



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN

ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS

**MÉTODOS DE CALIBRACIÓN PARA APLICACIONES DE MEDICIÓN DE RUIDO
PARA SMARTPHONES: REVISIÓN LITERARIA Y COMPARACIÓN
CUALITATIVA**

**MONOGRAFÍA PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO DE SISTEMAS**

AUTOR:

David Gerardo Campoverde Inga

DIRECTORA:

Daniela Ballari (PhD)

Cuenca - Ecuador

2014

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Clara, mi madre, quien desde pequeño me inculco el deseo de superación y a jamás dar mi brazo a torcer aún en las peores adversidades. Sin duda fue fuente de inspiración para la consecución de este trabajo.

Lo dedico también a mi padre Gerardo quien con su trabajo incansable y tesonero ha sabido siempre esforzarse para brindarme la mejor educación aún a costa de sus propios intereses e inclusive muchas veces de su salud.

No puedo dejar de dedicar este trabajo a mi abuela Inesita quien ha sido como mi segunda madre y en su momento la única que me brindo sabios consejos para no decaer y continuar adelante.

Por último pero no menos importante se lo dedico a mi sobrina Romina a quien quiero como si se tratara de mi hija.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Gerardo y Clara por su constancia y esmero en brindarme siempre lo mejor y procurar que nada me faltase nunca, sobre todo valores los cuales son inapreciables. A mi madre por enseñarme a ambicionar siempre pero de una manera altruista sin jamás pisotear a nadie en el camino y a mi padre por enseñarme valores como el respeto, el orden y la disciplina.

Agradezco a amigos y amigas incondicionales quienes siempre me brindaron su aliento y estuvieron pendientes del avance del trabajo aquí presentado, me refiero a Gisella, Elizabeth, Andrea, Christian y Juan.

A mi hermana Belén y a mis hermanos Andrés y Juan quienes fueron siempre incondicionales y propiciaron además un buen ambiente de trabajo dentro del entorno de mi hogar.

Es imposible dejar de agradecer a Daniela, directora de esta monografía quien fue una fuente insustituible de material de consulta de calidad inigualable; algunos de estos materiales a los cuales tuve acceso gracias a ella forman parte vital de este trabajo.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE DE CONTENIDOS.....	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1.	Introducción 8
2. Mediciones ambientales con smartphones.	11
2.1 Evolución de plataformas de monitoreo ambiental	11
2.2 Escalas de monitoreo ambiental.....	12
2.3 Precisión de instrumentos acústicos estandarizados	13
3. Metodología.	14
4. Resultados.	17
4.1.1 On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments.....	17
4.1.2 Noise Tube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones	19
4.1.3 Acoustics and the smartphone	20
4.1.4 Community memories for sustainable societies. The case of environmental noise.	22
4.1.5 Ear-Phone: A Context-Aware Noise Mapping using Smart Phones	24
4.1.6 30 iPad Sound Measurement Apps Reviewed	26
4.1.7 Supplementary Material: Awareness and learning in participatory noise sensing.	27
4.1.8 Evaluation of smartphone sound measurement applications.....	29
4.1.9 Noise map professional versus crowdsourced data	31
4.2 Tabla 6. Comparativa de estudios de medición de niveles de ruido con smartphones y sonómetros profesionales	33
4.3 Métodos de calibración de aplicaciones móviles para medición de ruido sin utilización de sonómetros.	37

4.3.1 NoizCrowd: A Crowd-Based DataGathering and Management System for Noise Level Data.....	37
4.3.2 DDNM: Monitoring Environment Noise using Smart Phones.....	40
4.3.3 Creating Noise Pollution Maps Based on User-generated Noise Data	42
4.3.4 Methods for sensing urban noise	44
4.3.5 A comparative study on VGI and professional noise data	44
4.4 Tabla 8. Comparativa de estudios de medición de niveles de ruido con smartphones sin la utilizaron de sonómetros profesionales.	48
5. Conclusiones.....	51
6. Recomendaciones.	52
6.1 Recomendaciones para métodos que utilizan sonómetros.	52
6.1.1. Recomendación según Nivel de conocimientos.	52
6.1.2. Recomendaciones según Nivel de Recursos (Hardware y Software).	52
6.1.3. Recomendaciones según Nivel de recursos Humanos.	53
6.2 Recomendaciones para métodos que no utilizan sonómetros.	53
6.2.1 Recomendación según Nivel de conocimientos.	53
6.2.2 Recomendación según Nivel de Recursos (Hardware y Software).	53
6.2.3 Recomendación según Nivel de Recursos Humanos.	53
6.3 Recomendaciones para obtener mediciones de calidad	54
6.3.1 Entrenamiento.	54
6.3.2 Elegir smartphones con características de sus micrófonos detallados.	54
6.3.3 Elegir smartphones con hardware similares.....	54
6.3.4 Características medioambientales.....	55
6.3.5 Rango de decibeles y Frecuencias Bajas.	55
6.3.6 Precisión de los datos.	55
6.3.7 Características del entorno.	56
6.3.8 Modelos de teléfonos actuales.....	56
REFERENCIAS.....	57

RESUMEN

Algunos trabajos en los últimos años sobre monitoreos de ruido han sido llevados a cabo con smartphones y equipo profesional acústico como sonómetros o dosímetros. También han existido otros estudios donde no intervienen sonómetros pero si otros instrumentos como por ejemplo un generador de ondas para evaluar el rendimiento de una aplicación de medición de ruido a diferentes frecuencias. La mayoría de estudios se han enfocado en comparar las mediciones tomadas por una aplicación móvil para medición de ruido con las obtenidas por un sonómetro profesional. En este trabajo se revisan varios métodos de calibración que fueron llevados a cabo para obtener una mejor calidad con las aplicaciones disponibles.

ABSTRACT

In recent years, studies of noise monitoring made have been conducted using smartphones, also professional sound equipment including sound level meters or dosimeters. There have also been other studies where a waveform generator for evaluating the noise measurement application performance at different frequencies was used instead of sound level meters.

Most studies have focused on comparing measurements taken by a mobile application for noise measurement with those obtained by a professional sound level meter. Also reviewed in this work are several calibration methods carried out to obtain better quality with the available applications.


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo



Métodos de Calibración para Aplicaciones de Medición de Ruido para Smartphones:

Revisión literaria y Comparación Cualitativa

1. Introducción.

La importancia de la participación ciudadana en la toma de decisiones en materia ambiental se hizo presente a partir de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992). Sin embargo, la provisión y la producción de la información ambiental, en particular sobre cuestiones tales como la contaminación acústica y la calidad del aire, sigue estando principalmente en manos de las autoridades públicas que recogen los datos y luego los liberan para conocimiento de la ciudadanía. Se hace necesario impulsar nuevos espacios para desarrollar mecanismos asequibles que ayuden a los ciudadanos a generar su propia información ambiental. Estos procesos podrían generar una mayor conciencia sobre el aprendizaje acerca de los problemas ambientales actuales. Además, podrían servir para fomentar una mayor participación ciudadana en la toma de decisiones en materia ambiental, y en última instancia, estimularlos a tomar medidas para mejorar su propio entorno basado en las nuevas técnicas de observación participativa.

Para lograr esto la mayoría de ciudadanos poseen dispositivos móviles que son potenciales sensores ambientales con aplicaciones para medir la calidad del aire o evaluar los niveles de contaminación acústica por citar dos de los ejemplos más representativos en el ámbito ambiental.

Sin embargo, los ciudadanos en la mayoría de casos tienen conocimientos limitados sobre la existencia de estas aplicaciones, sus procesos de instalación, y su forma de uso adecuada. Además un requisito indispensable para utilizar de forma apropiada estas aplicaciones y obtener mediciones de calidad, es realizar procedimientos de calibración de los sensores. Algunas aplicaciones de medición de ruido disponen de opciones de calibración pero solo para ciertos modelos de teléfono móvil, un ejemplo de esto es la aplicación NoiseTube. Sin embargo, no todas las aplicaciones móviles para medición de ruido poseen esta característica por lo que se hace necesario implementar métodos o técnicas de calibración para lograr una mejor fiabilidad de los datos obtenidos. Por ello se considera necesario

dar a conocer al ciudadano común métodos de calibración de los sensores que resulten fáciles de comprender e implementar.

Un trabajo reciente sobre metodologías de detección de ruido es el de Liu, donde hace una diferenciación entre métodos que utilizan sonómetros profesionales y aquellos que utilizan smartphones (2014). En la primera categoría Liu recalca el sencillo método de colocar dispositivos profesionales de forma permanente en diferentes lugares basándose en cierta densidad, por ejemplo un dispositivo por cada 0.25 km², una vez obtenidos los datos, los mismos son enviados para su procesamiento de forma alámbrica o inalámbrica. Este método si bien es considerado bastante preciso representa a la vez un costo de desarrollo elevado, en primer lugar por los sonómetros profesionales utilizados y en segundo lugar debido a la implementación de la red para la transmisión de los datos obtenidos. Además están involucrados otros gastos como protecciones contra el viento y la lluvia para los dispositivos. Si bien este método es efectivo no es escalable para miles de usuarios. La cobertura de este método es bastante discutible pues no todos los usuarios tienen acceso a medios de monitoreo de sonido profesionales. En los métodos que se basan en la utilización de smartphones en lugar de sonómetros la calidad de los datos es menor, sin embargo la cobertura y el tiempo de monitoreo aumentan.

Existen comparativas sobre aplicaciones móviles de medición de ruido como la realizada por Kardous y Shaw en este 2014 o también la realizada por la Canadian Academy of Audiology en una de sus publicaciones oficiales (Keene, et al., 2013). Sin embargo en las mismas no se revisan con detalle los parámetros necesarios para una correcta calibración de las aplicaciones.

Este trabajo contribuye con una revisión de métodos de calibración utilizados en los últimos años en estudios sobre niveles de ruido que utilizaron smartphones y equipos profesionales de medición acústica como sonómetro o dosímetros. Además se identificaron aquellos que no requirieron este tipo de equipos lo que implicó un costo menor en su desarrollo. Se compararon cualitativamente, en base a literatura, los distintos métodos que pueden ser utilizados para calibrar aplicaciones móviles de medición de ruido y se identificaron cuales serían los más factibles para ser llevados a cabo por ciudadanos que no necesitan poseer conocimientos avanzados sobre métricas acústicas.

Además de categorizar el nivel de conocimientos necesario para la realización de los estudios revisados se estimó el nivel de recursos económicos y el de recursos humanos, es decir la cantidad de personas que fueron necesarias fueran estas voluntarias o incentivadas de alguna forma. Así este trabajo contribuye con proveer información que permita a interesados seleccionar cuál es el método más apropiado para su entorno.

El resto del artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se describe brevemente el nivel de desarrollo de aplicaciones ambientales con smartphones y también se realiza una breve introducción referente a métodos de calibración disponibles para aplicaciones para medición de ruido para smartphones. Se resumen los estándares que se utilizaron para llevar a cabo estos métodos de calibración. A continuación en la sección 3 se presenta la metodología utilizada. En la sección 4 se realiza la revisión de varios estudios sobre análisis de nivel de ruido que utilizan sonómetros profesionales y smartphones para su desarrollo. Luego se presentan los resultados obtenidos a través de una tabla comparativa. A continuación se revisan estudios que utilizan smartphones pero no requirieron sonómetros para ser desarrollados. De la misma manera se presenta una tabla comparativa de los resultados obtenidos. Luego en la sección 5 encontraremos las conclusiones y desafíos para futuras investigaciones para finalizar con la sección 6 donde se realizan algunas recomendaciones sobre cuál es el método o los métodos más viables de realizar tanto a nivel de conocimientos necesarios, nivel de recursos (hardware y software) y nivel de recursos humanos (cantidad de personal necesario). Se dan también algunas recomendaciones para ayudar a obtener una mejor calidad en la obtención de datos al utilizar smartphones para analizar niveles de ruido, sobre todo para aquellos usuarios sin conocimientos avanzados sobre mediciones acústicas.

2. Mediciones ambientales con smartphones.

2.1 Evolución de plataformas de monitoreo ambiental

Los teléfonos de hoy en día no sirven solo para comunicarnos mediante redes sociales, en realidad vienen embebidos con múltiples sensores como un acelerómetro, brújula digital, giroscopio, GPS, micrófono, y por supuesto la cámara. Comunitariamente estos sensores están permitiendo la aparición de infinidad de aplicaciones en salud, redes sociales, seguridad, medio ambiente, incluyendo aplicaciones para medición de ruido ambiental.

Podemos introducir inteligencia humana en nuestros teléfonos en forma de modelos de clasificación que pueden inferir comportamiento humano y su contexto. Además se pueden utilizar las grandes cantidades de datos generadas por los usuarios para construir sistemas de clasificación cada vez más precisos y robustos. Estamos en una etapa de transición de teléfonos *smart* a teléfonos cognitivos (Campbell y Choudhury, 2012).

En la Figura 1 podemos observar el avance a través de los años de los sensores medioambientales. Podemos ver que desde principios de los noventa hasta finales de los mismos lo que se hizo fue implementar al entorno por ejemplo con nodos sensores inalámbricos en edificios o también con implementaciones de visión artificial que han ayudado sobre todo en temas concernientes a la seguridad.

Luego de esto poco antes del año 2000 empieza a cambiar la ubicación de los sensores y más bien se busca instrumentar a las personas con sensores portables como acelerómetros que pueden medir su nivel de actividad física. Aparecen luego aproximadamente a mediados de la década de los años 2000 los MSP (Mobile Service Platform) que pueden ser transportados fácilmente por los usuarios.

Desde finales de los años 2000 lo que se pretende es instrumentar a los teléfonos móviles con sensores como acelerómetros o en la actualidad hasta un barómetro por nombrar solo dos de los múltiples sensores que poseen actualmente los smartphones

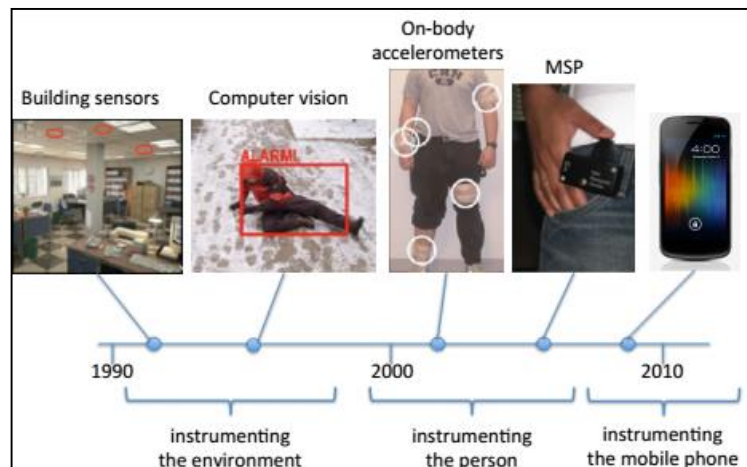


Figura 1: Historia de Plataformas para Monitoreo. (Efstratiou, 2012).

2.2 Escalas de monitoreo ambiental

Existen varias escalas de monitoreo y a su vez de aplicaciones móviles, esto depende del contexto en el que se realicen las mediciones y además de la capacidad de las mismas para transmitir los datos obtenidos con otros usuarios y obtener algún tipo de beneficio individual o colectivo a partir de los mismos (Efstratiou, 2012). Así tenemos:

Individual: Una persona de forma individual monitorea diferentes parámetros relacionados con su salud, nutrición o comportamiento por ejemplo al conducir.

Grupal: Un grupo de personas se une para lograr un objetivo común por ejemplo para intervenir en la seguridad del barrio o mejorar las actividades de reciclaje que se realizan en el mismo.

Comunitaria: Se trata de monitoreos a gran escala donde un gran número de personas tiene instalada la misma aplicación en sus smartphones por ejemplo aplicaciones para monitoreo de tráfico, ruido en el ambiente, calidad del aire.

También se distinguen otros tipos de clasificaciones en cuanto a tipos de monitoreo. Por ejemplo si el participante contribuye activamente a la obtención de los datos se lo conoce como monitoreo participativo pero sí en

cambio contribuye pasivamente se lo conoce como monitoreo oportunista (Campbell, Eisenman, Lane, Miluzzo, Peterson, 2006).

Cuando cada sensor involucra un ciudadano diferente (monitoreos grupales y colectivos), el control sobre los diferentes nodos de la red de sensores, así como la calidad de sus observaciones, se vuelve complicado. Como resultado, los datos de entrada pueden volverse corruptos, lo que requeriría medidas adicionales para lograr una buena calidad (Estrin, 2010). Una de estas medidas adicionales para asegurar la calidad de los datos es la calibración de los dispositivos móviles para que las aplicaciones existentes para monitoreo de ruido funcionen de mejor manera y sus mediciones se acerquen más a las obtenidas por un sonómetro profesional.

2.3 Precisión de instrumentos acústicos estandarizados

El rendimiento de la instrumentación profesional acústica está garantizado mediante el cumplimiento de ciertos estándares y su calificación dentro de un tipo de clasificación denominado Clase o Tipo. El tipo de clasificación resume el rendimiento global del instrumento. La Clase/Tipo 1 es más precisa que la Clase/Tipo 2. La Tabla 1 resume los estándares para mediciones de ruido de la IEC (International Electrotechnical Commission) y de la ANSI (American National Standards Institute).

Tabla 1. Resumen de estándares IEC y ANSI para mediciones de ruido.

Dosímetro	ANSI 1.25 1991: Specifications for Personal Noise Dosimeters, ANSI (2007a).
	IEC 61252: 1993, Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters, IEC (1993).
Sonómetro	ANSI S1.4: 1983-Specifications for sound level meter. (ANSI (1983)), Error permissible: ± 1.5 dB (Tipo1), ± 2.3 dB (Tipo 2).
	ANSI S1.43: 1997-Specifications for Integrating-Averaging Sound Level Meters, ANSI (2007b).
	IEC 61672- Electroacoustics, Sound level meters, Part 1: Specifications, IEC (2002), part 2: Pattern evaluation tests, IEC(2003), part 3 : Periodic tests.

3. Metodología.

En primer lugar se realizó una revisión literaria de estudios realizados a nivel internacional en los últimos cinco años sobre monitoreos de niveles de ruido con smartphones. Se seleccionaron 14 estudios que contemplaron diferentes mecanismos de calibración en las aplicaciones de medición de ruido utilizadas. De estos 14 estudios 9 utilizaron un sonómetro profesional y los 5 restantes no requirieron del mismo.

Se realizaron dos tablas comparativas. Una por cada tipo, la primera con un resumen de los estudios que utilizaron smartphones y sonómetros para su desarrollo y la segunda con aquellos que no necesitaron de sonómetros. Los parámetros que se incluyen en la tabla son los siguientes:

1. **Nº:** Para facilitar las recomendaciones finales se le ha asignado un número a cada estudio revisado. Los mismos han sido ordenados de manera cronológica desde el más antiguo hasta el más reciente.
2. **Nombre:** Nombre del artículo, revisión, pagina web o tesis revisada.
3. **Smartphones:** Modelos de smartphones utilizados durante el estudio. Cabe aquí recalcar que seguramente habrá modelos discontinuados que han sido dejados de producir por el fabricante sin embargo podrían ser importantes para elegir teléfonos con características similares.
4. **Aplicaciones:** Nombre de las aplicaciones móviles de medición de ruido utilizadas. En algunos casos se utilizaron aplicaciones comerciales y en otros aplicaciones creadas específicamente para el estudio.
5. **Entorno de estudio:** Aquí describimos el espacio físico donde se realizaron los estudios. En algunos casos fueron laboratorios profesionales acústicos (cámaras anecoicas o reverberantes) donde fueron reproducidos sonidos pregrabados de escenarios reales. En otros casos fueron escenarios reales en interiores como en un campus universitario y también en exteriores como por ejemplo en una intersección entre dos avenidas muy transitadas.

6. **Sonómetro:** Se especifica el sonómetro profesional utilizado para verificar la precisión de las mediciones obtenidas por las aplicaciones móviles. Este parámetro por supuesto no se incluye en métodos del segundo tipo.
7. **Rango dB(A):** Se refiere al rango entre el valor mínimo y el valor máximo en dB(A) obtenido en las mediciones realizadas en el estudio revisado. Cabe señalar que este rango se refiere a las mediciones en general tanto las realizadas por equipo profesional y las realizadas con los smartphones.
8. **Otros elementos:** Aquí detallamos otros elementos de hardware y software que fueron necesarios aparte de los smartphones y del sonómetro profesional
9. **Precisión dB(A):** Aquí se destaca la precisión final obtenida por las aplicaciones móviles en los estudios revisados, es decir la diferencia promedio en dB(A) que existió entre las mediciones obtenidas por las aplicaciones móviles y el equipo acústico profesional utilizado.

Todos los parámetros descritos anteriormente son propios de cada estudio. Aparte de los mismos fueron agregados tres parámetros los cuales se describen a continuación:

10. **Nivel de conocimientos:** Aquí se categorizó el nivel de conocimientos necesario para la realización de cada estudio Tenemos:
 - **Bajo:** No fue necesario un entrenamiento para los usuarios en el uso de las aplicaciones. La instalación de las aplicaciones utilizadas así como su calibración siguieron un procedimiento sencillo. No hicieron falta conocimientos avanzados sobre mediciones acústicas.
 - **Medio:** Fue necesario un entrenamiento previo. La instalación de las aplicaciones fue sencilla. Además de conocimientos sobre el uso y calibración de la aplicación fueron necesarios conocimientos sobre métricas acústicas.

- **Alto:** Fue necesario entrenamiento previo y en algunos casos personal especializado perteneciente a laboratorios acústicos. Se deben poseer conocimientos fuertes sobre métricas acústicas.

11. Nivel de recursos económicos: Aquí se definieron igualmente 3 categorías:

- **Bajo:** Las aplicaciones utilizadas no tuvieron costo. Los smartphones utilizados tuvieron costos accesibles y también los equipos profesionales acústicos utilizados.
- **Medio:** Algunas de las aplicaciones tuvieron costos accesibles, estamos hablando de entre uno a 5 dólares aproximadamente. Los equipos de medición profesionales también tuvieron un costo accesible. Los smartphones utilizados no poseen precios tan accesibles como en el caso del nivel bajo.
- **Alto:** El costo de los equipos profesionales fue elevado al igual que el software que utilizan los mismos. Se utilizaron smartphones de última generación lo que implicó un costo elevado de los mismos. Los cuartos anecoicos o de reverberación utilizados para las pruebas pueden llegar a valer miles de dólares.

12. Nivel de Recursos Humanos: De la misma forma que los dos parámetros vistos anteriormente definimos 3 categorías:

- **Bajo:** Fueron necesarias de entre 2 a 10 personas para realizar el estudio.
- **Medio:** Se necesitaron de 11 a 20 personas para llevar a cabo el estudio.
- **Alto:** Se necesito de un personal mayor a 20 individuos, inclusive en algunos casos el estudio fue realizado por grupos especializados o por laboratorios acústicos.

4. Resultados.

4.1 Métodos de calibración de aplicaciones móviles para medición de ruido con utilización de sonómetros.

No existen estándares o normas específicas que establezcan requisitos electroacústicos para smartphones. Sin embargo si se han realizado intentos de calibración de aplicaciones de medición de ruido y también algunas validaciones de observaciones tomadas con smartphones.

La mayoría de los estudios revisados fueron realizados comparando los niveles de sonido medidos con las aplicaciones móviles con un sonómetro profesional. Lo que buscaban es evaluar el rendimiento de una aplicación específica de medición de ruido en lugar de la capacidad de los smartphones para medir niveles de ruido de forma precisa.

En esta revisión cuando veamos la palabra smartphone, teléfono móvil o simplemente teléfono nos referiremos al dispositivo portable que permitió la instalación del software para medición de niveles de ruido y cuyas mediciones fueron comparadas con las de un sonómetro profesional, . A continuación se describen 10 de las principales iniciativas localizadas en la literatura de los últimos cinco años:

4.1.1 On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments

Santini, Ostermaier y Adelman (2009) buscaban investigar dos problemas principales: la similitud de las mediciones tomadas entre dispositivos cercanos y también la exactitud de las mediciones tomadas con los dispositivos comparadas con las tomadas con un sonómetro profesional, específicamente un sonómetro Extech 407740 de Clase 2.

Se utilizaron 3 teléfonos Nokia N95 de 8GB. Utilizaron tres dispositivos del mismo tipo para evitar discrepancias en los resultados debido a diferencias de hardware ya que inclusive dispositivos del mismo tipo pueden contener micrófonos internos de distinto fabricante. Además como fuente de audio utilizaron un ordenador portátil común que soporta hasta 192 kHz entrada / salida de audio que se conectó a

altavoces externos de alta calidad. Se evaluó la precisión de niveles de ruido medidos con teléfonos sin calibrar.

Las mediciones tuvieron lugar en un cuarto silencioso con los 3 modelos de teléfono y un sonómetro de clase 2 localizado en una mesa. Si bien las conclusiones de este estudio no proveen ningún análisis estadístico de las mediciones, la mayor contribución del mismo es el uso de fuentes de ruido del mundo real en un entorno controlado.

Se realizaron en total 3 experimentos para evaluar la respuesta de los teléfonos a varios eventos acústicos:

1. El primer experimento estudió la respuesta de los teléfonos móviles a señales de pruebas sintéticas producidas por una fuente de audio en un medio ambiente controlado.
2. En el segundo experimento se investigó la habilidad de los teléfonos móviles para capturar señales a diferentes frecuencias. Utilizaron 5 señales de frecuencia de igual amplitud: 1, 4, 8, 16 y 20kHz.
3. Para evaluar la respuesta de los dispositivos móviles en condiciones más realistas desarrollaron un tercer experimento usando una grabación de treinta segundos de un embotellamiento. La señal incluía varios sonidos diferentes de pitos, frenos y motores lo que resultó en un complejo espectro de amplitud y frecuencia.

Se obtuvieron algunas conclusiones cualitativas a partir de este estudio entre las que tenemos:

- Dispositivos del mismo tipo devolvieron respuestas de audio coherentes así que una comparación al menos cualitativa de sus lecturas es posible.
- Los niveles de ruido medidos por teléfonos móviles pueden variar de aquellos capturados por un sonómetro profesional que se encuentra en la misma posición y esta

divergencia puede variar significativamente a través del tiempo dependiendo de las señales de audio actuales.

- La precisión de los niveles de ruido medidos se encuentra influenciada por los pasos de procesamiento de la señal de audio antes de ser grabada y también por la duración del intervalo de tiempo en el que la señal es capturada.
- El lenguaje específico para programar los dispositivos puede influenciar en la precisión de los niveles de ruido medidos ya que diferentes APIs pueden exponer datos de audio a diferentes niveles de accesibilidad.

4.1.2 Noise Tube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones

Maisonneuve, Stevens, Niessen y Steels en el 2009 desarrollaron un estudio donde se generó ruido rosa a diferentes decibeles cada 5dB desde 30dB hasta 105dB y los resultados fueron medidos en un Nokia N95 con una memoria de 8G.

Utilizaron un sonómetro Voltcraft SL 100. Si bien este estudio no fue algo extensivo fue el punto de partida de la aplicación NoiseTube, que es hoy en día una de las aplicaciones de medición de ruido más utilizadas a nivel global.

Después de utilizar una función inversa como factor de corrección de la correlación entre las mediciones obtenidas con el sonómetro y las producidas por el smartphone llegaron a una precisión final de ± 4 dB después de utilizar una función de corrección. De acuerdo al resultado obtenido el smartphone utilizado puede ser usado en un intervalo de 35 a 100 dB.

4.1.3 Acoustics and the smartphone

Brown y Evans (2011) investigaron la precisión de las aplicaciones para iOS: SignalScope Pro por Faberacoustical (2013) y Real Time Analyzer por StudioSixDigital (2013) para un iPhone 3GS y su micrófono incorporado. Niveles de ruido fueron medidos por las aplicaciones y se compararon con las lecturas de un sonómetro calibrado profesional de Tipo-1.

La medición se llevó a cabo en condiciones con fuentes de ruido del mundo real. Se demostró que, a diferencia de SignalScope Pro por Faberacoustical (2013), Real Time Analyzer implementa una calibración dependiente de la frecuencia con un impulso a bajas frecuencias para compensar el filtro paso alto que se aplica por ejemplo en el micrófono interno del iPhone 3GS.

Las diferencias entre las mediciones tomadas por las dos aplicaciones fueron de menos de 4 dB(A) para las distintas fuentes de ruido. También se llegó a la conclusión de que hay que tener cuidado en la medición de los niveles de ruido por debajo de 40 dB (A), por encima de 80 dB(A) o con componentes de ruido de baja frecuencia.

En cuanto a la reverberación encontraron que el iPhone tiende a calcular tiempos de reverberación más altos y hallaron una diferencia de ± 0.2 segundos entre los dos dispositivos y el sonómetro por lo que llegaron a la conclusión de que un iPhone podría ser una herramienta útil para estimaciones de tiempos de reverberación en campo. En su estudio se cumplían la mayoría de normas de la Sección 5 de la IEC 61617-1 (Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications) aunque algunos requerimientos como las tolerancias máximas electroacústicas permitidas y el rendimiento bajo diferentes condiciones ambientales no se cumplieron.

En su trabajo se dice que potencialmente estas limitaciones podrían solucionarse adicionando un micrófono compatible Clase 0 y un preamplificador al smartphone.

Encontraron que el micrófono de un iPhone 3GS tiene un filtro que no permite sondear frecuencias por debajo de 200 Hz (Faber Acoustical LLC n.d.) Esto es debido a que se tomó en cuenta el rango de frecuencias de las conversaciones humanas que va de 350Hz a 4800Hz (American National Standards Institute, Inc. 1997)

En cuanto al límite superior de frecuencias que pueden ser percibidas en los modelos iniciales de iPhone fue de 8000 Hz, sin embargo en modelos más recientes llega hasta 48000Hz permitiendo un rango de frecuencia mucho más amplio para la realización de las mediciones (Studio Six Digital n.d.).

Una variedad de fuentes de sonido comunes fueron utilizadas para comparar las mediciones realizadas por el sonómetro y las tomadas con el smartphone: ruido de tráfico de una calle congestionada, ruido de un compresor, niveles de ruido en una sala de juntas de una oficina comercial. En la Tabla 2 se resumen los resultados obtenidos con las diferentes fuentes de ruido.

Tabla 2. Diferencia en dB(A) entre las lecturas de sonómetro digital Tipo 1 y las de la aplicación SignalScope Pro instalado en un iPhone 3GS, modificada de (Brown and Evans, 2011).

Fuente de ruido	Sonómetro tipo 1. Niveles de ruido en dB(A)	Aplicación Signal Scope. Niveles de ruido en dB(A)	Diferencia en dB(A)
Compresor	54.2	54.6	- 0.4
Oficina silenciosa – ruido de servicios	49.6	45.8	3.8
Sala de juntas (145 m ³) – calle con tráfico y ruido de servicios	38.8	39.4	-0.6
Ruido de tráfico en una carretera (incluido pito, encendido de motor)	75	72.2	2.8
Pito de carro a 3 metros	87.5	84	3,5

Las conclusiones de su trabajo fueron las siguientes:

- El micrófono interno de un smartphone común tiene un rango limitado de frecuencia que limita las condiciones bajo las cuales los niveles de presión sonora son realizados.
- Se requiere una especial precaución con niveles debajo de 40 dB(A) y encima de 80 dB(A) y también con componentes de frecuencia bajos.
- Las mediciones de tiempo de reverberación con smartphones iPhone proveen resultados comparables y repetibles con los de un sonómetro profesional en la mayoría de las circunstancias.
- La conclusión final fue que las aplicaciones para medición de ruido de iPhone no cumplen con estándares de relevancia internacional y no pueden reemplazar a un sonómetro profesional pero sí podrían llegar a ser una herramienta útil para mediciones rápidas de campo cuando el usuario comprende las limitaciones de los dispositivos.

4.1.4 Community memories for sustainable societies. The case of environmental noise.

Uno de los trabajos más exhaustivos fue el realizado en el 2012 por Stevens. En el mismo se revisaron tres aspectos de la calibración de la aplicación NoiseTube:

1. Una calibración dependiente del modelo de teléfono,
2. Un algoritmo dependiente del nivel de ruido que no dependa de la frecuencia
3. No es necesaria una calibración de campo.

En este trabajo se muestra que entre varios teléfonos móviles del mismo modelo las variaciones en las mediciones fueron mínimas, lo suficiente para validar el uso de una calibración dependiente del modelo en vez de una calibración individual para cada dispositivo móvil.

Para revisar la estabilidad del micrófono a través del paso del tiempo se realizaron mediciones con un espacio de cinco meses entre las mismas con un solo teléfono móvil. Obtuvieron una diferencia de tan solo 0.29 dB(A) aunque se recomienda un intervalo mayor entre las mediciones y más de un teléfono móvil. El trabajo realizado conllevó algunas limitaciones como:

- Las calibraciones fueron llevadas a cabo en un medio ambiente controlado (laboratorio) con una sola fuente artificial de ruido blanco.
- Muy pocos dispositivos móviles fueron investigados detalladamente.

Los investigadores realizaron pruebas en un laboratorio y también en exteriores. El procedimiento de laboratorio consistía en la medición de 16 niveles de ruido blanco en un cuarto anecoico con un solo teléfono móvil. Las mediciones conseguidas fueron luego comparadas con un sistema de referencia.

Cabe mencionar que el algoritmo de calibración implementado fue específico para el dispositivo utilizado. Este tipo de calibración siempre será más preciso que uno basado en el modelo del teléfono en donde un promedio de puntos de calibración son medidos con varios dispositivos del mismo modelo.

Al final Stevens encontró un error absoluto promedio de 1 dB que se reduce a 0.6 dB con niveles de ruido debajo de 100dB(A). Así mismo se nota una degradación de la efectividad del algoritmo de calibración con niveles superiores a 95 dB(A).

Para realizar un análisis de la respuesta de frecuencia de los teléfonos se utilizaron 27 tonos entre 50 Hz y 20 kHz para niveles de sonido entre 60dB(A) y 90 dB(A). Al final concluyeron que los teléfonos calibrados no cumplían los requerimientos de respuesta de frecuencia para un sonómetro Clase2 que establece la norma IEC.2002 (IEC 61672-1 - Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications).

En cuanto a la investigación realizada en el mundo real la misma consistía en mediciones de niveles de ruido durante una caminata de 81 minutos aproximadamente en una área urbana con un sonómetro profesional tipo 2 y un teléfono móvil calibrado, la diferencia fue de menos de 1dB(A) aunque en condiciones de vientos fuertes se sobreestimaron las mediciones con 10 dB(A) aproximadamente, además las aplicaciones no estaban utilizando las mismas métricas al momento de realizar las mediciones.

4.1.5 Ear-Phone: A Context-Aware Noise Mapping using Smart Phones

Rana et al. (2013) investigó los errores relacionados con mediciones realizadas en espacios del mundo real con una aplicación móvil de medición de ruido. Para ello se evaluaron los niveles de ruido obtenidos por una aplicación creada por el autor en 4 diferentes ubicaciones del teléfono móvil: llevado en la mano, dentro de los bolsillos del pantalón, en un estuche llevado en la correa y en un bolso. Obtuvo una mejor calidad de los datos con el teléfono llevado en la mano. Los niveles de sonido equivalentes grabados en los bolsillos del pantalón y el bolso tuvieron una gran desviación respecto a la fuente de referencia, razón por la cual no fueron considerados útiles.

Un total de 10 participantes realizaron las mediciones con un smartphone HTC ONE cada uno mientras mantenían el teléfono en los diferentes contextos posibles, cada una de las mediciones realizadas duró un minuto.

Se implementó además una calibración in situ, nos referimos a una calibración donde se ve involucrado solo el smartphone que se utilizó para las mediciones. Para ello utilizaron el software gratuito Audacity para crear un tono de calibración el cual fue incluido luego en la misma aplicación para medición de ruido.

Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

- La aplicación SLM (Sound Level Meter) tuvo una precisión de ± 2.7 dB(A) con el teléfono móvil llevado en la mano, ± 3.1 dB(A) con el teléfono móvil en los bolsillos del pantalón y ± 4.1 dB(A) con el teléfono en un bolso.
- La técnica de interpolación o regularización que ofreció mayor precisión fue la de minimización 1-norm.
- Usando experimentos se demostró que Ear-Phone puede recuperar con alta precisión un mapa de ruido que contiene hasta un 40% de muestras perdidas.
- Los experimentos relacionados con la precisión de las mediciones en varios contextos revelaron que solo los datos tomados mientras se lleva el teléfono en la mano son usables. En otros contextos como un bolso o en un bolsillo del pantalón los niveles de ruido se ven afectados por retrasos de tiempo o cambios de amplitud. El algoritmo de clasificación propuesto pudo detectar al teléfono en la mano con una precisión del 84%.
- Es posible usar smartphones para aplicaciones de monitores medioambientales como monitoreos de contaminación acústica superando algunos desafíos como intervalos de muestreo irregulares, variaciones de calibración entre dispositivos y ubicación irregular de los teléfonos móviles.

4.1.6 30 iPad Sound Measurement Apps Reviewed

Weber en el 2013 evaluó la exactitud de varias aplicaciones iOS SLM (Sound Level Meter) con un iPad 4 y su micrófono incorporado. Los niveles de ruido producidos por diversas fuentes de sonido fueron medidos por las aplicaciones y comparados con las lecturas tomadas por un sonómetro calibrado de tipo 2.

Para cada aplicación, se utilizó el ajuste de calibración por defecto: 4 tipos de fuentes de ruido fueron utilizadas (tonos puros de 1 kHz y 8 kHz, 30 segundos de grabación de sonido, y una explosión pregrabada) se reprodujeron en un solo nivel de ruido.

Aunque el entorno de medición no es descrito detalladamente, se sostiene que no fue llevado a cabo en un laboratorio acústico.

La evaluación de las mediciones muestra que apenas 3 de las 30 aplicaciones tienen resultados similares a los del nivel de sonido medidos por un sonómetro. Entre las 30 aplicaciones, 13 aplicaciones fueron consideradas inapropiadas lo que muestra la necesidad de un procedimiento de calibración exhaustivo. A continuación en la Tabla 3 tenemos el resultado de las mediciones tomadas con las 3 mejores aplicaciones y las obtenidas con el sonómetro profesional.

Tabla 3. Diferencia en dB entre las lecturas del sonómetro y los niveles de ruido medidos por las 3 mejores aplicaciones para iOS, extraído de SafetyAwakenings (2013).

Fuentes de sonido	Sonómetro Tipo 2 Nivel de ruido en dB	Diferencias en dB		
		Aplicaciones		
		SPLnFFT	SoundMeter+	SPL Meter
Tono puro (1KHz)	88.5	0.4	2.8	- 0.2
Tono puro (8KHz)	94.3	- 0.4	8.0	6.8
3 segundos de ruido	82.2	0.2	0.3	n/a
Explosión	87.6	0.1	3.1	0.1

4.1.7 Supplementary Material: Awareness and learning in participatory noise sensing.

Wide Noise es otra aplicación evaluada en un estudio realizado recientemente (Becker, et al., 2013).

En el mismo se realizaron en primera instancia actividades de reclutamiento enviando mails durante 3 días consecutivos a los asistentes de una conferencia realizada en febrero de 2012.

La evaluación comprendió básicamente dos fases:

1. Instalación e incentivo de uso de la aplicación

En el primer día de la conferencia se invitó a los participantes a instalar la aplicación y probarla durante los 3 días siguientes.

La conferencia contó con la participación de aproximadamente 170 delegados y durante este período, y los días siguientes se realizaron un total de 42 instalaciones en dispositivos Android.

De los 42 usuarios, 24 realizaban la instalación de Wide Noise por primera vez. Se realizaron 5263 mediciones llevadas a cabo por 419 usuarios en un periodo de 5 semanas.

Además se realizó otro evento en Roma en una librería visitada frecuentemente por universitarios con una gran vida cultural nocturna, haciendo del mismo un lugar ideal para probar la aplicación. El evento inicio a las 10:00 am obteniéndose al final 688 mediciones realizadas por 18 usuarios incluyendo 15 miembros del público.

2. Pruebas técnicas aplicadas

Varias pruebas fueron realizadas en una cámara anecoica para comprender las características técnicas de la

aplicación en conjunto con los dispositivos móviles. La aplicación fue instalada en 6 diferentes teléfonos (iOS y Android) que fueron montados en un pedestal que también contenía un sonómetro calibrado de clase 2, ruido blanco fue reproducido a través de los parlantes de una laptop dentro de la cámara anecoica comenzando con 100 dB(A) y decrementando en intervalos de 10dB(A) hasta llegar a 31dB(A). Los resultados sugirieron que las mediciones son más precisas para los niveles de dB(A) más altos.

Para los niveles más bajos de ruido inclusive el sonómetro variaba de la referencia. El rango efectivo de medición parece estar entre 50dB(A) y 100 dB(A). El nivel promedio de discrepancia de este rango fue de 6.05 dB(A). Cada dispositivo tenía la misma tendencia que la referencia a excepción de los 100dB(A) donde los niveles de ruido en la mayoría de los casos eran subestimados por los dispositivos.

Se utilizaron en total 6 modelos de dispositivos diferentes. Notaron que hay muy pocas mediciones debajo de los 30dB(A) y encima de 100 dB(A). Esto es debido mayormente a que los micrófonos de fábrica de los smartphones no son lo suficientemente sensitivos. A continuación en la Tabla 4 presentamos los resultados de la evaluación realizada:

Tabla 4. Resultados obtenidos por Wide Noise en diferentes dispositivos móviles en una cámara anecoica. Extraído de (Becker et al., 2013)

Sonómetro Clase 1	31 dB(A)	40 dB(A)	50 dB(A)	60 dB(A)	70 dB(A)	80 dB(A)	90 dB(A)	100 dB(A)
Sonómetro Clase 2	35.5	41.8	50.5	60	70	80	90	100
iPod Touch	50	56	64	74	83	93	90	96
iPhone 4	19	35	57	67	80	90	94	96
iPhone 3	42	34	51	64	73	85	93	107
HTC	57	57	60	66	73	88	93	99
HTC Explorer	24	51	61	65	74	89	93	99
Huawei Blaze	51	52	54	57	64	74	84	94

4.1.8 Evaluation of smartphone sound measurement applications

Un estudio publicado en marzo del 2014 reporta la precisión de algunas aplicaciones de medición de sonido para smartphones y la factibilidad de uso de las mismas para mediciones de ruido ocupacional (Kardous y Shaw, 2014). En el mismo se evaluaron 10 aplicaciones para iOS y 4 para Android.

Se seleccionó una muestra representativa de los smartphones y tablets más populares en el mercado hasta enero de 2013: iPhone 3GS, iPhone 4S, iPhone 5, iPad cuarta generación, Samsung Galaxy S3, Samsung Note, Samsung Focus, HTC One X y Motorola DROID RAZR.

Para seleccionar las aplicaciones fueron tomados en cuenta varios parámetros, entre ellos la capacidad de calibrar el micrófono del smartphone mediante la carga manual o digital de archivos y también la capacidad de reportar y compartir datos con otros usuarios.

En la Tabla 5 se encuentra el listado de las aplicaciones para iOS evaluadas y los resultados obtenidos. Además de estas se evaluaron 4 aplicaciones para Android: SPL Meter por AudioControl, deciBel Pro por BSB Mobile Solutions, dB Sound Meter por Darren Gates y Noise Meter por JINASY.

Experimento realizado.

Para el montaje experimental se generó ruido rosa con un rango de frecuencia de 20 Hz hasta 20 kHz, a niveles desde los 65 hasta los 95 dB con incrementos de 5 dB (7 diferentes niveles de ruido). El rango de medición fue escogido para reflejar la mayoría de los diferentes niveles de exposición de ruido ocupacional a los cuales se encuentran expuestos los trabajadores de hoy en día. El orden de los dispositivos y aplicaciones evaluadas fue aleatorio. Las mediciones fueron realizadas en un cámara de ruido reverberante del NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). El uso de un campo de sonido difuso aseguró que la ubicación y tamaño de los smartphones no influenciaran en los resultados del estudio.

Resultados del estudio

Kardous y Shaw creen que la variabilidad en los resultados podría deberse a que los iPad de 4ta generación e iPhone 5 se cambiaron a un nuevo proveedor de micrófonos. Las diferencias podrían deberse también a la introducción del nuevo sistema operativo iOS 6 que permitió a los desarrolladores evitar el filtro pasa alto que degradaba la calidad de las mediciones acústicas en iPhones más antiguos. Esto permitió también a los usuarios de Apple conectar micrófonos externos a través de la entrada de los auriculares, micrófonos de medición omnidireccionales como el MicW i436 (Dumoulin, 2014) que cumple con el estándar IEC 61672 para sonómetros de Clase 2.

Llegaron a una conclusión interesante en cuanto a los modelos de dispositivos utilizados. El modelo antiguo iPhone 3Gs produjo los mejores resultados para todas las aplicaciones y niveles de sonido (420 muestras) con una diferencia media de - 0.71 dB(A) entre las mediciones tomadas por las aplicaciones y las obtenidas con un micrófono de referencia.

Tabla 5. Diferencias medias en dB(A) entre las mediciones tomadas por las aplicaciones móviles para iOS y los valores de referencia. Total de Muestras: 168. Modificada de (Kardous y Shaw, 2014).

Aplicación	Diferencia media dB(A)
Adv Decibel Meter	0.27
Decibel Meter Pro	0.27
iSPL Pro	0.25
Noise Hunter	0.27
NoiSee	0.25
Sound Level Meter	0.27
SoundMeter	0.12
(Real) SPL Meter	0.27
SPL Pro	0.11
SPLnFFT	0.25

En cuanto a las aplicaciones para Android no tenían las mismas características ni funcionalidades que las de iOS. Esto es probablemente debido a que el usuario de Android normalmente busca

siempre aplicaciones gratuitas o de bajo costo. Las pruebas realizadas mostraron una gran variabilidad en las mediciones de la misma aplicación en diferentes modelos de dispositivos, esto puede deberse a que los dispositivos son contruidos por distintos fabricantes y no existe un acuerdo para usar micrófonos y otros componentes de audio en sus dispositivos.

4.1.9 Noise map professional versus crowdsourced data

También recientemente se investigaron dos fenómenos básicos de estudios llevados a cabo con smartphones comerciales para asegurar la posibilidad de llevar a cabo monitores de ruido con este tipo de dispositivos (Pődör y Révész, 2014). Para ello se llevaron a cabo dos experimentos:

1. Comparar las mediciones de un equipo profesional y un smartphone:

Un estudio profesional fue llevado a cabo en el 2012 en Székesfehérvár con un sonómetro Brüel & Kjaer 2250 (Clase 1). Se llevo a cabo un estudio con smartphones un año después utilizando smartphones Sony Xperia P y la aplicación Sound Meter PRO:

Se repitió el estudio con condiciones similares en el mismo día del calendario de la prueba realizada con el equipo profesional. Además fueron realizadas en el mismo periodo del día con un promedio de 15 segundos de medición de 51 ubicaciones especialmente en la parte interior de la ciudad

2. Comparar las mediciones de dos diferentes aplicaciones corriendo sobre el mismo modelo de smartphone:

Se compararon las aplicaciones Sound Meter PRO (Smart Tools co.) y Noise meter (JINASYs) corriendo en los mismos modelos (Sony Xperia P) al mismo tiempo y

ubicación. Un minuto de mediciones continuas fueron promediadas iniciando a las 6:00, 11:00, 14:00, 17:00 y 21:00 y repetido 7 veces con retrasos de 10 minutos produciendo 35 mediciones paralelas. Horas pico y horas no pico fueron incluidas. Los datos fueron obtenidos a 7 metros del eje de la línea de tráfico de la intersección más congestionada en Gyula, Hungría.

Resultados

Existe una buena correlación entre las mediciones de un equipo profesional y las de un smartphone aunque este último muestra valores de dB más altos. El experimento realizado con las dos aplicaciones sugiere que hay una probable correlación positiva entre las mediciones obtenidas por las dos aplicaciones aunque la desviación de los valores fue de aproximadamente de 10-15 dB(A)

Conclusiones:

- Las correlaciones encontradas sugieren que las aplicaciones no pueden ser tan precisas como un sonómetro profesional pero si pueden ayudar cuando se trata de evaluar una situación de cambio de niveles de ruido para realizar posibles planes de acción para evitar el impacto de la contaminación sonora.
- Quedó revelado que diferentes aplicaciones móviles producen diferentes salidas. Existen muchas aplicaciones pero según este estudio si se trata de monitores de tipo colectivo todas las personas involucradas en el estudio deberían usar la misma aplicación

4.2 Tabla 6. Comparativa de estudios de medición de niveles de ruido con smartphones y sonómetros profesionales

N°	Nombre	Smartphones	Aplicación	Área de estudio	Condiciones medioambientales y de entorno	Sonómetro	Otros elementos	Rango dB(A)	Precisión dB(A)	Nivel de Conocimientos	Nivel Recursos	
											Hardware	Humanos
1	On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments (Santini, Ostermaier, Adelman, 2009)	Nokia N95 8GB	- Aplicación en Python(PyS60) - Aplicación en Java (J2ME)	-Cuarto silencioso	Condiciones térmicas adecuadas	Extech 407740 Clase 2	- Laptop común - Parlantes externos de alta calidad	4 - 83	5 - 10	Medio	Medio	Bajo
2	NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones (Maisonneuve, Stevens, Niessen y Steels, 2009)	Nokia N95 8GB	NoiseTube	-Vecindario - Cámara anecoica	No especificado	Voltcraft SL 100 Clase 3	No necesarios	35 -100	± 4	Medio	Medio	Bajo

3	Acoustics and the smartphone (Brown y Evans, 2011)	Iphone 3GS	SignalScope Pro by Faber Acoustical	- Calle transitada - Compresor - Oficinas comerciales - Aplauso ruidoso - Cierre de un libro grueso - Ruido de pito, freno, motor de un auto	Respuesta a frecuencias bajas del micrófono interno	Brüel and Kjaer 2250	- Audio Tools (Studio Six Digital) - SSP	4 - 102	± 3.8	Medio	Medio	Bajo
4	Community memories for sustainable societies. The case of environmental noise (Stevens, 2012)	Nokia 5230	NoiseTube	- Cámara anecoica - Vecindario de Antwerp - Belgica	Se tuvo precaución con condiciones de vientos fuertes	CEM DT-8852 Clase 2	- Generador de Ondas HP Agilent 33120 - Generador de ruido Brüel&Kjaer Tipo 1405 - Amplificador Brüel&Kjaer Tipo 27006 - Micrófono Microtech MK250 - Estación de adquisición de datos LMS Scadas III - PC con Software LMS Test Lab y Audacity	30-105	+1	Medio	Alto	Alto

5	Ear-Phone: A Context-Aware Noise Mapping using Smart Phones (Rana,Chou,Bulusu,Kanhere y Hu, 2013)	Nokia N95 HP iPAQ 6965 Android HTC One	Ear-Phone	- Cuarto silencioso - Calle en hora no pico	Se tomo en cuenta el contexto (ubicación del teléfono): bolsillo del pantalón, mano, mochila	Center-322	- Java - MySQL - - PHP - Audacity	28 - 80	±3	Medio	Medio	Medio
6	30 iPad Sound Measurement Apps Reviewed (Weber, 2013)	iPad 4	- SPLnFFT - SoundMeter+ - SPL Meter y otras 27 apps (iPhone)	- Señales de tono puro 1Khz y 8 kHz - 30 segundos de grabación de sonido - Explosión	No se mencionan	3M/Quest Modelo 2200 Tipo 2	Generador de señales online	60-120	±3	Bajo	Bajo	Bajo
7	Supplementary Material: Awareness and learning in participatory noise sensing(Becker et al., 2013)	iPod Touch iPhone 4 iPhone 3 HTC HTC Explorer Huawei Blaze	WideNoise	- Cámara anecoica - Zonas aledañas al aeropuerto de Heathrow - Londres	Condiciones de medición no controladas en 3 eventos públicos	- Sonómetro Tipo 1 - Sonómetro Tipo 2	No se menciona ningún elemento aparte de los smartphones, sonómetros, la aplicación móvil y la cámara anecoica	50 - 100	± 6	Bajo	Medio	Medio

8	Evaluation of smartphone sound measurement applications (Kardous y Shaw, 2014)	- Iphone 3GS - iPhone 4S - iPhone 5 - iPad 4ta Gen - Samsung Galay S3 - Samsung Note - Samsung Focus - HTC One X - Motorola DROID RAZR	- Adv Decibel Meter 2.0 - Decibel Meter Pro 2.0.5 - iSPL Pro 1.1.4 - Noise Hunter 1.0.1 - NoiSee 1.0 - Sound Level Meter 1.5 - SoundMeter 3.3.1 - (Real) SPL Meter 1.0 - SPL Pro 3.6 - SPLnFFT 4.0	Cámara reverberante	- Ambiente de ruido controlado: temperatura, humedad, estabilidad del micrófono	LarsonDavis modelo 831 tipo 1	- Parlante de dos vías JBL XRX715 - Micrófono Larson - Davis modelo 2259 - Pistofofono 42AP	65 - 95	±2	Bajo	Alto	Bajo
9	Noise map professional versus crowdsourced data (Pődör y Révész, 2014)	Sony Xperia P	- Sound Meter PRO - Noise meter	Intersección más transitada en Gyula, Hungría	- Condiciones de tráfico (horas pico y horas no pico) - Horario de las mediciones	Bruel & Kjaer 2250 Clase 1	No se mencionan otros elementos aparte de los smartphones y el sonómetro	No especificado	10 - 15	Bajo	Medio	Medio

4.3 Métodos de calibración de aplicaciones móviles para medición de ruido sin utilización de sonómetros.

4.3.1 NoizCrowd: A Crowd-Based DataGathering and Management System for Noise Level Data

NoizCrowd es otra aplicación para monitoreo de ruido donde se realiza una colaboración abierta para evitar la necesidad de contar con un sonómetro profesional para calibrar los smartphones (Wisniewski, Demartini, Malatras, Cudré-Mauroux, 2013).

Componentes de NoizCrowd:

1. Aplicación móvil para smartphone.
2. Capa de almacenamiento escalable que maneja todas las piezas de datos entregadas por los smartphones.
3. Capa de modelado de alto nivel capaz de generar continuamente modelos de datos esparcidos recogidos por la ciudadanía.
4. Capa de exportación y visualización como interfaz con los usuarios finales y soporte en la toma de decisiones.

Ventajas de NoizCrowd.

1. Permite que cualquier usuario móvil reporte niveles de ruido a cualquier hora y lugar.
2. Genera y maneja datos a larga escala cubriendo diferentes regiones e intervalos de tiempo.
3. Soporte al usuario final al responder peticiones de análisis de datos de niveles de ruido.

El método consiste en compartir tablas de conversión de los valores medidos por el teléfono y los obtenidos por un sonómetro profesional, estas tablas fueron luego compartidas entre usuarios que poseen el mismo modelo de smartphone.

Además, se desarrolló un algoritmo donde se seleccionan los valores más votados en tablas de conversión donde varios participantes registraban diferentes valores para un mismo nivel de sonido dado.

Se utilizaron modelos de interpolación temporal buscando patrones repetitivos: por ejemplo si cada lunes a las 11:00 am el nivel de ruido para un área dada es de 50dB(A) y si no hay ninguna medición el último lunes se puede asumir que existe una alta probabilidad de que el valor perdido sea de 50dB(A). Otro ejemplo es que si hace dos horas se obtuvo un valor y se obtiene el mismo ahora la interpolación de esos dos valores podría conducir a buenos resultados.

Para validar los modelos de interpolación se realizaron 30 pruebas en exteriores, 10 veces utilizando 2 smartphones simultáneamente, 10 veces con 3 smartphones y 10 veces con 4 smartphones.

La ubicación de los smartphones fue seleccionada aleatoriamente en una región plana de 50m². Se eligió un barrio relativamente ocupado con niveles de ruido relativamente constantes y tomaron los valores reales de niveles de ruido que trataron de interpolar con los smartphones y su modelo.

Para probar la disipación de sonido y los enfoques de las fuentes de localización eligieron una fuente de sonido en un campo de béisbol de 60m² cubierta de nieve para evitar reverberación. La fuente de sonido fue ubicada en una esquina del campo y luego se midieron los niveles de ruido en el área usando la aplicación y tres smartphones. En la Figura 2 se muestran los resultados.

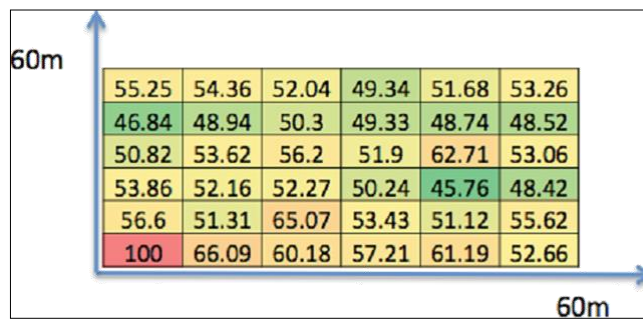


Figura 2. Mediciones realizadas con NoizCrowd en el espacio usando 3 smartphones y una fuente de sonido de 100 dB. Extraída de (Wisniewski, Demartini, Malatras y Cudré-Mauroux, 2013).

Normalmente los valores deberían disminuir de manera constante a medida que se aleja de la fuente de ruido pero este no fue el caso dado que las mediciones se realizaron a campo abierto durante varios minutos utilizando diferentes smartphones. Entonces se tuvo también en cuenta la propagación del sonido y la localización de la fuente.

Se realizaron 10 pruebas utilizando 3 mediciones aleatorias, 10 utilizando 4 y 10 utilizando 5. Para resumir se obtuvieron los siguientes resultados: el error en los valores de niveles de ruido determinado por la disipación del sonido y nuestras mediciones con smartphones disminuye constantemente con el número de mediciones disponibles. En promedio el error es de 16% para 3 mediciones disponibles, 10% con 4 mediciones disponibles y 9% con 5 mediciones. La localización del sonido se realizó de buena forma siendo capaz de localizar la fuente en un radio de aproximadamente 3 metros.

En resumen se obtuvieron los siguientes resultados: 85% de los datos interpolados tuvieron un error de menos de 6 dB(A) de los valores reales, un 63% de esos valores dentro de 4 dB(A) o menos. Los resultados obtenidos fueron muy prometedores dado el entorno elegido y los pocos valores registrados.

4.3.2 DDNM: Monitoring Environment Noise using Smart Phones

En el 2013 se llevo a cabo el desarrollo del sistema denominado DDNM (Day Day Noise Monitor) para teléfonos Android (Yao, Yang, Zhang, Hu y Liang). DDNM está basado en smartphones y la participación del público, puede ser implementado para crear una plataforma abierta y de bajo costo para simular mapas de ruido en tiempo real. Fue implementado en smartphones HTC G18 8G y Huawei C8812E 4G. Los componentes principales del sistema son:

Componente de monitoreo de ruido.

- Su principal función es recolectar las señales de audio e intercambiar datos con el servidor central a través de la red.
- Puede ser dividido dentro de 3 módulos: Módulo de compilación de señales, módulo de procesamiento y módulo de almacenamiento. El módulo de compilación de señales incluye información de la ubicación mediante un GPS o red, un micrófono y el reloj del sistema.
- La función principal del módulo de procesamiento es evaluar cuantitativamente el ruido medioambiental.
- Los niveles de presión sonora, niveles de potencia acústica de una fuente de sonido pueden ser medidos en un punto específico mediante la ecuación (1).

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (1)$$

Donde L_p es el nivel de presión sonora (dB); p es la presión del sonido (Pa); p_0 es la presión del sonido de referencia,

$2 \cdot 10^{-5}$ Pa, es el valor de presión sonora más bajo que el oído humano puede escuchar.

El oído no se comporta de la misma forma para el mismo nivel de presión en diferentes frecuencias. Por ejemplo tomemos un sonido lineal en toda la banda de 20 Hz a 20 kHz, tenemos en todas las bandas un nivel de 35 dB, si la sensibilidad de nuestro oído fuese lineal oíríamos igual o mejor con la misma intensidad auditiva las frecuencias más bajas, que las medias y que las agudas.

Sin embargo esto no es cierto. Es necesario entonces una forma de ajustar los niveles de dB que hemos medido con la percepción que el oído tiene de los mismos según cada frecuencia. Para lograr esto se utiliza la ponderación A expresada como dBA o dB(A). Para calcular los niveles de presión sonora se necesita conocer la frecuencia de la señal de audio. Para esto DDMN utilizó una transformada rápida de Fourier para extraer la amplitud y frecuencia de las señales de audio.

Componente de visualización de mapas.

Este provee principalmente 4 servicios:

1. Localizar la ubicación actual del usuario cuando el smartphone haya abierto su GPS o sus servicios de red.
2. Mostrar un mapa con las diferentes regiones alrededor del usuario.
3. Proveer funciones de búsqueda dentro del mapa visualizado.
4. Descargar los últimos datos de contaminación acústica desde el servidor central.

Para proteger a los usuarios que utilizan 3G se ofreció la posibilidad de descargar paquetes de mapas offline mediante conexiones WiFi. Desde luego los usuarios pueden también descargar los datos a su computadora y desde ahí introducirlos en su smartphone.

Conclusiones:

- Con DDMN se puede desarrollar una red de monitoreo de contaminación acústica que facilite a los ciudadanos, entidades gubernamentales y organizaciones tomar acciones en contra del creciente problema de la contaminación acústica.
- En comparación con otras técnicas encontradas en el estado del arte sobre técnicas para monitores de ruido y sistemas de visualización de mapas, DDMN tiene un costo muy bajo y solamente necesita la participación del público.

4.3.3 Creating Noise Pollution Maps Based on User-generated Noise Data

En el año 2013 Schulz, Janssen, Karolus y Schweizer llevaron a cabo el desarrollo de un sistema denominado MINI (Mashup for Identifying Noisy Infrastructure) el cual muestra como grandes cantidades de datos generadas por usuarios en conjunto con información externa sobre áreas urbanas como información acerca de edificios o calles cercanas y datos sobre el clima pueden ser usados para crear mapas de contaminación acústica para diferentes ciudades.

La recolección de datos en ambientes participativos se lleva mayoritariamente de manera descontrolada. Las muestras de ruido se encuentran aleatoriamente distribuidas en espacio y tiempo. Además las mediciones podrían ser imprecisas por la poca cantidad de datos en ubicaciones específicas. En este caso es necesario interpolar los niveles de ruido en un área dada. Con el prototipo MINI creado se muestra como una máquina de aprendizaje puede ser levantada para clasificar niveles de ruido en regiones previamente no monitoreadas.

Se usaron grandes cantidades de datos de ruido generadas por usuarios y datos externos de diferentes fuentes de sonido para entrenar

al clasificador. El modelo resultante puede entonces ser aplicado en diferentes ciudades, usando conocimiento sobre el área local urbana. De esta manera se vuelve fácil la creación de un mapa de ruido con alta exactitud.

Basado en el modelo resultante los niveles de ruido pueden ser predichos para cierto punto de interés (POI) y pueden ser visualizados en un mapa por ejemplo. Para el prototipo creado se utilizaron datos obtenidos en la ciudad de Darmstadt, Alemania y se aplicó el modelo final en la ciudad de Montpellier, Francia.

Para la clasificación se decidió usar un clasificador de árbol de decisión para una clasificación más rápida que en este caso es más importante que un entrenamiento rápido. Además los árboles de decisión interpretaron fácilmente los modelos aprendidos. Se usó el algoritmo “C4.5” utilizado por Maisonneuve, Stevens y Ochab en el 2010. Para el entrenamiento se utilizaron 75.884 instancias de ruido logrando diferenciar 6 diferentes niveles de ruido con una precisión del 80.8%.

Conclusiones:

- Se realizó un primer vistazo a como los datos generados por usuarios y la información externa sobre áreas urbanas pueden ser combinados para crear un mapa de contaminación acústica.
- Comparados con otros acercamientos fueron capaces de generar mapas de ruido en tiempo real y con alta precisión.

4.3.4 Methods for sensing urban noise

Uno de los estudios más recientes fue el realizado en este año por Liu et al. en Manhattan – New York. Se realizaron mediciones en 36 ubicaciones de las cuales 24 fueron evaluadas durante el día y las 12 restantes por la noche.

Utilizaron mediciones consecutivas realizadas por el mismo teléfono por los distintos usuarios los cuales podían recorrer 6 rutas posibles. Este método normalmente ligero y rápido se utiliza cuando solo se necesita evaluar los rankings de ruido entre diferentes locaciones.

De acuerdo a un estudio realizado las mediciones de ruido tomadas con smartphones y el ruido real tienen una relación lineal. De esa manera las mediciones del mismo teléfono pueden mostrar el ranking relativo entre los niveles de ruido de diferentes ubicaciones, inclusive si un teléfono móvil no se encuentra calibrado. (Liu y Zhu, 2014).

Para mejorar la calidad de las mediciones tomadas utilizaron un algoritmo de autocalibración utilizado por los mismos Liu y Zhu. El mismo utiliza una función lineal para modelar la relación entre las mediciones del teléfono y los valores reales como se muestra en la Ecuación (2).

$$R = \alpha M + \beta + \varepsilon \quad (2)$$

Donde R y M representan valores reales y mediciones del teléfono respectivamente; α y β son coeficientes indeterminados; ε es el error aleatorio. α y β pueden ser estimados automáticamente basándose en los niveles de ruido recogidos en un medioambiente interior silencioso.

4.3.5 A comparative study on VGI and professional noise data

Uno de los estudios más recientes fue presentado en junio de este año en AGILE 2014 (International Conference on Geographic Information Science) por Garcia-Marti, Torres-Sospedra, Rodríguez-Pupo y Huerta.

En el mismo se dice que el *crowdsourcing* es una de efectiva herramienta de monitoreo ambiental (Haklay y Weber, 2008). Con esta técnica los ciudadanos pueden producir información geográfica a muy bajo costo. Usando VGI (Volunteered Geographic Information) somos capaces de extraer mucha información de una ciudad con la colaboración de los propios ciudadanos.

Colección de datos de los voluntarios: fue obtenida en una ‘mapping party’ en el campus de la Universidad Jaume I con miembros del grupo GEOTEC. Los datos fueron recolectados en la parte central del campus que comprende 3 facultades, el acceso principal y el jardín central con un área total de 285 km². Dentro de esta área los participantes realizaron mediciones en 30 locaciones predefinidas. Se escogieron las mismas ubicaciones que las escogidas por una compañía profesional para generar mapas que fueran posibles de comparar. Un total de 12 participantes llevaron a cabo esta actividad el 25 de Octubre de 2013 entre las 9 y 11 de la mañana. Un total de 581 muestras de ruido fueron obtenidas en la ‘mapping party’. En la Tabla 7 se muestra un resumen de los modelos de dispositivos utilizados y el número de muestras tomadas por los mismos.

Tabla 7. Dispositivos usados para mapeo de ruido y número de muestras tomadas. Extraído de (Garcia-Martí, Torres-Sospedra, Rodríguez-Pupo y Huerta, 2014).

Modelo smartphone	Número de dispositivos	Número de muestras tomadas
LG Nexus 4	4	282
HTC One	1	35
HTC Wildfire S	1	67
Samsung Galaxy S4	1	31
Samsung Galaxy S3	1	112
Samsung Galaxy S2	1	1
Samsung Galaxy Ace 2	1	29
Sony Xperia S	1	21
Celkon A27	1	3

Colecciones de datos profesionales: Cada cuatro años una compañía privada lleva a cabo un estudio de polución en el campus. En el 2012 este estudio fue realizado por tercera vez utilizando la misma metodología. Las mediciones fueron realizadas durante el día durante la mayoría de actividades humanas ocurren. El campus fue monitoreado siguiendo el patrón de una grilla para asegurar una distribución de datos uniforme.

En cada nodo el sonómetro fue expuesto a la contaminación acústica durante 5 minutos. Este tipo de mediciones profesional considera aspectos como duración de los muestreos, efectos del viento, distancia con edificios cercanos y previene o descarta las mediciones con este tipo de condiciones.

Pruebas entre diferentes modelos.

Se llevaron a cabo pruebas para dos modelos particulares LG Nexus 4 y Samsung Galaxy S4. El primero que produjo la tercera parte de las muestras al poseer 4 dispositivos y el segundo por la gran capacidad de su hardware. Al final se encontró que el LG Nexus 4 sobreestimaba las mediciones con una diferencia de 7dB a 9 dB. En cuanto al Samsung Galaxy S4 se encontró que en algunos sectores sobreestimaba los niveles de ruido con una diferencia de 6dB a 14 dB.

Limitaciones del estudio.

El estudio realizado tuvo básicamente dos limitaciones:

- El tiempo de muestro que fue de tan solo algunos segundos y probablemente no es suficiente para proveer resultados altamente precisos.
- No se consideraron fuentes de atenuación de ruido como el esparcimiento geométrico del ruido, barreras físicas y tampoco se utilizó ningún modelo de propagación de ruido.

Conclusiones del trabajo:

- Las mediciones individuales realizadas con los dispositivos no parecen muy confiables sin embargo se logran

resultados aceptables cuando se combinan todos los mapas obtenidos con los diferentes dispositivos en el experimento.

- En general considerando el rango de 50dB a 63 dB para sonómetros profesionales y el rango de 52 dB a 65 dB se considera que el monitoreo a través de dispositivos móviles está mostrando resultados prometedores.
- Los datos obtenidos por un VGI pueden ser suficientes para múltiples situaciones diarias como la medición de niveles de ruido en áreas de recreación como parques o plazas y también para la detección temprana de problemas relacionados con el ruido como el alto tráfico en un área residencial.

4.4 Tabla 8. Comparativa de estudios de medición de niveles de ruido con smartphones sin la utilización de sonómetros profesionales.

N°	Nombre	Smartphones	Aplicaciones	Area de estudio	Condiciones ambientales y de entorno	Otros elementos	Rango dB(A)	Precisión dB(A) o %	Nivel Conocimientos	Nivel Recursos	
										Hardware	Software Humanos
1	NoizCrowd: A Crowd-Based Data Gathering and Management System for Noise Level Data (Wisniewski, Demartini, Malatras y Cudré-Mauroux, 2013)	3 smartphones: modelos no especificados	NoizCrowd(iOS)	- Medio ambiente controlado - Campo de beisbol	Se tomaron en cuenta condiciones meteorológicas incluyendo efectos del viento y la temperatura ambiente	- SciDB - Google Map API	45-65	4 - 6	Bajo	Bajo	Bajo

2	DDNM: Monitoring Environment Noise using Smart Phones (Yao, Yang, Zhang, Hu y Liang, 2013)	- HTC G18 8G - HuaWei C8812E 4G	DDMN (Android 4.0 - Android 4.2)	- Campus Norte University of Geosciences (231,3 Km²) - Carretera 'Lu Mo' 1.4 Km 8 sitios incluyendo un supermercado, acceso a un colegio, intersecciones y una estación de bus	- Las mediciones en el campus se realizaron un lunes al medio día justo después de las actividades académicas - Para las mediciones en la carretera se seleccionaron dos intervalos de tiempo : 6:00-7:00 am y 13:00-14:00 pm	- Visual C++ 6.0 - SQL Server 2008 - SQLite	30-80	No evaluada	Bajo	Medio	Medio
3	Creating Noise Pollution Maps Based on User-generated Noise Data (Schulz, Janssen, Karolus y Schweizer, 2013)	No especificado	MINI (Mashup for Identifying Noisy Infrastructure)	Caminos y autopistas	Se tomaron en cuenta condiciones como duración del amanecer, cantidad de precipitaciones y temperatura	LinkedGeoData OpenStreetMap	40 - 120	80.80%	Bajo	Bajo	Bajo

4	Methods for sensing urban noise (Liu ,Zheng, Liu, Liu y Zhu, 2014)	Samsung GALAXY Note I	Aplicación Android no especificada	Calles de Manhattan - New York	Se tomó en cuenta el: - Horario del día de las mediciones - Localizaciones con mayor número de quejas sobre ruido	ArcMap 10.2	55-85	No evaluada	Bajo	Bajo	Alto
5	A comparative study on VGI and professional noise data (Garcia-Marti, Torres-Sospedra, Rodriguez Pupo y Huerta, 2014)	- LG Nexus 4 - HTC One - HTC Wildfire S - Samsung Galaxy S4 - Samsung Galaxy S3 - Samsung Galaxy S2 - Samsung Galaxy Ace 2 - Sony Xperia S - Celkon A27	NoiseBattle	Campus Universidad de Jaume I (Grupo GEOTEC)	No se tomaron en cuenta condiciones climáticas, efectos de 'screening'	ArcMap 10.2	50-65	6 - 14	Bajo	Bajo	Medio

5. Conclusiones.

Este trabajo se ha enfocado en métodos de calibración para aplicaciones de medición de ruido.

Se ha realizado la documentación de métodos de calibración de aplicaciones en smartphones para monitoreo del ruido, evaluándolos además de una manera cualitativa.

Se puede concluir que en los últimos tiempos se han realizado estudios satisfactorios de niveles de ruido utilizando smartphones alcanzando una precisión aceptable tratándose de dispositivos que no han sido diseñados específicamente para este propósito. Sin embargo si se trata de monitoreos rápidos y exploratorios que puedan ayudar a evaluar los niveles de ruido, es posible reemplazar equipos costosos de medición por smartphones que poseen valores accesibles para cualquier usuario.

De la revisión realizada se puede observar que existen algunos métodos de calibración que necesitan un mayor nivel de conocimientos mientras tanto otros simplemente siguen lo que podría llamarse una “receta de calibración”. En la mayoría de estudios se analiza el nivel de correlación existente entre los valores medidos con la aplicación y los valores obtenidos con el equipo profesional aunque existen también otros trabajos en donde se realiza una calibración colaborativa (Xiao, et al., 2012) o también la realizada en el 2013 donde se presenta el diseño, implementación y resultados de pruebas preliminares de un DDMN (Day Day Noise Monitor) basado en smartphones y la participación del público desarrollado en una plataforma abierta (Yao, Yang, Zhang, Hu, Liang, 2013).

De los estudios revisados se puede también observar que la calidad de las mediciones de ruido realizadas con aplicaciones móviles depende no solo del software y hardware de los dispositivos empleados sino también de factores de entorno y medioambientales, entrenamiento de los usuarios que usan las aplicaciones y por supuesto en la cantidad y la variabilidad de las muestras realizadas in situ.

6. Recomendaciones.

Para facilitar las recomendaciones nos referiremos a los métodos por su N° dentro de la tabla comparativa.

6.1 Recomendaciones para métodos que utilizan sonómetros.

De acuerdo al entorno en que nos encontremos, el medio donde queramos desarrollar un monitoreo de ruido, la precisión deseada y las características ambientales presentes sería muy difícil recomendar un solo método, sin embargo de acuerdo a nuestra tabla el método más apropiado sería el del estudio N° 5 pues representa niveles medios en las 3 categorías de los criterios o parámetros de selección y además se obtiene una gran precisión en las mediciones:

6.1.1. Recomendación según Nivel de conocimientos.

Como se puede observar en la tabla existen algunos estudios cuyo nivel del conocimiento necesario es Bajo sin embargo sería factible elegir además alguno que tenga una precisión aceptable. Siguiendo este criterio de selección se podría elegir entre los métodos realizados en los estudios N° 7 y N° 8.

6.1.2. Recomendaciones según Nivel de Recursos (Hardware y Software).

Indudablemente el estudio que realiza el menor gasto de recursos de hardware y software es el N° 6 pues inclusive para la generación de señales de prueba se utilizan generadores de tonos on-line. Aunque este método es muy económico a la vez no es tan preciso. Podría más bien elegirse un método que represente un gasto intermedio pero que proporcione resultados más precisos que uno económico. De los estudios revisados los mismos podrían ser N° 2, N°3 o N° 5.

6.1.3. Recomendaciones según Nivel de recursos Humanos.

En realidad es muy complicado recomendar un estudio optimo en cuanto a recursos humanos pues depende de la superficie total que queramos estudiar, tiempo disponible para la realización de las mediciones, medios de incentivo que recibe la gente que realiza las mediciones, etc. En muchos de los artículos revisados se dice el número exacto de participantes que intervinieron mientras en otros no se lo menciona sin embargo hemos asignado un valor de acuerdo al equipo de hardware y software que necesita el estudio para según eso asignar un número de personal aproximado que puedan manipular estos instrumentos de medición. De acuerdo a esto se podría elegir entre los estudios N° 2, N° 3, N° 6 o N°8.

6.2 Recomendaciones para métodos que no utilizan sonómetros.

6.2.1 Recomendación según Nivel de conocimientos.

Se podría elegir cualquiera de los métodos en los 5 estudios revisados ya que en ninguno de ellos se necesitan poseer conocimientos avanzados

6.2.2 Recomendación según Nivel de Recursos (Hardware y Software).

En cuanto al nivel de recursos en realidad ninguno de los estudios revisados requirió una alta inversión en cuanto a equipos pero recomendando el N° 3 que utiliza un entorno web accesible en cualquier lugar, además el sistema ofrece la opción de descargar datos mediante redes WIFI sin la utilización de recursos de red propios de los smartphones como la utilización de la red 3G.

6.2.3 Recomendación según Nivel de Recursos Humanos.

Según el criterio de personal necesario se podría elegir cualquiera de los métodos ya que todos los participantes fueron voluntarios o se utilizaron conjuntos de datos ya recogidos en estudios anteriores, sin embargo los estudios donde se pudo observar que no se necesita un alto nivel de recursos humanos fueron el N°1 y el N° 3.

6.3 Recomendaciones para obtener mediciones de calidad

A parte de las recomendaciones anteriores he realizado un compendio de recomendaciones generales a partir de todos los estudios revisados. Estas recomendaciones están enfocadas sobre todo para usuarios inexpertos y que no poseen instrumentos profesionales de medición acústica.

6.3.1 Entrenamiento.

Se podrían disponer de aplicaciones consideradas muy precisas ya evaluadas en estudios anteriores pero si los usuarios implicados en las mediciones no están familiarizados con la aplicación y menos con la calibración del mismo difícilmente obtendremos mediciones de calidad. Por eso es importante proveer al usuario de información suficiente para que pueda ser un colaborador eficiente dentro de un estudio de niveles de ruido o simplemente quiera conocer más acerca de su entorno pero con un buen nivel de precisión. Normalmente los usuarios no conocen que las aplicaciones para medición de niveles de ruido que poseen solo vinieron con una calibración de fábrica probada para tan solo un pequeño grupo de modelos de smartphones.

6.3.2 Elegir smartphones con características de sus micrófonos detallados.

Si bien en la mayoría de teléfonos la única manera de conocer el fabricante y características de su micrófono interno es desmontando el mismo, existen otros donde si se detallan las mismas. Ya que la calidad del micrófono es imprescindible en estos casos, ganaríamos mucho si supiéramos las propiedades exactas del mismo.

6.3.3 Elegir smartphones con hardware similares.

Esta recomendación se da por cuanto la mayoría de teléfonos sobre todo los que utilizan Android poseen micrófonos internos elaborados por diversos fabricantes motivo por el cual modelos de teléfonos similares podrían obtener mediciones muy poco parecidas. No pasa lo mismo con teléfonos de Apple ya que normalmente en la mayoría de los casos todos sus micrófonos internos son elaborados por el mismo fabricante. Esto se evidencia también en que gran parte de los estudios aquí revisados sobre aplicaciones para medición de niveles de ruido que utilizaron un iPhone o un iPad obtuvieron mediciones más cercanas a

las obtenidas con un sonómetro profesional que aquellas instaladas en dispositivos que utilizaban Android.

6.3.4 Características medioambientales.

Es evidente que para lograr mediciones que no sean sesgadas se deben elegir siempre condiciones climáticas que no sean extremas como pueden ser lluvias fuertes, vientos huracanados o inclusive condiciones de alta humedad que pueden interferir con las características electroestáticas de algunos micrófonos pertenecientes a smartphones

6.3.5 Rango de decibeles y Frecuencias Bajas.

En la mayoría de estudios se puede ver que existen algunas distorsiones cuando se miden niveles de ruido menores a 30dB(A) y valores que rondan los 100 dB(A), esto es debido a una protección intrínseca existente en los teléfonos que supuestamente van en beneficio de precautelar el hardware de los mismos. También podemos observar complicaciones al evaluar niveles de ruido que poseen una baja frecuencia. Recomendamos tener cuidado al evaluar niveles de ruido que contengan una de la características antes mencionadas, aunque en realidad esto no debería traernos problemas pues para realizar estudios de niveles de ruido normalmente se evalúan niveles de ruido molestos, normalmente con niveles de frecuencia altos.

6.3.6 Precisión de los datos.

En la mayoría de estudios revisados se compensaba la imprecisión de las aplicaciones con un mayor número de muestras tomadas en la misma ubicación. Para lograr esto debemos tener rutas preestablecidas para que en el caso que un usuario realiza mal una medición el siguiente compense el error producido en la misma. De la misma manera en los estudios realizados se pudo observar que con un mayor número de muestras se obtienen mejores resultados inclusive si la aplicación móvil de monitoreo de ruido no es considerada muy precisa.

6.3.7 Características del entorno.

No solo las características medioambientales influyen en una correcta toma de datos de niveles de ruido. Existen otras características que también pueden influir como el material del que está hecho el piso y el techo donde se realizan las mediciones, presencia de vehículos, motos, camiones, personas conversando alrededor, ruido producido por sistemas de enfriamiento o climatización. Lo que se recomienda hacer si no se poseen cuartos anecoicos o reverberantes, es decir cuando no se poseen los recursos para obtener entornos controlados se deben buscar locaciones con niveles de ruido constantes como es el caso de una pileta. Se deben elegir lugares donde normalmente no haya cambios intempestivos ascendentes o descendentes en los niveles de ruido.

6.3.8 Modelos de teléfonos actuales.

No necesariamente poseer teléfonos de cuarta generación nos asegura la obtención de mediciones de alta calidad como podemos revisar en la tabla de resultados. Inclusive algunos modelos nuevos de teléfonos no pueden detectar sonidos a ciertos niveles bajos de frecuencias como si lo hacían ejemplares anteriores. Esto puede ser debido a que los nuevos teléfonos móviles agregan filtros en la entrada de audio para mejorar la calidad de las conversaciones, también puede deberse a cambios en el proveedor del micrófono de los teléfonos o por cambios producidos en el sistema operativo de los teléfonos.

En futuras investigaciones podrían realizarse evaluaciones cuantitativas por ejemplo de la precisión de los métodos de calibración aquí mencionados, sobre todo de aquellos que no implican un alto costo de desarrollo.

También podría llevarse a cabo una comparativa respecto al esfuerzo necesario, es decir el tiempo que les tomó a las personas que intervinieron en los estudios realizar las mediciones ya que en nuestro trabajo se revisó solo el total aproximado de personal que fue necesario

REFERENCIAS.

- American National Standards Institute, Inc. 1997, *Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index, ANSI S3.5-1997*, American National Standards Institute, Inc
- ANSI. 1983. ANSI S1.4-1983. *American national standard specifications for sound level meters*.
- ANSI. 2007a. ANSI S1.25-1991. *Specifications for Personal Noise Dosimeters*.
- ANSI. 2007b. ANSI S1.43-1997. *American national standard specifications for integrating averaging sound level meters*.
- Becker M, Caminiti S, Fiorella D, Francis L, Gravino P, et al. . (2013). *Awareness and Learning in Participatory Noise Sensing*. PLoS ONE 8(12): e81638. Recuperado en Agosto 2, 2014 DOI:10.1371/journal.pone.0081638
- Brown, R. y Evans L. (2011). *Acoustics and the smartphone*. Paper presentado en Proceedings of ACOUSTICS 2011, Gold Coast, Australia. Recuperado en Agosto 26, 2014 de http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/AAS2011/papers/p106.pdf
- Campbell, A.; Choudhury, T. (2012), *From Smart to Cognitive Phones, Pervasive Computing, IEEE*, Recuperado en Agosto 16, 2014 DOI: 10.1109/MPRV.2012.41
- Campbell A., Eisenman S., Lane N., Miluzzo E. y Peterson R. (2006). *People - centric urban sensing*. En 2nd annual international workshop on Wireless internet (WICON '06). ACM, New York, NY, USA, Article 18. DOI=10.1145/1234161.1234179 Recuperado en Agosto 15, 2014 de <http://doi.acm.org/10.1145/1234161.1234179>

Dumoulin, Romain (2014). *On the use of mobile phones and wearable microphones for noise exposure measurements: calibration and measurement accuracy*. Recuperado en Agosto 26, 2014 de http://espaceetsmtl.ca/1320/1/DUMOULIN_Romain-web.pdf

Efstratiou, C. (2012). *Mobile Phone Sensing*. Recuperado en Agosto 15, 2014, de <http://www.cl.cam.ac.uk/teaching//1112/MobSensSys/mobile-lecture8.pdf>

Estrin D. (2010). *Participatory sensing: applications and architecture*. En 8th international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '10). ACM, New York, NY, USA, 3-4.
DOI=10.1145/1814433.1814435 Recuperado en Agosto 22, 2014 de <http://doi.acm.org/10.1145/1814433.1814435>

Faberacoustical.2013.*Pagina web de Sound Meter*. Recuperado en Septiembre 12, 2014 de http://www.faberacoustical.com/ios_apps/soundmeter/

Faber Acoustical LLC n.d., *iPhone Microphone Frequency Response Comparison*, Recuperado en Junio 29, 2011 de <http://blog.faberacoustical.com/2009/iPhone/iPhonemicrophone-frequency-response-comparison/>

Garcia-Marti I., Torres-Sospedra J., Rodriguez Pupo L. y Huerta J. (2014). *A comparative study on VGI and professional noise data*. En AGILE'2014 International Conference on Geographic Information Science, Castellón, June, 3-6, 2014. Recuperado en Septiembre 22, 2014 de http://www.agileonline.org/Conference_Paper/cds/agile_2014/agile2014_107.pdf

IEC. 2002. " IEC 61672-1 - Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications ".

IEC. 2003. " IEC 61672- Electroacoustics - Sound level meters - Part 2 Pattern evaluation tests ".

Kardous C. y Shaw P.*Evaluation of smartphone sound measurement applications*.(2014). The Journal of the Acoustical Society of America, 135, EL186-EL192 (2014). Recuperado en Septiembre 3, 2014
DOI:<http://dx.doi.org/10.1121/1.4865269>

- Keene K., Merovitz A. , Irvine E., Manji N., Everett M., Chung I., Moodie S., Scollie S., Gamble A., Zimmo S., Morrison C. y Chan B. (2013). *Accuracy of Smartphone Sound Level Meter Application*. Recuperado en Agosto 22, 2014 de <http://connection.ebscohost.com/c/articles/93733934/accuracy-smartphone-sound-level-meter-applications>
- Liu, T., Zheng, Y., Liu, L., Liu, Y., & Zhu, Y. (2014). *Methods for Sensing Urban Noises*. Recuperado en Agosto 12, 2014, de [http://research.microsoft.com/pubs/217238/Sensing urban noise - MSRTR.pdf](http://research.microsoft.com/pubs/217238/Sensing%20urban%20noise%20-%20MSRTR.pdf)
- Liu, L., and Zhu, Y., iCal: Intervention-free calibration for measuring noise with smartphones. Submitted to Globecom 2014. Recuperado en Septiembre 10, 2014
- Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M., & Steels, L. (2009). *NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones*. In I. Athanasiadis, A. Rizzoli, P. Mitkas, & J. Gómez (Eds.), *Information Technologies in Environmental Engineering* (pp. 215–228). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado en Agosto 16, 2014 de http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7_16
- Maisonneuve, N., Stevens, M., Ochab, B. (2010): *Participatory noise pollution monitoring using mobile phones*. Recuperado en Julio 20, 2014 de <http://iospress.metapress.com/content/j1703l0248u8n816/>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. (1992). Agenda 21. Recuperado en Julio 12, 2014 de <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- Pődör A. y Révész A. (2014). *Noise map: professional versus crowdsourced data*. En AGILE'2014 Internacional Conference on Geographic Information Science, Castellon, Junio, 3-6. Recuperado en Agosto 22, 2014 de <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/99088>

- Rana, R., Chou, C. T., Bulusu, N., Kanhere, S., & Hu, W. (2013). *Ear-Phone: A context aware noise mapping using smart phones*. Pervasive and Mobile Computing. Recuperado en Agosto 14, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.02.001>
- Santini S., Ostermaier B. y Adelman R. (2009). *On the use of sensor nodes and mobile phones for the assessment of noise pollution levels in urban environments*. En 6th international conference on Networked sensing systems (INSS'09), Raj Rajkumar and Hide Tokuda (Eds.). IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 31-38. Recuperado en Agosto 28, 2014 de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=180234> 7
- Schulz A., Janssen F, Karolus J y Schweizer I. (2013). *Creating Noise Pollution Maps Based on User-generated Noise Data*. Recuperado en Septiembre 12, 2014 de http://aimashup.org/aimashup2013/lib/exe/fetch.php?media=schulz_et_al_-_creating_noise_pollution_maps_based_on_user-generated_noise_data.pdf
- Stevens, M. (2012). *Community memories for sustainable societies. The case of environmental noise*. Recuperado en Agosto 28, 2014 de <http://brussense.be/phd-matthias/Thesis-final.pdf>
- Studiosixdigital. (2013). *Type 1 & 2 Certification* . Recuperado en Julio 23, 2014 de http://studiosixdigital.com/iphone_hardware/type-1--2-certification.html
- Studio Six Digital, n.d., iPhone Hardware Recuperado en Agosto 12, 2014 de http://www.studiosixdigital.com/iPhone_hardware.html
- Weber, D. (2013). *30 iPad Sound Measurement Apps Reviewed*. Recuperado en Agosto 25, 2014 de <http://www.safetyawakenings.com/safety-app-of-the-week-42/>
- Wisniewski M., Demartini G., Malatras A. y Cudré-Mauroux P. (2013). *NoizCrowd: A Crowd-Based Data Gathering and Management System for Noise Level Data*. En 10th International Conference, MobiWIS 2013, Paphos, Cyprus, Agosto 26-29. Recuperado en Agosto 2, 2014.
DOI: 10.1007/978-3-642-40276-0_14

Yao H., Yang G., Zhang C., Hu C, Liang Q. (2013). *DDNM: Monitoring Environment Noise using Smart Phones*. En 2013 IEEE 7th International Symposium on Embedded Multicore/Manycore System-on-Chip. Recuperado en Agosto 25 http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6657926&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fexpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6657926

Xiao X, Sheng , Tang J. y Xue G. (2012). *Sensing as a service: A cloud computing system for mobile phone sensing*. En 11th IEEE SENSORS 2012 Conference, Octubre 28, 2012 - October 31, 2012, Taipei, Taiwan. Recuperado en Julio 28, 2014 de <http://surface.syr.edu/eecs/244/>

Oficio Nro. 060-2014-DIST-UDA

Cuenca, 13 de Junio de 2014

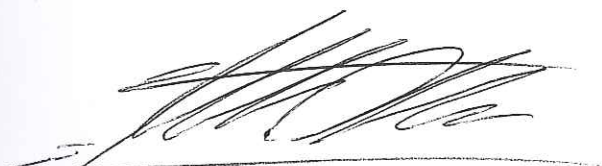
Señor Ingeniero
Xavier Ortega Vázquez
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN
Presente.-

De nuestras consideraciones:

La Junta Académica de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática, reunida el día 13 de Junio del 2014, recibió el proyecto de monografía titulado "Revisión literaria y comparación cualitativa de métodos de calibración para aplicaciones de medición de ruido para smartphones", presentada por el estudiante David Campoverde, estudiante de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y revisado por Daniela Ballari(PhD), previo a la obtención del título de Ingeniero de Sistemas.

La Junta solicita por su digno intermedio notificar al tribunal designado y determinar lugar, fecha y hora de sustentación.

Por lo expuesto, y de conformidad con el Reglamento de Graduación de la Facultad, recomienda como director y responsable de aplicar cualquier modificación al diseño del trabajo de graduación posterior al Ing. Daniela Ballari (docente del curso de graduación) y como miembro del Tribunal al Ing. Leopoldo Vazquez.



Atentamente,

Ing. Marcos Orellana Cordero
Director Escuela de Ingeniería de Sistemas y Telemática
Universidad del Azuay

CONVOCATORIA

Por disposición de la Junta Académica de Ingeniería de Sistemas, se convoca a los Miembros del Tribunal Examinador, a la sustentación del Protocolo del Trabajo de Titulación "REVISION LITERARIA Y COMPARACION CUALITATIVA DE METODOS DE CALIBRACION PARA LA APLICACIÓN DE MEDICIÓN DE RUIDO PARA SMARTPHONES, presentado por el estudiante David Gerardo Campoverde Inga código 38216, previa a la obtención del grado de Ingeniero de Sistemas, para el día VIERNES 20 DE JUNIO DE 2014, A LAS 08H00.

Cuenca, 16 de junio de 2014



Dra. Jenny Ríos Coello
Secretaria de la Facultad

Ing. Daniela Ballari

comunicado

.....

Ing. Leopoldo Vásquez



.....

comunicado.

Sustentación del Diseño de Monografía (Doctora Jenny Ríos Coello)

Fecha: 16-06-2014

ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS

Diseños de Monografía

Escuela de Sistemas

Estudiante: David Campoverde con código 38216.

Tema: "REVISION LITERARIA Y COMPARACION CUALITATIVA DE METODOS DE CALIBRACION PARA APLICACIONES DE MEDICION DE RUIDO PARA SMARTPHONES"

Para: La obtención del título de Ingeniero en Sistemas

Director: Phd. Daniela Ballari.

Tribunal: Ing. Leopoldo Vásquez.

DIA:

VIERNES

FECHA:

20 DE JUNIO /2014.

HORA:

08h00.



ACTA

SUSTENTACIÓN DE PROTOCOLO/DENUNCIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Nombre del estudiante: Sr. David Gerardo Campoverde Inga

1.1.1 Código 38216

1.2 Director sugerido: Ing. Daniela Elisabet Ballari

1.3 Codirector (opcional): _____

1.4 Tribunal: Ing. Leopoldo Vásquez Rodríguez

1.5 Título propuesto: "Revisión ^{Letaria} y Comparación Cualitativa de Métodos de Calibración para la Aplicación de Medición de Ruido para Smartphones"

1.6 Resolución:

1.6.1 Aceptado sin modificaciones ☒

1.6.2 Aceptado con las siguientes modificaciones:

- Responsable de dar seguimiento a las modificaciones: Ing. Daniela Elisabet Ballari.

1.6.3 No aceptado

- Justificación:

Tribunal

Ing. Daniela Elisabet Ballari

Sr. David Gerardo Campoverde Inga

Ing. Leopoldo Vásquez Rodríguez

Dra. Jenny Ríos Coello
Secretario de Facultad

Fecha de sustentación: viernes 20 de junio de 2014



RÚBRICA PARA LA EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Nombre del estudiante: David Gerardo Campoverde Inga

1.1.1 Código 38216

1.2 Director sugerido: Ing. Daniela Elisabet Ballari

1.3 Codirector (opcional):

1.4 Título propuesto: "Revisión Literaria y Comparación Cualitativa de Métodos de Calibración para la Aplicación de Medición de Ruido para Smartphones"

1.5 Revisores (tribunal): Ing. Leopoldo Vásquez Rodríguez

1.6 Recomendaciones generales de la revisión:

	Cumple totalmente	Cumple parcialmente	No cumple	Observaciones (*)
Línea de investigación				
1. ¿El contenido se enmarca en la línea de investigación seleccionada?	✓			
Título Propuesto				
2. ¿Es informativo?	✓			
3. ¿Es conciso?	✓			
Estado del arte				
4. ¿Identifica claramente el contexto histórico, científico, global y regional del tema del trabajo?	✓			
5. ¿Describe la teoría en la que se enmarca el trabajo	✓			
6. ¿Describe los trabajos relacionados más relevantes?	✓			
7. ¿Utiliza citas bibliográficas?	✓			
Problemática y/o pregunta de investigación				
8. ¿Presenta una descripción precisa y clara?	✓			
9. ¿Tiene relevancia profesional y social?	✓			
Hipótesis (opcional)				
10. ¿Se expresa de forma clara?				No aplica
11. ¿Es factible de verificación?				
Objetivo general				
12. ¿Concuerda con el problema formulado?	✓			
13. ¿Se encuentra redactado en tiempo verbal infinitivo?	✓			
Objetivos específicos				

14. ¿Concuerdan con el objetivo general?	✓			
15. ¿Son comprobables cualitativa o cuantitativamente?	✓			cualitativa mente
Metodología				
16. ¿Se encuentran disponibles los datos y materiales mencionados?	✓			Artículos
17. ¿Las actividades se presentan siguiendo una secuencia lógica?	✓			
18. ¿Las actividades permitirán la consecución de los objetivos específicos planteados?	✓			
19. ¿Los datos, materiales y actividades mencionadas son adecuados para resolver el problema formulado?	✓			
Resultados esperados				
20. ¿Son relevantes para resolver o contribuir con el problema formulado?	✓			
21. ¿Concuerdan con los objetivos específicos?	✓			
22. ¿Se detalla la forma de presentación de los resultados?	✓			
23. ¿Los resultados esperados son consecuencia, en todos los casos, de las actividades mencionadas?	✓			
Supuestos y riesgos				
24. ¿Se mencionan los supuestos y riesgos más relevantes?	✓			
25. ¿Es conveniente llevar a cabo el trabajo dado los supuestos y riesgos mencionados?	✓			
Presupuesto				
26. ¿El presupuesto es razonable?	✓			
27. ¿Se consideran los rubros más relevantes?	✓			
Cronograma				
28. ¿Los plazos para las actividades son realistas?	✓			
Referencias				
29. ¿Se siguen las recomendaciones de normas internacionales para citar?	✓			En páginas web incluir fecha última acceso.
Expresión escrita				
30. ¿La redacción es clara y fácilmente comprensible?	✓			
31. ¿El texto se encuentra libre de faltas ortográficas?	✓			

(*) Breve justificación, explicación o recomendación.



- Opcional cuando cumple totalmente,
- Obligatorio cuando cumple parcialmente y NO cumple.

.....

.....

.....


Ing. Daniela Elisabet Ballari


Ing. Leopoldo Vázquez Rodríguez

Cuenca, 20 de junio de 2014

Señor

Ing. Xavier Ortega Vásquez

DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACIÓN

Su despacho

De mi consideración:

Yo, David Gerardo Campoverde Inga, con código 38216, estudiante de la carrera de Ingeniería de Sistemas, de la Facultad de Ciencias de la Administración, solicito de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias de la Administración, se me conceda la aprobación de mi diseño de monografía titulada **"REVISIÓN LITERARIA Y COMPARACIÓN CUALITATIVA DE MÉTODOS DE CALIBRACIÓN PARA APLICACIONES DE MEDICIÓN DE RUIDO PARA SMARTPHONES"**

Atentamente,


David Campoverde I.

Código: 38216

DOCTOR ROMEL MACHADO CLAVIJO,
SECRETARIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ADMINISTRACION
DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY,

C E R T I F I C A:

Que, el H, Consejo de Facultad de Ciencias de la Administración en sesión del 27 de junio de 2014, conoció la petición del señor **DAVID GERARDO CAMPOVERDE INGA (38216)**, que denuncia su trabajo de titulación denominado: **"REVISION LITERARIA Y COMPARACION CUALITATIVA DE METODOS DE CALIBRACION PARA LA APLICACIÓN DE MEDICION DE RUIDO PARA SMARTPHONES"**, presentado como requisito previo a la obtención del Grado de Ingeniera de Sistemas. El Consejo acoge el informe de la Junta Académica y aprueba la denuncia. Designa como Director de dicho trabajo a la ingeniera Daniela Ballari y como miembro del Tribunal Examinador al ingeniero Leopoldo Vázquez. De conformidad a las disposiciones reglamentarias el denunciante deberá presentar su trabajo de monografía en un plazo máximo de **TRES MESES** contados a partir de la fecha de aprobación, esto es hasta el 27 de septiembre de 2014.✓

Cuenca, junio 27 de 2014.



1. DATOS GENERALES

1.1 Nombre del estudiante: Campoverde Inga David Gerardo

1.1.1 Código: 38216

1.1.2 Contacto:

Teléfonos:

Convencional: 2880300

Celular: 0987560849

Correo electrónico: dcampoverde7@gmail.com

1.2 Director sugerido: Ballari Daniela (PhD).

1.2.1 Contacto:

Teléfonos:

Convencional: 072837902

Celular: 0981201458

Correo electrónico: daniela.ballari@ucuenca.edu.ec

1.3 Co-director sugerido: (opcional).

1.3.1 Contacto: teléfonos: convencional, celular y correo electrónico.

1.4 Asesor metodológico: (opcional).

1.5 Tribunal designado: (de acuerdo a la normativa interna de cada Facultad).

1.6 Aprobación: fecha de Junta Académica y fecha de Consejo Facultad.

1.7 Línea de Investigación de la carrera:

1.7.1 Código UNESCO:

1203 Informática de computadores

1203.17 Informática: Aplicaciones para dispositivos móviles

1.7.2 Tipo de trabajo:

a) Estudios comparados

b) Investigación formativa

1.8 Área de estudio: Monitoreo de contaminación acústica

1.9 Título propuesto: Revisión literaria y comparación cualitativa de métodos de calibración para aplicaciones de medición de ruido para smartphones.

1.10 Subtítulo: Ninguno

1.11 Estado del proyecto: nuevo, multidisciplinario.

2. CONTENIDO

2.1 Motivación de la investigación:

La participación ciudadana en la toma de decisiones en materia ambiental salió a relucir a partir de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [1]. Sin embargo, la provisión y la producción de la información ambiental, en particular sobre cuestiones tales como la contaminación acústica y la calidad del aire, sigue en manos de las autoridades públicas que recogen los datos y luego lo liberan para el público. Es decir, todavía es necesario impulsar espacios para desarrollar mejores mecanismos que ayuden a los ciudadanos a generar su propia información ambiental. Estos procesos podrían conducir a generar una mayor conciencia sobre el aprendizaje acerca de los problemas ambientales actuales. Además, esto puede servir para fomentar una mayor participación ciudadana en la toma de decisiones en materia ambiental, y en última instancia, estimularlos a tomar medidas para mejorar su propio entorno basado en las nuevas técnicas de observación.

Para lograr esto la mayoría de ciudadanos poseen dispositivos móviles que pueden convertirse en sensores ambientales para la medición de calidad del aire o de contaminación acústica por citar dos de los ejemplos más representativos.

Sin embargo los ciudadanos en la mayoría de casos tienen conocimientos limitados sobre la existencia de estas aplicaciones, los procesos de instalación, y la manera de utilizarlos adecuadamente. Además un requisito indispensable para utilizar adecuadamente estas aplicaciones y obtener mediciones de calidad, es realizar procedimientos de calibración de los sensores. Algunos sensores tienen la capacidad para auto calibrarse dependiendo del modelo de dispositivo donde se instale, un ejemplo de esta última característica es la aplicación NoiseTube[2]. Sin embargo, no todas las aplicaciones móviles para medición de ruido poseen esta característica por lo que se hace necesario implementar métodos o técnicas de calibración para lograr una mejor fiabilidad de los datos tomados. Por ello se considera necesario también dar a conocer al usuario sobre métodos de calibración de los sensores.

2.2 Problemática:

La contaminación acústica es uno de los problemas más crecientes en las ciudades alrededor del mundo especialmente en las áreas urbanas donde el parque automotor y por ende el tráfico aumenta considerablemente cada año provocando ruido ambiental considerable especialmente en zonas donde el flujo de vehículos es constante. Los ciudadanos estamos acostumbrados a solamente recibir información sobre estos factores ambientales que indiscutiblemente afectan nuestra vida pero no somos actores de un cambio positivo para nuestro entorno que mejore nuestra salud y eleve nuestro nivel de vida.

Para lograr esto ventajosamente poseemos en la actualidad dispositivos móviles que pueden actuar como sensores por ejemplo para medición de ruido o contaminación acústica, algunos inclusive van más allá permitiendo compartir nuestros datos obtenidos con otros usuarios y mostrándolos en la web en tiempo real.

Si bien existen muchas aplicaciones como Noise Tube o Noise Meter [3] no todas están calibradas para funcionar en todos los modelos de teléfonos móviles existentes actualmente. Este trabajo se enfocará en revisar y comparar, cualitativamente, en base a literatura, distintos métodos de calibración para que posteriormente puedan ser utilizados por los usuarios que quieran realizar estudios de contaminación acústica donde sea necesario el uso de sonómetros que funcionen en plataformas móviles

2.3. Pregunta de investigación: ¿Cuáles son los métodos o técnicas reportadas en la literatura que pueden ser utilizados para la calibración apropiada de aplicaciones para medición de ruido disponibles para smartphones?

2.4 Resumen:

Este trabajo tiene como objetivo revisar la literatura y comparar cualitativamente diferentes técnicas y métodos de calibración para aplicaciones de medición de ruido disponibles para smartphones. Los métodos a investigar serán los más utilizados y documentados en publicaciones técnico-científicas a nivel regional e internacional. Como resultado se proveerá información para que las personas interesadas puedan evaluar y seleccionar el método que sea más apropiado para smartphones. Los resultados de este trabajo servirán para futuros trabajos donde se utilicen estas aplicaciones ya sea para estudios participativos de contaminación ambiental donde se involucre a la ciudadanía en general o estudios realizados por instituciones especializadas en el tema.

2.5 Estado del Arte y marco teórico:

2.5.1 Mediciones ambientales con smartphones

Los teléfonos de hoy en día no sirven solo para comunicarnos mediante redes sociales, en realidad vienen embebidos con múltiples sensores como un acelerómetro, brújula digital, giroscopio, GPS, micrófono, y por supuesto la cámara.

Comunitariamente estos sensores están permitiendo la aparición de infinidad de aplicaciones en salud, redes sociales, seguridad, medio ambiente, incluyendo aplicaciones para medición de ruido ambiental.

Historia de Plataformas para Monitoreo

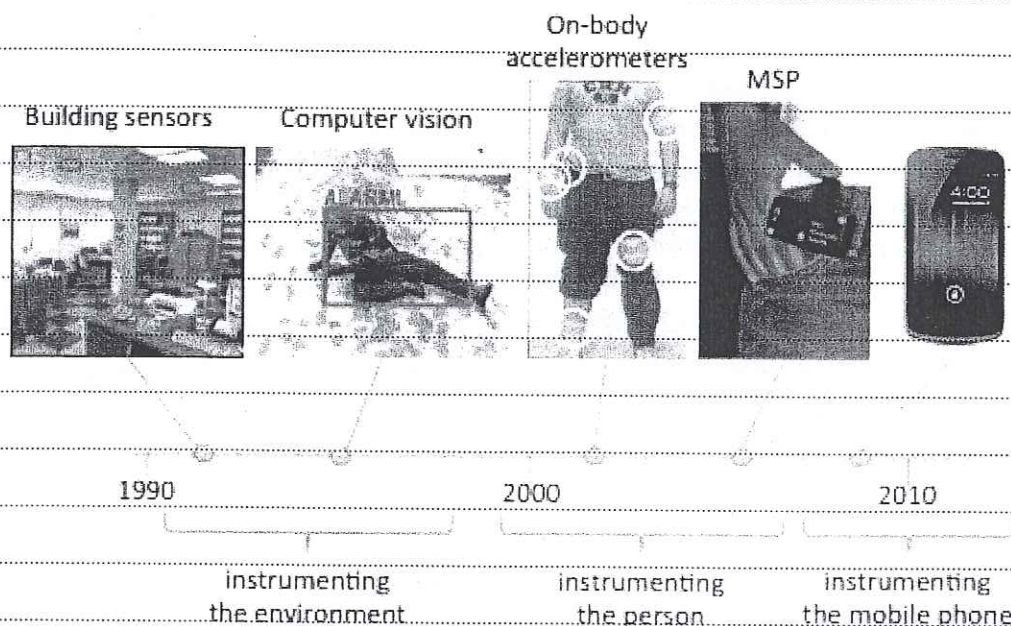


Imagen tomada de [4]

2.5.2 Escalas de monitoreo móvil [4]

Individual: Para aplicaciones de salud, fitness, nutrición o sugerencias de comportamiento por ejemplo al conducir



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY

Grupal: Un grupo de personas se une para lograr un objetivo común por ejemplo para intervenir en la seguridad del barrio o mejorar las actividades de reciclaje que se realizan en el mismo

Comunitaria: Se trata de monitoreos a larga escala donde un gran número de personas tiene instalada la misma aplicación en su smartphone por ejemplo aplicaciones para monitoreo de tráfico, ruido en el ambiente, calidad del aire. Si el participante contribuye activamente a la obtención de los datos se lo conoce como monitoreo participativo pero si en cambio contribuye pasivamente se lo conoce como monitoreo oportunista [5]

La calidad de los datos es un factor vital. Es difícil de lograr mediciones fiables cuando no se pueden controlar los nodos de la red de sensores de manera directa ya que cada sensor involucra un ciudadano diferente. Como resultado, los datos de entrada pueden ser corruptos, lo que requeriría medidas adicionales para determinar una alta calidad de los datos. [6]. Una de estas medidas adicionales para asegurar la calidad de los datos es la calibración de los dispositivos móviles para que las aplicaciones existentes para monitoreo de ruido funcionen de mejor manera y sus mediciones se acerquen más a las obtenidas por un sonómetro profesional.

2.5.3 Metodologías de calibración disponibles

2.5.3.1 Metodología usada en el artículo "Calibration of smartphone-based devices for noise exposure monitoring: methodology, uncertainties of measurement and implementation"[7]

El proceso que sigue este método incluye:

- a) Una linealización a la respuesta de frecuencia
- b) Una corrección del nivel de sonido A-ponderado, que es función de los niveles de ruido C-ponderados menos A-ponderados (C-A)

2.5.3.2 Metodología utilizada en el proceso de calibración incluido en el artículo "Development of Citizen Science Protocols to Measure Sound and Light Levels for Bird Ecology" [8].

- Se utilizó un medidor de nivel de sonido para calibrar las aplicaciones SPL (Sound Pressure Level) [R] de medición y determinar si pueden expresar con exactitud los niveles de ruido en una zona determinada

2.5.3.3 Metodología utilizada en el procedimiento de calibración llevado a cabo por el Ministerio de Salud de Chile en su “Guía para el Mantenimiento y Calibración de la Instrumentación utilizada en la Evaluación de la Exposición a Ruido de los Trabajadores en su Lugar de Trabajo” [9].

En esta guía se recomienda realizar una calibración por un laboratorio especializado garantizando que el sonómetro cumpla los requisitos señalados en las siguientes normas:

- a) IEC 651 – 1979.
- b) IEC 804 – 1985.
- c) UNE-EN 60651 – 1996.
- d) UNE-EN 60804 – 2002.
- e) IEC 61672 – 2002.

2.5.3.4 Metodología utilizada en el documento “Protocolo para medir la Emisión de Ruido generado por fuentes fijas” publicado por la Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín [10].

La calibración de sonómetros en este protocolo debe ser llevada a cabo con calibradores que cumplan con la norma IEC 60942:2003.

Para los sonómetros debe cumplirse con la norma IEC 61672-1:2002, según la clase del sonómetro (clase 1 o clase 2) cada dos años en un laboratorio con trazabilidad a patrones nacionales y/o internacionales

2.5.3.5 Procedimiento para la calibración de sonómetros utilizado en la tesis denominada “Estudio para la Implementación de un Laboratorio Certificado para la Calibración y Validación de Medidores de Gases Combustibles y Tóxicos, Ruido, Luminosidad y Partículas” [11].

Con este método la calibración se realizará de acuerdo a los criterios establecidos en la norma UNE-EN 60.651:1996 y en la norma UNE-EN 60.651/A1:1997.

La calibración consiste en la comprobación de ciertas características eléctricas y ciertas características acústicas. Finalizado esto se realizarán ensayos acústicos con un calibrador acústico ajustando el nivel del sonómetro al valor de referencia del calibrador

2.6 Hipótesis: (opcional)

2.7 Objetivo general:

Comparar cualitativamente, en base a literatura, los distintos métodos y técnicas de calibración que pueden ser utilizados para calibrar sonómetros digitales e identificar cuáles serían los más factibles para aplicarlos a smartphones, con el fin de proveer información que permita a interesados seleccionar cuál es el método más apropiado para su entorno.

2.8 Objetivos específicos:

2.8.1 Revisar la literatura existente de los últimos cinco años sobre calibración de sonómetros digitales

2.8.2 Establecer los elementos o parámetros a comparar en las distintas metodologías o técnicas de calibración

2.8.3 Realizar un estudio comparativo de forma cualitativa de los distintos métodos o técnicas con sus diversas características.

2.8.4 Reconocer las ventajas y desventajas presentes en cada técnica o método de calibración

2.8.5 Elegir la metodología o técnica más apropiada para calibrar aplicaciones móviles para medición de ruido

2.9 Metodología:

Realizar una revisión bibliográfica, es decir revisar la literatura existente de distintos métodos o técnicas de calibración para aplicaciones móviles para medición de ruido o contaminación acústica disponibles para sonómetros digitales y para smartphones utilizadas y/o publicadas en los últimos 5 años

Se procederá a identificar e investigar varios métodos y técnicas de calibración utilizados en los últimos cinco años a nivel internacional. Aquí cabe resaltar que existen normas que han sido creadas anteriormente por ejemplo la IEC-61672 que fue realizada en el 2002 pero que han seguido y se continúa utilizándolas actualmente. Se estudiarán múltiples artículos y revisiones sobre los métodos más utilizados actualmente para la calibración de sonómetros digitales y que puedan ser aplicados con smartphones. Los artículos serán revisados en fuentes académicas indexadas como por ejemplo la página web de la IEEE.

Para registrar las referencias se utilizará la herramienta Zotero [R] para Word en conjunto el complemento de la herramienta disponible para Mozilla Firefox. Se utilizará el formato MLA en todas las referencias investigadas conformando estas en realidad una Webgrafía ya que solo se incluirán referencias que pueden ser encontradas en la web.

De los artículos revisados se identificarán parámetros comunes que permitan realizar un posterior estudio comparativo de tipo cualitativo. Algunos de estos elementos podrían ser: requisitos de infraestructura (laboratorios especializados o cuartos anecoicos), factores medioambientales, conformidad con estándares internacionales, etc.

Luego de establecer los parámetros a comparar se seleccionarán los métodos más utilizados de los cuales se estudiarán sus características. Se realizará un estudio comparativo de tipo cualitativo y se documentarán las ventajas y desventajas de cada método. Finalmente se analizará cual es el método más apropiado para ser utilizado en dispositivos móviles.

2.10 Alcances y resultados esperados:

2.10.1 Documentación de los métodos seleccionados.

2.10.2 Cuadros comparativos de las diferentes características propias de cada método o técnica de calibración utilizada en base a los parámetros de comparación.

2.10.3 Cuadro de ventajas y desventajas de los distintos métodos estudiados.

2.10.4 Recomendación sobre el método o técnica más apropiada para ser aplicado en aplicaciones para medición de ruido para smartphones.

2.11 Supuestos y riesgos:

2.11.1 El número de métodos o técnicas existentes para calibración de sonómetros podría ser demasiado elevado y dado el tiempo de realización de la monografía no podrían ser analizados en su totalidad

2.11.2 Los métodos o técnicas que se aplican a sonómetros digitales difieren en varios aspectos con sonómetros disponibles para dispositivos móviles

2.11.3 Los métodos de calibración más sencillos para usuarios inexpertos podrían implicar una menor calidad en los datos obtenidos

2.11.4 Escasa bibliografía nacional

2.12 Presupuesto:

Rubro-Denominación	Costo USD(detalle)	Justificación ¿para qué?
Gastos de personal	300	Revisión y análisis bibliográfico
Material bibliográfico	100	Compra de artículos
Impresión y empastado	100	Impresión y empastado de la monografía

2.13 Financiamiento: propio

2.14 Esquema tentativo (formato de artículo)

1. Título

2. Resumen

3. Introducción

3.1 La necesidad de la calibración de aplicaciones para medición de ruido con Smartphones(aplicaciones disponibles)

3.2 Limitaciones de los teléfonos móviles para realizar mediciones de ruido

3.3 Importancia de la calibración en los dispositivos móviles

3.4 Objetivo del trabajo

4. Estado del arte: métodos de calibración disponibles

4.1 Metodología 1: nombre de metodología

4.1.1 Descripción de la metodología

4.2 Metodología 2: nombre de metodología

4.2.1 Descripción de la metodología

4.3 Metodología 3: nombre de metodología

4.3.1 Descripción de la metodología

4.4 Metodología 4: nombre de metodología

4.4.1 Descripción de la metodología

4.5 Metodología 5: nombre de metodología

4.5.1 Descripción de la metodología

5. Parámetros de comparación de las distintas metodologías

5.1 Descripción de parámetros a comparar

6. Resultados

6.1 Comparación de los distintos métodos de calibración estudiados.

6.2 Tablas de comparación (según parámetros de comparación)

6.3 Tabla de ventajas de cada método

6.4 Tabla de desventajas de cada método

7. Discusión y conclusiones

7.1 Recomendación del método más apropiado a utilizar en teléfonos móviles

8. Referencias

9. Anexos



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY

2.15 Cronograma:

Objetivo Específico	Actividad	Resultado esperado	Tiempo (semanas)
Revisar la literatura existente de los últimos cinco años sobre calibración de sonómetros digitales	- Investigar las técnicas y métodos últimamente desarrollados para calibrar dispositivos de medición de ruido sobre todo los que han sido utilizados para calibrar sonómetros digitales y smartphones	Resumen de los pasos necesarios para poder realizar los diferentes métodos de calibración investigados	2
Establecer los elementos o parámetros a comparar en las distintas metodologías o técnicas de calibración	- Establecer los parámetros más comunes presentes en los distintos métodos de calibración estudiados	Descripción de parámetros de comparación, específicamente parámetros cualitativos	1
Realizar un estudio comparativo de forma cualitativa de los distintos métodos o técnicas con sus diversas características	- Realizar una tabla comparativa basada en los parámetros hallados en la actividad anterior	Tabla comparativa de parámetros cualitativos	1
Reconocer las ventajas y desventajas presentes en cada técnica o método de calibración	- Encontrar los pros y contras de cada método de acuerdo a parámetros como aspectos medioambientales o si necesita infraestructura adicional por ejemplo un cuarto insonorizado (anecoico)	Tabla de ventajas y desventajas de cada uno de los métodos investigados	1

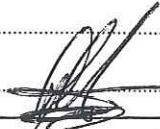
Elegir la metodología o técnica más apropiada para calibrar aplicaciones móviles para medición de ruido	- Escoger en base a la actividad anterior el método o técnica más apropiado a ser utilizado en teléfonos móviles	Nombre del método elegido con justificaciones del porque se eligió	1
Elaborar el documento final	- Escribir el documento de monografía siguiendo la Guía para trabajos de titulación	Documento de texto de la monografía	4

2.16 Referencias:

- [1] Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo,
<http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/369/File/PDF/CentrodeReferencia/Temasdeanálisis2/derechoaunambientesano/documentos/declaracionderio.pdf>, 1992
- [2] Modelos compatibles calibrados para NoiseTube,
<http://noisetube.net/download>, 2014
- [3] Aplicaciones móviles para medición de ruido disponibles para Android
<https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.sira.sound>, 2014
- [4] Dr Christos Efstratiou, "Mobile Phone Sensing",
<http://www.cl.cam.ac.uk/teaching/1112/MobSensSys/mobile-lecture8.pdf>, 2010
- [5] A. T. Campbell et al., "People-Centric Urban Sensing," 2nd ACM WICON, p. 18, <http://sensorlab.cs.dartmouth.edu/pubs/wicon06.pdf>, 2006
- [6] Deborah Estrin, "Participatory sensing: applications and architecture", in Proceedings of MobiSys, 2010.
- [7] Romain Dumoulin, Jeremie Voix, "Calibration of smartphone-based devices for noise exposure monitoring: Method, implementation, and uncertainties of measurement"
- [8] Tatiana Briones, Wendy Chao, Joshua Cox, Thomas Lau, Alizah Mooman, Amy Sen, Isabel Sepkowitz, "Development of Citizen Science Protocols to Measure Sound and Light Levels for Bird Ecology", <http://www.environment.ucla.edu/perch/resources/2013cornelllabofornithologyproject.pdf>, 2013
- [9] Mauricio Sánchez Valenzuela, Juan Carlos Valenzuela Illanes, Hernán Fontecilla García, "Guía para el Mantenimiento y Calibración de la Instrumentación utilizada en la Evaluación de la Exposición a Ruido de los Trabajadores en su Lugar de Trabajo", instituto de Salud Pública de Chile, <http://www.achs.cl/portal/centro-de-noticias/Documents/guia-mantenimientocalibracion-ruido-laboral.pdf>, 2012
- [10] Carlos Alberto Echeverri Londoño, Alice Elizabeth González Fernández, "PROTOCOLO PARA MEDIR LA EMISIÓN DE RUIDO GENERADO POR FUENTES FIJAS", <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v10n18/v10n18a06.pdf>, 2011
- [11] Edisón Guerrero Cevallos, Delia María Fierro Brito, "Estudio para la Implementación de un Laboratorio Certificado para la Calibración y Validación de Medidores de Gases Combustibles y Tóxicos, Ruido, Luminosidad y Partículas", [http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1121/1/94573%20\(Preliminares\).pdf](http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1121/1/94573%20(Preliminares).pdf), 2009

2.17 Anexos

2.18 Firma de responsabilidad (estudiante)


David Campoverde I.

2.19 Firma de responsabilidad (director sugerido)


Daniela Ballari (PhD)

2.20 Fecha de entrega:

RECIBIDO 20 JUL 2011