo menos sensible a frecuencias inferiores y superiores a este intervalo. Existen filtros implementados en los medidores de presión sonora diseñados para generar una respuesta en frecuencia más cercana a la que recibe e interpreta el aparato auditivo humano, llamados filtros o curvas de ponderación, , las cuales

están directamente derivadas de las curvas de sonoridad desarrolladas por Fletcher y Munson en 1933 (Fletcher, H. y Munson, W.A, 1933)

Existen varias curvas de ponderación: **A**, **B**, **C** y **D**. La más utilizada es la ponderación **A (A-Weighting)**, ya que es la curva que más protege el oído humano contra niveles de presión potencialmente dañinos siendo esta la más conservadora. El aumento o disminución de 1 dBA o menos en el nivel de un estímulo sonoro es prácticamente imperceptible para el oído humano, mientras que un cambio de 10 dBA es generalmente interpretado como el doble o la mitad en la sonoridad percibida.

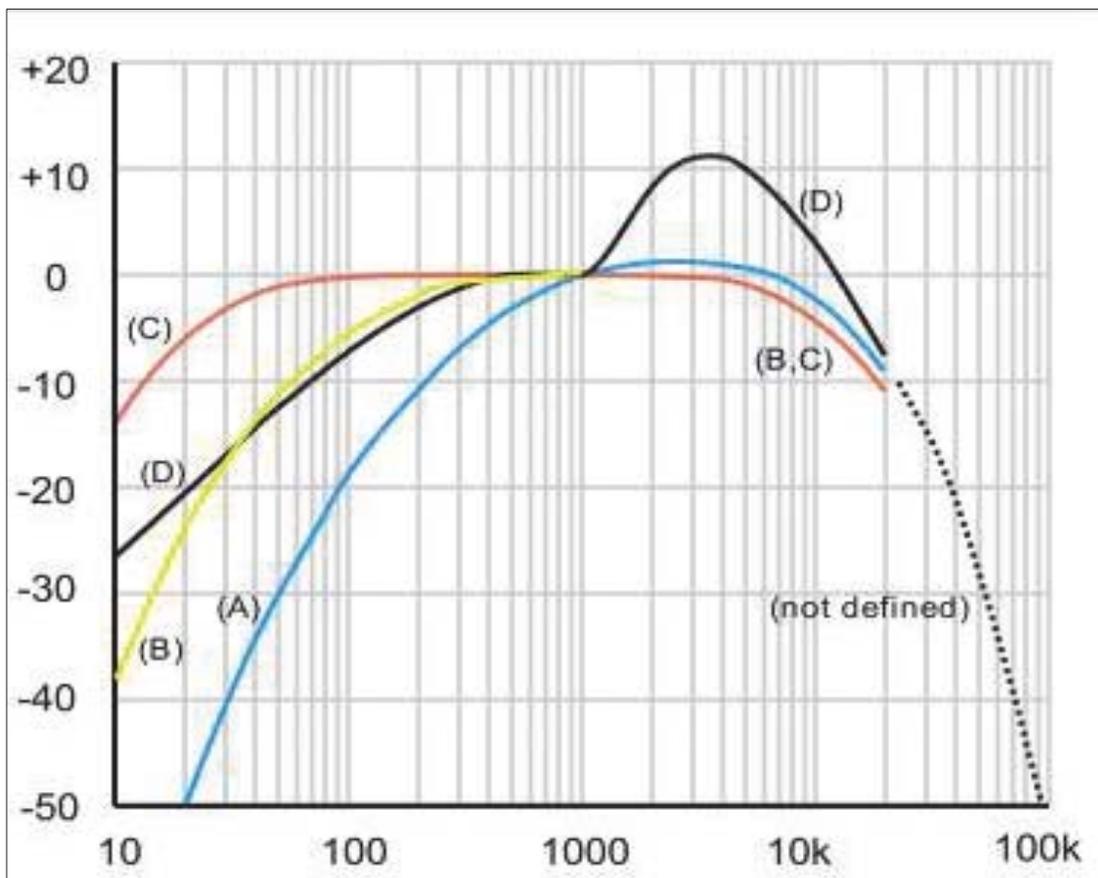


Figura 2. Curvas de ponderación frecuencia

Tomado de Brown, 2008. p. 17

2.1.4 El sonómetro: calibración y funcionamiento

El sonómetro es un dispositivo utilizado para realizar prácticas de medición y monitoreo de fenómenos acústicos. Consiste en la captación de impulsos acústicos mediante un micrófono, el cual responde a cambios en la presión del aire causados por ondas sonoras. El movimiento del diafragma interno del micrófono es traducido a energía eléctrica, la cual es alimentada hacia un sistema de pre-amplificación y filtrado. Al mismo tiempo, la señal instantánea pasa por un proceso de rectificación el cual arroja niveles RMS, los cuales son exponencialmente promediados utilizando varias constantes de tiempo: 0.125 segundos para un período de integración rápido (**fast**), 1 segundo para períodos de integración más lentos (**slow**) y 0.035 segundos para períodos de integración instantáneos (**impulse**). El resultado es expresado visualmente de manera digital o analógica, dependiendo del tipo de sonómetro.

Los sonómetros pueden ser diferenciados en “clases” (según el estándar europeo IEC) o en tipos (según el estándar americano ANSI). Esta clasificación depende de la precisión y calidad en los resultados que son capaces de arrojar tales dispositivos. Las normativas específicas características de diseño en parámetros como la direccionalidad, la ponderación frecuencial, períodos de integración y la sensibilidad del sonómetro a ciertos ambientes de exposición.

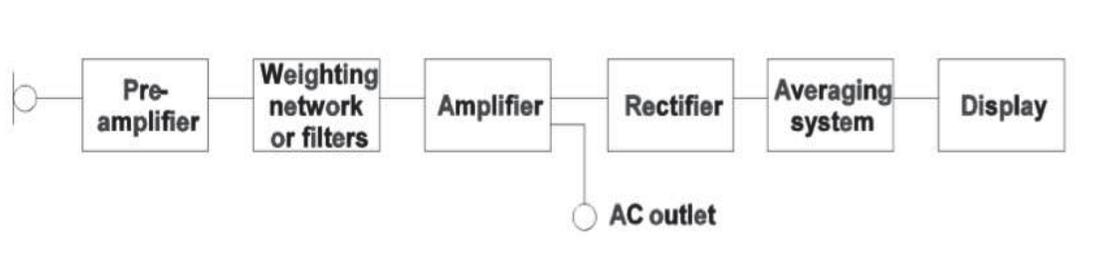


Figura 3. Diagrama de bloques de un sonómetro.

Tomado de Malchaire, s/f. p.1

2.1.5 Clases y tipos de sonómetro

Estándares europeos IEC dividen la clasificación de los sonómetros en dos clases distintas: clase 1 y clase 2 dependiendo de la incertidumbre a la que están ligados los resultados que entregan. Los sonómetros de clase 1 son instrumentos con un mayor rango de frecuencias y precisión en comparación a los instrumentos de clase 2. Los dispositivos de clase 1 no suelen ser muy prácticos y convenientes para la utilización en campo y son mayormente utilizados para investigación en laboratorio. Similarmente, los estándares americanos ANSI especifican tres tipos de sonómetros, clasificados en instrumentos de tipo 0, tipo 1 y tipo 2. Los dispositivos de tipo 0 son utilizados como referencias estándar para laboratorios de medición, y los de tipo 1 de manera similar, son especializados para llevar a cabo ensayos de laboratorio o en campo, bajo condiciones controladas y poco drásticas. Suelen ser más versátiles debido a que ciertos diseños ofrecen la posibilidad de medir vibraciones y realizar análisis espectrales acertados. Usualmente entregan resultados sin ponderación (flat) o con ponderaciones de tipo A o C.

Los instrumentos de tipo 2 y 3 suelen ser más limitados en cuanto al procesamiento y captación de información, debido a la calidad de sus componentes.



Figura 4. Ejemplos de sonómetros

Tomado de Scantekin, s/f. p.1

2.1.6 Utilización del sonómetro

La Organización Mundial de la Salud describe un procedimiento de buenas prácticas en la utilización de sonómetros para recolección de información necesaria para la gestión de ruido ocupacional. Se mencionan puntos referentes al estado del instrumento, orientación e interacción del mismo con el ambiente al que está expuesto:

- 1 Las baterías o fuente de alimentación del instrumento debe ser revisada antes y durante las sesiones de medición.
- 2 Un filtro o protector contra el viento tiene que ser utilizado si la velocidad del aire es notable y posiblemente influyente.
- 3 El micrófono tiene que estar orientado aproximadamente a 70° de la dirección de la fuente predominante, para que la incidencia del sonido directo y sonido reflejado sea similar dentro de un campo difuso. De manera similar, el micrófono debe estar orientado aproximadamente a 0° en campo libre, apuntando directamente a la fuente predominante de ruido.
- 4 El instrumento debe estar estabilizado en un trípode sobre una superficie firme y aislado de cualquier fuente de vibraciones que puedan ser transmitidas al mismo. El operador deberá estar a una distancia de 2 a 3 metros del instrumento para minimizar la incidencia de elementos que puedan interferir con la respuesta en frecuencias medias y altas
- 5 El sonómetro deberá ser calibrado antes de realizar cualquier ensayo de medición y revisado posteriormente utilizando un calibrador certificado. Si la calibración del dispositivo varía de una manera exagerada, es posible que la información recopilada sea errónea.

2.1.6.1 Calibración del sonómetro

Los micrófonos de los instrumentos son individualmente calibrados en la fábrica o en laboratorios calificados y acreditados para el efecto. En el campo, la calibración es realizada mediante la aplicación de un nivel de presión sonora conocido en una frecuencia especificada. Los calibradores son pequeños aparatos, que suelen operar bajo diferentes principios.

Algunos generan tonos de 250Hz a un nivel de presión sonora de 124dB con una precisión de más o menos 0.2dB. Otros suelen operar con tonos de 1000 Hz a un nivel de presión de 94dB, con una precisión de más o menos 0.5dB. La utilización de calibradores es esencial para ensayos de campo ya que proveen consistencia a las mediciones y permite una comparación acertada de la información recopilada durante largos períodos de tiempo.



Figura 5. Sonómetro y calibrador Brüel & Kjær 2250L

Tomado de Soluciones Audiométricas, s/f. p.1

2.1.7 Ruido de emisión: ruido rosa

El ruido rosa es una señal cuyo espectro de frecuencia es tal que la densidad espectral o energía por intervalo de frecuencias es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal, es decir, cada octava acarrea la misma cantidad de energía.

Esto significa que el nivel por intervalo de frecuencias va decayendo a una relación de 3 dB. El nombre “ruido rosa” viene dado por la analogía que se hace con la luz blanca al ser atenuada en la parte superior de su espectro frecuencial, lo cual genera tonos cercanos al color rojo, o rosa. El ruido rosa se utiliza para calibrar equipamiento con la función de emitir sonido, para analizar de esta manera la respuesta que presentan los espacios físicos hacia un estímulo sonoramente estable y balanceado, o la manera de emitir señales que tienen diferentes dispositivos como altavoces, arreglos, etc. (Domingo, 2014).

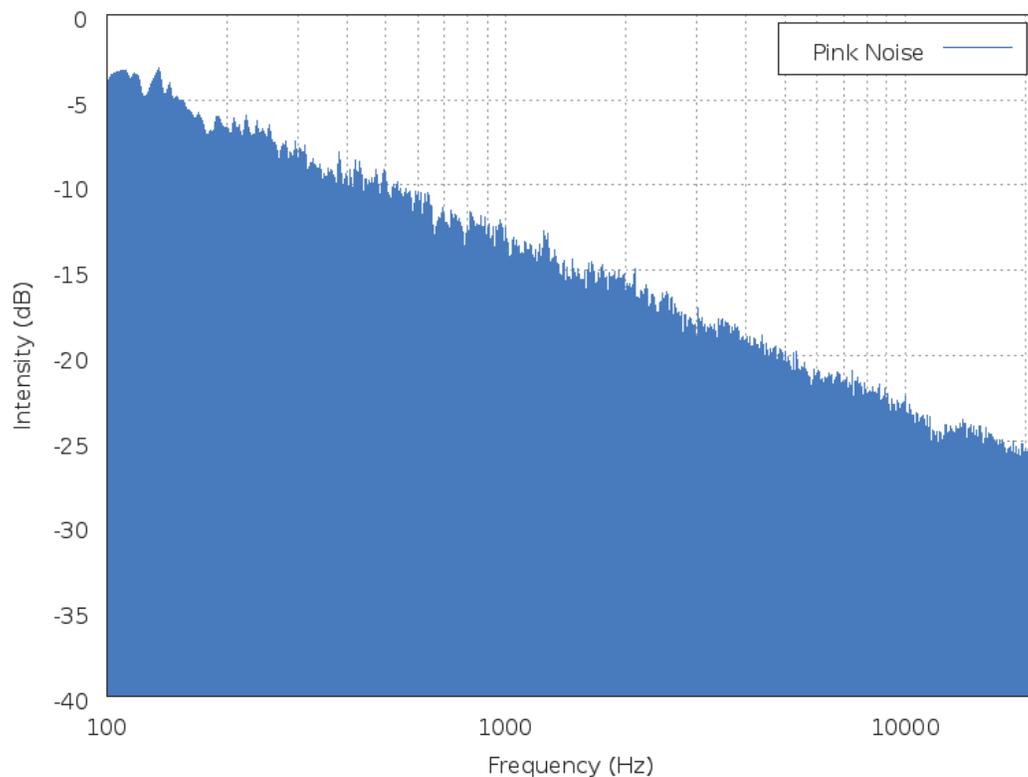


Figura 6. Espectro de ruido rosa

Tomado de Domingo, 2014, p.10

2.1.8 Ruido de emisión: ruido de fondo

Se considera ruido de fondo al sonido no deseado que se genera de manera simultánea a la realización de un ensayo de medición acústica, el cual puede ser influyente en el resultado del mismo. Para contrarrestar el efecto generado por el ruido de fondo se realizan correcciones dependiendo del nivel que tenga. Usualmente, si la diferencia entre el nivel generado por la fuente de estudio y el ruido de fondo es menor o igual a 3 dB, los resultados obtenidos durante el ensayo no representan información fiable, y si la diferencia es mayor o igual a 10 dB, entonces el ruido de fondo no es incidente ni influyente en el resultado. Pero en el intervalo intermedio el ruido de fondo sí afecta de cierta manera al ensayo, por lo que es necesario hacer un cálculo el cual corrija el resultado en función del ruido de fondo. Este procedimiento consiste en una sencilla resta de niveles (Domingo, 2014).

$$L_s = 10 \log(10^{0.1L_{s+n}} - 10^{0.1L_n})$$

(Ecuación 2)

Donde:

L_s = Nivel neto generado por la fuente de estudio

$L_s + n$ = Nivel generado por la fuente de estudio más el ruido de fondo

L_n = Nivel de ruido de fondo evaluado

2.2 Hardware y software referente al procesamiento de ruido por dispositivos móviles

2.2.1 Micrófonos utilizados en telefonía *smartphone*: sistemas microelectromecánicos

Una de las mayores limitaciones que presentan las aplicaciones diseñadas para el monitoreo de nivel de presión sonora en cualquier plataforma

smartphone son los micrófonos con los que cuentan los dispositivos móviles. La tecnología de captura de video es muy valorada en los diseños actuales, pero el registro de audio no ha sido muy priorizado, debido a que la principal función de los micrófonos destinados para telefonía se enfocan en una buena respuesta vocal y no van mucho más allá. Lo más común en microfonía móvil hasta hace algunos años atrás era la implementación de micrófonos de condensador Electret, los cuales no entregan una respuesta de muy alta calidad (Robinson & Tingay, 2014)

Los diseños han sido optimizados debido a la introducción de sistemas microelectromecánicos (MEMS) a manera de micrófonos de respuesta mucho más plana y extendida. Los sistemas microelectromecánicos o MEMS (microelectromechanical systems), son sistemas de naturaleza tecnológica con características microscópicas. Estos dispositivos generalmente están compuestos de piezas y componentes con una dimensión de entre 1 hasta 100 micrómetros, haciendo del sistema compuesto de un tamaño usualmente de entre 20 micrómetros a un milímetro. Consisten en una unidad central de procesamiento, y varios elementos que interactúan con el medio externo, generalmente siendo micro sensores o transductores de algún tipo.

Entre algunas aplicaciones para las cuales se ha utilizado este tipo de tecnología están el diseño e implementación de acelerómetros o giroscopios dentro de sistemas de tamaño reducido, como dispositivos de radiocontrol, tecnología de creación audiovisual y también en tecnología móvil. Los micrófonos MEMS son utilizados comúnmente en dispositivos portátiles como teléfonos móviles, laptops, y tecnología *smart* en general. Esto ha significado el desarrollo de micrófonos de tamaño muy reducido con un excelente desempeño. En general, los micrófonos MEMS ofrecen una alta relación señal/ruido, bajo consumo de energía, buena sensibilidad y versatilidad de implementación. (ST Inc., 2017)

El mercado para micrófonos MEMS ha ido creciendo recientemente de una manera acelerada, especialmente para la utilización de estos dispositivos en diseños de telefonía móvil más actuales. De acuerdo con cifras entregadas por estudios de mercadeo realizados en el 2016, la demanda de estos implementos ha sido de más de cuatro billones de micrófonos MEMS embarcados para la venta en ese mismo año, y alcanzará la cifra de 6 billones de ventas anuales para el 2019 (ST Inc., 2017). Hoy en día, los micrófonos internos en dispositivos *smartphone* hacen mucho más que solo capturar la voz humana para funciones de transmisión simple, sino que también funcionan como sensores de poco consumo para realizar acciones de reconocimiento auditivo, o grabación de video con buena calidad de audio.

Comparados con los tradicionales micrófonos de condensador electret, muy comunes en telefonía móvil más antigua y desactualizada, los micrófonos MEMS tienden a ofrecer un tamaño más reducido y una relación señal/ruido más amplia, al mismo tiempo que ofrecen bajo consumo de energía y mayor facilidad de ensamblaje dentro de materiales semiconductores de silicio. Su tamaño permite a los productores de sistemas portátiles la implementación de varios micrófonos en un mismo dispositivo, dando paso a funciones más avanzadas y variadas como la cancelación de ruido, o directividad variable.

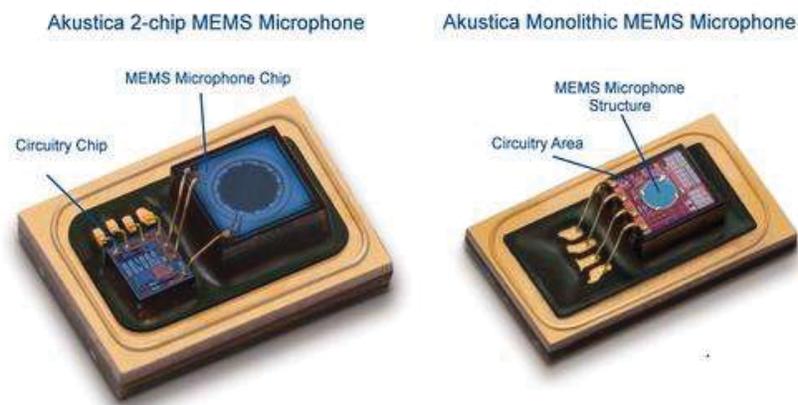


Figura 7. Diseños de micrófonos MEMS

Tomado de ST Inc., 2017, p.5

Estos micrófonos utilizan sensores acústicos fabricados en grandes líneas de producción diseñadas para la manufactura de semiconductores, generalmente de silicio. Varias capas de distintos materiales son usadas para generar una membrana sensible a los estímulos acústicos y ensambladas a la base de silicio.

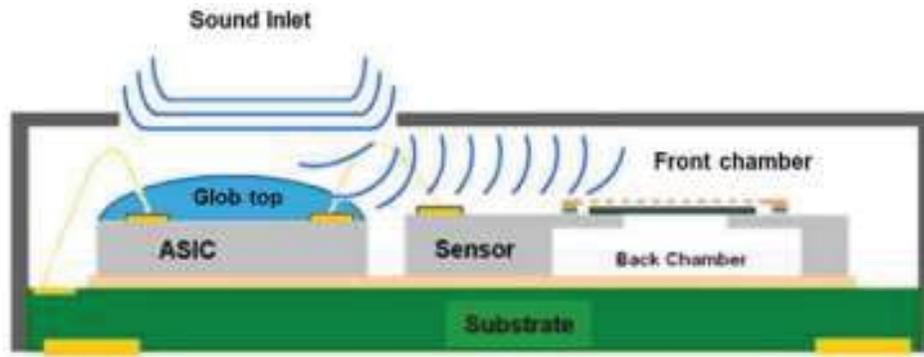


Figura 8. Vista lateral de un micrófono MEMS

Tomado de ST Inc., 2017, p.5

Los cambios en la presión del aire generados por las ondas sonoras causan el movimiento oscilatorio de la membrana elástica, el cual genera una variación en la capacitancia existente entre esta y la placa posterior, la cual es rígida, lo cual es transmitido como una señal eléctrica, teniendo un comportamiento similar al de los micrófonos de condensador, comunes en el mercado. (ST Inc., 2017)

Un microprocesador interno en el diseño del dispositivo se encarga de medir estas variaciones de voltaje generada por el movimiento de la membrana y la variación de capacitancia, y de llevarla a la siguiente etapa de procesamiento, ya siendo una etapa de preamplificación o de conversión análogo-digital.

Entre las características técnicas que ofrecen estos micrófonos se pueden describir las siguientes:

- **Relación señal/ruido:**

La relación señal/ruido es una de las características más importantes a la hora de describir el desempeño de un micrófono en la mayoría de aplicaciones. Esta representa la diferencia entre la sensibilidad del micrófono el fondo de ruido, expresada en dB. Generalmente en los micrófonos MEMS, esta se encuentra entre 56 dB y 66 dB.

- **Respuesta de frecuencia:**

La respuesta de frecuencia que presentan este tipo de micrófonos va aproximadamente desde los 100 Hz, con un pronunciamiento alrededor de los 5 kHz, y empieza nuevamente a decaer aproximadamente a los 10 kHz.

- **Directividad:**

Por lo general, los diseños MEMS son omnidireccionales, pero al generar arreglos de 2 o más micrófonos se puede generar directividad al incrementar la sensibilidad de una dirección específica. (Chandramohan, 2010)



Figura 9. Dispositivos móviles con micrófonos MEMS integrados
Tomado de ST Inc., 2017, p.12

2.2.2 Desarrollo de aplicaciones móviles diseñadas para la captación y procesamiento de sonido

2.2.2.1 Algoritmos y diseño de aplicaciones móviles

El desarrollo de aplicaciones diseñadas para el monitoreo e interpretación de niveles de presión sonora consiste en el procesamiento de señales acústicas recibidas por un canal de entrada dentro de cada dispositivo móvil para ser codificadas y desplegadas a manera de información visual por medio de la interfaz gráfica que disponga la aplicación correspondiente. Dependiendo de la capacidad de procesamiento de cada aplicación, este proceso puede ser más o menos complejo, pero generalmente se lleva a cabo una serie de pasos basados en el diseño de sonómetros certificados para la completa codificación de las señales de audio. (Casas et al, 2014). En primer lugar la señal de audio es recibida por el micrófono interno del teléfono, para luego pasar a una etapa de preamplificación. Posteriormente se procesa la señal por una serie de filtros frecuenciales de ponderación (A, B, C, Z), filtros pasa banda (octava o $\frac{1}{3}$ de octava) y ponderación temporal (slow, fast, impulse). Pasados estos filtros, la señal se transfiere a la etapa de integración y cuantificación logarítmica y estadística, para ser representada por indicadores acústicos en una interface visual (Gresovnik, 2002).

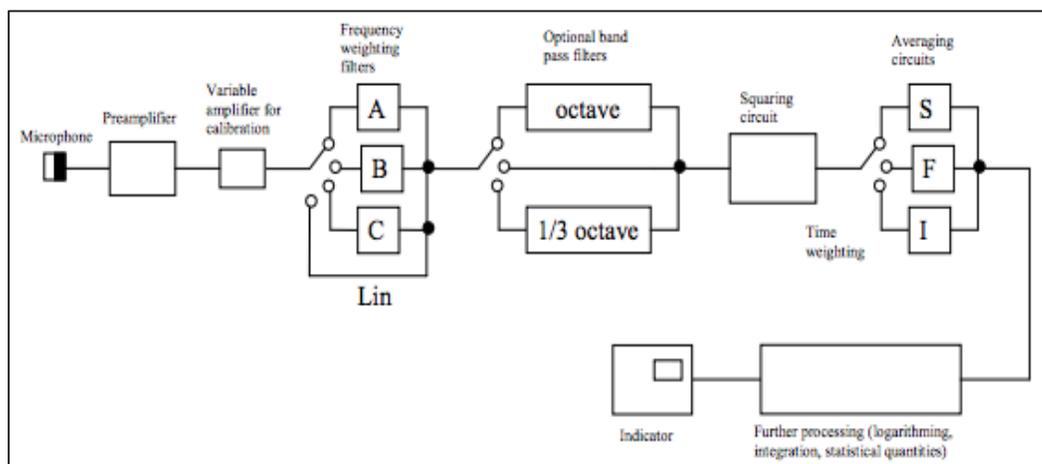


Figura 10. Diagrama del flujo de señal correspondiente a un sonómetro.

Tomado de Zamora et al, 2017, p. 1.

Existen varios tipos de algoritmos que permiten la medición de niveles de ruido con énfasis en aplicaciones móviles. Estos algoritmos realizan procesos basados en el dominio de la frecuencia o del tiempo. (Zamora et al, 2017)

2.2.2.2 Algoritmo basado en series de Fourier (dominio de la frecuencia)

El primer tipo de algoritmo consiste en transformar las medidas obtenidas en valores desde el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia por medio de la transformada de Fourier. Una vez que la transformada es aplicada, la información es evaluada y procesada utilizando las ecuaciones referentes al nivel continuo equivalente Leq aplicando la ponderación correspondiente a cada una de las bandas de frecuencia y calculado de manera global.

```

Algorithm 1: dB(A) calculating using Fourier transform.


---


Data: BufferRawData, AudioRecord
Input: SR (SampleRate); BS (BlockSize); T (Totaltime)
1  $k = \frac{SR}{BS}$ 
2 for  $c = 1$  to  $T$  do
3    $dat = 0$ 
4   for  $z = 1$  to  $k$  do
5     Read current AudioRecord with Block Size BS
6     for  $i = 0$  to  $BS$  do
7        $w = \frac{1}{2}(1 - \cos(\frac{2\pi i}{BS-1}))$ 
8        $sample(i) = NormalizedRawData(i) \cdot w$ 
9     end
10     $FFT(Array\ sample)$ 
11    for  $i = 0, j = 0; i < BS/2; i++, j++ = 2$  do
12       $mag(i) = \sqrt{FFT(j)^2 + FFT(j+1)^2}$ 
13       $dat = dat + 10^{\frac{L_{p-mag(i)}}{10}}$ 
14    end
15  end
16   $ToLogFile(10 \cdot \log_{10} \frac{dat}{k})$ 
17 end

```

Figura 11. Ejemplo de un algoritmo basado en el análisis Fourier referente al diseño de una aplicación de medición de niveles de ruido para plataformas Android.

Tomado de Zamora et al, 2017, p. 1.

2.2.2.3 Algoritmos basados en el dominio del tiempo

El segundo tipo de algoritmo es uno de los más conocidos y utilizados por desarrolladores. Este interpreta los niveles de ruido en el dominio del tiempo, en donde los valores son tomados de un conjunto de información sin procesar y son evaluados de manera similar utilizando las ecuaciones de nivel continuo equivalente. Una vez completado el ciclo, este calcula un nivel promedio de los niveles de ruido (Zamora et al, 2017),

```

Algorithm 2: dB(A) calculation using time series and non-normalized data.


---


Data: BufferRawData, AudioRecord
Input: SR (SampleRate); BS (BlockSize); T (Totaltime)
1  $k = \frac{SR}{BS}$ 
2 for  $c = 1$  to  $T$  do
3    $dat = 0$ 
4   for  $z = 1$  to  $k$  do
5     Read_AudioRecord(BS);
6     Apply equation for row data in buffer array;
7      $dat = dat + \left( \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{BS-1} 10^{\frac{L_p}{10}} \right)$ 
8   end
9   ToLogFile( $10 \cdot \log_{10} \frac{dat}{k}$ )
10 end


---



```

Figura 12. Ejemplo de un algoritmo de diseño de una aplicación de medición de niveles de ruido para plataformas Android.

Tomado de Zamora et al, 2017, p. 1.

2.2.3 Descripción de las aplicaciones utilizadas para los experimentos de medición

Para llevar a cabo los ensayos se tomaron en cuenta 6 aplicaciones móviles disponibles en el mercado gratuito, diseñadas para el monitoreo y procesamiento de ruido en plataformas Android y Apple. Dentro del grupo de aplicaciones Android fueron utilizadas NoiseTube y Sound Analyzer. Para

plataforma Apple de igual manera se utilizaron 3 aplicaciones, Sound Level Analyzer Lite, Sound Lvl y NIOSH SLM. Todas ellas, capaces de arrojar niveles de ruido en términos de nivel continuo equivalente ponderado A (LeqA).

- **NoiseTube:**

NoiseTube es un proyecto de investigación iniciado en el año 2008 en el laboratorio de Sony Computer Science de París. Actualmente es mantenido y desarrollado por Software Languages Lab en la universidad de Bruselas. El proyecto NoiseTube propone un acercamiento participativo al monitoreo de contaminación auditiva y ruido ambiental involucrando al público en general. La aplicación lleva más allá el uso común de los actuales teléfonos móviles al convertirlos en sensores de ruido, permitiendo a los ciudadanos realizar mediciones de la exposición sonora a la que se ven sometidos día a día. Además, cada uno de los usuarios pueden participar de la creación de mapas colectivos de ruido al compartir sus resultados dependiendo de su geo localización con la comunidad NoiseTube.

Al instalar la aplicación gratuita en un *smartphone*, el usuario es capaz de medir niveles de presión sonora en unidades dB(A), y de etiquetar dicha información dependiendo de las circunstancias que involucren la fuente de ruido o el ambiente en el que se encuentra. Cuando los datos son subidos al servidor web, se puede verificar la trayectoria del resultado de manera visual a través de Google Maps. (NoiseTube, 2017)



Figura 13. Logo de NoiseTube

Tomada de NoiseTube, 2017. p. 1.

Se han realizado varios estudios y experimentos de mapeo de ruido experimentales utilizando NoiseTube como herramienta principal para determinar la efectividad de los mapas que pueden ser construidos utilizando esta aplicación, comparados con mapas realizados con instrumentación certificada.

Los resultados pueden ser simulaciones bastante acertadas de un experimento de medición profesional, siempre y cuando se pueda realizar de manera metódica todos los procedimientos referentes a la recopilación de datos de manera óptima, como calibración de los teléfonos móviles, suficiente recopilación de datos y repeticiones, adecuación al medio climatológico y análisis de errores referente a las pruebas realizadas. (D'Hondt, 2012)



Figura 14. Mapa de ruido participativo: hora pico, hora regular y simulación.

Tomada de D'Hondt, 2012, p.9.

La interfaz que ofrece la aplicación es sencilla. El primer acercamiento que tiene la aplicación con el usuario es una petición de registro dentro del servidor con datos de usuario y de geo localización, para poder llevar a cabo el monitoreo geo localizado. El programa también es funcional fuera de línea para realizar mediciones de manera local que luego pueden ser subidas al servidor una vez conectado el dispositivo a una red de internet.

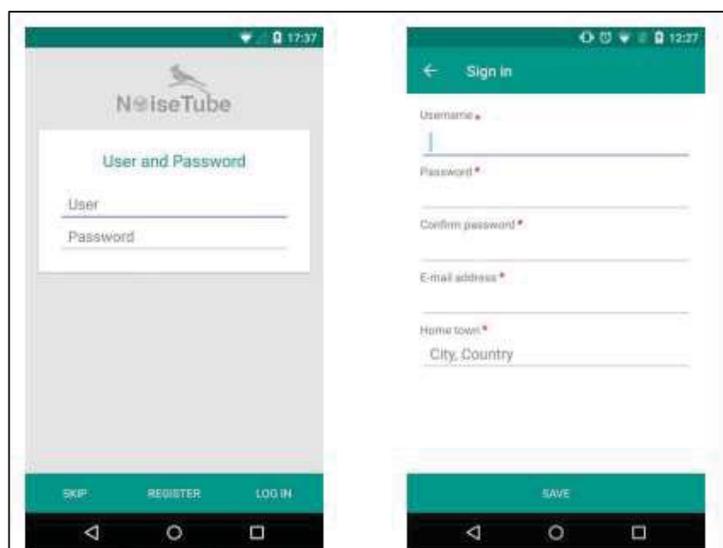


Figura 15. Pantalla de registro de usuario principal

Tomada de NoiseTube, 2017. p. 1.

Una vez pasada la etapa de información personal del usuario, el programa funciona a base de dos opciones para empezar y detener la medición en proceso.

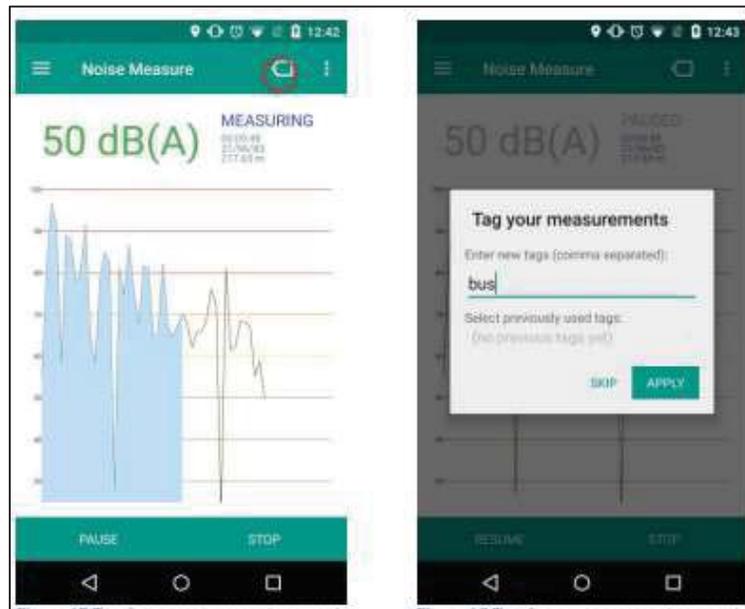


Figura 16. Pantalla de medición y registro

Tomada de NoiseTube, 2017. p. 1

Una vez terminado el proceso de medición, una pantalla con indicadores de ruido es desplegada, en donde se muestra información referente a esa medición, o “track”. En la pantalla se muestra el número de serie del track, la duración, el número de registros que se tomaron, el LAeq mínimo, máximo y promedio, además de la distancia recorrida de haber sido activada la geolocalización.



Figura 17. Pantalla de indicadores

Tomada de NoiseTube, 2017. p. 1

- **Sound Analyzer App:**

Sound Analyzer App es una aplicación exclusiva para sistema operativo Android la cual permite utilizar un dispositivo *smartphone* como un sonómetro y analizador de espectro en tiempo real (RTA).



Figura 18. Logo de Sound Analyzer

Tomada de Sound Analyzer, 2017, p.1

En esta aplicación la sensibilidad del micrófono puede ser calibrada de manera automática.



Figura 19. Pantalla de indicadores

Tomada de Sound Analyzer, 2017, p.1

Cuenta con funciones tales como ponderación frecuencial A, C, Z; ponderación temporal (fast, slow), nivel sonoro continuo equivalente ponderado A (LeqA), niveles de exposición ponderados A, y niveles de exposición sonora ponderado A normalizado a una jornada laboral de 8 horas. También realiza funciones de analizador de espectro en bandas de octava o $\frac{1}{3}$ de octava, de 31.5 Hz a 8 kHz, y 25 Hz a 16 kHz respectivamente. (Rodrigues, 2017)

También cuenta con una pantalla de calibración la cual utiliza un sistema de calibración automática, la cual requiere que la aplicación sea calibrada mientras el dispositivo es expuesto a un nivel constante de ruido. (Rodrigues, 2017)

- **Armstrong Sound Level Meter:**

La aplicación Sound Level Meter de la compañía Armstrong World Industries Inc. es una aplicación gratuita dentro de la tienda Appstore compatible con plataformas iOS. Actualmente se encuentra en su versión 1.6. Esta aplicación ofrece la posibilidad de realizar mediciones de nivel de presión sonora recomendada para espacios interiores y la cual está orientada al diseño e implementación de productos Armstrong en recintos cerrados para mejorar la calidad acústica de los espacios. (Armstrong World Industries Inc., 2017)



Figura 20. Logo de Armstrong Sound Level Meter
Tomado de Armstrong World Industries, 2017. p.1

Esta herramienta es útil para generar un diagnóstico acústico o simplemente para estar informado de los niveles de ruido en un lugar. La aplicación ofrece la posibilidad de monitorear en tiempo real el máximo, mínimo y el nivel promedio de presión sonora tras un intervalo de medición, para luego registrar la información y recomendar un tratamiento acorde. . (Armstrong World Industries Inc., 2017)



Figura 21. Pantalla de medición

Tomado de Armstrong World Industries, 2017. p.1

La aplicación puede realizar una medición de hasta 30 segundos, la cual puede ser monitoreada visualmente por un led meter que indica el nivel instantáneo o un gráfico en función del tiempo. Una vez terminado el tiempo de medición, se despliega una pantalla indicando el Leq ponderado A promediado durante el

tiempo de medición. Los resultados son redondeados, sin expresar decimales en los dBA resultantes.

Además, de ser requerido, es posible enviar los resultados directamente a un servidor de análisis Armstrong en donde se estudian los datos obtenidos y se ofrecen soluciones. La aplicación cuenta con un sistema de calibración sencillo y la facultad de arrojar información en términos de Leq ponderado A. (Armstrong World Industries Inc., 2017)

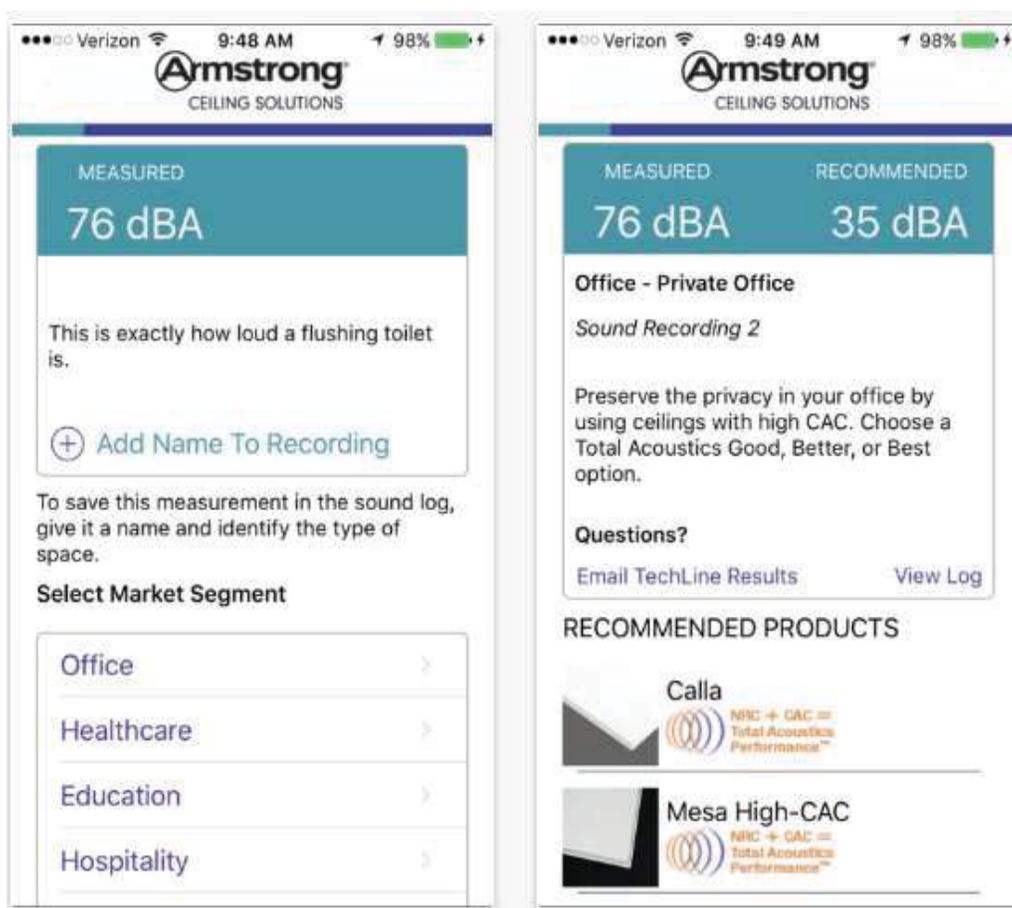


Figura 22. Pantalla de resultados

Tomado de Armstrong World Industries, 2017. p.1

- **Sound Level Analyzer Lite:**

Sound Level Analyzer Lite es una aplicación de monitoreo de nivel de presión sonora diseñada para plataformas iOS. Es desarrollada por la compañía Toon, LLC y fue puesta en el mercado el 2 de Junio del año 2016. Es compatible con la gran mayoría de *smartphones* de Apple desde el modelo iPhone 5 y requiere de un sistema operativo con versión iOS 9.3 o más actual.

La versión Lite es una versión más elemental que la versión completa debido a que es gratuita en la tienda virtual. La aplicación está diseñada con avanzado procesamiento de señales para codificar nivel de presión sonora con ponderación frecuencial en tiempo real (toon, llc., 2017).



Figura 23. Logo de Sound Level Analyzer Lite

Tomado de toon, llc., 2017, p.1

La versión completa puede ser modificada desde la interfaz para determinar el algoritmo de procesamiento, ofreciendo la posibilidad de escoger entre algoritmos basados en el análisis frecuencial o temporal.

Cuenta con calibración pre establecida para los modelos compatibles pero también ofrece la opción de calibración manual con un sonómetro certificado para validar y corregir los valores que arroja la aplicación.

Entre los indicadores que están disponibles desde esta aplicación están el monitoreo de nivel de presión sonora en términos de nivel continuo equivalente ponderado Leq A, C y Z (plano), nivel de presión sonora instantáneo ponderado, Lmin, Lmax, ponderación temporal, función de calibración manual y resolución del display de 0.1 dB (toon, llc., 2017).

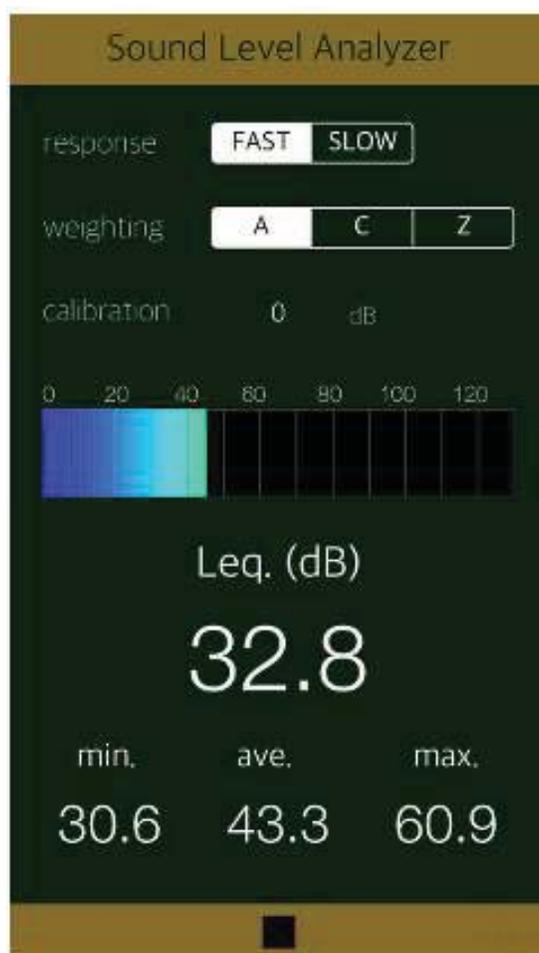


Figura 24. Pantalla principal de medición

Tomado de toon, llc., 2017, p.1

- **NIOSH Sound Level Meter:**

El equipo especializado en análisis y estudio de pérdida auditiva y exposición al ruido de NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) realizó en el año 2014 un estudio utilizando 192 aplicaciones para el monitoreo de

niveles de presión sonora para determinar la exactitud en los resultados que arrojan estas herramientas en comparación con instrumentos profesionales de medición sonora (Kardous y Shaw, 2014). El equipo colaboró con la compañía desarrolladora de software EA LAB en febrero del 2015 para desarrollar la aplicación NIOSH Sound Level Meter basándose en los resultados obtenidos en el experimento (NIOSH, 2015)

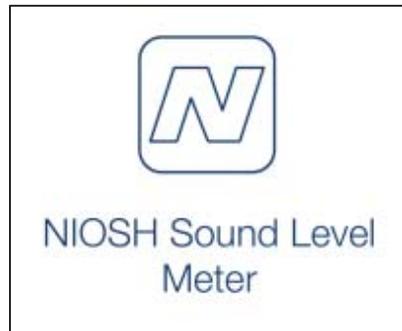


Figura 25. Logo de NIOSH Sound Level Meter

Tomado de NIOSH, 2015, p.1

La aplicación ofrece una serie de indicadores acústicos entre los cuales reporta nivel de presión sonora instantáneo ponderado A, C, o Z. También reporta el Leq ponderado A promediado cada segundo, el nivel máximo existente durante la medición, TWA (Time - Weighted Average) o promedio energético temporal acumulado durante cualquier período de tiempo, pero es promediado sobre un lapso de tiempo de 8 horas. (NIOSH, 2015)



Figura 26. Pantalla de medición

Tomado de NIOSH, 2015, p.5

También la aplicación ofrece la posibilidad de etiquetar con información circunstancial a cada uno de los registros como nombrar el registro, operador o locación. De igual manera ofrece información básica referente a los niveles de exposición recomendados para una buena seguridad ocupacional y de posibles soluciones referentes al control de ruido. (NIOSH, 2015)

La aplicación puede ser calibrada de manera manual comparando los resultados con los de un sonómetro certificado y corrigiendo, o de manera automática usando un calibrador emisor de señal de 1kHz a 94dB o 144 dB.



Figura 27. Pantallas de calibración y configuración de parámetros
Tomado de NIOSH, 2015, p.18

2.3 Métodos de análisis estadístico e incertidumbre

2.3.1 Incertidumbre: concepto y cálculo de resultados

Debido a la naturaleza estadística del campo acústico en espacios físicos cerrados, los resultados obtenidos en mediciones realizadas bajo condiciones específicas usualmente están vinculados con un grado de incertidumbre debido a la existencia de influencias circunstanciales referentes al proceso de medición utilizado y las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo.

La incertidumbre es la representación matemática de la duda que existe respecto a la calidad y precisión de una medición, basada en el análisis de los factores y variables que tengan la facultad de alterar el resultado final de la

misma. Todos los ensayos de medición están ligados a un cierto grado de incertidumbre, y un proceso de este tipo no estaría completo sin un análisis de esta (Bell, 1999).

Cuando se analiza el resultado de la medición de una cantidad física, es muy importante que exista una interpretación cuantitativa de la calidad del resultado obtenido, para que aquellos que necesiten de dichas conclusiones tengan la certeza de que la información es confiable y utilizable para futuros proyectos. Sin la existencia de esta información referente a la precisión de los datos obtenidos, estos no podrían ser comparados tanto entre sí, ni tampoco con otras fuentes de información referencial o establecida como estándar (Guide to the Expression of Uncertainty of Measurement, 1993)

Para llevar a cabo un procedimiento adecuado referente al cálculo de incertidumbre, es muy importante definir ciertos puntos de manera clara antes de realizar el análisis. Se tiene en cuenta que el objetivo de una medición es simplemente determinar el valor del **mensurando**, el cual consiste en definir el valor de la magnitud bajo medición, a través de un proceso o método de medición establecido. Tradicionalmente, las mediciones están ligadas a imperfecciones externas las cuales generan error en el resultado de la medida, el cual puede ser de naturaleza aleatoria o de manera sistemática. Las influencias aleatorias están relacionadas con la repetibilidad del método de medición, siendo factores de carácter temporal o espacial los que influyen en el resultado del mensurando. Este puede ser reducido con una cantidad significativa de repeticiones o ensayos (Guide to the Expression of Uncertainty of Measurement, 1993).

Las influencias que pueden incidir en el grado de veracidad de un resultado generalmente son descritas como **influencias sistemáticas** e **influencias aleatorias**. (UNE EN ISO 20140-2:1993, 1993). Los elementos de carácter aleatorio usualmente son determinados con la repetición de ensayos independientes bajo condiciones similares, ya que son descritos como

influencias externas como por ejemplo, la temperatura o la humedad, mientras que los elementos de naturaleza sistemática se caracterizan por ser relativos al procedimiento como tal, por ejemplo, la forma y tamaño del recinto, la calibración del instrumento de medición, las condiciones de montaje de la muestra, etc.

Para determinar estos factores por lo general se necesita la realización del mismo ensayo bajo diferentes parámetros sistemáticos conociendo las influencias aleatorias que afectan a la medición. Un ejemplo de este proceso es el de comparar los mismos ensayos realizados por diferentes laboratorios u operadores bajo condiciones de medición diferentes.

2.3.2 Repetibilidad y reproducibilidad

En concordancia con métodos estadísticos actuales, se utilizan los conceptos de **repetibilidad** y **reproducibilidad** para obtener conclusiones respecto a la variabilidad de un ensayo, ya que ofrecen un modo sencillo de caracterizar la precisión de un método de medida y de las medidas obtenidas con dicho método. Ambos conceptos son opuestos que miden respectivamente la mínima y máxima variabilidad de los resultados de una prueba. (UNE EN ISO 20140-2:1993, 1993). Dichos conceptos fueron introducidos, desarrollados y publicados con la normativa ISO 5725:1986.

La **repetibilidad** se interpreta como la cifra límite por debajo de la cual el valor de la diferencia entre dos resultados de ensayo se sitúa con una probabilidad del 95%, bajo condiciones de repetibilidad, mientras que la **reproducibilidad** se interpreta como la cifra límite por debajo de la cual el valor de la diferencia entre dos resultados de ensayo se sitúa con una probabilidad del 95%, bajo condiciones de reproducibilidad.

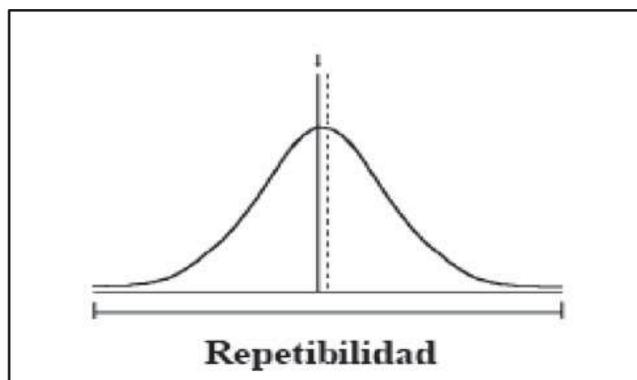


Figura 28. Representación gráfica de repetibilidad

Tomado de Llamosa, 2007, p. 456

Las condiciones de repetibilidad son las condiciones en las que son obtenidos los resultados de una medición a través del mismo método, en el mismo espacio, con el mismo equipamiento y el mismo operador, en un intervalo corto de tiempo. Por otro lado, las condiciones de reproducibilidad son condiciones en las cuales se obtienen los resultados de un mismo ensayo, realizado en diferentes laboratorios y con diferentes operadores utilizando diferente equipamiento (UNE EN ISO 20140-2:1993, 1993).

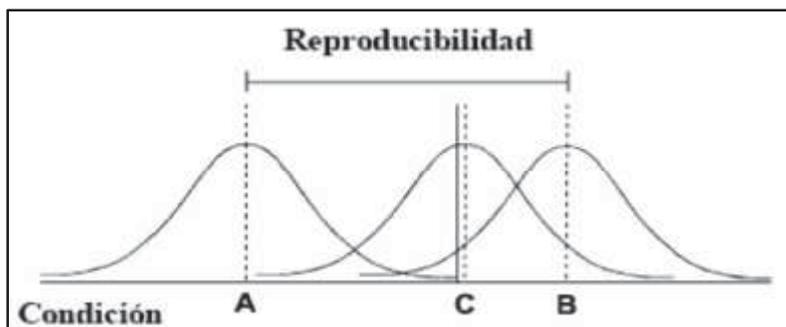


Figura 29. Representación gráfica de reproducibilidad

Tomado de Llamosa, 2007, p. 456

Los métodos generalmente utilizados para el cálculo de repetibilidad y reproducibilidad están sustentados en el análisis estadístico de la dispersión que presenta un grupo de muestras tomadas mediante cierto procedimiento de

medición, ya sea en forma de rango o de una interpretación a manera de varianzas o desviaciones estándar (Llamosa, 2007).

Existen 3 técnicas comunes para realizar el cálculo de repetibilidad y reproducibilidad:

- Método de promedios y rangos
- Análisis ANOVA
- Evaluación del proceso de medición

2.3.2.1 Método de promedios y rangos

El método de los promedios y rangos permite la determinación de repetibilidad y reproducibilidad para un sistema de medición, el cual puede describir la variabilidad del procedimiento a través de estos indicadores. Este método se basa en la formación de subgrupos determinados por una serie de combinaciones entre operadores, partes y ensayos. Los cálculos también están basados en la utilización de constantes estadísticas dependientes del número de ensayos realizados, los cuales serán descritos en función del proceso de medición realizado.

Para llevar a cabo este método en función de los datos obtenidos durante las mediciones con los dispositivos, se interpretarán a las aplicaciones como **operadores**, a los dispositivos como **ensayos** y a los resultados como **partes**.

Debido a que no es factible juntar a los resultados obtenidos por dispositivos Android con los resultados de iOS debido a la incompatibilidad entre ensayos y operadores, se han de realizar análisis separados para cada grupo (Llamosa, 2007).

Pasos para el cálculo de los valores de repetibilidad y reproducibilidad:

1. En primer lugar, es fundamental la determinación del objeto de medición, así como también del equipamiento para efectuar las mediciones, los operadores y el número de muestras que se ha de tomar en cada uno de los ensayos.
2. Cada operador se encarga de llevar a cabo los ensayos con cada pieza de equipamiento y los resultados son registrados bajo las mismas condiciones de repetibilidad.
3. Se realizan los ensayos bajo diferentes condiciones de reproducibilidad, de manera aleatoria e independiente de los anteriores.
4. Una vez obtenidos los resultados de todos los ensayos se calcula el rango de cada grupo de muestras utilizando la ecuación:

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

R = rango

X_{max} = Valor máximo obtenido del grupo de resultados

X_{min} = Valor mínimo obtenido del grupo de resultados

5. Se obtiene el rango promedio

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

(Ecuación 4)

Donde n es el número de muestras tomadas por cada operador

6. El rango promedio es calculado por medio de la ecuación:

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{R}_i$$

(Ecuación 5)

Donde:

m es el número de operadores

\bar{R}_i es el rango promedio de cada uno de los operadores

7. El porcentaje de repetibilidad es calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Repetibilidad} = \frac{K_1 \times \bar{R}}{T} \times 100\%$$

(Ecuación 6)

Donde:

K_1 es una constante que representa un intervalo de confianza del 99%, dependiente del número de ensayos realizados. (Tabla 1.)

\bar{R} es el rango promedio

T es la tolerancia del equipo utilizado

8. Se calcula la diferencia entre el máximo promedio y el mínimo promedio de las medidas tomadas por los operadores \bar{x}_D

9. El porcentaje de reproducibilidad es calculado:

$$\sqrt{\frac{(K_2 \bar{x}_D)^2 - (K_1 \bar{R})^2}{nr}} * 100\% \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

K_2 es una constante que representa un intervalo de confianza del 99%, dependiente del número de ensayos realizados. (Tabla 1.)

n es el número de muestras tomadas por cada operador

Tabla 1.

Constantes K_1 y K_2

Número de ensayos	2	3	4	5
K1	4,56	3,05	2,50	2,21
Número de operadores	2	3	4	5
K2	3,65	2,70	2,30	2,08

10. El porcentaje de la relación existente entre repetibilidad y reproducibilidad es calculado mediante la siguiente ecuación.

$$\sqrt{(\%Repetibilidad)^2 + (\%Reproducibilidad)^2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

12. Los resultados son interpretados en base al siguiente criterio:

- Si el valor de la relación R&R es menor al 10%, entonces el sistema de medición estudiado ofrece resultados aceptables.
- Si el valor R&R se encuentra en el intervalo entre 10% y 30%, entonces el sistema puede ser aceptable dependiendo de su utilización y el costo de su implementación.
- Si el valor de R&R es mayor a 30%, entonces el sistema es considerado como no aceptable, y por lo tanto, requiere mejoras referentes al operador, equipamiento, método y condiciones de medición.

Si el valor de repetibilidad es mayor al valor de reproducibilidad, las posibles causas del resultado general pueden estar vinculadas a la inconsistencia de los resultados obtenidos con los instrumentos de medición, reflejando una variación excesiva en las partes. Por otro lado, si la reproducibilidad es mayor que la repetibilidad, el error se encuentra ligado a los operadores, y a la excesiva diferencia entre los resultados arrojados por cada uno de estos.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

3.1 Descripción del proceso de medición

El proceso de desarrollo metodológico del trabajo de titulación consiste en llevar a cabo dos etapas fundamentales: la recopilación de datos y el análisis

posterior de los mismos. La primera etapa abarca la descripción, ejecución y registro de los ensayos de medición realizados en cada una de las sesiones correspondientes para poder recopilar la información suficiente necesaria para generar conclusiones basadas en el análisis de las mismas. La segunda etapa consiste en el procesamiento estadístico de los resultados obtenidos durante los ensayos prácticos para ser sometidos a observación y estudio de manera organizada.

3.2 Recopilación de datos

Las mediciones realizadas utilizando los dispositivos móviles fueron todas llevadas a cabo bajo las mismas condiciones de medición in-situ. Las instalaciones disponibles en la Universidad de Las Américas utilizadas para realizar este tipo de ensayos fueron escogidas como el espacio a ser ocupado para desarrollar los experimentos de medición, debido a las condiciones que se puede obtener de dicha sala.

3.3 Características físicas del recinto

El espacio utilizado para realizar las mediciones fue una sala multiusos, tomada en cuenta para todo tipo de ensayos o experimentos de características acústicas llevados a cabo por la carrera de Ingeniería de Sonido y Acústica de la Universidad de Las Américas. La sala es un espacio diseñado originalmente como un estudio de grabación musical, por lo que cuenta con cierto tratamiento de aislamiento acústico y no tiene problemas generados por filtraciones de ruido externo.

Además de contar con estas características, el recinto también fue escogido por cuestiones logísticas y de disponibilidad, ya que los dispositivos móviles utilizados durante los experimentos son propiedad tanto de alumnos de la carrera como de docentes de la misma, así, el laboratorio EG1 (Estudio de

Grabación 1) sirve como un punto convergente y versátil para llevar a cabo los ensayos.

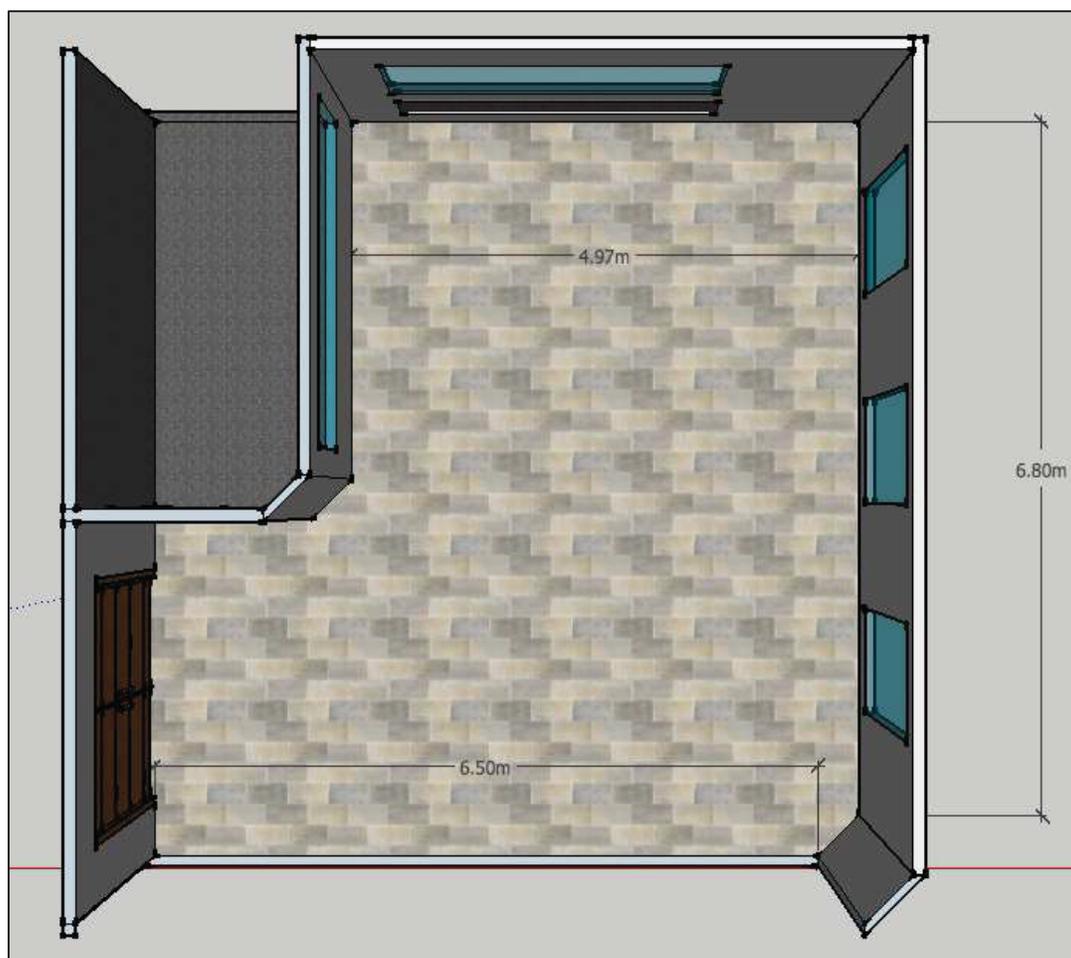


Figura 30. Vista superior de la sala EG1

Previamente fueron realizados ensayos de medición de tiempo de reverberación en el laboratorio para poder estar al tanto del comportamiento del sonido dentro de la sala. La habitación fue evaluada bajo la normativa UNE EN ISO 3382-2, y el equipamiento certificado de evaluación de ruido que fue utilizado durante las mediciones de los teléfonos móviles como mecanismo de control fue usado para realizar estas mediciones.

Freq.	Mic 1	Mic 2	Mic 3	Mic 4	Mic 5	Mic 6	Prom.
100	0.43	0.49	0.77	0.57	1.55	0.5	0.72
125	0.41	0.63	0.53	1.11	0.53	0.94	0.69
160	0.27	0	0.35	0.35	1.29	0.87	0.52
200	0.36	0	0.35	0.56	0.49	1.15	0.49
250	0.43	0.34	0.28	0.5	0.3	1.14	0.50
315	0.29	0.25	0.26	0.35	0.64	0.24	0.34
400	0.22	0.22	0.28	0.64	0.11	0.37	0.31
500	0.21	0.19	0.24	0.41	0.42	0.36	0.31
630	0.31	0.28	0.24	0.41	0.37	0.31	0.32
800	0.23	0.28	0.28	0.33	0.27	0.4	0.30
1K	0.24	0.24	0.24	0.28	0.38	0.3	0.28
1.25K	0.21	0.24	0.2	0.25	0.37	0.33	0.27
1.60K	0.22	0.21	0.23	0.31	0.36	0.27	0.27
2K	0.24	0.21	0.21	0.34	0.29	0.31	0.27
2.5K	0.21	0.21	0.19	0.36	0.25	0.33	0.26
3.15K	0.22	0.22	0.2	0.28	0.28	0.31	0.25
T60	0.38						

Figura 31. Valores de tiempo de reverberación obtenidos en la sala de medición

3.4 Distancia emisor-receptor

Los dispositivos receptores fueron colocados a dos distancias distintas del emisor para poder describir cierta variabilidad involucrada referente al aumento de la distancia a la cual se encuentra el punto de recepción con respecto al punto de emisión.

La primera parte de cada ensayo se realizó a **1 metro** de distancia de la fuente, siendo medido el punto exacto ubicado a **1.0 metros** de la superficie de la fuente omnidireccional con respecto a la cápsula de los micrófonos siendo utilizados en las mediciones, y de manera, similar la segunda parte de cada ensayo se realizó a **2 metros** de distancia de la superficie de la fuente de emisión, siendo medido el punto exacto ubicado a **2.0 metros** de la superficie

de la fuente omnidireccional con respecto a la cápsula de los micrófonos siendo utilizados.



Figura 32. Sonómetro alineado con Samsung Galaxy S5 y Samsung Galaxy J5 Prime



Figura 33. Medición con dispositivos Samsung Galaxy S5 y Samsung Galaxy J5 Prime

3.5 Ubicación de la fuente emisora y los dispositivos receptores en función del recinto

La ubicación correspondiente a la fuente de emisión omnidireccional fue escogida de tal manera que las superficies reflectantes existentes dentro del recinto, tales como el piso, paredes o techo, se encuentren lo más alejados posible del punto de emisión, y de esta manera evitar cualquier interferencia generada por reflexiones tempranas de manera directa sobre el punto de recepción.

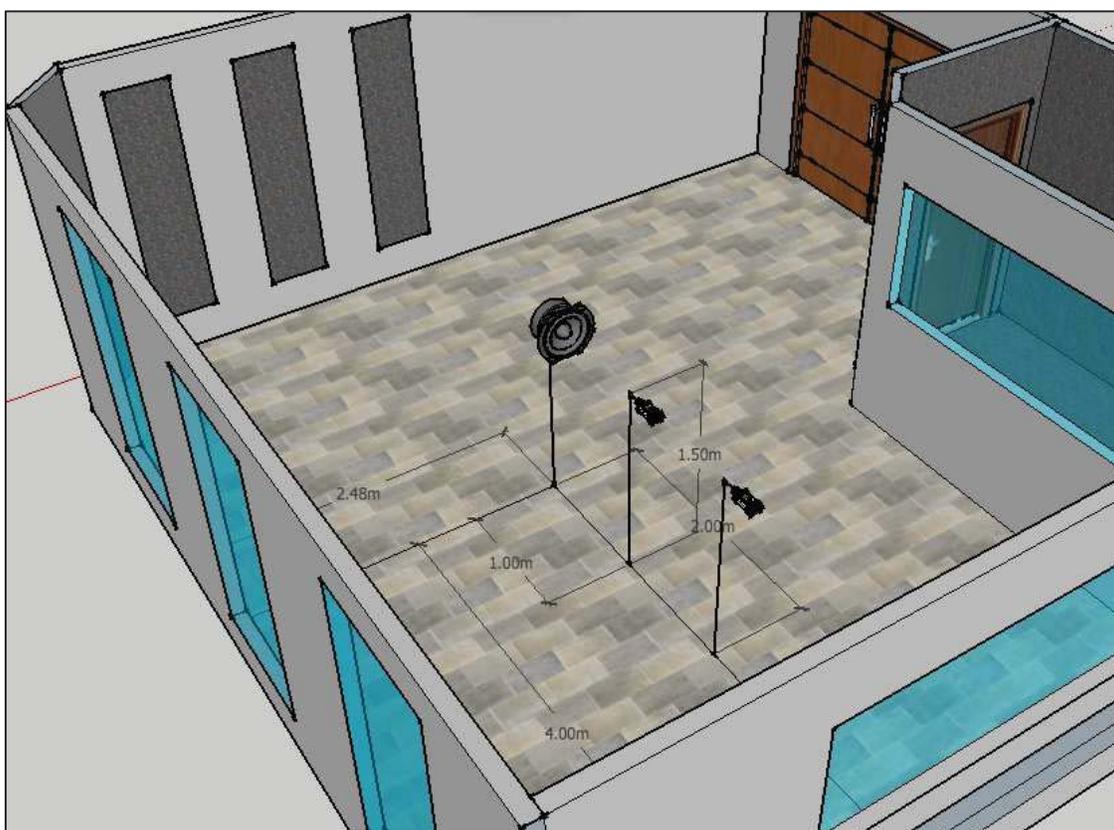


Figura 34. Punto de emisión y puntos de recepción

La fuente se situó en un punto de la sala, el cual se encuentra alejado de cualquier superficie reflectante, a una distancia mínima de **2 metros**. La altura a la que se encuentra posicionada la esfera es de **1.5 metros** en relación con la horizontal del suelo, y a **1.15 metros** con relación a la horizontal del techo. El

espacio que existe entre la fuente y las paredes laterales del recinto es de un mínimo de **2 metros**.

Los dispositivos receptores se colocaron de manera adyacente entre estos, lo más cercanos entre sí alrededor del sonómetro CESVA. La altura de los micrófonos es la misma que la de la fuente para una incidencia directa lo más limpia posible.

El punto de recepción se encuentra alejado de cualquier superficie reflectante, a una distancia mínima de **2 metros**. La altura a la que se encuentran posicionados los dispositivos receptores es de **1.5 metros** en relación con la horizontal del suelo, y a **1.15 metros** con relación a la horizontal del techo. El espacio que existe entre los puntos de recepción y las paredes laterales del recinto es de un mínimo de **2 metros**. El espacio existente entre el punto de recepción y la pared posterior es de **2 metros**.

3.6 Ruido y niveles de emisión y radio crítico

El ruido de emisión utilizado para realizar las mediciones de laboratorio fue ruido rosa, emitido entre **50 Hz y 5000 Hz** desde la fuente omnidireccional, alimentado por el generador de señales CESVA, a tres distintos niveles de emisión.

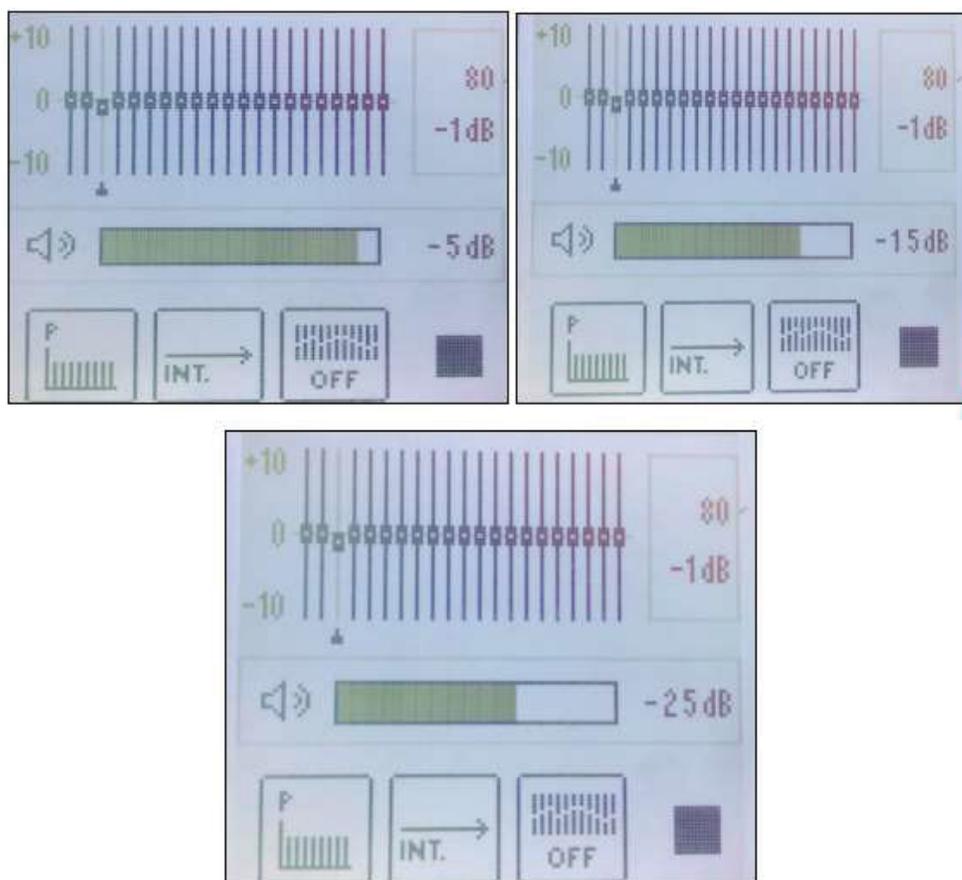


Figura 35. Niveles de emisión de potencia desde la fuente generadora de señal

Radio Crítico

El radio crítico o distancia crítica representa la distancia desde la fuente sonora en donde la energía acústica del campo directo y del campo reverberante se igualan. Mientras más reverberante sea el campo, la distancia crítica se acerca más a la fuente y viceversa. Usualmente, los buenos diseños acústicos se enfocan en un campo directo predominante para optimizar la inteligibilidad. Para realizar un análisis del posicionamiento de los dispositivos receptores en función del radio crítico de la sala, se toma en cuenta los valores del tiempo de reverberación y el factor de directividad de la fuente. De esta manera es posible identificar la posición de los micrófonos en el espacio acústico y determinar si están ubicados en el campo directo o campo reverberante. (Lechner, 2012)

La distancia crítica se calcula mediante la ecuación:

$$D_c = 0.141\sqrt{RQ} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

D_c = Distancia crítica

R = Constante del recinto

Q = Factor de directividad de la fuente

La constante **R** puede ser calculada mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{S\alpha}{1-\alpha} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

S= Superficie del recinto en metros cuadrados

α = Coeficiente medio de absorción de la sala

El factor de directividad **Q** es tomado en cuenta dependiendo de la capacidad de directividad de la fuente sonora. En este caso, el factor utilizado es **1**, debido a que la fuente sonora se encuentra suspendida y no está junto a ninguna superficie reflectante.

Tras hacer el cálculo de la superficie del recinto, se han obtenido **140.04 m²**, y tomando el tiempo de reverberación de la sala como **0.39** segundos (Figura 31), se puede despejar el coeficiente de absorción de la sala, al calcular el volumen y despejando de la ecuación de Sabine para tiempo de reverberación.

La ecuación clásica de Sabine para el cálculo de tiempo de reverberación es la siguiente:

$$TR = \frac{0.16V}{S\alpha} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

TR = Tiempo de reverberación

V = Volumen del recinto

S = Superficie total del recinto

α = Coeficiente de absorción del recinto

El volumen de la sala es de **96.64 m³**, por lo tanto, el coeficiente de absorción de la sala es **0.28**.

Una vez calculado el coeficiente de absorción de la sala, es posible calcular la constante **R** de la sala mediante la ecuación 10, la cual da como resultado **54.46**.

Por último, el cálculo de la distancia crítica es realizado utilizando la ecuación 9, el cual da como resultado **1.04m**.

Esta distancia implica el hecho de que los valores obtenidos durante las mediciones a **1 metro** de la fuente fueron realizadas dentro del campo directo de emisión, mientras que las mediciones realizadas a **2 metros** de la fuente, fueron realizadas en campo reverberante.

Las diferencias más significativas referentes al aumento de distancia son la de una disminución uniforme de nivel de presión captado por los dispositivos receptores, algo que es natural al alejar el punto de recepción de la fuente emisora de ruido. Las diferencias entre dispositivos tanto a **1m** como a **2m** se han mantenido en la gran mayoría de los casos, pero es posible que las mediciones realizadas en campo reverberante afecten de manera espectral la naturaleza del ruido captado a **2 metros** de distancia debido a la disminución de nivel en altas frecuencias y a una serie de cancelaciones de fase más prominentes en el campo reverberante de la sala.

3.7 Descripción de ensayos individuales

Las sesiones de medición se realizaron en un lapso de 5 días, procurando que las condiciones externas como la temperatura, la humedad del espacio, los niveles de ruido de fondo y el perfil arquitectónico de la sala de experimentación sean siempre exactamente las mismas.

Previamente al inicio de cada una de las sesiones, la sala fue despejada de cualquier objeto ajeno a la misma, los puntos de ubicación eran asegurados, la altura de los micrófonos la altura de la fuente, y por último, la verificación de calibración correspondiente al sonómetro.



Figura 36. Verificación de calibración

Las aplicaciones a ser estudiadas fueron descargadas previamente al inicio de la sesión en la memoria de cada uno de los dispositivos móviles. Cada teléfono fue configurado en modo avión, evitando así cualquier tipo de interferencia o ruido generado por notificaciones entrantes. El tiempo de apagado de la pantalla fue determinado en 2 minutos, para evitar el ruido por manipulación lo más posible al evitar el encendido manual constante.

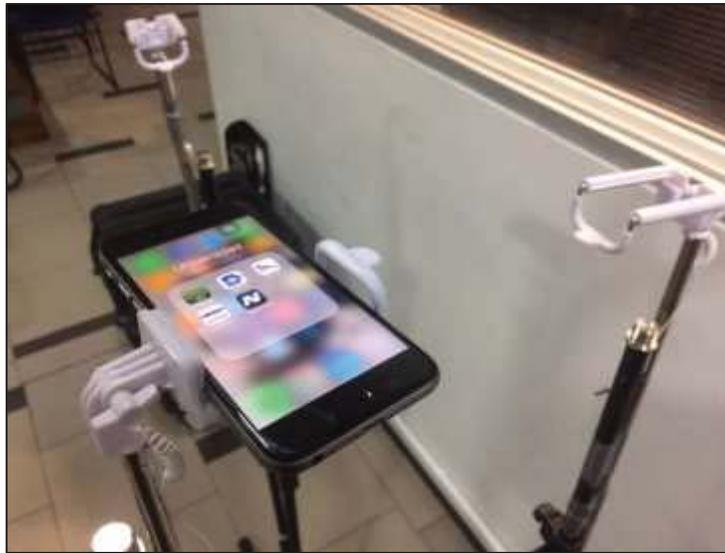


Figura 37. iPhone 6s

Cada uno de los teléfonos fue acomodado de un soporte especialmente diseñado al combinar pedestales de micrófono regulares con soportes especiales para dispositivos móviles para mantener una posición constante y evitar el posicionamiento de los teléfonos sobre alguna superficie para sostenerlos.



Figura 38. Soportes utilizados

El proceso de exposición al ruido consistía en realizar una serie de **10** ensayos con una duración mínima de **15 segundos** por cada uno. Cada uno de los dispositivos era activado manualmente tocando la pantalla táctil sin manipular el teléfono una vez que la fuente de emisión haya sido encendida, incluyendo el sonómetro. Una vez que los 15 segundos de emisión concluían, los dispositivos eran detenidos en el mismo orden, y la fuente era apagada.



Figura 39. Medición con dispositivos iPhone 5s, iPhone 6s y iPhone 7



Figura 40. Samsung Galaxy S5 y Samsung Galaxy J5 Prime

Cabe mencionar que las distancias entre los dispositivos receptores fue la menor distancia de ubicación posible a la cual podían ser acomodados físicamente y que el orden y posición en la que se encuentran descritos se mantuvieron durante todos los ensayos realizados.

Adicionalmente es importante establecer el hecho de que se realizaron varias pruebas previas a la realización de los experimentos para verificar si alguno de los dispositivos se encontraba en una posición en la cual pudiera haber existido algún tipo de fluctuación incongruente de niveles causados por los modos normales de la sala. Al haber intercambiado posiciones y teléfonos, no se detectó ningún cambio significativo en los niveles de recepción de ninguno de los dispositivos, por lo que se puede descartar cualquier tipo de influencia de carácter frecuencial por este tipo de factores influyentes.

4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis descriptivo de resultados

De manera superficial se puede obtener una lectura rápida de fidelidad con respecto al sonómetro calibrado tomando en cuenta las diferencias existentes en los resultados arrojados por los dispositivos. De esta forma es posible analizar bajo qué circunstancias los teléfonos se aproximan más o menos al valor real utilizado como control para el experimento.

4.1.1 NoiseTube

Tabla 2.

Resultados de NoiseTube (1 metro, -5 dB)

		NoiseTube				
		Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1	73.98	71.93	74.48	74.72	84.1
	M2	75.77	72.04	74.33	74.74	84.2
	M3	75.74	71.95	74.32	76.76	84.2
	M4	75.81	71.98	74.3	76.71	84.2
Velocidad de Integración: Slow	M5	75.82	71.74	74.33	76.73	84.1
	M6	75.87	71.97	74.32	76.69	84.2
	M7	75.63	71.98	74.3	76.74	84.3
Nivel de emisión: -5 dB	M8	75.47	71.94	74.22	76.71	84.1
	M9	75.36	71.33	74.24	76.74	84.2
	M10	75.6	72.1	74.17	76.79	84.2
Promedio		75.5	71.9	74.3	76.3	84.2
Diferencias (Valor absoluto)		8.7	12.3	9.9	7.8	

En la tabla 2 es posible distinguir los resultados arrojados por la aplicación NoiseTube a **-5 dB** (emisión del generador) y a 1 metro de distancia. Se puede observar el valor promedio resultante de los 10 ensayos efectuados por cada uno de los dispositivos y una diferencia de estos con respecto a la media del sonómetro CESVA.

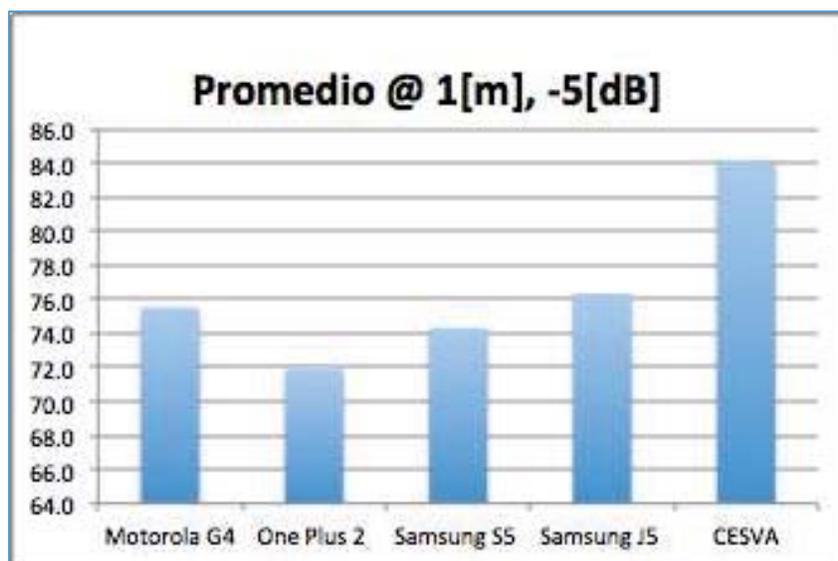


Figura 41. Promedio de NPS con NoiseTube (1 metro, -5 dB)

En la figura 41 se encuentran referenciados los promedios de manera gráfica, en donde se puede notar un amplio margen de diferencia existente entre los

dispositivos *smartphone* y el sonómetro CESVA. A **-5 dB** de emisión de fuente, el sonómetro arroja una media de **84.2 dBA** a **1 metro**, mientras que los resultados arrojados por los teléfonos se encuentran fluctuando entre **71.9 dBA** y **76.3 dBA**.



Figura 42. Diferencias de NoiseTube con el control de referencia (1 metro, -5 dB)

La figura 42 ilustra de manera gráfica las diferencias de cada una de las medias de los teléfonos con relación a la media del sonómetro. El dispositivo que más se aleja de una medición acertada es el dispositivo **One Plus 2**, con **12.3 dBA** de diferencia promedio con respecto al control, mientras que el teléfono que más se acerca es el dispositivo **Samsung J5 Prime**, con **7.8 dBA** de diferencia promedio. Es importante tener en cuenta las condiciones bajo las que se están dando estos resultados, para describir de manera más óptima el papel que juegan las diferentes variables dentro de los experimentos.

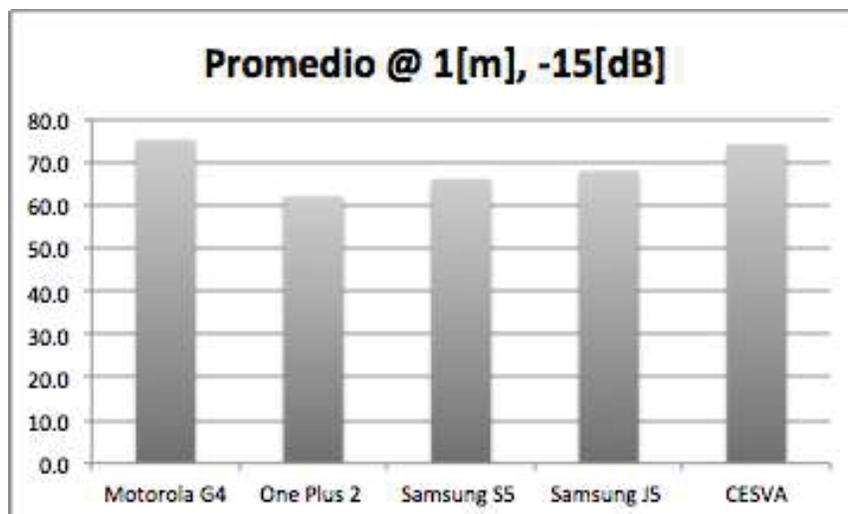


Figura 43. Promedio de NPS con NoiseTube (1 metro, -15 dB)

En la figura 43 se identifican los valores promedio de los resultados arrojados por los dispositivos a **-15 dB** de emisión de fuente. A dicho nivel de emisión, el sonómetro genera un resultado de control de **74.2 dBA**, una cifra aproximadamente 10 dBA menor que en el anterior nivel de emisión evaluado.

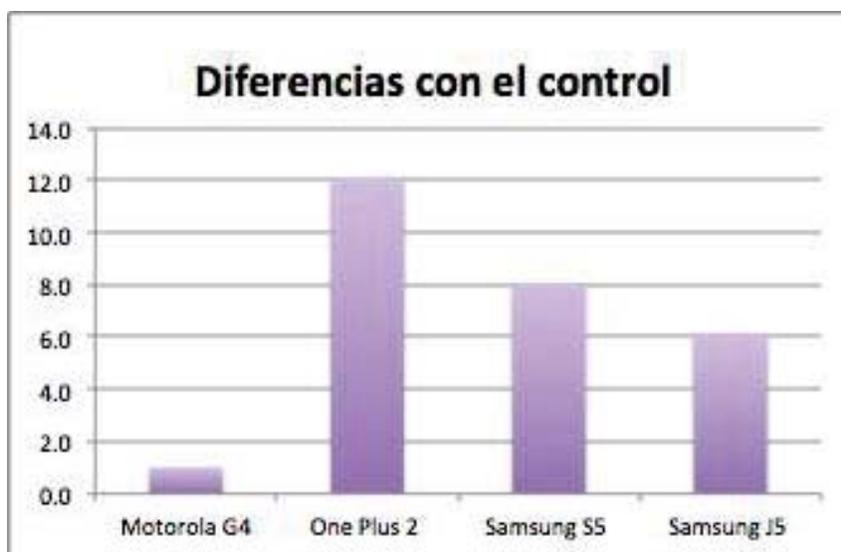


Figura 44. Diferencias de NoiseTube con el control de referencia (1 metro, -15 dB)

En la figura 44 es observable la disminución en las diferencias de valores medios, siendo destacable la diferencia referente al **Motorola G4**, el cual arroja un valor promedio de **75.2 dBA**, siendo una diferencia con el control de tan solo

1.0 dBA, el cual es un valor aceptable. Por otro lado, el dispositivo **One Plus 2** mantuvo su diferencia de aproximadamente **12 dBA**, y los dispositivos **Samsung S5** y **Samsung S5** acortaron la diferencia en 2 dBAs con relación a su anterior resultado, lo que significa una reducción no muy significativa de sus diferencias, de por sí, bastante amplias.

De manera similar al anterior ensayo, los dispositivos mantienen de cierta manera las diferencias existentes y los promedios con relación al control a **-25 dB**. Un cambio poco predecible fue el incremento en la diferencia existente entre el **Motorola G4** y el control, ya que esta no disminuyó, sino que aumentó en **2.2 dBA** con relación a su anterior valor, lo cual no demuestra consistencia ni una tendencia en este caso referente al cambio en los valores de emisión.

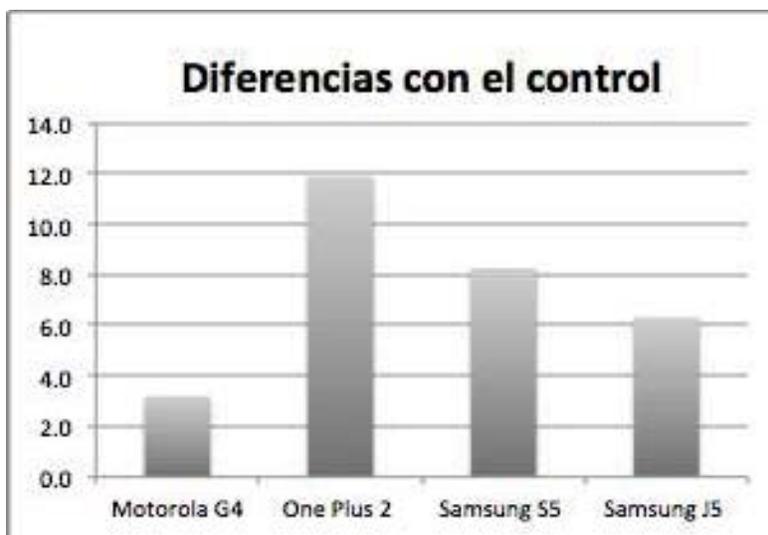


Figura 45. Diferencias de NoiseTube con el control de referencia (1 metro, -25 dB)

Haciendo un análisis de las diferencias existentes entre los resultados arrojados por los teléfonos y el control, se puede señalar un comportamiento bastante constante por parte de los dispositivos **One Plus 2**, **Samsung J5** y **Samsung S5**, variando de manera poco significativa con respecto al control y respondiendo de manera constante siempre que los niveles de emisión fueron

cambiados. Por otro lado, el **Motorola G4** fue el dispositivo que reflejó los resultados más fluctuantes, ya que con la disminución de nivel la diferencia de resultados con respecto al control de este dispositivo se redujo de **8 dBA** a valores entre **1 dBA** y **3.2 dBA**.

Esto puede suponerse como un aumento en la efectividad del dispositivo **Motorola G4** con respecto a la disminución de nivel de emisión, lo cual puede significar un umbral de tolerancia referente al micrófono, el cual puede estar enviando señales saturadas una vez que es superado cierto nivel de recepción.

De manera similar, se realizaron los mismos ensayos, esta vez a una distancia mayor (**2 metros**).

Tabla 3.

Resultados de NoiseTube (2 metros, -5 dB)

	Mediciones [dBA]	NoiseTube				
		Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	CESVA
Distancia: 2 [m]	M1	76.21	70.47	73.18	75.93	82.2
	M2	76.2	70.46	73.2	76	82.3
	M3	76.19	70.44	73.11	76.14	82.3
	M4	76.15	70.14	73.23	76.14	82.2
Velocidad de Integración: Slow	M5	76.2	70.4	73.21	76.2	82.3
	M6	76.21	70.13	73.24	76.16	82.2
	M7	76.22	70.49	73.21	76.21	82.4
Nivel de emisión: -5 dB	M8	76.23	70.25	73.24	76.42	82.3
	M9	76.31	70.52	74.38	76.23	82.4
	M10	76.19	70.39	73.23	76.12	82.4
Promedio		76.2	70.4	73.3	76.2	82.3
Diferencias		6.1	11.9	9.0	6.1	

En la tabla 3 se encuentran los resultados arrojados por los dispositivos a un nivel de emisión de fuente de **-5 dB**, esta vez a una distancia de **2 metros**. El nivel promedio del sonómetro a este nivel de emisión y distancia de es de **82.3 dBA**, lo cual representa una diferencia de **2 dBA** con respecto a la misma medición realizada a **1 metro** de distancia.

Las diferencias existentes con relación al aumento de la distancia en este mismo nivel de emisión son de cierta manera similares, con cierta tendencia a la disminuir en unos cuantos decibeles. Es posible notar esta disminución en la

relación que existe entre la suma de promedios de diferencias, la cual baja de **38.7 dBA** (1 metro) a **33.1 dBA** (2 metros).

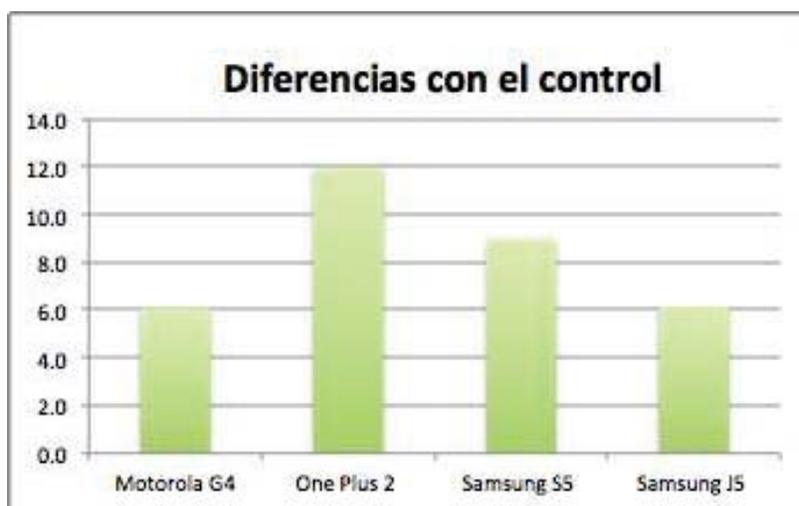


Figura 46. Diferencias de NoiseTube con el control de referencia (2 metros, -5 dB)

Es notable la disminución uniforme de todos los dispositivos, con cierta prominencia en el comportamiento del **Motorola G4**, al mantenerse como el dispositivo con más fidelidad al valor de control.

Tabla 4.

Resultados de NoiseTube (2 metros, -15 dB)

	Mediciones [dBA]	NoiseTube				
		Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	CESVA
Distancia: 2 [m]	M1	74.99	60.32	63.64	66.41	72.3
	M2	74.96	60.45	63.58	66.28	72.3
	M3	74.94	60.65	63.47	66.34	72.3
	M4	74.95	60.42	63.5	66.44	72.4
Velocidad de Integración: Slow	M5	74.94	60.41	63.58	66.29	72.3
	M6	74.98	60.24	63.49	66.31	72.3
	M7	75	60.25	63.52	66.36	72.2
Nivel de emisión: -15 dB	M8	74.97	60.23	63.58	66.34	72.3
	M9	74.86	60.14	63.5	66.36	72.4
	M10	74.91	60.52	63.43	66.3	72.3
Promedio		75.0	60.4	63.5	66.3	72.3
Diferencias		2.6	11.9	8.8	6.0	

La tabla 4 representa los valores obtenidos a 2 metros de distancia, esta vez a un nivel de emisión de fuente de **-15 dB**, el cual representa un valor de **72.3 dBA** como resultado de control, 2 dBA menor al valor arrojado al mismo nivel de emisión. Las diferencias en este nivel de emisión son bastante similares,

generando un patrón constante en las mismas al modificar las variables, poniendo al **Motorola G4** como el teléfono más cercano a los valores de control.



Figura 47. Diferencias de NoiseTube con el control de referencia (2 metros, -15 dB)

Por último, la tabla 5 representa los resultados arrojados por los dispositivos a 2 metros de distancia bajo un nivel de emisión de **-25 dB** traducidos por el sonómetro como **62.2 dBA**. Las diferencias son muy similares a las obtenidas a **-15dB**, variando en un punto la suma total de diferencias entre estos dos ensayos. el dispositivo **Motorola G4** sigue siendo el más cercano al control, mientras que los demás dispositivos se mantienen aproximadamente en la misma tendencia de diferencias bastante amplias.

Tabla 5.

Resultados de NoiseTube (2 metros, -25 dB)

	Mediciones [dBA]	NoiseTube				CESVA
		Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	
Distancia: 2 [m]	M1	65.29	50.76	53.43	56.24	62.3
	M2	65.3	50.58	53.27	55.16	62.4
	M3	65.59	50.58	53.12	56.09	62.2
	M4	65.42	50.3	53.22	56.05	62.3
	M5	65.31	50.58	53.15	56.01	62.1
Velocidad de Integración: Slow	M6	65.34	50.69	53.1	55.83	62.2
	M7	65.13	50.67	53.08	55.98	62.2
	M8	65.24	50.85	53.12	56.1	62.1
Nivel de emisión: -25 dB	M9	65.92	50.96	53.16	55.31	62.2
	M10	65.47	50.35	53.19	56	62.3
Promedio		65.4	50.6	53.2	55.9	62.2
Diferencias		3.2	11.6	9.0	6.4	

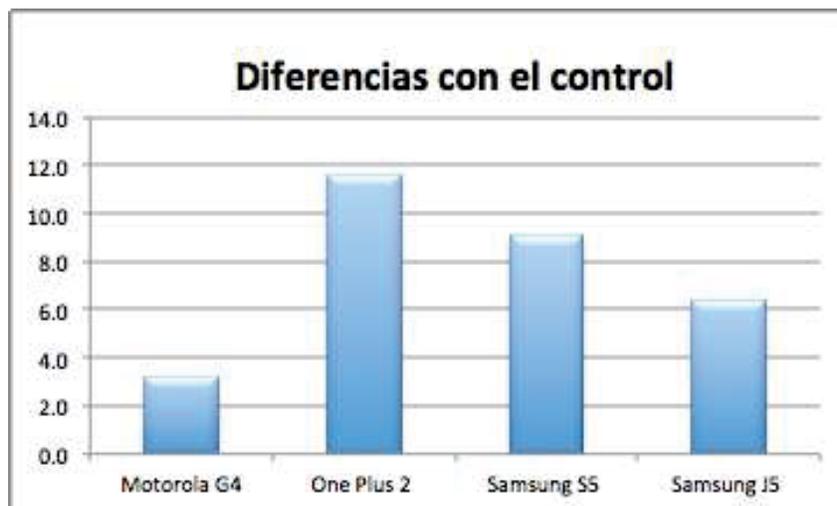


Figura 48. Diferencias de NoiseTube con el control de referencia (2 metros, -15 dB)

Una vez aumentada la distancia, se puede afirmar únicamente que, tal como era de esperar, los resultados disminuyeron de manera uniforme debido al aumento de distancia, pero las diferencias entre los valores promedios han seguido el patrón que ya habían establecido en las mediciones realizadas a la primera distancia.

Se puede afirmar que el dispositivo **Motorola G4** es el mejor ubicado entre los teléfonos, siempre y cuando el nivel de emisión no sea de -5dB, debido a las características de hardware mencionadas previamente, las cuales pueden estar afectando el rendimiento del teléfono una vez que un umbral de nivel de emisión es sobrepasado. En cuanto al dispositivo **One Plus 2**, siempre existió una diferencia aproximada de **12dBA**, la cual no es óptima y se aleja mucho del control. Los dispositivos Samsung **J5** y **S5** de igual manera mantuvieron un patrón consistente, fluctuando entre **10dBA** y **6dBA**, lo cual no representa una aproximación óptima.

4.1.2 Sound Analyzer

Cabe recalcar que la capacidad de calibración automática de la aplicación Sound Analyzer hace de esta la aplicación con mejores resultados. Es la única que cuenta con esta posibilidad, a diferencia de NoiseTube, que viene predetermina la calibración dependiendo de la marca de teléfono, y de las demás evaluadas, las cuales solo cuentan con calibración manual por corrección al comparar los datos con un sonómetro. Se ha utilizado este sistema de calibración debido a que es el único que no necesita un sonómetro certificado para compensar los valores como lo hacen el resto de aplicaciones.

La corrección manual es netamente circunstancial y necesita de una referencia, lo cual no refleja las situaciones en las cuales se utilizan estas aplicaciones en el campo práctico, por lo que netamente no fueron calibradas de manera manual. La aplicación automática de Sound Analyzer consiste en la exposición del dispositivo a un ambiente con ruido constante y de bajo nivel para que esta se calibre de manera automática, sin la necesidad de la comparación y corrección a través de sonómetro.

Tabla 6.

Resultados de Sound Analyzer (1 metro, -5 dB)

		Sound Analyzer				
Mediciones [dBA]		Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1	74.8	84	84.1	83	84.2
	M2	74.8	84	84.1	83	84.2
	M3	74.8	84.1	84.1	83	84.2
	M4	74.9	83.9	84.1	83	84.3
Velocidad de Integración: Slow	M5	74.8	84	84.1	83	84.2
	M6	74.9	84.1	84.1	83	84.1
	M7	74.9	84	84	83	84.2
Nivel de emisión: -5 dB	M8	74.8	84	84	83	84.1
	M9	74.8	84.1	84	83	84.2
	M10	74.8	84	84	83	84.1
Promedio		74.8	84.0	84.1	83.0	84.2
Diferencias (Valor absoluto)		9.4	0.2	0.1	1.2	

En la tabla 6 se pueden apreciar los valores recopilados por la aplicación a **1 metro** de distancia, bajo un nivel de emisión de **-5 dB**, el cual representa **84.2 dBA** como valor de control medido por el sonómetro. Los resultados arrojados

por esta aplicación son bastante consistentes en 3 de los 4 dispositivos, y representan los valores más fieles hasta ahora.



Figura 49. Diferencias de Sound Analyzer con el control de referencia (1 metro, -5 dB)

En la figura 49 se puede apreciar la representación gráfica de las diferencias encontradas entre las medias de los resultados generados por cada uno de los dispositivos en comparación al control CESVA. Es muy destacable la amplia diferencia del **Motorola G4** la cual es de **9.4 dBA**, mientras que la de los teléfonos **One Plus 2**, **Samsung S5** y **Samsung J5** es mínima, oscilando entre **0.1 dBA** y **1.2 dBA**.

Tabla 7.

Resultados de Sound Analyzer (1 metro, -15 dB)

		Sound Analyzer				
	Mediciones [dBA]	Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1	64.2	74.2	74.7	74.4	74.3
	M2	64.2	74.1	74.6	74.4	74.2
	M3	64.3	74.1	74.7	74.4	74.3
	M4	64.2	74.2	74.8	74.4	74.2
Velocidad de Integración: Slow	M5	64.2	74.3	74.7	74.4	74.3
	M6	64.2	74.2	74.8	74.3	74.3
	M7	64.1	74.2	74.6	74.4	74.2
Nivel de emisión: -15 dB	M8	64.2	74.2	74.5	74.5	74.3
	M9	64.2	74.2	74.6	74.4	74.1
	M10	64.2	74.2	74.5	74.4	74.1
Promedio		64.2	74.2	74.7	74.4	74.2
Diferencias		10.0	0.0	0.4	0.2	

En la tabla 7 se distingue un patrón similar, con una diferencia muy amplia por parte del **Motorola G4**, mientras que el dispositivo **One Plus 2** alcanza la completa coincidencia con el control, teniendo una nula diferencia. El **Samsung S5** aumenta su diferencia en unas pocas décimas, mientras que el **Samsung J5** la disminuye en 1 decibel aproximadamente. Esto refleja una tendencia positiva en relación a la efectividad del modelo **One Plus 2**, mientras que no se demuestra mucha consistencia en los valores arrojados por los dispositivos Samsung, pese a que son bastante cercanos al control, lo cual es una situación bastante óptima.

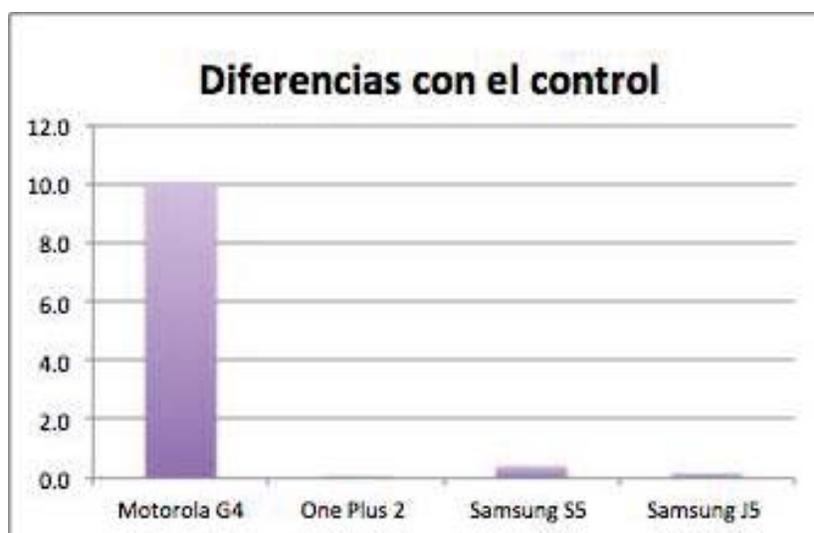


Figura 50. Diferencias de Sound Analyzer con el control de referencia (1 metro, -15 dB)

En la figura 50 se puede apreciar la ligera fluctuación en los valores arrojados por los dispositivos Samsung, además de la prominente diferencia del Motorola.

Tabla 8.

Resultados de Sound Analyzer (1 metro, -25 dB)

		Sound Analyzer				
	Mediciones [dBA]	Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1	64.2	64.8	64.5	64.4	64.5
	M2	64.2	64.9	64.4	64.4	64.3
	M3	64.1	64.8	64.4	64.4	64.3
	M4	64.2	64.8	64.6	64.4	64.5
Velocidad de Integración: Slow	M5	64.3	64.7	64.5	64.4	64.4
	M6	64.1	64.8	64.5	64.5	64.4
	M7	64.2	64.9	64.4	64.4	64.4
Nivel de emisión: -25 dB	M8	64.1	64.9	64.3	64.4	64.3
	M9	64.1	64.8	64.4	64.5	64.4
	M10	64.1	64.8	64.4	64.5	64.4
Promedio		64.2	64.8	64.4	64.4	64.4
Diferencias		0.2	0.4	0.0	0.0	

En la tabla 8 se encuentran los resultados de Sound Analyzer a **-25 dB** de emisión, lo cual significa un promedio de **64.4 dBA** medido por el control. A este nivel de emisión los valores tienden a estabilizarse todos de manera uniforme, generando una suma de diferencias de **0.8 dBA**, lo cual es bastante óptimo. Los dispositivos Samsung alcanzaron la coincidencia total mientras que el **One Plus 2** difiere de su anterior resultado en **0.4 dBA**, siendo mayor que el **Motorola G4**. Lo que llama la atención de este grupo de resultados es la estabilización de las cifras provenientes del Motorola, sustentando más la idea de que este dispositivo puede fallar una vez sobrepasado cierto umbral de nivel tolerable, posiblemente debido a las características de su micrófono integrado.

El comportamiento de los demás dispositivos ha sido excepcionalmente acertado y fiel a los resultados de control, dando muy buenas referencias de esta aplicación hasta ahora. Al aumentar la distancia se ha mantenido la misma tendencia, tal y como se puede esperar. A altos niveles de emisión, (**-5dB** y **-15dB**), el Motorola G4 tiende a arrojar resultados muy alejados del control, mientras que los demás dispositivos se acercan a la coincidencia total de manera constante, o con valores fluctuantes alrededor de los **0.0dBA** de diferencia, como es distinguishable en la figura 51.



Figura 51. Diferencias de Sound Analyzer con el control de referencia (1 metro, -25 dB)

De manera similar que a 1 metro de distancia, los valores se estabilizan a -25dB de emisión con la diferencia de que el **Motorola G4** no ha disminuido su nivel de diferencias tan drásticamente como en la anterior distancia, esta vez pasando de **0.2dBA** a **2.3 dBA**s, como está ilustrado en la figura 51.

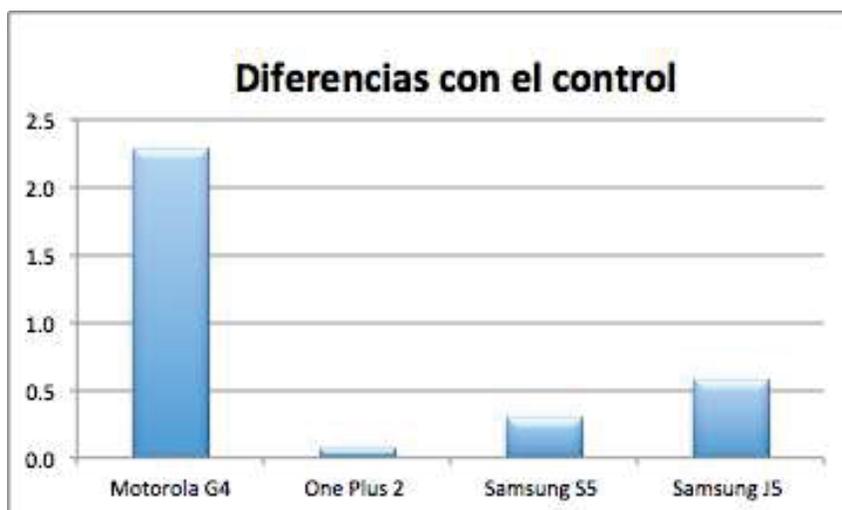


Figura 52. Diferencias de Sound Analyzer con el control de referencia (2 metro, -25 dB)

Se puede concluir respecto a esta aplicación que los resultados arrojados por 3 de los 4 dispositivos son completamente acertados y son los que menos

diferencias arrojan con relación a las demás aplicaciones debido a la capacidad de calibración automática que ofrece.

Los cifras del **Motorola G4**, a diferencia de los demás teléfonos, son completamente inadecuadas y muy poco fiables debido a las amplias diferencias que existen entre estas y el control. Esto se puede deber a una falta de compatibilidad en la programación de la aplicación con el dispositivo en sí, además de la notable disminución de efectividad del teléfono a altos niveles de exposición sonora. Las aplicaciones para sistema operativo iOS fueron evaluadas en 3 dispositivos móviles bajo las mismas condiciones de laboratorio. Se realizaron 10 ensayos con una duración de 15 segundos bajo la exposición a 3 niveles distintos de presión sonora de manera similar a las pruebas realizadas en Android. Se efectuaron los ensayos a 1 metro de distancia y a 2 metros de distancia de la fuente de emisión.

4.1.3 Armstrong Sound Lvl

La aplicación de Armstrong no ofrece una respuesta muy exacta debido a la poca resolución que presentan sus resultados, al estar redondeados a cifras enteras. Esto implica que la variación que se presentaba en las muestras recopiladas por las anteriores aplicaciones no exista de manera prominente en este conjunto de datos y que las cifras sean muy repetitivas.

Tabla 9.

Resultados de Armstrong Sound Lvl (1 metro, -5 dB)

	Mediciones [dBA]	Armstrong's Sound Lvl			
		iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1	90	86	90	84.6
	M2	90	86	91	84.5
	M3	90	86	91	84.4
	M4	90	86	90	84.6
Velocidad de Integración: Slow	M5	90	86	91	84.6
	M6	90	86	91	84.6
	M7	90	86	91	84.6
Nivel de emisión: -5 dB	M8	90	86	91	84.6
	M9	90	86	91	84.6
	M10	90	86	91	84.5
Promedio		90.0	86.0	90.8	84.6
Diferencias (Valor absoluto)		5.4	1.4	6.2	

En la tabla 9 se puede distinguir la uniformidad en las muestras tomadas por los dispositivos *smartphone*. Es notable una similitud existente entre los teléfonos de menor antigüedad, **iPhone 6s** y **iPhone 7**. Pese a esta singularidad, los resultados más cercanos al promedio del control en este grupo de mediciones realizadas a **-5 dB** de emisión a **1 metro** de distancia, son las cifras arrojadas por el teléfono menos actual, el **iPhone 5s**.

La diferencia de promedios entre el **iPhone 5s** y el control es de **1.4 dBA** bajo esta combinación de variables, cifra que representa una diferencia bastante óptima, a diferencia de la diferencia existente entre los modelos **6s** y **7**. Esta aplicación es la primera en presentar resultados los cuales se encuentran por encima del control, sobrevalorando la medición, al contrario de las anteriores aplicaciones.

Tabla 10.

Resultados de Armstrong Sound Lvl (1 metro, -15 dB)

	Mediciones [dBA]	Armstrong's Sound Lvl			
		iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1	83	80	84	74.7
	M2	83	80	84	74.6
	M3	83	80	83	74.7
	M4	83	80	84	74.7
Velocidad de Integración: Slow	M5	83	80	83	74.8
	M6	83	80	84	74.7
	M7	83	80	84	74.8
Nivel de emisión: -15 dB	M8	83	80	84	74.7
	M9	83	80	83	74.7
	M10	83	80	84	74.6
Promedio		83.0	80.0	83.7	74.7
Diferencias		8.3	5.3	9.0	

Al disminuir el nivel de emisión a **-15dB**, las diferencias siguen un patrón similar, esta vez presentando diferencias más elevadas que antes. Las diferencias prácticamente se han duplicado con la disminución de nivel, algo que demuestra inconsistencia en los resultados de todos los dispositivos.

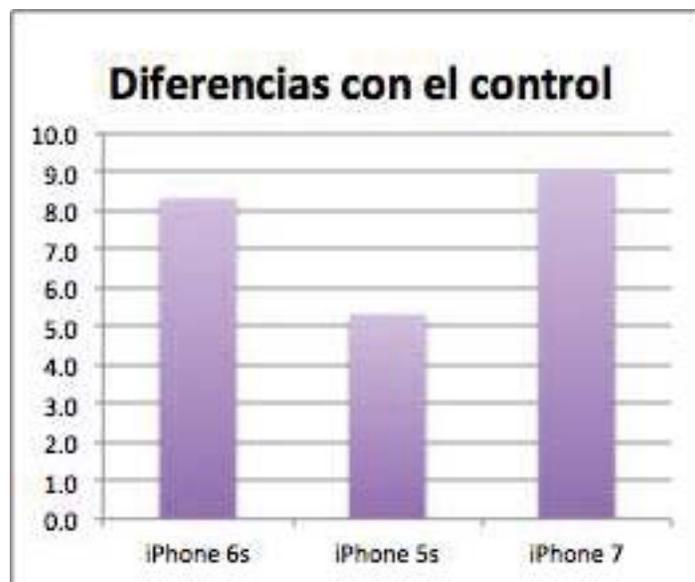


Figura 53. Diferencias de Armstrong Sound LVL con el control de referencia (1 metro, -15 dB)

La tendencia de los teléfonos en esta aplicación es de aumentar la diferencia existente con el control conforme el nivel de emisión sea disminuido. Es evidente el aumento significativo de las diferencias en la figura 53 y de cierta estabilización a **-25dB** en la figura 54.

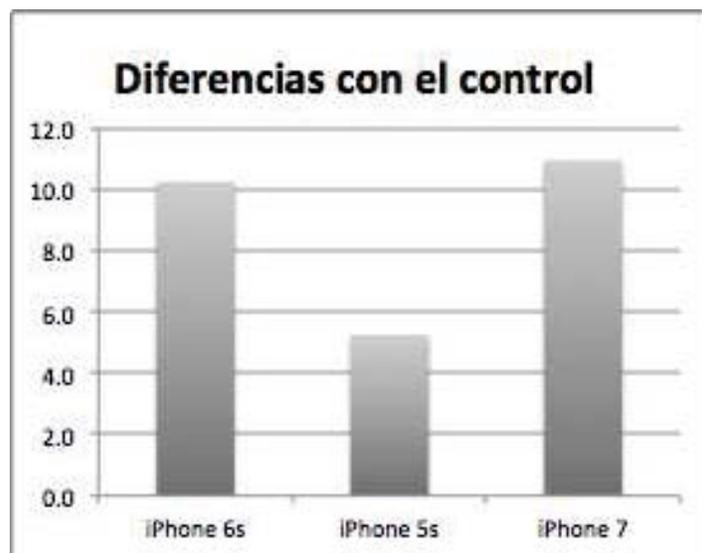


Figura 54. Diferencias de Sound Analyzer con el control de referencia (1 metro, -25 dB)

El dispositivo que presenta la mejor respuesta a través de esta aplicación es el **iPhone 5s**, el cual demuestra una estabilización a partir de los **-15 dB** de emisión, y es el teléfono con menor diferencia general en referencia al control.

La aplicación presenta un comportamiento similar a **2 metros** de distancia, con un ligero aumento en las diferencias generadas por el **iPhone 5s**, distinguibles en la tabla 11 y la figura 55.

Tabla 11.

Resultados de Armstrong Sound Lvl (2 metros, -15 dB)

		Armstrong's Sound Lvl				
		Mediciones [dBA]	iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	CESVA
Distancia: 2 [m]	M1		80	77	80	72.2
	M2		80	78	80	72.1
	M3		80	78	80	72.2
	M4		80	78	80	72.2
Velocidad de Integración: Slow	M5		80	77	80	72.2
	M6		80	77	80	72.2
	M7		80	78	80	72.2
Nivel de emisión: -15 dB	M8		80	77	80	72.3
	M9		80	77	80	72.2
	M10		80	78	79	72.2
Promedio			80.0	77.5	79.9	72.2
Diferencias			7.8	5.3	7.7	

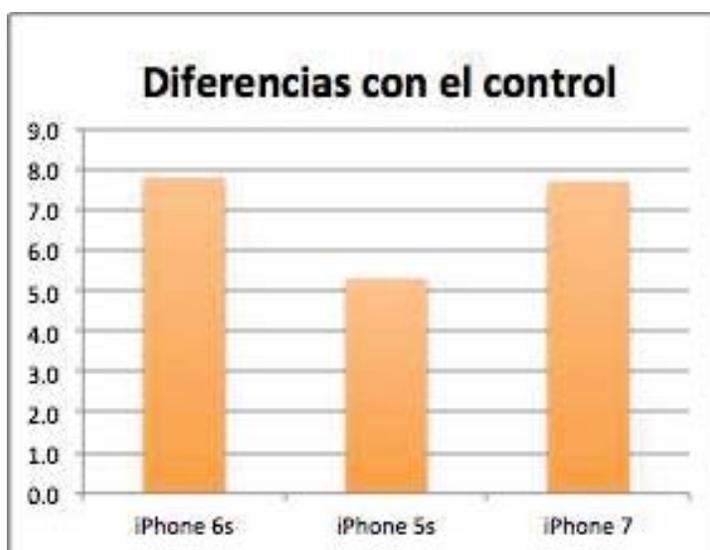


Figura 55. Diferencias de Sound Analyzer con el control de referencia (2 metros, -15 dB)

4.1.4 Sound Level Analyzer Lite

La aplicación Sound Level Analyzer entregó los resultados más estables sin haber pasado por ningún procedimiento de calibración. La diferencia general fue la más cercana a la referencia de entre todas las aplicaciones para plataforma iOS. La tendencia general es muy estable bajo todas las configuraciones efectuadas a las variables distancia y nivel de emisión. El dispositivo **iPhone 5s** una vez más tiende a ofrecer los mejores resultados.

Tabla 12.

Resultados de SLA Lite (1 metro, -5 dB)

		SLA Lite			
Mediciones [dBA]		iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1	80.6	82	82.2	84.6
	M2	80.3	82.1	82.2	84.6
	M3	80.9	82.1	81.6	84.6
	M4	80.2	81.9	81.4	84.5
	M5	81.2	81.7	81.9	84.6
Velocidad de Integración: Slow	M6	81.4	82	82.3	84.5
	M7	81.6	81.8	81	84.5
Nivel de emisión: -5 dB	M8	81	81.4	81.8	84.6
	M9	80.8	81.7	82	84.6
	M10	81.1	81.7	81.6	84.6
Promedio		80.9	81.8	81.8	84.6
Diferencias (Valor absoluto)		3.7	2.7	2.8	

En la tabla 12 se encuentran las muestras recopiladas a **1 metro** de distancia, al máximo nivel de emisión **-5 dB**, el cual es traducido a **84.6 dBA** por el sonómetro CESVA y tomado como control. Los resultados se aproximan al control con diferencias bastante cortas, siendo el **iPhone 5s** el modelo con mayor fidelidad y similitud a los resultados de sonómetro, seguido siempre de cerca por el **iPhone 7**.

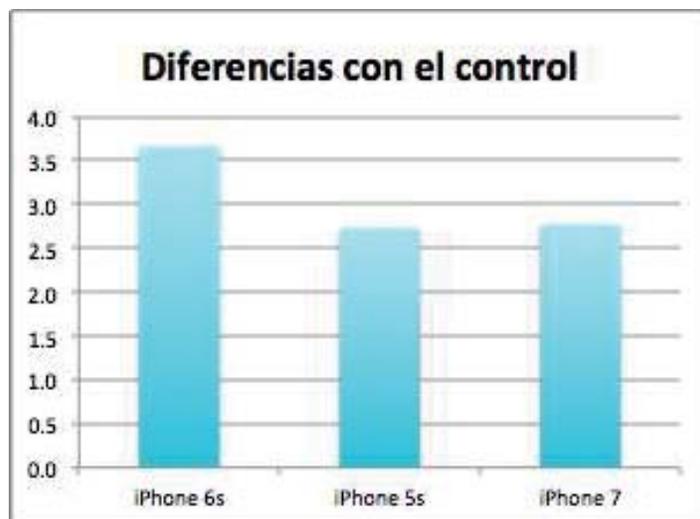


Figura 56. Diferencias de SLA Lite con el control de referencia (1 metro, -5 dB)

Los resultados de esta aplicación logran mantener consistencia en las diferencias, a través de todas las variables modificadas para cada ensayo. Las diferencias varían en menos de 1 dBA para cada disminución de nivel de emisión, así como también para la segunda distancia de medición.

Tabla 13.

Resultados de SLA Lite (2 metros, -25 dB)

	Mediciones [dBA]	SLA Lite			
		iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	CESVA
Distancia: 2 [m]	M1	58.7	59.2	59.6	62.4
	M2	59.1	59.9	59.8	63.4
	M3	59.2	59.9	58.9	62.4
	M4	59.6	59.7	59.2	62.4
	M5	59	60.1	59.3	62.4
Velocidad de Integración: Slow	M6	59	59.7	59.2	62.4
	M7	59.2	60.3	59.6	62.5
	M8	59	59.9	59.2	62.5
Nivel de emisión: -25 dB	M9	59.6	59.7	60.3	62.3
	M10	59	59.8	59.5	62.4
	Promedio	59.1	59.8	59.5	62.5
Diferencias		3.4	2.7	3.0	

En la tabla 13 se puede distinguir los valores arrojados por los dispositivos a la mayor distancia y menor nivel de emisión, y es notable la consistencia de las diferencias al contrastarlas con las generadas a la menor distancia y mayor intensidad de emisión.

4.1.5 NIOSH Sound Level Meter

La aplicación **NIOSH SLM** generó resultados óptimos para el dispositivo **iPhone 7**, con cifras muy cercanas a la coincidencia total y una exactitud similar a los resultados de control. Por otro lado, los dispositivos **iPhone 6s** y **iPhone 5s** presentaron cifras poco coherentes y totalmente alejadas de la referencia del sonómetro, fluctuando entre los **9 dBA** y **11dBA** de diferencia, como es visible en la tabla x. referente a los valores arrojados a **1 metro** y a **-5 dB** de nivel de emisión.

Tabla 14.

Resultados de NIOSH SLM Lite (1 metro, -5 dB)

		NIOSH Sound Level Meter				
		Mediciones [dBA]	iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	CESVA
Distancia: 1 [m]	M1		83.8	85.4	94.9	94.7
	M2		83.8	85.5	94.9	94.8
	M3		83.7	85.4	94.9	94.6
	M4		83.7	85.4	94.9	94.7
Velocidad de Integración: Slow	M5		83.7	85.4	95	94.7
	M6		83.7	85.5	95	94.7
	M7		83.6	85.5	95	94.7
Nivel de emisión: -5 dB	M8		83.7	85.6	94.9	94.6
	M9		83.7	85.6	94.9	94.7
	M10		83.6	85.4	94.9	94.6
Promedio			83.7	85.5	94.9	94.7
Diferencias (Valor absoluto)			11.0	9.2	0.2	



Figura 57. Diferencias de NIOSH SLM con el control de referencia (1 metro, -5 dB)

En la figura 56 es posible visualizar la diferencia en la efectividad de los teléfonos, en especial la amplia diferencia entre los modelos **6s** y **5s** con el **7**. Este comportamiento es similar en absolutamente todas las demás pruebas realizadas, manteniendo de manera muy estable esta relación.

Tabla 15.

Resultados de NIOSH SLM Lite (2 metros, -25 dB)

	Mediciones [dBA]	NIOSH Sound Level Meter			
		iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	CESVA
Distancia: 2 [m]	M1	61.6	63	72.5	72.1
	M2	61.5	62.9	72.4	72.2
	M3	61.5	62.7	72.3	72.2
	M4	61.5	62.9	72.3	72.1
Velocidad de Integración: Slow	M5	61.6	62.9	72.4	72
	M6	61.8	62.9	72.4	72.1
	M7	61.7	62.8	72.5	72.2
Nivel de emisión: -25 dB	M8	61.6	62.9	72.5	72.1
	M9	61.7	62.8	72.4	72.2
	M10	61.6	62.8	72.4	72.2
Promedio		61.6	62.9	72.4	72.1
Diferencias		10.5	9.3	0.3	

En la tabla 15 se encuentran los resultados de las mediciones realizadas a **2 metros** y a **-25 dB** de emisión, y es visible la similitud que tienen los datos con las cifras tomadas en el primer conjunto de muestras bajo condiciones opuestas. Esto demuestra la consistencia de la aplicación, y un gran desempeño del modelo **iPhone 7**.

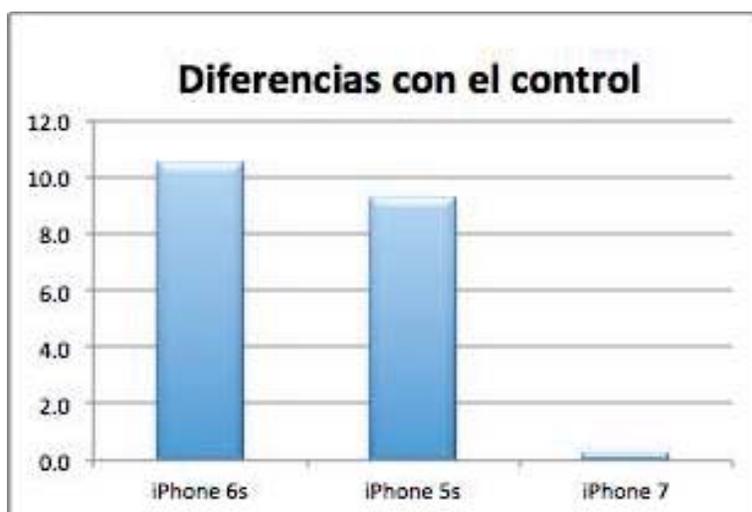


Figura 58. Diferencias de NIOSH SLM con el control de referencia (2 metros, -25 dB)

La superioridad en la fidelidad del **iPhone 7** se puede deber a una mejora en el algoritmo de la aplicación exclusiva para este modelo, el más actual en el mercado hoy en día. Las diferencias entre este dispositivo y los otros modelos de iPhone no han sido tan distinguibles en anteriores aplicaciones como en esta, lo que la diferencia del resto con esta posible ventaja de software para el modelo **iPhone 7**.

4.2 Análisis general del rendimiento de las aplicaciones:

Se puede analizar de manera global el rendimiento de las aplicaciones al realizar una suma de los promedios de todas las diferencias generadas por los dispositivos, bajo cada una de las combinaciones de variables de ensayo. De esta manera es posible comparar el rendimiento general de la aplicación. Los valores más elevados de suma de diferencias representan mayor incoherencia entre dispositivos.

Tabla 16.

Diferencias de NoiseTube con la referencia de control

Aplicación	Distancia [m]	Nivel de emisión [dB]	Diferencias [dBA]				
			Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	
Noisetube	1	-5	8.70	12.30	9.90	7.80	
	1	-15	1.01	12.13	8.06	6.16	
	1	-25	3.20	11.88	8.26	6.31	
	2	-5	6.09	11.93	8.98	6.14	
	2	-15	2.64	11.95	8.78	5.97	
	2	-25	3.17	11.60	9.05	6.35	Suma de diferencias
Promedio			4.14	11.96	8.84	6.46	31.39

Tabla 17.

Diferencias de Sound Analyzer con la referencia de control

Aplicación	Distancia [m]	Nivel de emisión [dB]	Diferencias [dBA]				
			Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	
Sound Analyzer	1	-5	9.35	0.16	0.12	1.18	
	1	-15	10.03	0.04	0.42	0.17	
	1	-25	0.23	0.43	0.05	0.04	
	2	-5	15.21	0.15	0.04	0.17	
	2	-15	7.07	0.06	0.23	0.24	
	2	-25	2.28	0.07	0.29	0.57	Suma de diferencias
Promedio			7.36	0.15	0.19	0.40	8.10

Tabla 18.

Diferencias de Armstrong Sound Lvl con la referencia de control

Aplicacion	Distancia [m]	Nivel de emisión [dB]	Diferencias [dBA]			
			iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	
Armstrong Sound LVL	1	-5	5.44	1.44	6.24	
	1	-15	8.30	5.30	9.00	
	1	-25	10.24	5.24	10.94	
	2	-5	4.92	1.92	4.82	
	2	-15	7.80	5.30	7.70	
	2	-25	8.99	4.99	8.99	
Promedio			7.61	4.03	7.95	Suma de diferencias 19.60

Tabla 19.

Diferencias de SLA Lite con la referencia de control

Aplicacion	Distancia [m]	Nivel de emisión [dB]	Diferencias [dBA]			
			iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	
SLA Lite	1	-5	3.66	2.73	2.77	
	1	-15	3.75	2.96	2.41	
	1	-25	3.32	2.84	2.65	
	2	-5	3.27	2.67	3.07	
	2	-15	3.18	2.69	2.98	
	2	-25	3.37	2.69	3.05	
Promedio			3.43	2.76	2.82	Suma de diferencias 9.01

Tabla 20.

Diferencias de NIOSH SLM con la referencia de control

Aplicacion	Distancia [m]	Nivel de emisión [dB]	Diferencias [dBA]			
			iPhone 6s	iPhone 5s	iPhone 7	
NIOSH SLM	1	-5	10.98	9.21	0.25	
	1	-15	11.03	9.31	0.28	
	1	-25	10.99	9.35	0.26	
	2	-5	10.48	9.30	0.34	
	2	-15	10.53	9.21	0.35	
	2	-25	10.53	9.28	0.27	
Promedio			10.76	9.28	0.29	Suma de diferencias 20.33

Al observar las tablas referentes a la suma de promedios de diferencias es notable la efectividad de la aplicación **Sound Analyzer** para plataforma Android. La aplicación presenta **8.1 dBA** de diferencia global, la cual es la menor suma de diferencias en contraste a las demás aplicaciones.

La siguiente aplicación en cuanto a rendimiento global se refiere es **SLA Lite**, para la plataforma iOS. La aplicación presenta **9.01 dBA** de diferencia global, y

presenta los resultados más consistentes en una aplicación sin calibración automática. Las diferencias individuales de los teléfonos son muy constantes con cada modificación de variables, haciendo de esta la aplicación más balanceada hasta el momento.

La aplicación **Armstrong Sound Lvl** presenta una suma de diferencias de **19.6 dBA** siendo necesario un análisis más particular. El teléfono que presentó mejor rendimiento en esta aplicación fue el **iPhone 5s**, con un promedio global de **4.03 dBA**, duplicando la fidelidad de los demás modelos Apple más actuales. La aplicación **NIOSH SLM** presentó un valor similar, de **20.33 dBA** como valor total, el cual recibe mayores contribuciones de los modelos 5s y 6s. Es destacable el rendimiento del modelo **iPhone 7** el cual generó un promedio de diferencias de tan solo **0.29 dBA** sin recibir ningún tipo de calibración.

Por último la aplicación **NoiseTube** presentó relativamente los resultados menos óptimos con un promedio de sumas global de **31.39 dBA**. El dispositivo que entregó los mejores resultados es el **Motorola G4**, con un promedio de **4.14 dBA**.

4.3 Análisis de repetibilidad y reproducibilidad

Los resultados obtenidos se realizaron de manera individual para cada combinación de distancia y nivel de emisión para aplicaciones y dispositivos Android y iOS.

Tabla 21.

Resultados de repetibilidad y reproducibilidad para aplicaciones Android (1 metro, -5 dB)

Observadores	2											
Ensayos	4											
Partes	10	Partes										
Distancia: 1 [m]	Nivel de emisión: -5 dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedios
Operador	Ensayo											
NoiseTube	Motorola G4	74.0	75.8	75.7	75.8	75.8	75.9	75.6	75.5	75.4	75.6	75.5
	One Plus 2	71.9	72.0	72.0	72.0	71.7	72.0	72.0	71.9	71.3	72.1	71.9
	Samsung S5	74.5	74.3	74.3	74.3	74.3	74.3	74.3	74.3	74.2	74.2	74.3
	Samsung J5	74.7	74.7	76.8	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.7	76.8
Promedio		73.8	74.2	74.7	74.7	74.7	74.7	74.7	74.6	74.4	74.7	74.5
Rango		2.8	3.7	4.8	4.7	5.0	4.7	4.8	4.8	5.4	4.7	4.5
Sound Analyzer	Motorola G4	74.8	74.8	74.8	74.9	74.8	74.9	74.9	74.8	74.8	74.8	74.8
	One Plus 2	84.0	84.0	84.1	83.9	84.0	84.1	84.0	84.0	84.1	84.0	84.0
	Samsung S5	84.1	84.1	84.1	84.1	84.1	84.1	84.0	84.0	84.0	84.0	84.1
	Samsung J5	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0
Promedio		81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5	81.5
Rango		9.3	9.3	9.3	9.2	9.3	9.2	9.1	9.2	9.3	9.2	9.2
Promedios por partes		77.63	77.85	78.10	78.09	78.07	78.12	78.07	78.02	77.95	78.06	
Rango Promedio	6.9	Constantes			Xdif Promedio			nr	Rp			
Repetibilidad	17.23	K1	K2	K3	6.97			40	0.49			
		2.5	3.65	1.62								
Reproducibilidad	25.29											
Relación R&R	30.60											
PV (Part Variation)	0.80											
TV (Total Variation)	30.61											

Porcentajes	
Repetibilidad	56.27
Reproducibilidad	82.62
Relación R&R	99.97

En la tabla 21 se encuentran proyectados los resultados obtenidos bajo el método de promedios y rangos para obtener un análisis de reproducibilidad y repetibilidad con respecto al proceso de medición de nivel de presión sonora, llevado a cabo por 2 aplicaciones móviles en 4 dispositivos *smartphone* de tecnología Android, bajo las mismas condiciones de laboratorio.

Las cifras porcentuales de relación R&R son muy elevadas, por encima del valor aceptado de 30%, el cual es superado ampliamente. Este escenario está delimitado bajo las condiciones de máximo nivel de emisión y mínima distancia de recepción. El resultado se interpreta como una carencia muy grande de consistencia al poner en contraste a las aplicaciones **NoiseTube** y **Sound Analyzer**, debido a la gran diferencia existente entre los resultados que arrojan las mismas, así como también la variación existente entre los resultados que arrojan los dispositivos.

Esto significa que de manera general se puede afirmar que las aplicaciones para plataforma Android no presentan un patrón de consistencia fiable, lo cual hace del sistema de medición estudiado muy volátil y poco recomendable para realizar mediciones debido a la poca concordancia entre las aplicaciones, lo cual hace difícil una comparación sin tomar en cuenta un control, como lo es un sonómetro calibrado.

El comportamiento de los resultados se repite bajo todas las combinaciones de nivel de emisión y distancia de recepción, presentando pobres valores de concordancia entre sí.

Tabla 22.

Resultados de repetibilidad y reproducibilidad para aplicaciones Android (2 metros, -25 dB)

Observadores	2											
Ensayos	4											
Partes	10	Partes										
Distancia: 1 [m]	Nivel de emisión: -5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedios
Operador	Ensayo											
NoiseTube	Motorola G4	65.29	65.3	65.59	65.42	65.31	65.34	65.13	65.24	65.92	65.47	65.4
	One Plus 2	50.76	50.58	50.58	50.3	50.58	50.69	50.67	50.85	50.96	50.35	50.6
	Samsung S5	53.43	53.27	53.12	53.22	53.15	53.1	53.08	53.12	53.16	53.19	53.2
	Samsung J5	56.24	55.16	56.09	56.05	56.01	55.83	55.98	56.1	55.31	56	55.9
Promedio		56.4	56.1	56.3	56.2	56.3	56.2	56.2	56.3	56.3	56.3	56.3
Rango		14.5	14.7	15.0	15.1	14.7	14.7	14.5	14.4	15.0	15.1	14.8
Sound Analyzer	Motorola G4	64.6	64.6	64.7	64.7	64.6	64.7	64.6	64.6	64.5	64.6	64.6
	One Plus 2	62.2	62.2	62.3	62.3	62.2	62.2	62.3	62.4	62.3	62.3	62.3
	Samsung S5	62	62.1	62.3	62	62.1	62.1	62	62	61.9	62	62.1
	Samsung J5	62.9	62.9	62.8	62.9	63	62.9	62.9	62.9	62.9	63	62.9
Promedio		62.9	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	63.0	62.9	63.0	63.0
Rango		2.6	2.5	2.4	2.7	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Promedios por partes		59.68	59.51	59.69	59.61	59.62	59.61	59.58	59.65	59.62	59.61	
Rango Promedio	8.7	Constantes			Xdif Promedio			nr	Rp			
Repetibilidad	21.67	K1	K2	K3	6.69			40	0.17			
		2.5	3.65	1.62								
Reproducibilidad	24.17											
Relación R&R	32.47											
PV (Part Variation)	0.28											
TV (Total Variation)	32.47											

Porcentajes	
Repetibilidad	66.75
Reproducibilidad	74.45
Relación R&R	100.00

De manera similar se realizaron los mismos procedimientos a los dispositivos Apple, en este caso utilizando 3 teléfonos y 3 aplicaciones, las cuales fueron utilizadas para medir niveles de presión sonora bajo las mismas condiciones de laboratorio.

Tabla 23.

Resultados de repetibilidad y reproducibilidad para aplicaciones iOS (1 metros, -5 dB)

Operadores	3											
Ensayos	3											
Partes	10	Partes										
Distancia: 1 [m]	Nivel de emisión: -5 dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedios
Operador	Ensayo											
Armstrong	iPhone 6S	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90.0
	iPhone 5S	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86.0
	iPhone 7	90	91	91	90	91	91	91	91	91	91	90.8
Promedio		88.7	89.0	89.0	88.7	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0	89.0	88.9
Rango		4.0	5.0	5.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.8
SLA Lite	iPhone 6S	80.6	80.3	80.9	80.2	81.2	81.4	81.6	81	80.8	81.1	80.9
	iPhone 5S	82	82.1	82.1	81.9	81.7	82	81.8	81.4	81.7	81.7	81.8
	iPhone 7	82.2	82.2	81.6	81.4	81.9	82.3	81	81.8	82	81.6	81.8
Promedio		81.6	81.5	81.5	81.2	81.6	81.9	81.5	81.4	81.5	81.5	81.5
Rango		1.6	1.9	1.2	1.7	0.7	0.9	0.8	0.8	1.2	0.6	1.1
NIOSH	iPhone 6S	70.6	70.3	70.9	70.2	71.2	71.4	71.6	71	70.8	71.1	70.9
	iPhone 5S	72	72.1	72.1	71.9	71.7	72	71.8	71.4	71.7	71.7	71.8
	iPhone 7	72.2	72.2	71.6	71.4	71.9	72.3	71	71.8	72	71.6	71.8
Promedio		71.6	71.5	71.5	71.2	71.6	71.9	71.5	71.4	71.5	71.5	71.5
Rango		1.6	1.9	1.2	1.7	0.7	0.9	0.8	0.8	1.2	0.6	1.1
Promedios por partes		80.62	80.69	80.69	80.33	80.73	80.93	80.64	80.60	80.67	80.64	
Rango Promedio		2.4			Constantes			Xdiff Promedio			nr	Rp
Repetibilidad		7.20			K1	K2	K3	17.42			30	0.60
Reproducibilidad		47.01			3.05			2.7			1.62	
Relación R&R		47.55										
PV (Part Variation)		0.97										
TV (Total Variation)		47.56										

Porcentajes	
Repetibilidad	15.13
Reproducibilidad	98.83
Relación R&R	99.98

Los valores de los dispositivos y aplicaciones iOS ofrecen resultados globales similares a los obtenidos por la tecnología Android. Algo que es destacable mencionar respecto al desempeño de las aplicaciones y dispositivos iOS es la gran superioridad de problemas de reproducibilidad en función a la repetibilidad. Los valores mostrados son similares bajo todas las condiciones de emisión y distancia, siendo predominante el error de reproducibilidad, mientras que la repetibilidad es muy aceptable.

Esto se debe a la buena consistencia de los dispositivos en comparación al contraste existente entre las aplicaciones en sí. Las diferencias existentes entre teléfonos es baja, y presentan resultados consistentes y similares bajo todas las aplicaciones, cosa que no se refleja de manera más global, al comparar los resultados entre aplicaciones. Las diferencias entre **Armstrong's Sound LVL** y las demás es muy destacable, debido a los resultados muy dispersos que ofrece en comparación con las demás aplicaciones. La aplicación **SLA Lite** es la más consistente en función de sus dispositivos, debido a la poca diferencia

existente entre los valores obtenidos por los mismos bajo todas las condiciones de laboratorio.

Tabla 24.

Resultados de repetibilidad y reproducibilidad para aplicaciones iOS (2 metros, -25 dB)

Operadores	3											
Ensayos	3											
Partes	10	Partes										
Distancia: 2 [m]	Nivel de emisión: -25 dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedios
Operador	Ensayo											
Armstrong	iPhone 6S	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71.0
	iPhone 5S	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67.0
	iPhone 7	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71.0
Promedio		69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7
Rango		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
SLA Lite	iPhone 6S	58.7	59.1	59.2	59.6	59	59	59.2	59	59.6	59	59.1
	iPhone 5S	59.2	59.9	59.9	59.7	60.1	59.7	60.3	59.9	59.7	59.8	59.8
	iPhone 7	59.6	59.8	58.9	59.2	59.3	59.2	59.6	59.2	60.3	59.5	59.5
Promedio		59.2	59.6	59.3	59.5	59.5	59.3	59.7	59.4	59.9	59.4	59.5
Rango		0.9	0.8	1.0	0.5	1.1	0.7	1.1	0.9	0.7	0.8	0.8
NIOSH	iPhone 6S	48.7	49.1	49.2	49.6	49	49	49.2	49	49.6	49	49.1
	iPhone 5S	49.2	49.9	49.9	49.7	50.1	49.7	50.3	49.9	49.7	49.8	49.8
	iPhone 7	49.6	49.8	48.9	49.2	49.3	49.2	49.6	49.2	50.3	49.5	49.5
Promedio		49.2	49.6	49.3	49.5	49.5	49.3	49.7	49.4	49.9	49.4	49.5
Rango		0.9	0.8	1.0	0.5	1.1	0.7	1.1	0.9	0.7	0.8	0.8
Promedios por partes		59.33	59.62	59.44	59.56	59.53	59.42	59.69	59.47	59.80	59.51	
Rango Promedio	1.9	Constantes			Xdiff Promedio			nr	Rp			
Repetibilidad	5.80	K1	K2	K3	20.19			30	0.47			
		3.05	2.7	1.62								
Reproducibilidad	54.51											
Relación R&R	54.82											
PV (Part Variation)	0.76											
TV (Total Variation)	54.82											

Porcentajes	
Repetibilidad	10.57
Reproducibilidad	99.43
Relación R&R	99.99

4.4 Comparación general de resultados

Los resultados desplegados en la tabla 25 demuestran valores referentes a las diferencias existentes entre las medias de los datos obtenidos a cada uno de los niveles de emisión utilizando *smartphones*. Se puede notar que la diferencia más grande ocurre al máximo nivel de emisión de la fuente, lo que indica que los resultados son más inestables a altos niveles de presión sonora.

Esta información siempre depende de factores o detalles más singulares pero es una buena estimación de manera global para comparar de manera general el comportamiento de las aplicaciones y teléfonos a distintos niveles de emisión al comparar únicamente las diferencias existentes entre los valores recopilados y la referencia.

Tabla 25.

Diferencias entre aplicaciones y referencia basadas en el nivel de emisión

Análisis general de diferencias con la referencia	Nivel de emisión de fuente [dB]	Número de muestras promedio	Diferencia media del valor de referencia (CESVA)	Desviación Estandar	Error Estandar	Max	Min	Rango
	-5	50	5.35	4.31	0.61	15.21	0.04	15.17
	-15	50	5.21	4.00	0.57	12.13	0.04	12.09
	-25	50	5.05	4.13	0.58	11.88	0.04	11.84

Para explorar la variabilidad de los resultados, se realizaron diagramas de dispersión comparando los valores medidos con las referencias obtenidas con el sonómetro a los tres niveles de emisión utilizados, descritos en la tabla X. para ambas distancias de recepción. El alto grado de variabilidad que existe entre las mediciones con *smartphone* y la referencia sugiere que la fiabilidad de los teléfonos para medir niveles de ruido depende en cierto grado de la obtención de una gran cantidad de muestras antes que realizar pocos ensayos. En las figuras X. y X. se puede notar una ligera disminución en la dispersión al aumentar la distancia de recepción, algo que demuestra que a menores niveles de emisión los resultados son más estables en los dispositivos *smartphone*.

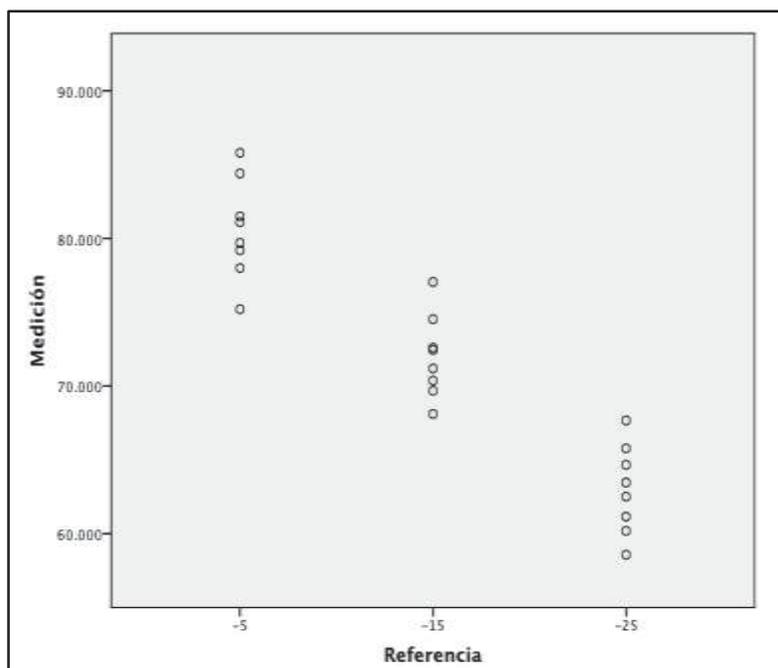


Figura 59. Diagrama de dispersión de diferencia entre medias y valores de referencia a 1 metro de distancia.

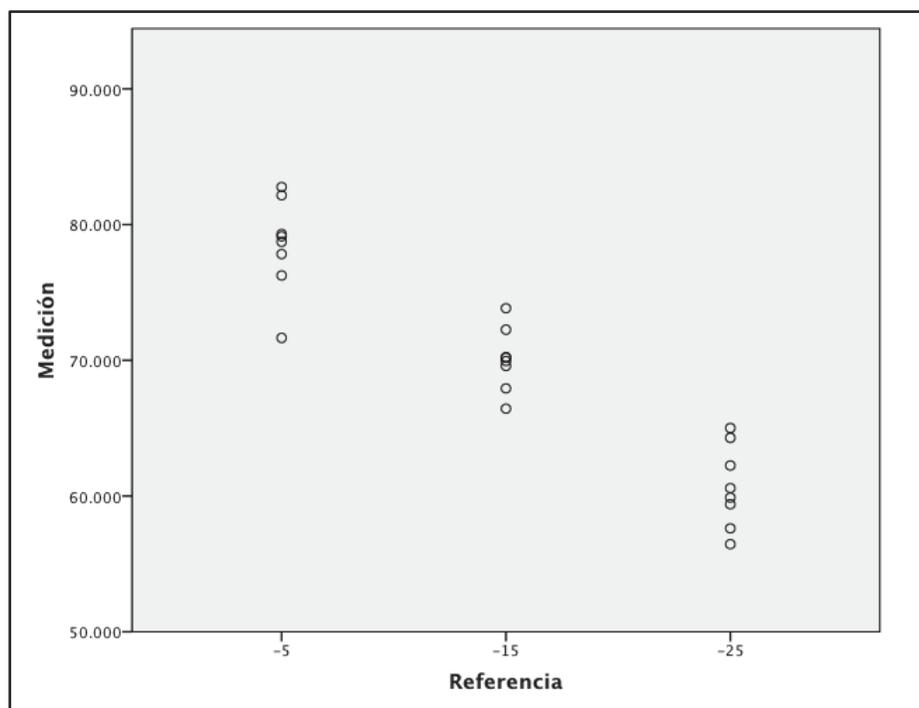


Figura 60. Diagrama de dispersión de diferencia entre medias y valores de referencia a 2 metros de distancia.

Tabla 26.

Valores medios globales por dispositivo a distintos niveles de emisión y distancia de recepción

		Valores medios @ 1[m]								
Análisis descriptivo de los promedios globales por dispositivo	Nivel de emisión [dB]	Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	iPhone 6S	iPhone 5S	iPhone 7	CESVA	1 [m]
	-5	75.17	77.96	79.18	79.67	81.54	81.10	85.84	84.43	
	-15	69.6825	68.11	70.37	71.19	72.60	72.44	77.05	74.53	
	-25	65.779	58.57	60.19	61.16	63.47	62.51	67.67	64.66	
		Valores medios @ 2[m]								
Análisis descriptivo de los promedios globales por dispositivo	Nivel de emisión [dB]	Motorola G4	One Plus 2	Samsung S5	Samsung J5	iPhone 6S	iPhone 5S	iPhone 7	CESVA	2 [m]
	-5	71.65	76.25	77.83	79.31	79.13	78.73	82.77	82.16	
	-15	70.23	66.44	67.93	69.58	70.18	69.95	73.84	72.26	
	-25	65.01	56.45	57.62	59.39	60.58	59.89	64.29	62.25	

Los resultados presentados en la tabla 27 demuestran una diferencia significativa en los valores medios obtenidos de manera global para sistemas operativos iOS y Android.

Tabla 27.

Valores medios generales de sistemas operativos a distintos niveles de emisión y posición de fuente.

Análisis descriptivo del desempeño general de los sistemas operativos	Nivel de emisión [dB]	Sistema operativo	Número de muestras promedio	Media	Diferencias de media	Desviación Estandar	Error Estandar	1 [m]
	-5	iOS	9	82.83	4.83	5.84	1.95	
	Android	18	77.99	4.90		1.15		
	-10	iOS	9	74.03	4.19	7.10	2.37	
		Android	18	69.84		5.37	1.27	
	-15	iOS	9	64.55	3.12	7.71	2.57	
		Android	18	61.43		5.32	1.25	
Análisis descriptivo del desempeño general de los sistemas operativos	Nivel de emisión [dB]	Sistema operativo	Número de muestras	Media	Diferencias de media	Desviación Estandar	Error Estandar	2 [m]
	-5	iOS	9	80.21	3.93	5.61	1.87	
		Android	18	76.28		5.81	1.37	
	-10	iOS	9	71.32	2.78	6.80	2.27	
		Android	18	68.54		5.29	1.25	
	-15	iOS	9	61.59	1.97	7.04	2.35	
		Android	18	59.62		5.59	1.32	

Es destacable una vez más la relación de estabilidad que existe conforme el nivel de presión sonora disminuye, tanto con la fuente de emisión como con la distancia. En el máximo extremo de nivel de emisión y mínima distancia de recepción los valores de las diferencias entre las medias de Android y iOS son los más altos, y disminuyen de manera lineal conforme el nivel de exposición al que se encuentran. Sin embargo, los valores de desviación estándar son relativamente más altos en plataforma iOS, factor que resta fiabilidad y estabilidad al rendimiento del sistema operativo en general.

También se puso en contraste el desempeño de cada uno de los dispositivos para determinar de manera global qué relación existe entre estos y la referencia. En la tabla 26 están demostrados los resultados de las comparaciones entre medias por dispositivo a todos los niveles de emisión y distancias de recepción. También se realizó una serie de diagramas de cajas describiendo las diferencias entre los dispositivos y las demás variables.

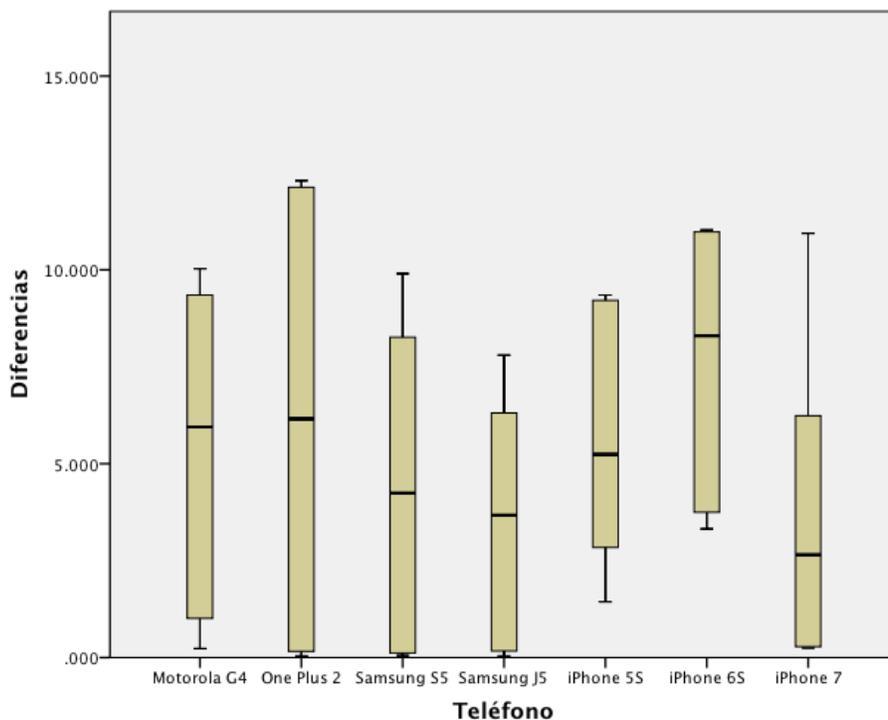


Figura 61. Diagrama de cajas referente a las diferencias entre teléfonos y referencia, a 1 metro de distancia.

A 1 metro de distancia, es observable que los dispositivos con menor nivel de diferencia son los dispositivos Samsung. Pese a que su rango se extiende, los promedios globales para estos dispositivos están por debajo de los 5 dBA, siendo los más cercanos a la referencia de manera general, seguidos por el iPhone 7. Este dispositivo presenta la menor diferencia general con las referencias, pese a su amplio rango. Esto se debe a que es bastante fiel en la mayoría de aplicaciones, excepto en algunos casos puntuales.

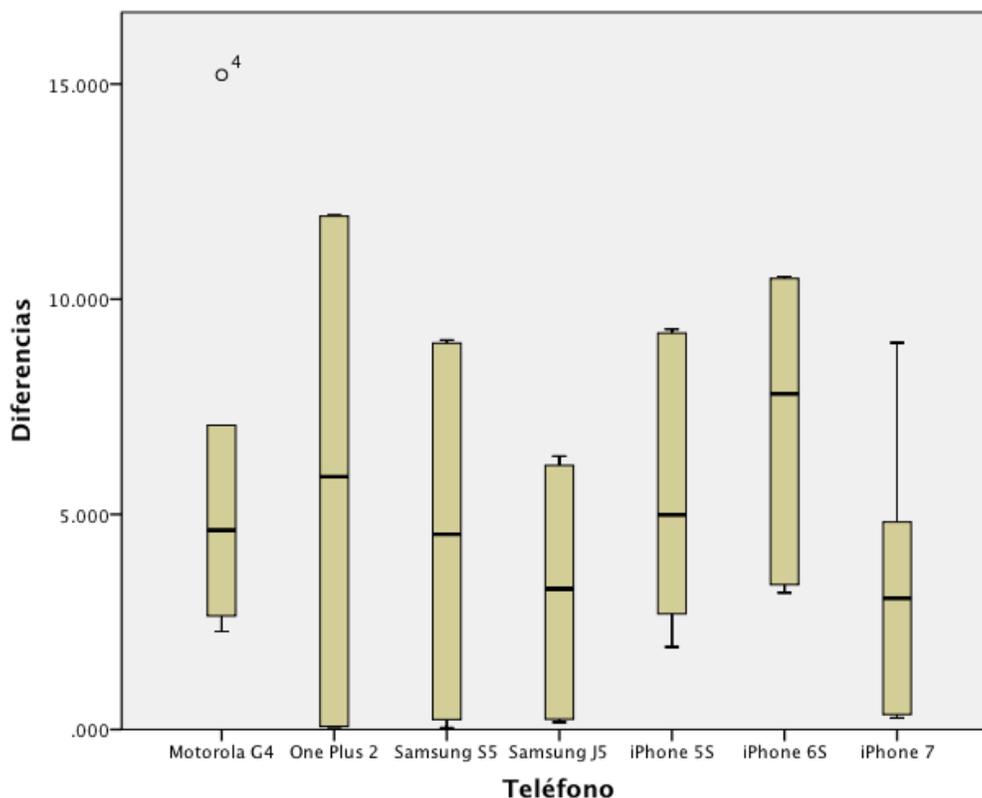


Figura 62. Diagrama de cajas referente a las diferencias entre teléfonos y referencia, a 2 metros de distancia.

Se puede observar que el dispositivo con peor rendimiento general es el iPhone 6S, ya que presenta la diferencia promedio con la referencia más alta de todos los dispositivos, seguido del One Plus 2 y el Motorola G4. Es destacable el muy amplio rango que establece el modelo One Plus 2, muy por encima de los rangos de los demás dispositivos. Esto indica poca fiabilidad debido a la gran dispersión de sus resultados. También es notable la disminución considerable del rango del Motorola G4 al aumentar la distancia de recepción. Esto es un indicador de que el teléfono responde mejor a bajos niveles de emisión.

También se realizó un análisis global de las aplicaciones en función de la distancia y niveles de emisión señalando las diferencias globales de las medias

en contraste con la referencia. En la tabla 28 se muestran los datos recopilados referentes al desempeño de cada aplicación.

Tabla 28.

Valores medios globales por aplicación a distintos niveles de emisión y distancia de recepción.

1 [m]	Nivel de emisión [dB]	Número de muestras promedio	Media	Desviación Estándar
NosieTube	-5	4	74.30	1.701
	-15	4	69.61	6.625
	-25	4	60.77	7.801
Sound Analyzer	-5	4	81.48	4.459
	-15	4	71.86	5.110
	-25	4	64.46	0.271
Armstrong	-5	3	88.93	2.572
	-15	3	82.23	1.966
	-25	3	73.57	3.109
SLA Lite	-5	3	81.52	0.526
	-15	3	71.64	0.674
	-25	3	61.70	0.345
NIOSH SLM	-5	3	78.03	6.038
	-15	3	66.22	6.094
	-25	3	58.38	6.077

2 [m]	Nivel de emisión [dB]	Número de muestras promedio	Media	Desviación Estándar
NosieTube	-5	4	74.06	2.765
	-15	4	66.30	6.265
	-25	4	56.27	6.451
Sound Analyzer	-5	4	78.50	7.616
	-15	4	70.79	3.532
	-25	4	62.96	1.164
Armstrong	-5	3	86.07	1.704
	-15	3	79.13	1.415
	-25	3	69.67	2.309
SLA Lite	-5	3	79.16	0.306
	-15	3	69.28	0.246
	-25	3	59.47	0.340
NIOSH SLM	-5	3	75.41	5.936
	-15	3	65.55	5.937
	-25	3	55.63	5.908

Analizando las diferencias globales de las aplicaciones se pueden notar dos aplicaciones muy estables de manera general. Sound Analyzer y SLA Lite. La primera presenta un rango bastante corto, con excepciones en ciertos dispositivos, pero se mantiene relativamente reducido. También presenta el promedio de diferencias más pequeño de todas las aplicaciones, apuntando a que está entre las más verosímiles y cercanas a la referencia. Esto se debe a las características de auto calibración que ya han sido abordadas previamente.

También es destacable el comportamiento de la aplicación SLA Lite. Ha presentado un rango bastante corto y una media aceptable para ser una aplicación de calibración manual por corrección. Los resultados obtenidos por todos los dispositivos bajo esta aplicación han sido consistentes siempre, bajo todas las modificaciones de variables de emisión y distancia.

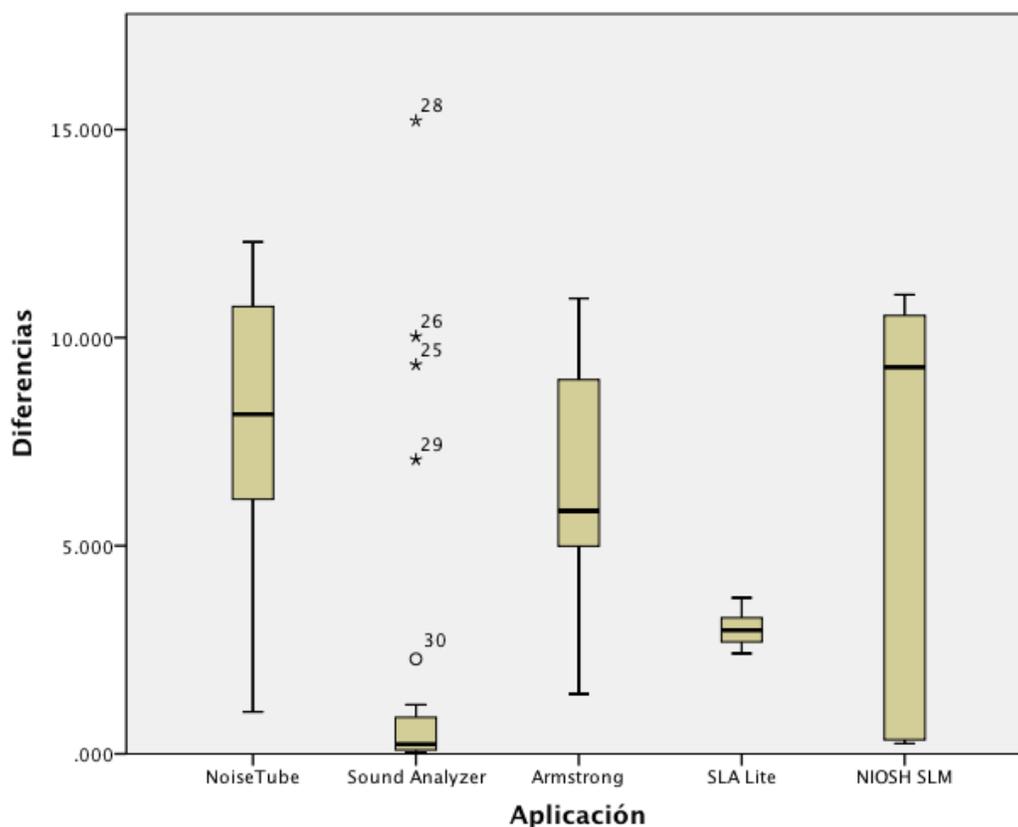


Figura 63. Valores medios globales por aplicación a distintos niveles de emisión y distancia de recepción.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

En general el experimento ha arrojado resultados interesantes referentes a la efectividad de los dispositivos *smartphone* y aplicaciones móviles para medir niveles de presión sonora a manera de sonómetro. En primer lugar es muy importante aclarar que los resultados se pueden interpretar de una manera más clara si se los analiza de manera particular, en especial, si se toma en cuenta el rendimiento de cada aplicación o teléfono por separado debido a que estos responden de manera diferente a cada escenario y combinación de variables de reproducibilidad, como lo es la distancia de recepción o el nivel de emisión.

Al analizar los resultados de incertidumbre basados en el cálculo de la repetibilidad y reproducibilidad se pueden obtener conclusiones generales respecto a la precisión de los métodos con los que se ha medido los niveles de ruido. En cuanto a repetibilidad, los resultados que arrojan los cálculos dependen una vez más, de qué aplicación y que dispositivos se están utilizando, pero en general se han obtenido valores bastante dispersos, debido a la inconsistencia de algunos teléfonos al medir varios niveles de presión sonora. Por ejemplo, el modelo Motorola G4, durante la medición con la aplicación Sound Analyzer presentó resultados muy poco coherentes a altos niveles de emisión, factor que afectó sus cifras de repetibilidad de manera negativa, mientras que los teléfonos de Apple durante las mediciones con la aplicación SLA Lite respondieron todos de manera uniforme y coherente, presentando valores de repetibilidad adecuados.

Si observamos la reproducibilidad del experimento, es notable la poca concordancia entre los procedimientos, algo que se esperaba de cierta manera, ya que los resultados que han arrojado las aplicaciones ha sido muy poco consistente al compararlos entre sí. De igual manera, la poca consistencia de algunos teléfonos en varias aplicaciones ha sido causa de esto también. Por ejemplo, el modelo One Plus 2 ha sido de manera general el teléfono con el

rango de resultados más amplio, haciendo de los valores obtenidos con este teléfono poco fiables si se los quiere tomar como referencia. En general, los resultados de incertidumbre apuntan a que la medición de niveles de ruido con aplicaciones móviles es muy poco recomendable si se quiere obtener resultados precisos, con ciertas excepciones.

Varias aplicaciones presentaron resultados aceptables, un ejemplo de esto es la aplicación Sound Analyzer. Los resultados que se obtuvieron con 3 de los 4 teléfonos que ejecutaron mediciones con esta aplicación obtuvieron cifras considerablemente acertadas y cercanas a la referencia. Esto es debido al proceso de auto calibración que es capaz de realizar la aplicación sin necesidad de un dispositivo certificado para corregir manualmente el desfase de resultados. Otra aplicación que presentó un rendimiento estable fue SLA Lite. Pese a que los resultados se alejan de la referencia (no por más de 5 dBA), siempre se mantuvieron estables en los 3 teléfonos que se utilizaron bajo esta aplicación, con mismas diferencias en todas las combinaciones de variables de emisión posibles. Por último es destacable el rendimiento del dispositivo iPhone 7 al utilizar la aplicación NIOSH SLM, el cual obtuvo resultados casi idénticos a la referencia, sin ser sometido a ningún tipo de calibración. La diferencia de este dispositivo con los demás modelos de Apple es muy amplia en esta aplicación, algo que solo se puede explicar con algún tipo de optimización exclusiva del software NIOSH SLM para iPhone 7, que no tienen los demás modelos.

Para concluir, se puede afirmar que de manera general, el teléfono más consistente de todos ha sido el iPhone 5S, ya que ha presentado el menor rango en las diferencias que ha tenido con la referencia. Las mejores aplicaciones han sido Sound Analyzer y SLA Lite, tomando en cuenta a SLA Lite como la más fiable para ser utilizada como referencia, ya que si es corregida manualmente por 1 dBA o 2 dBA, sirve como referencia para cualquier condición, y según los resultados, para cualquier teléfono. Finalmente es acertado decir que en general los teléfonos móviles no son una buena

referencia para medir niveles de presión sonora, pero existen varias excepciones y condiciones bajo las cuales si podrían llegar a serlo. Es importante mencionar que los experimentos podrían ser expandidos al realizar ensayos bajo condiciones de campo más realistas, como al medir ruido ambiental, ya que algunas de estas aplicaciones se diseñaron para generar mapas de ruido participativos en línea, los cuales toman en cuenta no solo las mediciones de un teléfono, sino de varios usuarios con distintos modelos.

5.2 Recomendaciones

Se puede aportar el hecho de que los ensayos llevados a cabo durante este experimento se realizaron bajo condiciones de laboratorio controladas, por lo que los resultados están muy vinculados a las condiciones en las cuales se midió, más específicamente, dependen en gran parte del recinto en el que se realizaron los experimentos y el tipo de fuente de ruido que se ha medido. Por esta razón es recomendable realizar experimentos similares en condiciones distintas, por ejemplo, en condiciones realistas de campo para medir fuentes de ruido más tangibles como generadores de ruido ambiental.

De esta manera sería más acertado el afirmar la funcionalidad de estas aplicaciones al estar llevando el concepto principal de las mismas a la práctica, el cual consiste en el principio de poder medir cualquier tipo de fuente de manera sencilla, portable y rápida sin la necesidad de dispositivos certificados o condiciones especiales. También es importante mencionar que el estudio podría ser expandido con la utilización de aplicaciones no gratuitas, ya que generalmente presentan un algoritmo de programación mucho más completo y específico, así como también sería recomendable la utilización de más modelos de dispositivos móviles, de más marcas, años y sistemas operativos.

Adicionalmente se podría complementar este estudio de aplicaciones móviles con un análisis de directividad en función de los teléfonos, ya que hoy en día la capacidad de generar patrones polares para la captación de sonido en telefonía

se ha estado expandiendo en función de las necesidades actuales de utilizar el dispositivo como un medio de producción audiovisual más sofisticado. Este tipo de estudio tendría mucha influencia a la hora de analizar los niveles de presión sonora captados por *smartphones*, ya que al generar cierta polaridad en el campo de captación sonora de un teléfono, se puede optimizar de cierta manera su desempeño a la hora de ser más selectivos con la fuente específica de ruido.

También cabe mencionar que un análisis de la respuesta espectral que ofrecen aplicaciones existentes en el mercado podría complementar de gran manera el estudio de la captación de niveles ponderados, ya que por medio de sistemas de análisis de frecuencias en tiempo real se puede obtener una idea más concreta de la composición espectral de cada una de las fuentes de ruido. Actualmente existe en el mercado una gran cantidad de aplicaciones RTA (real time analyzer) las cuales cumplen funciones de análisis de espectro de frecuencias, las cuales podrían ser puestas a prueba para obtener resultados con una naturaleza similar a los obtenidos durante la realización la investigación llevada a cabo.

REFERENCIAS

- Armstrong World Industries Inc. (2017). *iTunes Preview*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: <https://itunes.apple.com/us/app/armstrong-sound-level-meter/id953513885?mt=8>
- Bell, S. (1999). *The beginner's guide to uncertainty of measurement*. Teddington, Middlesex, Reino Unido: National Physical Laboratory.
- International Organization for Standardization. (1995). *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. Geneva, Switzerland.
- Brown, M. (2008). *Measuring Acoustic Decibel Levels in Worship Services*. *Reach Communications*, 1-8.
- Brown, R., y Evans, L. (2011). *Acoustics and the smartphone*. *Acoustics 2011*, (106), 106–111.
- Casas, J.F. (2014). *Design of a sound pressure level acquisition and analysis system*, TECCIENCIA, Vol. 9 No. 17, 61-66, DOI: <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2014.17.8>
- Chaffey, D. (2013). *Mobile Marketing Statistics compilation*. Retrived December 2016, Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: Smart Insights: <http://www.smartinsights.com/mobile-marketing/mobile-marketing-analytics/mobile-marketing-statistics/>
- D'Hondt, E. (2012). *Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring*. *Pervasive and Mobile Computing* .

Fletcher, H. and Munson, W.A. (1933). "*Loudness, its definition, measurement and calculation*", *Journal of the Acoustic Society of America* 5, 82-108.

Gresovnik, I. (2002). *Development of sound level meter signal processing algorithms*. <https://doi.org/10.1007/s11036-009-0217-y>

INERCO Acústica. (2012). *INERCO Acústica*. Recuperado 13 de Junio de 2017 de: ¿Qué es el nivel continuo equivalente Leq?: <http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/236-%C2%BFqu%C3%A9-es-el-nivel-continuo-equivalente-leq?>

Kanjo, E. (2010). *NoiseSPY: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping*. *Mobile Networks and Applications*, 15(4), 562–574. <https://doi.org/10.1007/s11036-009-0217-y>

Kardous, C. A., y Shaw, P. B. (2014). *Evaluation of smartphone sound measurement applications*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 135(4), EL186-92. <https://doi.org/10.1121/1.4865269>

Kardous, C. A., y Shaw, P. B. (2016). *Evaluation of smartphone sound measurement applications (apps) using external microphones-A follow-up study*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(4), EL327. <https://doi.org/10.1121/1.4964639>

Lamancusa, J. (2000). *Noise Metrics and Regulations*. *NOISE CONTROL* , 21. EL186-92. <https://doi.org/10.1121/1.4865269>

Lechner, T. (2012). *Measurements of Acoustics Properties*. R&A. 9. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7-16>

Llamosa, L. (2007). Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica ntc-iso/iec 17025. *Scientia et Technica* , 455.

Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., y Steels, L. (2009). *NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. Environmental Science and Engineering (Subseries: Environmental Science)*, 215–228. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7-16>

Malchaire, J. (s/f). *Sound Measurement Instruments. Unité Hygiène et Physiologie du Travail* , 16. *International Journal of Engineering Research & Science*.

Méndez, S. J., Vilchez, R., y Rubio, A. (2016). *Validation for smartphone applications for measuring noise. International Journal of Engineering Research & Science*.

Murphy, E., y King, E. A. (2014). *Environmental Noise Pollution Noise Mapping, Public Health, and Pollution* 1–7. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411595-8.00001-X>

Murphy, E., y King, E. A. (2016). *Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. Applied Acoustics*, 106, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.012>

Nature America (2010). *The Scientist and the Smartphone*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: Nature America: <http://www.nature.com/nmeth/journal/v7/n2/pdf/nmeth0210-87.pdf>

NIOSH. (2015). *NIOSH Sound Level Meter Application for iOS devices*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: <http://www.niosh.com.my/>

NoiseTube. (2017). *NoiseTube Sound Level Meter Application for mobile devices*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: NoiseTube.net: <http://www.noisetube.net/index.html#&panel1-1>

Robinson, D., y Tingay, J. (2014). *Comparative study of the performance of smartphone-based sound level meter apps, with and without the application of a ½" IEC-61094-4 working standard microphone, to IEC-61672 standard metering equipment in the detection of various problematic workplace noise environments*. *inter.noise*, Cirrus Research PLC, p. 10. Melbourne, Australia.

Rodrigues, D. (2017). *Sound Analyzer App*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: Google Playstore/ Sound Analyzer

Scantekin, Inc. (s.f.). *Scantekin Sound and Vibration Instrumentation*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: <http://scantekinc.com/products/sound-level-meters>

Soluciones Audiométricas. (s.f.). *Soluciones Audiométricas*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: Sonómetro Integrador Brüel & Kjær 2250L: https://soluciones-audiometricas.com/equipos/sonometros/sonometro_2250light/

ST Inc. (2017). *ST.com*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: *Tutorial for MEMS microphones:*

http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/46/0b/3e/74/cf/fb/4b/13/DM00103199.pdf/files/DM00103199.pdf/jcr:content/translations/en.DM00103199.pdf

toon, llc. (2017). *toon-llc.com*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: Sound Level Analyzer: http://www.toon-llc.com/support/sla_en.html

Zamora, A. (2017). *Accurate Ambient Noise Assessment Using Smartphones*. Recuperado el 17 de Junio del 2017 de: <http://www.mdpi.com/journal/sensors>

ANEXOS

ANEXO 1

Características de hardware y software de los teléfonos utilizados en los ensayos:

iPhone 5s:

En el año 2013, la compañía desarrolladora de tecnología Apple anunció el lanzamiento de su modelo iPhone 5s al mercado. Ese año el iPhone 5s fue optimizado en comparación a sus predecesores, con el rediseño de un sistema de reconocimiento dactilar, y con una cámara y procesador interno mejorados. Se puede describir el dispositivo utilizado durante la medición con las siguientes características de hardware y software:

- Dimensiones: 123.8 x 58.6 x 7.6 mm
- Peso: 112 g
- Display: 640 x 1136 píxeles, touchscreen capacitiva
- Plataforma: iOS 10.3.2
- Procesador: Dual-core 1.3 GHz Cyclone
- Memoria: 16GB, 1GB RAM DDR3
- Audio: 16 bit / 44.1 kHz, micrófono con sistema de cancelación de ruido

iPhone 6s:

En el año 2015, la compañía desarrolladora de tecnología Apple anunció el lanzamiento de su modelo iPhone 6s al mercado. Se puede describir el dispositivo utilizado durante la medición con las siguientes características de hardware y software:

- Dimensiones: 138.3 x 67.1 x 7.1 mm
- Peso: 143 g

- Display: 750 x 1334 píxeles, touchscreen capacitiva
- Plataforma: iOS 10.3.2
- Procesador: Dual-core 1.84 GHz Twister
- Memoria: 16/32/64/128GB, 2GB RAM
- Audio: 16 bit / 44.1 kHz, micrófono con sistema de cancelación de ruido

iPhone 7:

En el año 2016, la compañía desarrolladora de tecnología Apple anunció el lanzamiento de su modelo iPhone 7 al mercado. Este dispositivo es de las mismas dimensiones que los modelos iPhone 6s, pero ha sido mejorado internamente además de tener nuevas características de funcionalidad como la resistencia al agua. Se puede describir el dispositivo utilizado durante la medición con las siguientes características de hardware y software:

- Dimensiones: 138.3 x 67.1 x 7.1 mm
- Peso: 138 g
- Display: 750 x 1334 píxeles, touchscreen capacitiva
- Plataforma: iOS 10.3.2
- Procesador: Quad-core 2.34 (2x Hurricane + 2x Zephyr)
- Memoria: 32/128/256 GB, 2GB RAM
- Audio: 16 bit / 44.1 kHz, micrófono con sistema de cancelación de ruido

Samsung Galaxy S5:

El Samsung Galaxy S5 es un dispositivo *smartphone* de plataforma Android, producido por la desarrolladora de tecnología Samsung Electronics. Fue lanzado al mercado en febrero del año 2014 en 150 países siendo el inmediato sucesor del modelo Galaxy S4. Se puede describir el dispositivo utilizado durante la medición con las siguientes características de hardware y software:

- Dimensiones: 142 x 72.5 x 8.1 mm
- Peso: 145 g
- Display: 1080 x 1920 píxeles, touchscreen capacitiva
- Plataforma: Android 4.4.2 actualizable a 6.0
- Procesador: Quad-core 2.5 GHz Krait 400
- Memoria: Expandible hasta 256GB, 2GB RAM
- Audio: 24 bit / 192 kHz, micrófono con sistema de cancelación de ruido

Samsung Galaxy J5 Prime:

El Samsung Galaxy J5 Prime es un dispositivo *smartphone* de plataforma Android, producido por la desarrolladora de tecnología Samsung Electronics. Fue lanzado al mercado en abril del 2016. Se puede describir el dispositivo utilizado durante la medición con las siguientes características de hardware y software:

- Dimensiones: 142.8 x 69.5 x 8.1 mm
- Peso: 145 g
- Display: 720 x 1280 píxeles, touchscreen capacitiva
- Plataforma: Android 6.0.1 Marshmallow
- Procesador: Quad-core 1.4 GHz Cortex-A53
- Memoria: Expandible hasta 256GB, 2GB RAM
- Audio: 24 bit / 192 kHz, micrófono con sistema de cancelación de ruido

One Plus 2:

El dispositivo *smartphone* One Plus 2 es un modelo teléfono diseñado por la desarrolladora de tecnología OnePlus. Es el sucesor inmediato del modelo One Plus One, y fue lanzado al mercado en julio del 2015. El sistema operativo

predeterminado de fábrica es Android 5.1.1 Lollipop con OnePlus OxygenOS 2.0 adicional. Se puede describir el dispositivo utilizado durante la medición con las siguientes características de hardware y software:

- Dimensiones: 151.8 x 74.9 x 9.9 mm
- Peso: 175 g
- Display: 1080 x 1920, touchscreen capacitiva
- Plataforma: Android 5.1 Lollipop actualizable a Android 6.0.1 Marshmallow
- Procesador: Octa-core (4x1.56 GHz Cortex-A53 & 4x1.82 GHz Cortex-A57)
- Memoria: Expandible hasta 256GB, 2GB RAM
- Audio: Micrófono con sistema de cancelación de ruido

ANEXO 2

Características del equipo de medición y emisión profesional CESVA:

Sonómetro CESVA SC310:

El sonómetro CESVA SC310 es un sonómetro de clase 1 acreditado bajo una serie de normativas internacionales (figura #). El SC310 es un sonómetro integrador promediador de tipo 1, el cual puede ser utilizado para funciones de sonómetro y analizador de espectro en tiempo real con ponderación frecuencial y temporal.

Es capaz de medir todas las funciones de manera simultánea con las ponderaciones frecuenciales necesarias, además de llevar a cabo tareas de medición de niveles continuos equivalentes, niveles percentiles, índices de impulsividad, niveles pico, niveles de exposición sonora, análisis espectral por tercios de octava, análisis FFT o medición de tiempo de reverberación.



CESVA SC310

Fuente Omnidireccional CESVA FP122:

El dispositivo CESVA FP122 es una fuente sonora omnidireccional que consta de un altavoz omnidireccional para mediciones acústicas modelo BP012 y de un amplificador generador de señales modelo AP602. Este generador posee un ecualizador gráfico por bandas de tercio de octava incorporado capaz de generar 123 dB PWL dentro de un rango frecuencial de 50 Hz a 5000 Hz durante más de una hora.



CESVA FP122

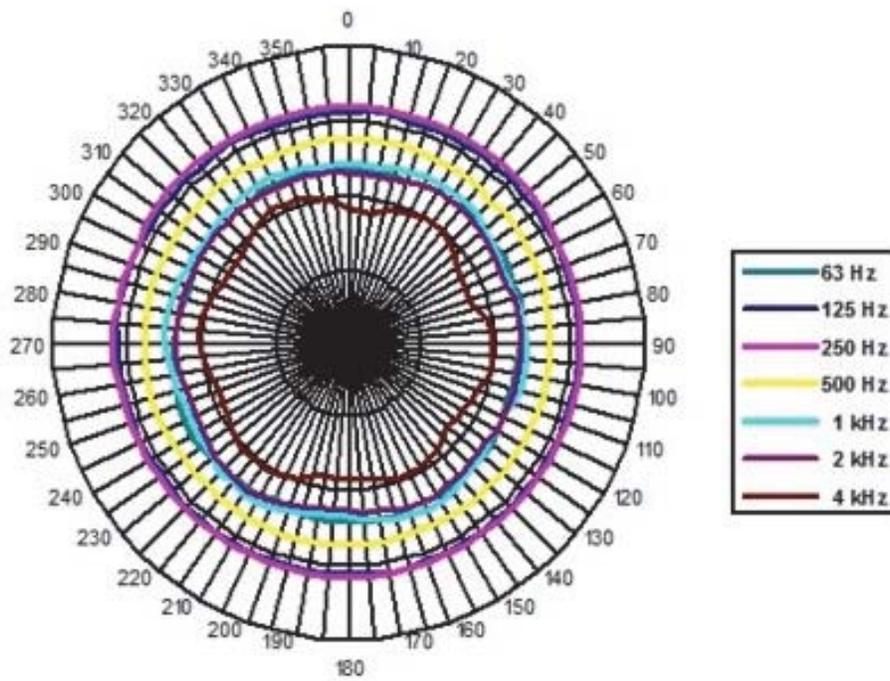
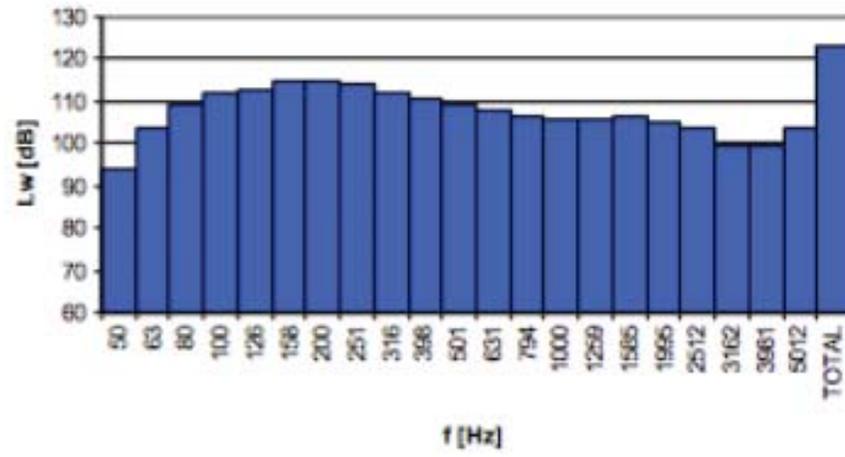


Gráfico de directividad CESVA FP122



Nivel de potencia de la fuente por cada banda de tercio de octava

