



SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DEL
RUIDO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL**

AUTOR:

Guamán Satán Edwin Francisco

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
Magister en Telecomunicaciones**

TUTOR:

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 12 de marzo del 2019



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Guamán Satán Edwin Francisco como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

MSc. Manuel Romero Paz

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, 12 de marzo del 2019



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO,
Guamán Satán Edwin Francisco
DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación **“Propuesta de diseño de un Sistema para la supervisión del ruido ambiental en la ciudad de Guayaquil”** previa a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 12 de marzo del 2019

EL AUTOR

Guamán Satán Edwin Francisco



**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

YO, Guamán Satán Edwin Francisco

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Titulación, “**Propuesta de diseño de un sistema para supervisión del ruido ambiental en la ciudad de Guayaquil**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 12 de marzo del 2019

EL AUTOR

Guamán Satán Edwin Francisco

REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND web interface. The top navigation bar includes the URKUND logo and the user name 'Orlando Philco Asqui (orlando.philco)'. The main content area is divided into two sections: 'Documento' and 'Lista de fuentes'. The 'Documento' section provides the following information:

- Documento:** Sistema para la supervisión del ruido ambiental en la ciudad de Guayaquil 22-10-2018 (2).docx (D46817239)
- Presentado:** 2019-02-25 11:12 (-6:00)
- Presentado por:** orlandophilco_7@hotmail.com
- Recibido:** orlando.philco.ucsg@analysis.arkund.com
- Mensaje:** Riv: El archivo [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight indicates that 3% of the 41 pages consist of text present in 2 sources. The 'Lista de fuentes' section displays the following sources:

Porcentaje	Nombre de la fuente
80%	Limites máximos permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas
72%	Tabla 1
100%	terreno dentro del cual se encuentra alojada la fuente a ser evaluada. Se
96%	Uña, M. A. (2007). Protocolos de Vigilancia Sanitaria Específica para Trabajadores E...
	Revisión (Urkund.docx)
	https://www.fcaia.unn.edu.ar/acustica/libro/niveles.htm

The bottom of the interface shows a toolbar with icons for navigation and actions, including a warning icon for '1 Advertencia', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'.

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA SUPERVISIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

AUTOR: Guzmán Satan Edwin Francisco

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR: MSc. Manuel Romero Paz

Guayaquil, a los XX días del mes XX año 2019

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

Dedicatoria

“Arriba esta quien abajo mira”

A mis padres quienes han sido la guía en este camino

A mis hermanos, que comparten mis alegrías,

A los amigos que me han animado a culminar esta labor

A todos Ustedes,

Guamán Satán, Edwin Francisco

Agradecimientos

Agradezco a dios por darme un día más de vida y por haberme permitido llegar a finalizar lo que empecé.

Gracias a dios por la vida de mis seres queridos. A mi madre por haberme apoyado en todo momento y mi padre por sus sabios consejos. A mi hermana Flor y mi hermano Marcelo por ser el ejemplo de hermanos mayores y de la cual aprendí aciertos. A mis amigos que nos apoyamos en nuestra formación y al MSc. Ing. Manuel Romero por toda la colaboración brindada durante la elaboración de esta tesis.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

MSc. Manuel Romero Paz
TUTOR

f. _____

MSc. Manuel Romero Paz
DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. _____

MSc. Orlando Philco Asqui
REVISOR

f. _____

MSc. Luis Cordova Rivadeneira
REVISOR

RESUMEN

El presente trabajo describe la propuesta de diseño de un sistema de supervisión de niveles de ruido ambiental emitidos en diferentes áreas de la ciudad de Guayaquil. Se plantea la estructura del sistema, así como los diversos módulos que lo componen. Se detalla la selección y las características de operación de los componentes que se emplean en cada módulo. Se justifica el empleo del Arduino Mega 2560 como unidad de control y se describe el diseño del *firmware* que garantiza la adquisición y almacenamiento de los niveles de ruido en los puntos de medición, así como la transmisión de los datos a través de la red de datos móviles. Se muestra la interfaz gráfica diseñada para el Centro de procesamiento que permite la visualización de los parámetros acústicos NPS (Nivel de Presión Sonora), L_{Aeq} (Nivel de presión sonora equivalente) y L_{max} (Nivel de presión sonora máxima) y determinar si se incumplen las normas establecidas en el país con relación a la contaminación acústica.

Palabras clave: ruido ambiental, Arduino, NPS, L_{Aeq} y L_{max}

ABSTRACT

The present work describes the proposal of design of a system of supervision of environmental noise levels emitted in different areas of the city of Guayaquil. The structure of the system is considered, as well as the various modules that comprise it. The selection and operating characteristics of the components used in each module are detailed. The use of the Arduino Mega 2560 as a control unit is justified and the design of the firmware that guarantees the acquisition and storage of the noise levels at the measurement points is described, as well as the transmission of the data through the data network mobile. The graphical interface designed for the Processing Center is shown, allowing the visualization of the acoustic parameters NPS (Sound Pressure Level), LAeq (Equivalent Sound Pressure Level) and Lmax (Maximum Sound Pressure Level) and determining if the established norms in the country regarding the acoustic contamination are not complied with.

Keywords: *environmental noise, Arduino, NPS, LAeq y Lmax*

ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
CAPITULO 1 . Descripción del proyecto de intervención.	2
1.1 Justificación del problema a investigar.	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Definición del problema.	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.	4
1.4.2 Objetivos específicos.	4
1.5 Hipótesis.....	5
1.6 Metodología de investigación.	5
CAPITULO 2 . Fundamentación teórica.	7
2.1 Fundamentos del sonido.....	8
2.1.1 Nivel de presión sonora (NPS).....	9
2.1.2 Nivel sonoro con ponderación	10
2.1.3 Potencia sonora	11
2.2 Constitución anatómica y función del oído.....	11
2.3 Consecuencias nocivas del ruido.	14
2.4 Niveles sonoros y respuesta humana.....	16
2.5 El sonómetro.....	17
2.5.1 Funcionamiento del sonómetro.	19
2.6 Disposiciones legales	21
2.6.1 Constitución Política de la República de Ecuador.....	21
2.6.2 Ley de Gestión Ambiental.	23
2.6.3 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental.	23
2.6.4 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. (TULAS).....	24
2.7 Análisis del ruido en la ciudad de Guayaquil.	26
CAPITULO 3 . Herramientas de <i>Hardware</i> y <i>Software</i>	31
3.1 Plataforma Arduino.	31
3.1.1 Ventajas de Arduino.....	32

3.1.2	Placas Arduino	33
3.1.3	Arduino Mega 2560	34
3.2	Reloj de tiempo real.....	40
3.3	Módulo GSM.....	43
3.4	Micrófono	45
3.4.1	Micrófono de condensador.....	45
3.4.2	Directividad de los micrófonos.....	48
3.5	Módulo MicroSD	51
3.5.1	Tarjeta MicroSD.	51
3.6	Entornos de programación.....	53
3.6.1	Programación de Arduino.....	53
3.6.2	Visual Studio 2017	54
CAPITULO 4 . Diseño y validación del sistema para supervisión de ruido ambiental.....		56
4.1	Requerimientos del sistema para la supervisión del ruido ambiental.	56
4.2	Esquema en bloques general del diseño:	57
4.3	Puntos de medición	57
4.3.1	Diseño y desarrollo del <i>hardware</i> de los Puntos de medición.	58
4.3.2	Diseño y desarrollo del <i>software</i> de los Puntos de medición.	64
4.4	Alimentación del circuito	71
4.5	Unidad de procesamiento central	72
4.5.1	Obtención de la curva de calibración del sonómetro.....	75
4.5.2	Descripción de las Interfaces Gráficas	78
4.6	Validación del diseño.....	82
4.7	Análisis económico	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		91
GLOSARIO DE TÉRMINOS		94
ANEXO I		97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Curvas de sonoridad de Fletcher y Munson.	10
Figura 2.2. Curvas de ponderación A, B y C.	11
Figura 2.3. Estructura del oído.	13
Figura 2.4. Diferentes modelos de sonómetros convencionales.....	18
Figura 2.5. Red de ponderación A.	21
Figura 2.6. Calles 6 de Marzo - 9 de Octubre – Malecón Simón Bolívar- Sucre.....	27
Figura 2.7. Aeropuerto Internacional – José Joaquín de Olmedo.....	28
Figura 2.8. Sector de la Bahía.	28
Figura 2.9. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil.....	29
Figura 2.10. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil.....	29
Figura 2.11. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil.....	30
Figura 2.12. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil.....	30
Figura 3.1. Modelos de placas de Arduino.....	34
Figura 3.2. Arduino Mega 2560.....	34
Figura 3.3. Distribución de terminales del Arduino Mega 2560.....	37
Figura 3.4. Bus SPI, un maestro y tres esclavos.	39
Figura 3.5. Reloj de tiempo real DS1307.	41
Figura 3.6. Módulo Tiny RTC I2C.	42
Figura 3.7. Esquema eléctrico del módulo Tiny RTC I2C.	42
Figura 3.8. Módulo GSM SIM900.....	43
Figura 3.9. Diagrama esquemático constructivo de micrófono de condensador.....	46
Figura 3.10. (a) Principio del condensador de micrófono; (b) deformación del diafragma.	47
Figura 3.11. Micrófono de condensador.	47
Figura 3.12. Diagramas directivos, Arriba de izquierda a derecha: Omnidireccional, Bidireccional, Cardioide, Abajo: Hipercardioide, unidireccional.	49
Figura 3.13. Micrófonos comerciales para Arduino.....	49

Figura 3.14.Respuesta en frecuencia del micrófono CMA-4544PF-W.....	50
Figura 3.15.Configuración básica del CMA-4544PF-W.	50
Figura 3.16. Módulo lector de tarjetas MicroSD de Arduino.	51
Figura 3.17. Asignación de terminales de una tarjeta MicroSD.....	52
Figura 3.18.Entorno de programación Arduino.	53
Figura 3.19.Entorno de programación del Visual Studio 2017.	55
Figura 4.1.Eschema en bloques del Sistema para la supervisión del ruido ambiental.	57
Figura 4.2.Diagrama en bloques del hardware de los Puntos de medición.	58
Figura 4.3.Circuito pre amplificador del micrófono.....	62
Figura 4.4.Resultados de la Simulación del amplificador en el dominio del tiempo.....	62
Figura 4.5.Resultados de la Simulación del amplificador en el dominio de la frecuencia.	62
Figura 4.6.Circuito convertidor de señales bipolares a unipolares.....	63
Figura 4.7.Resultados de la Simulación del convertidor de bipolar a unipolar en el dominio del tiempo.	64
Figura 4.8.Algoritmo del software de los Puntos de medición.	65
Figura 4.9.Algoritmo del software de adquisición y digitalización y de las señales de ruido.....	66
Figura 4.10. Sección del código para usar la tensión 5V como referencia.	66
Figura 4.11.Código para poner a trabajar al CAD en modo “free-running”.	67
Figura 4.12.Código de configuración del CAD para establecer una frecuencia de muestreo de 76,8 kHz.	67
Figura 4.13.Almacenamiento en la MicroSD según la fecha de las mediciones.....	68
Figura 4.14.Almacenamiento de las muestras según el horario.	68
Figura 4.15.Sección del código sobre la inicialización del módulo GSM.	69
Figura 4.16.Sección del código que crea y configura el módulo RTC.....	70
Figura 4.17.Batería Power Banks.	71

Figura 4.18. Algoritmo general del software del Centro de procesamiento.....	73
Figura 4.19. Algoritmo del software en Visual Studio 2017 del Centro de procesamiento.	74
Figura 4.20. Sonómetro de referencia y Calibrador CB004, Trípode TR040, Maleta ML040.	76
Figura 4.21. Fuente sonora utilizada para obtener la curva de calibración del prototipo de sonómetro.	76
Figura 4.22. Aproximación logarítmica del nivel ponderado A frente a tensión.	77
Figura 4.23. Interfaz gráfica de la aplicación del Centro de procesamiento.....	78
Figura 4.24. Historial de eventos mostrando una alerta.....	80
Figura 4.25. Agregar Punto de medición.	80
Figura 4.26. Datos para agregar un Punto de medición.	80
Figura 4.27. Abrir fichero.	81
Figura 4.28. Operación del Sistema en el horario nocturno.....	82
Figura 4.29. Pruebas de laboratorio con el hardware (1).....	83
Figura 4.30. Pruebas de laboratorio con el hardware (2).....	83
Figura 4.31. Curvas de tendencia del comportamiento de ambas mediciones en el tiempo.	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.Niveles sonoros y respuesta humana	17
Tabla 2.2.Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo	26
Tabla 3.1.Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560	35
Tabla 3.2.Relación de terminales para la transmisión y recepción serie	38
Tabla 3.3.Principales características de los RTC preseleccionados.....	40
Tabla 3.4.Terminales de la tarjeta MicroSD en modo SD y modo SPI.....	52
Tabla 4.1.Resumen de características del hardware y software de los Puntos de medición.....	70
Tabla 4.2.Muestra de mediciones de campo efectuadas.....	86
Tabla 4.3.Listado de componentes y precio	88

CAPITULO 1 . Descripción del proyecto de intervención.

En el presente capítulo se justificará y delimitará el problema a investigar, se establecerán los objetivos generales y específicos, la hipótesis y la metodología de investigación.

1.1 Justificación del problema a investigar.

Son numerosos los estudios que demuestran la influencia negativa que ocasiona el ruido ambiental en la salud humana, sin embargo, el desarrollo industrial y el alto índice de vehículos presentes en las ciudades modernas en los últimos años ha traído aparejado un incremento significativo de la contaminación acústica.

Dada la problemática se han dictado normativas tanto nacionales como internacionales que regulan las emisiones de este contaminante al medio ambiente.

El sonido es algo consustancial con la vida, nuestro actuar diario nos obliga a vivir en un entorno donde los sonidos se vuelven agresivos para la salud, de manera que se puede considerar al ruido como un importante contaminante que ocasiona serias patologías al ser humano. Debido a lo anteriormente expresado existe un gran número de trabajos dirigidos hacia la prevención de sus efectos nocivos sobre la población expuesta, lo cual precisa de un monitoreo y control continuo que propicien su seguimiento.

Para la realización de un análisis adecuado se necesita disponer de información confiable y efectiva, por lo que contar con un Sistema para la supervisión del ruido ambiental en tiempo real resulta indispensable para

realizar un análisis que permita determinar el grado de contaminación y elaborar predicciones al respecto.

1.2 Antecedentes.

En una exhaustiva investigación realizada en la Facultad de Comunicación Social de la Universidad de Guayaquil por el ingeniero Cristhian Arturo Huertas Martínez tutorado por el Máster en Ciencias Carlos Mora Espinosa se plantea que “Quito, junto con Guayaquil, Río de Janeiro (Brasil) y Lima (Perú) son las ciudades de América del Sur con la mayor cantidad de ruido generado. En esas urbes el ruido promedio es de 100 decibeles. Estos datos fueron proporcionados, en el 2013 por la Fundación Médica contra el Ruido Ambiente-Contaminante (FUNCORAC por sus siglas)” (Huertas, 2015)

En el Congreso Anual de Meteorología y Cambio Climático, realizado en la Universidad San Francisco de Quito, en Cumbayá se hizo referencia además a que la mayoría de las investigaciones nacionales sobre la calidad del aire se han concentrado en la contaminación química, dejando de lado al ruido, que es una fuerte amenaza a la salud física y mental de la población urbana. (Huertas, 2015)

En la ciudad de Guayaquil más del 70% del ruido ambiente es producido por el tráfico vehicular que, mezclado con la voz de vendedores ambulantes, la música que emiten parlantes instalados en negocios y el ruido industrial entre otros, producen altos grados de contaminación acústica.

El Centro de Estudios del Medio Ambiente de la ESPOL determinó que el nivel de ruido alcanza entre 80 y 90 decibeles; y esos parámetros se repiten en puntos de las calles Machala, Rumichaca, 25 de julio y en otras arterias que soportan intenso tráfico vehicular.

La supervisión y control de la contaminación acústica es un proceso complejo y necesario si se desea tomar medidas adecuadas de prevención, construcción y planificación urbana.

El desarrollo tecnológico de los microcontroladores y en especial de los dispositivos de *hardware* libre y código abierto propician el desarrollo de estaciones de monitoreo de bajo costo, distribuidas en una amplia zona, que en tiempo real registren y envíen a un centro rector los datos para su procesamiento y estadística.

1.3 Definición del problema.

Carencia en la ciudad de Guayaquil de un sistema multipunto que permita supervisar en tiempo real el ruido ambiental de acuerdo con las normativas existentes en el país.

1.4 Objetivos.

A continuación, se detallan el objetivo general y los objetivos específicos:

1.4.1 Objetivo General.

Diseñar un sistema de supervisión que permita monitorear y procesar los valores del ruido ambiental en diferentes zonas de la ciudad de Guayaquil basado en la plataforma Arduino Mega 2560 en correspondencia con las normativas existentes.

1.4.2 Objetivos específicos.

1. Describir los fundamentos teóricos del sonido.
2. Describir los efectos nocivos que produce el ruido en el ser humano.
3. Caracterizar los diferentes tipos de sonómetros en cuanto a su principio de funcionamiento.

4. Describir las disposiciones legales dictadas en Ecuador en materia de contaminación acústica.
5. Proponer el diseño de un *hardware* con Arduino Mega 2560 que permita adquirir y digitalizar las señales de ruido ambiental en diferentes puntos de medición.
6. Diseñar la Interfaz gráfica de usuario para un Centro de procesamiento que permita visualizar y numérica y gráficamente las mediciones de ruido, detectando el incumplimiento de las normativas vigentes al respecto.
7. Lograr que el sistema cumpla con las normativas de un sonómetro clase 1.

1.5 Hipótesis.

El diseño de un sistema de supervisión de ruido ambiental multipunto que utiliza la plataforma de *hardware* libre Arduino Mega 2560 permitirá el análisis de la contaminación acústica de diferentes zonas de la ciudad de Guayaquil.

1.6 Metodología de investigación.

El actual trabajo investigativo previo al grado académico de Magister en Telecomunicaciones, es exploratorio y descriptivo. Se dice “**EXPLORATORIO**”, debido a que pretende explorar los principales factores que producen contaminación acústica así como su incidencia negativa en la salud del ser humano. Es “**DESCRIPTIVO**”, puesto que permite analizar, diseñar y evaluar las diferentes tecnologías que se emplean en la implementación de los sistemas de supervisión con vistas a obtener los niveles de ruido ambiente y evaluar su comportamiento de acuerdo a los estándares existentes.

Además, esta investigación es del paradigma “**EMPÍRICO-ANALÍTICO**” con un enfoque “**CUANTITATIVO**” porque se utilizan operaciones matemáticas tanto en el diseño electrónico como en la definición de operaciones del *firmware*. Finalmente el diseño del presente trabajo investigativo es “**EXPERIMENTAL**”, debido a que se alteran las variables de estudio para obtener las mejores características del diseño.

CAPITULO 2 . Fundamentación teórica.

Estrictamente en física se define como sonido a una onda mecánica longitudinal que se propaga a través de un medio elástico normalmente el aire y que es capaz de producir una sensación auditiva. (Carrión, 1998)

Si bien desde el punto de vista exclusivamente físico no hay distinción entre sonido y ruido, ciertos sonidos agradables clasificados generalmente como musicales, pueden convertirse en molestos cuando los niveles de presión sonora que alcanzan son excesivos.

Desde el punto de vista de la contaminación sonora, se define al ruido como todo sonido no deseado. Por tanto, la diferencia entre sonido agradable y sonido molesto depende tanto del nivel de presión sonora como de la respuesta subjetiva. (Boschi & Muñoz, 2005)

A diferencia de otros contaminantes, el ruido no perdura ni se exporta; está localizado, y cesa cuando lo hace el emisor. Pero también es el primero que detecta el ser humano, casi instantáneamente, el que más perturba sin necesidad de acumulación, y el que más directamente afecta al bienestar.

El ruido ambiental es una consecuencia directa del aumento del parque automovilístico de los últimos años y del hecho particular de que las ciudades no habían sido concebidas para soportar esos medios de transporte con calles angostas y pavimentos poco adecuados; de las propias actividades que se desarrollan en las grandes ciudades, tales como la construcción de edificios, la industria, servicios de limpieza y recogida de basuras, sirenas y alarmas, así como las actividades recreativas, entre otras, que en su conjunto llegan a originar lo que se conoce como contaminación acústica urbana.

2.1 Fundamentos del sonido.

Los principales parámetros del sonido son los siguientes:

Frecuencia: Número de vibraciones que tienen lugar en un segundo; así un número alto de ciclos por segundo dará lugar a un tono agudo y un número bajo a un tono grave. Los sonidos audibles tienen una frecuencia comprendida entre 20 y 20 000 Hertz (Hz) o vibraciones por segundo o ciclos por segundo (cps); por encima y por debajo de estas frecuencias están los ultrasonidos y los infrasonidos, respectivamente. (Uña, 2000)

La gran mayoría de los sonidos que se perciben no constan de una sola frecuencia, sino que están constituidos por múltiples frecuencias superpuestas. Incluso cada uno de los sonidos generados por un instrumento musical están formados por más de una frecuencia.

Período: Es el tiempo que una onda tarda en dar una oscilación completa. Se mide en segundos, se representa como "T". (Romero, 2018)

Longitud de onda: Es la distancia entre puntos análogos de dos ondas sucesivas. Se mide en metros y se representa con la letra "λ". (Romero, 2018)

Velocidad del sonido: Depende de las características del medio (masa y elasticidad). Se mide en m/s y se representa con la letra "c". En el aire la velocidad de la propagación del sonido es de 340 m/s". (Romero, 2018)

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda * f \quad (2.1)$$

Presión sonora: Para comprender el concepto de presión sonora es importante entender primero qué es la presión atmosférica. La presión atmosférica es la presión del aire en ausencia de sonido, esta presión en el SI (Sistema Internacional) se mide en Pascales (Pa). Partiendo de lo anterior se define a la presión sonora como la diferencia entre una presión

instantánea debida al sonido y la presión atmosférica y su unidad es el Pa. Sin embargo, la presión sonora por lo general se expresa en valores mucho menores que la presión atmosférica.

El oído humano es sensible a una faja de presiones acústicas de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa a 20 Pa. (Sánchez, 2002)

Los sonidos más intensos que puede soportar el ser humano sin experimentar un dolor auditivo agudo corresponden a unos 20 Pa, mientras que los apenas audibles están cerca de 20 μ Pa. Otra diferencia importante es que la presión atmosférica cambia lentamente, mientras que la presión sonora lo hace muy rápido, alternando entre valores positivos (presión instantánea mayor que la atmosférica) y negativos (presión instantánea menor que la atmosférica).

2.1.1 Nivel de presión sonora (NPS)

El hecho de que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso y la del sonido más débil sea de alrededor de 1 000 000 ha llevado a adoptar la escala logarítmica. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\text{NPS(dB)} = 20 \cdot \text{Log} \frac{P}{P_{\text{ref}}} \quad (2.2)$$

Donde:

Pref: Presión de referencia= 20 μ Pa

P: Presión sonora

La unidad utilizada para expresar el nivel de presión sonora es el decibel, abreviado dB. El nivel de presión sonora de los sonidos audibles varía entre 0 dB y 120 dB. Los sonidos de más de 120 dB pueden causar daños auditivos inmediatos e irreversibles, además de ser dolorosos para la mayoría de las personas. (Kogan, 2004)

Al nivel de presión sonora se le designa también con la letra L (por la palabra inglesa *Level* y la mayoría de los sonómetros profesionales indican el nivel de presión sonora máximo (Lmax) y el nivel de presión sonora mínimo (Lmin).

2.1.2 Nivel sonoro con ponderación

El nivel de presión sonora tiene la ventaja de ser una medida objetiva de la intensidad del sonido, pero tiene la desventaja de no representar con precisión lo que realmente se percibe. Esto se debe a que la sensibilidad del oído depende fuertemente de la frecuencia ya que mientras que un sonido de 1 kHz y 0 dB es audible, es necesario llegar a los 37 dB para poder escuchar un tono de 100 Hz. En la Figura 2.1 se muestra la dependencia de la sensación de sonoridad con la frecuencia. De su análisis se observa que utilizando una red de filtrado (o ponderación de frecuencia) adecuada sería posible medir esa sensación en forma objetiva. Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las medias casi inalteradas.

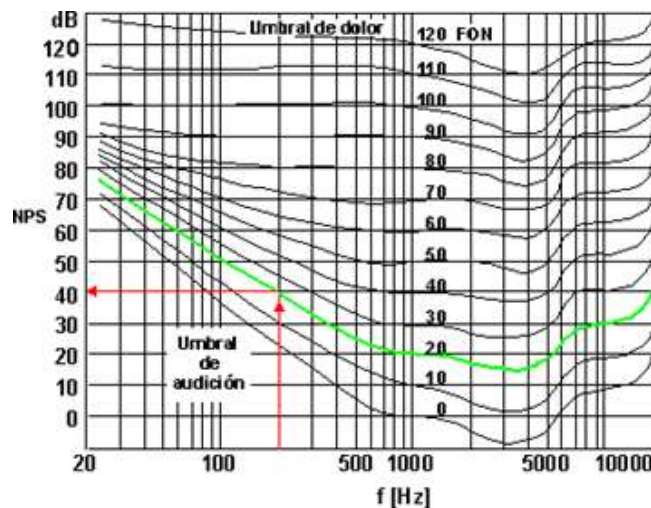


Figura 2.1. Curvas de sonoridad de Fletcher y Munson.

Fuente: (Miyara, 2018)

Basado en lo anterior se definen tres redes de ponderación de frecuencia para la medición del sonido llamadas A, B y C. La red de ponderación A se

aplicaría a los sonidos de bajo nivel, la red B a los de nivel medio y la C a los de nivel elevado (véase Figura 2.2). El resultado de una medición efectuada con la red de ponderación A se expresa en decibeles A, abreviados dBA o algunas veces dB(A), y análogamente para las otras.

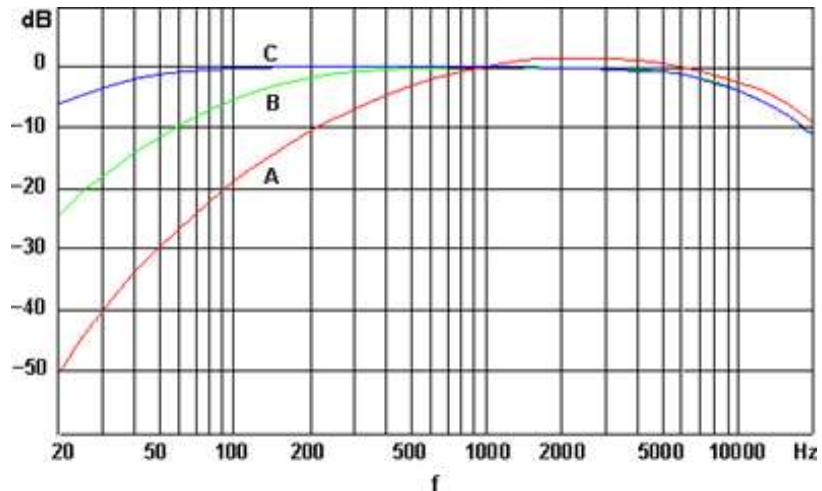


Figura 2.2. Curvas de ponderación A, B y C.

Fuente: (Miyara, 2018)

2.1.3 Potencia sonora

Potencia sonora es la cantidad de energía por unidad de tiempo que radia una fuente sonora, es independiente del entorno. La potencia sonora es un vector, dirigiendo la radiación hacia las 3 direcciones espaciales (x, y, z) y viene expresada en Watts ($1W = 1 J/s = 1 N \cdot m/s$).

2.2 Constitución anatómica y función del oído.

La percepción del sonido se realiza mediante el oído que es un órgano par de compleja estructura que permite el registro de las oscilaciones o vibraciones del aire que se constituyen en ondas sonoras. En cada oído hay que distinguir tres partes: el oído externo y oído medio, que sirven para la transmisión de las vibraciones sonoras y el oído interno que actúa como

receptor de las mismas y alberga un dispositivo que gobierna el equilibrio del cuerpo humano. (véase Figura 2.3).

La función del oído externo es recoger el sonido producido por las vibraciones mecánicas en el aire y pasarlas al oído medio. El oído externo consta de tres partes: la aurícula (mejor conocida como oreja), el canal auditivo y el tímpano, el cual vibra debido a las ondas transportadas por el canal auditivo.

El aire entra en el oído medio por la trompa de Eustaquio la cual conecta la cavidad del oído medio con la faringe y debido a esto, la presión del aire es la misma en ambos lados del tímpano. Hay tres huesos pequeños dentro del oído medio: el martillo, el yunque y el estribo. El martillo está pegado al tímpano. Los tres huesos están unidos y alineados por unos pequeños ligamentos. Las vibraciones de sonido pasan desde el tímpano por cada uno de esos huesos.

El oído interno tiene una estructura que se asemeja a la concha de un caracol, esa estructura es la cóclea que es una cámara ósea que contiene fluido y mecano-receptores para oír. La terminal de la cóclea que está unida al oído medio contiene una ventana cubierta por una membrana contra la que el estribo descansa. Cuando las ondas de sonido hacen vibrar el oído medio, las vibraciones pasan desde el estribo hasta la ventana de la cóclea. La vibración de la ventana, hace vibrar el fluido dentro de la cóclea. (Brinkmann & Friemann)

La vibración del fluido dentro de la cóclea estimula las células mecano-receptores. Los receptores en el extremo de la cóclea, más cercanos al estribo, responden a sonidos de tonos bajos. Cuando los mecano-receptores son estimulados, mandan esos estímulos por el nervio auditivo al encéfalo materializándose la sensación de audición. (Brinkmann & Friemann)

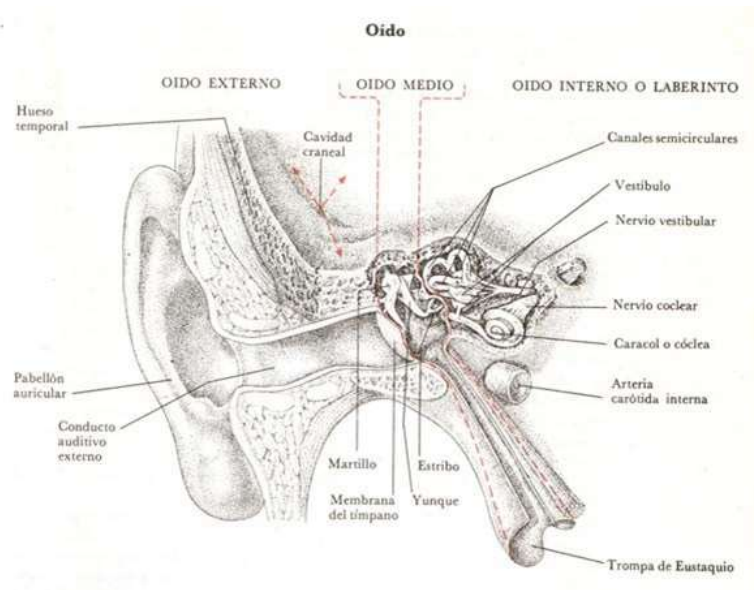


Figura 2.3. Estructura del oído.

Fuente: (Brinkmann & Friemann)

La capacidad auditiva del oído humano está limitada hacia arriba y hacia abajo en relación a la altura de los sonidos o tonos. Una pequeña parte de los tonos más bajos o graves (es decir, los que tienen menor frecuencia) no son percibidos por el hombre, lo mismo que una gran parte de los tonos más agudos. El límite superior disminuye con la edad, independientemente de si hay sordera o no.

En acústica se señala que, junto al tono, el hombre es capaz de apreciar el timbre del sonido, mediante el que, de una manera empírica, identifica la naturaleza del agente que emite el sonido (un violín, una voz). Este timbre depende de los armónicos o sonidos cualitativos secundarios que acompañan al principal, mucho más intenso, y que determinan su tono.

Junto al tono y al timbre, también influye la intensidad del sonido, que depende de la amplitud de las vibraciones. El oído humano es capaz de percibir simultáneamente varios tonos, timbres e intensidades de sonido sin fundirlos en una sola sensación (como ocurre con la mezcla de colores en la visión). Esa es la razón de la inmensa riqueza de este órgano auditivo pero

también esto explica por qué la percepción anárquica de sonidos desordenados y faltos de armonía siempre se asocia con la desagradable sensación de ruido (Bahret, 1992).

2.3 Consecuencias nocivas del ruido.

Las alteraciones psicológicas, la distorsión del sueño, la pérdida de audición y el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias son los principales riesgos que sufren los adultos expuestos a ruido. En los niños las alteraciones del sueño, los procesos respiratorios y la dificultad para el aprendizaje y el lenguaje son los principales problemas.

La magnitud de los efectos del ruido sobre el hombre está en función de sus parámetros físicos (frecuencia, intensidad, duración, etc.) y de las características individuales de cada sujeto. Estos efectos pueden ser: psíquicos, neuro-vegetativos y daños directos. (Colectivo de autores, 2003)

Entre los efectos Psíquicos pueden aparecer, entre otros, los siguientes:

- ✓ Molestias.
- ✓ Irritabilidad.
- ✓ Falta de atención y concentración.
- ✓ Dificultades para la percepción de señales.
- ✓ Imprecisión en las respuestas.
- ✓ Dificultades en la comunicación oral.

Cualquiera de los citados efectos, aparentemente no dañinos, puede ser causa de la ocurrencia de accidentes y del inicio de una futura enfermedad.

Varios estudios corroboran que niveles de presión sonora superiores a los 65 dBA pueden producir efectos adversos sobre el sistema nervioso vegetativo, con predominio del simpático. Pueden aparecer, entre otros, los efectos siguientes:

- ✓ Ligera elevación de la frecuencia cardíaca y la tensión arterial.

- ✓ Aparición de vasoconstricción periférica (en la circulación sanguínea de la piel fundamentalmente).
- ✓ Aumento del metabolismo general.
- ✓ Predisposición a la aparición de fatiga general.
- ✓ Dilatación de la pupila.
- ✓ Estrechamiento del campo visual.
- ✓ Dificultades para percibir los colores.
- ✓ Hipocalcemia, hipoglicemia y otros.

Estos efectos son sinónimos de reacciones de alerta fisiológica ante peligros inminentes, y nos alertan de la necesidad inmediata de tomar medidas preventivas.

Por otra parte, pueden ocurrir otros daños directos. El oído sometido a ruidos con valores superiores a 85 dB(A) y durante un tiempo prolongado, puede sufrir daños irreparables, conocidos por sordera profesional, industrial u ocupacional. Este tipo de hipoacusia tiene características específicas de aparición y comportamiento, que la diferencia de otras alteraciones conocidas del ruido, y aparece sólo como respuesta al ruido en el ambiente de trabajo (de ahí su nombre).

En un exhaustivo trabajo investigativo realizado en (Ruíz, 2000) se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Cualquier persona, independientemente de características generales como edad o sexo, expuesta a niveles elevados de ruido, puede padecer una hipoacusia, que aumenta cuanto mayor sea el tiempo de exposición. Esta hipoacusia será mayor en los primeros cinco años de exposición.
- ✓ La hipoacusia inducida por ruido afecta fundamentalmente a la audición de sonidos cuya frecuencia corresponde a los 4000 Hz, aunque también, en menor medida, afecta a los umbrales para las frecuencias adyacentes

- ✓ Los umbrales para las altas frecuencias son superiores en las personas que padecen hipoacusia por ruido que las que no la padecen. Esta diferencia aumenta a medida que lo hace la frecuencia.
- ✓ En los trabajadores expuestos, existen peores niveles auditivos para todas las frecuencias, tanto por vía ósea como por vía aérea, por el oído izquierdo.
- ✓ Las actividades extra laborales con ruido son un factor sumatorio en el trauma sonoro.
- ✓ Las personas que practican la caza o el tiro con armas de fuego tipo fusil o rifle, suelen tener una afección de su audición, que es más marcada en el oído contralateral al lado del que carga el arma.
- ✓ La exposición a altos niveles de ruido condiciona una elevación de los niveles medios de tensión arterial, tanto sistólica como diastólica. Estos niveles son mayores a medida que aumenta el tiempo de exposición.
- ✓ La exposición a niveles elevados de ruido ocasiona un aumento de los niveles de colesterol en plasma. Este aumento es mayor a medida que aumenta el tiempo de exposición.
- ✓ La exposición a ruido puede ser considerada como un agente causante o desencadenante de múltiples alteraciones psicológicas, de las que destacan la dificultad de comprensión del lenguaje hablado, la irritabilidad y las alteraciones para dormir o conciliar el sueño, cefaleas y ansiedad.

2.4 Niveles sonoros y respuesta humana.

En la Tabla 2.1 se muestra la relación entre diferentes eventos que causan ruido, el nivel de presión sonora que producen y los efectos molestos que pueden causar en el ser humano.

Tabla 2.1. Niveles sonoros y respuesta humana.

Sonidos característicos	Nivel de presión sonora [dB]	Efecto
Zona de lanzamiento de cohetes (sin protección auditiva)	180	Pérdida auditiva irreversible
Operación en pista de jets Sirena antiaérea	140	Dolorosamente fuerte
Despegue de avión. Bocina de auto (a 1 m. de distancia)	120	Máximo esfuerzo vocal
Martillo neumático Concierto de Rock	110	Extremadamente fuerte
Camión recolector. Petardos	100	Muy fuerte
Camión pesado (15 m) Tránsito urbano	90	Muy molesto
Reloj despertador (0,5 m) Secador de cabello	80	Molesto
Restaurante ruidoso Tránsito por autopista Oficina de negocios	70	Difícil uso del teléfono
Aire acondicionado Conversación normal	60	Intrusivo
Tránsito de vehículos livianos.	50	Silencio
Dormitorio Oficina tranquila	40	Muy silencioso
Biblioteca Susurro a 5 m	30	Muy silencioso
Estudio de radiodifusión	20	Muy silencioso

Fuente: (ONI, 2018)

2.5 El sonómetro.

Un sonómetro se puede definir como un dispositivo diseñado para medir el nivel de presión sonora, está constituido por tres secciones principales:

micrófono, amplificador e indicador del nivel de potencia. Dependiendo el objetivo de las mediciones, existen cuatro clases de sonómetros:

- ✓ Clase 0: Se utiliza en laboratorios para obtener niveles de referencia.
- ✓ Clase 1: Permite el trabajo de campo con precisión.
- ✓ Clase 2: Permite realizar mediciones generales en los trabajos de campo.
- ✓ Clase 3: Es el menos preciso y sólo permite realizar mediciones aproximadas, por lo que sólo se utiliza para realizar reconocimientos.

Su unidad de procesado permite realizar medidas globales, o bien por bandas de frecuencias, con diferentes respuestas temporales (respuestas “Fast”, “Slow”, “Impulse” o “Peak”). Por otro lado, con el fin de reducir al máximo las posibles diferencias entre las mediciones efectuadas con sonómetros de distintas marcas y modelos, existen normas internacionales a las que deben ceñirse los fabricantes de tales instrumentos. (Enciclopedia de la OIT Naturaleza y Efectos del Ruido, 2003)

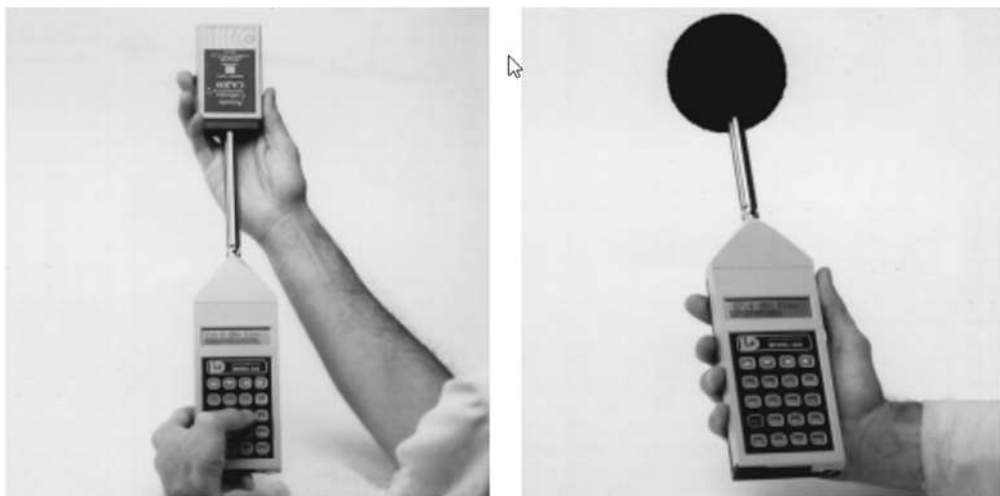


Figura 2.4. Diferentes modelos de sonómetros convencionales.

Fuente: (Enciclopedia de la OIT Naturaleza y Efectos del Ruido, 2003)

2.5.1 Funcionamiento del sonómetro.

Primero, la señal que es entregada por el micrófono y acondicionada por el preamplificador pasa por una serie de circuitos amplificadores para acomodar el rango de lectura con los niveles a medir, y posteriormente esta señal se introduce en la red de ponderación para propiciar que el sonómetro tenga una respuesta en frecuencia similar a la del oído humano. La escala del indicador del nivel de potencia está en decibeles: cero decibeles corresponden a un cambio de presión del aire de 20 μPa y 120 dB equivale a un cambio de 20 Pa.

Los sonómetros se clasifican según su precisión y su uso, a continuación se describe de manera general:

a) **Sonómetro básico:** Adquiere solo el nivel de presión momentánea en decibeles (dB).

b) **Sonómetro integrador - promediador:** Se emplean para la medición del Nivel de Presión Sonora continuo equivalente (L_{Aeq} por sus siglas en inglés). También se expresa como NPS_{eq} por sus siglas en español.

El nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{Aeq}) se define como el nivel sonoro de un evento acústico de una duración definida cuya intensidad no varía en el tiempo y cuya energía sonora tiene el mismo valor que la media energética de un evento sonoro con la misma duración cuyo nivel fluctúa en el tiempo, se expresa de acuerdo a la expresión:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (\text{dBA}) \quad (2.3)$$

$p(t)$: Presión sonora en el tiempo medida en Pa.

p_0 : Presión sonora de referencia (20 μPa).

t : Intervalo de tiempo que transcurre durante la medición.

Muchas veces se obtienen medidas del L_{Aeq} divididas en un conjunto de intervalos, T_i . Estas medidas se calculan mediante la ecuación:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N T_i 10^{\frac{NPS_{idBA}}{10}} \quad (dBA) \quad (2.4)$$

Donde:

T es el período de tiempo total del intervalo de medición, medido en segundos.

T_i , es la duración (en segundos) del intervalo “i”.

N es el número total de intervalos en los que se divide el período T .

NPS_{idBA} es el nivel de presión sonora medido en el período “i” (dBA).

Si todos los intervalos de muestreo son de la misma duración, Δt , la ecuación anterior se puede simplificar quedando de la siguiente manera:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{\Delta t}{N \Delta t} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{NPS_{idBA}}{10}} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{NPS_{idBA}}{10}} \right) \quad (dBA) \quad (2.5)$$

Donde:

N es el número de muestras, definido mediante la ecuación:

$$N = \frac{t_2 - t_1}{\Delta t} = \frac{T}{\Delta t} \quad (2.6)$$

La ventaja del promedio de energía como valoración de ruido es que permite combinar fácilmente las valoraciones individuales de diferentes fuentes de ruido, o diferentes segmentos de tiempo, para encontrar el promedio de la energía de la combinación.

Sonómetro integrador: Permite elegir la curva de ponderación que va a ser usada. La Curva A (dBA) (véase Figura 2.5) es la Red de ponderación más comúnmente utilizada. Es la más semejante a la percepción logarítmica del

oído humano. Se utiliza para establecer el nivel de contaminación acústica y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a la misma.

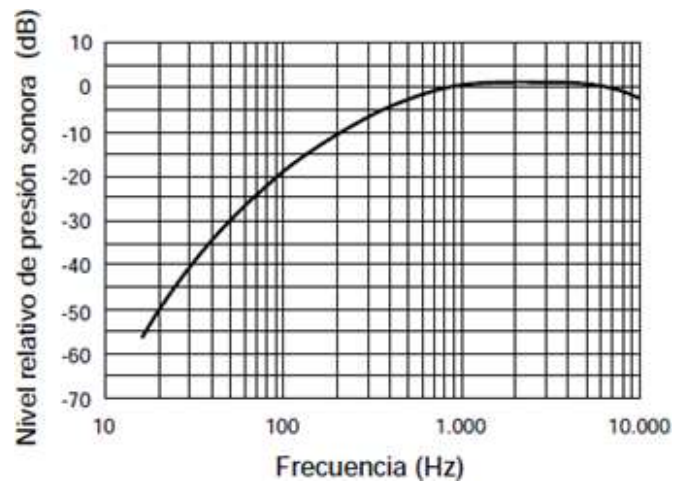


Figura 2.5. Red de ponderación A.

Fuente: (Miyara, 2018)

Un sonómetro puede incluir más de una red de ponderación, siendo las más comunes la A, B y la C.

2.6 Disposiciones legales

La primera declaración internacional que contempló las consecuencias del ruido fue la dada en 1972, cuando la Organización Mundial de la Salud (OMS) decidió catalogarlo como un factor más de contaminación.

En la República de Ecuador existen leyes que regulan la contaminación ambiental, o establecen los límites permisibles de emisiones contaminantes hacia el medio ambiente. A continuación se citan las relacionadas con el ruido (Mieles, 2015).

2.6.1 Constitución Política de la República de Ecuador.

La Constitución Política de la República del Ecuador establece lo siguiente:

Artículo 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Artículo 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Artículo 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas.

2.6.2 Ley de Gestión Ambiental.

La Ley de Gestión Ambiental, publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 418 del 10 de Septiembre de 2004, contiene una serie de normas que establecen el esquema institucional general relacionado con la gestión ambiental y desarrolla algunos instrumentos específicos de gestión tales como:

El establecimiento de un Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental (SDGA), conformado por las instituciones del Estado que tienen competencia ambiental.

El sometimiento del SDGA a las directrices establecidas por el Consejo Nacional de Desarrollo Sustentable. Su objeto es el de constituirse en el mecanismo de coordinación transectorial, integración y cooperación.

El establecimiento de una Comisión Nacional de Coordinación que tiene como objeto el de dirigir al Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental.

El establecimiento de la denominada Autoridad Ambiental. Para los efectos que se desprenden de la Ley, la Autoridad Ambiental está ejercida por el Ministerio del Ambiente.

2.6.3 Ley de prevención y control de la contaminación ambiental.

Fue codificada en el año 2004 (COd.2004-020. RO-S-418: 10 – sep-2004). Esta Ley tiene como objetivo primordial el de controlar y prevenir la contaminación ambiental de los recursos agua, aire y suelo.

La Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental contiene los siguientes reglamentos:

- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo Relativo al Recurso Agua.
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Ruidos.
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Suelo.
- Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Desechos Sólidos.

2.6.4 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. (TULAS)

Expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 3399 del 28 de Noviembre de 2002, publicado en el Registro Oficial No. 725 del 16 de Diciembre del 2002.

Las Normas Técnicas que constan en este cuerpo legal son dictadas bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos.

Es el documento rector de la contaminación acústica en el Ecuador, califica los tipos de ruido y establece los límites máximos en función del tipo de zona.

2.6.4.1 Tipos de ruido.

El libro VI Anexo 5 del TULAS establece los siguientes conceptos para los diferentes tipos ruidos:

Ruido Estable

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones de nivel de presión sonora, en un rango inferior o igual a 5 dBA lento, observado en un período de tiempo igual a un minuto.

Ruido Fluctuante

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones de nivel de presión sonora, en un rango superior a 5 dBA lento, observado en un período de tiempo igual a un minuto.

Ruido Imprevisto

Es aquel ruido fluctuante que presenta una variación de nivel de presión sonora superior a 5 dBA lento en un intervalo no mayor a un segundo.

Ruido de Fondo

Es aquel ruido que prevalece en ausencia del ruido generado por la fuente objeto de evaluación.

2.6.4.2 Clasificación de las zonas de acuerdo al ruido.**1- Zona Hospitalaria y Educativa**

Son aquellas zonas donde los seres humanos requieren de particulares condiciones de serenidad y tranquilidad, a cualquier hora en un día.

2- Zona Residencial

Es aquella donde la tranquilidad y serenidad son esenciales. Los usos del suelo permitidos, de acuerdo a los instrumentos de planificación territorial, deben garantizar el descanso de los seres humanos.

3- Zona Comercial

Aquella cuyos usos de suelo permitidos son de tipo comercial, es decir, áreas en que los seres humanos requieren conversar, y tal conversación es esencial en el propósito del uso de suelo.

4- Zona Industrial

Aquella cuyos usos de suelo es eminentemente industrial, en la que se requiere la protección del ser humano contra daños o pérdida de la audición, pero la necesidad de conversación es limitada.

5- Zonas Mixtas

Aquellas en que coexisten varios de los usos de suelo definidos anteriormente. Zona mixta residencial comprende mayoritariamente uso residencial, pero se pueden presentar actividades comerciales. Zona mixta comercial comprende un uso de suelo predominantemente comercial, pero se puede verificar la presencia, limitada, de fábricas o talleres. Zona mixta industrial se refiere a una zona con uso de suelo industrial predominante, pero es posible encontrar residencias o actividades comerciales.

2.6.4.3 Límites máximos permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas.

Los niveles de presión sonora equivalente, NPS_{eq} , (L_{Aeq}) expresados en decibeles, en ponderación con escala A, que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores que se establecen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS_{eq} [dBA]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona Industrial	70	65

Fuente: (Libro VI Anexo 5 TULAS, 2002)

2.7 Análisis del ruido en la ciudad de Guayaquil.

En un estudio realizado por el ingeniero Arturo Cristhian Huertas Martínez, tutorado por el Master en Ciencias Carlos Mora Espinosa de la Universidad de Guayaquil (Huertas, 2015) en los sectores Calles 6 de Marzo - 9 de Octubre – Malecón Simón Bolívar; Aeropuerto Internacional – José Joaquín de Olmedo y en el Sector de la Bahía (véase Figuras 2.6, 2.7 y 2.8) se obtuvieron los resultados estadísticos sobre la contaminación acústica importantes.

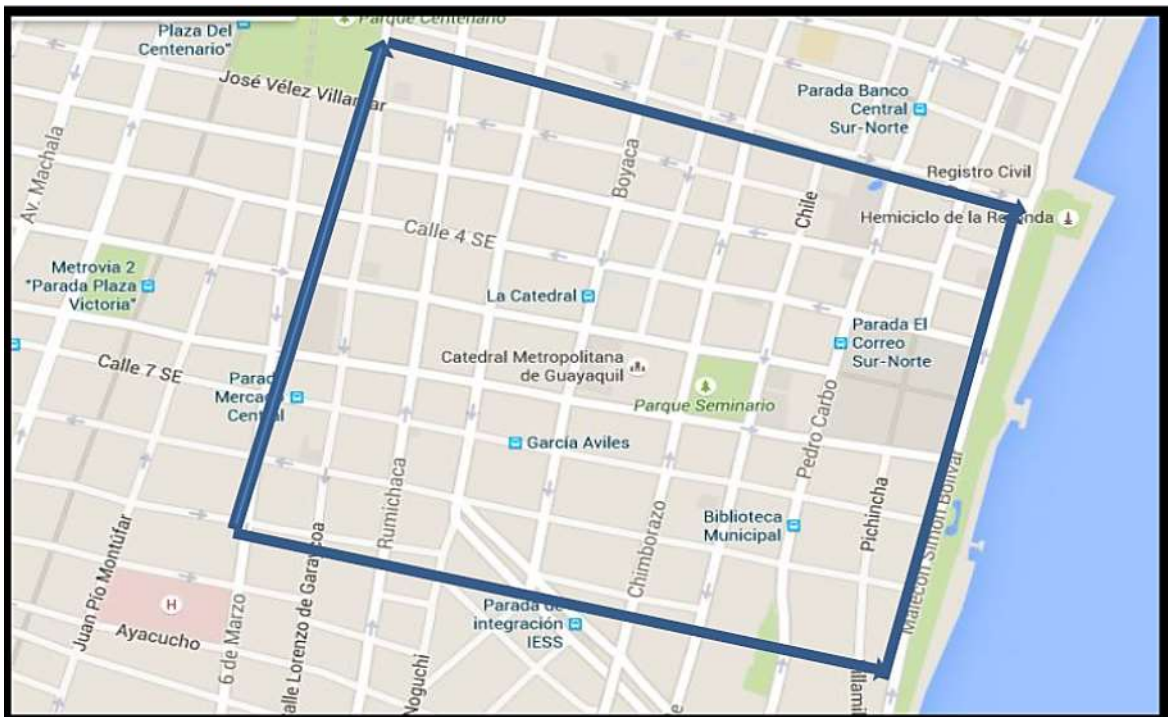


Figura 2.6. Calles 6 de Marzo - 9 de Octubre – Malecón Simón Bolívar- Sucre.

Fuente: (Huertas, 2015)

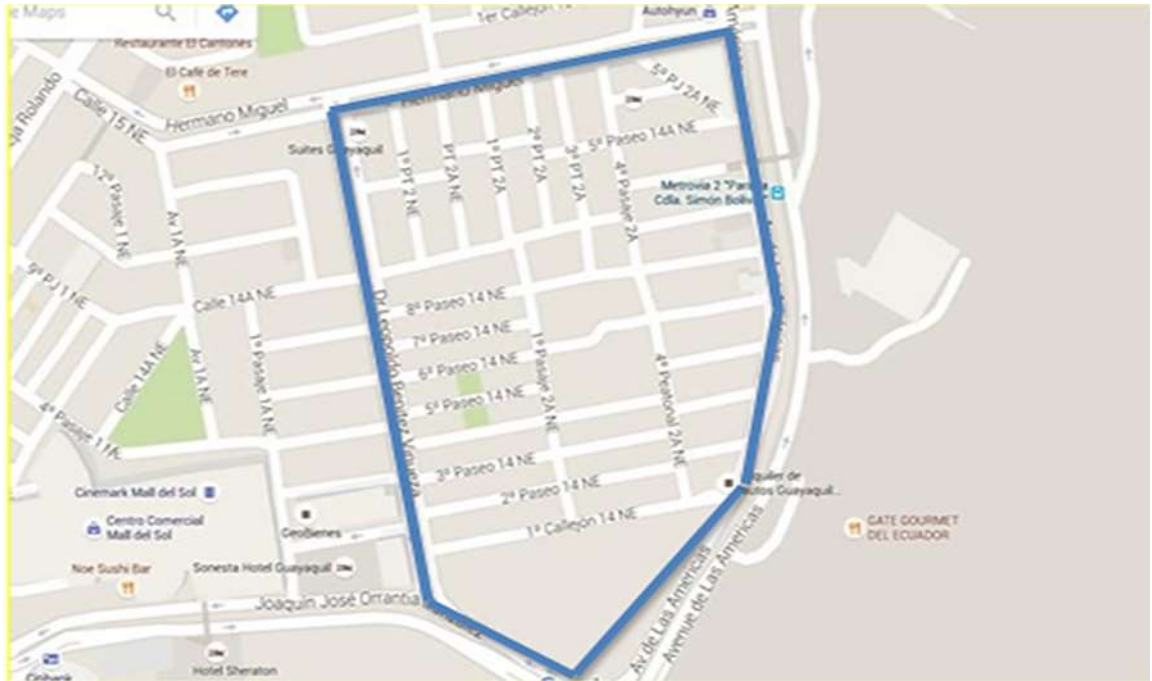


Figura 2.7. Aeropuerto Internacional – José Joaquín de Olmedo.

Fuente: (Huertas, 2015)

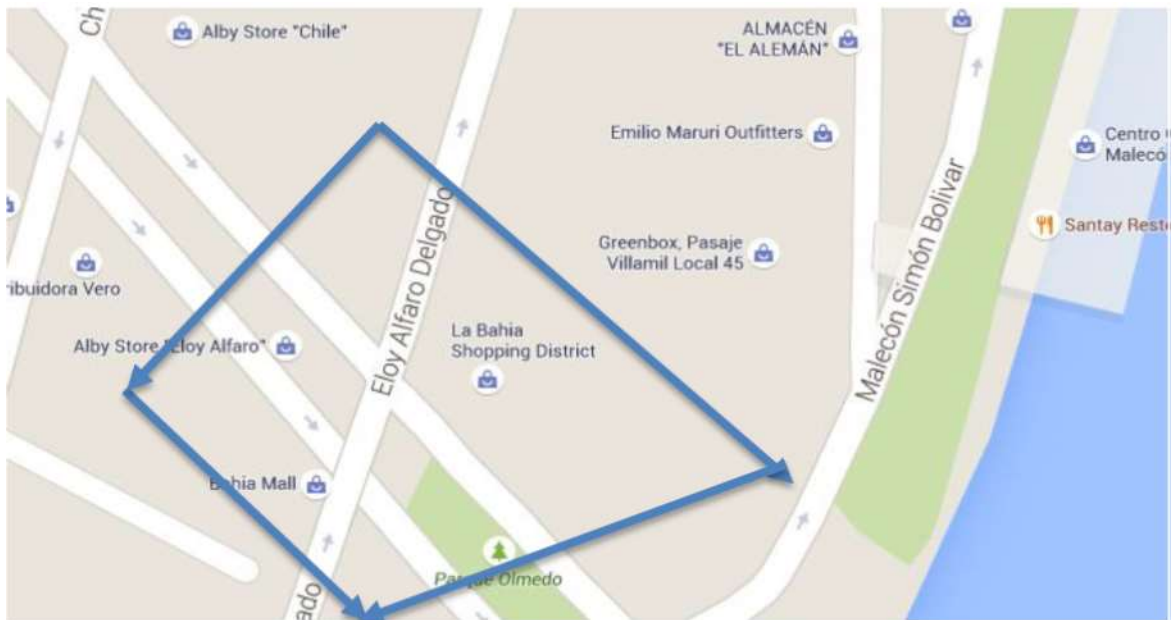


Figura 2.8. Sector de la Bahía.

Fuente: (Huertas, 2015)

El estudio consistió en la aplicación de encuestas a más de 300 personas de diferentes edades y estratos sociales por sectores con interrogantes acerca de su percepción de la contaminación acústica y causas que la producen, los resultados fueron los siguientes:

Pregunta #1: ¿El ruido causa efectos perjudiciales a la salud?

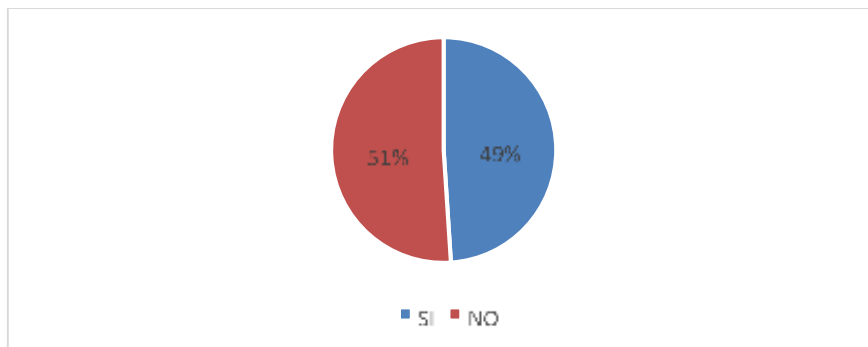


Figura 2.9. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil. (Huertas, 2015)

Pregunta #2: ¿Considera que existe exceso de ruido en la ciudad?

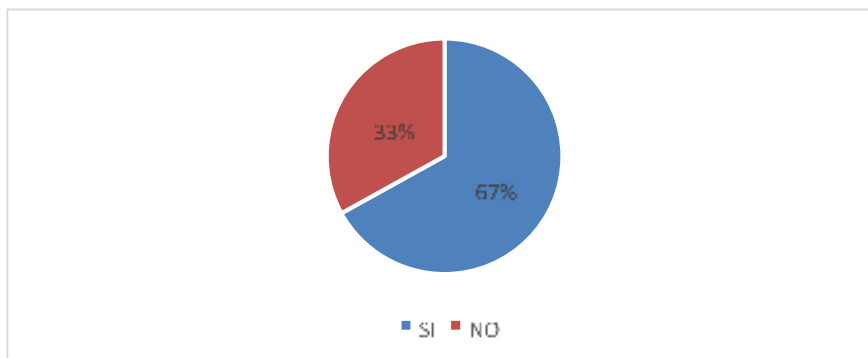


Figura 2.10. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil. (Huertas, 2015)

Pregunta #3: ¿Considera que existe contaminación acústica en la ciudad?

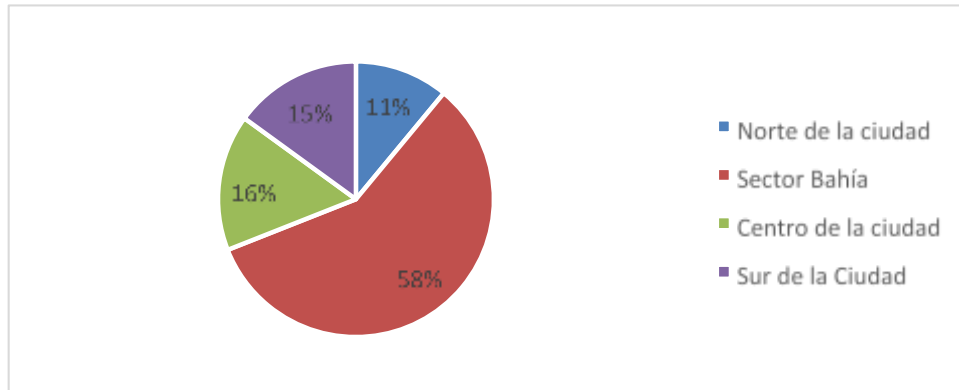


Figura 2.11. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil. (Huertas, 2015)

Pregunta #4: ¿Cuáles considera son las causas de ruido más frecuentes?

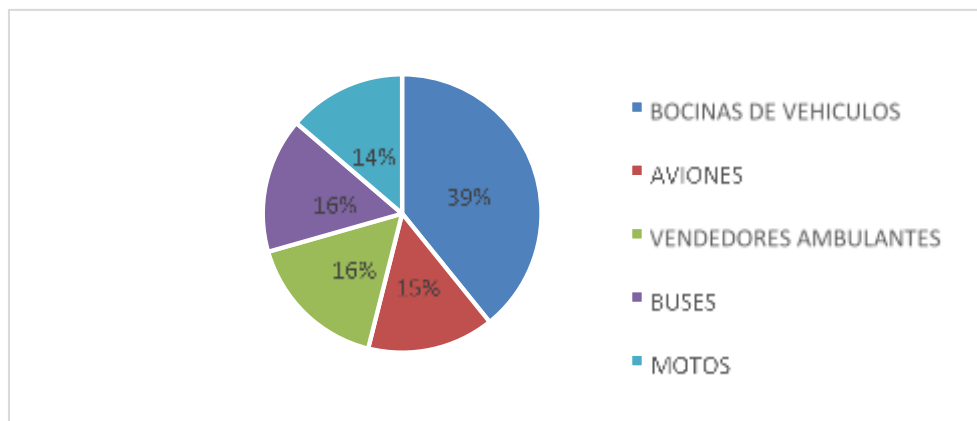


Figura 2.12. Encuesta a los ciudadanos de Norte, Centro, bahía de Guayaquil.

Fuente: (Huertas, 2015)

Todo lo cual indica la necesidad de un monitoreo y control del ruido ambiental que permita observar en qué medida se incumplen las normas establecidas y propiciar acciones que contribuyan a disminuirlo y por ende las implicaciones que produce en la salud del ser humano.

CAPITULO 3 . Herramientas de *Hardware* y *Software*.

En este capítulo se caracterizan las herramientas de *hardware* y de *software* que se emplean en la propuesta de diseño del sistema para la supervisión del ruido ambiental. Se explican los criterios de selección de los componentes a utilizar tras haber hecho un estudio de sus especificaciones técnicas y de calidad-precio así como los *softwares* utilizados.

3.1 Plataforma Arduino.

Todo sistema de supervisión posee una parte básica llamada unidad de control. La unidad de control es el cerebro de la instalación y es la que se encarga de recibir información continuamente del estado de los sensores instalados. La parte fundamental de una unidad de control es el microcontrolador, además de ser generalmente el dispositivo más costoso. Luego de realizar un estudio se decidió emplear la plataforma Arduino, a continuación, se explica por qué el empleo de esta plataforma para el diseño.

Arduino es una plataforma de *hardware* y *software* libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios donde se desee crear entornos u objetos interactivos. El *hardware* consiste en una placa con un microcontrolador reprogramable Atmel AVR [familia de microcontroladores RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) del fabricante estadounidense Atmel] y una serie de terminales (los cuales están unidos internamente a los terminales de E/S del microcontrolador) que permiten conectar de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores (Página Oficial de Arduino, 2018).

Aunque puedan ser modelos diferentes, los microcontroladores incorporados en las diferentes placas Arduino, pertenecen todos a la misma “familia tecnológica”, por lo que su funcionamiento es bastante parecido entre sí.

3.1.1 Ventajas de Arduino.

Existen muchas otras placas de diferentes fabricantes que, aunque incorporan diferentes modelos de microcontroladores, son comparables y ofrecen una funcionalidad similar a la de las placas Arduino. Todas ellas también vienen acompañadas de un entorno de desarrollo agradable y cómodo, y de un lenguaje de programación sencillo y completo. No obstante, la plataforma Arduino ofrece una serie de ventajas que fueron consideradas al seleccionarlo:

- Entorno de programación gratis, libre y multiplataforma.

Como el Arduino presenta un *software* (entorno de desarrollo) multiplataforma, se puede instalar y ejecutar en sistemas operativos como Linux, MacOS y Windows.

- Arduino es libre y extensible.

Esto trae como ventaja que cualquiera puede ampliar y mejorar tanto el diseño de *hardware* de las placas como el entorno de desarrollo (*software*), así como el propio lenguaje de programación, permitiendo que existan muchas variantes de placas no oficiales como de bibliotecas de *software* no originales que pueden adaptarse a necesidades concretas.

- Arduino tiene una gran comunidad.

Muchas personas lo utilizan, enriquecen la documentación y comparten continuamente sus ideas, lo cual facilita el diseño del sistema.

- Entorno y lenguaje de programación simples y claros.

El entorno, así como el lenguaje de programación son fáciles de aprender y de utilizar, a la vez que flexibles y completos para que los usuarios con más experiencia puedan aprovechar todas las posibilidades del *hardware*. Además, existe buena documentación sobre este tema, con ejemplos detallados y gran cantidad de proyectos publicados en diferentes formatos.

- El precio de las placas Arduino es bajo.

Existe una gran cantidad de placas ya pre-ensambladas y listas para funcionar que tienen muy bajo costo en el mercado internacional. Además, puede ser construida con facilidad, adquiriendo los componentes por separado, con lo que el precio podría ser aún menor.

Con Arduino se pueden realizar multitud de proyectos de rango muy variado: desde robótica hasta domótica, pasando por monitorización de sensores ambientales, sistemas de navegación, telemática, etc.

3.1.2 Placas Arduino

Desde que en 2005 apareció la primera placa Arduino, la Arduino Serial, se han desarrollado un gran número de versiones que han ido mejorando las características del concepto original. Además, con el transcurso de los años, se ha ido añadiendo una enorme cantidad de placas con diferentes formatos y prestaciones. En la Figura 3.1 se muestran algunos modelos.

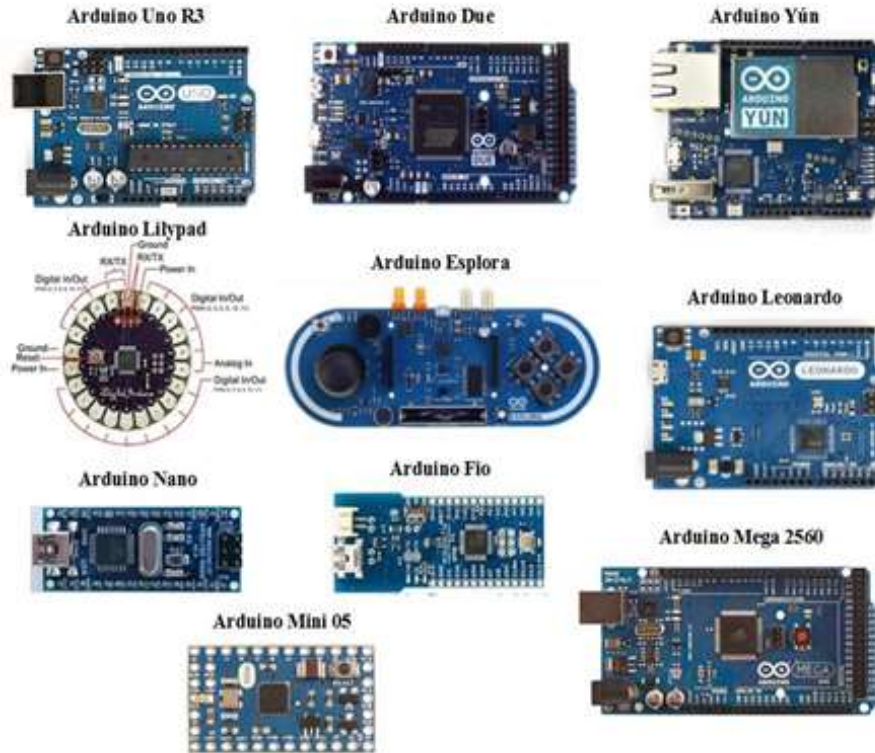


Figura 3.1. Modelos de placas de Arduino.

Fuente: (Página Oficial de Arduino, 2018)

3.1.3 Arduino Mega 2560

La placa Arduino seleccionada para el control del Sistema de supervisión del ruido ambiental que se desarrolló es el Arduino Mega 2560 (véase la Figura 3.2).



Figura 3.2. Arduino Mega 2560.

Fuente: (Página Oficial de Arduino, 2018)

Es una plataforma de *hardware* basada en el microcontrolador ATmega2560 cuyas especificaciones técnicas se describen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560.

Microcontrolador	Atmega2560
Tensión de operación	5 V
Tensión de entrada (recomendada)	(7-12) V
Tensión de entrada (límites)	(6-20) V
Terminales de I/O digitales	54 (de los cuales 14 pueden ser salidas PWM)
Terminales de entrada analógica	16
Máxima corriente de DC por terminales I/O	40 mA
Máxima corriente de DC por terminal de 3,3 V	50 mA
Memoria Flash	256 kB, de los cuales 8 kB son usados por el <i>bootloader</i>
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB
Frecuencia del reloj	16 MHz

Fuente: (Página Oficial de Arduino, 2018)

3.1.3.1 Alimentación

La placa Arduino Mega 2560 puede ser alimentada a través de la conexión USB o con fuente de alimentación externa.

Como se muestra en la Tabla 3.1 la placa puede operar con una fuente externa con valores límites de 6 a 20 V. Sin embargo, debe observarse que, si se alimenta con una tensión menor de 7 V, el terminal de 5 V podría proporcionar una tensión menor y la operación de la placa puede ser inestable. Si se utiliza una tensión de alimentación mayor de 12 V, el

regulador de tensión se puede calentar y dañar la placa base. Por lo tanto, el rango recomendado es de 7 a 12 V.

3.1.3.2 Terminales de alimentación

VIN: Es el terminal de la tensión de entrada a la tarjeta Arduino cuando se utiliza una fuente de alimentación externa. Se puede suministrar tensión a través de este terminal, o mediante el enchufe de alimentación de la placa.

5 V: Este terminal genera 5 V regulados por el regulador de la placa.

3,3 V: Este terminal proporciona 3,3 V generados por el regulador de la placa y suministra una corriente máxima de 50 mA.

GND: Terminal de tierra.

3.1.3.3 Memoria

Como se muestra en la Tabla 3.1, el microcontrolador ATmega 2560 posee 256 kB de memoria de programa Flash, 8 kB son usados por el *bootloader* (gestor de arranque). El gestor de arranque es un pequeño programa que reside en la memoria y permite la autoprogramación directa por el puerto USB sin necesidad de un grabador externo. También dispone de 8 kB de SRAM y 4 kB de memoria EEPROM para almacenamiento de datos permanentes (que pueden ser leídos y escritos con la biblioteca EEPROM).

3.1.3.4 Terminales

Sin tener en cuenta los terminales de alimentación anteriormente mencionados, el Arduino Mega 2560 cuenta con 54 terminales que pueden ser utilizados como entrada o salida, usando las funciones *pinMode()*, *digitalWrite()* y *digitalRead()* en el entorno de desarrollo de Arduino. Estos terminales operan con 5 V. Cada terminal puede entregar un máximo de 40 mA y tienen una resistencia de *pull-up*, desconectadas por defecto en el modo de entrada, con un valor entre 20 k Ω y 50 k Ω .

Tabla 3.2. Relación de terminales para la transmisión y recepción serie.

Relación de terminales de transmisión y recepción.	
Transmisión (Tx)	Recepción (Rx)
1	0
18	19
16	17
14	15

3.1.3.6 Interrupciones externas

Estos terminales se pueden configurar para disparar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente o un cambio en el valor, todo con la utilización de la función *attachInterrupt()*. Se emplean los terminales 2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3) y 21(interrupción 2).

3.1.3.7 Bus de comunicación SPI

Los terminales que soportan la comunicación SPI (*Serial Peripheral Interface*), es un estándar de comunicaciones usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. A través de la biblioteca SPI, como su nombre lo indica son: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCLK), 53 (SS).

SPI es un protocolo síncrono. La sincronización y la transmisión de datos se realizan por medio de 4 señales:

- ✓ **SCLK** (*Clock*): Es el pulso que marca la sincronización. Con cada pulso de este reloj, se lee o se envía un bit.

- ✓ **MOSI** (*Master Output Slave Input*): Salida de datos del *Master* y entrada de datos al *Slave*. También llamada SIMO.
- ✓ **MISO** (*Master Input Slave Output*): Salida de datos del *Slave* y entrada al *Master*. También conocida por SOMI.
- ✓ **SS/Select**: Para seleccionar un *Slave*, o para que el *Master* le diga al *Slave* que se active.

La cadena de bits se envía de manera síncrona con los pulsos del reloj, es decir con cada pulso, el *Master* envía un bit. Para que comience la transmisión el *Master* baja la señal SS/Select a cero, con esto el *Slave* se activa y empieza la transmisión, con un pulso de reloj al mismo tiempo que el primer bit es leído. (véase Figura 3.4)

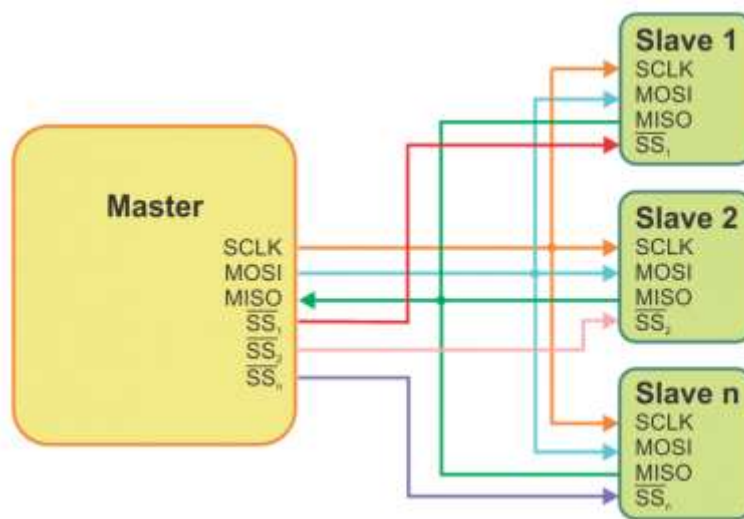


Figura 3.4. Bus SPI, un maestro y tres esclavos.

Fuente: (DLNware, 2018)

3.1.3.8 I²C

Terminales 20 (SDA) y 21 (SCL). Soporta la comunicación I²C usando la biblioteca *Wire* incluido con el entorno Arduino. SDA es la línea de datos y SCL es la línea de reloj.

El Arduino Mega 2560 tiene 16 entradas analógicas. Se cuenta con un CAD (conversor analógico digital) que provee 10 bits de resolución (1024 valores diferentes) para cada una. Por defecto miden de 0 a 5V, aunque es posible cambiar el límite superior de su rango con el terminal de AREF y la función *analogReference()*.

3.1.3.9 Reset

Un nivel de tensión bajo en este terminal provoca que el microcontrolador se reinicie. Normalmente es utilizado para añadir un botón de reinicio en la placa.

3.2 Reloj de tiempo real.

Un Reloj de Tiempo Real (RTC o *Real Time Clock*) es un dispositivo que establece la base de tiempo bajo la cual opera el sistema de medición.

Se decidió emplear un reloj de tiempo real en el diseño para proporcionar al circuito de control la información de hora y fecha en formato digital que permita, de forma autónoma, la planificación de los horarios de adquisición de ruido.

Para la selección del modelo de RTC a emplear primeramente fueron evaluados los dos cuyas características se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Principales características de los RTC preseleccionados.

Modelos de RTC		
Característica	DS1307	PCF8583

Interfaz	Serie I2C	Serie I2C
Formato Tiempo	HH:MM:SS	HH:MM:SS
Formato Fecha	YY:MM:DD	DW:DM:M:Y
Memoria	56B	240B
Salida	Drenador abierto	Drenador abierto
Alimentación	5V	5V
Respaldo	Batería de 3V	No

Se decidió emplear el DS1307 (véase Figura 3.5) por las siguientes razones:

- Su interfaz de comunicación (I2C) es soportada por Arduino Mega 2560.
- Opera en formato de 12/24 horas con indicador de am/pm.
- Integra circuitería de conmutación para operar desde la alimentación principal o desde una batería de respaldo.
- Existen bibliotecas para Arduino que permiten controlar lectura y escritura del DS1307.



Figura 3.5. Reloj de tiempo real DS1307.

Fuente: (google imágenes)

3.3 Módulo GSM

Para la transmisión de datos a distancia de las unidades de medición se seleccionó la tecnología GSM, pues permite tener una cobertura casi completa de toda la región, al contrario que otras como Wi-Fi o Bluetooth que necesitan de puntos de acceso y que no siempre están disponibles.

La velocidad de transmisión de datos mediante GSM es muy baja, alrededor de 9.6 kbps, pero como solo se requiere enviar un único valor (el resultado de la medición de los niveles de ruido) esto no representa un impedimento.

El escudo GSM SIM900 es una tarjeta que posee una interfaz que posibilita la conexión a la red de telefonía celular GSM, cuenta con una ranura donde debe insertarse una tarjeta SIM de la compañía telefónica, así como una antena. Este módulo permite además el envío de mensajes del tipo SMS y MMS.



Figura 3.8. Módulo GSM SIM900.

Fuente: (Random Nerd Tutorials, 2018)

Los escudos GSM actuales emplean los circuitos integrados SIM800 y

SIM900 de la compañía SIMCOM. La versión con el SIM900 es la más antigua, que incluye las funcionalidades mencionadas anteriormente, la versión con el SIM800 incluye otras prestaciones como Bluetooth y radio en frecuencia modulada las cuales no son necesarias en el trabajo actual y por lo tanto se optó por la versión con el SIM900 que resulta más económica.

El módulo se controla a través de comandos AT enviados por el puerto serie UART que posee la tarjeta.

La telefonía móvil GSM también utiliza este lenguaje para comunicarse y configurar sus dispositivos. De esta forma, todos los terminales GSM poseen un juego de comandos AT específico, los cuales son cadenas ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) que comienzan por los caracteres AT y terminan con un retorno de carro (LF).

Este juego de instrucciones puede encontrarse en la documentación técnica de los terminales GSM y permite acciones tales como realizar llamadas de datos o de voz, leer y escribir en la agenda de contactos y enviar mensajes SMS, además de muchas otras opciones de configuración del terminal.

Las características técnicas de la tarjeta son las siguientes:

- ✓ Compatible con Arduino
- ✓ Conexión con el puerto serie UART.
- ✓ Bandas de frecuencia de 850/900/1800/1900 MHz.
- ✓ Compatible GSM fase 2/2+.
- ✓ Clase 4 (2 W (AT) 850/900 MHz).
- ✓ Clase 1 (1 W (AT) 1800/1900 MHz).
- ✓ Temperatura de operación de -40 a 85 °C.
- ✓ Bajo consumo de energía de 5 mA (modo dormir).
- ✓ Botón de encendido.

3.4 Micrófono

Los micrófonos son los elementos encargados de captar las ondas mecánicas que propagan el sonido y convertirlas en señales eléctricas para su posterior procesado. Se pueden clasificar en función de su construcción física y características eléctricas (Fernández, Pagadigorria, Ruiz, & Narbaiza Amillategi, 2013):

- ✓ Micrófonos de Carbón.
- ✓ Micrófonos Piezoeléctricos.
- ✓ Micrófonos Dinámicos (Bobina móvil).
- ✓ Micrófono de Cinta.
- ✓ Micrófono de Condensador.
- ✓ Micrófono Eléctret.

Para el desarrollo de este trabajo se utiliza un micrófono de condensador por lo que se explicará en detalles sus características.

3.4.1 Micrófono de condensador.

Estos micrófonos, también denominados de capacitor, o de condensador, o electrostáticos, se basan en la utilización de un campo eléctrico en lugar de un campo magnético. Están formados por un diafragma muy delgado (típicamente, 5 micrones de espesor) bañado en oro, y una placa posterior metálica que normalmente está perforada o ranurada, como muestra la Figura 3.9. Ambos forman un condensador cuya capacidad C varía con la distancia entre sí, y esta distancia varía al vibrar el diafragma impulsado por las variaciones de presión de la onda sonora. (Bongiovanni, Cascino , & Sanso , 2011)

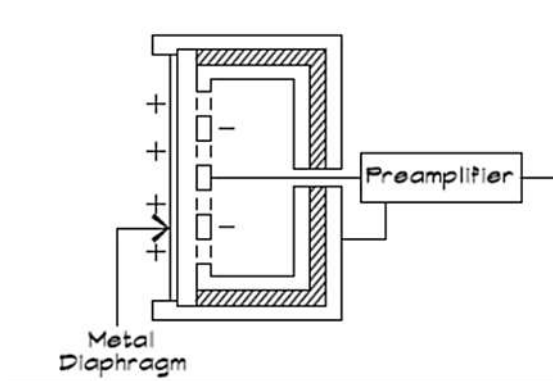


Figura 3.9. Diagrama esquemático constructivo de un micrófono de condensador.

Fuente: (Bongiovanni, Cascino , & Sanso , 2011)

Las variaciones de presión causadas por una onda sonora imprimen movimiento al diafragma, y al variar consecuentemente la distancia entre éste y la placa posterior, varía también la capacidad del condensador formado por ambos. Si previamente se ha aplicado una carga eléctrica a ambas placas, la variación de capacidad implicará una variación de tensión eléctrica entre los terminales + y – del micrófono.

La manera de cargar las placas del condensador es por medio de una polarización externa, lo cual se logra conectando el micrófono a una fuente de tensión constante a través de una resistencia, como se muestra en la Figura 3.10(a). Esta fuente puede tener un valor comprendido entre 1,5 V y 48 V y según el modelo de micrófono.

Estos micrófonos son muy sensibles y precisos, y tienen excelentes características.

Algunas de las ventajas de los micrófonos de condensador son los siguientes:

1. Diafragmas pequeños, rígidos de baja masa que reducen la vibración recogida,
2. Amplio rango de respuesta en frecuencia,

3. Robusto, capaces de medir los niveles de presión sonora muy elevados,
4. Bajo nivel de ruido,
5. Tamaño de cabeza pequeña, que proporciona baja interferencia de difracción.

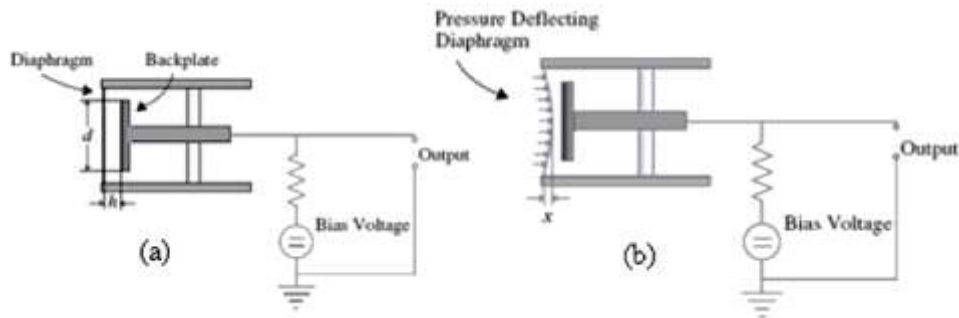


Figura 3.10.(a) Principio del condensador de micrófono; (b) deformación del diafragma.

Fuente: (Bongiovanni, Cascino, & Sanso, 2011)

En la figura 3.11 se muestra la estructura real del micrófono de condensador y su circuito de aplicación.

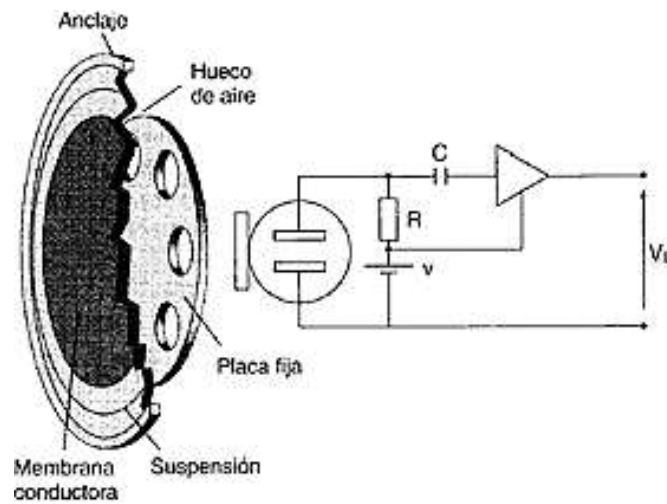


Figura 3.11. Micrófono de condensador.

Fuente: (Hernández, 2009)

3.4.2 Directividad de los micrófonos.

Además de por su estructura, los micrófonos se pueden clasificar según su directividad (véase Figura 3.12). Este parámetro define la respuesta del micrófono frente a las ondas que le llegan desde los distintos puntos del espacio, representándose en un diagrama polar el nivel captado en distintos ángulos de incidencia, en el plano vertical y horizontal observándose los siguientes tipos (Hernández, 2009):

- ✓ *Omnidireccionales*: Son los que reciben por igual sonidos procedentes de cualquier dirección.
- ✓ *Bidireccionales*: Reciben ondas procedentes de los dos sentidos en la dirección de su eje, resultando totalmente sordo a los sonidos que le llegan perpendicularmente.
- ✓ *Cardioides*: Su respuesta polar tiende a ser directiva y recibe correctamente las señales procedentes de la zona delantera disminuyendo su sensibilidad a medida que se aleja de esta dirección. En el eje perpendicular todavía presenta una captación notable, perdiéndose ésta en el sentido opuesto al de mejor respuesta.
- ✓ *Hipercardioides*: La diferencia fundamental con el cardioide reside en su pequeño lóbulo trasero, que indica cierta sensibilidad ante los sonidos traseros. Los puntos de mínima sensibilidad se encuentran en las diagonales de los cuadrantes posteriores, aproximadamente en 135° y 225° .
- ✓ *Unidireccionales*: Este tipo de micrófonos capta los sonidos que le llegan en una dirección concreta desechando el resto.

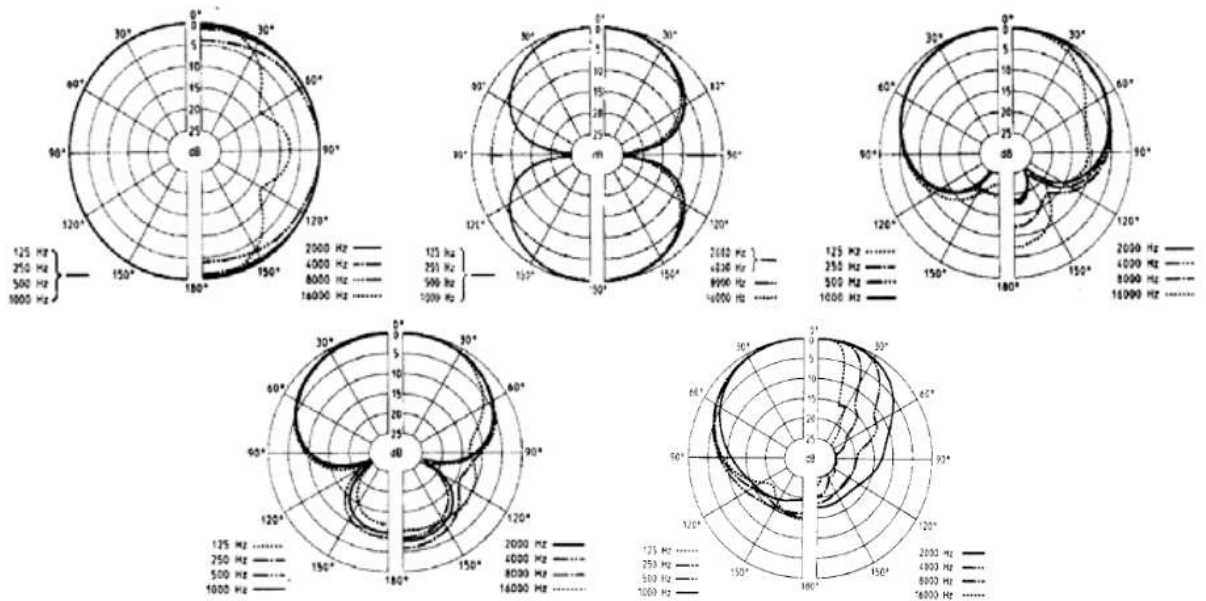


Figura 3.12. Diagramas directivos, Arriba de izquierda a derecha: Omnidireccional, Bidireccional, Cardioide, Abajo: Hipercardioide, unidireccional.

Fuente: (Fernández, Pagadigorría, Ruiz, & Narbaiza Amillategi, 2013)

Para la selección del micrófono se realizaron inicialmente pruebas prácticas con distintos tipos compatibles con Arduino Mega 2560 (véase Figura 3.13) que permitieron caracterizarlos en cuanto a su sensibilidad, directividad, rango de frecuencias etc. Seleccionando finalmente el CMA-4544PF-W.

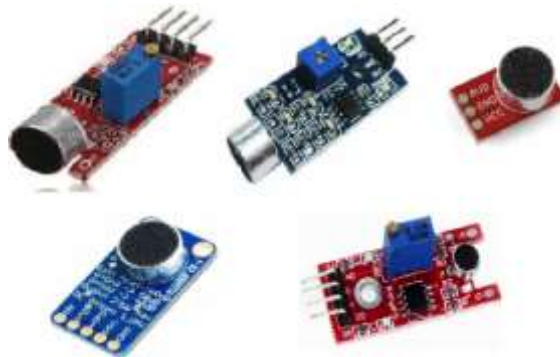


Figura 3.13. Micrófonos comerciales para Arduino.

Fuente: google imágenes.

El CMA-4544PF-W es un micrófono basado en una cápsula de condensador electret. Estas cápsulas pueden conseguir excelentes resultados en la

mayoría de las aplicaciones. Posee una sensibilidad de $-44 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$ ($0 \text{ dB} = 1 \text{ V/P}$, 1 kHz), con una relación señal a ruido de 60 dB y su diagrama polar de sensibilidad muestra una curva omnidireccional. Su respuesta en frecuencia se muestra en la Figura 3.14. Todo esto hace que pueda utilizarse en un instrumento de medición.

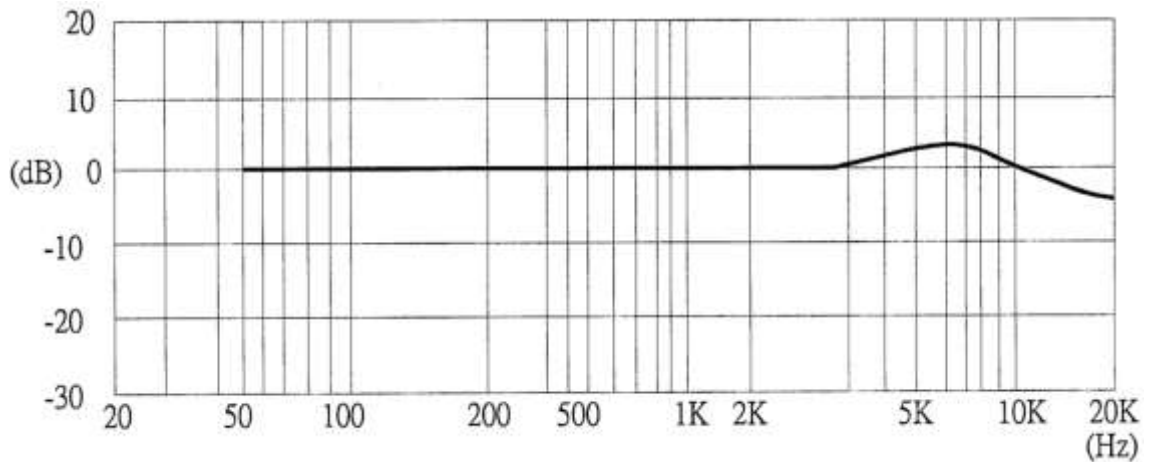


Figura 3.14. Respuesta en frecuencia del micrófono CMA-4544PF-W.

Fuente: (CUI Inc, 2018)

El diagrama funcional de su estructura interna y su configuración básica de conexión se muestran en la Figura 3.15

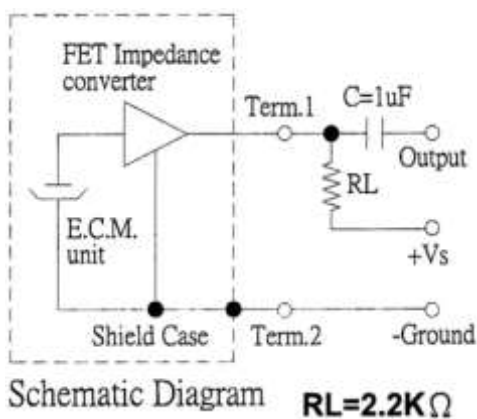


Figura 3.15. Configuración básica del CMA-4544PF-W.

Fuente: (CUI Inc, 2018)

3.5 Módulo MicroSD

El módulo MicroSD para Arduino se muestra en la Figura 3.16.

Su uso se destina a aquellos sistemas en los que se requiere almacenar variables que posteriormente serán transmitidas o procesadas.

En el sistema propuesto se agrega un Módulo MicroSD para almacenar en los Puntos de medición los datos correspondientes a los niveles de presión sonora adquiridos de manera que luego puedan ser recuperados en caso de necesitarse para algún análisis.



Figura 3.16. Módulo lector de tarjetas MicroSD de Arduino.

Fuente: (google imágenes)

Se utiliza este módulo con la tarjeta MicroSD que se describe a continuación.

3.5.1 Tarjeta MicroSD.

En la Tabla 3.4 se describen los terminales de la memoria MicroSD que se muestra en la Figura 3.17 para los modos de operación SD y SPI.



Figura 3.17. Asignación de terminales de una tarjeta MicroSD.

Fuente: (google imágenes)

Tabla 3.4. Terminales de la tarjeta MicroSD en modo SD y modo SPI.

Pin No.	Modo SD			Modo SPI		
	Nombre	Tipo	Descripción	Nombre	Tipo	Descripción
1	DAT2	I/O/PP	Bit 2	RSV		Reservado
2	CD/DAT3	I/O/PP	Card Select/ Bit 3	CS	I	Chip Select
3	CMD	PP	Comando/ Respuesta	DI	I	Data In
4	V _{DD}	S	Alimentación	V _{DD}	S	Alimentación
5	CLK	I	Reloj	SCLK	I	Reloj
6	V _{SS}	S	Tierra	V _{SS}	S	Tierra
7	DAT0	I/O/PP	Bit 0	DO	I/O/PP	Data out
8	DAT1	I/O/PP	Bit 1	RSV		Reservado

S: Fuente de poder I: Entrada O: Salida; PP: Push-Pull

Fuente: (Ortega, 2014)

El Modo SD es el modo nativo, y permite mayor velocidad de transferencia que el modo SPI. Las ventajas de este último modo son la simplicidad de conexión con sistemas que utilizan tecnología Arduino y la disponibilidad del periférico de comunicaciones SPI en la mayoría de los microcontroladores.

La tarjeta MicroSD se va a emplear en modo SPI ya que este modo es compatible con el microcontrolador ATmega2560, además, debido a que el tamaño de los datos y su frecuencia de grabado no requiere una velocidad de transmisión mayor que la que proporciona el protocolo SPI.

3.6 Entornos de programación.

En este epígrafe se realiza una descripción de los programas utilizados para desarrollar el *software* del sistema y se realiza una breve descripción de los mismos, mencionando las principales herramientas utilizadas en el trabajo realizado.

3.6.1 Programación de Arduino.

La plataforma Arduino tiene un lenguaje propio que está basado en C/C++ y por ello soporta las funciones del estándar C y algunas de C++. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino como Java, Processing, Python, Mathematica, Matlab, Perl, Visual Basic, etc. (Ledó, 2012)

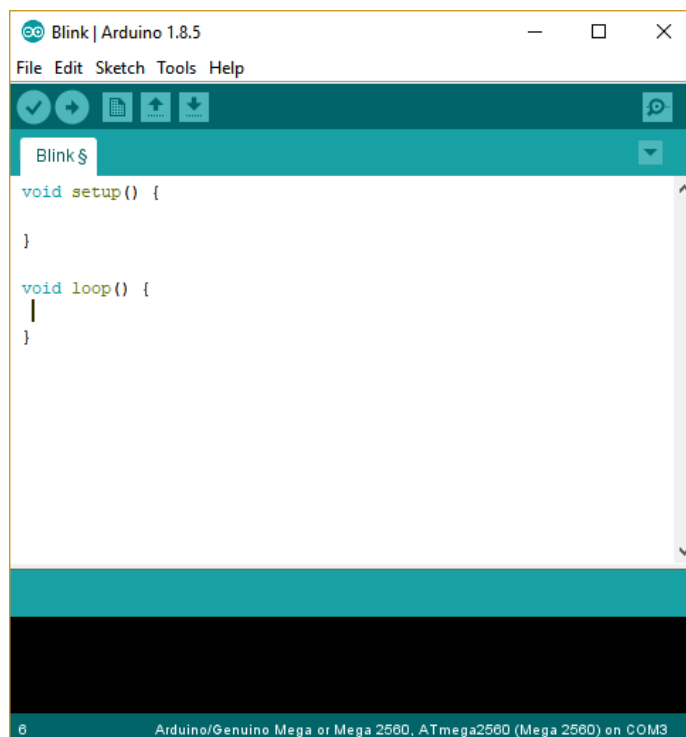


Figura 3.18. Entorno de programación Arduino.

Para la programación de la placa Arduino se utilizó el *software* IDE Arduino 1.8.5, descargado desde su página oficial que es la versión más reciente del mismo. Este entorno de desarrollo ha sido implementado con *Processing*, un

lenguaje similar a Java. Está formado por una serie de menús, una barra de herramientas con botones para las funciones comunes, un editor de texto donde se escribe el código, un área de mensajes y una consola de texto. En la Figura 3.18 se puede apreciar la composición del *software* de Arduino.

3.6.2 Visual Studio 2017

Para el desarrollo de la interfaz de control en la computadora personal se utiliza el *software Microsoft Visual Studio 2017*, (véase Figura 3.19) este es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación, tales como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby y PHP, al igual que entornos de desarrollo web, como ASP.NET MVC, Django.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma. Así, se pueden crear aplicaciones que se comuniquen entre estaciones de trabajo, páginas web, dispositivos móviles, dispositivos embebidos y consolas, entre otros.

Para la elaboración del *software* de control se empleó el lenguaje C#, creado y estandarizado por la empresa *Microsoft*, el cual destaca por ser orientado a objetos, permitiendo escribir *software* de alta calidad, reutilizable y eficiente. Este entorno profesional no es *software* libre, pero no requiere pago de licencia por lo que puede ser usado por empresas pequeñas, en trabajos *open source* o por estudiantes universitarios.

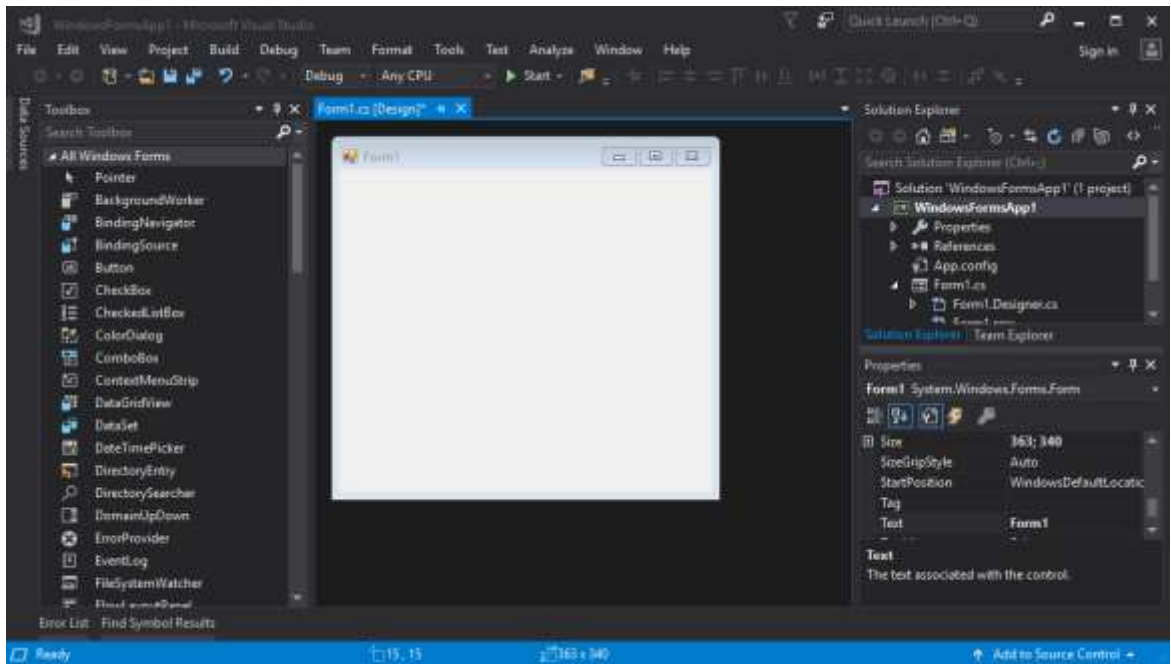


Figura 3.19. Entorno de programación del Visual Studio 2017.

CAPITULO 4 . Diseño y validación del sistema para supervisión de ruido ambiental.

Una vez descritas las herramientas necesarias en este capítulo se describe el diseño y la validación, a través de pruebas experimentales y de campo, del Sistema para la supervisión del ruido ambiental en la ciudad de Guayaquil. Se fundamenta el diseño del *hardware* y de todo el *software* necesario para la adquisición de las señales de ruido, su almacenamiento, transmisión remota y el posterior procesamiento y visualización de los parámetros fundamentales del ruido en la interfaz gráfica de usuario que se diseña.

4.1 Requerimientos del sistema para la supervisión del ruido ambiental.

- ✓ Estará constituido por Puntos de medición distribuidos en diferentes zonas de la ciudad de Guayaquil y un Centro de procesamiento.
- ✓ Los Puntos de medición adquirirán en tiempo real las señales de ruido y las almacenarán y transmitirán al Centro de procesamiento remoto para lo cual dispondrán de una tarjeta microSD y de un transmisor GSM.
- ✓ El Centro de procesamiento poseerá una unidad receptora GSM conectada con una computadora con el *software* cliente que permitirá al especialista obtener el resultado del procesamiento de las mediciones de ruido numérica y gráficamente, así como determinará el cumplimiento o no de la norma vigente en Ecuador (TULAS). El *software* cliente puede trabajar con los datos de forma remota o con la información guardada en la tarjeta microSD existente en los Puntos de medición.

- ✓ Para dar cumplimiento con lo normado en TULAS el sistema debe implementar las características de un sonómetro clase 1.

4.2 Esquema en bloques general del diseño:

En la Figura 4.1 se muestra el esquema en bloques general del Sistema para la supervisión del ruido ambiental que se propone. Como se observa consta de varios Puntos de medición de las señales de ruido, en este caso sólo se han reflejado tres, pero podrían ser tantos como fueran necesarios y de un Centro de procesamiento. Para la transmisión de los datos de medición se utiliza una red de telefonía celular.

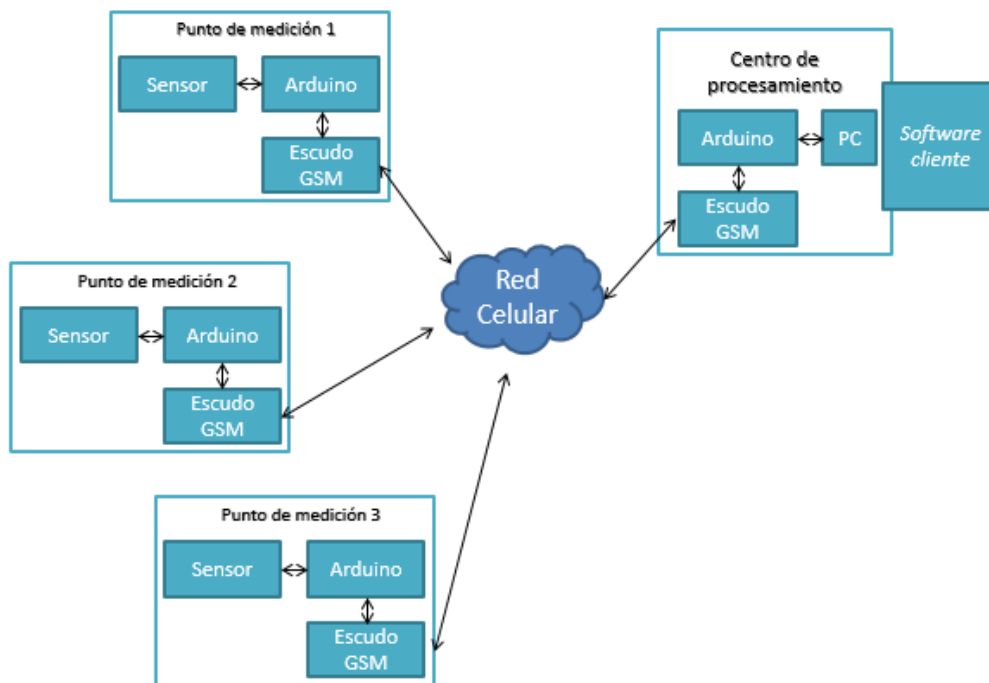


Figura 4.1. Esquema en bloques del Sistema para la supervisión del ruido ambiental.

4.3 Puntos de medición

El diseño de los Puntos de medición se dividió en dos etapas, la primera es una etapa de *hardware* donde se desarrolla el proceso de adquisición, pre amplificación y adecuación de las señales de ruido y la segunda, una etapa

de *software* donde se digitalizan las señales de ruido que luego se transmiten desde el sistema Arduino Mega a través del escudo GSM preseleccionado.

4.3.1 Diseño y desarrollo del *hardware* de los Puntos de medición.

Para el diseño del *hardware* se parte de que el sistema que se propone debe implementar un sonómetro clase 1 para obtener los niveles de ruido ambiente. De acuerdo a la norma UNE-EN 61672-1 las especificaciones que debe cumplir el sonómetro clase 1 para evaluar la afectación que produce el ruido en los seres humanos son:

1. Sonómetro con ponderación A.
2. Rango de frecuencias 16 Hz – 16000 Hz.
3. Velocidad de integración: F (*Fast*).
4. El rango dinámico debe ser al menos de 60 dB a 1 kHz.

Los aspectos 2, 3, y 4 se tuvieron en cuenta en el diseño del *hardware* y el *software* de los Puntos de medición. El aspecto 1 se cumplimenta en el Centro de procesamiento.

En la Figura 4.2 se muestra el diagrama en bloques del diseño del *hardware* de los Puntos de medición.



Figura 4.2. Diagrama en bloques del *hardware* de los Puntos de medición.

Como se observa está constituido por un micrófono (Mic) encargado de adquirir las señales de ruido, un pre amplificador (Pre Amp) que adecua el nivel de señal a los requerimientos de los terminales de entrada analógica del Arduino y el procesamiento en la plataforma Arduino Mega 2560 para obtener señales de ruido digitalizadas que se transmiten usando el escudo GSM.

4.3.1.1 Diseño del Pre amplificador

Se partió de que el rango de niveles de ruido que registraría el sonómetro estuviera comprendido entre un valor mínimo de 40 dBA y un máximo de 110 dBA.

Primeramente se obtuvo la sensibilidad del micrófono expresada en mV/Pa. Para lo cual se implementó un calibrador acústico a 94 dB (que equivale a 1 Pascal de presión) de la manera siguiente:

Se conectó el micrófono CMA-4544PF-W a un preamplificador de prueba con ganancia fija de 40. Se midió la tensión a su salida al aplicar una señal de 94 dB, que resultó ser de 0,56 V. Partiendo de que la ganancia G se expresa de acuerdo a la ecuación 4.1.

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (4.1)$$

Donde:

V_{out} es la tensión a la salida

V_{in} es la tensión de entrada

De lo que resultó que el valor de V_{in} es de 0,014 V, por lo que se puede afirmar que la sensibilidad del micrófono es de 14 mV/Pa.

Con este dato se procede a calcular las tensiones máximas y mínimas entregadas por el micrófono en el rango de 40dB a 110dB.

Tensión mínima entregada por el micrófono.

$$2\text{m Pa} \rightarrow 40\text{ dB} \rightarrow V = S \times P \rightarrow V = 0,014 \times 0,002 = 28\ \mu\text{V} \quad (4.2)$$

Tensión máxima entregada por el micrófono.

$$6,32 \text{ Pa} \rightarrow 110 \text{ dB} \rightarrow V = S \times P \rightarrow V = 0,014 \times 6,32 =$$

$$88,4 \text{ mV(RMS)} = 125 \text{ mV (Máximos)}$$

(4.3)

El Preamplificador contará con dos etapas:

- 1- Una etapa amplificadora.
- 2- Un convertidor de señal bipolar en unipolar.

Como se puede observar en la Figura 4.3

Diseño de la etapa amplificadora

Como el valor máximo de la señal analógica en los terminales de entrada del Arduino Mega 2560 es de 5 V, para que haya mínimo error, la ganancia del amplificador será:

$$G = \frac{5000mV}{125mV} = 40 \quad (4.4)$$

Para lograr esa amplificación se escogió el amplificador operacional TL082 que se caracteriza por tener entrada con transistores JFET que garantizan muy alta resistencia de entrada que los hacen ideales para amplificar señales de bajos niveles con baja afectación por ruido, tiene además alto *Slew Rate* (velocidad de respuesta) que no limita la respuesta en frecuencia y bajas tensiones y corrientes de *offset* (véase Anexo I).

Se trata de una estructura no inversora que para lograr el requerimiento de ganancia 40 resultaron los valores siguientes: R1=1 k Ω y R2=39 k Ω .

En la Figura 4.4 se muestra la curva resultante de la simulación del circuito en el dominio del tiempo con ORCAD Pspice 10.2. Como se observa se logró que el rango dinámico de la señal a su salida fuera de ± 5 V.

Para lograr los requerimientos de ancho de banda comprendido entre $F_l=20$ Hz (frecuencia de corte inferior) y $F_h=20$ kHz (frecuencia de corte superior) se partió de las expresiones 4.5 y 4.6.

$$F_l = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 20 \text{ Hz}$$

(4.5)

$$F_h = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 20 \text{ kHz}$$

(4.6)

De (4.5) se obtuvo que el valor de C_1 es de $10 \mu\text{F}$ para lograr una F_l de 20 Hz y de (4.6) se obtuvo que el valor de C_2 es de 204pF para lograr una F_h de 20 kHz.

La curva resultante de la simulación del circuito en el dominio de la frecuencia se muestra en la Figura 4.5.

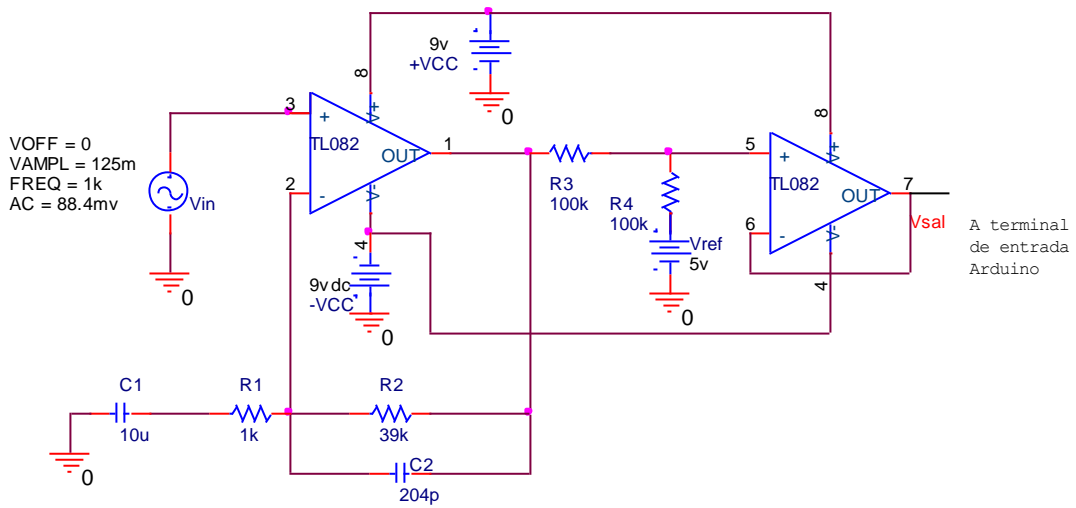


Figura 4.3. Circuito pre amplificador del micrófono.

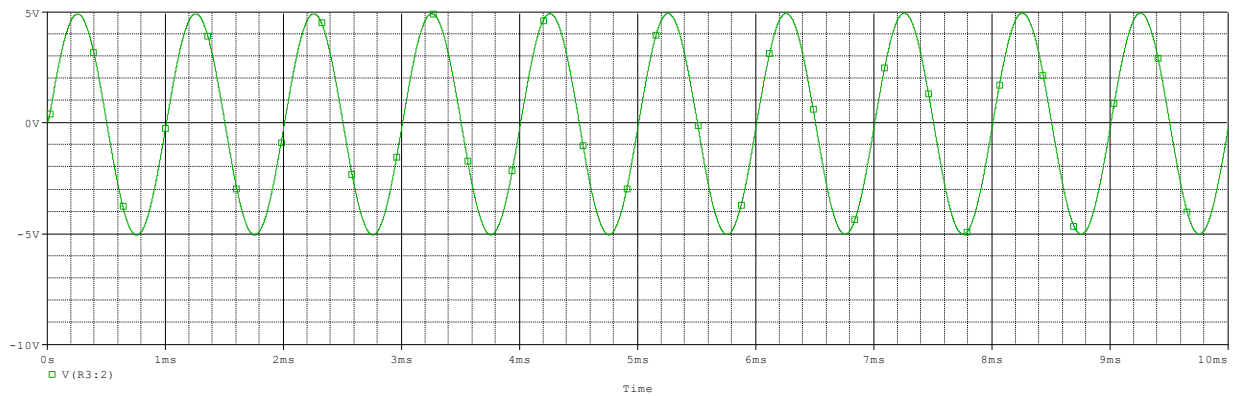


Figura 4.4. Resultados de la Simulación del amplificador en el dominio del tiempo.

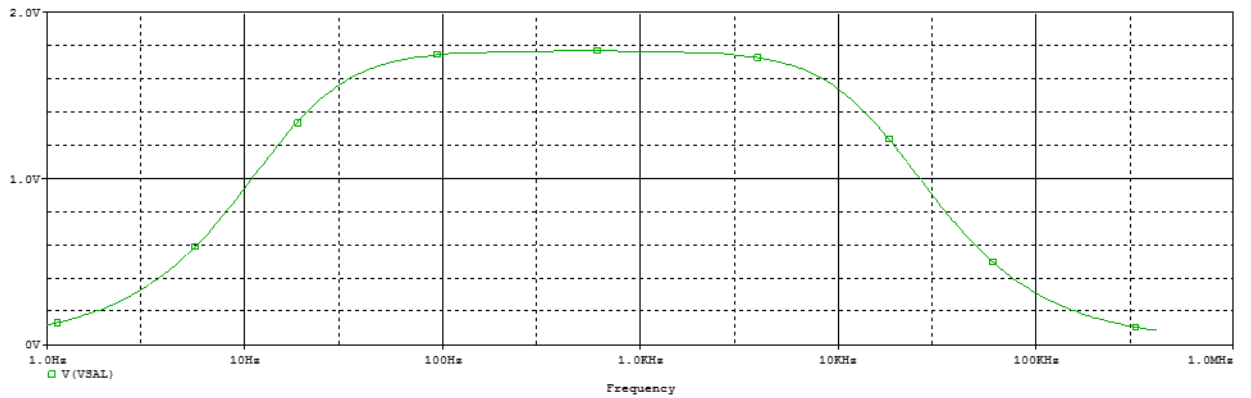


Figura 4.5. Resultados de la Simulación del amplificador en el dominio de la frecuencia.

Como se había expresado anteriormente el rango dinámico de las entradas analógicas del Arduino Mega 2560 es como máximo de 0 a 5 V. Lo que condicionó la conversión de la señal de salida del amplificador de ± 5 V a una con niveles entre 0 y 5 V con un convertor de señales bipolares a unipolares.

Diseño del convertidor de señales bipolares a unipolares

Su estructura se muestra en la Figura 4.6

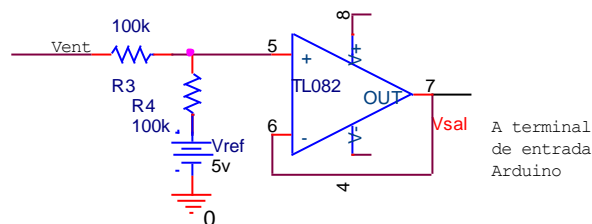


Figura 4.6. Circuito convertidor de señales bipolares a unipolares.

Análisis y diseño del circuito.

Se tiene que:

$$V_{-} = V_{sal}$$

$$V_{+} = V_{ref} \frac{R_3}{R_3 + R_4} + V_{ent} \frac{R_4}{R_4 + R_3} \quad (4.7)$$

Como, trabaja en régimen lineal $V_{+} = V_{-}$ y con $R_3 = R_4 = 100 \text{ k}\Omega$

$$V_{sal} = \frac{V_{ref}}{2} + \frac{V_{ent}}{2} \quad (4.8)$$

Por tanto:

Si $V_{ent} = 5 \text{ V}$ entonces $V_{sal} = 5 \text{ V}$

Pero

Si $V_{in} = -5\text{ V}$ entonces $V_{sal} = 0\text{ V}$

En la Figura 4.7 se muestra la curva resultante de la simulación del convertidor de bipolar a unipolar diseñado. Como se observa la señal a su salida tiene un rango dinámico comprendido entre 0 y 5 V, lo que cumple con los requerimientos de las entradas analógicas del Arduino.

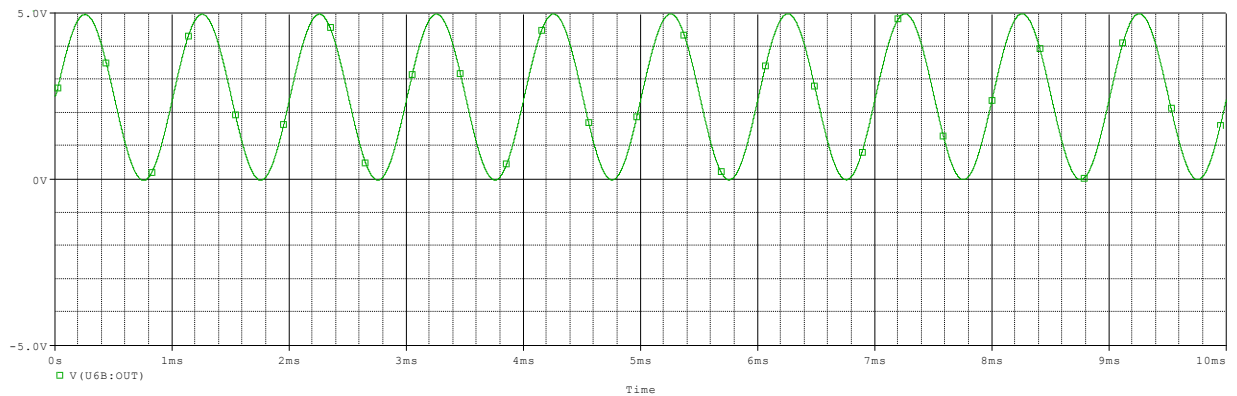


Figura 4.7. Resultados de la Simulación del convertidor de bipolar a unipolar en el dominio del tiempo.

4.3.2 Diseño y desarrollo del software de los Puntos de medición.

El software del Arduino de los Puntos de medición tiene como función adquirir, digitalizar y almacenar las señales analógicas de ruido presentes en el terminal de entrada analógica del CAD (Convertor Analógico Digital) correspondiente y configurar los siguientes dispositivos:

- Módulo lector de tarjetas MicroSD de Arduino para almacenar los resultados de las mediciones. (MicroSD Card Adapter v0.9b).

- El reloj de tiempo real DS1307, permite establecer los horarios de adquisición de muestras de ruido de acuerdo a lo que se estipula en TULAS.
- El escudo GSM SIM900, permite la transmisión de la señal de ruido digitalizada al Centro de procesamiento.

Su algoritmo general se detalla en la Figura 4.8

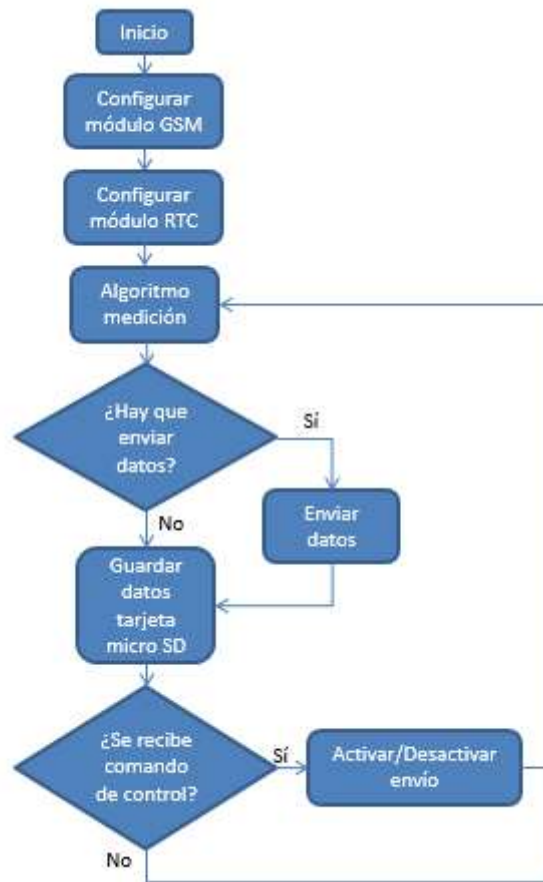


Figura 4.8. Algoritmo del software de los Puntos de medición.

4.3.2.1 Algoritmo de medición

El algoritmo utilizado para la programación de este bloque utilizando el entorno de Arduino 1.8.5 se ejemplifica en la Figura 4.9.



Figura 4.9. Algoritmo del software de adquisición y digitalización y de las señales de ruido.

Digitalización de las señales analógicas

La función *analogRead()* de Arduino hace que sea sencillo obtener un valor digital de un terminal analógico, fue implementada con el objetivo de obtener muestras individualmente de la señal analógica. Pero cuando se adquieren muestras de sonido es importante tomarlas a una velocidad constante y tomar cada muestra con precisión. Para poder lograr estas dos propiedades se realizaron cambios en la configuración del conversor analógico-digital del microcontrolador del Arduino.

En primer lugar, se configuró para que utilizase 5 V como tensión de referencia analógica con la sentencia que aparece en la Figura 4.10

```
analogReference(DEFAULT);
```

Figura 4.10. Sección del código para usar la tensión 5V como referencia.

En segundo lugar, para que trabajase en modo “*free-running*” y leyera los valores de las muestras directamente de los registros internos, sin pasar por *analogRead()*.

Como se ha mencionado, *analogRead()* está diseñado para leer un valor a la vez y en cada lectura lleva a cabo la inicialización del CAD, por lo que la frecuencia de lectura se verá afectada. Al configurar directamente el microcontrolador del Arduino y tomar las lecturas directamente de los registros internos se puede mejorar el tiempo de lectura del conversor analógico-digital. (Véase Figura 4.11)

```

ADCSRA = 0xe0 + 7;
ADMUX = 0x0;
ADMUX |= 0x40;
DIDR0 = 0x00;

```

Figura 4.11. Código para poner a trabajar al CAD en modo "free-running".

Y en tercer lugar se pasó a configurar la velocidad de muestreo del CAD. Por defecto funciona en el modo # 7 (Frecuencia de muestreo = 9,8 kHz), como el rango de audición humana va desde los 20 Hz hasta los 20 kHz, para poder reconstruir la señal a partir de las muestras se necesita como mínimo una frecuencia de muestreo de 40 kHz (según el teorema de Nyquist), por esta razón se modificaron 3 de los bits del registro ADCSRA del CAD y se puso a trabajar en el modo # 4 (como se muestra en la Figura 4.12) logrando así una frecuencia de muestreo de 76,9 kHz.

```

#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))
#ifdef ADCReClock
// 1 0 0 = mode 4 = divider 16 = 76.8khz
sbi(ADCSRA, ADPS2);
cbi(ADCSRA, ADPS1);
cbi(ADCSRA, ADPS0);

```

Figura 4.12. Código de configuración del CAD para establecer una frecuencia de muestreo de 76,8 kHz.

Escalamiento e interpretación de los datos.

Como se mencionó anteriormente el rango de funcionamiento del convertor es de 0 a 5 V, que con los 10 Bits de resolución del CAD permite 1024 valores diferentes. Para obtener la equivalencia de los valores digitalizados en valores de tensión se utiliza una relación de conversión.

$$\text{Valor equivalente de la muestra en volts} = (5 * \text{valor de medición}) / 1023$$

Para obtener la representación original de las señales que provienen del micrófono es necesario discriminar el valor del nivel DC (*Direct current*) en

cada una de las mediciones, por esta razón se resta 2,5 al valor de la medición.

$$\text{Valor equivalente de la muestra en volts} = ((5 * \text{valor de medición}) / 1023) - 2,5$$

4.3.2.2 Almacenamiento de los datos.

Se utilizó el SPI MicroSD Card Adapter v0.9b para Arduino con una memoria de 2 Gigabytes de capacidad, ya explicados en el capítulo anterior, los datos se almacenan organizadas por la fecha en que se realizan las mediciones como se muestra en la Figura 4.13.

Nombre	Ext	Tamaño	Fecha
15.05.2018	<DIR>	<DIR>	15/05/18
16.05.2018	<DIR>	<DIR>	16/05/18
17.05.2018	<DIR>	<DIR>	17/05/18

Figura 4.13. Almacenamiento en la MicroSD según la fecha de las mediciones.

Cada muestra se tomó en un intervalo de 5 segundos durante la hora más desfavorable en el horario diurno y nocturno como se especifica en las normas.

Análisis del almacenamiento en la memoria

1 muestra cada 5 segundos equivale a 12 muestras por minuto

$$12 \text{ muestras} * 60 \text{ minutos} (1 \text{ hora}) = 720 \text{ muestras} \setminus \text{ hora}$$

Esto significa que se tienen 720 muestras para cada hora, serían 2 archivos de un tamaño máximo de 10 Kb, es decir, la capacidad por día es de 20 Kb máximo. (véase Figura 4.14)

Nombre	Ext	Tamaño	Fecha
..			
Horario Diurno(Medidas).csv		9,1 Kb	17/05/18
Horario Nocturno(Medidas).csv		9,1 Kb	17/05/18

Figura 4.14. Almacenamiento de las muestras según el horario.

Que con una memoria de 2 Gigabytes sería suficiente para varios años de almacenamiento consecutivos.

4.3.2.3 Configuración del módulo GSM

Como se mencionó anteriormente la configuración del módulo GSM se realiza a través de comandos AT enviados a través del puerto serie. El primer paso que realiza el *software* del Arduino en las unidades de medición es configurar el escudo. El comando “AT+CREG?” se utiliza para conocer el estado de conexión a la red móvil, el escudo responde con un 0 si no está conectado y con 1 si está registrado en la red. (véase Figura 4.15)

```
// Verificando disponibilidad de la red móvil
bool redDisponible = false;
Serial1.println("AT+CREG?");
delay(250);
while (Serial1.available()) {
  if (Serial1.read() == '1') {
    redDisponible = true;
  }
}
```

Figura 4.15. Sección del código sobre la inicialización del módulo GSM.

Una vez que el escudo GSM se conecta con la red se le envían un conjunto de comandos necesarios para configurar el mismo. El comando “AT+CNMI=1,1,0,0,0” configura la interfaz GSM para que notifique automáticamente cuando se reciba un SMS, enviando la notificación "CMTI" por el puerto serie. En caso de que se reciba esta notificación es porque la unidad de control envía un comando que indica que se detenga o que se reanude el envío de las mediciones en tiempo real. De esta forma el operario desde la PC del Centro de procesamiento puede desactivar o activar las mediciones de los Puntos de medición.

Programación del RTC DS1307

Para el trabajo con el módulo, se empleó la biblioteca RTCLib de la compañía Adafruit, disponible en la página <https://github.com/adafruit/RTClib>. Los pasos que se necesitan realizar se muestran en la captura de código que se muestra en la Figura 4.16. Estos son, inclusión de la biblioteca, creación de un objeto del tipo RTC y llamada a la función `adjust()` para iniciar la fecha y hora, las cuales se obtienen a través del módulo GSM.

```
// Biblioteca RTC
#include "RTClib.h"

// Objeto RTC
RTC_DS1307 rtc;

// Inicialización de la fecha y hora
rtc.adjust(DateTime(F(Date), F(Time)));
```

Figura 4.16. Sección del código que crea y configura el módulo RTC.

Finalmente en la Tabla 4.1 se resumen las características que en conjunto el *hardware* y el *software* de los puntos de medición aportan al prototipo del sonómetro que se diseñó.

Tabla 4.1. Resumen de características del hardware y software de los Puntos de medición.

Características	Valores
Frecuencia de muestreo	76,8 kHz
Resolución del conversor A/D	10 bits
Sensibilidad del micrófono	14 mV/Pa
Rango de frecuencias	20 Hz ~ 20 kHz
Memoria	2 Gb
Rango dinámico	40 dB ~ 110 dB

4.4 Alimentación del circuito

Para la alimentación del dispositivo se propone una batería del tipo *Power Bank* (véase Figura 4.17). Este tipo de batería se han empezado a comercializar recientemente para recargar los móviles, presenta una salida del tipo USB donde brinda un voltaje de 5 V y su capacidad ronda los 5000 mAh típicamente.



Figura 4.17. Batería Power Banks. (Prometec, 2018)

Cálculo de la duración de la carga de la batería

Se podría hacer una estimación de la duración de la carga de la batería, de una forma muy sencilla. Conociendo el consumo del dispositivo, es decir, el consumo total del circuito eléctrico, del Arduino Mega 2560, del módulo MicroSD, del RTC y del escudo GSM, este consumo es de 120 mA cuando no transmite y de alrededor de 615 mA cuando se encuentra enviando datos.

$$\frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Corriente consumida}} = \frac{5000\text{mAh}}{120\text{mA}} = 41,6 \text{ horas sin transmitir datos.}$$

$$\frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Corriente consumida}} = \frac{5000\text{mAh}}{615\text{mA}} = 8,13 \text{ horas transmitiendo de forma continua.}$$

Esas 8,13 son horas aproximadas suponiendo un régimen de transmisión continua, que en la práctica no será así, pues la transmisión se realiza durante pocos minutos. Por lo que los dispositivos de medición presentan

una autonomía de al menos un día de medición, cuando se requiera el uso de la batería.

Si en los lugares donde se van a realizar la medición se cuenta con la línea eléctrica de alimentación estándar, basta con emplear una fuente con salida compatible con el Arduino para alimentar al mismo.

Para la alimentación de ± 9 V que requiere el circuito pre amplificador se utilizó un convertidor DC-DC DD1718PA que permite entradas de tensión en el rango de 3,3 V a 8 V y entrega a su salida ± 9 V, se utilizó con una tensión de entrada de 5 V suministrada por el Arduino o por la batería en caso que esta sea requerida.

4.5 Unidad de procesamiento central

El Centro de procesamiento se compone de un Arduino Mega 2560, un escudo GSM y una computadora personal.

La función de estos es recibir los datos de la señal de ruido digitalizada enviados de forma remota desde los Puntos de medición y encaminarlos a la computadora vía USB.

En esta última se procesan en tiempo real y visualizan en una interfaz gráfica diseñada con Visual Studio 2017, el algoritmo general del *software* del Centro de procesamiento se muestra en la Figura 4.18.

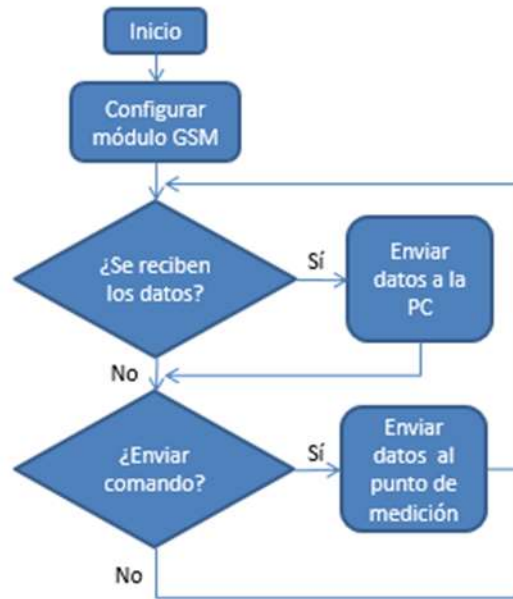


Figura 4.18. Algoritmo general del software del Centro de procesamiento.

En la Figura 4.19 se muestra el algoritmo que se implementó en el entorno de desarrollo Visual Studio 2017 que permitió obtener los valores del Nivel de presión sonora NPS (dBA), el valor máximo del NPS, (que en los sonómetros se designa como Lmax (dBA)), y el Nivel de presión sonora continuo equivalente LAeq (dBA).

La interfaz gráfica diseñada evalúa si se cumple o no la normativa especificada en el TULAS en función del tipo de zona.

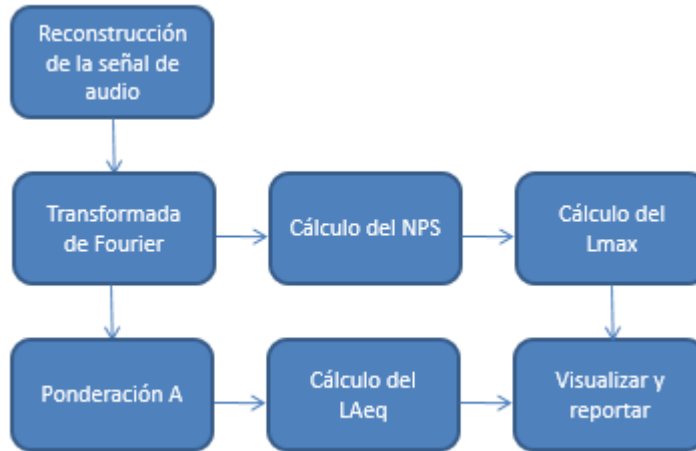


Figura 4.19. Algoritmo del software en Visual Studio 2017 del Centro de procesamiento.

Para la programación de la curva de Ponderación A se utilizó la ecuación 4.10. Esta asigna a cada frecuencia un valor ponderado que se relaciona con la sensibilidad del oído a esa frecuencia.

$$A(f) = \frac{12200^2 \cdot f^4}{(f^2 + 20.6^2) \cdot (f^2 + 12200^2) \cdot (f^2 + 107.7^2)^{0.5} \cdot (f^2 + 738^2)^{0.5}} \quad (4.10)$$

Los valores que se obtienen de esta expresión son lineales, pero se requiere que sean en decibeles, por lo que fue necesaria una conversión que se logró con la siguiente expresión matemática:

$$dBA = 20 \cdot \text{Log} \frac{A(f)}{A(ref)}$$

(4.11)

Donde:

dBA = Nivel de presión sonora en decibeles A.

$A(f)$ = Referencia a cierto valor x de la frecuencia.

$A(ref)$ = Valor de referencia a 1000 Hz.

Para calcular $A(ref)$ se tomó un valor de frecuencia de 1000 Hz y se sustituyó en la ecuación 4.10, el valor resultante es de 0.7943463957. Una vez obtenido el valor de $A(ref)$ se sustituye en la ecuación 4.11:

$$dBA = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{A(f)}{0.7943463957} \quad (4.12)$$

Después de obtener los valores ponderados, se pasó a calcular el NPS con la ecuación 4.13

$$NPS = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{P}{P_{ref}} \quad (4.13)$$

Donde:

NPS: Nivel de presión sonora en dBA.

P: Presión sonora en Pascales.

P_{ref}: Presión de referencia $2 \cdot 10^{-5} Pa$

La presión sonora en pascales se calculó utilizando la ecuación 4.14.

$$P = \text{Ampmax}(10^{\frac{x}{20}}) \quad (4.14)$$

Donde:

Ampmax: Amplitud máxima de la señal.

x: Valor ponderado.

$$LAeq = 10 \log \left(\sum \frac{1}{n} 10^{\frac{NPS}{10}} \right) \quad (4.15)$$

Donde:

LAeq nivel de presión sonora continuo equivalente.

NPS es el nivel de presión sonora en dBA

n es el número de muestras.

4.5.1 Obtención de la curva de calibración del sonómetro

Para realizar las calibraciones del prototipo fue necesario utilizar un sonómetro profesional como referencia que inicialmente sirvió para obtener la curva de calibración y luego para validar los resultados. Además, se necesitó una fuente acústica omnidireccional que se aproxime a un radiador isotrópico esférico.



Figura 4.20. Sonómetro de referencia y Calibrador CB004, Trípode TR040, Maleta ML040.

El sonómetro empleado como referencia es el CESVA SC102 (véase Figura 4.20) es un sonómetro integrador con protocolos de medición por lo que simplifica al máximo el proceso para obtener los resultados, debe ser calibrado previamente en cada medición.

La fuente sonora que se utilizó para la generación de un tono a la frecuencia de 1 kHz fue una PC (*Personal Computer*) con la aplicación *Audacity* como se muestra en la Figura 4.21

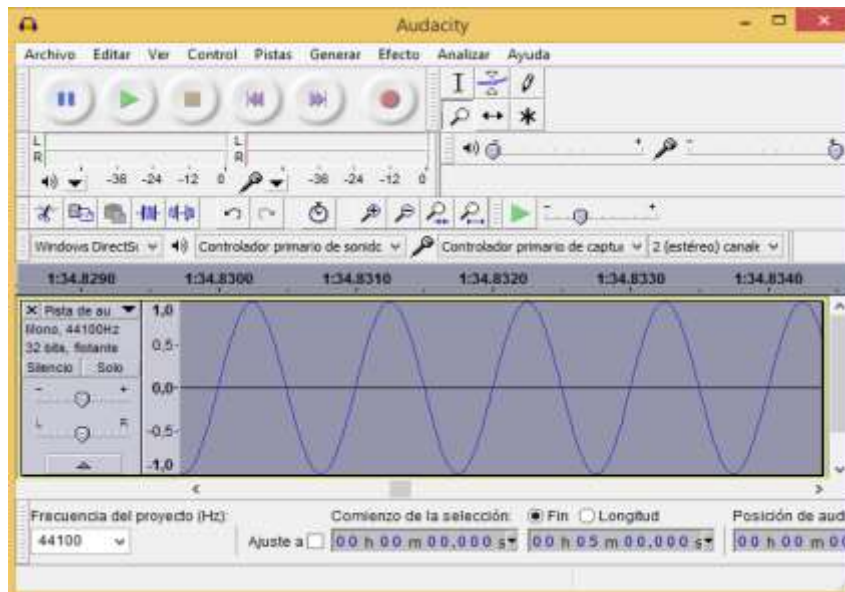


Figura 4.21. Fuente sonora utilizada para obtener la curva de calibración del prototipo de sonómetro.

Se fue variando el nivel de presión sonora a razón de 3 dB y se fueron tomando los datos del Nivel de presión acústica en dBA registrados en el sonómetro profesional y el nivel de tensión a la salida del amplificador del micrófono. Estos datos se procesaron en el *software* estadístico Excel y se obtuvo la curva de calibración que aparece en la Figura 4.22.

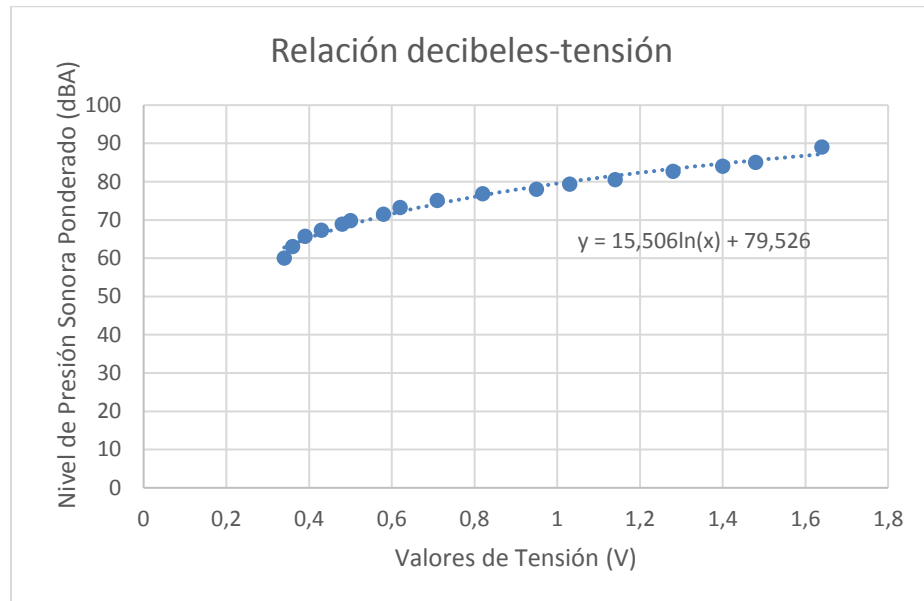


Figura 4.22. Aproximación logarítmica del nivel ponderado A frente a tensión.

4.5.2 Descripción de las Interfaces Gráficas

En la Figura 4.23 se observa la pantalla principal de la aplicación del Centro de procesamiento.

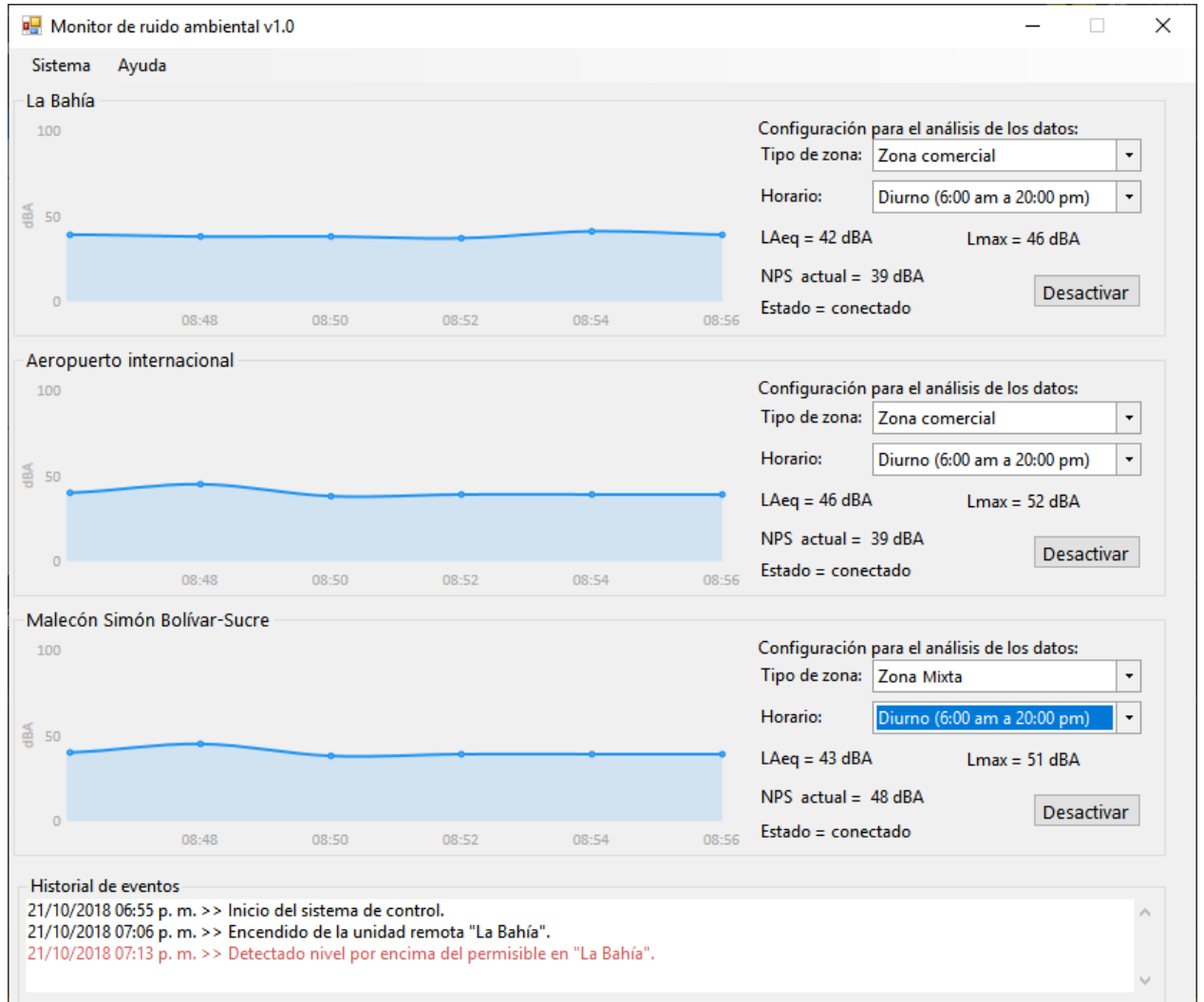


Figura 4.23. Interfaz gráfica de la aplicación del Centro de procesamiento.

Como se observa se compone de un área de Gráficas, un área de Configuración para el análisis de los datos y una sección de Historial donde se muestran los eventos ocurridos en el sistema.

En el área de Gráficas se muestra el graficado en tiempo real de valor del NPS (dBA) de las zonas que se encuentran activas, en el caso que se visualiza aparecen activas las tres zonas que fueron objeto del análisis: La Bahía, El aeropuerto internacional, y la Zona Malecón Simón Bolívar –Sucre en el horario diurno.

En el área de Configuración para el análisis de los datos se especifica el tipo de Zona que de acuerdo al TULAS pueden ser: Zona Hospitalaria y Educativa, Zona Residencial, Zona comercial, Zona industrial y Zona Mixta.

Permite seleccionar además si el horario de la medición será Diurno: de 06H00 A 20H00 ó Nocturno: de 20H00 A 06H00, de acuerdo a lo que especifica TULAS.

A través de esta Interfaz se pueden Activar o Desactivar los Puntos de medición remotos con solo hacer Clic en el botón alegórico a esta función que se muestra.

Finalmente, la Aplicación devuelve el valor actual del NPS (dBA), su valor máximo Lmax y el Nivel de presión continuo equivalente que es el que se compara con lo que se especifica en TULAS de acuerdo al tipo de Zona y se puede identificar una violación de la normativa.

En el Historial se muestra información relacionada con la respuesta que dan los Puntos de medición, ante la orden de Activación o Desactivar y un mensaje indicando el cumplimiento o no de la normativa,

A modo de ejemplo se muestra en la Figura 4.24 mensaje en color rojo con la fecha y hora, así como el identificativo del Punto de medición donde se detectó un nivel de ruido ambiental por encima del permisible.

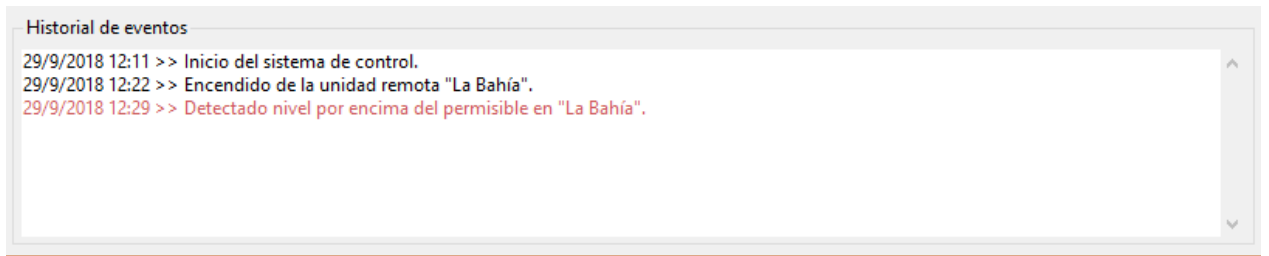


Figura 4.24. Historial de eventos mostrando una alerta.

Para agregar una nueva zona o Punto de medición se debe hacer Clic el menú Sistema y luego en Agregar punto de medición tal como se muestra en la Figura 4.25. Los datos necesarios para agregarlo son el identificador y el número de la tarjeta SIM que presenta el módulo GSM, el comentario es opcional. (véase Figura 4.26)

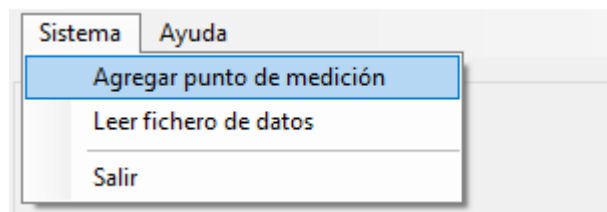


Figura 4.25. Agregar Punto de medición.

Figura 4.26.. Datos para agregar un Punto de medición.

La función del menú “Leer fichero de datos” se utiliza para analizar los datos guardados en la MicroSD tal y como se muestra en la Figura 4.27.

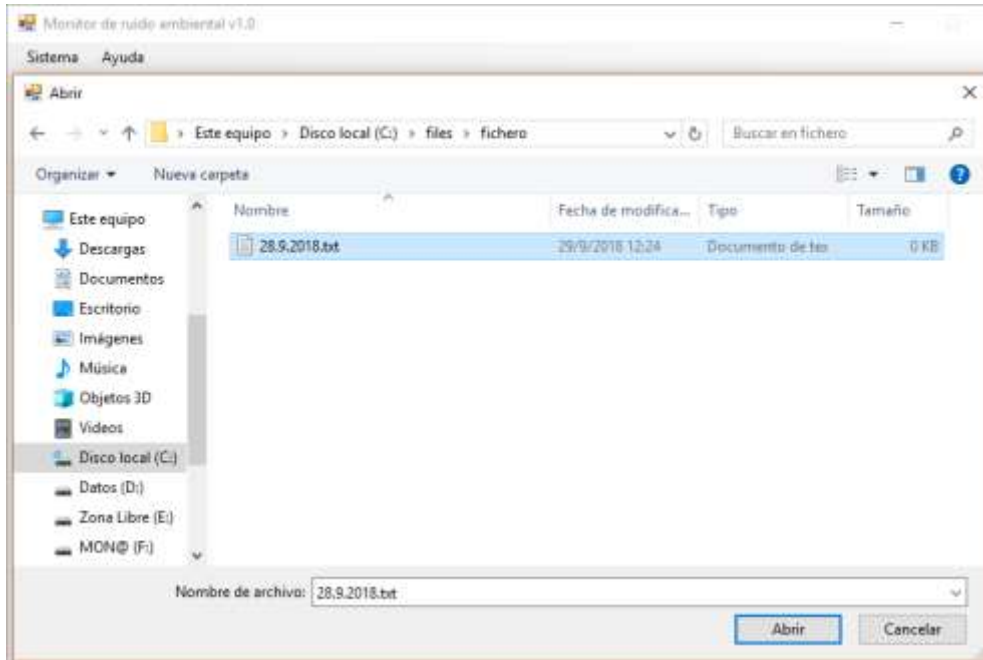


Figura 4.27. Abrir fichero.

Finalmente, en la Figura 4.28 se muestra la operación del Sistema en el horario nocturno.

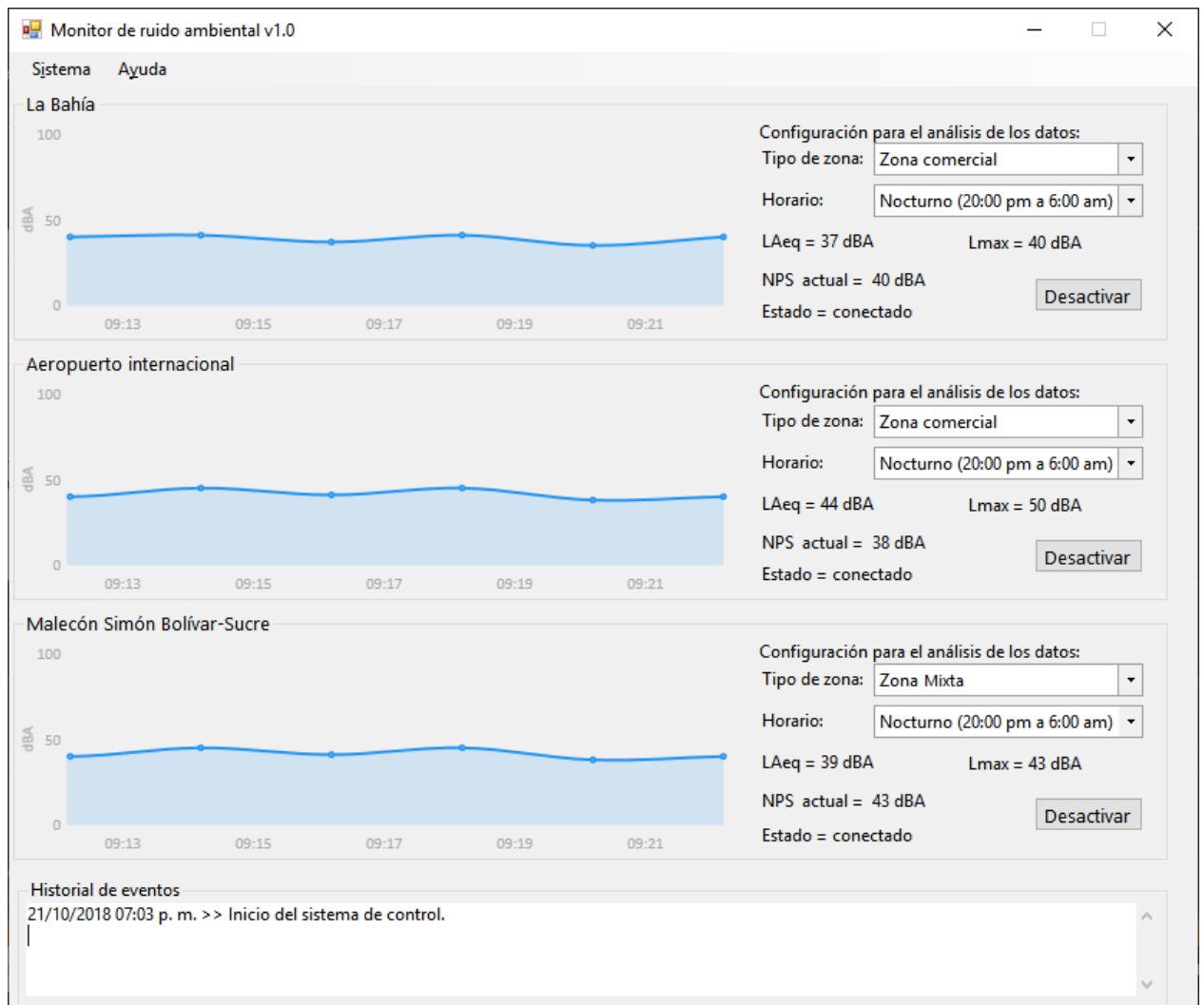


Figura 4.28. Operación del Sistema en el horario nocturno.

4.6 Validación del diseño.

Pruebas realizadas al *hardware* de los Puntos de medición

Una vez realizado el montaje físico del *hardware* de los Puntos de medición se realizaron pruebas de laboratorio que permitieron constatar la validez del diseño. Se tomó como referencia el sonómetro CESVA SC102 anteriormente mencionado y el micrófono CMA-4544PF-W a la misma distancia de la fuente emisora de sonido en un ambiente con acondicionamiento acústico adecuado tal que el ruido de fondo fuera despreciable. Se realizó un barrido por octavas de frecuencias variando la intensidad del sonido aleatoriamente

en un rango de 40dBA hasta 110 dBA obteniendo simultáneamente el nivel de ruido (dBA) que mostraba el sonómetro de referencia y un indicador LCD (Indicador de cristal líquido) que se agregó para observar la medición en el *hardware* véase Figuras 4.29 y 4.30.

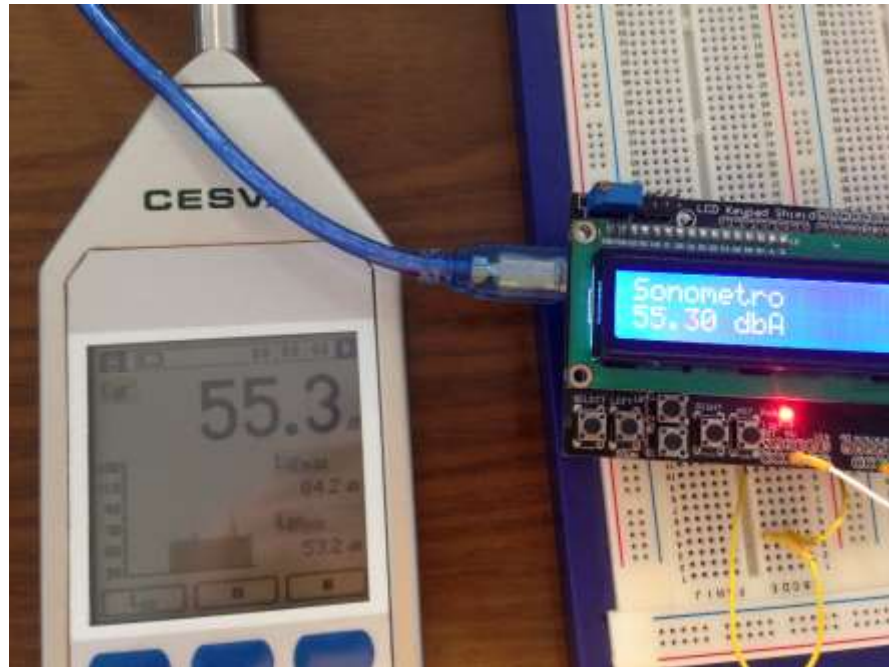


Figura 4.29. Pruebas de laboratorio con el hardware (1).

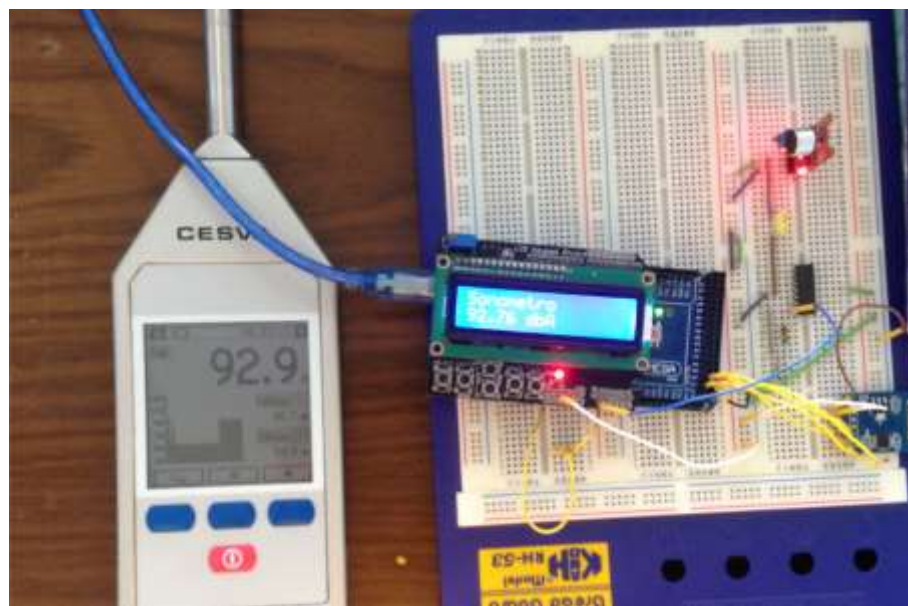


Figura 4.30. Pruebas de laboratorio con el hardware (2).

Estas pruebas arrojaron una diferencia máxima entre los valores medidos con ambos dispositivos de 0,2 dBA.

Pruebas de campo

Para estas pruebas se utilizó igualmente el sonómetro de referencia CESVA SC102 y el prototipo del Sistema para la supervisión del ruido ambiental diseñado.

El procedimiento fue el siguiente de acuerdo a lo que especifica el TULAS:

1. Se seleccionaron días y horarios para efectuar las mismas, teniendo en cuenta el estado del tiempo, ya que no debe haber lluvias, lloviznas, tormentas eléctricas y las superficies sobre las que se efectúen tienen que permanecer secas. Tampoco debe existir grandes diferencias de temperatura y humedad en el caso que estas mediciones abarquen un gran número de horas en el día.
2. Se utilizó el mapa de ubicación con los puntos de medición para colocar el sonómetro en el lugar indicado.
3. Se midió la velocidad del viento a la altura del micrófono para que esta no sobrepasara los 3 m/s en el momento de realizar las mediciones de ruido.
4. Se realizaron las mediciones a 3 m por fuera del límite físico del terreno dentro del cual se encuentra alojada la fuente a ser evaluada
5. Se ubicó el sonómetro y el micrófono en dirección a la fuente de mayor emisión en el lindero.
6. El técnico que realizó las mediciones estuvo a 0,5 m de distancia de los instrumentos de medición.

Una vez determinados los puntos de medición, se realizaron mediciones de campo de forma continua, teniendo en cuenta las condiciones normales de operación de la fuente emisora. Se registraron 10 mediciones de un minuto cada una por cada punto monitoreado.

En la Tabla 4.2 se muestra un ejemplo de las mediciones efectuadas en la Zona de la Bahía, en la primera columna los resultados de la medición del Nivel de presión sonora (dBA) con el prototipo de diseño y en la segunda los resultados de las mediciones con el sonómetro de referencia. Se puede observar un mínimo de aproximadamente 62.9 dBA y un máximo de aproximadamente 72.1 dBA que en ambos casos superan el máximo permisible 60 dBA para esta zona comercial por las especificaciones de TULAS para horario diurno.

Por otra parte, se observa que el error absoluto entre las mediciones con el sistema diseñado y el sonómetro de referencia como promedio es alrededor de 0,2.

Las gráficas de los resultados de estas mediciones se muestran en la Figura 4.31, donde se puede observar que tiene la misma tendencia en el tiempo.

Tabla 4.2.Muestra de mediciones de campo efectuadas.

Nivel de presión sonora(dBA) Sistema diseñado	Nivel de presión sonora (dBA) sonómetro de referencia	Error absoluto
64.4	64.5	-0.1
65.1	65.4	-0.3
63.3	63.1	0.2
66.1	65.9	0.2
70.2	69.9	0.3
66.8	66.7	0.1
72.1	72.4	-0.3
67.2	66.9	0.3
65.7	65.4	0.3
63.6	63.4	0.2
62.9	62.7	0.2
63.6	63.6	0
64.6	64.7	-0.1
65.7	65.8	-0.1
63.9	63.7	0.2
64.5	64.3	0.2
64.9	64.9	0
64.9	64.9	0
70.1	69.8	0.3
69.1	69.2	-0.1
69.6	69.7	-0.1
64.9	64.8	0.1
64.5	64.3	0.2
62.9	62.9	0
64.5	64.3	0.2
69.5	69.3	0.2
70.1	69.9	0.2
65.8	65.7	0.1
64.9	64.7	0.2
63.1	62.9	0.2
64.8	64.6	0.2
64.8	64.6	0.2

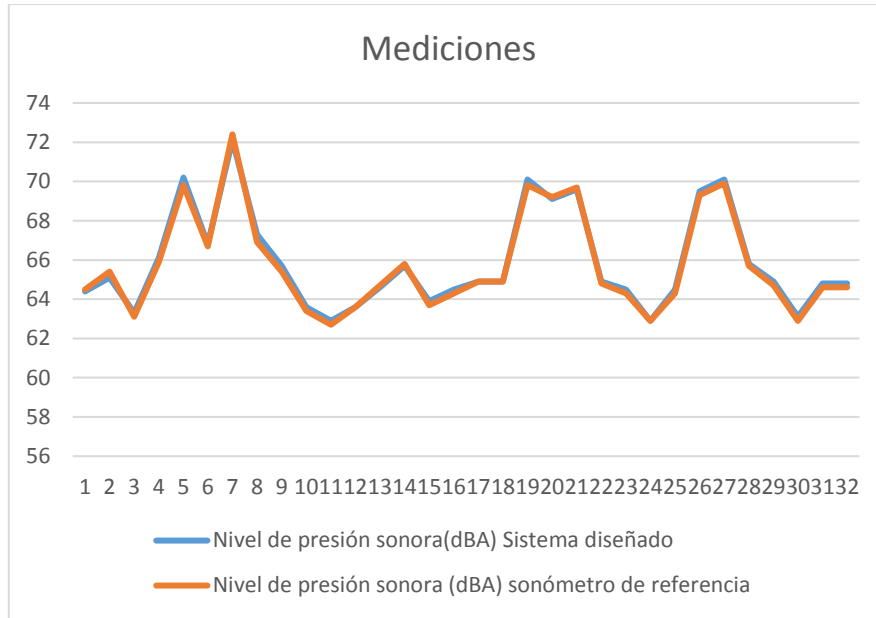


Figura 4.31. Curvas de tendencia del comportamiento de ambas mediciones en el tiempo.

4.7 Análisis económico

Los precios en el mercado internacional de los equipos de medición del ruido ambiental son elevados. Oscilan entre los 212.00 dólares (equipos limitados a brindar una función extremadamente básica) y los 4994.00 dólares dependiendo de la capacidad de almacenamiento que posean, de las diversas redes de ponderación (A, B, C) que tengan y de las diversas funciones que sean capaces de desplegar.

En la Tabla 4.3 se relacionan los componentes utilizados y el precio correspondiente

Tabla 4.3. Listado de componentes y precio.

Componente	Cantidad	Precio(USD)	Total(USD)
Arduino Mega 2560	2	14,99	29,98
<u>SPI MicroSD Card Adapter v0.9b for Arduino</u>	1	5,08	5,08
Módulo Tiny RTC	1	3,24	3,24
Resistencias	3	0,05	0,15
TL082	1	0,30	0,30
POWER BANK	1	22,99	22,99
MicroSD(2Gb)	1	4,75	4,75
Capacitores de cerámica	1	0,10	0,10
MODULO GSM	2	18,02	36,04
Total	-	-	102.63

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La propuesta de diseño de un Sistema para la supervisión del ruido ambiental en la ciudad de Guayaquil cumplió con las especificaciones fijadas al lograr:

- ✓ Diseñar un Sistema que adquiere los niveles de las señales de ruido ambiental en diversos puntos de la ciudad y determina si se violan las legislaciones vigentes al respecto.
- ✓ El diseño del *hardware* de los Puntos de medición y de los *softwares* tanto de Arduino Mega 2560 como el de alto nivel que implementa las interfaces gráficas en Visual Studio 2017 conforman un sonómetro clase 1 con los siguientes parámetros:
 1. Sonómetro con ponderación A.
 2. Rango de frecuencias 20 Hz – 20000 Hz.
 3. Velocidad de integración: F (*Fast*).
 4. El rango dinámico de 60 dB a 1 kHz.

Las pruebas realizadas confirman que el Arduino Mega 2560 con el *software* implementado dan una solución viable y tecnológicamente independiente a la problemática de adquirir y digitalizar las señales de ruido.

Las mediciones efectuadas corroboran el correcto funcionamiento del sistema en la banda de frecuencia de 20 Hz a 20 kHz y con niveles de ruido entre 40 dBA y 110 dBA. (+-0.2dB)

La interfaz gráfica diseñada de forma amigable facilita al especialista la obtención de los parámetros NPS LAeq y Lmax, así como la detección del

incumplimiento de lo normado en TULAS lo que permitirá tomar medidas y realizar planificaciones a largo plazo.

Las pruebas de campo realizadas confirman la validez del diseño al lograr un error absoluto de 0,2 dBA.

También se confirmó que en el sector de la Bahía tanto los niveles máximos como los niveles mínimos medidos en horario diurno durante las pruebas realizadas están por encima de los niveles normados, lo que denota la importancia de la propuesta realizada en virtud de controlar la contaminación acústica.

Recomendaciones

- ✓ Ampliar el diseño con la inclusión de otros tipos de ponderaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ArduinoInfo. (2018). Obtenido de <https://arduino-info.wikispaces.com/MegaQuickRef>

Bahret, A. (1992). *Biología*. New Jersey: Prentice Hall.

Bigtronica. (2018). Obtenido de <https://www.bigtronica.com/centro/sensores/tiempo-contadores/171-modulo-rtc-con-memoria-eeeprom-ds1307-5053212001711.html>

Bongiovanni, P., Cascino, M., & Sanso, M. (2011). *Fundamentos de Acústica y Electroacústica*. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

Boschi, C. E., & Muñoz Vargas, G. E. (2005). *Medición de la contaminación sonora en la Ciudad de Mendoza*. Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2005, Mendoza, Argentina.

Brinkmann, E., & Friemann, W. (s.f.). *Enciclopedia Médica : El gran libro de la salud*. México D.F.

Carrión Isbert, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona.

Colectivo de autores. (2003). *Naturaleza y Efectos del Ruido, Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. (O. I. Trabajo, Ed.)

CUI Inc. (2018). Obtenido de <https://www.cui.com/product/resource/cma-4544pf-w.pdf>

DLNware. (2018). Obtenido de <http://dlnware.com/theory/SPI-Bus>

Enciclopedia de la OIT Naturaleza y Efectos del Ruido. (2003). Recuperado el julio de 2018, de www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/.../EnciclopediaOIT/tomo2/47.pdf

Fernández Guerra, V., Pagadigorria Ruiz, A., Alonso Ruiz de Erentzun, E., & Narbaiza Amillategi, B. (2013). *Fundamentos de la teoría y técnicas audiovisuales.*

Hernández Juárez, J. (2009). *Diseño de un sonómetro.* Academia de acústica. Departamento de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica. Instituto Politécnico Nacional, México.

Huertas Martínez , C. A. (2015). *Contaminación auditiva y su impacto negativo en la salud.* Proyecto de investigación, Facultad de Comunicación Social. Universidad de Guayaquil.

Kogan Musso, P. (2004). *Análisis de la eficiencia de la ponderación "A" para evaluar efectos del ruido en el ser humano.* Universidad Austral de Chile, Valdivia. Chile.

Ledó Sánchez, E. (2012). *Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino.* Valencia. España.

Libro VI Anexo 5 TULAS (28 de noviembre de 2002).

Mieles Macías, Y. (2015). *Evaluación de la propagación de los niveles de presión sonora producidos por un rodillo liso vibratorio durante su operación.* Tesis en opción al título de magister en impactos ambientales., Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Miyara, F. (julio de 2018). *Niveles Sonoros.* Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>

- ONI. (2018). Recuperado el julio de 2018, de www.oni.escuelas.edu.ar
- Ortega Lazos, R. A. (2014). *Desarrollo de sistema GPS para aplicaciones de monitoreo*. México.
- Página Oficial de Arduino*. (2018). Recuperado el julio de 2018, de <http://www.arduino.cc>
- Prometec*. (2018). Obtenido de <https://www.prometec.net/arduino-baterias/>
- Random Nerd Tutorials*. (2018). Obtenido de <https://randomnerdtutorials.com/sim900-gsm-gprs-shield-arduino/>
- Romero Vargas. (2018). *Contaminación Acústica*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/iesromerovargas/contaminacion-acustica-25409547>
- Ruíz Casal, E. (2000). *Contaminación acústica efectos sobre parámetros físicos y psicológicos*. Trabajo de investigación en opción al grado de doctor en Medicina., Universidad de Laguna.
- Sánchez, L. E. (2002). *Ruido y Sobrepresión Atmosférica*. Sao Paulo.
- Uña, M. A. (2000). *Protocolos de Vigilancia Sanitaria Específica para Trabajadores Expuestos al Ruido*. Ministerio de Salud y Consumo, Madrid.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

AT: *Attention*, Comandos codificados de comunicación con un módem telefónico.

C

COM: Interfaz de comunicaciones de datos digitales donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez. Puerto serie RS-232 de algunas computadoras.

CAD: Conversor Analógico Digital

D

dB: Decibeles.

dBA: Decibeles ponderados A

dBb: Decibeles ponderados B

dBc: Decibeles ponderados C

dBd: Decibeles ponderados D

DC: *Direct current*.

E

EEPROM: *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*

EPROM: *Erasable Programmable Read-Only Memory*.

F

Fon: Nivel de sonoridad igual a la de un tono sinusoidal de frecuencia de 1kHz y 0 dB de presión sonora.

G

GSM: *Global System for Mobile communications*

I

I²C: *Inter-Integrated Circuit*

IDE: *Integrated Development Environment*

L

L_{max}: Nivel de presión sonora máxima.

L_{min}: Nivel de presión sonora mínima.

L_{Aeq}: Nivel de presión sonora equivalente.

LCD: *Liquid Crystal Display*.

LED: *Light-Emitting Diode*

M

MISO: *Master Input Slave Output*

MOSI: *Master Output Slave Input*

MMS: *multimedia messaging service*

N

NPS: Nivel de presión sonora

NPS_{eq}: Nivel de presión sonora equivalente

NPS_{max}: Nivel de presión sonora equivalente máxima

O

OMS: Organización Mundial de la salud.

P

Pa: Pascal: Un Pascal es igual a una fuerza de 1 Newton actuando sobre una superficie de un metro cuadrado

PC: *Personal Computer*

PWM: *pulse-width modulation*

R

RTC: *Real Time Clock*

RISC: *Reduced Instruction Set Computer*

S

SDGA: Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental

SCL: *Serial Clock.*

SMS: *Short Message Service*

SCLK: *Clock*

SD: *Secure Digital*

SDA: *Serial Data.*

SI: Sistema Internacional

SPI: *Serial Peripheral Interface*

SRAM: *Static Random Access Memory*

T

TULAS: Texto unificado de legislación ambiental secundaria (Ecuador)

TTL: *Transistor Transistor Logic*

U

UART: *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*

USD: Estándar internacional ISO 4217 para la denominación del dólar estadounidense.

ANEXO I



TL082 TL082A - TL082B

GENERAL PURPOSE J-FET DUAL OPERATIONAL

AMPLIFIERS

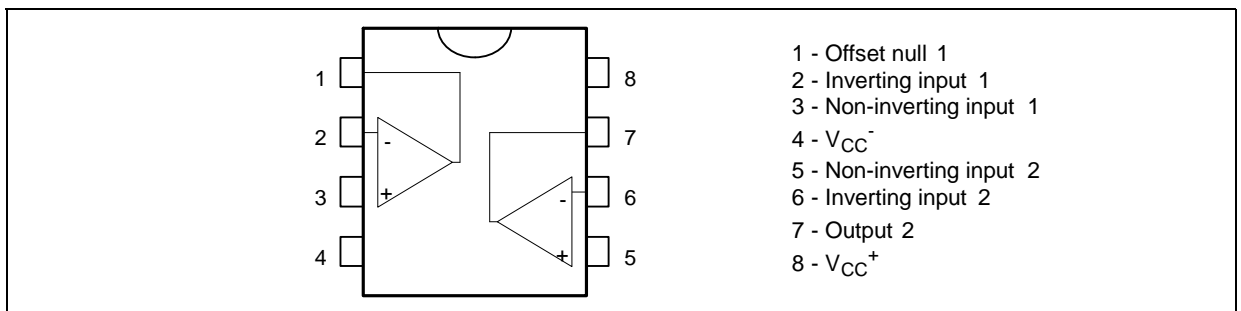
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION ■ HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE: $16V/\mu s$ (typ)

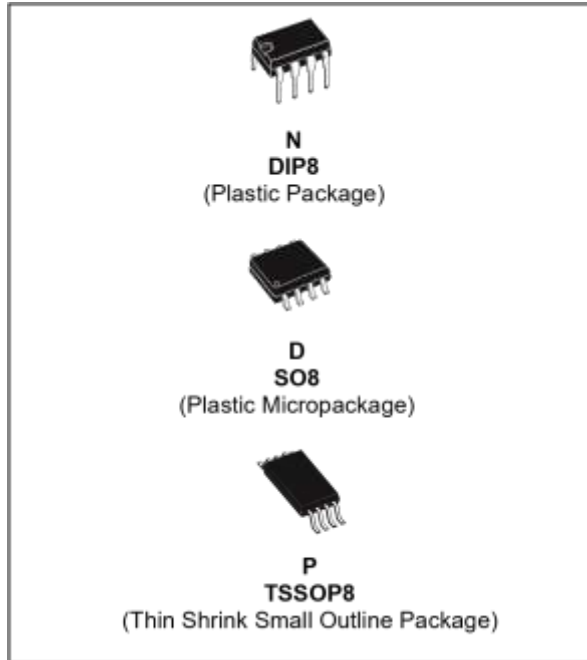
DESCRIPTION

The TL082, TL082A and TL082B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)





N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL082M, AM, BM	TL082I, AI, BI	TL082C, AC, BC	Unit
V _{CC}	Supply voltage - note ¹⁾	±18			V
V _i	Input Voltage - note ²⁾	±15			V
V _{id}	Differential Input Voltage - note ³⁾	±30			V
P _{tot}	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note ⁴⁾	Infinite			
T _{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T _{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-}.
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL082C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ TL082 TL082A TL082B $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ TL082 TL082A TL082B		3 3 1	10 6 3 13 7 5		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4		5	100 10	μA nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20		20	400 20	μA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 - 12		± 11	+15 - 12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$	10 12 10 12	12 13.5		10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain	8	16		8	16		V/ μs

t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$, unity gain		0.1			0.1		μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$, unity gain		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF, f = 100kHz$	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		1012			1012		Ω
Symbol	Parameter	TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL082C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
THD	Total Harmonic Distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}C$), $f = 1kHz, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF, A_v = 20dB, V_o = 2V_{pp}$		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega, f = 1KHz$		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		45			45		degrees
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation $A_v = 100$		120			120		dB

The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Guamán Satán Edwin Francisco**, con C.C: # 0915868194 autor del trabajo de titulación: **Propuesta de diseño de un Sistema para la supervisión del ruido ambiental en la ciudad de Guayaquil**, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de marzo del 2019

f. _____

Guamán Satán Edwin Francisco

C.C: 0915868194



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Propuesta de diseño de un Sistema para la supervisión del ruido ambiental en la ciudad de Guayaquil.	
AUTOR(ES)	Guamán Satán Edwin Francisco	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Msc Orlando Philco Asqui/MSc. Luis Córdova Rivadeneira /MSc. Manuel Romero Paz	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Sistema de Posgrado	
CARRERA:	Maestría en Telecomunicaciones	
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	12 de marzo del 2019	No. DE PÁGINAS: 117
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sonido, Potencia sonora, sonómetro, Gestión Ambiental, contaminación ambiental, Plataforma Arduino	
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Ruido ambiental, Arduino, NPS, LAeq y Lmax.	
RESUMEN:		
<p>El presente trabajo describe la propuesta de diseño de un sistema de supervisión de niveles de ruido ambiental emitidos en diferentes áreas de la ciudad de Guayaquil. Se plantea la estructura del sistema, así como los diversos módulos que lo componen. Se detalla la selección y las características de operación de los componentes que se emplean en cada módulo. Se justifica el empleo del Arduino Mega 2560 como unidad de control y se describe el diseño del firmware que garantiza la adquisición y almacenamiento de los niveles de ruido en los puntos de medición, así como la transmisión de los datos a través de la red de datos móviles. Se muestra la interfaz gráfica diseñada para el Centro de procesamiento que permite la visualización de los parámetros acústicos NPS (Nivel de Presión Sonora), LAeq (Nivel de presión sonora equivalente) y Lmax (Nivel de presión sonora máxima) y determinar si se incumplen las normas establecidas en el país con relación a la contaminación acústica.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0997052037	E-mail: edwin5net@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús	
	Teléfono: +593-994606932	
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		