



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MEDICIÓN DE RUIDO  
AMBIENTAL CON GEOPOSICIONAMIENTO

Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de  
Información

Profesor Guía

Ing. Diego Fabián Paredes Páliz

Autor

Edson Adrián Vélez González

Año

2016

## **DECLARACIÓN DE PROFESOR GUÍA**

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

---

Diego Fabián Paredes Páliz  
Ingeniero en Electrónica y Redes  
C.I. 0603014143

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

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

---

Edson Vélez González

C.I. 0803708676

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, mi guía, mi fortaleza, la que siempre ha estado en los momentos difíciles y me ha entregado todo su amor.

Agradezco a mi padre, por su constante apoyo, pese a las adversidades siempre encontré su mano tendida para mí.

Agradezco a mis hermanas, por cuidarme mientras nuestros padres están lejos y aconsejándome para no caer en el hueco donde las soluciones eran escasas.

Finalmente a Evelyn, cuya luz hizo que lo mejor de mi saliera a flote, por contagiar su infinita alegría y por darme la mano para ayudarme a completar mi proyecto.

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Edson e Irina y hermanas, Domenica y Taryn, por su infinito cariño, paciencia y confianza.

A mis compañeros de Universidad, Cristhian, Sabrina, Paul, Alfredo, Diana, Luis, David, Francisco, Carlos, Fredd y a mi grupo de trabajo de IBM por su constante apoyo y aliento.

## RESUMEN

La degradación del medio ambiente es uno de los mayores problemas con los que tiene que lidiar la población a nivel mundial. El continuo desarrollo de la sociedad ha ocasionado un aumento sonoro a los que se está expuesto diariamente. Uno de los factores que más contribuyen con los niveles de ruido altos es el transporte, ya que al ser fuentes de ruido móviles están presentes en todo el terreno de una población. Este proyecto nace de la necesidad de construir un dispositivo cuya función sea medir el nivel de presión sonora presente en el ambiente, recolectado datos de una manera fácil, rápida y económica.

En este trabajo de tesis se presenta el diseño, implementación y utilización de un primer prototipo cuya función principal es la medición de ondas acústicas.

El sistema para la realización de las mediciones está compuesto por: micrófono, tarjeta de adquisición y acondicionamiento de datos, una tarjeta electrónica STM32f429, que consiste en un micro controlador CortexM4, y un GPS. El software base utilizado para la programación del sistema es Keil, ya que es la plataforma en la cual define el código a utilizar en el micro controlador, además de una página web programada en Php y diseñada en HTML5 para el análisis de los datos.

La implementación y construcción del prototipo y su posterior evaluación, determinó que el diseño utilizado es viable económica y técnicamente, con medidas precisas para cumplir con su aplicación de medidor de ruido ambiental, además de la estación de monitoreo y plataforma usada.

## ABSTRACT

The degradation of the environment is one of the biggest problems with which the population has to deal everyday around the world. The continuous development of society has caused an increase in sound levels which the people is exposed daily. One of the factors contributing to high levels of noise is transportation, since being mobile sources of noise are present in all the land of a population. This project stems from the need to build a device whose function is to measure the level of sound pressure level present in the environment, collecting data in an easy, fast and economic way.

This thesis work presents the design, implementation and use of a first prototype whose main function is the measurement of acoustic waves.

The system for carrying out measurements consists of a sensor, electronics of acquisition and preparation of data card, a STM32f429 board based on a Cortex M4 micro controller and a GPS. The software used for programming the system is Keil, it is the platform which defines the code used in the micro controller, as well as a website programmed in Php and designed for the analysis of data in HTML5.

Implementation and construction of the prototype and its subsequent evaluation determined that the design used is economic and technically viable, with precise measures to comply with its application of ambient noise meter, as well as the station's monitoring and platform used.





## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1 El Ruido.....	2
1.2 Tipos de Ruido .....	2
1.2.1 Ruido Continuo .....	2
1.2.2 Ruido Intermitente .....	3
1.2.3 Ruido Impulsivo.....	3
1.2.4 Ruido de baja frecuencia.....	3
1.3 Espectro del Ruido .....	3
1.4 Nivel de Presión Sonora (NPS) .....	4
1.5 Redes de Ponderación de Frecuencia.....	6
1.6 Método lógico para medir y cuantificar el ruido.....	8
1.6.1 Medidas de Ruido .....	8
1.7 Instrumento de Medición .....	9
1.7.1 Tipos de Sonómetros según su precisión .....	10
1.8 Efectos del ruido en el ser humano .....	11
1.9 Diagnóstico situacional.....	12
1.9.1 El ruido vehicular como amenaza a la salud en Quito.....	12
1.9.2 Ruido y estrés en el Ecuador .....	13
1.10 La ley frente al ruido .....	13
1.10.1 Antecedentes .....	14
1.10.2 Límites permisibles de emisión ruido para fuentes fijas y móviles .	15
1.10.3 Valores permisibles según la Legislación Internacional .....	16
1.11 Fundamentación.....	17
1.11.1 Fundamento legal.....	17
2. ETAPA DISEÑO Y PROGRAMACIÓN .....	19
2.1 Especificación del Sistema .....	19
2.2 Diagrama de Bloques del Sistema.....	20
2.3 El Sensor.....	21

2.4 Componentes Electrónicos .....	23
2.4.1 STM32F429 Discovery .....	23
2.4.2 Módulo WIFI ESP8266 .....	26
2.4.3 Modulo GPS NEO-6M .....	26
2.5 Etapas de Funcionamiento del Circuito Electrónico .....	27
2.5.1 Etapa de Adquisición de Datos y Acondicionamiento de la señal ....	27
2.5.1.1 Sistema de alimentación Móvil .....	27
2.5.1.2 Amplificación de la señal .....	28
2.5.2 Etapa de lectura de datos y transmisión de los mismos hacia el servidor .....	31
2.5.2.2 Transformada Rápida de Fourier (FFT) .....	31
2.5.2.3 Ponderación de frecuencia A .....	34
2.6 Diseño del Diagrama del Circuito .....	35
2.7 Diseño del Software .....	37
2.7.1 Diseño del software del STM32F429 .....	37
2.7.2 Diseño de la interface Grafica .....	39
2.7.3 Estructura de programación de página Web .....	43
2.8 Diseño de la base de datos .....	44
<b>3. IMPLMETACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>45</b>
3.1 El circuito impreso para el STM32F429 .....	45
3.2 Ensamblaje General .....	46
3.3 Tabla de Costos .....	47
3.4 Calibración del Prototipo.....	48
3.5 Protocolo para la medición de Ruido .....	50
3.6 Pruebas con el prototipo y un sonómetro certificado .....	51
3.7 Pruebas con el prototipo en campo abierto .....	64
3.7.1 Zona Industrial .....	64
3.7.2 Zona Educativa .....	67
3.7.3 Sector Residencial .....	70
3.8 Análisis de Resultados y Medidas de Reducción del Ruido Ambiental .....	73
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>75</b>
4.1 Conclusiones.....	75

4.2 Recomendaciones.....	76
REFERENCIAS .....	78
ANEXOS .....	82

## INTRODUCCIÓN

Percibir un sonido es un componente primordial en la vida del hombre. Hace posible que las personas se comuniquen, puede poner en alerta ante un peligro o crear sensaciones de placer, sin embargo el sonido no es siempre agradable o útil, puede provocar ser no deseado y provocar malestar, convirtiéndose en ruido.

La ciudad de Quito presenta una acelerada contaminación sonora, proveniente principalmente del sector urbano, comercial y turístico. Se observan múltiples dificultades o inconvenientes que posee los ciudadanos que transitan por estos lugares, mostrando una eminente contaminación auditiva, que son originadas por vehículos, buses, aviones, motocicletas, máquinas y equipos industriales, y sobre todo las fábricas industriales que se encuentran instaladas en la ciudad de Quito.

No obstante al visualizar la problemática en forma objetiva, se pretende establecer una propuesta viable para determinando en forma cuantitativa y cualitativa el daño que puede producir esta contaminación y con esta información las autoridades competentes puedan tomar las decisiones para hacer cumplir las normativas y leyes a los infractores.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un prototipo electrónico que permita medir las señales de ruido en el ambiente y mediante una aplicación web mostrar los datos recopilados con el fin de discutir, analizar, etc., medidas que ayuden a controlar los altos niveles de ruido en los sectores de mayor incidencia.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 El Ruido

Se Debe diferenciar ruido de sonido. El primero es desagradable; el segundo, armonioso y, en general, agradable. El ruido es energía, produce vibración de las moléculas del medio de transmisión: aire, agua o cualquier material. La presión sonora es medida en decibelios [dB] o unidades para expresar la relación entre dos presiones sonoras o intensidades. Un decibelio sirve para comparar dos valores, dos niveles de potencia. (Miyara, 2001)

Desde el punto de vista físico, en términos de intensidad y precisión sonora, tanto el ruido como el sonido de niveles altos pueden causar hipoacusia o disminución de la capacidad auditiva, e inclusive sordera. Sin embargo, las secuelas no auditivas son, por regla general, producidas por el ruido.

El espectro acústico de un ruido, desordenado, asimétrico y caótico, es relativamente diferente del espectro de un sonido, por ejemplo de una nota musical. El habla humana es sonido, aunque el espectro acústico las consonantes, sh o s. por ejemplo, se parecen más al de los ruidos, mientras que las vocales se asemejan a los sonidos. Los ruidos industriales muestran el espectro típico del ruido, reflejándose en 58 [dB]. (Miyara, 2001)

#### 1.2 Tipos de Ruido

##### 1.2.1 Ruido Continuo

El ruido continuo se hace presente cuando el nivel de presión sonora oscila lentamente sobre márgenes no mayores a 5 [dB] y se mantiene prácticamente constante a través del tiempo. Por ejemplo: una licuadora encendida. (Insht, s.f.)

### **1.2.2 Ruido Intermitente**

El ruido intermitente se hace presente cuando los niveles de presión sonora aumentan y disminuyen rápidamente en forma periódica un margen mayor a 5 [dB]. Por ejemplo: el accionar de un taladro. (Insht, s.f.)

### **1.2.3 Ruido Impulsivo.**

El ruido impulsivo se hace presente cuando el nivel de presión sonora se eleva bruscamente por un intervalo de tiempo aproximadamente de 1 segundo. Esta repentina elevación brusca de nivel de ruido puede causar en las personas una alteración nerviosa por su rapidez y sorpresiva naturaleza.

Este tipo de ruido se hace presente en explosiones, demoliciones, construcciones, etc. (Insht, s.f.)

### **1.2.4 Ruido de baja frecuencia**

Los ruidos de baja frecuencia se encuentran en un rango desde los 8 [Hz] hasta 100 [Hz], y forman parte de los sonidos que escuchamos diariamente. Debido a que este tipo de ruido es difícil de reducir y se propaga en varias direcciones, se lo puede percibir a una distancia de kilómetros. (Sanguinetti, 2006)

## **1.3 Espectro del Ruido**

El espectro del ruido muestra las diferentes frecuencias presentes en el mismo. La mayoría de los sonidos son creados por una complicada combinación de vibraciones. El espectro del ruido es una representación de un ruido, usualmente una pequeña muestra de un sonido, en términos de la cantidad de vibraciones en cada frecuencia individual. Generalmente, se presenta como un gráfico de la potencia o presión como una función de la frecuencia. La potencia

de la presión es usualmente medida en Decibelios la frecuencia es medida en vibraciones por segundo (o hercios). (Angelfire, s.f.)

Las ondas periódicas traen consigo una frecuencia asociada, por lo que dichas ondas están formadas por varias frecuencias al mismo tiempo.

El teorema de Fourier explica este fundamento. Afirma que las ondas periódicas pueden descomponerse en una serie de ondas de forma particular que se denomina onda senoidal. Estas ondas tienen una frecuencia que es múltiplo de la frecuencia de la onda original. Por lo que, cuando escuchamos un sonido de 100 [Hz], en realidad se está percibiendo ondas senoidales de frecuencias de 100, 200, 300, 400, 500 [Hz], etc.

Hoy en día, el espectro del ruido es medido usando:

- Un micrófono que mida la presión del ruido sobre un cierto intervalo de tiempo.
- Un convertidor analógico-digital que convierta esta serie de números (representando el voltaje proporcionado por el micrófono) como una función del tiempo, y
- Una computadora que realice el cálculo sobre estos números

#### **1.4 Nivel de Presión Sonora (NPS)**

El oído del ser humano detecta variaciones de presión acústica entre  $20 \times 10^{-6}$  Pascales (20 [mPa]) y 200 Pascales (200.000.000 [mPa]) Aproximadamente.

El problema de realizar la cuantificación de la presión sonora en Pa sería utilizar una escala de 200.000.000 de unidades, lo que carece de lógica e implica una operatividad muy reducida.

Con la finalidad de solventar este problema, se hace uso de una escala logarítmica, en el que se introduce el concepto de Nivel de presión acústica en dB, el cual está dado por la expresión (Rabfis, s.f.):

$$L_p(dB) = 10 \log\left[\frac{P}{P_0}\right]^2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

$L_p$  = Nivel de presión acústica [dB]

$P$  = Valor eficaz de la presión medida en [Pa]

$P_0$  = Presión de referencia = 20 [mPa]

El de presión audible expresada en dB, será:

Límite umbral = 20 [mPa]

$$L_{umbral} = 10 \log\left[\frac{20 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-6}}\right]^2 = 0 [dB] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Límite de dolor = 200 mPa

$$L_{dolor} = 10 \log\left[\frac{200}{20 \times 10^{-6}}\right]^2 = 140 [dB] \quad (\text{Ecuación 3})$$

Haciendo uso de la escala en [dB], se ha convertido una escala de 200.000.000 de unidades en otra de 140 unidades, en la tabla 1 se puede observar la conversión.

Tabla 1. Conversión de Pascales a Decibles

<b>Presión Acústica [uPa]</b>	<b>Nivel de Presión Sonora [dB]</b>
200.000.000	140
20.000.000	120
2.000.000	100
200.000	80
20.000	60
2.000	40
200	20
20	0

Tomada de (Rabfis, s.f.)

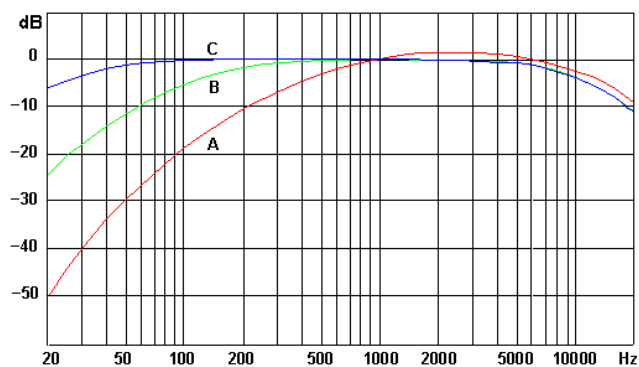


## 1.5 Redes de Ponderación de Frecuencia

Las curvas de ponderación en frecuencia se crearon con el fin de aproximar los analizadores acústicos a la respuesta del oído humano haciendo que uno de los objetivos de los instrumentos de medición sea determinar, de una manera aproximada, los niveles de presión sonora que el ser humano soporta.

Existen varios tipos de ponderación de frecuencia como son: A, B y C. La ponderación de frecuencia A es la más usada en mediciones acústicas y es la que más se relaciona con la sensibilidad del oído humano, ya que está atenúa considerablemente las frecuencias bajas, alrededor de los -40 [dB] de ganancias en frecuencias de 50 [Hz] o -30 [dB] en frecuencias de 50 [Hz]. Esto es ya que el oído humano es muy sordo en frecuencias bajas, en comparación a altas frecuencias y en una medida menor a las frecuencias muy altas. (Miraya, 2001)

En la figura 1 se muestra una gráfica de las redes de ponderación en cuanto a frecuencia y decibeles.



*Figura 1. Curvas de Ponderación de Frecuencia*

Tomado de (Miyara, 2001)

A continuación, en la figura 2 se muestran los niveles de tolerancia que se debe aplicar a la señal entorno a su espectro audible para que cumpla con los estándares de las curvas de ponderaciones de frecuencia.

Frecuencia nominal <sup>a)</sup> Hz	Ponderaciones frecuenciales <sup>b)</sup> dB			Límites de tolerancia (dB)	
	A	C	Z	Clase	
				1	2
10	-70,4	-14,3	0,0	+3,5; -∞	+5,5; -∞
12,5	-63,4	-11,2	0,0	+3,0; -∞	+5,5; -∞
16	-56,7	-8,5	0,0	+2,5; -4,5	+5,5; -∞
20	-50,5	-6,2	0,0	±2,5	±3,5
25	-44,7	-4,4	0,0	+2,5; -2,0	±3,5
31,5	-39,4	-3,0	0,0	±2,0	±3,5
40	-34,6	-2,0	0,0	±1,5	±2,5
50	-30,2	-1,3	0,0	±1,5	±2,5
63	-26,2	-0,8	0,0	±1,5	±2,5
80	-22,5	-0,5	0,0	±1,5	±2,5
100	-19,1	-0,3	0,0	±1,5	±2,0
125	-16,1	-0,2	0,0	±1,5	±2,0
160	-13,4	-0,1	0,0	±1,5	±2,0
200	-10,9	0,0	0,0	±1,5	±2,0
250	-8,6	0,0	0,0	±1,4	±1,9
315	-6,6	0,0	0,0	±1,4	±1,9
400	-4,8	0,0	0,0	±1,4	±1,9
500	-3,2	0,0	0,0	±1,4	±1,9
630	-1,9	0,0	0,0	±1,4	±1,9
800	-0,8	0,0	0,0	±1,4	±1,9
1 000	0	0	0	±1,1	±1,4
1 250	+0,6	0,0	0,0	±1,4	±1,9
1 600	+1,0	-0,1	0,0	±1,6	±2,6
2 000	+1,2	-0,2	0,0	±1,6	±2,6
2 500	+1,3	-0,3	0,0	±1,6	±3,1
3 150	+1,2	-0,5	0,0	±1,6	±3,1
4 000	+1,0	-0,8	0,0	±1,6	±3,6
5 000	+0,5	-1,3	0,0	±2,1	±4,1
6 300	-0,1	-2,0	0,0	+2,1; -2,6	±5,1
8 000	-1,1	-3,0	0,0	+2,1; -3,1	±5,6
10 000	-2,5	-4,4	0,0	+2,6; -3,6	+5,6; -∞
12 500	-4,3	-6,2	0,0	+3,0; -6,0	+6,0; -∞
16 000	-6,6	-8,5	0,0	+3,5; -17,0	+6,0; -∞
20 000	-9,3	-11,2	0,0	+4,0; -∞	+6,0; -∞

Figura 2. Ponderaciones frecuenciales y límites de tolerancia

Tomado de (IEC, 2002)

## **1.6 Método lógico para medir y cuantificar el ruido**

Para medir el ruido presente se debe hacer uso de un dispositivo para ese fin conocido comúnmente como sonómetro. Se debe seguir una secuencia de pasos y recomendaciones las cuales serán fundamentales para lograr unas medidas precisas.

### **1.6.1 Medidas de Ruido**

La medida más común del nivel de ruido ambiental se la realiza en [dB(A)]. Esta puede ser medida con un sonómetro simple que cuente con un filtro de ponderación A para simular la respuesta subjetiva del oído humano. El nivel en [dB(A)] es usado para reportar el ruido ambiental e intrusiones de ruido.

Los sitios a medir deben ser localizados antes de realizar el trabajo para edificios adyacentes y/o características topográficas no afecten a la adquisición de datos, ya sea por reflexión, refracción, etc., del ruido

El sitio de medición debe estar localizado por lo menos a 3,5 metros de cualquier superficie acústicamente reflectora que no sea el suelo. Si las condiciones limitan la disponibilidad del lugar de medición a posiciones dentro de 3,5 metros de dicha superficie, entonces el lugar debe colocarse 1 metro de distancia desde la superficie

Los sitios de pruebas utilizados para la medición de sonidos de elementos o equipo deben estar ubicados de manera que los obstáculos, edificios o características topográficas no introduzcan proyección acústica o efectos de enfoque. En caso de que el lugar de medición sea en lugares cerrados como de reunión o abiertos como espacios públicos, el sonómetro debe estar instalado en las ubicaciones normales de las personas, si están de pie se debe colocar a una altura de 1.5 a 1.7 metros, caso contrario, si están sentadas, a una altura de 1.2 a 1.3 metros. Cualquiera que sea el caso el dispositivo de

medición no debe ubicarse a menos de 1.2 metros de una superficie reflectante, por ejemplo: una pared, suelo techo, etc., para prevenir reflexiones de las ondas que alteren los resultados finales de las mediciones. Tal como se refleja en la figura 3 (URG, s.f.)

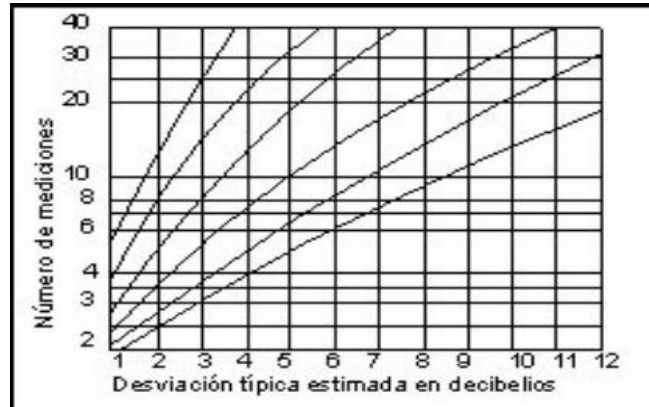


Figura 3. Determinación de número de posiciones para especificar una medida de ruido.

Tomada de (URG, s.f.)

### 1.7 Instrumento de Medición

El instrumento de medición más utilizado para conocer los niveles de ruido presente es el sonómetro. El sonómetro es usado para medir contaminación acústica (ruido molesto de fuente determinada). El ruido puede tener multitud de causas y provenir de fuentes diversas por lo que hay que saber qué es lo que se va a medir. Para poder hacer frente a la gran variedad de ruido ambiental existente (continuo, compulsivo, etc.)

### 1.7.1 Tipos de Sonómetros según su precisión

De acuerdo con la estándar internacional IEC 651, reformado por la IEC 61672, los instrumentos de medición de sonido, consta de tres tipos con respecto a su precisión en la medida. Estos tipos son 0, 1, 2.

A continuación, en la tabla 2, se muestran los tipos de sonómetros según su tolerancia en frecuencia según IEC 651.

Tabla 2. Tolerancias permitidas para diferentes tipos de sonómetros.

FRECUENCIA [Hz]	SONOMETROS			
	TIPO 0	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
16	+ 2; - 4	+ 3; - 4	+ 5; - 4	+ 5; - 4
31.5	± 1	± 1,5	± 3	±4
63	± 1	± 1,5	± 2	± 3
125	± 0,7	± 1	± 1,5	± 2
250	± 0,7	± 1	± 1,5	± 2
500	± 0,7	± 1	± 1,5	± 2
1000	± 0,7	± 1	± 1,5	± 2
2000	± 0,7	± 1	± 2	± 3
4000	± 0,7	± 1	± 2	± 5
8000	+ 1; - 2	+ 1,5; - 3	± 5	± 6
16000	+ 2; - 3	+3; - 4	+ 5; + 4	+ 6; + 4

Tomada de (Ergonomiavenezuela, s.f.)

La precisión de la medida depende de la frecuencia de las ondas sonoras que se miden.

Los sonómetros tipo 2, sonómetros de propósito general, se utilizan en un gran campo de aplicaciones, ya que cuentan con tres características principales que los hacen especiales:

- Son de fácil adquisición, ya que su precio no muy elevado permite a la población conocer los niveles de ruido a que están expuestos diariamente.

- Su tamaño y fácil portabilidad
- Manejo Sencillo

### **1.8 Efectos del ruido en el ser humano**

El ruido afecta al sistema auditivo-vestibular que, además de hipoacusia, puede generar un estado transitorio de euforia similar a la embriaguez alcohólica, con alteraciones perceptivas que parecen producirse por acción de infrasonidos. El ruido afecta, además, a los otros sistemas no auditivos del organismo, lo que desencadena una gama de alteraciones psicológicas, psicosomáticas y neurofisiológicas.

Se debe subrayar que las afecciones sensoriales son producidas por intensidades mayores o iguales a 85 [dB(A)], como lo estipula la legislación Internacional como la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), mientras, que desórdenes no auditivos: úlceras, espasmos gastrointestinales, perturbación del sueño y del trabajo intelectual, neurosis, hipertensión y desórdenes cardiovasculares, bajo nivel de tolerancia a la frustración, hiper Agresividad, entre otros, pueden producirse con intensidades significativamente menores a 85 [dB(A)]. (Who, s.f.)

El ruido afecta tanto al sistema auditivo como a otros sistemas del organismo. Una exposición constante y prolongada a niveles excesivos de sonido, como aquellos generados por automotores sin escape o con este alterado, maquinaria industrial e inclusive música de alta intensidad, entre otros, que sobrepasan los 85 [dB(A)],

Existen unas células externas del órgano Corti, que están ubicadas en el odio interno, las cuales trabajan cuando se presentan frecuencias altas, se van deteriorando periódicamente, generándose el deterioro completo de este órgano y por ende produciendo sordera al ser humano. Hoy en día no existe procedimiento que pueda reparar el daño auditivo del odio interno. Estas células ciliadas no son regenerables. (Arcasotpica s.f.)

La actividad humana ha producido un aumento masivo de la contaminación acústica en los últimos años. Estudios realizados por organismo competentes, un número aproximado de habitantes de 130.000.000 de sus países miembros, conviven con un nivel de presión sonora superior los 65 [dB], limite aceptado por la OMS, y un número aproximado de 300.000.000 viven en zonas de perturbación acústica entre 55 a 65 [dB]. (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2007, p 29).

## **1.9 Diagnóstico situacional**

### **1.9.1 El ruido vehicular como amenaza a la salud en Quito**

Analizando el nivel de presión sonora presente en las fábricas, entre 90 a 92 [dB(A)], en promedio, obligan a que los trabajadores de las misas requieran del uso de protectores para las orejas ya, y que los promedios de ruido vehicular en los sectores urbanos de la ciudad de Quito son de aproximadamente 83, 85, 89 [dB(A)], se puede deducir que dichos valores tienen semejanza con los de las fábricas, considerando que en las calles se presentan ruidos de impulsos e intermitentes, con variaciones de frecuencia, que bordean los 90, 92, 94, 98 y hasta 100 [dB(A)].

Estos elevados valores de presión sonora afectan a la mayoría de la población urbana, principalmente a cuyos ciudadanos que laboran en exteriores como por ejemplo construcciones o vendedores ambulantes. Para combatirlo además de que esperamos que se hagan cumplir definitivamente las ordenanzas municipales específicas, como la N° 1784 del Municipio de Quito, la cual no permite la circulación de vehículos sin silenciador o con instalaciones de parlantes destinados a realizar cualquier tipo de propaganda o promoción. Prohíbe la instalación de sirenas y similares en todo tipo de vehículos (excepto ambulancias, policía y bomberos).

Un estudio realizado en el 2011 por la Secretaria Metropolitana de Ambiente determinó que el ruido en Quito sobrepasa los niveles tolerables. Por ejemplo en las zonas residenciales el límite es de 50 [dB], sin embargo, el promedio de

ruido diaria esta entre 60 a 65 [dB] en el norte y sur, y 55 a 60 [dB] en el centro (El Comercio, 2012)

### **1.9.2 Ruido y estrés en el Ecuador**

En el Ecuador se presenta diariamente una problemática de ruido que se produce innecesariamente, cuya prevalencia es mayor en las zonas urbanas, las cuales traen consigo, estrés y una posible disminución de la agudeza auditiva. (La Hora, 2009, p 8)

Es una falsedad decir que la contaminación acústica es más grande en los países de mayor desarrollo. Los países más desarrollados han logrado reducir esta contaminación mediante normativas, lo cual en los países menos desarrollados, como Ecuador, no se respeta.

Algunos ciudadanos que recurren a la utilización de alarmas tanto en domicilios, carros, etc., son los generadores de una fuente de contaminación acústica innecesaria, configurando el regulador de sensibilidad al máximo, convirtiéndose la seguridad en una obsesión que trae consigo consecuencias de malestar a la población y por ende una degradación de la calidad de vida.

### **1.10 La ley frente al ruido**

Hace más de 25, el Consejo Nacional de Salud nombró una comisión cuyo objetivo fue plantear una legislación que regule la emisión del ruido.

El 12 de noviembre de 1990 se publicó el Registro Oficial N° 560, el reglamento Nacional de Control de Ruido en la cual se toma en cuenta toda fuente generadora de ruido, fijando límites permisibles cuanto ruidos máximos y mínimos presentes en el ambiente del Ecuador, conforme lo establecen las normativas internacionales.

Cabe recalcar que Ecuador cuenta con una normativa amplia en cuanto a control de ruido, pero estas no se respetan. Las autoridades no muestran algún



interés en el tema y son indiferentes ante la contaminación acústica, por tanto el ruido en el entorno es incontrolable y el nivel presente sobrepasa los límites permisibles.

### **1.10.1 Antecedentes**

Uno de los aspectos menos controlados por las Autoridades de la Salud Pública, Municipales y de la Policía es la contaminación acústica y del aire, desde esta perspectiva social. Ni siquiera se dispone de ordenanzas municipales y leyes específicas que regulen estrictamente el grado permisible de contaminación de las ciudades del país, especialmente de aquellas con marcado incremento poblacional y vehicular (Ecuacustica, s.f.).

En la actualidad no hay un procedimiento claro para ejecutar las sanciones que ordenanza N° 0213, que regula el ruido según Miguel Angel Chávez, técnico de la Secretaria de Ambiente, el control y la sanción está a cargo de las Comisarías y la Policía del Ambiente. “La ordenanza establece, por ejemplo, el retiro de los altavoces o parlantes a las personas que sobrepasan los niveles estándares de los 65 decibeles, pero no hay un procedimiento de hacia dónde llevarlos o como almacenarlos, entonces no se cumple. La Ordenanza N°0213 diferencia el ruido de las fuentes móviles (vehículos, motocicletas, aviones) y fijas (comercios, industrias) las sanciones van desde el 20% hasta cuatro remuneración básica unificadas. El Municipio está en la fase de estudio del problema. Para esto, desde 2010 se instalaron tres instalaciones de monitoreo que registran el comportamiento anual en las zonas de El Camal (sur), San Francisco (centro) y Jipijapa (norte). (Consejo del Distrito Metropolitano de Quito, 2007)

## 1.10.2 Límites permisibles de emisión ruido para fuentes fijas y móviles

### 1.10.2.1 Límites máximos permisibles de niveles de emisión ruido para fuentes fijas

La normativa ecuatoriana, en cuanto a los niveles permitidos de ruido, determina que los niveles de presión sonora equivalente, expresada en decibeles, cuya ponderación sea A, que se mida de la emisión de una fuente fija de ruido no podrán exceder los valores que se mencionan en la Tabla 3.

Tabla 3. Límites Máximos de Ruido permisible según Uso del Suelo

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	LÍMITES DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona Industrial	75	65
Zona Comercial	65	55
Zona Comercial mixta	70	60
Zona Residencial	60	50
Zona Residencial mixta	65	55
Zona Hospitalaria y Educativa	55	45
Zonas de Preservación de Hábitat	60	50

Tomada de (Libro 6 – Anexo 5: Decreto N° 3516, 2003).

### 1.10.2.2 Ruidos producidos por vehículos automotores

Por otro lado, la entidad de Control Ambiental, en cuanto a los niveles permitidos de ruido, determina que los niveles de presión sonora equivalente, expresada en decibeles, cuya ponderación sea A, que se mida de la emisión de una fuente móvil, como vehículos automotores, de ruido no podrán exceder los valores que se mencionan en la Tabla 4.

Tabla 4. Niveles de Presión Sonora máximos para vehículos automotores

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	NPS MAXIMO (dBA)
Vehículos de Carga:	Peso máximo hasta 3,5 toneladas	81
	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12,0 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12,0 toneladas	88
Vehículos:	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas.	81
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso mayor a 3,5 toneladas.	82
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
Motocicletas:	De hasta 200 centímetros cúbicos.	80
	Entre 200 y 500 c. c.	85
	Mayores a 500 c. c.	86

Tomada de (Libro 6 – Anexo 5: Decreto N° 3516, 2003).

### 1.10.3 Valores permisibles según la Legislación Internacional

Se presenta a continuación el criterio de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), organización internacional que establece los valores límites de umbral (TLVs) para sustancias químicas y agentes físicos e índices de exposición biológica (BEIs). En la tabla 5 se muestran los Valores límites permisibles para ruido continuo según ACGIH 1996

Tabla 5. Valores imites permisibles para ruido según un ACGIH 1996

<b>EXPOSICIÓN DIARIA (hrs)</b>	<b>NPS PERMITIDO EN [dB(A)]</b>
24	80
16	82
8	85
4	88
2	91
1	94
1/2	97
1/4	100

### **1.11 Fundamentación**

Para establecer la sustentación social se evocará diversos estratos sociales de la comunidad, y de esta manera se puede deducir que el trabajo investigativo se enfoca en las normativas que rigen en cuanto al ruido.

#### **1.11.1 Fundamento legal**

En este ámbito se determinó la aplicación de las garantías que establece la Constitución de la Republica, en la Sección Segunda, Ambiente sano, en sus artículos Art. 14, 15, como también en la Sección séptima, Salud en su artículo 32, los cuales cuidan los derechos de los ciudadanos para que puedan convivir en ambiente sano, y con ello se preserve una salud estable.

Para el pleno desarrollo de este trabajo investigativo se hizo referencia de la Ordenanza Metropolitana N° 0123, por medio de la Comisión de Medio Ambiente, Riesgos Naturales e Higiene, determinando los parámetros que se deben respetar en función a la contaminación acústica en la ciudad de Quito.

Afianzando la consistencia legal, se vinculó a la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial en su CAPITULO IV DEL AMBIENTE,

SECCION 1, DE LA CONTAMINACION POR FUENTES FIJAS Y MOVILES, con sus artículos 211, 212 y 213, donde se establece los límites permisibles de ruido en el ambiente.

Este trabajo investigativo se sustenta con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 9612, donde se enfoca la ACÚSTICA. DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO EN EL TRABAJO. MÉTODO DE INGENIERIA (ISO 9612:2009, IDT), los mismos que permiten monitorear los valores de la contaminación acústica.

## CAPITULO II

### 2. ETAPA DISEÑO Y PROGRAMACIÓN

#### 2.1 Especificación del Sistema

El diseño e implementación de un dispositivo de ruido ambiental es de gran ayuda en el estudio, investigación y aplicación de las normas de seguridad referente al nivel de ruido tolerado por el ser humano. En este caso el prototipo será calibrado y puesto en funcionamiento bajo las normas IEC (International Electrotechnical Commission).

Se establece que la implementación del circuito electrónico se realice en los siguientes términos:

1. El prototipo contará con una tarjeta electrónica la cual posea una pantalla TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) en la cual se podrá visualizar los niveles de ruido.
2. Un sistema de Geoposicionamiento con el cual se podrá obtener la ubicación del prototipo en cuanto a latitud y longitud.
3. Una etapa de acondicionamiento de la señal de entrada para ajustarla la señal a un nivel de operación necesario, realizar la conversión analógica / digital y calibrar los datos correctamente.
4. Un sistema de transmisión de datos inalámbrico hacia el servidor mediante la utilización de un módulo WiFi.
5. Un sistema de alimentación de energía móvil.

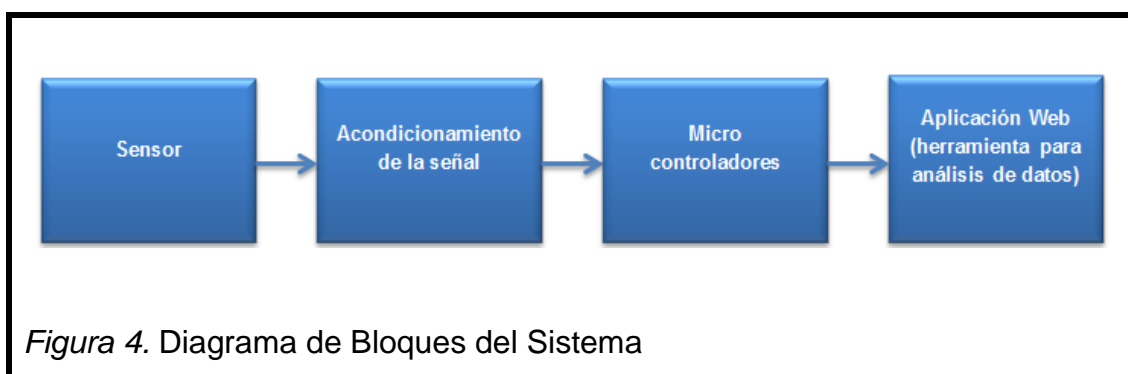
Se establece que el diseño de la interfaz gráfica se realice en los siguientes términos:

1. Una página web programada mediante lenguaje Php y diseñada con HTML5, en la cual se podrá mostrar los datos guardados que transmite el circuito desde el módulo WiFi hasta el servidor.

2. Una base de datos para almacenar los mismos.

## 2.2 Diagrama de Bloques del Sistema

El diagrama del prototipo de monitoreo de ruido ambiental con transmisión de datos inalámbrico consta de los siguientes bloques presentados en la figura 4.



**Bloque 1:** En esta etapa se adquirirán los datos en la cual se convertirá la señal entrante acústica en eléctrica mediante el transductor

**Bloque 2:** En esta etapa se procesará la señal de forma que la señal generada por el transductor sea amplificada y posteriormente sea procesada por el conversor ADC.

**Bloque 3:** En esta etapa intervienen la placa SMT32F429 Discovery. En primera instancia SMT32F429 Discovery recibirá la señal ya acondicionada y, mediante el ADC, se realizará la conversión de dicha señal de analógica a digital. Una vez convertidos los datos serán sometidos a la FFT (Transformada Rápida de Fourier) para el respectivo análisis de frecuencia. Finalmente, se recolectarán los datos ya transformados para su lectura y calibración, esto es posible gracias al micro controlador, Cortex M4, con el que cuenta la tarjeta electrónica en el cual se realiza la programación. Simultáneamente el GPS recibirá la posición de localización en cuanto a latitud y longitud del prototipo. Una vez obtenidos los datos se procederá a enviar los mismos al servidor para ser visualizados en la interfaz gráfica.

**Bloque 4:** En esta etapa se muestran los datos guardados en el servidor a través herramienta Web programada en PHP y diseñada con HTML5 para su posterior uso y análisis

### 2.3 El Sensor

Para la lectura de los niveles de ruido presentes en el ambiente es necesario usar un sensor o transductor que convierta la señal acústica en una señal eléctrica. El micrófono de medición es el elemento que reproduce de una manera más confiable la amplitud acústica, transformándola en una señal eléctrica. Existe una gran variedad de micrófonos en el mercado y, al momento de elegir uno, es necesario conocer sus características como son: respuesta en frecuencia, rango dinámico, directividad, estabilidad, etc. Los tipos de micrófonos más conocidos son:

- **Piezoeléctrico:** Como su nombre lo indica se compone por un cristal piezoeléctrico que está unido a la membrana del micrófono. Esta genera una corriente eléctrica cuando recibe tensión mecánica.

Las vibraciones producidas por las ondas acústicas presentes en el aire son percibidos por la membrana del micrófono y mediante el cristal piezoeléctrico convierte estas vibraciones en una señal eléctrica.

Este tipo de micrófonos tiene una gran estabilidad y las condiciones climáticas no influyen en gran magnitud (Who, s.f.)

- **Condensador:** Se constituye por una placa fija construida en paralelo con la membrana del micrófono, formando entre si un condensador. Este tipo de micrófonos se alimentan mediante un voltaje directo por los mismos pines por donde se transporta la señal de audio, sin afectar de manera alguna la misma.

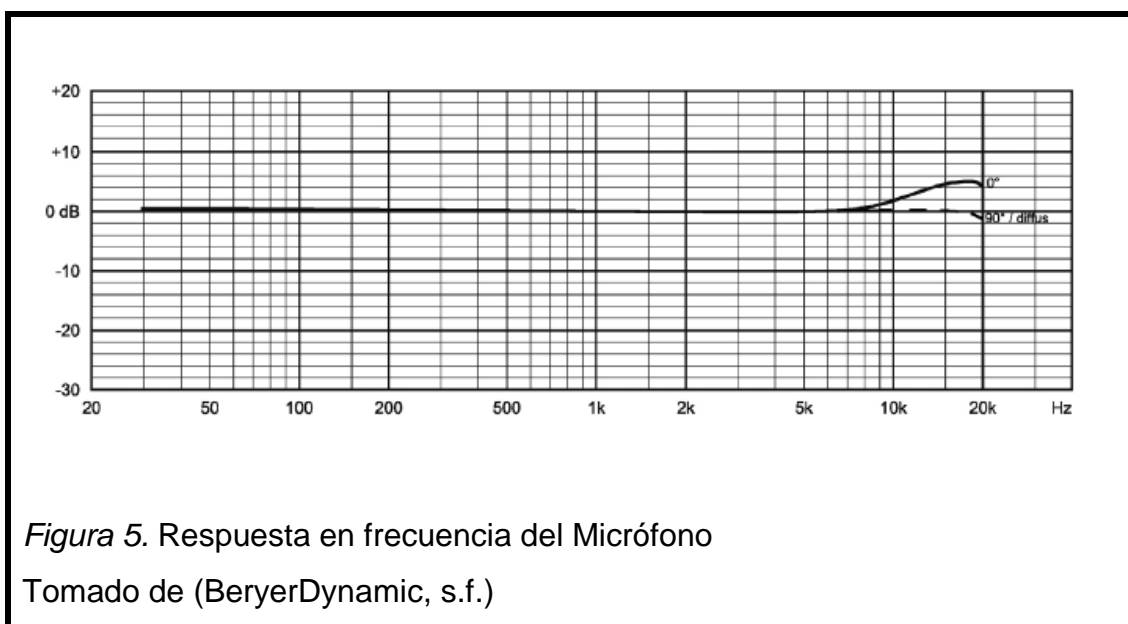
Estos micrófonos tienen una precisión mayor a los otros tipos y son utilizados en los sonómetros de precisión. (Who, s.f.)



- **Dinámico:** Se constituye por una bobina, suspendida en un campo magnético permanente. Cuando las ondas acústicas presentes en el aire golpean la membrana, empieza a vibrar la bobina en el campo magnético, generando así, una corriente eléctrica generada por la fricción. (Who, s.f.)  
Este tipo de micrófonos son más utilizados para situaciones de periodismo.

Analizando los diferentes tipos de micrófonos se decidió utilizar el micrófono de condensador ya que es el usado en sonómetros profesionales y cuyas características satisfacen los objetivos de prototipo.

Se eligió el micrófono Beyerdynamic MM1, especificaciones técnicas en anexo 1. Este es un micrófono de condensador cuya respuesta en frecuencia es lineal. En la figura 5 se observa la respuesta en frecuencia del micrófono.



Como se observa en la figura la respuesta del micrófono a lo largo del espectro audible es lineal lo que asegura un dato más confiable al momento de someterse a los sonidos. Según especificaciones técnicas tiene una tolerancia de medición +/- 1.5 [dB].

## 2.4 Componentes Electrónicos

### 2.4.1 STM32F429 Discovery

El prototipo se basa en el hardware SMT32F429 Discovery que es una placa de circuito impreso PCB.

La tarjeta electrónica SMT32F429 Discovery cuenta con varias ventajas que hacen factible su utilización en el proyecto, como son:

- La placa tienen un costo bajo y son más fáciles de adquirir, a diferencias de otras, como Beagle Bone o Raspberry Pi.
- La optima integración de los periféricos del sistema reduce los costes de espacio y desarrollo
- El software (IDE) puede ser instalado en varios sistemas operativos como: Windows, Linux o Mac OS
- Es una plataforma de hardware y código abierto, pudiendo acceder a todo aspecto del funcionamiento circuital y algorítmico de la placa.
- Posee una velocidad de procesamiento potente la cual permite que el procesamiento de las señales sean más efectivas.
- Cuenta con una pantalla LCD la cual es de gran utilidad al momento de mostrar resultados numéricos, gráficos, etc.
- Posee librerías para prácticamente cualquier componente externo a acoplar como por ejemplo: Ethernet, GSM, WI-Fi, etc.
- Integra un sistema de “sleep mode” para un consumo de energía. (ARM, s.f.)

Hoy en día existe una gran variedad en cuanto a placas con microcontroladores y microprocesadores para llevar a cabo el prototipo, entre las principales están: SMT32F429 Discovery, Arduino y Raspberry Pi. En la figura 6 Se presenta una comparación sobre las características técnicas en los dispositivos mencionados.

PLACA	STM32F429 DISCOVERY	ARDUINO UNO	RASPBERRY PI
<b>Precio</b>	\$50	\$30	\$75
<b>Procesador</b>	Córtex M4	ATmega328	ARM1176JZF-S
<b>Velocidad del Procesador</b>	180 MHz	16 MHz	700 MHz
<b>Conversor ADC</b>	12 bits	10 bits	No incluye
<b>Voltaje de Entrada</b>	3.3 – 5 V	5 V	5 V
<b>IDE</b>	EWARM MDK – ARM (Keil)	Arduino Tool	Distribuciones de Linux
<b>Pines</b>	54 Pines Digitales (12 PWM), 12 pines analógicos de entrada y 2 de salida	6 Analógicos, 14 Digitales (6 PWM)	8 pines digitales
<b>Internet</b>	Vía Módulos como: WI-FI ESP8266	Vía shield de la familia de arduinos: WI-FI shield, Ethernet Shield	Ethernet 10/100

*Figura 6. Comparación entre Tarjetas Electrónicas*  
Tomada de (Makezine, s.f.)

En primera instancia se usó la tarjeta electrónica arduino uno para llevar a cabo el proyecto. Arduino es considerado un hardware de muy fácil adquisición y aprendizaje, lo que, en primer lugar, motivo a que se realice el proyecto con el mismo. Como se aprecia en la figura 6 Arduino Uno cuenta con un conversor ADC de 10 bits es decir se obtendrán 1024 estados de la señal. Luego de realizar la conversión es necesario analizar los datos obtenidos y su respuesta en frecuencia, por lo que necesita ser sometida a la transformada de Fourier.

En esta etapa del procesamiento de la señal surge la pregunta ¿Se debe analizar el sonido y su respuesta en frecuencia mediante hardware o software?, si bien es cierto analizar el sonido mediante hardware demanda una gran cantidad de componentes electrónicos y demás circuitería, realizarlo mediante software es un método más fácil y confiable haciendo uso de la transformada de Fourier. Analizando esta función se concluyó que se requiere del uso de una gran velocidad de procesamiento por parte del micro controlador. Arduino al contar con tan solo 16 MHz de velocidad en su procesador no es factible para llevar a cabo el mismo, ya que tomaría mucho tiempo en realizar dicha función. Concluido esto surge la necesidad de contar con una tarjeta electrónica cuyo procesador sea mucho más rápido.

Como segunda prueba se utilizó la tarjeta electrónica STM32F429 cuya velocidad de procesamiento es de 180 MHz, velocidad que es suficiente para que la transformada de Fourier realice su trabajo satisfactoriamente. Esta tarjeta cuenta con un convertidor ADC de 12 bits es decir se obtendrán 4096 estados de la señal, lo que brinda una mejor resolución y respuesta en frecuencia que Arduino Uno.

Analizando las placas, SMT32F429 Discovery ha sido escogido como mejor opción para llevar a cabo el proyecto, ya que tecnología de DSP (Digital Signal Processing) es de gran importancia para el desarrollo del proyecto.

#### **2.4.1.1 IDE de Programación**

La compañía ARM posee el software KEIL MDK-ARM el cual es un entorno de desarrollo de dispositivos basados en procesador Cortex-M, Cortex-R4, ARM7 y ARM9. Las herramientas incluyen un compilador de C y de C++, y un IDE (Entorno integrado de desarrollo) llamado uVision5 el cual también sirve para depurar los programas (debugging). En la figura 7 se muestra su entorno de desarrollo

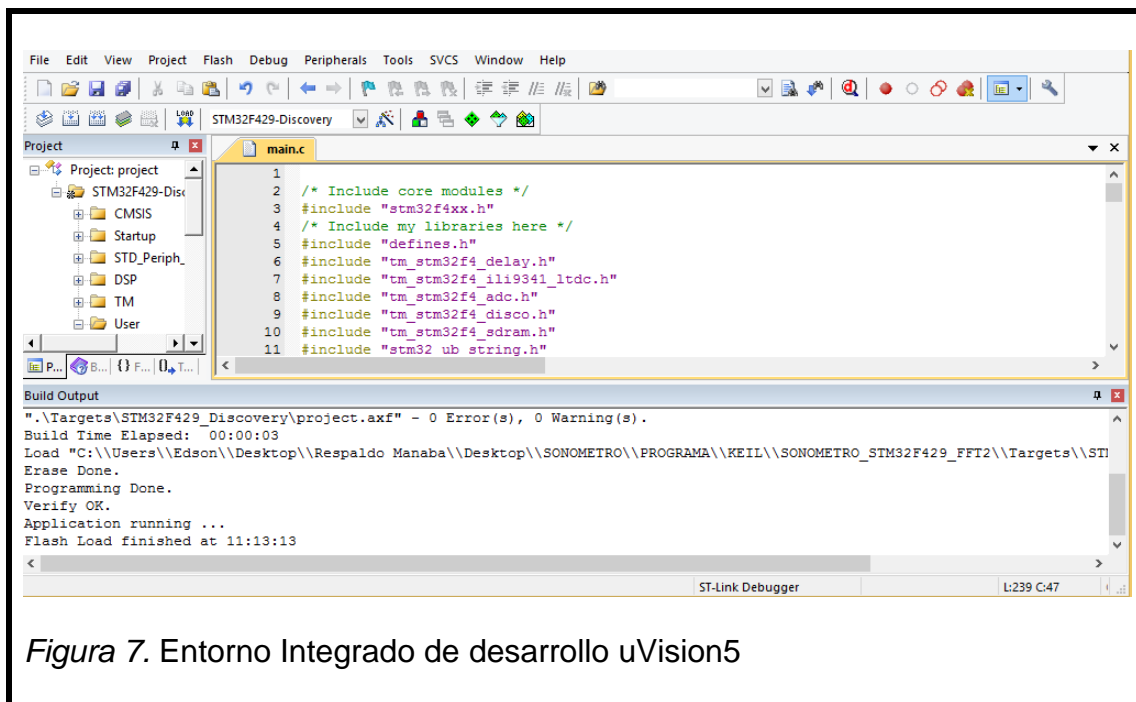


Figura 7. Entorno Integrado de desarrollo uVision5

#### 2.4.2 Módulo WIFI ESP8266

Para cumplir con los objetivos del proyecto surge la necesidad de usar un dispositivo que permita al prototipo conectarse a internet. Se hace uso del módulo WiFi ESP8266 que trae integrado el protocolo TCP/IP que permite a cualquier microcontrolador conectarse a una red de internet mediante WiFi. Este dispositivo soporta varios tipos de cifrado como WEP, WPA Personal, WPA2 Personal.

#### 2.4.3 Modulo GPS NEO-6M

El módulo GPS NEO-6 es de gran importancia en el proyecto ya que a través de este se obtendrá la posición, latitud y longitud, en la cual el prototipo haya realizado sus mediciones. El tamaño del módulo es reducido por lo que es fácilmente portable para el proyecto. Se comunica a través de puerto serial. En la figura 8 se describen las características técnicas del GPS.

Tipo de receptor	L1 frequency band, C/A code 22 Tracking / 66 Canales de lectura	
Sensibilidad	Tracking Acquisition	-165dBm -148dBm
Precisión	Posición Velocidad Timing (PPS)	3mts. 3D RMS sin SA 0.1m/s sin SA 60ns RMS
Tiempo de lectura	Cold Start Warm Start Hot Start Re-Acquisition	36s 33s 1s <1s
Consumo de energía	Tracking Acquisition Sleep/Standby	<30mA @ 3V Vcc 40mA TBD
Frecuencia de actualización de datos de navegación	1Hz	
Límites de operación	Altitude Velocity Aceleración	Max 18,000m Max 515m/s Menor a 4g
Antenna Specifications	OutlineDimension Center Frequency Bandwidth Impedance Axial Ratio Polarization	18.2 x 18.2 x 4.0 mm 1575 ± 3 MHz 10 MHz min 50 Ω 3 dB max RHCP
Dimensiones y peso	Dimensiones Peso	30mm x 20mm x 11.4mm 9g
Fuente de poder	VCC Corriente	5V ±5% 55mA(typical)
Entorno	Temperatura de operación Temperature de almacenamiento Humedad	40 ~ +85 (sin batería de respaldo) 0 ~ +125

*Figura 8. Características técnicas del GPS*  
Tomada de (Botsience, s.f.)

## 2.5 Etapas de Funcionamiento del Circuito Electrónico

### 2.5.1 Etapa de Adquisición de Datos y Acondicionamiento de la señal

#### 2.5.1.1 Sistema de alimentación Móvil

Debido a la necesidad de desarrollar un prototipo totalmente móvil y el sistema “Phantom Power”, que hace posible el funcionamiento del micrófono, funciona con un voltaje de 24 [V], se hace uso de un batería de gran durabilidad que entrega 5 [V] de energía conectado a un regulador de corriente directa cuya función será aumentar el voltaje entregado por la batería de modo que a la salida de este sea 24 [V] y el sistema “Phantom Power” funcione de manera correcta.

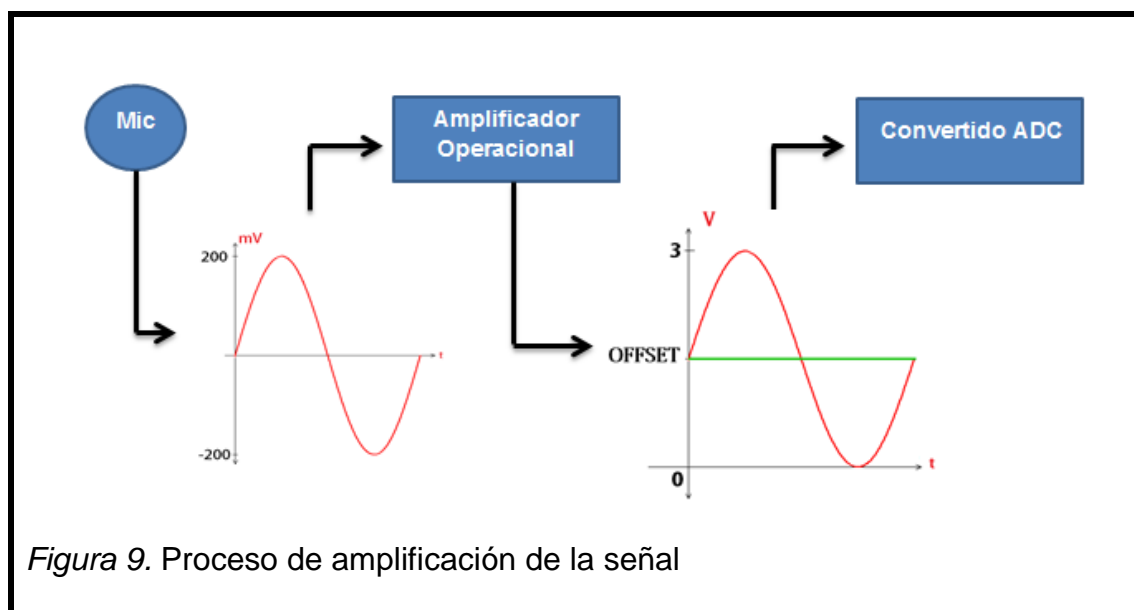
Se hace uso del regulador XL6009. Este regulador es capaz de convertir voltajes de 5 [V] hasta 32 [V]. Se muestra el Datasheet en el Anexo 3.

### 2.5.1.2 Amplificación de la señal

Debido a que el micrófono genera una señal de  $-200$  a  $200$  [mV] y el convertidor ADC de la tarjeta STM32f429 trabaja en un rango de operación de  $0$  a  $3$  [V], surge la necesidad de diseñar un amplificador operacional con una ganancia, la cual amplifique la señal de tal manera que se ajuste a la ventana de trabajo del convertidor ADC, y un dc offset, el cual ubicaría toda la señal en la parte positiva del plano y, de esta manera, no se perderá información y la conversión será más fiable.

Es de suma importancia que el rango dinámico del convertidor ADC coincida con la amplitud máxima de la señal que va a ser convertida para tener la mayor precisión que el convertidor ofrece.

En la figura 9 se muestra el proceso a realizar en esta etapa



Para el diseño del circuito que hará posible esta etapa se necesitan conocer algunos parámetros como son:

- Nivel de Voltaje de un referencia estable ( $V_{ref}$ )

- El nivel de voltaje máximo de salida ( $V_{outMax}$ ): Nivel de voltaje máximo que va a tener la señal de entrada a la salida del pre amplificador.
- El nivel de voltaje mínimo de salida ( $V_{outMin}$ ): Nivel de voltaje mínimo que va a tener la señal de entrada a la salida del pre amplificador
- El nivel de voltaje máximo de entrada: ( $V_{inMax}$ ): Nivel de voltaje máximo entregado por el micrófono
- El nivel de voltaje mínimo de entrada: ( $V_{inMin}$ ): Nivel Voltaje mínimo entregado por el micrófono. (Carter, s.f.)

Una vez conocidos los parámetros detalladamente se definen los valores a continuación:

$V_{ref}$ : 1.5 [V]

$V_{outMax}$ : 3 [V]

$V_{outMin}$ : 0 [V]

$V_{inMax}$ : 200 [mV]

$V_{inMin}$ : -200 [mV]

Posteriormente, se procede a calcular: la ganancia de la etapa (m) y el offset de la etapa (b). El cálculo se realiza a continuación (Carter, s.f.).

Cálculo m:

$$m = \frac{V_{outMax} - V_{outMin}}{V_{inMax} - V_{inMin}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$m = \frac{3 - 0}{0.2 - (-0.2)} = 7.5$$

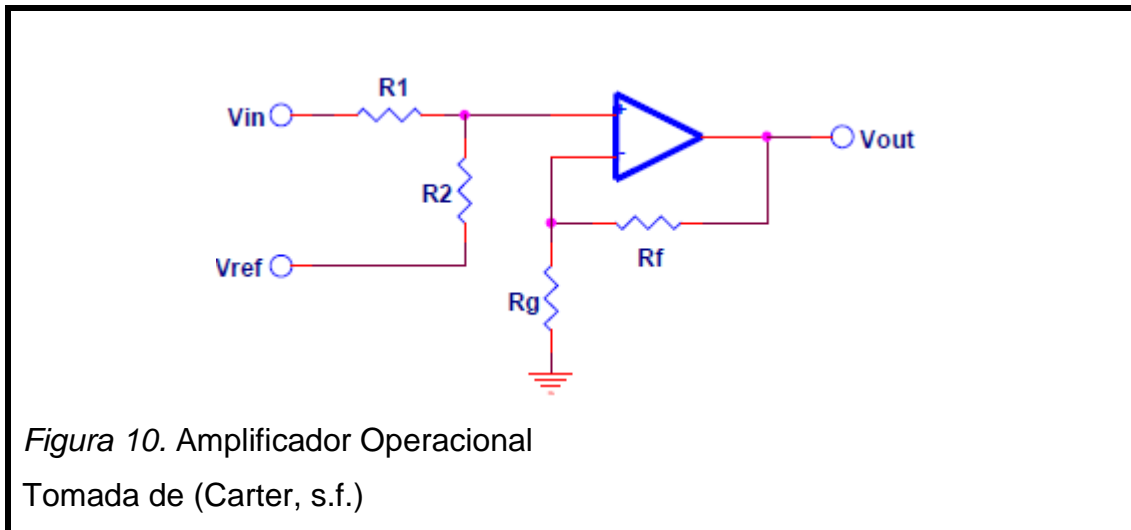
Cálculo b:

$$b = V_{outMin} - m * V_{inMin} \quad (\text{Ecuación 5})$$



$$b = 0 - 7.5 * (-0.2) = 1.5 [V]$$

Una vez hallado el valor de ganancia y el offset de la etapa se realizan los cálculos de las resistencias que componen el Amplificador Operacional. En la figura 10 se muestran los mismos.



En primer lugar se selecciona R1 cuyo valor sea en el orden de los K. En este caso R1 será igual a 10 [kΩ]. Una vez seleccionado este valor, se procede a calcular R2:

$$R2 = \frac{V_{ref} * R1 * m}{b} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$R2 = \frac{1.5 [V] * 10[k\Omega] * 7.5}{1.5[V]} = 75[k\Omega]$$

Una vez encontrado R2, se procede a calcular Rg. Para esto, primeramente, se necesita seleccionar Rf cuyo valor de resistencia sea elevado. En este caso Rf será igual a 100 [kΩ]. Una vez seleccionado este valor, se procede a calcular Rg.

$$Rg = \frac{R2 * Rf}{m * (R1 + R2) - R2}$$

$$Rg = \frac{75[k\Omega] * 100[k\Omega]}{7.5 * (10[k\Omega] + 75[k\Omega]) - 75[k\Omega]} = 13.33 \sim 13 [k\Omega]$$

## **2.5.2 Etapa de lectura de datos y transmisión de los mismos hacia el servidor**

### **2.5.2.1 Conversión Analógica – Digital**

La tarjeta SMT32F429 cuenta con un conversor de 12 bits es decir, mapea los valores analógicos de entrada en valores comprendidos entre 0 a 4096 ( $2^n-1$ ). Este convertidor trabaja usando el principio de RAS (Registro de aproximación sucesiva), por el que la conversión se realiza en varios pasos. El número de pasos que realiza el convertidor es igual número de bits del mismo. Cada paso es manejado por el reloj del ADC. Cada Reloj del ADC produce un bit como resultado a la salida. El diseño interno del ADC es un tipo de conmutación de condensadores.

STM32F429 cuenta con 16 puertos los cuales son capaces de leer valores analógicos y posteriormente ser sometidos al proceso de Conversión el cual consta de tres procesos fundamentales: Muestreo, Cuantificación y Codificación.

### **2.5.2.2 Transformada Rápida de Fourier (FFT)**

La Transformada Rápida de Fourier es de gran importancia en el procesamiento digital de señales. La tarjeta SMT32F429 cuenta con un microprocesador el cual puede llevar a cabo esta tarea.

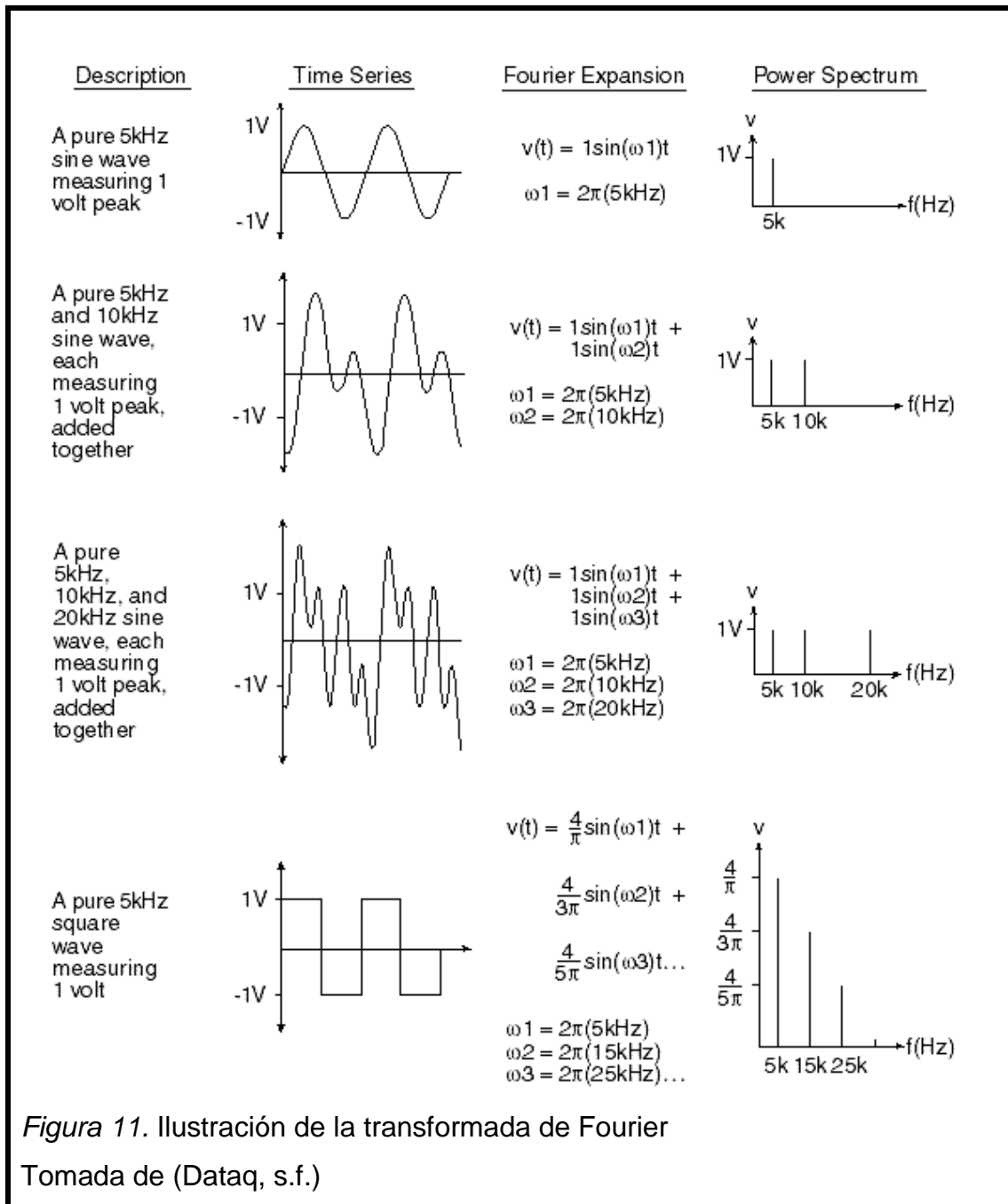
Lo que se busca con la FFT es realizar una representación de la señal, que se adquiere a través del micrófono, en el dominio del tiempo como función del dominio de la frecuencia, o viceversa. Gracias a la FFT se podrá analizar la amplitud de la señal entrante a una frecuencia determinada. Esto será de gran ayuda para realizar el filtro de ponderación A. (Udistral, s.f.)

Para definir los saltos de frecuencia en los que se va a trabajar se necesita establecer el número de muestras que se van a tomar de la señal. Cabe recalcar que el algoritmo de la FFT pone algunas limitaciones sobre la señal y espectro resultante. Por ejemplo: la señal de la cual se toman las muestras y que se va a transformar debe consistir en número de muestras igual a una potencia de dos, como por ejemplo: 256, 512, 1028.

La señal es muestreada a una frecuencia de 44.1 [kHz]. Para poder obtener una determinada frecuencia de la señal se necesita al menos dos muestras de un periodo de la máxima frecuencia que se requiere detectar. Es decir, al muestrear la señal con 44.1 [kHz] la máxima frecuencia que se puede muestrear es 22.05 [kHz]. (Tilen, 2014)

La transformada de Fourier se logra mediante la descomposición de la forma de onda en función del tiempo en una serie de términos sinusoidales, cada uno con una magnitud, frecuencia y fase única.

En efecto este proceso, convierte una forma de onda en el dominio del tiempo, que es complicado de describir matemáticamente, en una serie de funciones sinusoidales más manéjales que, al sumarse, reproducen exactamente la forma original de la onda. Trazando la amplitud de cada término sinusoidal frente a su frecuencia se crea un espectro de potencia, que viene a ser la respuesta de la forma de onda original en el dominio de la frecuencia (Dataq, s.f.). En la figura 11 se ilustra este concepto de la transformada de Fourier



Una de las propiedades más importantes de la FFT es con qué exactitud se detectan las diferentes frecuencias en la que está trabajando la señal, es decir, la resolución. Esto depende de cuantas muestras se toman antes de calcular la FFT. En esta parte del proyecto se van a tomar 256 muestras ( $2^8$ ). Conociendo la frecuencia de muestreo que es de 44100 Hz y si se toman 256 muestras, la resolución resultante será la división entre estas últimas dos,  $44100 / 256 = 172.2$  Hz.

Este último valor representará los saltos de frecuencia en los que va a ser analizada la señal, así: 172.2, 344.4, 516.6 y así sucesivamente, en otras palabras, serán las frecuencias centrales de las bandas de frecuencia en la cuales va a ser analizada la señal.

Gracias a este análisis de frecuencias se podrá evaluar la distribución energética de la señal de audio en función de la frecuencia lo que facilitara, posteriormente la calibración en cuanto a las mediciones que realiza el prototipo.

Cabe recalcar que la tarjeta electrónica STM32F429 cuenta con un LCD con tecnología TFT (Thin Film Transistor) en la cual se podrá observar el análisis frecuencial en tiempo real que realiza la transformada rápida de Fourier.

### 2.5.2.3 Ponderación de frecuencia A

Una vez que la señal es sometida a la Transformada Rápida de Fourier y su espectro de frecuencia es analizado, la señal pasará por el filtro de ponderación para que cumpla con los estándares que demanda la norma IEC 61672, recalcando que la ponderación usada para mediciones de ruido ambiental es la A.

Este filtro de ponderación se da gracias a una fórmula con la cual se calcula el valor de corrección a aplicar en una determinada frecuencia. A continuación se muestra la formula (Casado, 2005)

$$W_A = 10 \log \left[ \frac{1.562339 * f^4}{(f^2 + 107.65265^2)(f^2 + 737.86223^2)} \right] + 10 \log \left[ \frac{2.24288 \times 10^{16} * f^4}{(f^2 + 20.598997^2)(f^2 + 12194.22^2)^2} \right] \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde f es la frecuencia en Hz y Wa es la ponderación a aplicar en esa frecuencia

Para entender mejor como funciona esta fórmula de ponderación se describen unos ejemplos continuación. Para una frecuencia de 171 [Hz] y 90 [dB] de presión sonora, la ponderación a aplicar es de -12.5 [dB], dando como resultado un SPL ponderado de 77.5 [dB(A)]. Para una frecuencia de 2000 [Hz] y un nivel de potencia de 80 [dB], la ponderación resultante es de +1.2, dado como resultado u SPL de 81.2 [dB].

Estos valores se pueden comprobar en la tabla 1 donde se detallan los valores a ponderar dentro del espectro audible del ser humano.

## **2.6 Diseño del Diagrama del Circuito**

El diseño esquemático de la placa del prototipo se realizó en los programa ARES e ISIS del paquete de software Proteus 8.1 SP2. En la figura 12 se indica el diagrama esquemático de la tarjeta circuital del proyecto.

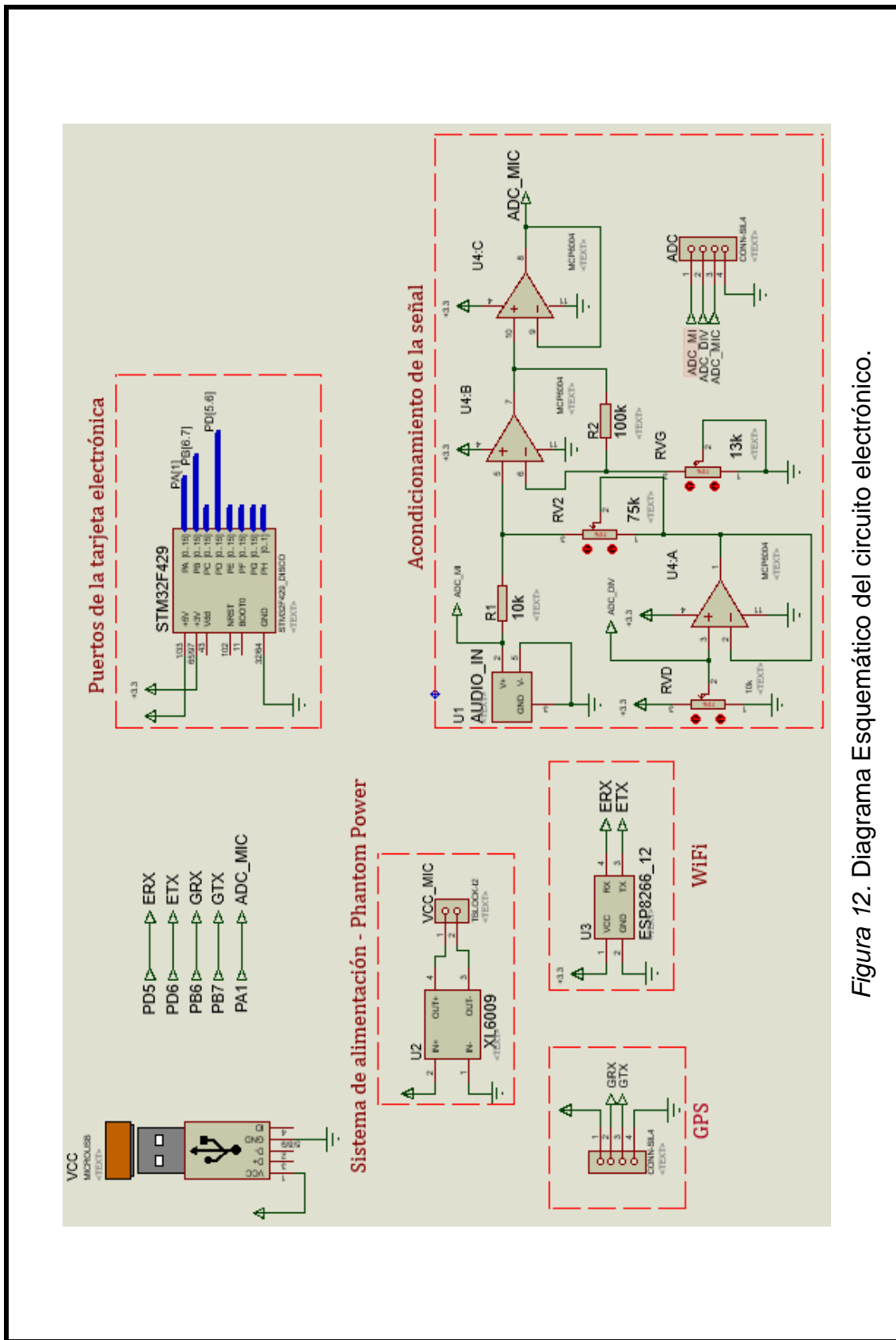


Figura 12. Diagrama Esquemático del circuito electrónico.

En la figura 13 se presenta el diseño de la tarjeta electrónica del sonómetro

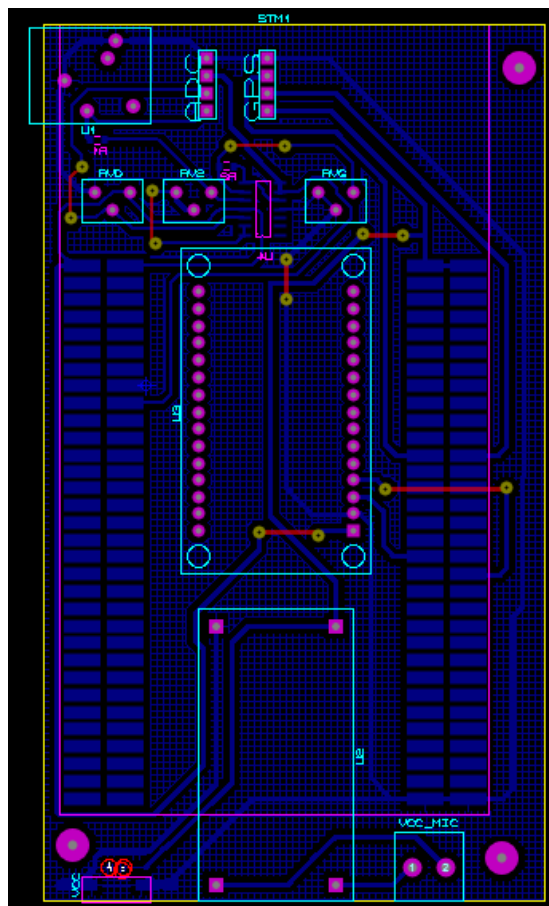


Figura 13. Diagrama de la tarjeta de Adquisición del sonómetro

## 2.7 Diseño del Software

El diseño del programa consta de dos partes:

- Diseño del software del STM32F429
- Diseño de la interface gráfica

### 2.7.1 Diseño del software del STM32F429

En esta parte del proyecto se desarrollara el programa cuyas funciones son:

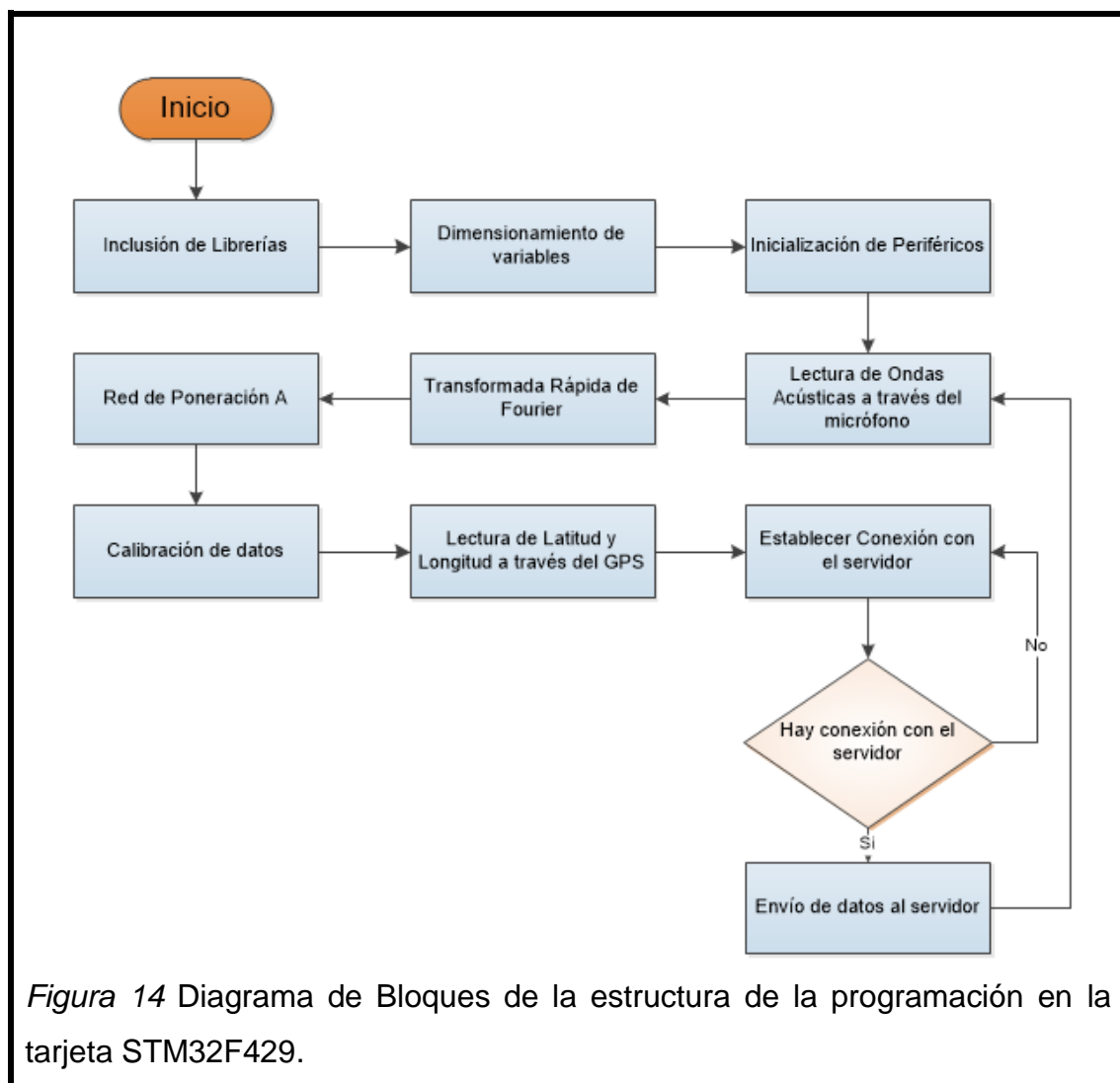
- Leer el dato de entrada del nivel de ruido ambiental
- Analizar la potencia recibida en las bandas de frecuencia mediante la FFT



- Filtro de Ponderación A
- Realizar el proceso de calibración
- Leer el dato sobre la posición (latitud y longitud) recibido por el modulo GPS
- Realizar la conexión con el servidor y enviar los datos obtenidos

La programación de este micro controlador se realiza en la plataforma Keil que usa un lenguaje basado en C/C++.

La estructura de la programación se la presenta en el siguiente diagrama de bloques en la figura 14.




### 2.7.2 Diseño de la interface Grafica

La interface fue programada usando la plataforma de Php y JavaScript mientras que el diseño de la misma para la vista del cliente fue diseñado mediante HTML5.

Php es un lenguaje multiplataforma que está orientado al desarrollo de aplicaciones web dinámicas que fácilmente puede acceder a información guardada en una base de datos. El código que se programa usando PHP es invisible para el explorador web y el cliente ya que este código es ejecutado por el servidor y envía al navegador el resultado HTML. Gracias a esto PHP hace que la programación sea confiable y segura. Por otro lado, PHP ofrece la ventaja de conexión con el motor de base de datos MySQL, la cual se usará en el desarrollo del proyecto (Martínez, 2011).

En la figura 15 se presenta la pantalla de Inicio de Sesión para acceder a la pantalla principal de la página web.

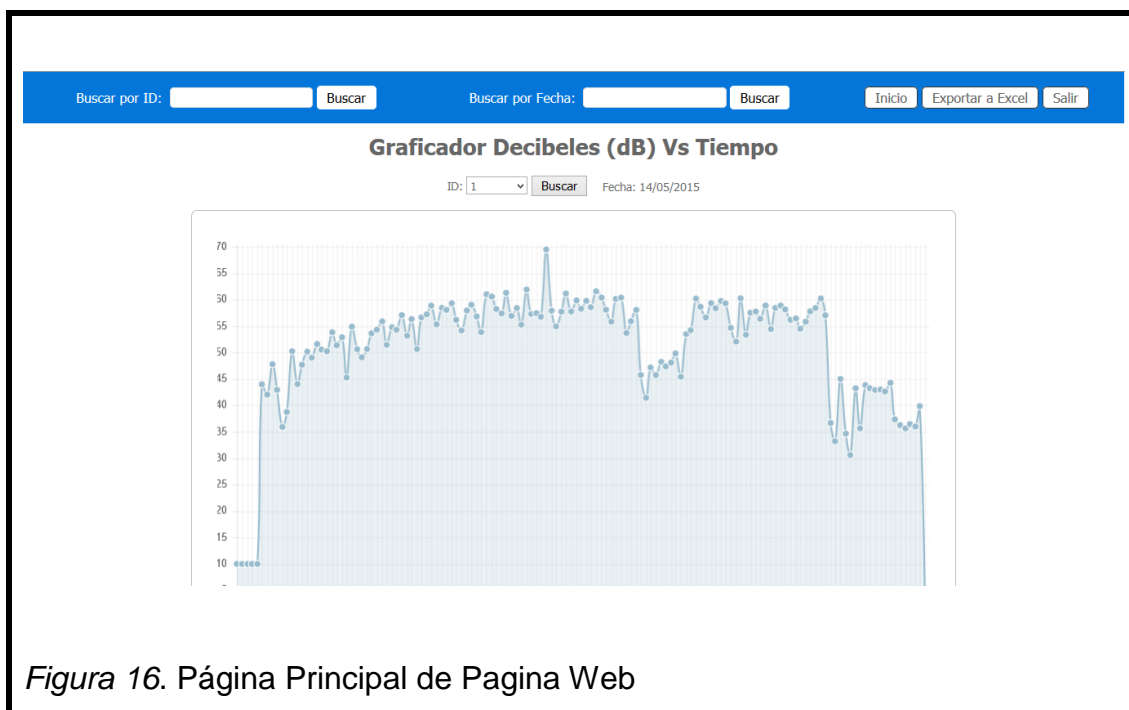


The image shows a login interface for a project titled "Proyecto Ruido Ambiental". The title is displayed in a large, bold, blue font at the top center. Below the title, there are two input fields: "Nombre de Usuario" (Username) and "Contraseña" (Password), each followed by a light gray rectangular input box. To the right of the password field is a button labeled "Ingresar" (Login) in a light gray box with rounded corners. The entire form is centered on a white background and is enclosed in a black rectangular border.

*Figura 15. Pantalla de Inicio de Sesión*

Una vez ingresadas las credenciales correctamente el servidor nos redirige a la pantalla principal de la página web donde se realiza la interacción entre el usuario y el servidor, teniendo como operaciones: Buscar por ID de zona o por fecha el histórico de datos recopilados, exportación de histórico en un archivo

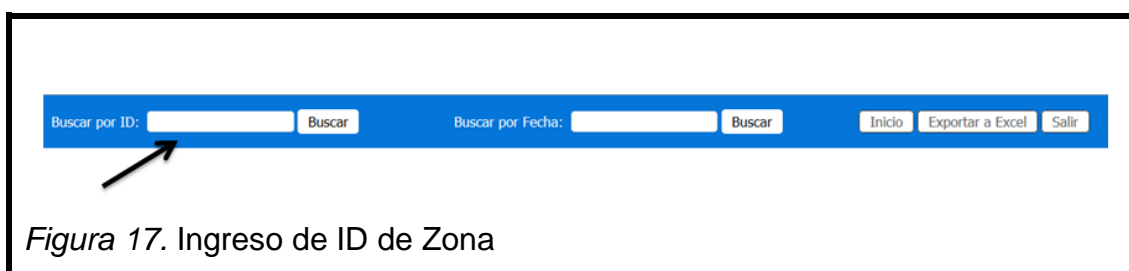
Excel, y por ultimo una gráfica Decibel vs Tiempo por ID de zona donde se realizó el monitoreo. En la figura 16 se muestra la pantalla principal.



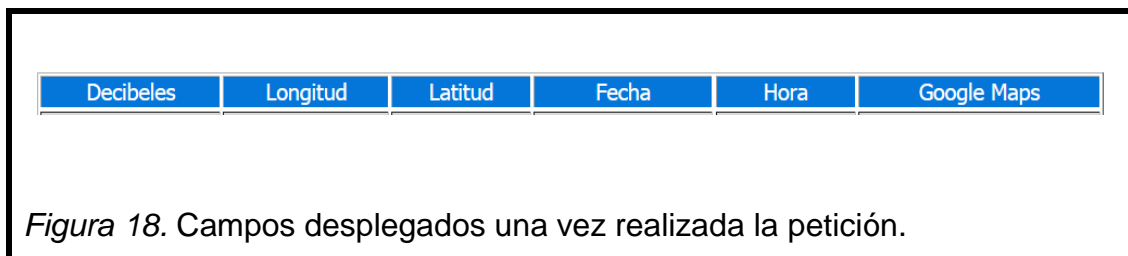
### 2.7.2.1 Búsqueda de históricos por ID (Localidad)

Esta opción se usa para buscar datos anteriormente recopilados como son: Nivel de Ruido (Valor en Decibel), Latitud, Longitud, Fecha, Hora, Link de Google maps, que nos redirige a la ubicación donde se encontró el prototipo realizando mediciones. A continuación se indica el procedimiento para realizar una búsqueda.

1) Como se muestra en la figura 17, en la celda “Buscar por ID” ingresamos el numero el cual representa la zona de la cual se requiere los datos recopilados.



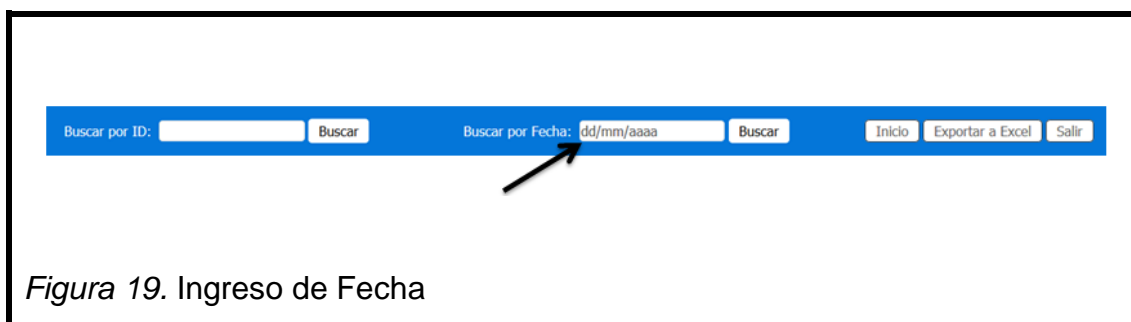
2) Una vez realizada la petición al servidor, como se muestra en la figura 18, se despliega la página la cual contiene los campos requeridos.



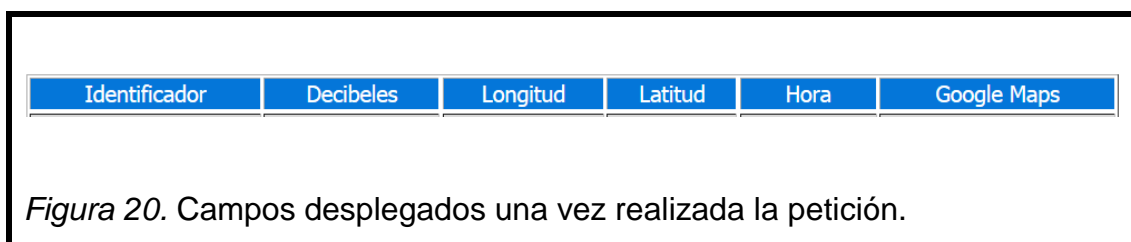
### 2.7.2.2 Búsqueda de históricos por fecha

Esta opción se usa para buscar datos anteriormente recopilados por la fecha de medición, en formato dd/mm/aa, como son: Identificador de localidad, Nivel de Ruido (Decibel), Latitud, Longitud, Hora, Link de Google maps, que nos redirige a la ubicación donde se encontró el prototipo realizando mediciones. A continuación se indica el procedimiento para realizar a búsqueda.

1) En la celda “Buscar por Fecha”, como se muestra en la figura 19 ingresamos la fecha a cual representa el día. Mes y año en la cual se realizaron las mediciones



2) Una vez realizada la petición al servidor se despliega la página la cual contiene los campos requeridos, como se muestra en la figura 20.



### 2.7.2.3 Generación de archivo .XML

Esta opción se utiliza para generar un archivo .XML que puede ser abierto con la aplicación Excel, este archivo contiene todos los datos guardado de todos los monitoreos realizados: Identificador, Nivel de Ruido (Decibel), Datos de GPS (Latitud, Longitud), Fecha, Hora. En la figura 21 se indica el archivo generado.

A	B	C	D	E
Identificador ▼	Decibeles ▼	Latitud ▼	Longitud ▼	Hora ▼
9001	74,9	-0,168502	-78,471691	16:55:34
9001	72,2	-0,168502	-78,471691	16:37:58
10000	75,2	-0,168502	-78,471691	16:35:30
10000	72,5	-0,168502	-78,471691	16:35:01
9000	62,5	-0,172256	-78,490525	18:04:17
9000	64,5	-0,172256	-78,490525	18:03:39
8000	62,5	-0,169812	-78,470855	17:10:08
8000	63,2	-0,169812	-78,470855	17:09:29
7000	63,78	-0,169812	-78,470855	10:04:03
7000	63,78	-0,169812	-78,470855	10:03:30
6000	63,46	-0,41441	-78,27302	22:52:25
6000	-128,91	-0,1441	-78,27302	14:38:11
3000	47,3	-0,2436	-78,5327	12:42:27
3000	47,4	-0,2438	-78,5326	12:42:06
3000	47,8	-0,2436	-78,5326	12:40:27
3000	46,7	-0,2437	-78,5326	12:37:15
3000	46,9	-0,2435	-78,5327	12:33:00
3000	54,04	-0,2436	-78,5327	12:32:39
3000	110,44	-0,2436	-78,5327	12:32:17
3000	47,8	-0,2435	-78,5327	12:29:45
3001	50,68	-0,2436	-78,5327	19:19:11
3001	53,57	-0,2436	-78,5328	19:17:48
3001	61,41	-0,2436	-78,5328	19:16:42
3001	61,56	-0,2435	-78,5328	19:14:38

Figura 21. Archivo .XML de datos guardados en la base de datos.

### 2.7.3 Estructura de programación de página Web

La programación de la página consta de varias clases nombradas y descritas a continuación en la tabla 6.

Tabla 6. Clases usadas en la programación de página Web y sus funciones.

<b>Clase</b>	<b>Función</b>
Conexión.php	Realiza la conexión con la base de datos y normaliza los datos entrantes
Ingreso.php	Obtiene los datos enviados por el micro controlador hacia el servidor y los almacena en la base de datos
Acceso.php	Almacena los datos de ingreso a la página principal (Usuario y contraseña)
Login.php	Contiene el diseño de la página de Inicio de Sesión y valida si los datos para ingresar son válidos o no
Index.php	Página principal, además de contener el diseño de la misma contiene la programación con la cual se realiza la conexión a la base de datos para procesar las diferentes funciones que se realizan en esta como buscar históricos de monitoreo por localidad o por fecha. Por otro lado gracias a JavaScript se muestra una gráfica Decibel vs Tiempo de los datos obtenidos.
Porid.php	Contiene el diseño que muestra el histórico de monitoreo por localidad, realizando una consulta a la base de datos y mostrando los mismos (Esta

	selección de localidad se realiza en index.php)
Porfecha.php	Contiene el diseño que muestra el histórico de monitoreo por fecha, realizando una consulta a la base de datos y mostrando los mismos (Esta selección de localidad se realiza en index.php)
Salir.php	Cierra la sesión del usuario

## 2.8 Diseño de la base de datos

Una parte muy importante en el sistema propuesto es el modelado e implementación de la base de datos. La base de datos fue desarrollo en la plataforma MySQL y se compone por una tabla la cual consta de varios campos. La figura 21 Muestra la tabla “Valores\_Ruido”, perteneciente a la base de datos “Ruido”, y sus atributos.

#	Field	Schema	Table	Type
1	id_registro	ruido	valores_ruido	INT
2	identificador	ruido	valores_ruido	VARCHAR
3	db	ruido	valores_ruido	VARCHAR
4	latitud	ruido	valores_ruido	VARCHAR
5	longitud	ruido	valores_ruido	VARCHAR
6	fecha	ruido	valores_ruido	VARCHAR
7	hora	ruido	valores_ruido	VARCHAR

*Figura 21. Estructura de la base de datos.*

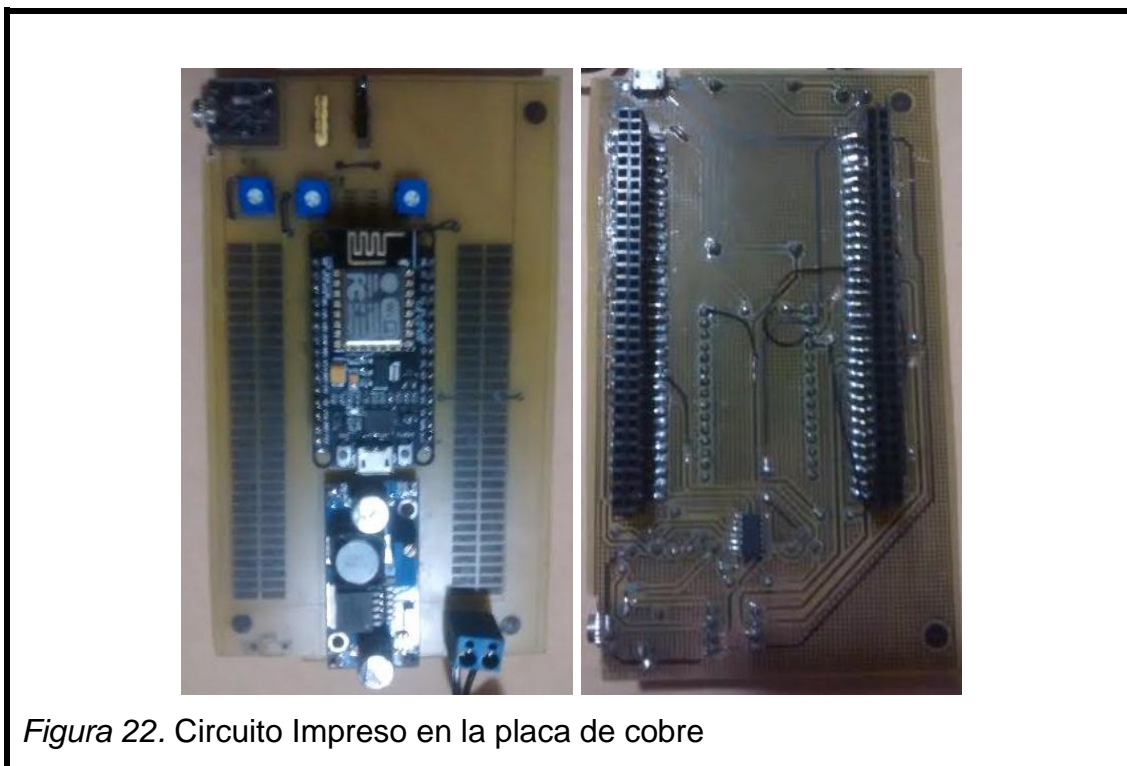
## CAPITULO III

### 3. IMPLMETACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

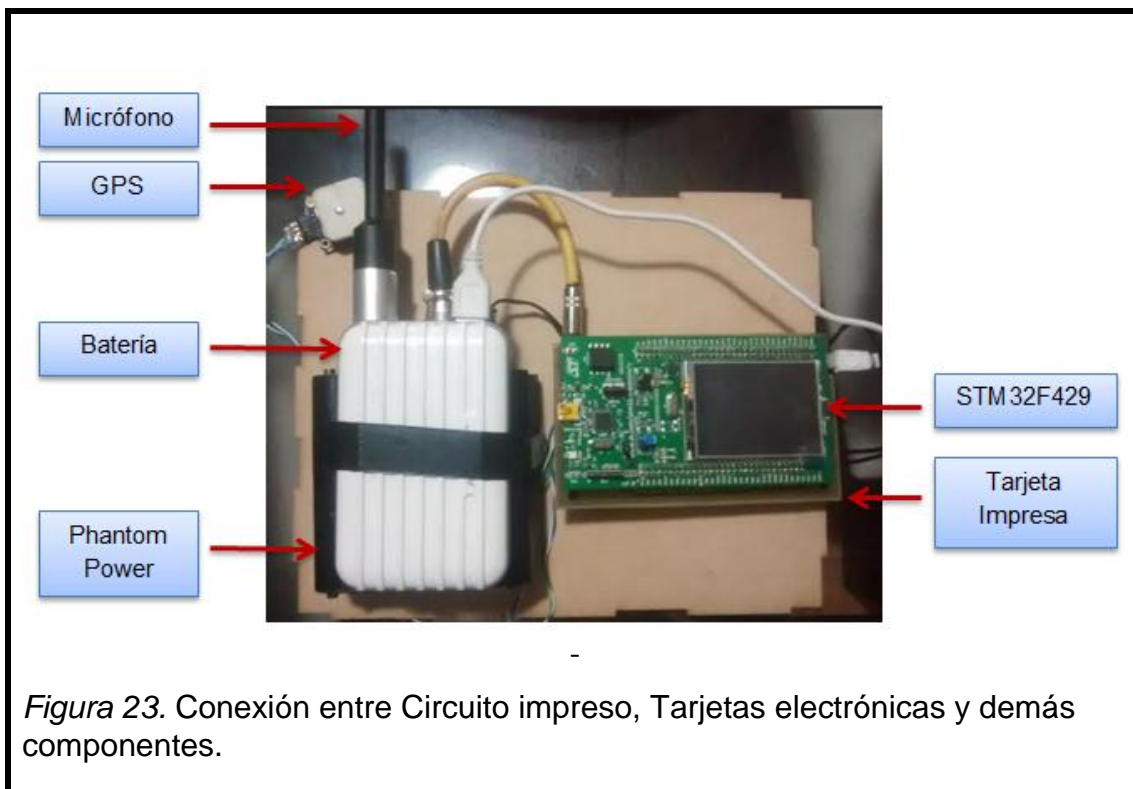
Para poder realizar las pruebas del prototipo se necesita ensamblar el mismo. Las tarjetas electrónicas, el preamplificador, las conexiones, la fuente de poder, etc. Los cuales estarán ubicados dentro un contenedor que nos permita fácil movilidad.

#### 3.1 El circuito impreso para el STM32F429

En el circuito impreso se incluyen elementos electrónicos que son necesarios para la adquisición de datos y acondicionamiento de la misma. Como son: Un transductor, seguidores de tensión, un módulo amplificador para el funcionamiento del “phantom power”, etc. En la figura 22 se puede observar el circuito impreso en la placa de cobre y en la figura 23 se muestra las respectivas conexiones con los micro controladores







### 3.2 Ensamblaje General

Luego de hacer pruebas con la tarjeta STM32F429 y la placa como prototipo, se procedió a hacer el ensamblado del mismo. Por ellos surgió la necesidad de construir un contenedor el cual contendrá toda la electrónica necesaria.

La construcción de la caja contendrá se realizó en un material fácil de cortar y ensamblar como es el acrílico. Una vez armado el cableado haciendo uso de los conectores correspondientes a cada conexión, se procedió a colocar el circuito electrónico y demás componentes dentro de la misma fijándolos a la superficie para evitar cualquier deslizamiento o golpe de los mismos. En la figura 24 se muestra una galería del ensamblaje final del prototipo.



### 3.3 Tabla de Costos

Una vez ensamblado el prototipo podemos hacer un análisis de los costos referente a los elementos que conforman toda la circuitería y fabricación del sistema del prototipo, en la tabla 10 se presentan los costos.

Tabla 7. Análisis de costos

Ítem	Cantidad	P/U	Total
Modulo GPS	1	30,00	30,00
STM32F429	1	55,00	55,00
WI-FI ESP8266	1	25,00	25,00
Batería	1	15,00	15,00
Micrófono BeyerDynamic mm1	1	100,00	100,00
Phantom Power	1	30,00	30,00
Otros	1	20,00	20,00
		<b>TOTAL</b>	285,00

a. "Otros" Se refiere a los gastos difíciles de calcular como los componentes electrónicos sencillos y más económicos, como resistencias, capacitores, diodos, etc.

El prototipo satisface las etapas de adquisición de datos (DAQ), pero consiste del sistema básico. Un sistema de mayor precisión para monitoreo de ruido ambiental requiere del uso de una capsula del transductor de mejores propiedades directivas dicho transductor puede tener un costo muy elevado, además de un sistema de acondicionamiento más sofisticado, por lo que el precio final del sistema dependería mucho del entorno, aplicación etc., específica a la que se desee implementar. Además no cuenta con una protección contra eventos climáticos.

### 3.4 Calibración del Prototipo

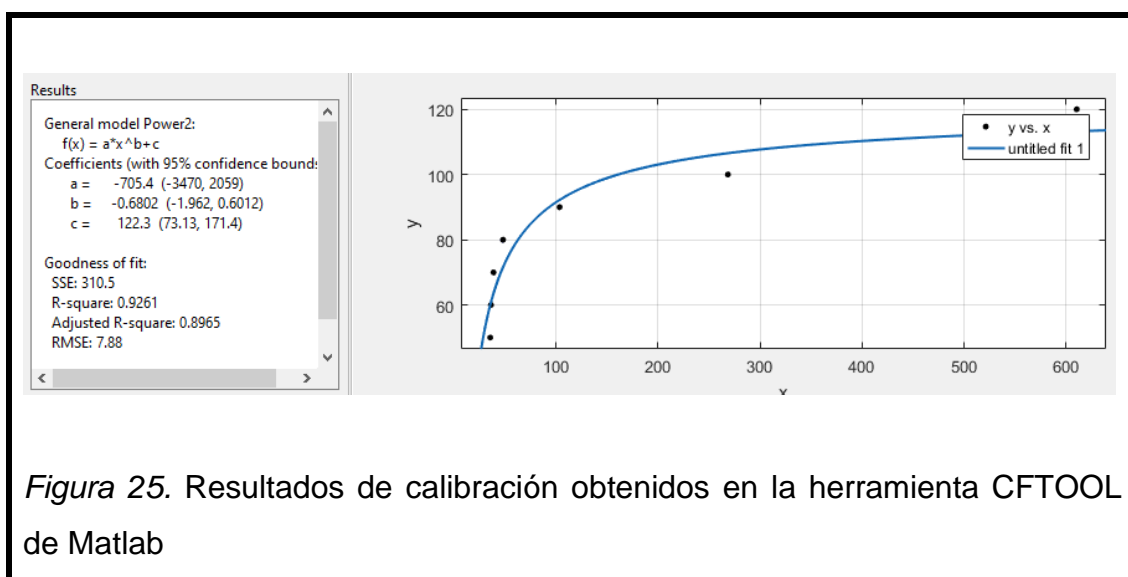
La calibración de prototipo se efectuó usando la plataforma Matlab y el método de interpolación de puntos comparando valores entregados a ciertas frecuencias entre el sonómetro patrón y el prototipo. Los datos recopilado por el prototipo serán los datos de entrada y los recopilados por el sonómetro los de salida.

El proceso consistió en generar tonos en aumento de 10 [dB] partiendo desde los 50 [dB] hasta el nivel de presión sonora máximo a medir que es de 120 [dB]. Se presentan los resultados en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados obtenidos del prototipo y sonómetro

Prototipo [dB] (Valor de Entrada X)	Sonómetro [dB] (Valor de Salida Y)
35.5	50
36.2	60
38.7	70
48.0	80
103.5	90
268.5	100
502.1	110
610.5	120

Una vez registrados los valores de entrada y salida, mediante el uso de la herramienta “CFTOOL” de Matlab, se procedió a interpolar los mismos con el fin de hallar una ecuación que ajuste las mediciones del prototipo con las del sonómetro. En la figura 25 se muestra los resultados encontrados y la curva de interpolación de datos



La ecuación a utilizar para calibrar el prototipo será:

$$f(x) = -705.4 * (x^{-0.6802}) + 122.3 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

x: Nivel de Potencia entregado por la FFT y ponderado.

### 3.5 Protocolo para la medición de Ruido

Para lograr una lectura adecuada del ruido ambiental es necesario seguir el protocolo existente para realizarlo. En nuestro caso no existen límites medianeros o división parcelaría alguna, ya que las mediciones a realizar serán en campo abierto es decir en la zona de espacio público, se mide a 1.5 m de distancia fuente emisora de ruido o de la actividad y a 1.2 m del piso (Echeverri y González, 2011, p. 60)

Para evitar posibles errores en las lecturas, el prototipo se debe ubicar sobre un trípode o pedestal a la altura definida de tal manera que el micrófono este en la dirección correcta de donde proviene la fuente, de ser el caso. En este caso se utilizará un soporte para micrófono a la altura adecuada En la figura 26 se puede observar el micrófono en el soporte

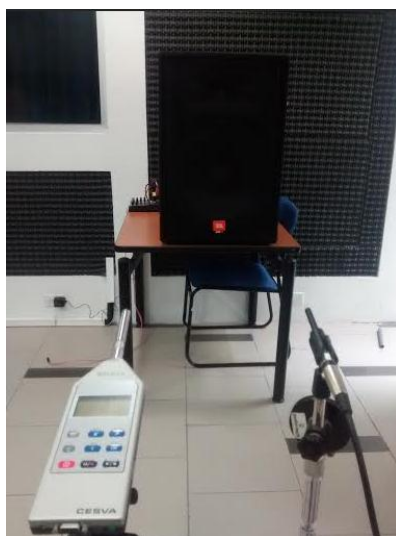


Figura 26. Micrófono instalado en el pedestal

### 3.6 Pruebas con el prototipo y un sonómetro certificado

Una vez calibrado el prototipo se procedió a realizar pruebas experimentales con un sonómetro en un cuarto acondicionado para las mismas.

En la figura 27 se muestran los equipos instalados listos para realizar las pruebas



*Figura 27.* Dispositivos instalados para las pruebas

Las pruebas consistieron en someter al sonómetro y al prototipo a tonos puros abarcando las bandas de frecuencia a una octava para un mejor análisis, además de ruido rosa, blanco y café. Para poder llevar a cabo dichas pruebas se hizo uso de un generador de tonos, que al igual que el sonómetro y el calibrador acústico, es propiedad de la Universidad de las Américas. A continuación, en la figura 28 se muestra el generador de tonos.



Figura 28. Generador de Tonos

Una vez obtenidos los resultados se procederá a analizarlos y evaluarlos estadísticamente. El análisis consiste en encontrar la Media Aritmética con respecto a las medidas recopiladas con el sonómetro certificado, posterior a esto se tomarán los datos obtenidos por el prototipo y junto con la Media de los resultados del sonómetro se hallará la varianza y por consiguiente la desviación estándar, analizando este último factor para determinar si las mediciones realizadas por el prototipo son precisas y se encuentran dentro del rango permitido de un sonómetro de tipo 2.

A continuación se muestran las fórmulas de los factores estadísticos con los que se trabajará, tomadas de (Vitutor, s.f.)

Media Aritmética: Valor que se obtendrá al sumar todas las mediciones recopiladas por el sonómetro dividiendo el resultado para el número de las mismas. Se muestra la fórmula a continuación:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Varianza: Es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de una distribución estadística. Se muestra la fórmula a continuación:

$$\sigma = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{N} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Desviación estándar: Es la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética. Representará el margen de error que existe entre los datos recopilados por el sonómetro y por el prototipo. Se muestra su fórmula a continuación.

$$\delta = \sqrt{\sigma} \quad (\text{Ecuación 11})$$

En Donde:

$\bar{X}$  : Valor de Media Aritmética

$X_n$ : Mediciones obtenidas en las pruebas

$N$  : Número total de mediciones

$\sigma$  = Valor de Varianza

$\delta$  : Valor de Desviación Estándar

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las pruebas y análisis de los mismos

Tabla 9. Valores obtenidos en prueba a una frecuencia de 63 [Hz].

<b>TONO PURO 63 [Hz]</b>	
<b>SONOMETRO [dB]</b>	<b>PROTOTIPO [dB]</b>
72.9	72,3
72.8	72,4
72.8	71,5
72.8	72,1
72.9	72,1
72.9	72,3
72.8	72,5
72.7	71,6



72.8	71,5
72.8	72,2

Media Aritmética Sonómetro:

$$\bar{X} = 72.8 [dB]$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(72.3 - 72.8)^2 + (72.4 - 72.8)^2 + (71.5 - 72.8)^2 + (72.1 - 72.8)^2 + (72.1 - 72.8)^2 + (72.3 - 72.8)^2 + (72.5 - 72.8)^2 + (71.6 - 72.8)^2 + (71.5 - 72.8)^2 + (72.2 - 72.8)^2}{10}$$

$$\sigma = 0.538$$

Desviación Estándar:

$$\delta = \sqrt{0.538}$$

$$\delta = 0.73 [dB]$$

Analizando el valor de la desviación estándar referente a las mediciones obtenidas por el prototipo se puede concluir que está operando dentro del rango de un sonómetro de tipo 2.

Tabla 10. Valores obtenidos en prueba a una frecuencia de 250 [Hz]

TONO PURO 250 [Hz]	
SONOMETRO [dB]	PROTOTIPO [dB]
76.6	75.5
76.3	75.0
76.5	75.6
76.4	75.4
76.4	75.7
76.4	75.0
76.3	75.1
76.5	75.8
76.4	75.5
76.4	75.2

Media Aritmética Sonómetro:

$$\bar{X} = \frac{76.6 + 76.3 + 76.5 + 76.4 + 76.4 + 76.4 + 76.3 + 76.5 + 76.4 + 76.4}{10}$$

$$\bar{X} = 76.4 [dB]$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(75.5 - 76.4)^2 + (75.0 - 76.4)^2 + (75.6 - 76.4)^2 + (75.4 - 76.4)^2 + (75.7 - 76.4)^2 + (75.0 - 76.4)^2 + (75.1 - 76.4)^2 + (75.8 - 76.4)^2 + (75.5 - 76.4)^2 + (75.2 - 76.4)^2}{10}$$

$$\sigma = 1.15$$

Desviación Media

$$\delta = \sqrt{1.15}$$

$$\delta = 1.07 [dB]$$

Analizando el valor de la desviación estándar referente a las mediciones obtenidas por el prototipo se puede concluir que está operando dentro del rango de un sonómetro de tipo 2.

Tabla 11. Valores obtenidos en prueba a una frecuencia de 500 [Hz].

<b>TONO PURO 500 [Hz]</b>	
<b>SONOMETRO [dB]</b>	<b>PROTOTIPO [dB]</b>
84.4	84.9
84.5	84.1
84.3	84.7
84.5	84.4
84.4	85.0
84.5	84.9
84.5	84.8
84.5	85.1
84.4	84.6
84.4	85.3

Media Aritmetica Sonometro:

$$\bar{X} = \frac{84.4 + 84.5 + 84.3 + 84.5 + 84.4 + 84.5 + 84.5 + 84.5 + 84.4 + 84.4}{10}$$

$$\bar{X} = 84.4 \text{ [dB]}$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(84.9 - 84.4)^2 + (84.1 - 84.4)^2 + (84.4 - 84.4)^2 + (85.0 - 84.4)^2 + (84.9 - 84.4)^2 + (84.7 - 84.4)^2 + (84.8 - 84.4)^2 + (85.1 - 84.4)^2 + (84.6 - 84.4)^2 + (85.3 - 84.4)^2}{10}$$

$$\sigma = 0.225$$

Desviación Media Prototipo:

$$\delta = \sqrt{0.225}$$

$$\delta = 0.47 \text{ [dB]}$$

Tabla 12. Valores obtenidos en prueba a una frecuencia de 1000 [Hz].

<b>TONO PURO 1000 [Hz]</b>	
<b>SONOMETRO [dB]</b>	<b>PROTOTIPO [dB]</b>
97.3	98.0
97.3	98.1
97.3	98.2
97.2	98.1
97.3	98.0
97.3	98.1
97.4	98.1
97.3	98.2
97.3	98.1

97.4	98.2
------	------

Media Aritmetica Sonometro:

$$\bar{X} = \frac{97.3 + 97.3 + 97.3 + 97.2 + 97.3 + 97.3 + 97.4 + 97.3 + 97.3 + 97.4}{10}$$

$$\bar{X} = 97.3 [dB]$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(98.0 - 97.3)^2 + (98.1 - 97.3)^2 + (98.2 - 97.3)^2 + (98.1 - 97.3)^2 + (98.0 - 97.3)^2 + (98.1 - 97.3)^2 + (98.1 - 97.3)^2 + (98.2 - 97.3)^2 + (98.1 - 97.3)^2 + (98.2 - 97.3)^2}{10}$$

$$\sigma = 0.64$$

Desviación Media Prototipo:

$$\delta = \sqrt{0.64}$$

$$\delta = 0.8 [dB]$$

Analizando el valor de la desviación estándar referente a las mediciones obtenidas por el prototipo se puede concluir que está operando dentro del rango de un sonómetro de tipo 2.

Tabla 13. Valores obtenidos en prueba a una frecuencia de 4000 [Hz]

TONO PURO 4000 [Hz]	
SONOMETRO [dB]	PROTOTIPO [dB]
107.9	109.4
107.8	109.2
107.9	109.0
108.0	109.1
107.9	108.9
108.0	108.8
108.0	109.0
108.1	108.9
108.0	109.1
107.9	109.0

Media Aritmetica Sonometro:

$$\bar{X} = \frac{107.9 + 107.8 + 107.9 + 108.0 + 107.9 + 108.0 + 108.0 + 108.1 + 108.0 + 107.9}{10}$$

$$\bar{X} = 107.95[dB]$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(109.4 - 107.95)^2 + (109.2 - 107.95)^2 + (109.0 - 107.95)^2 + (109.1 - 107.95)^2 + (108.9 - 107.95)^2 + (108.9 - 107.95)^2 + (109.0 - 107.95)^2 + (108.9 - 107.95)^2 + (109.1 - 107.95)^2 + (109.0 - 107.95)^2}{15}$$

$$\sigma = 1.21$$

Desviación Media Prototipo:

$$\delta = \sqrt{1.21}$$

$$\delta = 1.1 [dB]$$

Analizando el valor de la desviación estándar referente a las mediciones obtenidas por el prototipo se puede concluir que está operando dentro del rango de un sonómetro de tipo 2.

Tabla 14. Valores obtenidos en prueba a una frecuencia de 8000 [Hz]

TONO PURO 8000 [Hz]	
SONOMETRO [dB]	PROTOTIPO [dB]
115,0	116,4
114,9	116,1
115,0	116,2
115,0	116,1
114,8	116,3
114,7	116,1
114,9	115,9
115,0	115,7
114,8	116,2
114,9	116,2

Media Aritmetica Sonometro:

$$\bar{X} = \frac{115.0 + 114.9 + 115.0 + 115.0 + 114.8 + 114.7 + 105.0 + 96.5 + 114.8 + 114.9}{10}$$

$$\bar{X} = 114.9 [dB]$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(116,4 - 96,8)^2 + (116,1 - 96,8)^2 + (116,2 - 96,8)^2 + (116,1 - 96,8)^2 + (116,3 - 96,8)^2 + (116,1 - 96,8)^2 + (115,9 - 96,8)^2 + (115,7 - 96,8)^2 + (116,2 - 96,8)^2 + (116,2 - 96,8)^2}{15}$$

$$\sigma = 1,5$$

Desviación Media Prototipo:

$$\delta = \sqrt{1,5}$$

$$\delta = 1,2 \text{ [dB]}$$

Analizando el valor de la desviación estándar referente a las mediciones obtenidas por el prototipo se puede concluir que está operando dentro del rango de un sonómetro de tipo 2.

Tabla 15. Valores obtenidos en prueba con Ruido Rosa.

RUIDO ROSA	
SONOMETRO [dB]	PROTOTIPO [dB]
92,5	93,5
92,6	93,3
92,6	92,8
92,6	93,2
92,7	93,5
92,6	93,7
92,5	93,8
92,5	93,3
92,5	93,4



92,7	93,3
------	------

Media Aritmetica Sonometro:

$$\bar{X} = \frac{92.5 + 92.6 + 92.6 + 92.6 + 92.7 + 92.6 + 92.5 + 92.5 + 92.5 + 92.7}{10}$$

$$\bar{X} = 92.6 [dB]$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(93,5 - 92.6)^2 + (93,3 - 92.6)^2 + (92.8 - 92.6)^2 + (93,2 - 92.6)^2 + (93,5 - 92.6)^2 + (93.7 - 92.6)^2 + (93,8 - 92.6)^2 + (93,8 - 92.6)^2 + (93,4 - 92.6)^2 + (93,3 - 92.6)^2}{10}$$

$$\sigma = 0.7$$

Desviación Media Prototipo:

$$\delta = \sqrt{0.7}$$

$$\delta = 0.84 [dB]$$

Analizando el valor de la desviación estándar referente a las mediciones obtenidas por el prototipo se puede concluir que está operando dentro del rango de un sonómetro de tipo 2.

Tabla 16. Valores obtenidos en prueba con Ruido Blanco.

RUIDO BLANCO	
SONOMETRO [dB]	PROTOTIPO [dB]
83,2	83,8
83,2	83,7
83,2	83,7
83,3	83,9
83,4	84,1
83,4	83,8
83,4	84,0
83,3	83,9
83,2	83,8
83,2	83,8

Media Aritmetica Sonometro:

$$\bar{X} = \frac{83.2 + 83.2 + 83.2 + 83.3 + 83.4 + 83.4 + 83.4 + 83.3 + 83.2 + 83.2}{10}$$

$$\bar{X} = 83.3 [dB]$$

Varianza Prototipo:

$$\sigma = \frac{(83,8 - 78,5)^2 + (83,7 - 78,5)^2 + (83,2 - 78,5)^2 + (83,9 - 78,5)^2 + (84,1 - 78,5)^2 + (83,8 - 78,5)^2 + (84,0 - 78,5)^2 + (83,9 - 78,5)^2 + (83,8 - 78,5)^2 + (83,8 - 78,5)^2}{15}$$

$$\sigma = 0.34$$

Desviación Media Prototipo:

$$\delta = \sqrt{0.34}$$

$$\delta = 0.58 [dB].$$

Analizando el valor de la desviación estándar referente a las mediciones obtenidas por el prototipo se puede concluir que está operando dentro del rango de un sonómetro de tipo 2.

### **3.7 Pruebas con el prototipo en campo abierto**

Una vez comprobado que las mediciones que entrega el prototipo son precisas y confiables, se procedió a realizar pruebas en distintas zonas de la ciudad de Quito cubriendo una zona industrial, educativa y residencial, analizando y discutiendo con respecto a la ley los niveles de presión sonora presentes en las mismas

#### **3.7.1 Zona Industrial**

La primera prueba se realizó en la industria Edimca la cual se encargar de procesar madera y exportarla. En la figura 29 se muestra una galería de la zona de medición y equipos instalados necesarios para llevar a cabo la operación.



*Figura 29. Fotografías de prototipo instalado en la zona de medición.*

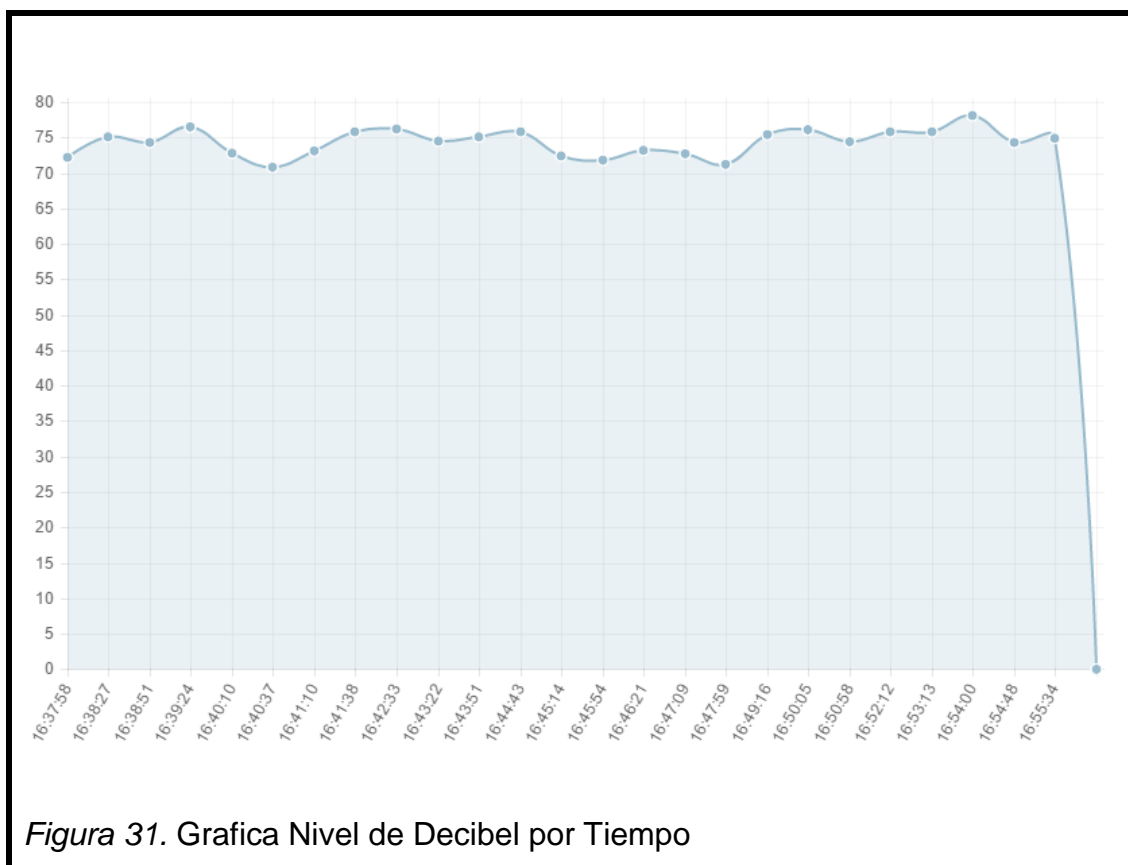
Una vez instalados y preparados los equipos para su ejecución se procedió a recopilar datos sobre los niveles de ruido presentes en la zona.

A continuación en la figura 30 se observan los datos obtenidos en la zona, con la ubicación en google maps proporcionado por el GPS, y en la figura 31 una gráfica Nivel de Decibel por tiempo que representa los mismos.

Decibeles	Longitud	Latitud	Fecha	Hora	Google Maps
74.9	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:55:34	<a href="#">Ver en Mapa</a>
74.3	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:54:48	<a href="#">Ver en Mapa</a>
78.1	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:54:00	<a href="#">Ver en Mapa</a>
75.8	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:53:13	<a href="#">Ver en Mapa</a>
75.8	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:52:12	<a href="#">Ver en Mapa</a>
74.4	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:50:58	<a href="#">Ver en Mapa</a>
76.1	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:50:05	<a href="#">Ver en Mapa</a>
75.4	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:49:16	<a href="#">Ver en Mapa</a>
71.2	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:47:59	<a href="#">Ver en Mapa</a>
72.7	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:47:09	<a href="#">Ver en Mapa</a>
73.2	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:46:21	<a href="#">Ver en Mapa</a>
71.8	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:45:54	<a href="#">Ver en Mapa</a>
72.4	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:45:14	<a href="#">Ver en Mapa</a>
75.8	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:44:43	<a href="#">Ver en Mapa</a>
75.1	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:43:51	<a href="#">Ver en Mapa</a>
74.5	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:43:22	<a href="#">Ver en Mapa</a>
76.2	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:42:33	<a href="#">Ver en Mapa</a>
75.8	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:41:38	<a href="#">Ver en Mapa</a>
73.1	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:41:10	<a href="#">Ver en Mapa</a>
70.8	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:40:37	<a href="#">Ver en Mapa</a>
72.8	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:40:10	<a href="#">Ver en Mapa</a>
76.5	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:39:24	<a href="#">Ver en Mapa</a>
74.3	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:38:51	<a href="#">Ver en Mapa</a>
75.1	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:38:27	<a href="#">Ver en Mapa</a>
72.2	-78.471691	-0.168502	05/04/2016	16:37:58	<a href="#">Ver en Mapa</a>



Figura 30. Niveles de Ruido recopilados en la zona industrial y su ubicación



}Las mediciones realizadas en la zona industrial escogida nos dan un valor equivalente de 74.3 decibeles. La ley nos dice que el valor máximo permisible en zonas industriales es de 75 decibeles por lo tanto la industria Edimca ejerce su operación dentro de la ley en cuanto a los límites de presión sonora equivalente.

### 3.7.2 Zona Educativa

La segunda prueba se realizó en la Universidad de las Américas sede Querí, la cual representa la zona educativa en la cual se realizaron las mediciones. En la figura 32 se muestra una galería de la zona de medición y equipos instalados necesarios para llevar a cabo la operación.



Una vez instalados y preparados los equipos para su ejecución se procedió a recopilar datos sobre los niveles de ruido presentes en la zona.

A continuación en la figura 33 se observan los datos obtenidos en la zona, con la ubicación en google maps proporcionado por el GPS, y en la figura 34 una gráfica Nivel de Decibel por tiempo que representa los mismos.

Decibeles	Longitud	Latitud	Fecha	Hora	Google Maps
62.5	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:10:08	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.2	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:09:29	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.7	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:08:45	<a href="#">Ver en Mapa</a>
62.4	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:08:10	<a href="#">Ver en Mapa</a>
58.1	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:07:34	<a href="#">Ver en Mapa</a>
59.5	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:07:05	<a href="#">Ver en Mapa</a>
57.8	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:06:27	<a href="#">Ver en Mapa</a>
58.3	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:05:52	<a href="#">Ver en Mapa</a>
60.4	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:05:09	<a href="#">Ver en Mapa</a>
59.1	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:04:42	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.4	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:04:07	<a href="#">Ver en Mapa</a>
60.5	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:03:42	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.2	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:03:02	<a href="#">Ver en Mapa</a>
59.4	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:02:18	<a href="#">Ver en Mapa</a>
58.5	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:01:43	<a href="#">Ver en Mapa</a>
59.8	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:01:15	<a href="#">Ver en Mapa</a>
60.9	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:00:33	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.7	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	17:00:00	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.2	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	16:59:23	<a href="#">Ver en Mapa</a>
62.8	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	16:58:35	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.4	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	16:58:00	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.1	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	16:57:48	<a href="#">Ver en Mapa</a>
59.4	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	16:56:50	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.5	-78.470855	-0.169812	04/04/2016	16:56:34	<a href="#">Ver en Mapa</a>

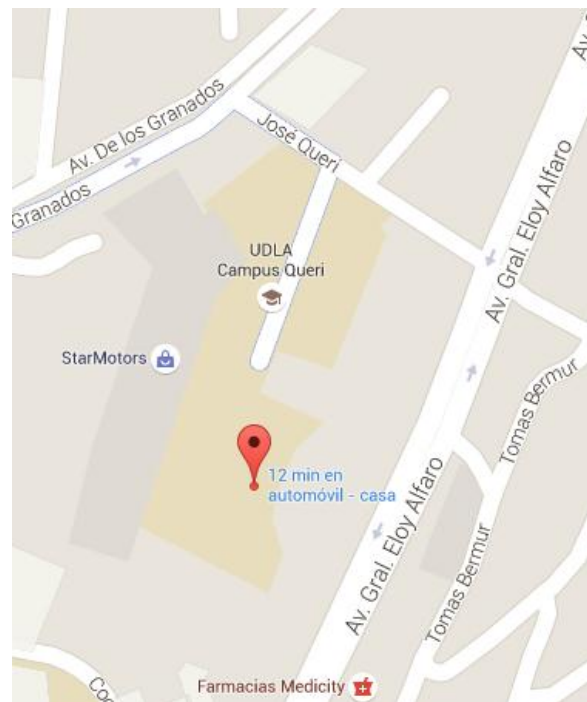
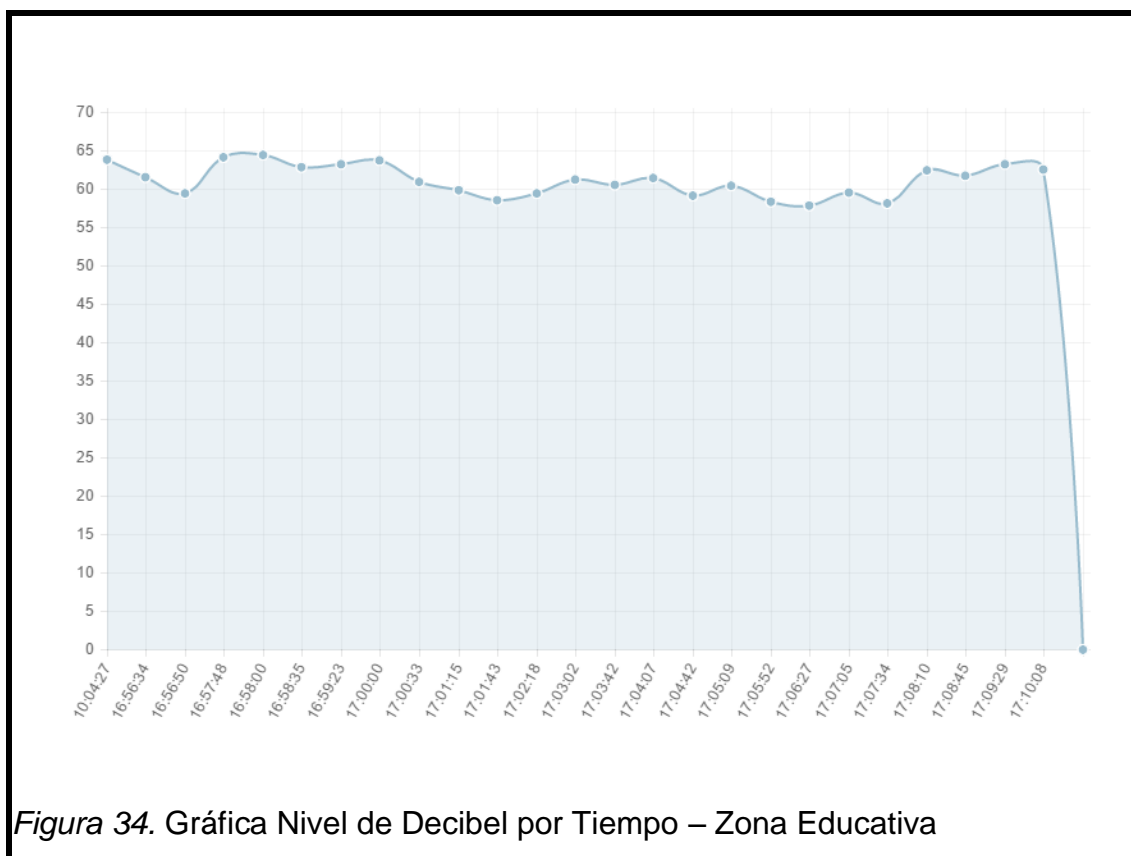


Figura 33. Niveles de Ruido recopilados en la zona educativa y su ubicación





*Figura 34. Gráfica Nivel de Decibel por Tiempo – Zona Educativa*

Las mediciones realizadas en la zona industrial escogida nos dan un valor equivalente de 60.1 decibeles. La ley nos dice que el valor máximo permisible en zonas educativas es de 55 decibeles por lo tanto en la Universidad de las Américas está presente un ruido superior al que la Ley permite.

### 3.7.3 Sector Residencial

La tercera prueba se realizó en el sector del Canal 4, la cual representa la zona residencial en la cual se realizaron las mediciones. En la figura 35 se muestra una galería de la zona de medición y equipos instalados necesarios para llevar a cabo la operación.



*Figura 35.* Fotografías de prototipo instalado en la zona de medición

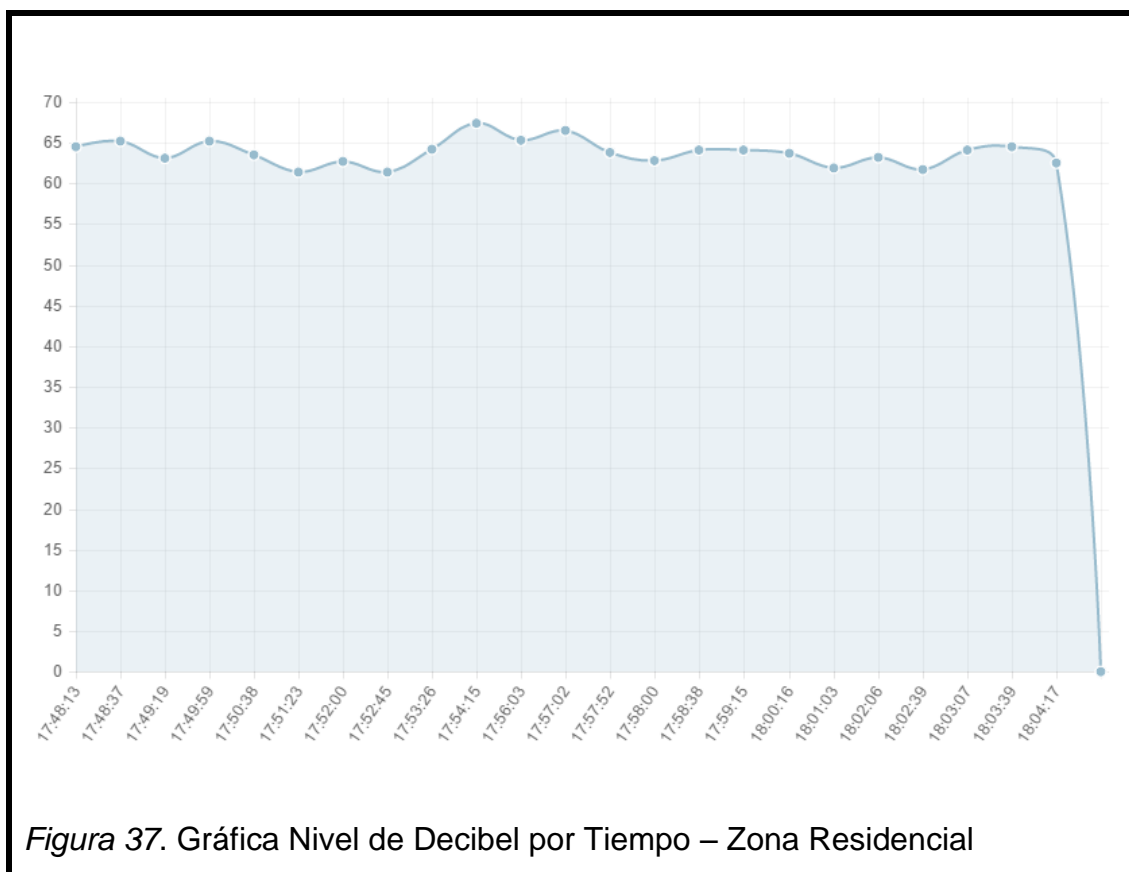
Una vez instalados y preparados los equipos para su ejecución se procedió a recopilar datos sobre los niveles de ruido presentes en la zona.

A continuación en la figura 36 se observan los datos obtenidos en la zona, con la ubicación en google maps proporcionado por el GPS, y en la figura 37 una gráfica Nivel de Decibel por tiempo que representa los mismos.

Decibeles	Longitud	Latitud	Fecha	Hora	Google Maps
62.5	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	18:04:17	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.5	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	18:03:39	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.1	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	18:03:07	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.7	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	18:02:39	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.2	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	18:02:06	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.9	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	18:01:03	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.7	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	18:00:16	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.1	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:59:15	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.1	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:58:38	<a href="#">Ver en Mapa</a>
62.8	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:58:00	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.8	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:57:52	<a href="#">Ver en Mapa</a>
66.5	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:57:02	<a href="#">Ver en Mapa</a>
65.3	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:56:03	<a href="#">Ver en Mapa</a>
67.4	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:54:15	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.2	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:53:26	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.4	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:52:45	<a href="#">Ver en Mapa</a>
62.7	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:52:00	<a href="#">Ver en Mapa</a>
61.4	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:51:23	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.5	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:50:38	<a href="#">Ver en Mapa</a>
65.2	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:49:59	<a href="#">Ver en Mapa</a>
63.1	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:49:19	<a href="#">Ver en Mapa</a>
65.2	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:48:37	<a href="#">Ver en Mapa</a>
64.5	-78.490525	-0.172256	04/04/2016	17:48:13	<a href="#">Ver en Mapa</a>



Figura 36. Niveles de Ruido recopilados en la zona residencial y su ubicación



Las mediciones realizadas en la zona residencial escogida nos dan un valor equivalente de 63.8 decibeles. La ley nos dice que el valor máximo permisible en zonas residenciales es de 60 decibeles por lo tanto en la zona del Canal 4 el ruido presenta no está dentro de los límites que la Ley menciona.

### 3.8 Análisis de Resultados y Medidas de Reducción del Ruido Ambiental

Observando y analizando los resultados obtenidos en las mediciones se puede concluir que la zona más ruidosa de las muestreadas es la zona industrial, esto es debido a las operaciones que se realizan en la industria, en el caso de Edmica en el procesamiento y elaboración de todo tipo de cosas en base de madera.

En los últimos años se han aplicado normas en la sociedad las cuales han ayudado a reducir la contaminación acústica en el sector como por ejemplo la Ley de Pico y Placa en la cual es restringida la circulación en el área urbana a

vehículos privados dependiendo del último número de la placa, esto se hizo con el fin de reducir el colapso de automóviles que se formaba en las vías, por lo que también se redujo el ruido ambiental en una medida muy diminuta.

Otra medida que se implementó en la zona fue el traslado del Aeropuerto de Quito hacia la zona rural, ya que además de producir congestión vehicular, generaba contaminación acústica y visual.

En la actualidad de la ciudad de Quito se está impulsando al uso de bicicleta. El Gobierno de Quito desde hace varios años ofrece un servicio de préstamo de bicicletas gratuito conocido como BiciQ, este servicio además de ofrecer un medio de transporte fácil y sencillo ayuda a que la población cambie su forma de moverse de un lado a otro dejando su vehículo y adquiriendo una bicicleta, lo que además de ayudar a tener una buena condición física y salud, ayuda a que la contaminación acústica sea menor en el ambiente.

Finalmente, se puede concluir que la mayor parte de la contaminación acústica presente en la ciudad se debe al tráfico vehicular.

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- El prototipo de medición de ruido ambiental satisface las etapas de sistema de adquisición de datos haciendo una primera aproximación a sistemas de medición operacional, ya que al evaluarlo y ponerlo a prueba nos ayuda a entender que decisiones fueron acertadas y cuáles no, en la etapa de diseño o en la evaluación.
- Los componentes electrónicos utilizados en el desarrollo del prototipo, son de fácil adquisición en el mercado. Se consigue con facilidad para producción y al ser fabricados dentro de un ambiente de economías de escala, simplifican la producción masiva del prototipo para un futuro.
- Una de las mejoras que se realizó con respecto a los sonómetros convencionales fue la transmisión de datos recopilados hacia un servidor mediante el internet, es decir a medida que está realizando las mediciones el prototipo los datos se van cargando a la nube, lo que facilita el tratamiento y análisis de los mismos.
- En la etapa de pruebas experimentales se pudo determinar que al realizar mediciones fuera del estándar que define la ley, en cuanto a posición y distancia del instrumento con respecto a los objetos (piso, pared, fuente emisora de ruido, etc.), los valores medidos variaban considerablemente con respecto a los del sonómetro patrón.
- El prototipo además de usarse para mediciones de ruido ambiental también se puede destinar a medidas de testeo de alarmas, sistemas de sonido o sistemas mecánicos. Ya que este al cumplir con las normas

que demanda un sonómetro de tipo 2, abarca un rango muy amplio de aplicaciones

- En cuanto a limitaciones existentes en la implementación del prototipo, el sistema de “phantom power”, que alimenta al micrófono, no pudo ser encontrado en el mercado local, por lo que tuvo que ser importado.
- El objetivo fundamental de este proyecto fue diseñar y construir un prototipo de medición de ruido ambiental, no obstante, este no tendría sentido si no se considerara el significado de conocer los niveles de ruido, esto es, con el fin de conocer y analizar las posibles patologías que se pueden originar al estar expuestos a valores de ruidos muy fuertes, por lo que el presente proyecto ha permitido también tomar conciencia de los peligros que trae consigo el fenómeno del ruido.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Como mejora del prototipo se recomienda el diseño y la implementación del filtro ponderación de C, aunque su uso no es obligatorio en sonómetros de tipo 2, la utilización de este ayudaría a ampliar del campo de aplicación en el que se podría usar el prototipo.
- Es de gran importancia hacer uso de dispositivos de comunicación inalámbrica que sea compatibles con cifrado WPA2 Personal o WPA, ya que el tipo WEP sufre varias vulnerabilidades en la seguridad. Haciendo uso alguna herramienta de ethical hacking para encontrar la frase de seguridad.
- Como plan de contingencia se puede integrar una tarjeta SD en la placa la cual permite el almacenamiento de los datos en caso de que se inhabilite el internet por cualquier inconveniente que el proveedor del mismo tenga.

- Para un mejor manejo, análisis y seguridad de datos se recomienda implementar un sistema más sofisticado de usuarios y súper usuarios, es decir: administrador, técnico, cliente, etc., lo que implica un diseño más amplio en la base de datos y su relaciones.



## REFERENCIAS

- Insht (s.f.) Aspectos Ergonómico del Ruido. Recuperado el 10 de Febrero de 2016, de <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Ruido%20y%20Vibraciones/ficheros/DTE-AspectosErgonomicosRUIDOVIBRACIONES.pdf>
- Angelfir (s.f.) Espectro del Sonido. Recuperado el 20 de Julio de 2015 de <http://www.angelfire.com/empire/seigfrid/Portada.html>
- Arcasoptica (s.f.) Audición. Recuperado el 20 de Agosto de 2016 de <http://www.arcasoptica.com/audicion.html>
- ARM (s.f.) Cortex M4 Devices. Recuperado el 20 de Febrero de 2016 de [http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.dui0553a/DUI0553A\\_cortex\\_m4\\_dgug.pdf](http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.dui0553a/DUI0553A_cortex_m4_dgug.pdf)
- Beyerdynamic (s.f.) ByerDynamic MM1 Microphone Recuperado el 22 de Octubre de 2015 de <http://north-america.beyerdynamic.com/shop/mm-1.html>
- Carter, B., (2002) Designing Gain and Offset in Thirty Seconds. Recuperado el 20 de Febrerro de 2016 de <http://www.ti.com/lit/an/sloa097/sloa097.pdf>
- Casado, M. (2005) Recuperado el 10 de Febrero de 2016 de <http://mecg.es/archivos/Redes%20de%20ponderaci%C3%B3n%20ac%C3%BAstica.pdf>
- Cesva (s.f.) Calibrador Acústico CB004. Recuperado el 9 de noviembre de 2015 de <http://www.cesva.com/en/products/calibrators/cb004/>
- Consejo del Distrito Metropolitano de Quito (2007). Ordenanza 0213. Quito, Ecuador

Dataq (s.f.). Fourier Fast Transform. Recueperado el 10 de Junio de 2016 de <http://www.dataq.com/data-acquisition/general-education-tutorials/fft-fast-fourier-transform-waveform-analysis.html>.

Echeverri C. y González A (2011). Protocolo para medir la emisión de ruido generado por fuentes fijas. Medellín, Colombia

Ecuacustica (s.f.) Lucha contra la contaminación acústica. Recueprado el 30 de Julio de 2015 de <http://www.ecuacustica.com/laboratorio-consultores-certificados-ministerio-de-ambiente-relaciones-laborables-oae-iess-municipio-quito-guayaquil-cuenca-ecuador.php?tablajb=noticias&p=12&t=Lucha-contra-la-contaminacion-acustica-&>

El Comercio (2012). Recuperado el 25 de Julio de 2015 de <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/ruido-quito-sobrepasa-niveles-tolerables.html>

Ergonomiavenezuela (s.f.) Normas IEC sobre Sonómetros. Recuperado el 20 de octubre de 2015 de <http://ergonomiavenezuela.com/RECURSOS/13LasNormasIECSobreSonometros.pdf>

Garavito, J (2007) Niveles de Ruido – Protocolo, Medellín: Colombia.

IEC (2002). Norma Intencional IEC 6167-2: Electroacústica Sonómetros. Recuperado el 10 DE Febrero de 2016 de [https://www.academia.edu/8958482/IEC\\_61672-1\\_electroacustica\\_sonometros\\_parte\\_1\\_](https://www.academia.edu/8958482/IEC_61672-1_electroacustica_sonometros_parte_1_)

Who (s.f.). Exposure Criteria: Occupational Exposure Levels. Recuperado el 20 de Agosto de 2016 de [http://www.who.int/occupational\\_health/publications/noise4.pdf](http://www.who.int/occupational_health/publications/noise4.pdf)

Kitelectronica (s.f.) Circuito Integrado LM358 . Recuperado el 17 de Julio de 2015 de <http://www.kitelectronica.com/2016/02/circuito-integrado-LM358.html>

Libro 6 – Anexo 5: Decreto N° 3516 (2003). Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones. Quito, Ecuador.

Makezine (s.f.) Recueprado el 13 de Marzo de 2016 de <http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi/>

Martinez, A. (2011). klarimartinezbenjumea.blogspot. Todo sobre PhP. Recuperado el 15 de Julio de 2015 de <http://klarimartinezbenjumea.blogspot.com/>

Rabfis15 (s.f.) Parametros que definen el Ruido. Recuperado el 25 de Julio de 2015 de [http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/\(1\)%20prop%20fis%20del%20ruido/param%20que%20definen%20el%20ruido.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/(1)%20prop%20fis%20del%20ruido/param%20que%20definen%20el%20ruido.htm)

Medina, J (2013). Hispasonic. Características y uso de los micrófonos. Recuperado el 16 de Julio de 2015 de <http://www.hispasonic.com/tutoriales/caracteristicas-uso-microfonos/37963>

Miyara, F., (2001) El sonido, la música y el ruido. Recuperado el 20 de Julio de 2016 de <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/sonmurui.pdf>

Miyara, F., (2001) Niveles Sonoros. Recuperado el 30 de Julio de 2015 de <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>

New (s.f.) Sound Spectrum. Recuperado el 10 e noviembre de 2015 de <https://newt.phys.unsw.edu.au/jw/sound.spectrum.html>

Portaleso (s.f) Electerónica Analógica. Recuperado el 1 de Noviembre de 2015 de [http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_analogica/analogica\\_indice.html](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_analogica/analogica_indice.html)

Sanguineti, J (2006) Tipos de Ruido. Recuperado el 10 de Febrero de 2016 de <http://www.controlderuido.com.ar/tipos-de-ruidos.html>

Tilen, M. (2014) recueprado el 15 de Febrero de 2016 de <http://stm32f4-discovery.com/2014/10/stm32f4-fft-example/>

Udistral (s.f.) Tranformada Rápida de Fourier. Recuperado el 15 de Febrero de 2016 de <ftp://ftp.udistral.edu.co/Documentacion/Electronica/Dsp/capitulo6.PDF>

URG (s.f.) Medidas de Ruido. Recuperado el 20 de Julio de 2015 de [www.ugr.es/~ramosr/CAMINOS/conceptos\\_ruido.pdf](http://www.ugr.es/~ramosr/CAMINOS/conceptos_ruido.pdf)

Vitutor (s.f.) Estadística Descriptiva. Recuperado el 14 de noviembre de 2015 de <http://www.vitutor.com/estadistica/descriptiva>

Who (s.f.) Sound Measuring Instruments. Recuperado el 1 de Agosto de 2015 de [http://www.who.int/occupational\\_health/publications/noise6.pdf](http://www.who.int/occupational_health/publications/noise6.pdf)

Botscience (s.f.) GPS NEO 6-M. Recuperado el 28 de Junio de 2016 de [http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product\\_id=73](http://botscience.net/store/index.php?route=product/product&product_id=73)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Hoja de especificaciones del micrófono Beyerdynamic MM1

**MM 1**

Measurement Microphone

Order # 449.350

**FEATURES**

- Linear frequency response in the diffuse field / under 90°
- Omnidirectional polar pattern
- Calibrated open circuit voltage
- Narrow tubular construction

**TECHNICAL SPECIFICATIONS**

Transducer type	Condenser (back electret)
Operating principle	Pressure
Frequency response	20 - 20,000 Hz (50 - 16,000 Hz $\pm$ 1.5 dB)
Polar pattern	Omnidirectional, diffuse field calibrated
Open circuit voltage at 1 kHz	15 mV/Pa ( $\approx$ -36.5 dBV) $\pm$ 1 dB
Nominal impedance	330 $\Omega$
Nominal load impedance	$\geq$ 2.2 k $\Omega$
Max. SPL at f = 1 kHz, k = 1%, R <sub>e</sub> = 2.2 k $\Omega$	128 dB <sub>re</sub>
S/N ratio rel. to 1 Pa	> 57 dB
A-weighted equivalent SPL	approx. 28 dB(A)
Power supply	12 - 48 V phantom supply
Current consumption	approx. 3.4 mA
Output	transformer balanced
Connection	3-pin XLR male
<b>Dimensions:</b>	
Length	133 mm
Shaft diameter	19/9 mm
Head diameter	9 mm
Weight (w/out cable)	88 g

**APPLICATIONS**

The MM 1 is a measurement microphone which has been designed specifically for measuring sound reinforcement and PA-systems. It is designed to work with spectrum analysers for measuring frequency response and sound pressure levels of loud speaker systems. The MM 1 is the ideal microphone for the measurement of audio signals in the research, development, for reverberation testings and other applications.

The narrow tubular construction ensures that the microphone has negligible influence on the sound field so that an increase in sound pressure is avoided with high frequencies. A natural reproduction is achieved due to the linear frequency response.

**OPTIONAL ACCESSORIES**

GST 400	Microphone stand, 3/8", height 0.90 - 1.65 m, with G 400 boom. . . . .	Order # 421.294
GST 500	Microphone stand, 3/8", height 0.85 - 1.60 m, with telescopic G 500 boom. . . . .	Order # 406.252
ST 400	Microphone stand, 3/8", height 0.90 - 1.65 mm . . . . .	Order # 421.286
ST 500	Microphone stand, 3/8", height 0.85 - 1.60 mm . . . . .	Order # 406.643
WS 10	Wind shield, charcoal grey . . . . .	Order # 403.008

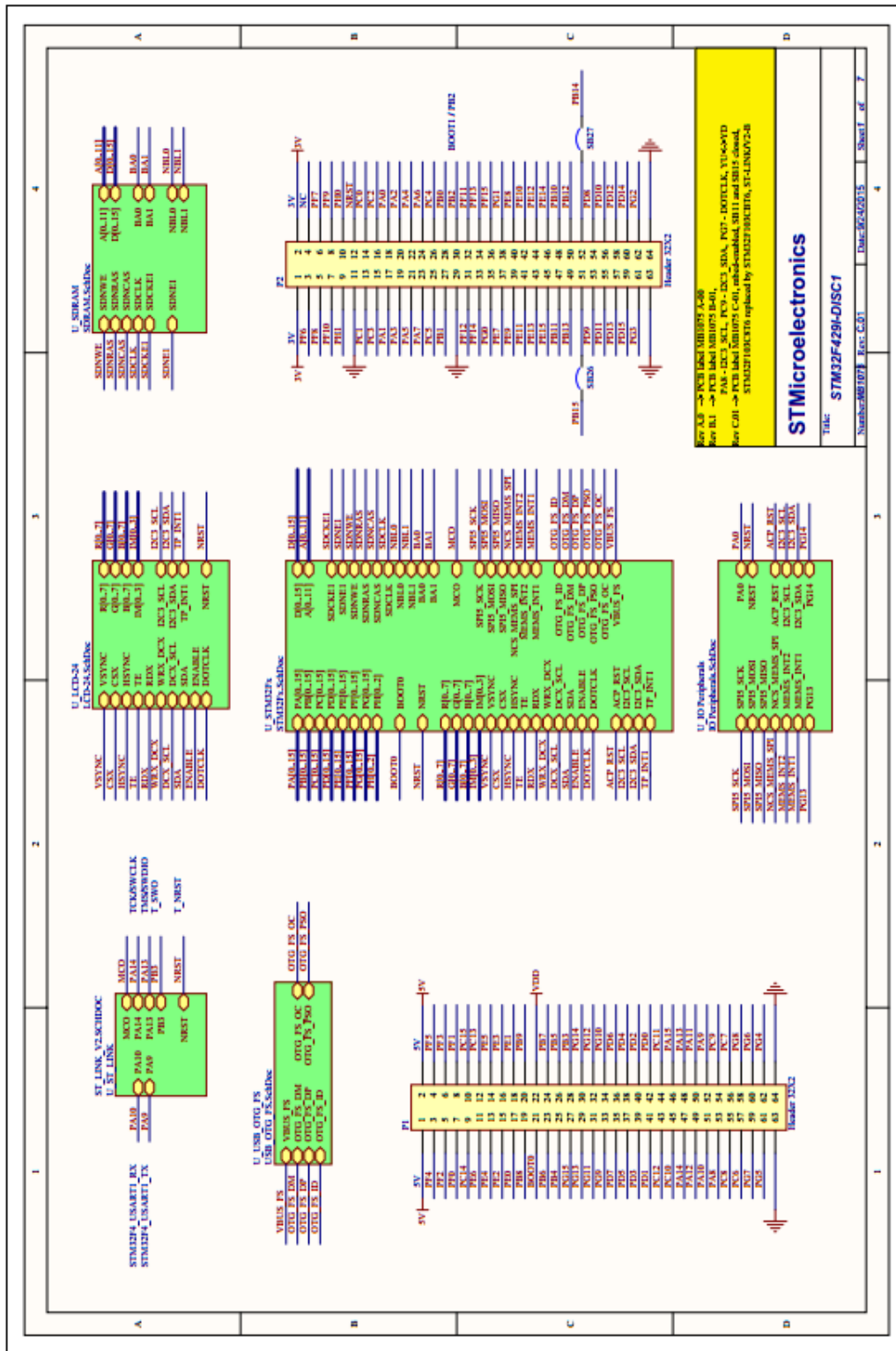
1 of 2

beyerdynamic GmbH & Co. KG  
 Theresienstr. 8 | 74072 Heilbronn - Germany  
 Tel. +49 (0) 71 31 / 617 - 0 | Fax +49 (0) 71 31 / 617 - 204  
 info@beyerdynamic.de | www.beyerdynamic.com

For further distributors worldwide, please go to [www.beyerdynamic.com](http://www.beyerdynamic.com)  
 Non-contractual illustrations. Contents subject to change without notice. E3 / MM 1 (03.14)

**beyerdynamic**

Anexo 2. Datasheet STM32f429



Rev A3P → PCB label 0001005 7A-20  
 Rev B1 → PCB label 0001005 8A-01, STM32F429-DISC1, VBUS\_OTG  
 Rev C01 → PCB label 0001005 C-01, not assembled, SH11 and SH12 closed.  
 STM32F429-DISC1 replaced by STM32F429-DISC1, ST-LINKV2-0

**STMicroelectronics**

Title: **STM32F429-DISC1**  
 Number: 468107 Rev: C.01 Date: 06/02/15 Sheet of 7

## Anexo 3. Datasheet XL6009

**TO263-5L**

Figure1. Package Type of XL6009

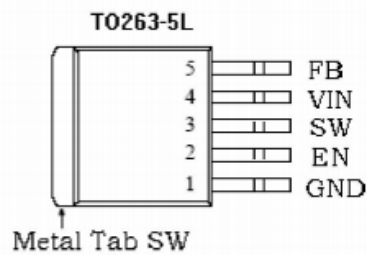
**Pin Configurations**

Figure2. Pin Configuration of XL6009 (Top View)

Table 1 Pin Description

Pin Number	Pin Name	Description
1	GND	Ground Pin.
2	EN	Enable Pin. Drive EN pin low to turn off the device, drive it high to turn it on. Floating is default high.
3	SW	Power Switch Output Pin (SW).
4	VIN	Supply Voltage Input Pin. XL6009 operates from a 5V to 32V DC voltage. Bypass Vin to GND with a suitably large capacitor to eliminate noise on the input.
5	FB	Feedback Pin (FB). Through an external resistor divider network, FB senses the output voltage and regulates it. The feedback threshold voltage is 1.25V.



### Function Block

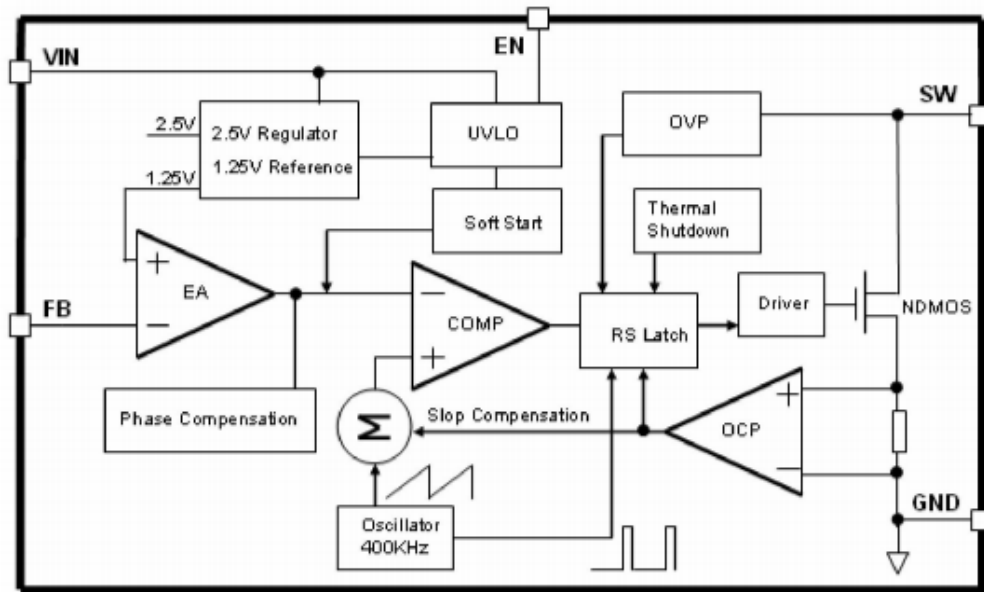


Figure3. Function Block Diagram of XL6009

### Typical Application Circuit

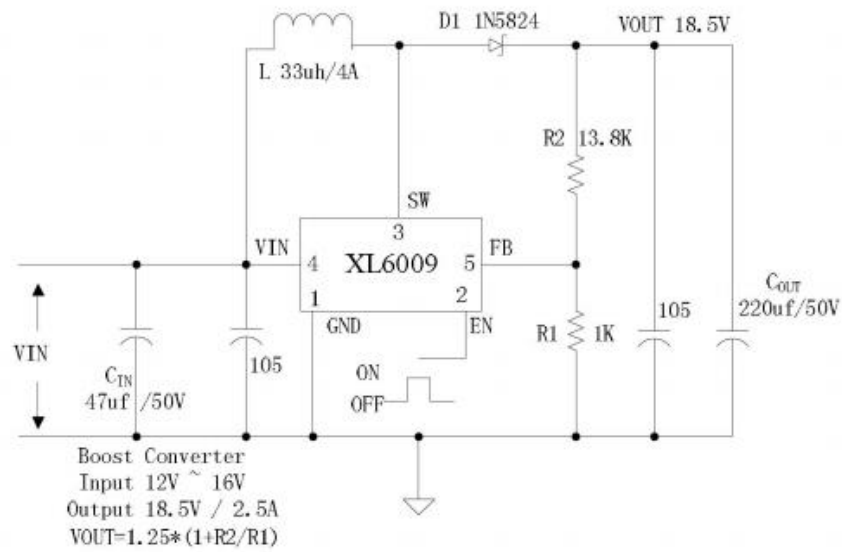


Figure4. XL6009 Typical Application Circuit (Boost Converter)