



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE LA RED DE
SENSORES WSN PARA CONTAMINACIÓN AUDITIVA

Autora

Verónica Fernanda Cajamarca Achig

Año
2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE LA RED DE
SENSORES WSN PARA CONTAMINACIÓN AUDITIVA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Redes y
Telecomunicaciones

Profesor Guía

Mg. Ricardo Xavier Ubilla González

Autora

Verónica Fernanda Cajamarca Achig

Año

2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

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

Ricardo Xavier Ubilla González
Magister en Telecomunicaciones
C.I. 0917565640

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

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

Diego Fabián Paredes Páliz

Master in Optical Communications and Photonic Technologies

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”

Verónica Fernanda Cajamarca Achig
C.I. 1718002692

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza para culminar esta meta.

A Fanny C. por siempre creer en mí, ser mi amiga y mi hermana; porque sin ella esta meta no hubiera sido posible, es gratificante estos 13 años de amistad juntas.

Al Magister Ricardo Ubilla por guiarme a lo largo de este proyecto.

A mi novio Franklin P. por toda la comprensión y las palabras de aliento.

A todos esos amigos verdaderos que me tendieron una mano a lo largo de la carrera sin esperar nada.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios, a mi padre que está en el cielo, a mi madre que ha sido mi luz en los momentos difíciles y el mayor motor en mi vida para cumplir cada objetivo planteado y a mi hermano por su fe inquebrantable en mí.

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo implementar pruebas de validación de una red de sensores WSN para determinar contaminación auditiva en ambientes controlados y no controlados, facilitando resultados confiables.

La contaminación auditiva produce daños a la salud de forma irreversible y ha ido creciendo de forma vertiginosa. Además, el estudio de las redes de sensores inalámbricos (WSN) que se propagan por el aire de forma libre hace fácil el uso de aplicaciones en donde se necesita conseguir datos y procesarlos localmente. Gracias a estos progresos fue posible realizar un proyecto en la Universidad de las Américas, denominado “Sistema de medición de contaminación auditiva, empleando una red de sensores inalámbricos y sensores Ban” tomando como base este estudio se realiza este proyecto y se hace la mejora según recomendaciones de este autor.

Por lo tanto, para el desarrollo de la investigación se configura una red WSN conformada por tres nodos y un *Gateway* configurados en trama API. Con la finalidad de que cada nodo reciba datos y estos sean enviados al *Gateway*. Cada nodo sensor cuenta con un sonómetro el cual envía un valor analógico que es interpretado y mostrado en una interfaz que muestra valores en dB. Para la toma de muestras se utiliza un nodo sensor denominado principal.

Adicional se hace un plan de validación y verificación de pruebas, en donde consta la metodología a usar para la toma de muestras en ambientes controlados y no controlados; dichas muestras permitirán obtener resultados mediante gráficas de variación y tablas comparativas. Los resultados obtenidos hacen referencia a la saturación de oxígeno, presión arterial, cumplimiento de la normativa metropolitana de Quito, efectos psicológicos y psicopatológicos con respecto a los niveles de ruido obtenidos por el nodo sensor.

ABSTRACT

The present project has to implement for an object tests of ratification of a network of sensors WSN to determine auditory contamination in controlled and not controlled ambiances, facilitating reliable results.

The auditory contamination produces damages to the health of irreversible form and has been growing of vertiginous form. Also, the study of the networks of wireless sensors (WSN) that propagate for the air of free form makes easy the use of applications where it is necessary to obtain information and to process them locally. Thanks to these progresses it was possible to realize a project in the University of the Americas, so called "System of measurement of auditory contamination, using a network of wireless sensors and sensors Ban" taking this study as a base this project is realized and there is done the progress as recommendations of this author.

Therefore, for the development of the research will set up a network WSN conformed by three nodes, and a Gateway configured on frame API. With the purpose of that, each node recepte data and these sent to the *Gateway*. Each sensor node has a sound level meter, which sends an analog value that interpreted and displayed in an interface that displays values in dB. For the taking of samples using a sensor node named main. Additional there is done a plan of ratification and cross-check of tests, where there consists the methodology to be used for the capture of samples in controlled and not controlled ambiances; the above mentioned samples will allow to obtain results by means of graphs of change and comparative stage. The obtained results refer to the saturation of oxygen, blood pressure, fulfillment of the metropolitan regulation of Quito, psychological and psychopathological effects with regard to the levels of noise obtained by the node sensor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Alcance.....	2
Justificación.....	3
Objetivos	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
1. Capítulo I. Marco Teórico	4
1.1 Redes Inalámbricas	4
1.1.1 Categorías de Redes Inalámbricas.....	5
1.1.2 Redes WSN	5
1.1.2.1 Elementos en una WSN	5
1.1.2.2 Protocolos del Nodo Sensor.....	7
1.2 Dispositivos Electrónicos.....	8
1.2.1 XBEE	8
1.2.1.1 Elementos del XBEE	8
1.2.1.2 Topologías ZigBee	8
1.2.1.3 Configuración de Pines del XBEE S2C PRO.....	10
1.2.1.4 Software XCTU.....	11
1.2.2 Sonómetro	12
1.2.2.1 Sonómetro T Tocas (tm).....	12
1.2.3 GPS	14
1.2.3.1 GPS Modelo GY-GPS6MV2	14
1.2.4 Amplificador	15
1.2.4.1 Amplificador LM324N	15
1.2.5 <i>Xbee Explorer</i>	16
1.2.6 Microcontrolador Atmega 328P	17
1.3 Sonido	18
1.3.1 Presión Sonora	18

1.3.2 Potencia Sonora	20
1.3.3 Intensidad Sonora.....	20
1.3.4 Configuración de la Relación de Decibeles y Voltaje.....	21
1.4 Ruido	22
1.5 Contaminación Acústica.....	23
1.5.1 Legislación de la Contaminación Acústica en Quito	25
1.5.1.1 Sanciones.....	27
2. Capítulo II. Implementación del Sistema de	
Contaminación Auditiva	27
2.1 Replica del Prototipo de Sistema de Contaminación Auditiva	27
2.1.1 Diseño Preliminar	28
2.1.2 Diseño Existente.....	28
2.1.2.1 Preámbulo de Pruebas para el Diseño.....	28
2.1.2.2 Desarrollo del circuito del SMCA	30
2.1.2.3 Configuración de la red WSN con los módulos XBEE	38
2.1.2.4 Transmisión de la Trama API	41
2.1.2.5 Interfaz Gráfica	42
2.1.2.6 Diagramas de Flujo de la Programación.....	43
2.1.2.7 Pulsioxímetro.....	45
3. Capítulo III. Plan de Verificación de Pruebas	47
3.1 Introducción	47
3.1.1 Propósito.....	47
3.1.2 Punto de Partida	47
3.1.3 Identificación del Proyecto	48
3.1.4 Estrategia de Marcha del Plan.....	48
3.2 Requerimientos para verificar.....	48
3.3 Estrategia de Verificación.....	48
3.3.1 Tipos de Prueba.....	49
3.3.1.1 Prueba de Funcionalidad del SMCA.....	49
3.3.1.2 Prueba selección de Escenarios.....	49

3.3.1.3 Metodología de Evaluación.....	50
4. Capitulo IV. Análisis de Resultados.....	54
4.1 Resultados del funcionamiento del Prototipo Nodo Sensor	54
4.2 Ambientes No Controlados	58
4.2.1 Variación del SPO2 en muestras por exposición al ruido.	58
4.2.2 Variación de la Presión Arterial por exposición de ruido.....	62
4.2.3 Análisis de muestras para determinar Contaminación Auditiva	66
4.3 Ambientes Controlados.....	83
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	84
5.1 Conclusiones.....	84
5.2 Recomendaciones	85
REFERENCIAS	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de redes inalámbricas por cobertura.....	5
Figura 2. Pila Genérica de protocolos del nodo sensor.....	6
Figura 3. Comunicación Punto-Punto y Punto Multipunto	7
Figura 4. Topología Estrella	9
Figura 5. Topología Árbol.....	9
Figura 6. Topología Mesh	10
Figura 7. Configuración de Pines S2C PRO.....	10
Figura 8. Entorno del software XCTU.....	12
Figura 9. Sonómetro modelo T Tocas (tm).....	13
Figura 10. GPS Modelo GY-GPS6MV2.....	14
Figura 11. Distribución de pines del LM324N.....	15
Figura 12. Xbee Explorer	16
Figura 13. Presión Acústica.....	19
Figura 14. Tono Puro y Ruido Continuo Intermitente	23
Figura 15. Botones de DC-LOW y AC-FAST en el sonómetro	29
Figura 16. Voltaje de Funcionamiento.....	30
Figura 17. Conexión USB para el encendido y apagado del sonómetro	30
Figura 18. Diagrama de Bloques de la Red BAN y WSN	31
Figura 19. Diagrama circuital del sonómetro	33
Figura 20. Diagrama circuital del oscilador del Atmega 328P	33
Figura 21. Diagrama circuital del regulador LM7805.....	34
Figura 22. Diagrama circuital del regulador LM1117	34
Figura 23. Diagrama circuital integral.....	34
Figura 24. Simulación de las pistas de la placa impresa	35
Figura 25. Diseño de la placa impresa	36
Figura 26. Placa Principal soldada y ensamblada.....	36
Figura 27. Diseño de la red WSN.....	37
Figura 28. Impresión en AUTOCAD 3D	37
Figura 29. Nodo Sensor Armado.....	37
Figura 30. Xbee insertado en el Xbee Explorer.....	38

Figura 31. Añadir y descubrir los módulos de radio	39
Figura 32. Búsqueda de los módulos de radio en el programa XCTU	41
Figura 33. Generación de la Trama API.....	41
Figura 34. Fragmento de la programación de un dato válido	42
Figura 35. Entorno de la Interfaz Gráfica	42
Figura 36. Diagrama de Programación Atmega 328P	43
Figura 37. Diagrama del Programación Interfaz Gráfica	44
Figura 38. Pulsioxímetro CMS50D+	45
Figura 39. Valor mínimo de medición.....	55
Figura 40. Valor máximo medido.....	55
Figura 41. Distancia de alcance de la red de sensores inalámbricos.....	56
Figura 42. Confianza de Medición.....	57
Figura 43. Rango de Trabajo del Nodo Sensor	58
Figura 44. Muestras de SPO2 en la Biblioteca de una Universidad	58
Figura 45. Muestras de SPO2 tomadas en una casa	59
Figura 46. Muestras de SPO2 tomadas en un restaurante	59
Figura 47. Muestras de SPO2 en el centro comercial “El Recreo”	60
Figura 48. Muestras de SPO2 en el Call Center Empresa “Puntonet S.A”	61
Figura 49. Muestras de SPO2 en un Taller Mecánico “Quito Sur”	61
Figura 50. Muestras de SPO2 en EP Petroecuador “Terminal Beaterio”	62
Figura 51. Muestras de Presión Arterial en la Biblioteca una Universidad	62
Figura 52. Muestras de la Presión Arterial tomada en una casa	63
Figura 53. Muestras de la Presión Arterial en un Restaurante	63
Figura 54. Muestras de Presión Arterial en el centro comercial “El Recreo”	64
Figura 55. Muestras de Presión Arterial en el Call Center “Puntonet S.A”	64
Figura 56. Muestras de Presión Arterial en el taller mecánico “Quito Sur”	65
Figura 57. Muestras de Presión Arterial EP Petroecuador	65
Figura 58. Diagrama de dispersión respecto al SPO2 Máxima muestreada	67
Figura 59. Saturación de Oxígeno máxima con líneas de división	70
Figura 60. Presión arterial máxima muestreada.....	71
Figura 61. Presión arterial máxima con líneas de división	74
Figura 62. Presión arterial mínima muestreada.....	75

Figura 63. Saturación de oxígeno mínima con líneas de división.....	78
Figura 64. Presión arterial mínima muestreada.....	79
Figura 65. Presión arterial mínima con línea de división	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funciones de la pila de protocolos WSN.....	7
Tabla 2. Especificaciones Técnicas del Sonómetro T Tocas (tm)	13
Tabla 3. Especificaciones Técnicas del GPS Modelo GY-GPS6MV2	14
Tabla 4. Especificaciones Técnicas del Amplificador LM324N.....	16
Tabla 5. Especificaciones Técnicas del Atmega 328P	17
Tabla 6. Efectos Psicopatológicos	24
Tabla 7. Efectos Psicológicos.....	24
Tabla 8. Niveles Máximos permitidos de Ruido para Fuentes Fijas	26
Tabla 9. Niveles permitidos para automotores	26
Tabla 10. Funciones del Sistema de contaminación auditiva	31
Tabla 11. Distribución de pines para la conexión	32
Tabla 12. Lista de materiales	35
Tabla 13. Parámetros de Configuración Xbee Pro S2C para el coordinador ...	39
Tabla 14. Parámetro de Configuración Xbee Pro S2C para nodos	40
Tabla 15. Presión Arterial por edad para niño y adultos.....	46
Tabla 16. Saturación Parcial de Oxígeno en porcentaje	47
Tabla 17. Ciclo de Trabajo	51
Tabla 18. Intervalos de Confianza al 95%.....	53
Tabla 19. Análisis I: Contaminación Auditiva y sus factores	66
Tabla 20. Análisis I: Datos ordenados del nivel de ruido para SPO2 máximo..	66
Tabla 21. Correlación lineal entre dos variables.....	68
Tabla 22. Configuración de datos para la saturación de oxígeno máxima	69
Tabla 23. Datos ordenados de nivel de ruido para la presión arterial máxima .	71
Tabla 24. Configuración de datos para la presión arterial máxima.....	72
Tabla 25. Análisis II:Contaminación Auditiva y su factores	74
Tabla 26. Análisis II: Datos ordenados del nivel de ruido para SPO2 máxima.	75
Tabla 27. Configuración de datos para la saturación de oxígeno mínima.....	76
Tabla 28. Análisis II: Datos ordenados del nivel de presión arterial mínima	78
Tabla 29. Configuración de datos para la presión arterial mínima	80
Tabla 30. Valores obtenidos en el cálculo de la presión sonora equivalente ...	82

Tabla 31. Tabla comparativa, niveles máximos permitidos para fuentes fijas..	82
Tabla 32. Población muestreada.....	83

INTRODUCCIÓN

La tecnología de las redes inalámbricas (*Wireless Network*) son redes sin cable, que se comunican por medios no guiados a través de ondas electromagnéticas, debido a esto, actualmente la libertad con la que se expanden ha hecho que se desarrollen en diferentes áreas de red. El desarrollo más interesante es en las redes de sensores inalámbricos (WSN) las cuales son capaces de obtener información de su entorno, procesarla localmente y comunicarla por medio de nodos; los nodos son elementos de la infraestructura que reenvían los mensajes a otros nodos (mfbarcell, s.f.).

También existen otras redes conocidas como redes BAN (Redes de área corporal), estas redes tienen el objetivo de obtener un sistema de comunicaciones a baja escala que transmite dentro, alrededor y sobre el cuerpo humano. Las principales aplicaciones de las redes de área corporal se encuentran en medicina, estas aplicaciones médicas se centran en el monitoreo de variables del cuerpo, para mejorar la calidad de vida de las personas. En los últimos años se puede ver una serie de regulaciones tecnológicas y varios estándares de tecnologías; explícitamente la IEEE en noviembre de 2007, conformó el grupo de trabajo "*IEEE 802.15 Working Group TG6: Body Area Networks*" con el fin de desarrollar un estándar para equipos que utilicen BAN (Betancur, 2011).

Estos avances tecnológicos en las redes WSN y BAN hicieron posible, que se realizará un sistema de medición de contaminación auditiva en la Universidad de las Américas, empleando una red de sensores inalámbricos y sensores BAN. Este sistema surgió por la necesidad de medir los niveles de ruido, debido a que la contaminación auditiva, es un grave problema con efectos sobre la salud, que no solo se relacionan con daños auditivos, sino que también provocan otros efectos sobre el cuerpo como son: efectos físicos, efectos psicológicos y sociales-económicos. Según la OMS (Organización Mundial de Salud) 1100 millones de personas corren el riesgo de sufrir pérdida

de audición y es necesario que las comunidades conozcan esta problemática (SALUD, 2015). El sistema fue diseñado con tres etapas; la primera etapa consta de una red de sensores inalámbricos WSN, la cual junto a un GPS (*Global Position System*) y un sonómetro, permite medir el nivel de ruido y conocer la posición con una transmisión de datos a 1500 metros de longitud. La segunda etapa consta de una red BAN la cual permite saber la frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno por medio de sensores no invasivos, esta información se observa en una PC en tiempo real. La tercera etapa es una interfaz gráfica en donde se observa la información de la red BAN (Solórzano, 2016).

Actualmente, el sistema de contaminación auditiva no ha sido utilizado para pruebas de medición de ruido en ambientes internos y externos. Además, se desconoce la información de los cambios en la frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno que las personas o grupo de personas puedan tener. Finalmente, al ser el ruido un componente negativo que contamina el ambiente, es necesario cuantificar la incidencia que produce en el ser humano.

Alcance

El alcance de este trabajo de titulación, es hacer las pruebas para validar la red de sensores WSN para contaminación auditiva y concluir cual es el impacto que genera en los diferentes escenarios, que se tomarán, como muestra.

Para llegar a cumplir con lo mencionado anteriormente, se desarrollará un plan de verificación y validación de pruebas que describo a continuación:

La primera etapa es realizar una réplica mejorada considerando tres nodos y un *Gateway*.

La segunda etapa es identificar los escenarios en donde se realizarán las pruebas. Se tomarán dos tipos de escenarios; el primero escenario será de tipo

controlado o interno en un laboratorio, el segundo escenario será de tipo no controlado en un ambiente exterior.

La tercera etapa es el desarrollo de la metodología de las pruebas de validación, la misma que consta de dos sub-etapas:

La primera sub-etapa es el proceso de validación de pruebas, que permitirá:

- Determinar los equipos que se usarán para la medición en el escenario de tipo controlado o interno.
- Poner en práctica la estrategia de pruebas, en la cual se fijará la población a ser muestreada, tipo de muestra, las iteraciones y ubicación.

La segunda sub-etapa es el análisis de resultados en el cual, se realizará una tabla comparativa para determinar el impacto que se produce el ruido en los seres humanos.

Justificación

La contaminación auditiva puede llegar a perjudicar de manera irreversible el estado de salud de las personas. Como resultado, surge la necesidad de llevar una medición constante del ruido en espacios controlados y no controlados para posterior realizar una comparación de resultados.

Es por esto que se necesita implementar pruebas de validación de la red de sensores WSN para que permita identificar y medir en forma práctica la influencia de la contaminación auditiva en los seres vivos, el mismo que, ha sido el incentivo del desarrollo de este trabajo de titulación.

A demás es un beneficio para la Universidad de las Américas, ya que permitirá a otros estudiantes realizar proyectos a fines y planes de mitigación para la contaminación auditiva.

Objetivos

Objetivo General

- Implementar pruebas de validación de una red de sensores WSN para el sistema de contaminación auditiva, que faciliten resultados confiables, demuestre el funcionamiento y los resultados del mismo en diferentes entornos.

Objetivos Específicos

- Concluir la investigación y las pruebas de medición de ruido del Sistema de Contaminación Auditiva.
- Identificar el plan de organización de pruebas para la validación del sistema de contaminación auditiva eligiendo los sitios adecuados para las mismas.
- Analizar los resultados obtenidos del muestreo mediante el uso de tablas comparativas.

1. Capítulo I. Marco Teórico

1.1 Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas *Wireless* (*Wireless Network*) son redes sin cable que se suelen comunicar por medios no guiados a través de ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realiza a través de antenas (Andreu, 2010).

Con las redes inalámbricas el interesado puede mantenerse conectado cuando se traslada dentro de un área geográfica elegida. Por esta razón, a veces se maneja el término “movilidad” (wordpress, s.f.).

Por otro lado, existen algunas cuestiones relacionadas con la regulación legal del espectro electromagnético. Las ondas electromagnéticas se transmiten a través de muchos dispositivos (uso militar, científico y de aficionados), pero son expuestos a interferencias. Por esta razón, todos los países requieren regulaciones que definan los rangos de frecuencia y la potencia de transmisión que se permite a cada categoría de uso (wordpress, s.f.).

1.1.1 Categorías de Redes Inalámbricas

	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Tecnología	Bluetooth Ultra Wide Band Zig Bee	802.11b 802.11 a 802.11 g 802.11 n	802.16 802.16a 802.16e	GSM GPRS CDMA 2.5 G 3 G 4 G
Tasa de datos	Tasas de datos medias (1 a 2 Mbps)	Tasas de datos altas (11 Mbps a 200+ Mbps)	Muy altas tasas de datos 350+ Mbps	Tasas de datos de bajas a medias, 10 Kbps a 2.4 Mbps
Rango	Rango muy corto, 3m	Rango corto, 100 m	Rango medio, 50 Km	Rango global
Conectividad	Laptop a PC a periféricos.	Computador a computador y la Internet	LAN o computador a una línea cableada de alta velocidad de Internet	Da Smart Phones y PDAs a WANs y a la Internet.

Figura 1. Comparación de redes inalámbricas por cobertura

Tomado de (Redes-Móviles-e-Inalámbricas, s.f.).

Se puede decir que, un conjunto de WLAN forma una red WMAN y una red WMAN forma una red WWAN por su alcance y tecnología como se observa en la Figura 1.

1.1.2 Redes WSN

Una red de sensores inalámbricos (WSN) es tener minúsculos dispositivos independientes, en diferentes puntos llamados nodos sensores situados alrededor de un objeto, para monitorearlo mediante mediciones, estos nodos se comunican por un medio inalámbrico.

1.1.2.1 Elementos en una WSN

- **Sensores:** Son de diferente naturaleza y tecnología, toman la información del medio y la convierten en señales eléctricas (arcos, s.f.).
- **Nodo Sensor:** También llamado procesador de radio, toman los datos del sensor a través de sus puertas de datos, y envían la información a la estación base (arcos, s.f.).
- **Gateway:** Elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP (arcos, s.f.).
- **Estación Base:** Recolector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido (arcos, s.f.).
- **Red de Sensores Inalámbricos:** Es una red de dispositivos que tienen la capacidad de registrar la información obtenida, por los nodos sensores y comunicarse entre sí y al *Gateway*. Está basado en el estándar ZigBee con la especificación IEEE 802.15.4 con la finalidad de comunicarse con una tasa baja de transmisión de datos y un consumo de baterías mínimo (Ruiz, A., Molina, J, 2010, p. 369).

Como se muestra en la Figura 2 las redes WSN cumplen reglas que permiten tener un estándar de comunicación para cumplir tareas.

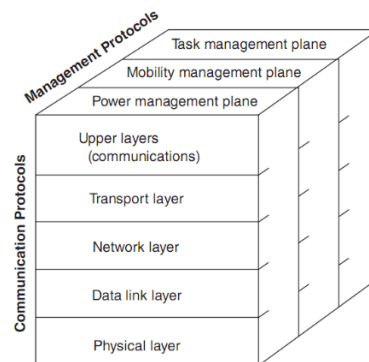


Figura 2. Pila Genérica de protocolos del nodo sensor
Tomado de (Garbarino, s.f.).

1.1.2.2 Protocolos del Nodo Sensor

Las funciones que cumplen los protocolos para redes WSN se enuncian en la Tabla 1

Tabla 1.

Funciones de la pila de protocolos WSN

Capas superiores	Aplicaciones residentes en la red, procesamiento, agregación, procesamiento de consultas externas, y base de datos externa.
Capa 4	Transporte , incluyendo diseminación y acumulación de datos, cache y almacenamiento.
Capa 3	Red , administración dinámica de la topología y encaminamiento
Capa 2	Enlace , administración del canal compartido, competencia por el canal, y acceso al medio, sincronización y localización
Capa 1	Física , canal de comunicación, procesamiento de señales

Tomado de (Garbarino, s.f.).

En la Tabla 1 se puede observar que tiene un parecido con el modelo OSI, con la diferencia que la Capa de Soporte de Aplicación o *Transport Layer* es la suma de la Capa Transporte, Capa Sesión y Capa Presentación.

Para realizar este proyecto es de importancia enunciar, los dispositivos electrónicos a utilizarse en la réplica del prototipo del Sistema de Contaminación Auditiva. Dichos elementos se explican en el ítem 1.2.



Figura 3. Comunicación Punto-Punto y Punto Multipunto

Tomado de (Da Paz, 2015).

1.2 Dispositivos Electrónicos

1.2.1 XBEE

XBEE es un microcontrolador fabricado por la empresa DIGI que maneja el protocolo de red IEEE 802.15.4 para redes punto multipunto y redes punto a punto. Por otro lado, utiliza el estándar Zigbee como una solución integrada permitiendo una conexión inalámbrica entre dispositivos, teniendo así una ventaja en aplicaciones que requieren un alto tráfico, pero baja latencia.

Como se muestra en la Figura 3 la red Punto a Punto es aquella que se usa para comunicar entre dos nodos mientras que las redes Punto Multipunto es capaz de comunicarse con varios nodos.

1.2.1.1 Elementos del XBEE

- **Elemento Coordinador:** Cada red tiene un solo coordinador y su función es gestionar las funciones de la red.
- **Router:** Debido a que puede haber varias redes, se utiliza este elemento para redirigir los mensajes a su destino.
- **End Device:** Estos elementos se unen a las redes para enviar y recibir información como un canal de transmisión, pero no generan información. También se puede agregar que, estos dispositivos finales dependen de un coordinador y pueden estar en modo *stand by* para ahorrar energía, mientras que un coordinador debe mantenerse activo siempre.

1.2.1.2 Topologías ZigBee

- **Topología en Estrella:** En este tipo de topología el coordinador está rodeado de varios dispositivos finales como se muestra en la Figura 4. Es fácil de configurar, pero si el coordinador tiene algún inconveniente toda la red falla.

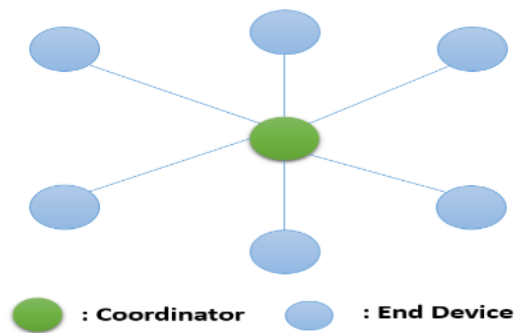


Figura 4. Topología Estrella

Tomado de (Da Paz, 2015).

Para el presente proyecto se utilizará este tipo de topología ya que la configuración y la conexión son simples. Recordando que, para el desarrollo de la Red de Sensores Inalámbricos (WSN) se manejará tres nodos y un *Gateway*.

- **Topología de Árbol:** “En la topología de árbol el coordinador se encuentra en la raíz de la red como se ve en la Figura 5. Solamente los *routers* y coordinador pueden actuar como nodos padres. Varios dispositivos finales se pueden conectar a los routers como nodos hijo.

Cuando un nodo quiere transmitir un mensaje a otro nodo, entonces envía mensaje a su nodo padre. Si cualquier router no funciona, entonces sus hijos (dispositivos finales) también dejan de trabajar” (Da Paz, 2015).

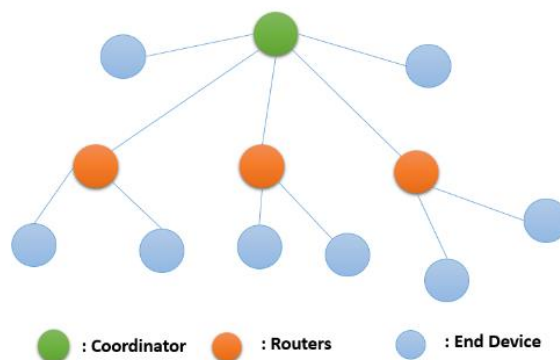


Figura 5. Topología Árbol

Tomado de (Da Paz, 2015).

- **Topología Mesh:** Es un tipo de tecnología redundante, es decir que, si un router no trabaja, entonces el mensaje se transmite mediante otra vía como se muestra en la Figura 6.

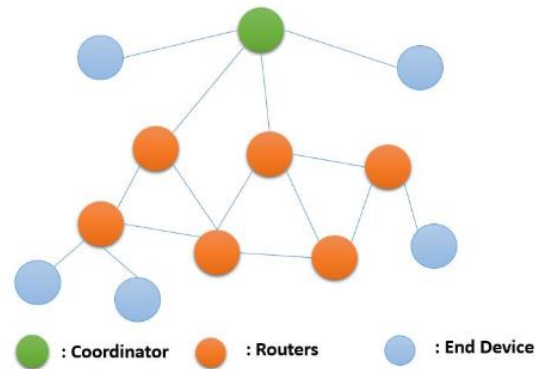


Figura 6. Topología Mesh
Tomado de (Da Paz, 2015).

1.2.1.3 Configuración de Pines del XBEE S2C PRO

Para la configuración de la red WSN se utilizará los XBEE S2C PRO ya que en comparación con los módulos XBEE tiene sus ventajas. Los módulos XBEE PRO tienen una potencia de 60 mW en decibelios 18 dBm, es decir el alcance es de 1 Km en espacios libres y hasta 300 metros en espacios urbanos, como se puede notar tiene mayores prestaciones en cuanto a longitud, lo que permitirá ubicar los *end device* a mayores distancias y validar que ocurre en la red WSN.

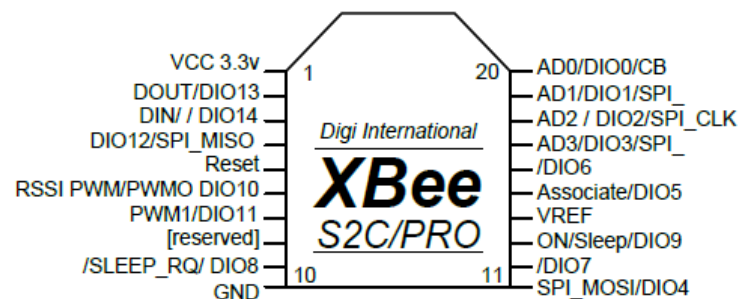


Figura 7. Configuración de Pines S2C PRO
Tomado de (rjesky, s.f.).

Como se puede ver en la Figura 7 se tiene un voltaje de alimentación de 3.3 v en el pin 1 y en el pin 10 tenemos GND, para mayor detalle se muestra las especificaciones, modos de conexiones, entre otros en el ANEXO 1.

1.2.1.4 **Software XCTU**

XCTU es una aplicación multiplataforma gratuita para configurar los módulos RF de la empresa DIGI a través de una interfaz gráfica. En el caso de los módulos Xbee facilita la configuración y pruebas de los mismos (Digi, s.f.).

“XCTU incluye todas las herramientas que necesita un desarrollador para poner rápidamente en funcionamiento un Xbee. Las características únicas, como la representación gráfica de la red del Xbee junto con la intensidad de la señal de cada conexión, y el constructor de tramas de la API de Xbee, ayuda a construir e interpretar los marcos de API para Xbee” (Digi, s.f.).

Permite probar en los módulos RF lo siguiente:

- El alcance
- La detección de otros módulos
- Leer entradas del modulo
- El funcionamiento de una red de varios módulos
- Enviar y recibir datos entre módulos en una red.

Permite configurar en los módulos RF lo siguiente:

- Descargar la configuración
- Cambiar la función
- Leer, escribir y actualizar el *firmware*
- Leer y modificar parámetros funcionales
- Guardar y restaurar configuración
- Configurar módulos de manera remota.

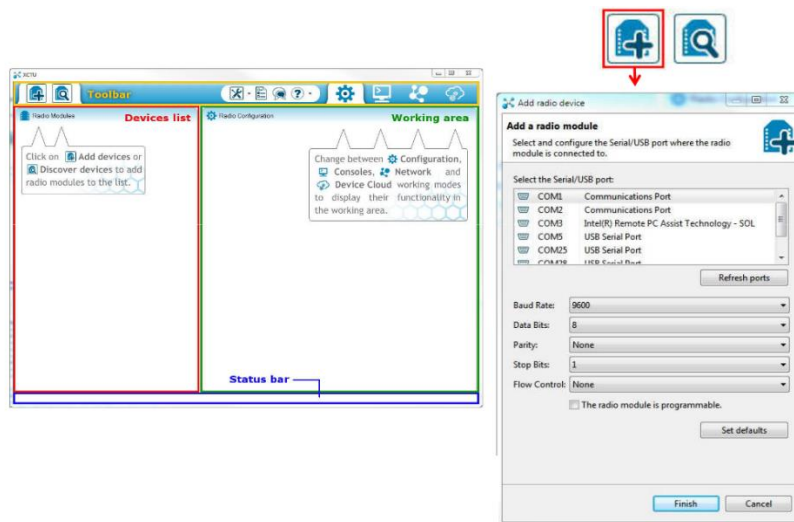


Figura 8. Entorno del software XCTU
Tomado de (electrocomponentes, s.f.).

Como se puede observar en la Figura 8 se tiene una barra de herramientas compuesta por opciones como: añadir un módulo, buscar un módulo, una ventana de terminal de prueba entre otras; adicional también tenemos la lista de dispositivos en donde aparecerán, todos los módulos con los que se está trabajando y finalmente tenemos el área de trabajo en donde se desplegará una serie de opciones de configuración, dependiendo del *firmware* que se elija para los módulos RF.

1.2.2 Sonómetro

Este dispositivo mide el nivel de ruido calculando la presión sonora en decibelios (dB). Su funcionamiento se asemeja al oído humano, ya que tiene una escala de ponderación con frecuencias que son sensibles al ser humano. Los sonómetros se usan para detectar la contaminación acústica.

1.2.2.1 Sonómetro T Tocas (tm)

Para el presente proyecto se utilizará el modelo que se muestra en la Figura 9, por su fácil manipulación. Cabe acotar que este tipo de modelo brinda la

posibilidad de guardar los datos de ruido directamente en un documento de Excel lo que es una ventaja para quien realice mediciones de contaminación acústica.



Figura 9. Sonómetro modelo T Tocas (tm)

Tomado de (Amazon, s.f.).

A continuación, se muestra en la Tabla 2 las especificaciones técnicas para el sonómetro T Tocas (tm). Para el presente proyecto se utilizará el modelo que se muestra en la Figura 9, por su fácil manipulación. Cabe acotar que este tipo de modelo brinda la posibilidad de guardar los datos de ruido directamente en un documento de Excel lo que es una ventaja para quien realice mediciones de contaminación acústica.

Tabla 2.

Especificaciones Técnicas del Sonómetro T Tocas (tm)

Especificaciones Técnicas	
Pantalla LCD	4 Dígitos
Nivel de Medida	30-130 dB(A) exactitud ± 1.5 dB
Respuesta de Frecuencia	31.5 Hz -8.5 KHz
Resolución	0 dB
Nivel de Sonido	Nivel 1: 30-80 dB Nivel 2: 50-100 dB Nivel 3: 60-110 dB Nivel 4: 80-130 dB Nivel 5: 30-130 dB
Rango Dinámico	50 dB/100 dB
Características de Frecuencia	A/C
Tasa de Muestreo	20 veces/segundo
Calendario Exacto	± 30 segundos/día
Microfono	0.5 inch polarization capacitance
Suministro de Energia	4x1.5V AA en bateria o cable usb
Vida de la Bateria	20 horas en uso continuo (baterias alcalinas)
Temperatura de Operación	0-40° C (32-104 °F)
Humedad de Operación	$\leq 80\%$ R.H
Dimensiones	aproximado 256 (L)X70(W)X35(H)mm(10.1x2.8x1.4 inch)

Tomado de (Amazon, s.f.).

1.2.3 GPS

Las siglas de este dispositivo significan *Global Positioning System*, es utilizado para establecer la posición en coordenadas de latitud y longitud en cualquier lugar en la tierra, para esta intención estable conexión con satelitales y estaciones terrenas más cercanas.

1.2.3.1 GPS Modelo GY-GPS6MV2

“Este módulo GPS es ideal para controlarlo con Arduino o cualquier otro microcontrolador, está basado en el chip receptor NEO 6M de la marca UBLOX. Este modelo de GPS incluye una antena cerámica lista para ser instalada directamente en la PCB. La PCB viene provista de conectores para la alimentación y transmisión de datos (VCC, GND, Tx y Rx)” En la Figura 10 se da un ejemplo de este GPS (leantec, s.f.).



Figura 10. GPS Modelo GY-GPS6MV2

Tomado de (Amazon, s.f.).

A continuación, se muestra en la Tabla 3 las especificaciones técnicas para el GPS Modelo GY-GPS6MV2.

Tabla 3.

Especificaciones Técnicas del GPS Modelo GY-GPS6MV2

Especificaciones Técnicas	
Receptor	Ublox NEO 6M
Voltaje de Alimentación	3 V a 5 V
Interfaz	UART, comunicación asincrónica

Adaptado de (leantec, s.f.).

1.2.4 Amplificador

Es un circuito electrónico que permite incrementar la intensidad de corriente, la tensión o la potencia de la señal que se aplica a la entrada; obteniendo así una señal amplificada. También se dice que, aumenta la amplitud de una señal atenuada.

1.2.4.1 Amplificador LM324N

Es un amplificador operacional cuádruple con entradas diferenciales verdaderas. Es un amplificador operacional convencional en aplicaciones de fuente sencilla de alimentación y de baja potencia (cosasdeingenieria, s.f.).

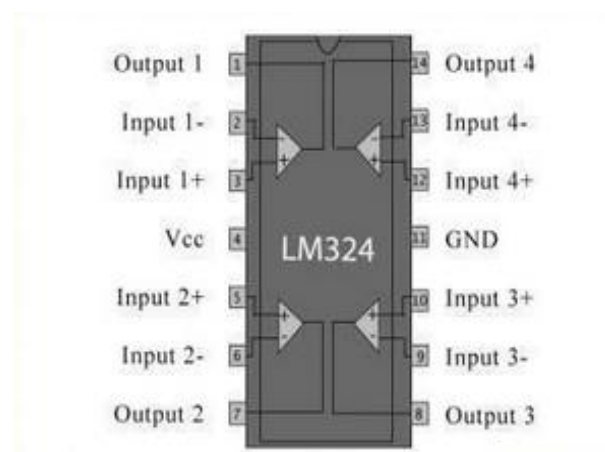


Figura 11. Distribución de pines del LM324N

Tomado de (ecured, s.f.).

A continuación, se muestra en la Tabla 4 las especificaciones técnicas del amplificador LM324N.

Tabla 4.

Especificaciones Técnicas del Amplificador LM324N

Especificaciones Técnicas	
Canales	4
Corriente de Salida	40 mA
Voltaje de Alimentación Máximo	32 V
Voltaje de Alimentación Mínimo	3 V
Corriente de Suministro por canal	1.2 mA
Ganancia en DC	100 dB
DC Salida	10mV/dB, impedancia de salida aprox 100 Ω

Adaptado de ecuared, s.f.).

Este amplificador es el que se utilizará para el prototipo ya que tiene bajo consumo de energía y es ideal para funcionar a baterías. Para mayor detalle del Amplificador LM324N se añade el *Datasheet* en el ANEXO 2.

1.2.5 Xbee Explorer

En la Figura 13 se muestra el *Xbee Explorer*, es una unidad de la familia DIGI que se conecta directamente mediante puerto USB, haciendo un enlace directo con un ordenador gracias al convertidor FT231X-USB. Es ideal para la configuración de los módulos Xbee de forma sencilla, ya que sólo con conectarlo al puerto USB del computador ya tendré acceso a los pines Tx y Rx, además cabe mencionar que, “a partir de agosto del 2010, regulador integrado proporciona 500 mA para alimentar a módulos de alta potencia como los *Xbee Explorer*” (bricogeek, s.f.)

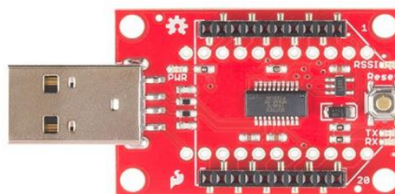


Figura 12. *Xbee Explorer*

Tomado de (robotshop, s.f.).

1.2.6 Microcontrolador Atmega 328P

“Es un microcontrolador de alto rendimiento que combina 32 [KB] de *flash* de lectura, mientras que de escritura-lectura es de 1024 [BYTES] *EEPROM*, 2 [KB] de *SRAM*, 23 líneas de propósito general E/S, tres temporizadores flexibles, *USART* programable en serie puerto serial SPI, 6 canales de 10 *bits* A/D, temporizador de vigilancia programable con oscilador interno, cinco modos de ahorro de energía. Además, en un solo ciclo ejecuta instrucciones de gran alcance” (Atmel Corporation, s.f.).

Tabla 5.

Especificaciones Técnicas del Atmega 328P

Especificaciones Técnicas	
Tipo de memoria del programa	flash
Memoria del Programa	32 KB
Velocidad CPU	20 MIPS
RAM Bytes	2
EEPROM	1024 Bytes
Periféricos de comunicación digital	1 UART-2-SPI, I2C-1
Comparadores	1
Rango de Temperatura	40-82 °C
Tensión de Funcionamiento	1.8-5.5 V
Numero de Pines	32
Canales Cap Touch	16

Adaptado de (Atmel Corporation, s.f.).

El diagrama de bloques, la distribución de pines del Atmega 328P y para qué sirve cada pin se encuentra en el ANEXO 3.

La mejora tecnológica de las redes inalámbricas y sus derivados, como las redes WSN hicieron posible diseñar un sistema de contaminación auditiva. Actualmente, es posible realizar las pruebas de verificación y validación de un sistema de contaminación auditiva basado en estos principios, para medir los niveles de ruido, además es de importancia determinar el impacto que produce en el ser humano.

1.3 Sonido

“Cuando en un medio continuo cualquiera, como puede ser el aire, se produce una perturbación en la posición de equilibrio de algunas de sus partículas, dicha perturbación termina por percibirse en las demás zonas del medio, con un retraso y con una amplitud relativa que dependen de las distancias y de los contornos geométricos. Este fenómeno de transmisión se conoce como sonido” (Parrondo, J. L., Velarde, S., Ballesteros, R., González, J., & Santolaria, C, 2006, p. 1).

De acuerdo a lo citado se puede decir que, el sonido es un fenómeno físico que, debido a la variación de partículas en un entorno, produce una sensación auditiva que se introduce por todo el aparato auditivo causando impulsos neuronales que hacen un efecto sonoro.

La presión sonora presente en los sonidos que nos rodea comprende desde las diez-milésimas de pascal hasta decenas de pascal. Para la percepción normal del oído humano no debe pasar el límite de las cienmilésimas de [Pa], si está por encima de los 100 [Pa] se produce una molestia llamada umbral del dolor, en el cual puede producir daños a la salud de la persona expuesta (Parrondo, J. L., Velarde, S., Ballesteros, R., González, J., & Santolaria, C, 2006, p. 11).

1.3.1 Presión Sonora

Este fenómeno se propaga en el aire por la vibración de las moléculas cerca de una unidad vibrante, dicha unidad transmite el movimiento a las moléculas que colinda, produciendo una onda sonora que dará fuerza de vibración con la velocidad del sonido que es un aproximado de 340 m/s (ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, s.f.).

El cambio de la presión es citado como presión acústica o presión sonora y se precisa como la diferencia en un instante dado entre la presión instantánea y la presión atmosférica. Los cambios violentos de la presión acústica crean el efecto auditivo como se muestra en la Figura. 13

(ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, s.f.).

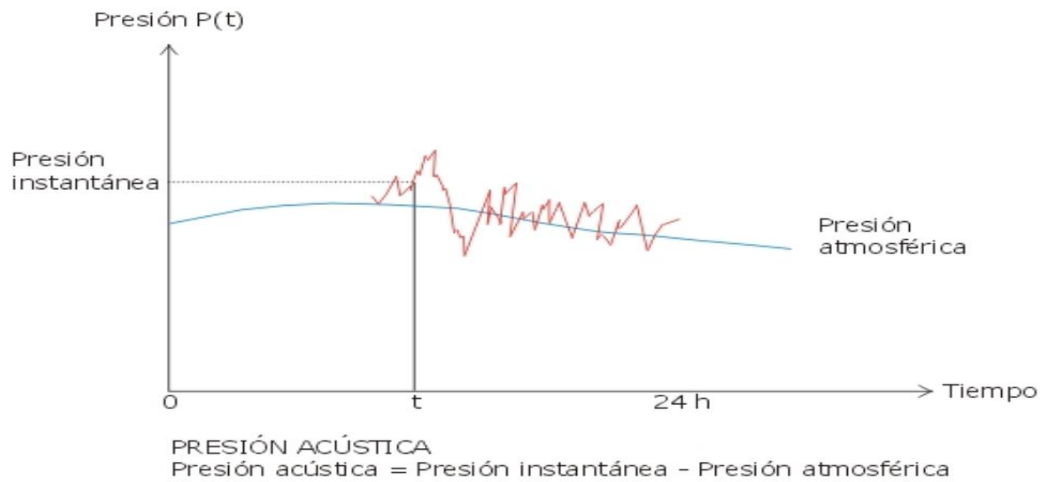


Figura 13. Presión Acústica

Tomado de (ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, s.f.).

La presión sonora también es conocida con la sigla L_p o *SPL* (*Sound Pressure Level*) como se muestra en la Ecuación 1.

(Ecuación 1)

$$L_p = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

Tomada de (Parrondo, J. L., Velarde, S., Ballesteros, R., González, J., & Santolaria, C, 2006, p. 12).

I = Es la intensidad acústica en el punto de medida

I_0 = Es la intensidad acústica de referencia que es $1E^{-12} \left[\frac{W}{m^2} \right]$

También se define como:

p_0 = presión sonora de referencia igual a $2 \cdot 10^{-5}$ [Pa], este valor es considerado el mínimo valor de percepción por el oído humano.

p = presión acústica percibida en el punto de medida.

1.3.2 Potencia Sonora

“Durante el movimiento vibratorio de un pistón, este ejecuta un trabajo empujando a la lámina de aire contigua, trabajo que se va reproduciendo sucesivamente sobre las demás láminas. En consecuencia, el pistón suministra al aire una cierta cantidad de energía que se transmite a lo largo del conducto. La potencia sonora es conocida con la sigla L_w o SWL (Sound Power Level). A continuación, se enuncia la Ecuación 2 para la potencia sonora (ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, 2007).

(Ecuación 2)

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W_E}{W_0} \right)$$

Tomado de (Parrondo, J. L., Velarde, S., Ballesteros, R., González, J., & Santolaria, C, 2006, p. 12)

W_E = potencia sonora emitida por una fuente

$W_0 = 10^{-12}$ [W] vatios un valor de referencia

1.3.3 Intensidad Sonora

Se define como la cantidad de energía sonora transmitida en una dirección determinada por unidad de área. Para realizar la medida de intensidades se utiliza actualmente analizadores de doble canal con posibilidad de espectro cruzado y una sonda que consiste en dos micrófonos separados a corta distancia. Permite determinar la cantidad de energía sonora que radia una fuente dentro de un ambiente ruidoso. No es posible medirlo con un sonómetro.

El nivel de intensidad sonora se mide en $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ (ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, 2007).

(Ecuación 3)

$$I = 10\log\left(\frac{P}{p_0}\right)^2 = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Tomado de (Parrondo, J. L., Velarde, S., Ballesteros, R., González, J., & Santolaria, C, 2006, p. 12)

I = Es la intensidad acústica en el punto de medida

I_0 = Es la intensidad acústica de referencia que es $1E^{-12} \left[\frac{W}{m^2}\right]$

De acuerdo a las ecuaciones mencionadas se puede decir que, si obtuviéramos los valores de la presión sonora en [dB] obtuviéramos un umbral de dolor que está en el rango de 0 a 134 decibelios [dB] tolerable para el ser humano. Además, son los valores que se toman de referencia para los sonómetros.

1.3.4 Configuración de la Relación de Decibeles y Voltaje

(Ecuación 4)

$$[dBV] = 20\log(V_1/V_2)$$

Si:

$$\frac{V_2}{V_1} = 100 [V]$$

Entonces:

$$[dBV] = 20\log(100/1)$$

$$[dBV] = 40$$

Tomado de (Solórzano, 2016)

En la ecuación 4 se tiene un ejemplo de la relación de voltios a [dBV] que es necesario para explicar la conversión que se utiliza para que el microcontrolador pueda interpretar los valores analógicos enviados por el sonómetro.

[dBA]: Este símbolo es muy utilizado para expresar nivel sonoro, ya que el oído humano no tiene la misma sensibilidad a las diferentes frecuencias, se hizo esta unidad para aproximar a un valor más real y que se ajuste a la audición humana. La escala de medida que toma esta unidad es de la norma UNE 21-314-75 (Rodes, J., Piqué, J., Trilla, A, 2007, p. 59).

1.4 Ruido

Un ruido es la sensación auditiva no deseada que afecta habitualmente a una variación aleatoria de la presión a lo largo del tiempo. Es un sonido complejo, y puede ser caracterizado por la frecuencia de los sonidos puros que lo componen y por la amplitud de la presión acústica correspondiente a cada una de esas frecuencias. Si estas últimas son muy numerosas, se caracteriza entonces el ruido por la distribución de la energía sonora en bandas de frecuencias contiguas, especificando lo que se denomina espectro frecuencia del ruido. El espectro de frecuencias de un ruido que varía aleatoriamente a lo largo del tiempo, a diferencia de otros sonidos complejos, como los acordes musicales, que siguen una ley de variación precisa (ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, s.f.).

A continuación, se da un ejemplo en la Figura 14 de los diferentes tipos de ruido que se dan por distintas variables como su composición, frecuencia, intensidad, tiempo entre otros.

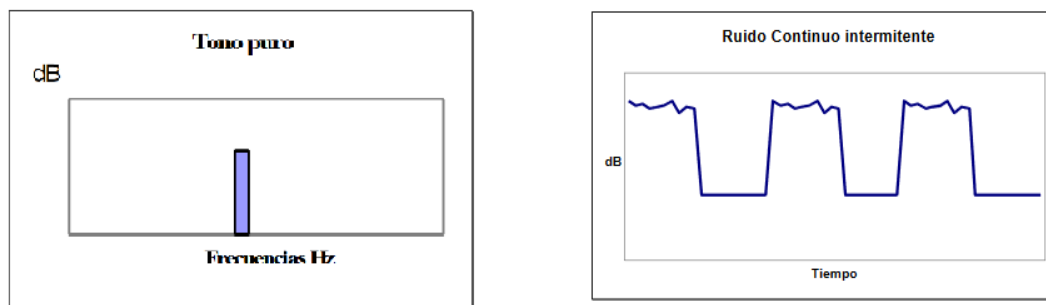


Figura 14. Tono Puro y Ruido Continuo Intermitente

Tomado de (ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente de España, s.f.).

1.5 Contaminación Acústica

La contaminación acústica (o contaminación auditiva) causa perjuicios en la calidad de vida y perturba las condiciones normales del medio ambiente en un determinado lugar (Gálvez, J. (2005, 28 de noviembre). Efectos de la contaminación acústica sobre la salud. *ECODES*, p. 1).

Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), supone que 70 decibeles deben ser el límite mayor permitido, aunque en otros países más desarrollados el límite es 55 decibeles [dBA], la contaminación auditiva presenta problemas tanto psicológicos como fisiológicos en las personas expuestas (soca, s.f.).

El desgaste auditivo procedente de ruido ambiental se llama socioacusia, si una persona se expone a un ruido por largo tiempo tiene una sensación de silbido, esto desaparece en 10 días, pero si un individuo se expone de forma continua el daño será irreversible.

La contaminación tiene efectos psicológicos y fisiopatológicos como se presentan en la Tabla 7 y Tabla 8 a continuación.

Tabla 6.

Efectos Psicopatológicos

Efectos Psicopatológicos	
Mayor a 60 dB	Dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado
	Agitación respiratoria, aceleración del pulso
	Aumento de la presión arterial y dolor de cabeza
	Músculos tensos y dolorosos en cuello y espalda
Mayor a 85 dB	Disminución de la secreción gástrica, produce colitis
	Aumento del colesterol y triglicéridos, puede llegar a causar infarto
	Aumenta la glucosa en la sangre

Adaptado de (ehu, s.f.).

En la Tabla 6 se puede observar los cambios físicos en el cuerpo cuando hay un ruido que sobrepasa los 60 dB y 85 dB.

Tabla 7.

Efectos Psicológicos

Efectos Psicológicos
Insomnio y dificultad para conciliar el sueño
Fatiga
Depresión y Ansiedad
Irritabilidad y Agresividad
Aislamiento social
Falta de deseo sexual

Adaptado de (ehu, s.f.).

En la Tabla 7 se puede observar los cambios en la forma de sentir, pensar y comportarse con la sociedad cuando estamos expuestos al ruido.

Hay un crecimiento mundial del 5% (360 millones de personas) sufriendo problemas de audición incapacitante (328 millones de adultos y 32 millones de niños). Los problemas de audición incapacitante se dan en países de escasos recursos y según estadísticas hay una pérdida de audición en adultos cuando excede los 40dB y 30dB en niños (Organización Mundial de la Salud, s.f.).

También se dice que, alguien sufre pérdida de audición cuando no es capaz de oír tan bien como una persona cuyo sentido del oído es normal, es decir, cuyo umbral de audición en ambos oídos es igual o superior a 25 dB. La pérdida de audición puede ser leve, moderada, grave o profunda. Afecta a uno o ambos oídos y entraña dificultades para oír una conversación o sonidos fuertes (Organización Mundial de la Salud, s.f.).

1.5.1 Legislación de la Contaminación Acústica en Quito

El control de ruido de la ciudad, se lo realiza mediante el monitoreo de fuentes fijas (actividades industriales, de comercio y servicios) y fuentes móviles (vehículos) a través de la aplicación de la Ordenanza Metropolitana N. 213 y su Norma Técnica. Desde el año 2011, Quito cuenta con un Sistema de Monitoreo de Contaminación Acústica (SMCA), el cual se compone actualmente de una red de tres estaciones fijas que miden continua y permanentemente el ruido ambiental que se genera en puntos al norte, centro y sur de la ciudad. Actualmente la Secretaria de Ambiente trabaja sobre el fortalecimiento del SMCA y la generación de marcos normativos sobre ruidos de aeropuertos y vibraciones (Chávez, M, 2015).

La Resolución 002-DMA-2008, “Normas Técnicas de Calidad Ambiental” expedidas el 4 de agosto de 2008, para viabilizar la aplicación de la Ordenanza N. 213, describe en su Art. 8 la Norma Técnica para el control de ruido causado por fuentes móviles y fijas, en concordancia al Capítulo II de la Contaminación Acústica indica que:

Tabla 8.

Niveles Máximos permitidos de Ruido para Fuentes Fijas

TIPO DE ZONA SEGÚN EL USO DEL SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE: NPS eq [DB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona Equipamientos y Protección ⁽¹⁾	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial Múltiple ⁽²⁾	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Industrial 1	60	50
Zona Industrial 2 ⁽³⁾	65	55
Zona Industrial 3, 4, 5 ⁽⁴⁾	70	60

Tomado de (Chávez, 2015).

Nota. Equipamientos de Servicios Sociales. Incluye uso comercial y de servicios, uso agrícola residencial, y equipamientos de servicios públicos. Incluye uso de aprovechamiento de recursos renovables. Incluye uso de aprovechamiento de recursos no renovables.

Como se observa en la Tabla 9 los niveles máximos permitidos en la noche son menores en comparación con el nivel de presión sonora equivalente en la mañana en Quito.

Tabla 9.

Niveles permitidos para automotores

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD DEL MOTOR EN LA PRUEBA [rpm]	NPS MÁXIMO (DB(A))
Motocicletas o similares	Motocicleta, tricars, cuadrones y los vehículos de transmisión de cadena, con motores de 2 a 4 tiempos	De 4.000 a 5.000	90
Vehículos Livianos	Automotores de cuatro ruedas con un peso neto vehicular inferior a 3.500 kilos	De 2.500 a 3.500	88
Vehículos pesados para carga	Automotores de cuatro ó más ruedas, destinados al transporte de carga, con un peso neto vehicular superior o igual a 3.500 kilogramos	De 1.500 a 2.500	90
Buses, busetas	Automotores pesados destinados al transporte de personas, con un peso neto vehicular superior o igual a 3.500 kilos.	De 1.500 a 2.500	90

Tomado de (Chávez, M, 2015).

Como se observa en la Tabla 9 los automotores deben cumplir el reglamento las 24 horas del día sin excepción, además se toman dos factores para la clasificación: el número de revoluciones por minuto y el tipo de vehículo.

Observación:

[Rpm]: revoluciones por minuto

[NPS]: nivel de presión sonora

Para hacer una medición de presión sonora se tomará en cuenta los siguiente:

- Vehículo inmóvil y acelerado según rangos de la Tabla 9
- Se utilizará un sonómetro con ponderación [A]
- Micrófono estará a una altura de [1-1.5] m y distancia de [1.50-2.00] m.
- El sonómetro debe estar en un ángulo de 45° (Chávez, M, 2015).

1.5.1.1 Sanciones

Artículo 58.- Las infracciones a los dispuesto en los artículos 9, 21, 22, 26, 27, 29, 30, 31, 48 y 49 se sancionarán con multa de 0,20 a 1,00 RBUM (remuneración básica unificada mínima) (Consejo Metropolitano de Quito, s.f.).

Artículo 60.- Las infracciones a lo dispuesto en los artículos 10, 11, 14, 15, 18, 24 y 56 se sancionarán con multa de 0,80 a 4,00 RBUM (remuneración básica unificada mínima) (Consejo Metropolitano de Quito, s.f.).

Se aplicaría el artículo 58 para fuentes móviles y el artículo 60 para fuentes fijas. Cabe mencionar que en la actualidad es la Secretaría de Ambiente quien se encarga de hacer cumplir la normativa de contaminación acústica.

2. Capítulo II. Implementación del Sistema de Contaminación Auditiva

2.1 Replica del Prototipo de Sistema de Contaminación Auditiva

2.1.1 Diseño Preliminar

En el diseño preliminar se presentó algunos inconvenientes en el Sistema de Contaminación Auditiva, a continuación, se presenta los puntos en los cuales nos centraremos para la réplica, de forma que, contribuya a realizar las pruebas de forma satisfactoria.

- Los sonómetros JTS-1357 tienen un tiempo de apagado automático después de tres minutos, lo cual no permite realizar correctamente las pruebas.
- Se utiliza una placa 7x7 cm con un armazón exterior para cubrir los elementos, el prototipo no se optimiza en su totalidad.
- Se recomienda la configuración de los módulos Xbee en modo API cuando hay más de dos nodos, con la finalidad de no perder información ya que, estos al enviar información al mismo tiempo pueden producir error en la trama.

Para la réplica se hacen las mejoras tomando en consideración el diseño preliminar, el tiempo que se tiene para el desarrollo del presente proyecto y costos; recordando que el objetivo principal es implementar las pruebas de validación para determinar Contaminación Auditiva.

2.1.2 Diseño Existente

2.1.2.1 Preámbulo de Pruebas para el Diseño

- **Etapas de Control**

Se verifica que el Arduino Minipro utilizado en el diseño preliminar para el nodo principal, se conecta a un conversor USB a rs232 y envía los datos por un puerto COM, adicional necesita un programador. En este diseño como

alternativa, se utilizará el microcontrolador Atmega328P que es el mismo del Arduino Minipro, pero práctico en temas de espacio y costo.

Para los tres nodos y el *Gateway* se distribuirá de la siguiente forma:

- ✓ Coordinador: *Xbee Explorer* más Xbee
- ✓ Nodo 1: *shield*, arduino uno y Xbee
- ✓ Nodo 2: placa diseñada
- ✓ Nodo 3 (Placa Principal): placa diseñada con GPS

- **Etapas de Amplificación**

Se verifica que la señal es débil y necesita una etapa de amplificación. Se prueba el sonómetro en modo DC-LOW, pero se queda anclado y no responde; entonces se verifica con el modo AC-FAST que es la opción por defecto al encenderse el sonómetro, se determina que funciona correctamente, pero supera el límite del amplificador pasando los 90 dB.

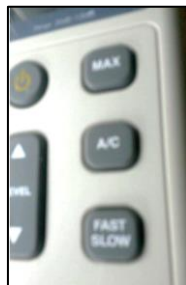


Figura 15. Botones de DC-LOW y AC-FAST en el sonómetro

- **Etapas de Alimentación del nodo sensor**

Se verifica que unas pilas de litio soportan 30 minutos con toda la carga del circuito, lo cual no es factible para las pruebas. Por lo tanto, se utilizará un regulador de voltaje de 7.5 [V], aprovechando que se tiene una red BAN y el sujeto en prueba se mantendrá fijo.

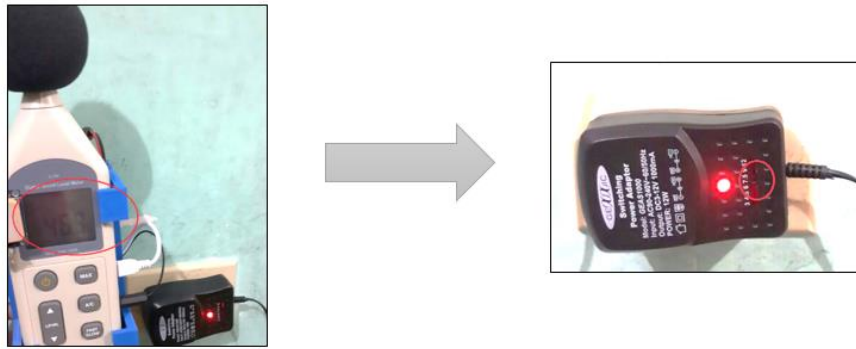


Figura 16. Voltaje de Funcionamiento

- **Etapa de Encendido**

Se alimentó al sonómetro con las pilas 2 AA y efectivamente se verificó que después de tres minutos hay un apagado automático. Por lo tanto, como solución se dará energía al sonómetro mediante una conexión USB como se muestra en la Figura 20 ya que se verificó que de esta forma hay un control del encendido y apagado al desconectar la fuente. Cumpliendo así con uno de los objetivos de este proyecto.

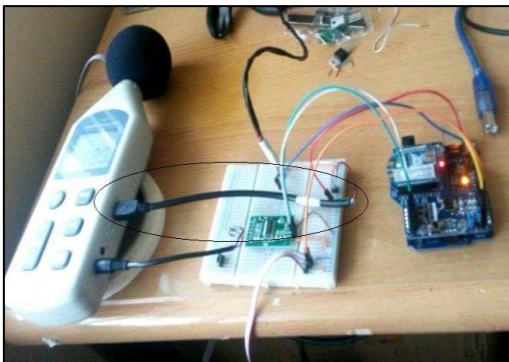


Figura 17. Conexión USB para el encendido y apagado del sonómetro

2.1.2.2 Desarrollo del circuito del SMCA

Se hará una red de sensores inalámbricos (WSN) conformada por tres nodos y un Gateway. Cada nodo sensor tendrá el mismo diseño y se tendrá un nodo sensor principal para la toma de muestras.

2.1.2.2.1 Diagrama de Bloques de la red BAN y WSN

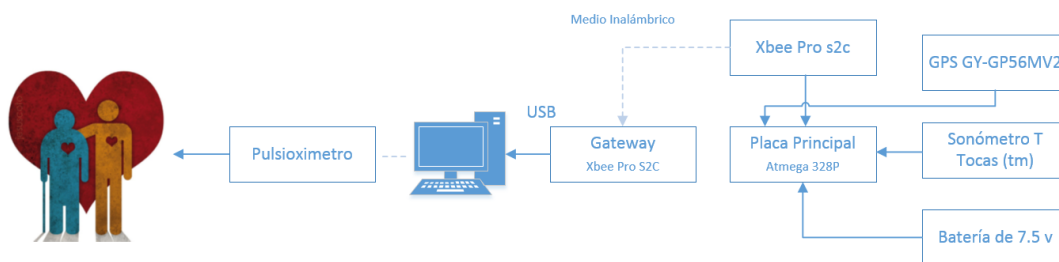


Figura 18. Diagrama de Bloques de la Red BAN y WSN

Los principales componentes del Sistema de Contaminación Auditiva son:

- ✓ Red de sensores inalámbricos
- ✓ Red BAN
- ✓ Sensor de lectura de nivel de ruido ubicación
- ✓ Sistema de control
- ✓ Fuente regulada de voltaje

Tabla 10.

Funciones del Sistema de contaminación auditiva

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
Red de sensores inalámbricos	Envía datos del nodo al Gateway mediante un Xbee Pro S2C.
Red BAN	Medición de la saturación de oxígeno y presión arterial mediante un pulsioxímetro.
Sensor de Lectura de nivel de ruido y ubicación	Medición del nivel de ruido mediante un sonómetro y determinar ubicación mediante un GPS.
Sistema de control	El microcontrolador Atmega 328P ejecutará la orden para lectura de los datos enviando por el sonómetro y lectura de los datos enviados por el GPS.
Fuente regulada de voltaje	Alimentación con un voltaje de 7.5 [v].

2.1.2.2.2 Distribución de pines en el Atmega 328P

Tabla 11.

Distribución de pines para la conexión

# PIN	PIN	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	PC6		
2	PD0	Xbee Pro S2C	Tx
3	PD1		Rx
4	PD2	GPS	TXD
5	PD3		RXD
6	PD4		
7	VCC		
8	GND		
9	PB6	OSCILADOR	
10	PB7		
11	PD5		
12	PD6		
13	PD7		
14	PB0		
15	PB1		
16	PB2		
17	PB3		
18	PB4		
19	PB5		
20	AVCC		
21	AREF		
22	GND		
23	PC0	Sonómetro	Output2
24	PC1		Output1
25	PC2		
26	PC3		
27	PC4		
28	PC5		

Como se puede observar en la Tabla 11 tenemos la distribución de pines para la conexión a los diferentes elementos que componen el nodo sensor. Adicional como se muestra en la Figura 21 se tiene el diagrama de bloques del Sistema de Contaminación Auditiva, el cual está comprendido por la Red BAN, la cual comprende la etapa cuando se conecta un pulsioxímetro a un individuo de estudio y al mismo tiempo se conecta el *Gateway* el cual recibirá una trama de datos de cada nodo para ser grafico en la interfaz de visual studio.

- **Sonómetro**

La conexión consiste en conectar un cable del puerto DC y el otro extremo a los pines de entrada del amplificador como se muestra en la Figura 22.

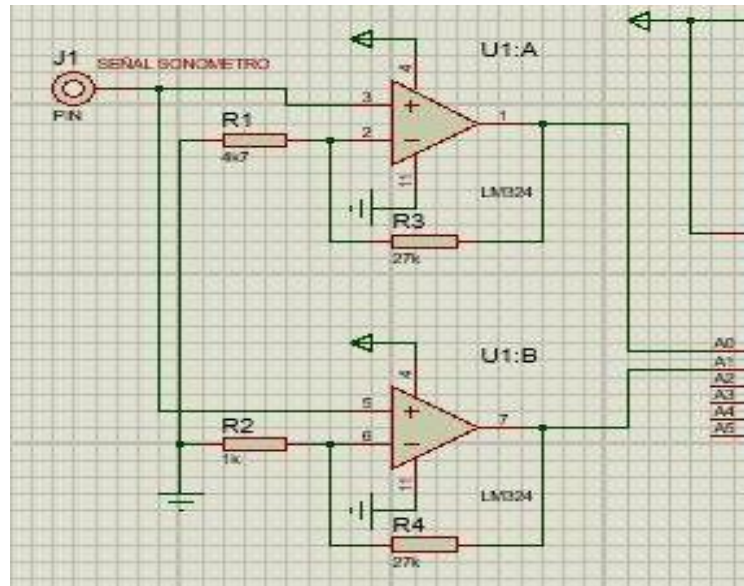


Figura 19. Diagrama circuital del sonómetro

- **Oscilador**

Se utiliza un oscilador de 16 MHz para el microcontrolador Atmega 328P como se recomienda en el *Datasheet*. La conexión se muestra en la Figura 20.

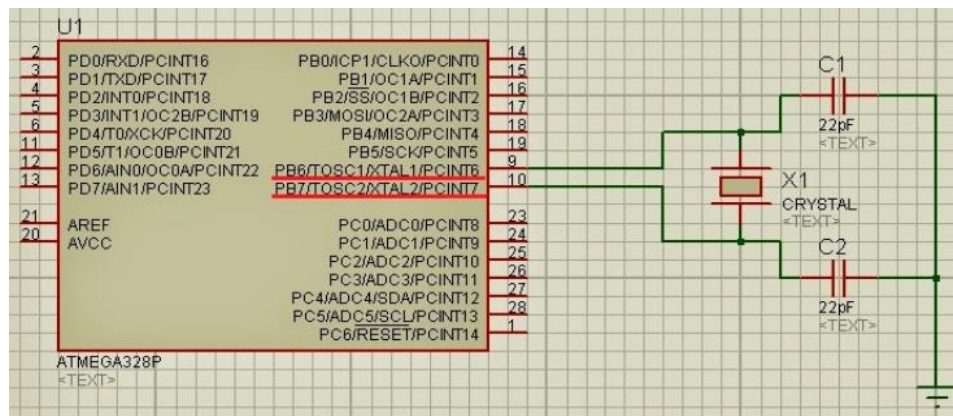


Figura 20. Diagrama circuital del oscilador del Atmega 328P

- **Reguladores de Voltaje**

- ✓ **Regulador de Voltaje LM7805**

Este regulador se usa para tener una salida de 5 [V] para alimentar al circuito.

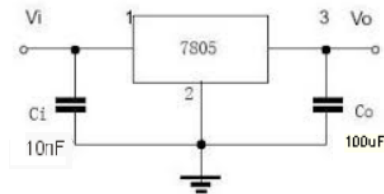


Figura 21. Diagrama circuital del regulador LM7805

✓ Regulador de Voltaje LM1117 [V]

Este regulador se usa para tener una salida de 3.3 [V] para alimentar al Xbee Pro S2C.

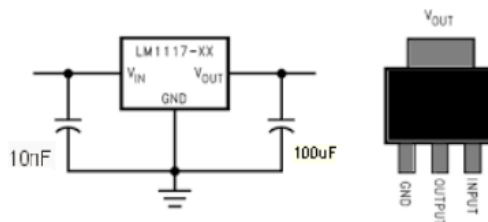


Figura 22. Diagrama circuital del regulador LM1117

• Diagrama circuital integral

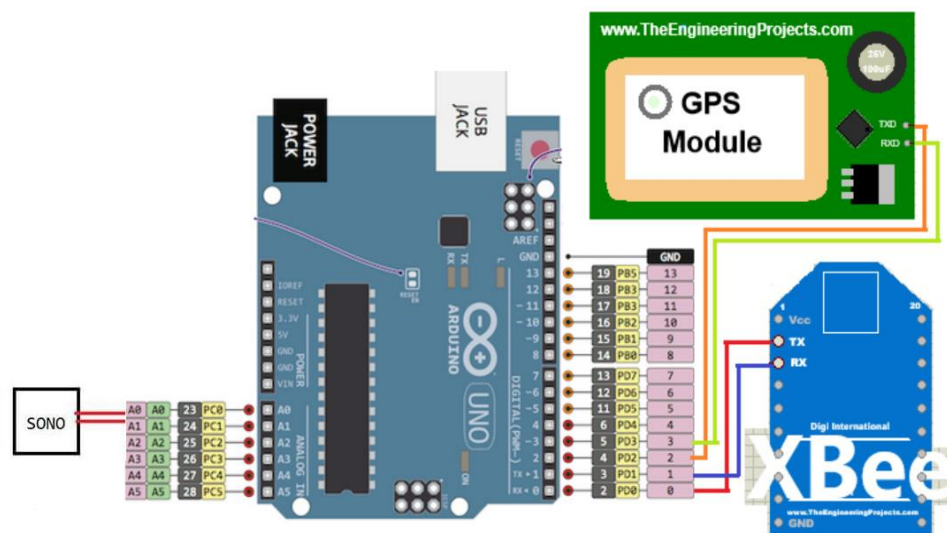


Figura 23. Diagrama circuital integral

2.1.2.2.3 Placa Impresa del nodo sensor

Para la construcción de la placa impresa se tiene los siguientes elementos:

Tabla 12.

Lista de materiales

NODO SENSOR	
CANTIDAD	ELEMENTO
1	zócalo de 20 pines
1	Xbee Pro S2C
1	Regulador de voltaje LM7805
1	Regulador de voltaje LM1117
1	Amplificador LM324N
2	condensadores de 100 uF
2	condensadores 103 (10 nF)
1	oscilador de 16 MHz
2	condensadores de 22 pF
1	microcontrolador Atmega 328P
1	zócalo de 28 pines
3	resistencias de 1 K
2	resistencias de 27 K
2	resistencia de 5.6 k
2	jumpers
ELEMENTOS ADICIONALES	
1	GPS
1	Arduino 1
1	shield
1	sonómetro
1	regulador de voltaje

Para la simulación de las pistas de la placa se lo realiza en el *software* Eagle versión 7.6.0 como se muestra en la Figura 24.

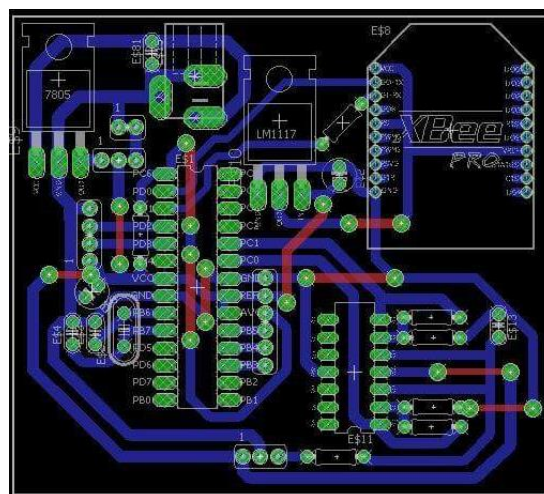


Figura 24. Simulación de las pistas de la placa impresa

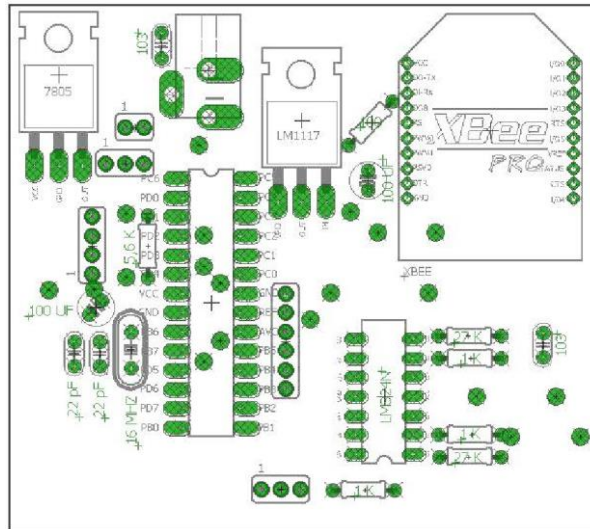


Figura 25. Diseño de la placa impresa

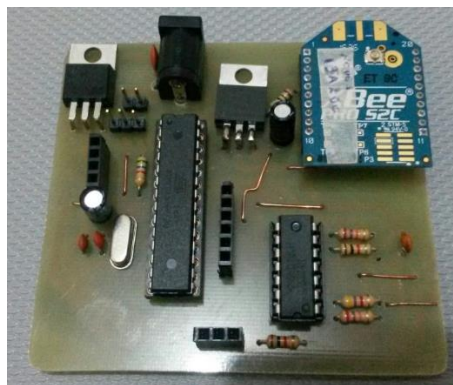


Figura 26. Placa Principal soldada y ensamblada

Como se muestra en la Figura 26 se tiene la placa final ya con todos sus elementos soldados, se tiene una placa de 7x8 cm en donde se logró optimizar el espacio utilizando el Atmega 328P e incorporado mediante un zócalo al Xbee en la misma placa.

2.1.2.2.4 Nodo Sensor

Para el armado del nodo sensor se conecta la placa principal al sonómetro, GPS, Xbee y cargador universal con una alimentación de 7.5 V. Adicional cabe acotar que para la programación del microcontrolador Atmega 328P se utilizó un Arduino Uno fuera de la placa.

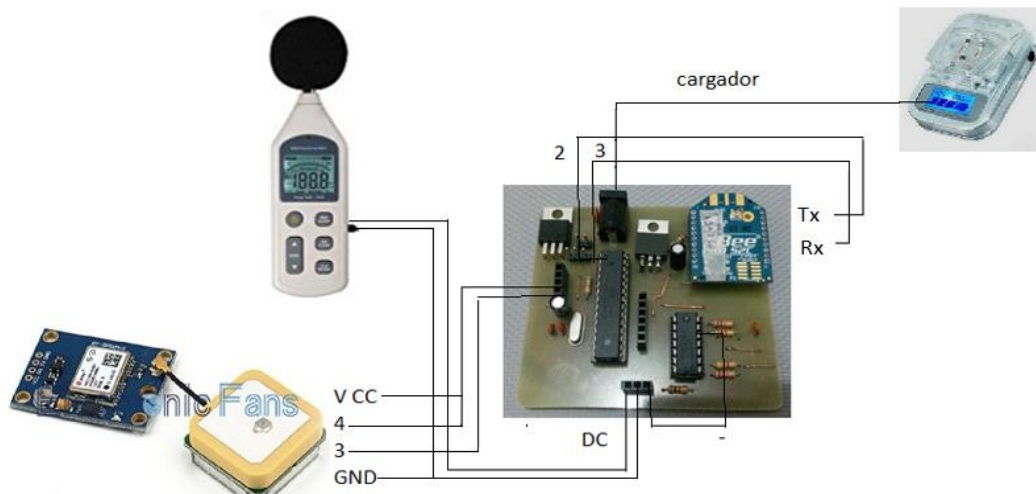


Figura 27. Diseño de la red WSN



Figura 28. Impresión en AUTOCAD 3D

En la Figura 28 se muestra el contenedor para el nodo sensor, fue impreso con filamento azul ABS con un total de 7 horas en 3D.



Figura 29. Nodo Sensor Armado

2.1.2.3 Configuración de la red WSN con los módulos XBEE

Se trabaja bajo trama API tomando en consideración, una de las recomendaciones dadas por el autor del proyecto del diseño preliminar. Igualmente, se decide trabajar en modo API para que el coordinador pueda comunicarse a los dispositivos finales de manera eficiente ya que, si se configuraba en modo Zigbee los dispositivos finales enviaban información al mismo tiempo lo cual tiende a producir un error en la trama y se puede perder información, en cambio en modo API el coordinador va enviar una petición a los dispositivos finales y estos enviaran una trama como respuesta ya no en forma simultánea. En esta etapa se realiza la configuración de los módulos Xbee Pro S2C con la finalidad de que los nodos se puedan comunicar de forma inalámbrica entre ellos. A continuación, los pasos a seguir:

- Se debe instalar el *software* XCTU para la configuración de los módulos Xbee.
- Se inserta el Xbee a configurar en el programador *Xbee Explorer* como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Xbee insertado en el *Xbee Explorer*

- Se da click en añadir nuevo módulo y buscar módulo al aparecer nuevamente se da un click y automáticamente se abrirá la ventana de configuración como se muestra en la Figura 31.

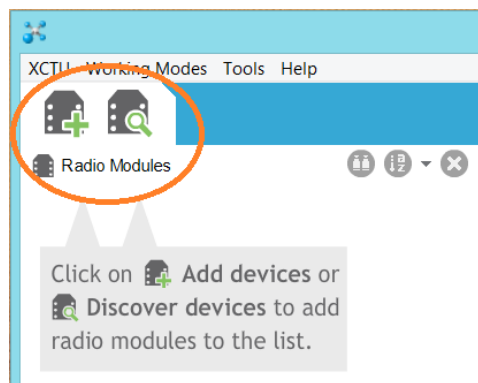


Figura 31. Añadir y descubrir los módulos de radio

- Se carga en el update la opción ZIGBEE TH PRO seguido la versión del *firmware* 405F (*Newest*) para los módulos Xbee S2C y para los módulos Xbee S2B se carga el producto de la familia XBP24BZ7 seguida de la opción Zigbee *Router* API con la versión 23A7 (*Newest*).
- A continuación, se cambian los siguientes parámetros como se muestra en la Tabla 13 y Tabla 14.

Tabla 13.

Parámetros de Configuración Xbee Pro S2C para el coordinador

Configuración Xbee Pro S2C Coordinador	
ID PAN ID	EA21
SC Scan Channel	7FFF
JV Channel Verification	Enable (1)
ZS ZigBee Stack Profile	2
EE Encryption Enable	Enable (1)
AP API Enable	API Enable (1)
NI nodo identifier	Coordinador
CE Coordinator Enable	Enable
BD Baud Rate	9600

Tabla 14.

Parámetros de Configuración Xbee Pro S2C para nodos

Configuración Xbee Pro S2C Nodo	
ID PAN ID	EA21
SC Scan Channel	7FFF
ZS ZigBee Stack Profile	2
JV Channel Verification	Enable (1)
AP API Enable	API Enable
EE Encryption Enable	Enable (1)
NI nodo identifier	Nodo 1
CE Coordinator Enable	Disable
BD Baud Rate	9600

En la Tabla 13 y Tabla 14 se muestra la configuración de los módulos Xbee Pro S2C en trama API tanto para el coordinador como para los nodos, se configuran los parámetros como el ID que es un identificador para cada módulo, se configura el canal con un número hexadecimal que puede ir de 0000 a FFFF, se configura el *ZigBee Stack Profile* (ZC) con el número 2 que es la recomendación para los módulos PRO, se configura el *Channel Verification* (JV) para que cada elemento de la red WSN identifique el canal de trabajo, se habilita el *API Enable* (AP) para indicar el modo de operación, se habilita el *Encryption Enable* (EE) con la finalidad de que el coordinador decida cuál es la clave con la que se transmite la información, se da un *Nodo Identifier* (NI) un nombre a módulo Xbee, se debe habilitar el CE para indicar si va trabajar como coordinador o dispositivo final, cabe señalar que el ID, SC, ZS, JV, API Enable, EE son los mismos para todos los nodos que conformen la red WSN. Para más detalle del lugar de trabajo del XCTU para configurar los módulos en modo API se muestra en el ANEXO 4. Una vez configurado los Xbee podrán reconocerse entre sí y formarán la red de sensores inalámbricos como se muestra en la Figura 32.

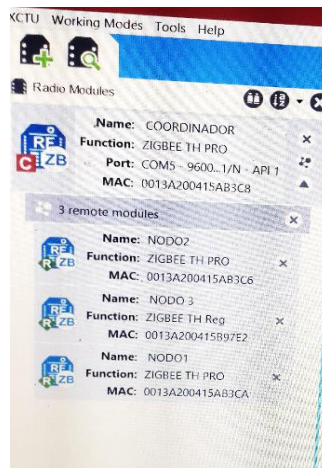


Figura 32. Búsqueda de los módulos de radio en el programa XCTU

2.1.2.4 Transmisión de la Trama API

- Cada nodo que forma parte de la red WSN debe cumplir los parámetros de configuración descritos en el ítem 2.1.2.3.
- Una trama API es un conjunto de bits y cada uno tiene una función específica como se muestra en la Figura 33, estos mismos bits son utilizados en arduino para generar la trama; dicha trama sabrá en donde inicia y finaliza mediante un bit indicador, en el caso del ejemplo con el símbolo & y #. La suma de todos los bits incluido el bit indicador, es llamado un CHEKSUM y se convierte a un *Array* de bytes para ser transmitido.

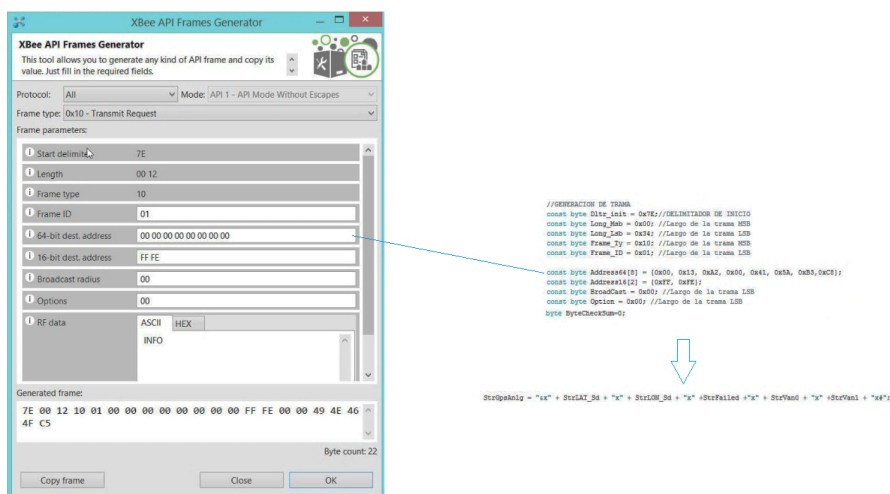


Figura 33. Generación de la Trama API

- Para graficar la trama de cada nodo en visual studio lo que se hace es indicar el inicio y fin de cada paquete de datos en este caso con los signos & y #.

```
private void AccessForm(string action)
{
    //rtbMonitor.AppendText(action);
    MyStringBuilder.Append(action);

    if (MyStringBuilder.ToString().IndexOf('&') > 0)
    {
        TramaIni = true;
        //rtbMonitor.AppendText("Encontrado &");
        //rtbMonitor.AppendText("\n");
    }

    if (MyStringBuilder.ToString().IndexOf('#') > 0)
    {
        TramaFin = true;
        //rtbMonitor.AppendText("Encontrado #");
        //rtbMonitor.AppendText("\n");
    }

    if ((TramaIni == true) && (TramaFin == true))
    {
        TramaIni = false;
        TramaFin = false;
    }
}
```

Figura 34. Fragmento de la programación de un dato válido

2.1.2.5 Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica se realizó en visual studio community 2017 visual C# 2017 como se muestra en la Figura 35.

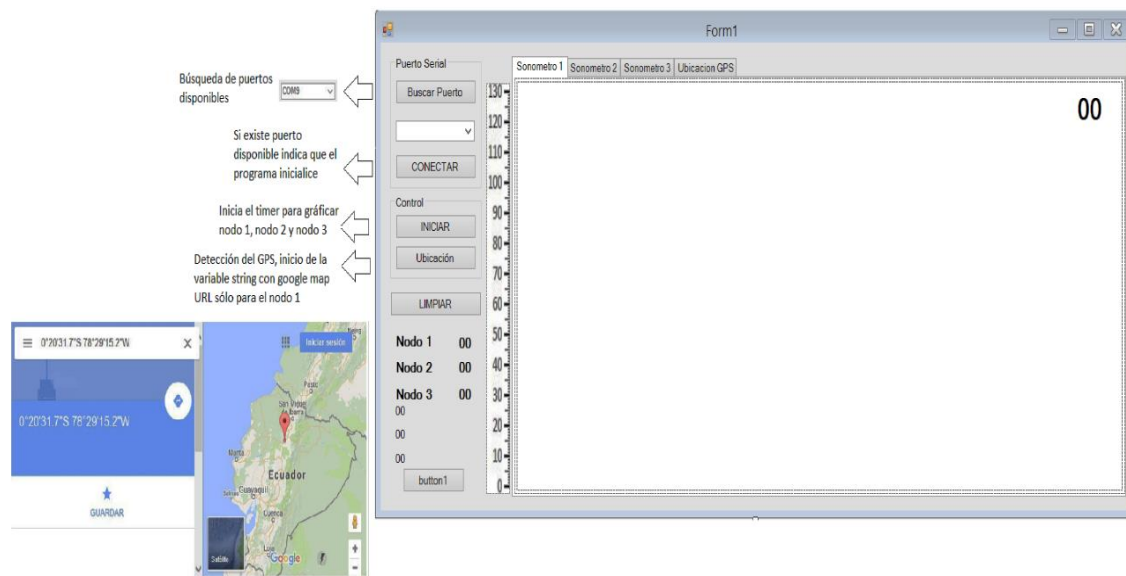


Figura 35. Entorno de la Interfaz Gráfica

2.1.2.6 Diagramas de Flujo de la Programación

A continuación, tenemos el diagrama de flujo para la programación del microcontrolador Atmega 328P con arduino para la lectura de datos del sonómetro y GPS. Por otro lado, tenemos el diagrama de flujo para la programación de la interfaz gráfica en visual studio 2017.

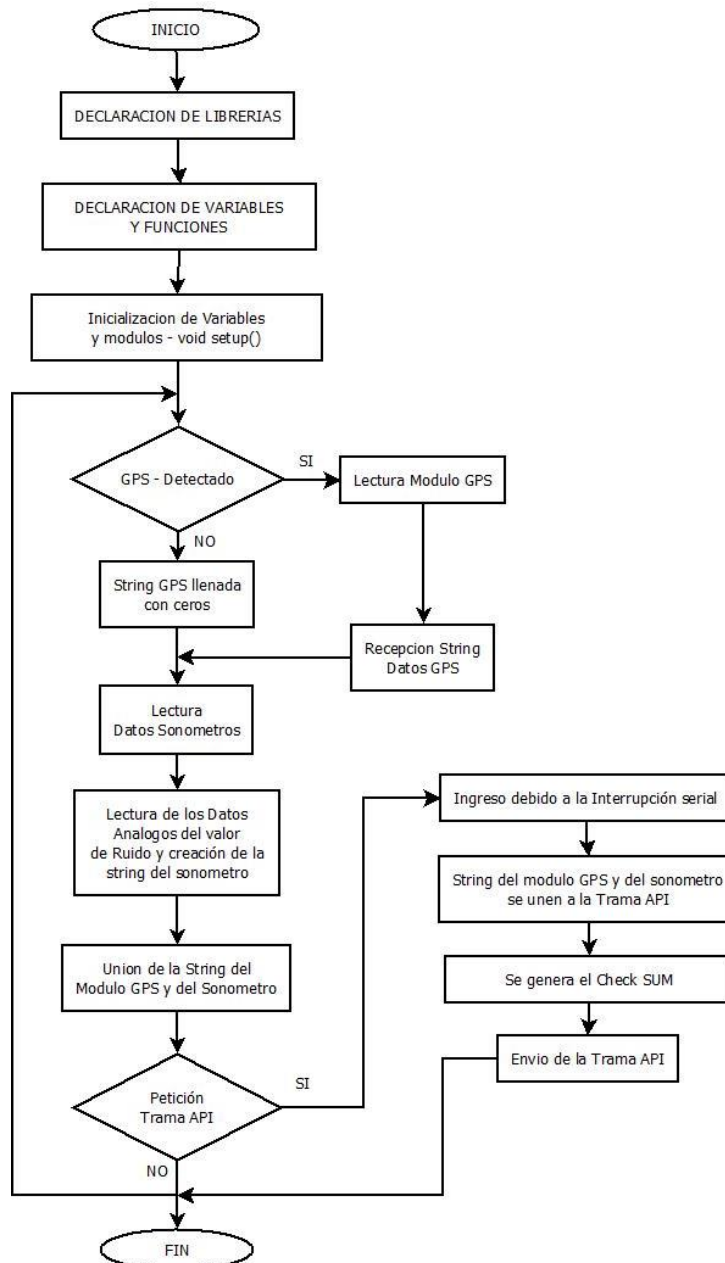


Figura 36. Diagrama de Programación Atmega 328P

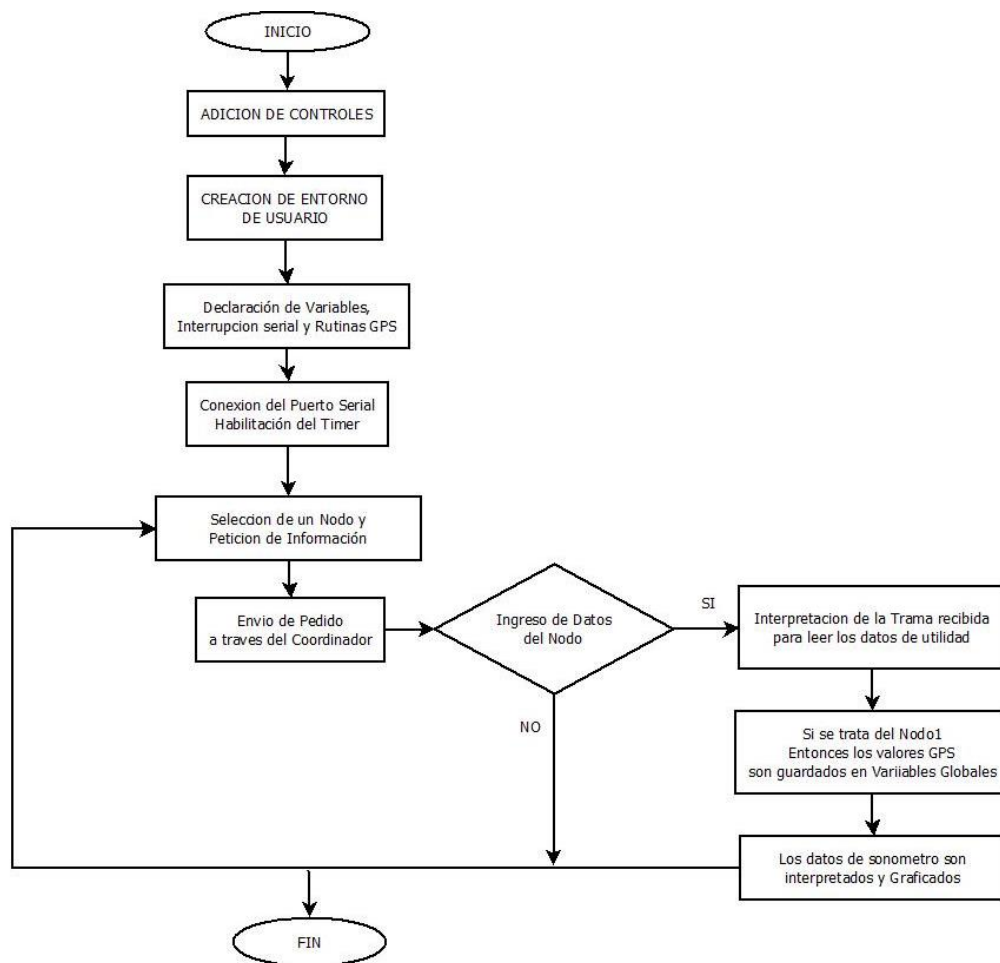


Figura 37. Diagrama del Programación Interfaz Gráfica

- Se declara las librerías System.Web, System.IO.Ports
- Seguido se declaran las variables privadas
- Si el GPS es detectado enviará la trama string con los datos, de lo contrario se llenará con ceros
- Seguido se une el string de los valores análogos del sonómetro junto al GPS en una trama API y se suma al check SUM y se envía la trama API en conjunto.
- En la etapa de interfaz se crean los controles para la conexión del puerto serial y habilitación del timer.
- Seguido se va a seleccionar el nodo que hará una petición de información y esta será enviada al coordinador.

- Si es el sonómetro 1 quien envía este será detectado y entonces se guardará con los valores GPS también y serán enviados para graficar.

2.1.2.7 Pulsioxímetro

Para realizar las medidas de la saturación de oxígeno (SPO₂) y frecuencia cardíaca se usa el pulsioxímetro CMS50D+ que es un sensor no invasivo que me permitirá obtener los datos en tiempo real.



Figura 38. Pulsioxímetro CMS50D+

Para la medición se recomienda lo siguiente:

- La persona debe estar relajada y tranquila.
- Estar al menos 5 minutos en reposo
- No hablar durante la medición
- Poner los pies en el suelo ya que si no lo hacemos aumento la presión arterial.
- No cruzar los pies durante la medición

A continuación, se presenta la Tabla 15 la cual se tomará de referencia para analizar los resultados obtenidos de los sujetos de prueba.

Tabla 15.

Presión Arterial por edad para niños y adultos

GRUPO	EDAD años	LA PA SISTÓLICA	LA PRESION ARTERIAL DIASTÓLICA
Niños	3-6	116	76
Niños	7-10	122	78
Niños	11-13	126	82
Adolescentes	14-16	136	86
Nivel óptimo para los adultos jóvenes	17-19	Menos o igual a 120	Menor o igual a 85
Adultos	20-24	120	79
Adultos	25-29	121	80
Adultos	30-34	122	81
Adultos	35-39	123	82
Adultos	40-44	125	83
Adultos	45-49	127	84
Adultos	50-54	129	85
Adultos	55-59	131	86
Adultos	60-64	134	87

Tomado de (citizensalud, s.f.).

Como se puede ver en la Tabla 15 según la marca citizen líder mundial en tecnología de miniaturización y precisión, la presión arterial normal para adultos esta entre menos o igual a 120 en la sistólica y menor o igual a 85 en la diastólica, habitualmente en mediciones de presión arterial la que se toma más atención en la PA Sistólica.

En la Tabla 16 se muestra los valores de referencia de la saturación de oxígeno (SPO2) recomendados por la marca Quirumed ya que el pulsioxímetro a utilizar es de dicha marca (Quirumed, s.f.).

Tabla 16.

Saturación Parcial de Oxígeno en porcentaje

Saturación Parcial de Oxígeno (SPO2)	Importancia
98	Normal
< 95	Hipoxemia
< 90	Severa Hipoxemia
< 75	Muy severa Hipoxemia

Tomado de (Quirumed, s.f.).

3. Capítulo III. Plan de Verificación de Pruebas

3.1 Introducción

3.1.1 Propósito

Este plan de verificación para el proyecto “Implementación de Pruebas de Validación de la Red de Sensores WSN para determinar Contaminación Auditiva” tiene los objetivos formulados en el Capítulo I ítem denominado Introducción página 4.

3.1.2 Punto de Partida

El sistema de contaminación auditiva denominado SMCA, está formado por tres nodos y un *Gateway*, cada prototipo está compuesto por una placa principal que, junto a un sonómetro, un GPS y un módulo Xbee forman un nodo sensor, el cual enviará una trama de información al *Gateway* del nivel de ruido para ser graficado, adicional al sujeto de prueba se le colocará un pulsioxímetro para observar los cambios que se producen; el nodo sensor principal entrará en funcionamiento al mismo tiempo en que se coloque el pulsioxímetro al sujeto de prueba. Todo esto con la finalidad de obtener resultados, mediante la comparación de las muestras obtenidas.

3.1.3 Identificación del Proyecto

Los documentos utilizados como base para el Plan de Verificación son:

- NTP 270: Evaluación de la Exposición al ruido. Determinación de niveles representativos.
- Muestras obtenidas con el Prototipo Principal
- Gestión sobre Ruido Ambiental en el Distrito Metropolitana de Quito, Ecuador.

3.1.4 Estrategia de Marcha del Plan

El responsable del monitoreo y las pruebas es quien se encargará de verificar que se cumpla el Plan de Verificación de Pruebas y validar que se cumpla cada etapa del proyecto.

3.2 Requerimientos para verificar

- Identificar el lugar de estudio si será un ambiente controlado o no controlado.
- Identificar sujetos de prueba.
- Verificar que el Sistema de Contaminación Auditiva (SMCA) funcione correctamente.
- Para la toma de muestras el sujeto de prueba de haber estado al menos 5 minutos en reposo para que la presión arterial este normal.
- Para la toma de muestra, ubicar el brazo del sujeto en 90° grados y a continuación colocar el pulsioxímetro.

3.3 Estrategia de Verificación

En esta sección se presenta la guía recomendada para la verificación.

Se indicará la técnica usada y el criterio que se toma para indicar que una prueba se cumplió.

3.3.1 Tipos de Prueba

3.3.1.1 Prueba de Funcionalidad del SMCA

En esta sección se comprobará que el Sistema de Contaminación Auditiva esté funcionando correctamente cada vez que se realice las pruebas.

Para esto se tienen los siguientes puntos:

- Probar que los nodos se estén energizando correctamente.
- Calibrar el sonómetro hasta que marque 94 dB 1Hz, Se coloca el calibrador sobre la capsula del micrófono una sola vez.
- Ejecutar el programa en el *software* visual studio y evidenciar que la interfaz gráfica despliegue todas sus opciones correctamente.
- En la interfaz de visualización de datos vamos a dar click en el botón buscar puerto, seguido el botón conectar y a continuación pulsamos el botón iniciar para observar la gráfica del nivel de ruido.
- Dar click en el botón ubicación para confirmar que el GPS muestre la ubicación el sonómetro 1.
- Colocar el pulsioxímetro al sujeto de prueba para comprobar que este evaluando la saturación de oxígeno y la presión arterial.

3.3.1.2 Prueba selección de Escenarios

La prueba de selección de escenarios se enfoca en seleccionar el lugar adecuado para las pruebas, para esto tenemos dos escenarios

- Ambientes controlados: Se debe seleccionar un lugar que elimine el ruido exterior y fuera de vibraciones, es decir un ambiente insonorizado.

- Ambientes no controlados: Se tomará los ambientes de acuerdo a la Tabla 9.

3.3.1.3 Metodología de Evaluación

El objetivo de esta sección es tener una metodología que permita obtener la presión sonora en dB en ponderación A, de acuerdo al modo de trabajo del SMCA y el pulsioxímetro en conjunto.

3.3.1.3.1 Estudio Previo

Debe incluir:

- Identificación del puesto de trabajo en donde se realiza la prueba
- Descripción del ciclo de trabajo, es decir realizar la medición dentro del quehacer habitual del individuo.

3.3.1.3.2 Instrumento de medición

Se utilizará un sonómetro tipo 2 que será parte de cada nodo sensor que recolectará el nivel de ruido existente para ser enviado al *Gateway*.

3.3.1.3.3 Método de Prueba para Ambientes No Controlados

Se tomará un tipo de ruido aleatorio que es el tipo de ruido que se ajusta a nuestros requerimientos, este tipo de ruido tienes dos métodos: método directo y método de muestreo, para el método de Pruebas se tomará el método de muestreo ya que, este permite efectuar varias mediciones dentro de un período determinado de tiempo [T], con el fin de comprobar la variación de los datos.

3.3.1.3.3.1 Evaluación del Laeq, d por muestreo

El método expuesto a continuación permite evaluar, a partir de un cálculo realizado en un número definido de muestras prefijadas al azar, el valor probable de Laeq, d que es el nivel sonoro equivalente diurno, así como el intervalo de confianza alrededor de este valor (insht, s.f.).

Este método se hará específicamente en las circunstancias que se han descrito, en la Tabla 17 se provee el día y hora dentro de una jornada laboral de 7 am-19:00 pm en que se realizará la medición, teniendo un total de 12 horas diarias para la toma de muestras. La Tabla 17 está dividida en 7 columnas, que es el número de lugares en donde se tomarán las muestras a los sujetos de prueba, dichos lugares están descritos en la Tabla 8.

La metodología es la siguiente:

- Para cada lugar de prueba se eligió arbitrariamente un día y una hora en que se realizará la toma de muestra.
- Se toma 7 iteraciones por muestra.

Tabla 17.

Ciclo de Trabajo

1	2	3	4	5	6	7
lunes 1 ^a	Miércoles 3 ^a	Lunes 8 ^a	Martes 8 ^a	Lunes 11 ^a	Lunes 9 ^a	Domingo 12 ^a
Miércoles 4 ^a	Sábado 2 ^a	Sábado 1 ^a	Domingo 6 ^a	Miércoles 10 ^a	Jueves 7 ^a	Lunes 4 ^a
Jueves 12 ^a	Lunes 10 ^a	Martes 12 ^a	Jueves 9 ^a	Sábado 4 ^a	Domingo 10 ^a	Miércoles 7 ^a
Sábado 8 ^a	Jueves 6 ^a	Domingo 10 ^a	Lunes 7 ^a	Jueves 1 ^a	Miércoles 12 ^a	Sábado 9 ^a
Martes 3 ^a	Martes 1 ^a	Viernes 12 ^a	Sábado 11 ^a	Domingo 4 ^a	Martes 11 ^a	Martes 2 ^a
Viernes 11 ^a	Domingo 1 ^a	Miércoles 11 ^a	Viernes 6 ^a	Martes 7 ^a	Sábado 9 ^a	Jueves 10 ^a
Domingo 8 ^a	Viernes 5 ^a	Jueves 3 ^a	Miércoles 12 ^a	Viernes 1 ^a	Viernes 12 ^a	Viernes 3 ^a

3.3.1.3.3.2 Estimación estadística de LAeq, d

Se inicia con la hipótesis de que la exposición a ruido durante un período extendido de trabajo sigue una distribución natural, siendo su media Laeq, d.

La estimación de la distribución normal se realizaría, como se muestra en la Norma Francesa (N –S31 -084) manipulando la distribución “t” de Student convencional (insht, s.f.).

Los pasos a seguir son:

- Cálculo de la media y la desviación estándar

Sea L_i , el nivel $L_{Aeq, d}$ de la muestra ($i=1, 2 \dots n$)

La media es:

(Ecuación 5)

$$L_{Aeq, d} = \frac{\sum L_i}{n}$$

Tomado de (insht, s.f.)

Los límites de confianza al 95% cerca este valor, están dados en la Tabla 16, en función del número n de muestras evaluadas y de la desviación tipo SL de los niveles L_i , calculado por la fórmula:

(Ecuación 6)

$$SL = \sqrt{\frac{\sum (L - L_i)^2}{n - 1}}$$

Tomado de (insht, s.f.).

- Búsqueda en la Tabla de error el valor de confianza, dependiendo del número de muestras y la desviación estándar obtenida.
- Si el error es superior a 2 dBA, el número de muestras es insuficiente, por lo que debe repetirse el muestreo al azar y los cálculos.
- Si el resultado es favorable se debe sumar el valor dado en la Tabla de error.
- Si las medidas se tomaron con un instrumento tipo 2, el error del instrumento es de ± 1 dB, siendo entonces el resultado global la suma del $L_{Aeq, d}$, el valor del error dado en la tabla y ± 1 dB (insht, s.f.).

Acotación: Como se puede observar en la Tabla 18, mientras mayor sea el valor de la desviación estándar se necesitará un mayor número de muestras, para obtener el intervalo de confianza alrededor del resultado de la presión sonora equivalente A obtenido en cada zona. Por lo tanto, debido al corto tiempo para el desarrollo de este proyecto, solo nos centraremos en obtener el valor de la presión sonora equivalente A que nos servirá para el futuro análisis, exceptuando el intervalo de confianza.

3.3.1.3.4 Método de Prueba para Ambientes Controlados

En esta sección se tomará una muestra en una cabina de audiometría que permita aislar el ruido exterior, con la finalidad de comprobar cómo funciona el nodo sensor en ambientes controlados y obtener resultados.

La prueba de hará de la siguiente forma:

- Se tomará la muestra dentro de la cabina de audiometría colocando el nodo sensor junto al computador y se cerrará la puerta para obtener la muestra.

Toma de muestras tanto para ambientes controlados como para ambientes no controlados se exponen en el ANEXO 5, las muestras se tomarán con el nodo sensor principal.

4. Capítulo IV. Análisis de Resultados

4.1 Resultados del funcionamiento del Prototipo Nodo Sensor

- **Valor Mínimo de Medición del nodo sensor**



Figura 39. Valor mínimo de medición

Como se observa en la Figura 39 el valor mínimo de funcionamiento del nodo sensor es de 30 dB validado en una cabina insonorizada.

- **Valor Máximo de Medición del nodo sensor**

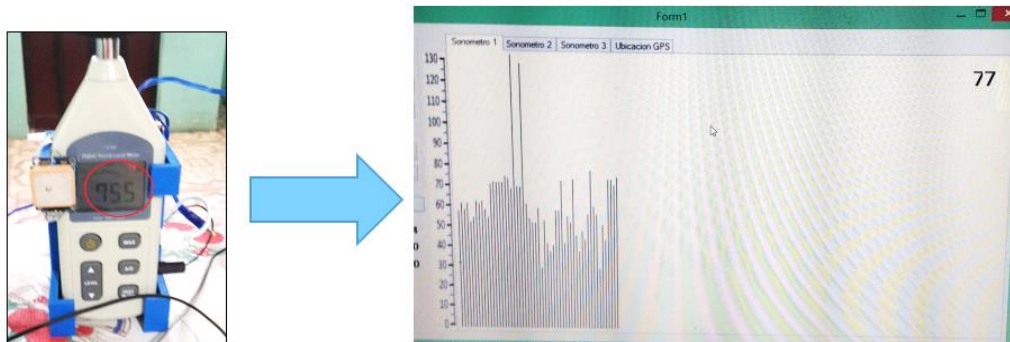


Figura 40. Valor máximo medido

Como se observa en la Figura 40 el valor máximo medido en campo es de 77 dB.

- **Distancia de alcance de la red de sensores inalámbricos WSN**

Como se observa en la Figura 41 primero comprueba con el *software* XCTU que con los tres nodos y el *Gateway* son parte de una red WSN, además se va realizando mediciones hasta que deja de mostrar los valores en la interfaz esto

ocurre a los 181 cm o 1.81 m, la cual es la distancia máxima a la cual testean los nodos y envían la información al *Gateway*.

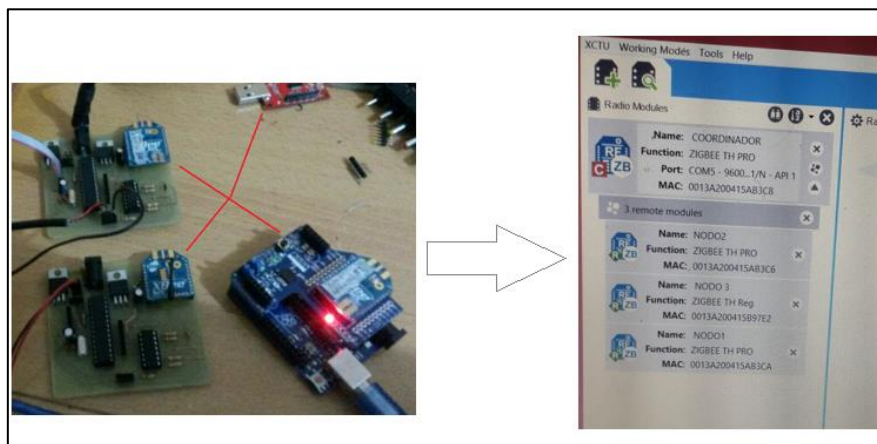


Figura 41. Distancia de alcance de la red de sensores inalámbricos

- **Confianza de medición**

Como se muestra en la Figura 42 se toman tres capturas con el valor dado en el sonómetro y el valor en la interfaz se verifica que hay un margen de error de un máximo de ± 5 dB.

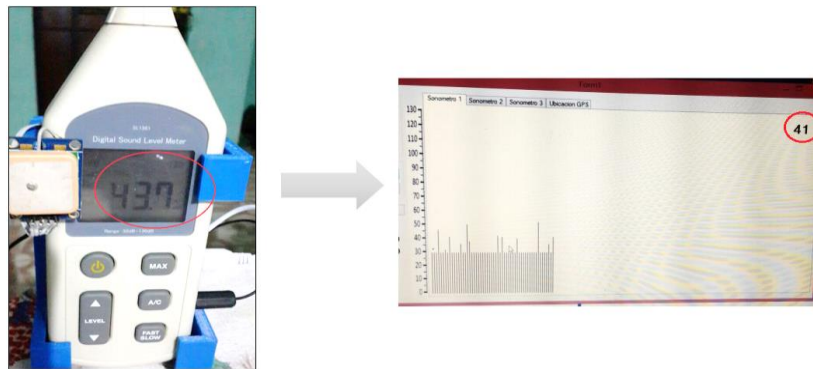
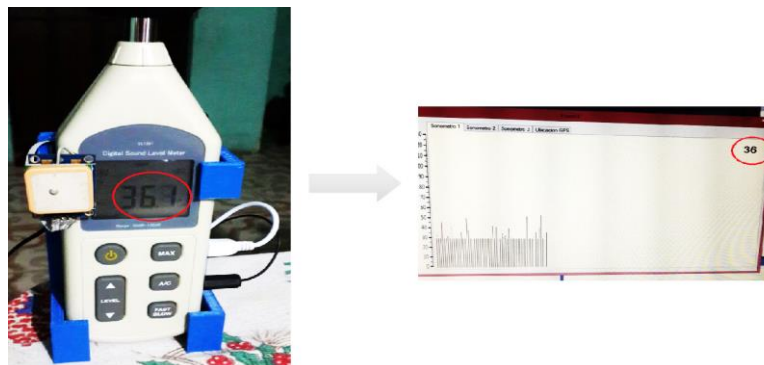
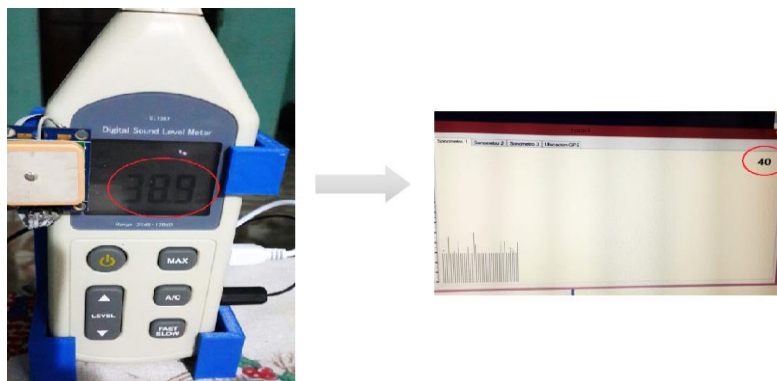
Resultado 1:**Resultado 2:****Resultado 3:**

Figura 42. Confianza de Medición

- **Rango de Trabajo**

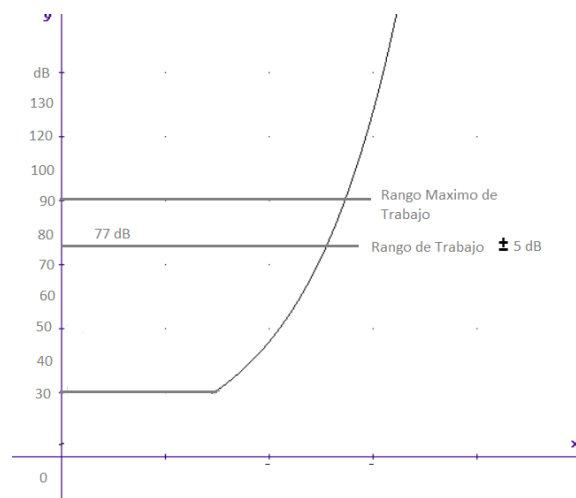


Figura 43. Rango de Trabajo del Nodo Sensor

4.2 Ambientes No Controlados

4.2.1 Variación del SPO2 en muestras por exposición al ruido.

A continuación, se muestra la variación de oxígeno de los sujetos de prueba por tiempo de exposición en cada zona por tipo de suelo.

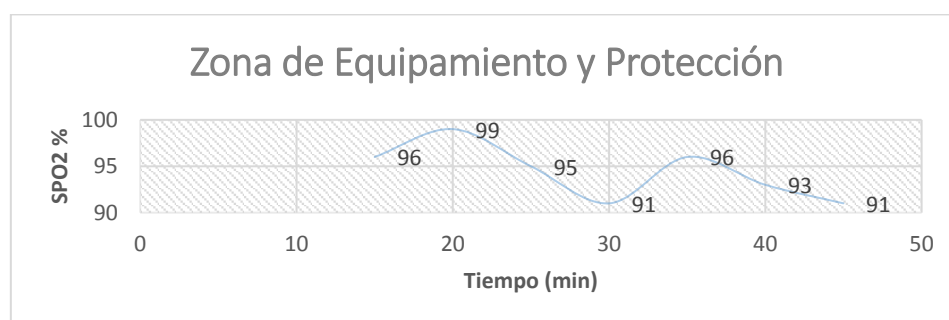


Figura 44. Muestras de SPO2 en la Biblioteca de una Universidad

Como se muestra en la Figura 44 el valor máximo se da en la muestra 2 con un valor de 99% que según la Tabla 16 es un valor normal, la muestra fue tomada el 6 de mayo del 2017 durante 20 minutos. Mientras que el valor mínimo se da

en las muestras 4 y 7, tomados durante 30 y 45 minutos respectivamente con un valor de 91% que según la Tabla 16 se presenta hipoxemia, es decir una disminución leve en el oxígeno de la sangre.

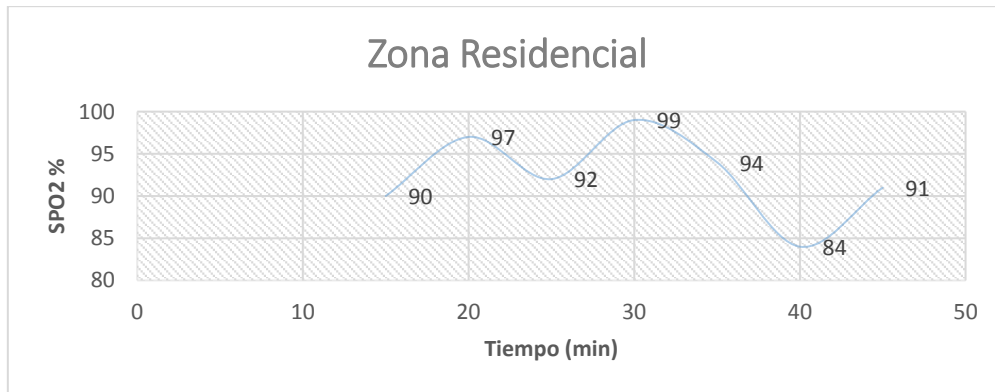


Figura 45. Muestras de SPO2 tomadas en una casa

Como se muestra en la Figura 45 el valor máximo se da en la muestra 4 con un valor de 99% que según la Tabla 16 es un valor normal, la muestra fue tomada el 4 de mayo del 2017 durante 30 minutos. Mientras que el valor mínimo se da en la muestra 6 tomada durante 40 minutos con un valor de 84% que según la Tabla 16 se presenta hipoxemia severa, es decir una disminución media en el oxígeno de la sangre.

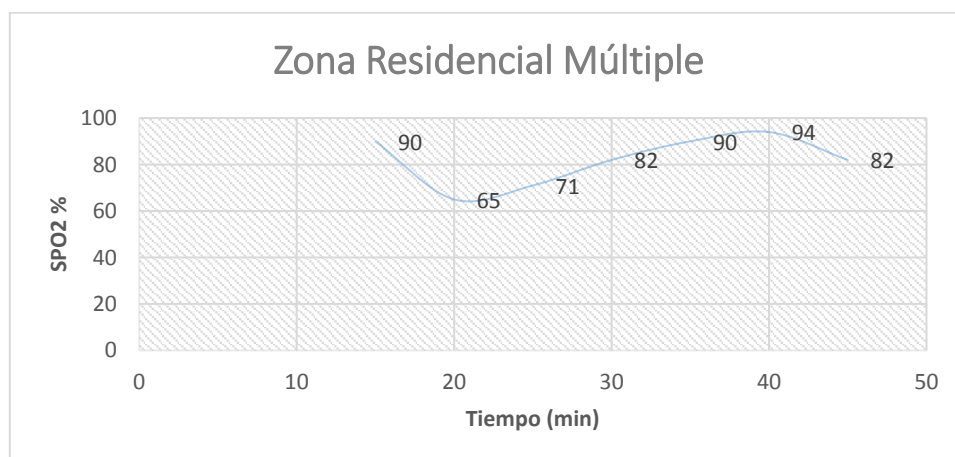


Figura 46. Muestras de SPO2 tomadas en un restaurante

Como se muestra en la Figura 46 el valor máximo se da en la muestra 6 con un valor de 94% que según la Tabla 16 se acerca al valor normal, la muestra fue tomada el 3 de mayo del 2017 durante 40 minutos. Mientras que el valor mínimo se da en la muestra 2 tomada durante 20 minutos con un valor de 65% que según la Tabla 16 se presenta muy severa hipoxemia, es decir una disminución severa en el oxígeno de la sangre. Cabe mencionar que, la persona muestreada mencionó tener dolores de cabeza días atrás, por lo que se descarta que haya sido por la exposición al ruido, aunque agravo el dolor en poco tiempo.

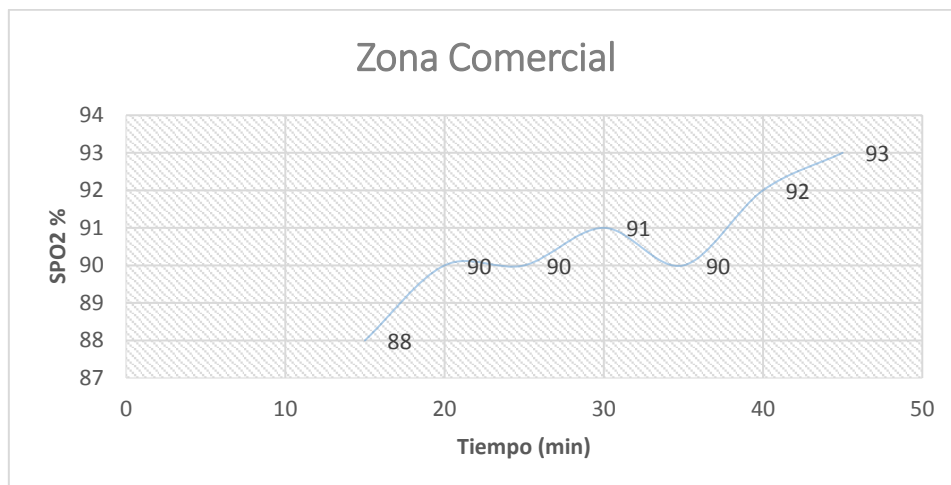


Figura 47. Muestras de SPO2 en el centro comercial “El Recreo”

Como se muestra en la Figura 47 todos los sujetos muestreados tienen un valor menor a 95% que según la Tabla 16 es hipoxemia, un nivel bajo de oxígeno en la sangre en forma leve. A excepción de la muestra 1 que se tiene un nivel de 88% a los 15 minutos, sujeto muestreado indicó que está enfermo presenta principios de gota.

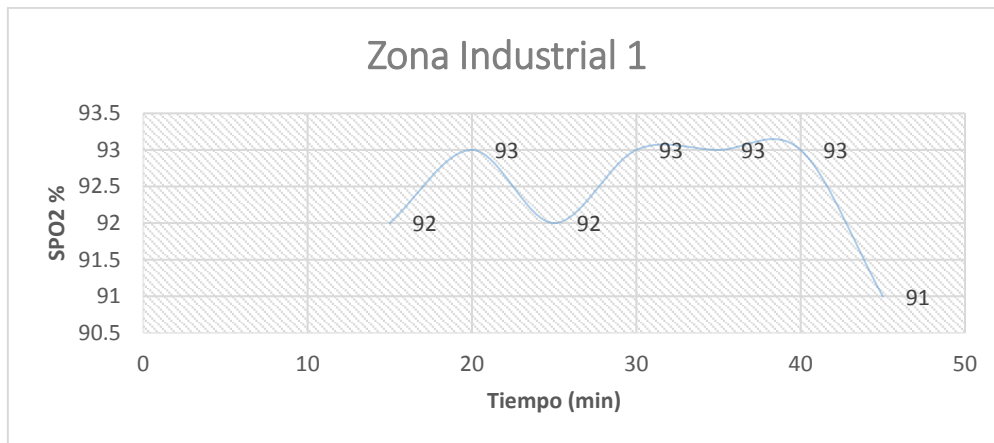


Figura 48. Muestras de SPO2 en el Call Center Empresa “Puntonet S.A”

Como se muestra en la Figura 48 todos los sujetos muestreados tienen un valor menor a 95% que según la Tabla 16 es hipoxemia, un nivel bajo de oxígeno en la sangre en forma leve.

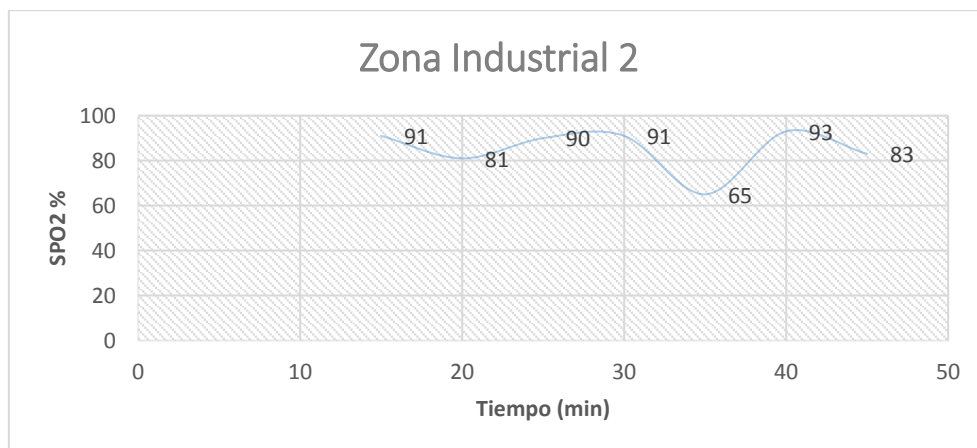


Figura 49. Muestras de SPO2 en un Taller Mecánico “Quito Sur”

Como se muestra en la Figura 49 el valor máximo se da en la muestra 6 con un valor de 93% que según Tabla 16 es hipoxemia, un nivel bajo de oxígeno en la sangre en forma leve. Mientras que el valor mínimo se da en la muestra 5 con un valor de 65% que según la Tabla 16 es muy severa hipoxemia, una muy severa disminución del oxígeno en la sangre.



Figura 50. Muestras de SPO2 en EP Petroecuador “Terminal Beaterio”

Como se muestra en la Figura 50 hay dos personas expuestas al nivel de ruido durante 45 minutos en el lugar, se observa valores de 90% y 92% que según la Tabla 16 presenta hipoxemia, es decir bajo nivel de oxígeno en la sangre de forma leve.

4.2.2 Variación de la Presión Arterial por exposición de ruido

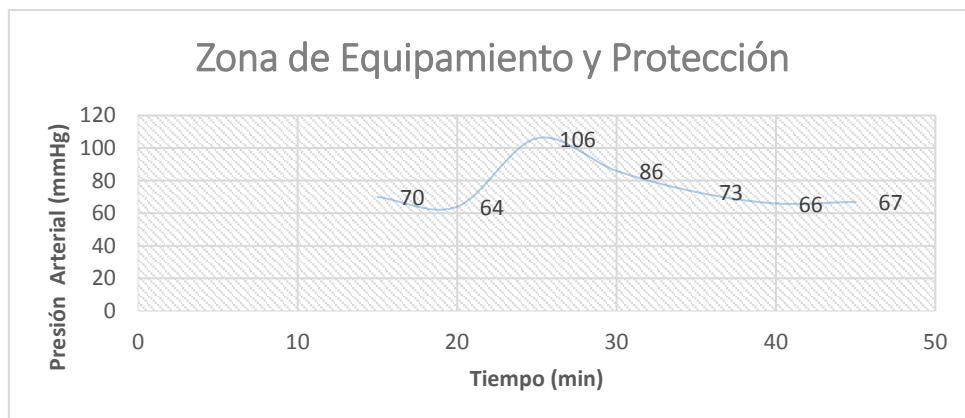


Figura 51. Muestras de Presión Arterial en la Biblioteca una Universidad

Como se puede observar en la Figura 51 se tiene un valor máximo de 106 mmHg dado en la muestra número 3 durante 30 minutos, según la Tabla 15 está en un rango normal para un adulto de 24 años, la muestra fue tomada el 9 de mayo del 2017.

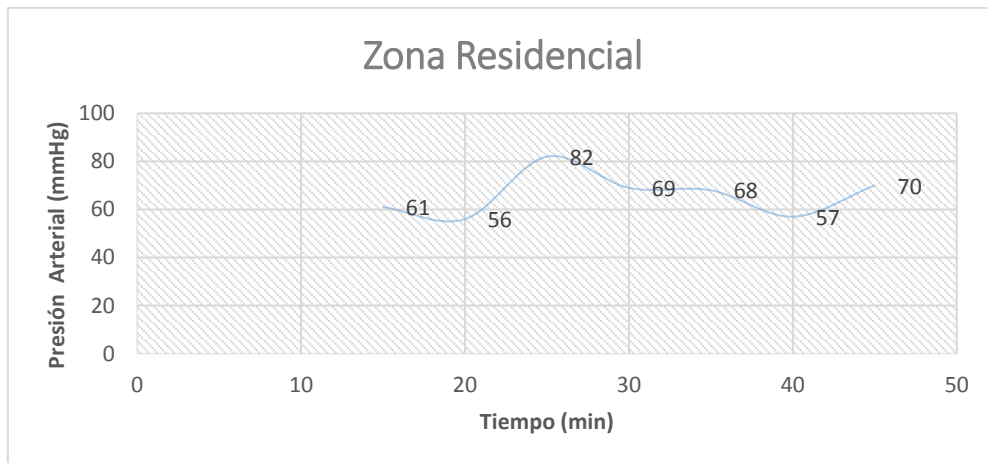


Figura 52. Muestras de la Presión Arterial tomada en una casa

Como se puede observar en la Figura 52 se tiene un valor máximo de 82 mmHg dado en la muestra número 3 durante 30 minutos, según la Tabla 15 está en un rango normal para un adulto de 66 años, la muestra fue tomada el 1 de mayo del 2017.

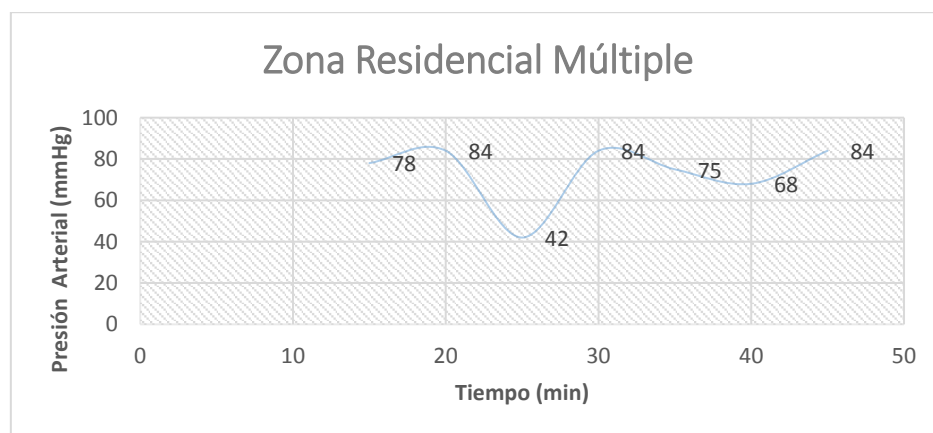


Figura 53. Muestras de la Presión Arterial en un Restaurante

Como se puede observar en la Figura 53 se tiene un valor de 84 mmHg en las muestras 2, 4 y 7 durante 25, 35 y 45 minutos correspondientemente, según la Tabla 15 está en un rango normal para adultos comprendidos entre 37, 33 y 42 años, la muestra fue tomada el 6, 7 y 4 de mayo del 2017 respectivamente.

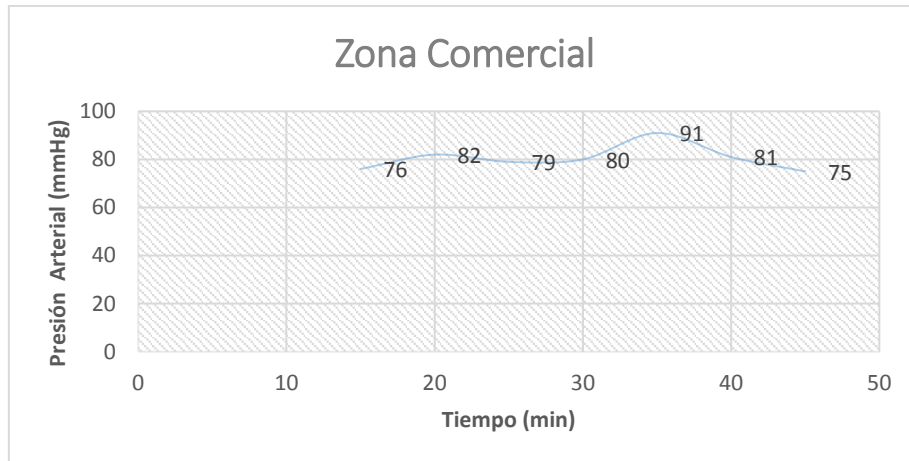


Figura 54. Muestras de Presión Arterial en el centro comercial “El Recreo”

Como se puede observar en la Figura 54 se tiene un valor de 91 mmHg que se da en la muestra número 5 durante 35 minutos, según la Tabla 15 está en un rango normal para un adulto de 31 años, la muestra fue tomada el 6 de mayo del 2017.

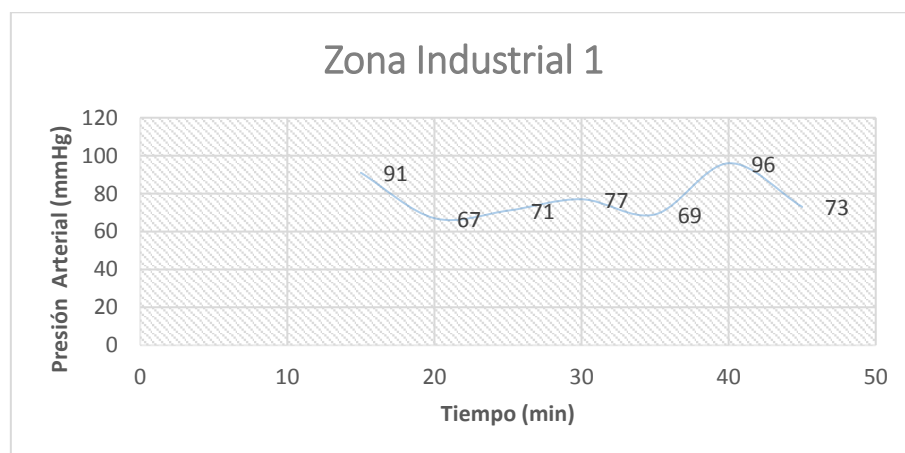


Figura 55. Muestras de Presión Arterial en el Call Center “Puntonet S.A”

Como se puede observar en la Figura 55 se tiene un valor de 96 mmHg que se da en la muestra número 6 durante 40 minutos, según la Tabla 15 está en un rango normal para un adulto de 26 años, la muestra fue tomada el 9 de mayo del 2017.

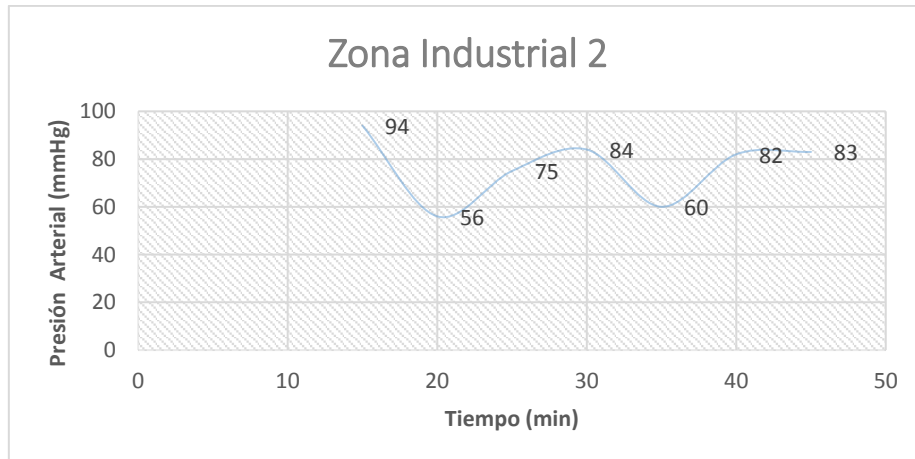


Figura 56. Muestras de Presión Arterial en el taller mecánico “Quito Sur”

Como se puede observar en la Figura 56 se tiene un valor de 94 mmHg que se da en la muestra número 1 durante 15 minutos, según la Tabla 15 está en un rango normal para un adulto de 47 años, la muestra fue tomada el 8 de mayo del 2017.

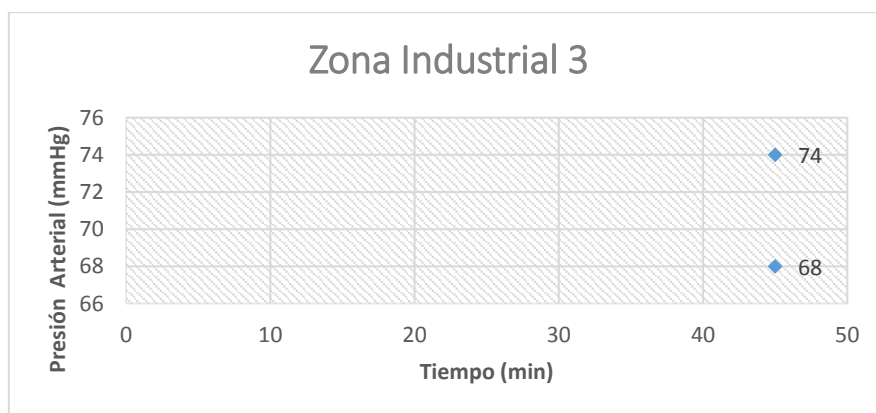


Figura 57. Muestras de Presión Arterial EP Petroecuador

Como se muestra en la Figura 57 hay dos personas expuestas al nivel de ruido durante 45 minutos en el lugar, se observa valores de 68 y 74 [mmHg] que según la Tabla 15 presenta un valor normal.

4.2.3 Análisis de muestras para determinar Contaminación Auditiva

A continuación, se realizar el análisis cualitativo de la Contaminación Auditiva y sus factores tomando los valores máximos de saturación de oxígeno y presión arterial.

Tabla 19.

Análisis I: Contaminación Auditiva y sus factores

Zonas por uso de suelo	Lugar	Media del Nivel de Ruido [dBA]	Saturacion de Oxígeno (SPO2) Máxima %	Presion Arterial [mmHg] Máximo
Zona de Equipamiento y Protección	Biblioteca Escuela Politécnica Nacional	73	99%	106
Zona Residencial	Casa	50	99%	82
Zona Residencial Múltiple	Restaurante	61	94%	84
Zona Comercial	Centro Comercial "Recreo"	61	93%	91
Zona Industrial 1	Empresa Puntonet "Call Center"	85	93%	96
Zona Industrial 2	Taller Mecánico "Quito Sur"	78	93%	94
Zona Industrial 3	EP Petroecuador "Terminal Beaterio"	70	92%	74

Tabla 20.

Análisis I: Datos ordenados del nivel de ruido para SPO2 máximo

Zonas por uso de suelo	Lugar	Media del Nivel de Ruido [dBA]	Saturacion de Oxígeno (SPO2) Máxima %
Zona Industrial 1	Empresa Puntonet "Call Center"	85	93%
Zona Industrial 2	Taller Mecánico "Quito Sur"	78	93%
Zona de Equipamiento y Protección	Biblioteca Escuela Politécnica Nacional	73	99%
Zona Industrial 3	EP Petroecuador "Terminal Beaterio"	70	92%
Zona Residencial Múltiple	Restaurante	61	94%
Zona Comercial	Centro Comercial "Recreo"	61	93%
Zona Residencial	Casa	50	99%

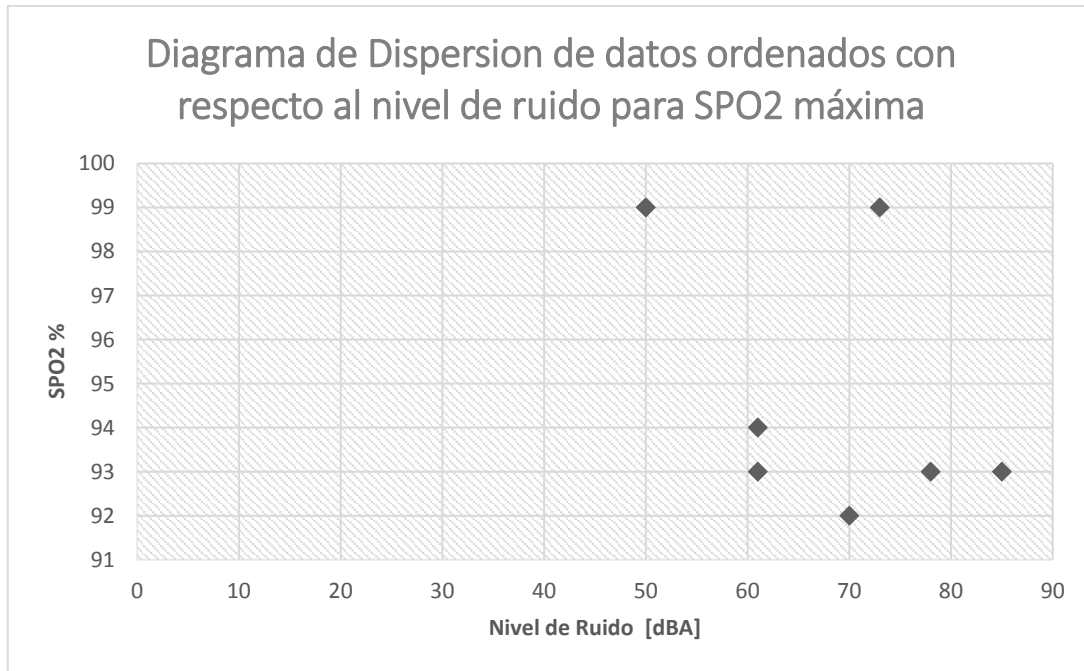


Figura 58. Diagrama de dispersión respecto al SPO2 Máxima muestreada

Como se puede observar en la Figura 58 no hay una correlación lineal ya que en datos aleatorios es poco probable. Sin embargo, existe un coeficiente de correlación que busca el grado máximo de asociación exclusivamente a los casos en que se tienen las correlaciones lineales positivas y negativas perfectas llamado Coeficiente de correlación lineal de Pearson. A continuación, para obtener el grado de relación se utilizará el coeficiente de correlación lineal de Pearson para identificar con mayor exactitud el grado de relación que hay entre las variables.

Una vez obtenido el resultado de la correlación lineal de Pearson mediante la Tabla 21 se verificará el tipo y grado de correlación.

Tabla 21.

Correlación lineal entre dos variables

Valores r	Tipo y Grado de correlación
-1	Negativa Perfecta
$-1 < r \leq -0.8$	Negativa Fuerte
$-0.8 < r < -0.5$	Negativa Moderada
$-0.5 \leq r < 0$	Negativa Débil
0	No existe
$0 < r \leq 0.5$	Positiva Débil
$.0.5 < r < 0.8$	Positiva Moderada
$.0.8 \leq r < 1$	Positiva Fuerte
1	Positiva Perfecta

Tomado de (Hdez, 2009).

Calculo la media:

(Ecuación 7)

$$\bar{x}, \bar{y} = \frac{\sum x, y}{N}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

$\sum x, y$ = sumatoria de las muestras de la variable x y la variable y

N= número total de variables

$$\bar{x} = \frac{85 + 78 + 73 + 70 + 61 + +61 + 50}{7}$$

$$\bar{x} = 68.29$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

$$\bar{y} = \frac{93 + 93 + 99 + 92 + 93 + 94 + 99}{7}$$

$$\bar{y} = 94.71$$

Tabla 22.

Configuración de datos para la saturación de oxígeno máxima

x	y	x ²	y ²	xy
85	93	7225	8649	7905
78	93	6084	8649	7254
73	99	5329	9801	7227
70	92	4900	8464	6440
61	93	3721	8649	5673
61	94	3721	8836	5734
50	99	2500	9801	4950
478	663	33480	62849	45183

Calculamos la Desviación Típica:

(Ecuación 8)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

x = variables o datos estadísticos

N= número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2} = \sqrt{\frac{33480}{7} - 68.29^2} = 10.92$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{N} - \bar{y}^2} = \sqrt{\frac{62849}{7} - 94.71^2} = 2.91$$

Calculamos la correlación lineal de Pearson:

(Ecuación 9)

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 10)

x, y = variables o datos estadísticos

N= número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

S_x, S_y = Desviación Típico

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y} = \frac{\frac{45183}{7} - 68.29 * 94.71}{10.92 * 2.91}$$

$$r_{xy} = -0.41$$

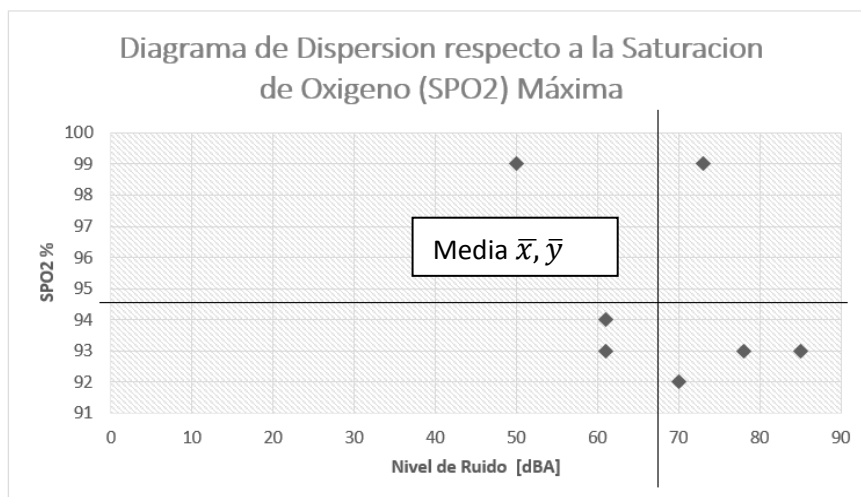


Figura 59. Saturación de Oxígeno máxima con líneas de división

- **Análisis I:** El coeficiente de correlación lineal de Pearson es de -0.4, según la Tabla 21 hay una relación negativa débil, esto quiere decir que

mientras la variable ruido aumenta disminuye la saturación de oxígeno (SPO2). A demás en el diagrama de dispersión de la Figura 59 se puede ver que hay más puntos en el cuarto cuadrante, acercándose más a la media, se puede observar que los valores de saturación de oxígeno son de valor bajo mientras que los valores de ruido son altos.

Tabla 23.

Datos ordenados de nivel de ruido para la presión arterial máxima

Zonas por uso de suelo	Lugar	Media del Nivel de Ruido [dBA]	Presion Arterial [mmHg] Máximo
Zona Industrial 1	Empresa Puntonet " Call Center"	85	96
Zona Industrial 2	Taller Mecánico " Quito Sur"	78	94
Zona de Equipamiento y Protección	Biblioteca Escuela Politécnica Nacional	73	106
Zona Industrial 3	EP Petroecuador " Terminal Beaterio"	70	74
Zona Residencial Múltiple	Restaurante	61	84
Zona Comercial	Centro Comercial " Recreo"	61	91
Zona Residencial	Casa	50	82

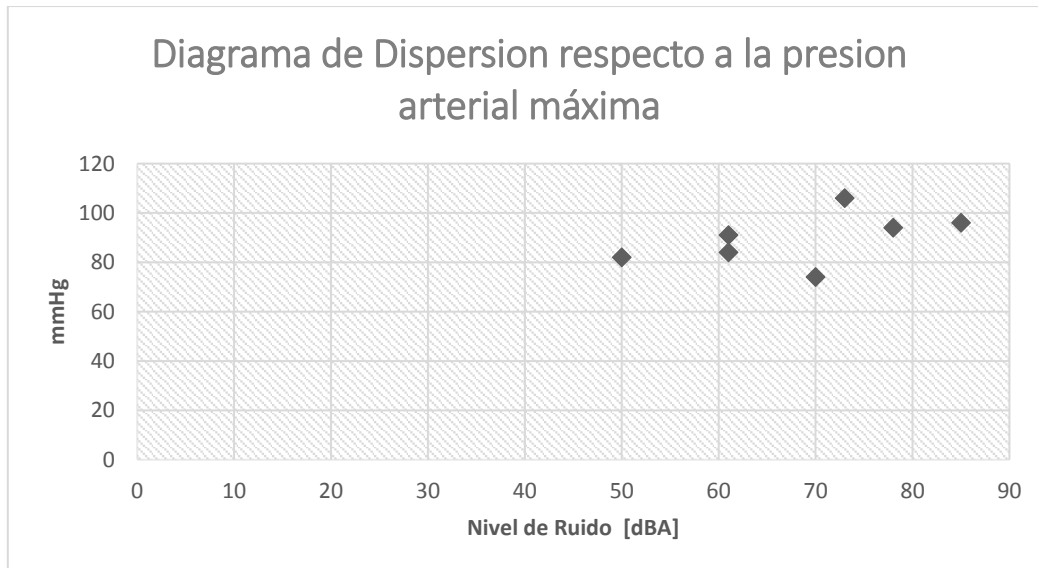


Figura 60. Presión arterial máxima muestreada

Calculo la media:

(Ecuación 7)

$$\bar{x}, \bar{y} = \frac{\sum x, y}{N}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

$\sum x, y$ = sumatoria de las muestras de la variable x y la variable y

N= número total de variables

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

$$\bar{x} = \frac{85 + 78 + 73 + 70 + 61 + 61 + 50}{7}$$

$$\bar{x} = 68.29$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

$$\bar{y} = \frac{96 + 94 + 106 + 74 + 84 + 91 + 82}{7}$$

$$\bar{y} = 89.57$$

Tabla 24.

Configuración de datos para la presión arterial máxima

x	y	x^2	y^2	xy
85	96	7225	9216	8160
78	94	6084	8836	7332
73	106	5329	11236	5329
70	74	4900	5476	5180
61	84	3721	7056	5124
61	91	3721	8281	5551
50	82	2500	6724	4100
478	627	33480	56825	40776

Calculamos la Desviación Típica:

(Ecuación 8)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

x = variables o datos estadísticos

N = número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2} = \sqrt{\frac{33480}{7} - 68.29^2} = 10.92$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{N} - \bar{y}^2} = \sqrt{\frac{56825}{7} - 89.57^2} = 9.75$$

Calculamos la correlación lineal de Pearson:

(Ecuación 9)

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 10)

x, y = variables o datos estadísticos

N = número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

S_x, S_y = Desviación Típico

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y} = \frac{\frac{40776}{7} - 68.29 * 89.57}{10.92 * 9.75}$$

$$r_{xy} = -2.74$$

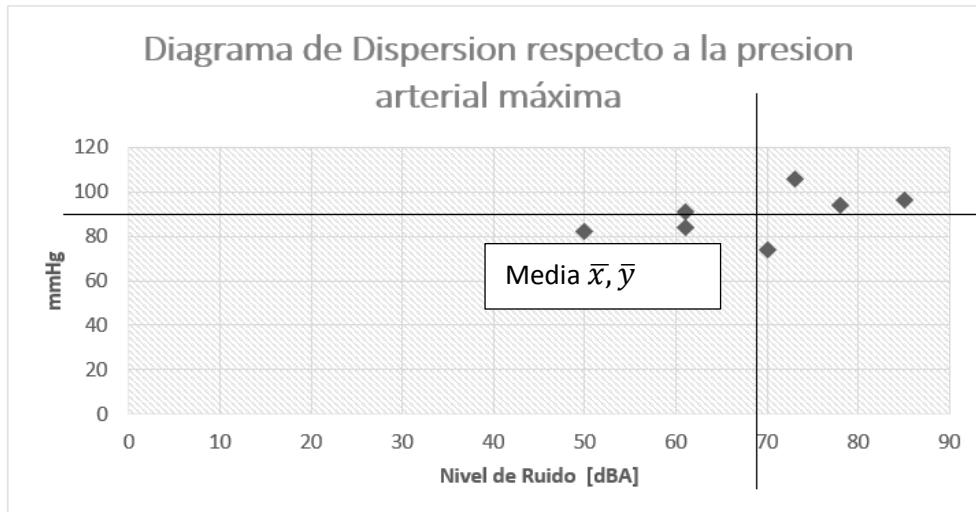


Figura 61. Presión arterial máxima con líneas de división

- **Análisis II:** El valor de la correlación lineal de Pearson es -2.74, según la Tabla 21 no hay relación. Es decir que, si el valor de ruido aumenta o disminuye, la presión arterial no se altera y no está fuera de los rangos normales. Además, como se puede ver en la Figura 61 hay una dispersión significativa, tomando en cuenta que según el principio de la correlación lineal de Pearson indica que, si los valores se acercan a las líneas no son tomados en cuenta ya que son propensos a cambiar de signo y más en datos aleatorios.

Tabla 25.

Análisis II: Contaminación Auditiva y sus factores

Zonas por uso de suelo	Lugar	Media del Nivel de Ruido [dBA]	Saturación de Oxígeno (SPO2) Mínimo %	Presión Arterial [mmHg] Mínimo
Zona Industrial 1	Empresa Puntonet " Call Center"	85	91%	67
Taller Mecánico " Quito Sur"	Taller Mecánico " Quito Sur"	78	65%	56
Zona de Equipamiento y Protección	Biblioteca Escuela Politécnica Nacional	73	91%	64
Zona Industrial 3	EP Petroecuador " Terminal Beaterio"	70	90%	68
Zona Residencial Múltiple	Restaurante	61	65%	42
Zona Comercial	Centro Comercial " Recreo"	61	88%	75
Zona Residencial	Casa	50	84%	56

Tabla 26.

Análisis II: Datos ordenados del nivel de ruido para SPO2 mínima

Zonas por uso de suelo	Lugar	Media del Nivel de Ruido [dBA]	Saturación de Oxígeno (SPO2) Mínimo %
Zona Industrial 1	Empresa Puntonet " Call Center"	85	91%
Taller Mecánico " Quito Sur"	Taller Mecánico " Quito Sur"	78	65%
Zona de Equipamiento y Protección	Biblioteca Escuela Politécnica Nacional	73	91%
Zona Industrial 3	EP Petroecuador " Terminal Beaterio"	70	90%
Zona Residencial Múltiple	Restaurante	61	65%
Zona Comercial	Centro Comercial " Recreo"	61	88%
Zona Residencial	Casa	50	84%

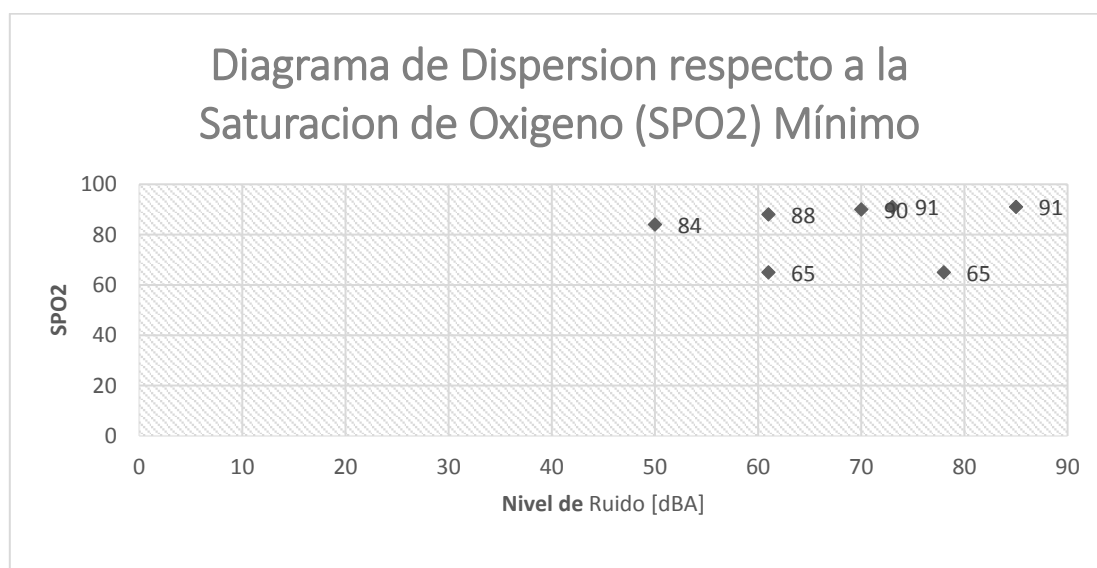


Figura 62. Presión arterial mínima muestreada

Calculo la media:

(Ecuación 7)

$$\bar{x}, \bar{y} = \frac{\sum x, y}{N}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

$\sum x, y$ = sumatoria de las muestras de la variable x y la variable y

N= número total de variables

$$\bar{x} = \frac{50 + 61 + 61 + 70 + 73 + 78 + 85}{7}$$

$$\bar{x} = 68.29$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

$$\bar{y} = \frac{84 + 65 + 88 + 90 + 91 + 65 + 91}{7}$$

$$\bar{y} = 82$$

Tabla 27.

Configuración de datos para la saturación de oxígeno mínima

x	y	x^2	y^2	xy
50	84	2500	7056	4200
61	65	3721	4225	3965
61	88	3721	7744	5368
70	90	4900	8100	6300
73	91	5329	8281	6643
78	65	6084	4225	5070
85	91	7225	8281	7735
478	574	33480	47912	39281

Calculamos la Desviación Típica:

(Ecuación 8)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

x = variables o datos estadísticos

N= número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2} = \sqrt{\frac{33480}{7} - 68.29^2} = 10.92$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{N} - \bar{y}^2} = \sqrt{\frac{47912}{7} - 82^2} = 10.98$$

Calculamos la correlación lineal de Pearson:

(Ecuación 9)

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 10)

x, y= variables o datos estadísticos

N= número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

S_x, S_y = Desviación Típico

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y} = \frac{\frac{39281}{7} - 68.29 * 82}{10.92 * 10.98}$$

$$r_{xy} = 0.098$$

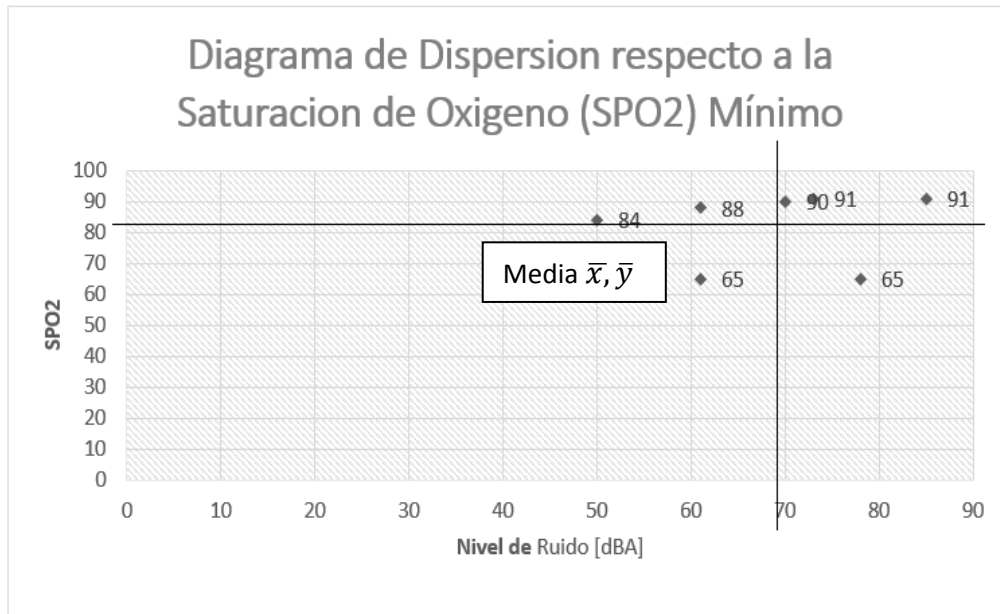


Figura 63. Saturación de oxígeno mínima con líneas de división

- **Análisis III:** El valor de la correlación lineal de Pearson es de 0.098, según la Tabla no hay relación. Como se puede ver en la Figura 63 la dispersión es significativa.

Tabla 28.

Análisis II: Datos ordenados del nivel de presión arterial mínima

Zonas por uso de suelo	Lugar	Nivel de Ruido [dBA]	Presion Arterial [mmHg] Mínimo
Zona Industrial 1	Empresa Puntonet " Call Center"	85	67
Taller Mecánico " Quito Sur"	Taller Mecánico " Quito Sur"	78	56
Zona de Equipamiento y Protección	Biblioteca Escuela Politécnica Nacional	73	64
Zona Industrial 3	EP Petroecuador " Terminal Beaterio"	70	68
Zona Residencial Múltiple	Restaurante	61	42
Zona Comercial	Centro Comercial " Recreo"	61	75
Zona Residencial	Casa	50	56

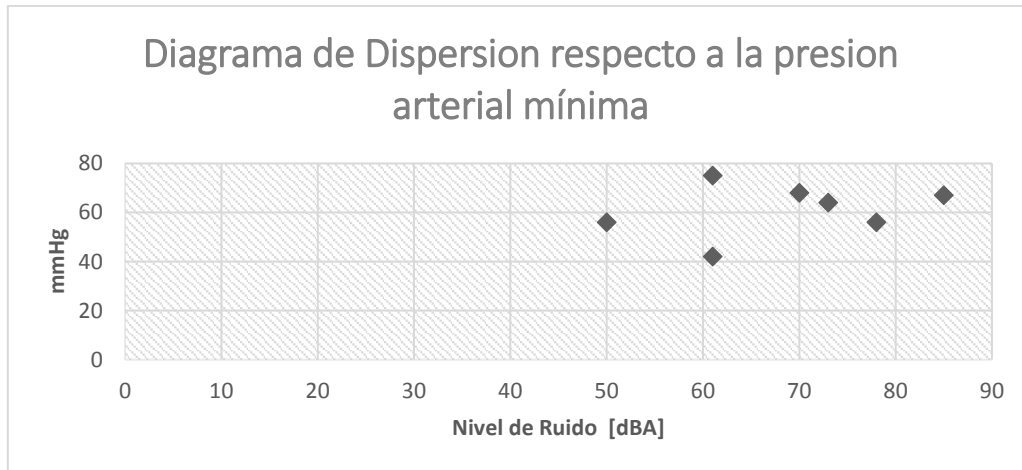


Figura 64. Presión arterial mínima muestreada

Calculo la media:

(Ecuación 7)

$$\bar{x}, \bar{y} = \frac{\sum x, y}{N}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

$\sum x, y$ = sumatoria de las muestras de la variable (x) y la variable (y)

N= número total de variables

$$\bar{x} = \frac{50 + 61 + 61 + 70 + 73 + 78 + 85}{7}$$

$$\bar{x} = 68.29$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N}$$

$$\bar{y} = \frac{56 + 42 + 75 + 68 + 64 + 56 + 67}{7}$$

$$\bar{y} = 61.14$$

Tabla 29.

Configuración de datos para la presión arterial mínima

x	y	x^2	y^2	xy
50	56	2500	3136	2800
61	42	3721	1764	2562
61	75	3721	5625	4575
70	68	4900	4624	4760
73	64	5329	5329	4672
78	56	6084	3136	4368
85	67	7225	4489	5695
478	428	33480	28103	29432

Calculamos la Desviación Típica:

(Ecuación 8)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 9)

x = variables o datos estadísticos

N= número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \bar{x}^2} = \sqrt{\frac{33480}{7} - 68.29^2} = 10.92$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{N} - \bar{y}^2} = \sqrt{\frac{28103}{7} - 61.14^2} = 16.63$$

Calculamos la correlación lineal de Pearson:

(Ecuación 9)

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y}$$

Tomado de (Camacho, C, 2007, p. 10)

x, y= variables o datos estadísticos

N= número total de variables

\bar{x} = media en este caso de la variable x

S_x, S_y = Desviación Típico

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum xy}{N} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y} = \frac{\frac{29432}{7} - 68.29 * 61.14}{10.92 * 16.63}$$

$$r_{xy} = 0.00161$$

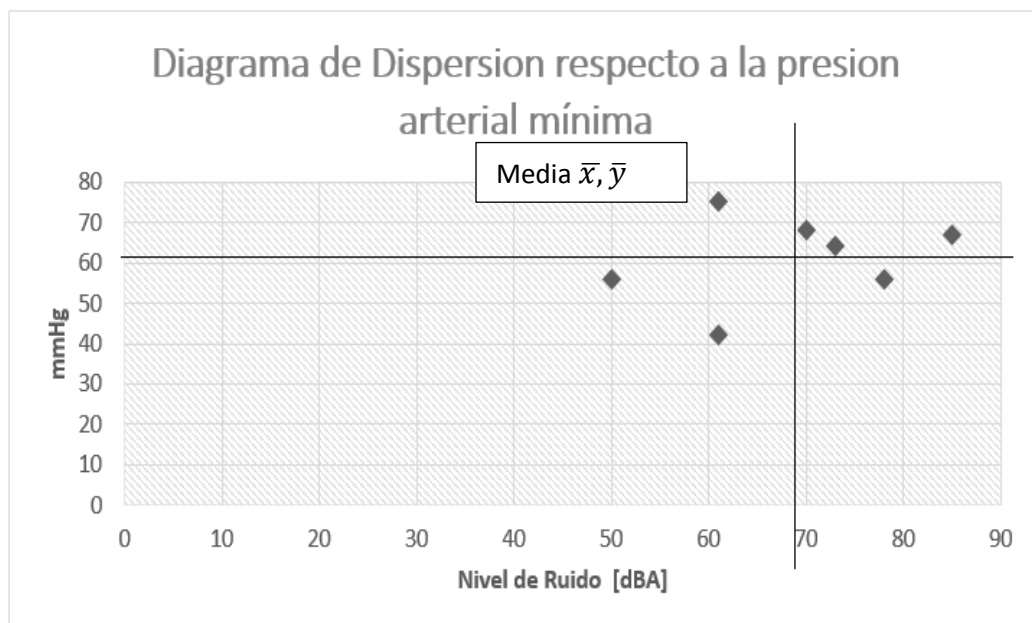


Figura 65. Presión arterial mínima con línea de división

- **Análisis IV:** El valor de la correlación lineal de Pearson es 0.00161 según Tabla 21 no hay relación. En la Figura 64 se puede ver que hay una dispersión significativa, es decir que si la variable del ruido aumenta o disminuye la presión arterial no cambia por esta causa.

La Tabla 30 hace referencia a los resultados obtenidos con las muestras y la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente [A] descrito en el Anexo 5.

Tabla 30.

Valores obtenidos en el cálculo de la presión sonora equivalente

Zonas por uso de suelo	Lugar	Nivel de Ruido [dBA]
Zona de Equipamiento y Protección	Biblioteca Escuela Politécnica Nacional	50
Zona Residencial	Casa	61
Zona Residencial Múltiple	Restaurante	61
Zona Comercial	Centro Comercial "Recreo"	70
Zona Industrial 1	Empresa Puntonet "Call Center"	73
Zona Industrial 2	Taller Mecánico "Quito Sur"	78
Zona Industrial 3	EP Petroecuador "Terminal Beaterio"	85

Tabla 31.

Tabla Comparativa, niveles máximos permitidos para fuentes fijas

Zonas por uso de suelo	Cumple Valor	No Cumple Valor
Zona de Equipamiento y Protección		x
Zona Residencial	x	
Zona Residencial Múltiple		x
Zona Comercial		x
Zona Industrial 1		x
Zona Industrial 2		x
Zona Industrial 3	x	

Análisis V: De acuerdo a la Tabla 31 se observa que sólo la zona residencial con un valor de 50 dB y la zona industrial 3 con un valor de 70 dB cumplen con

la normativa impuesta por la ordenanza del Distrito Metropolitano de Quito en el horario de 6:00 am a 20:00 horas descritas en la Tabla 9.

Tabla 32.

Población muestreada

ZONA	MUESTRA	PERSONA	# DE ITERACIONES
Zona de Equipamientos y Protección	7	Giovanna Suquillo	1
		Eddy Llumiquinga	1
		Samantha Toinga	1
		Andrés Solórzano	1
		Carlos Quimuña	1
		Héctor Guamán	1
		Oscar Cuasapaz	1
Zona Residencial	7	Carmen Achig	3
		Alejandro Morales	2
		Sonia Cajamarca	2
Zona Residencial Múltiple	7	Andrés Suarez	1
		Fanny Carvajal	1
		Anita Tipan	1
		Geovanny Terreros	2
		Liliana Asnalema	1
		Ángela Guamán	1
		Marco Antonio Carrera	1
Zona Comercial	7	Franklin Pantoja	7
Zona Industrial 1	7	Henry Aguirre	1
		Xavier Quinga	1
		Santiago Aushay	1
		Geovanny Terreros	1
		José Gaibor	1
		Ronny Viñachi	1
		Fernando Galarza	1
Zona Industrial 2	7	Mario Cajamarca	1
		Pablo López	1
		Luis Cornejo	1
		Felipe Pérez	1
		Carlo Barrionuevo	1
		Paúl Córdova	1
		Lenin Cornejo	1
Zona Industrial 3	2	Galo Chavarrea	1
		Luis Galarza	1
Total	44		

4.3 Ambientes Controlados

Análisis VI: De acuerdo a las pruebas obtenidas en el Anexo 5 sección de Ambiente Controlados, se tiene como resultado que al estar en un ambiente insonorizado se mantiene un valor constante y lineal de 30 [dB]. El valor no es cero debido a que el sonómetro viene desde fábrica con un rango determinado y el sonómetro usado mide en un rango de [30-130] [dB].

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Todos los elementos y dispositivos electrónicos tienen un rango de trabajo, lo que define sus características técnicas. A lo largo del estudio, se logró conocer el rango de trabajo del nodo sensor, concluyendo que el prototipo tiene un comportamiento constante de 30 dB al estar en un ambiente insonorizado, un comportamiento exponencial máximo hasta 77 dB de forma normal con un error en la medición de ± 4 dB, tomando en cuenta que el error en la medición de los sonómetros tipo 2 es de ± 2 dB, posterior a esto se observa que ya se registra un rango de error mayor teniendo un máximo límite de 90 dB que es el nivel máximo al cual fue sometido.

Los signos vitales del ser humano son valores aleatorios en el tiempo, cuyos resultados no son previsibles y se hace necesario encontrar un método de análisis que sustente estos resultados. Así pues, se concluye que el método más efectivo es la correlación lineal de Pearson ya que permite un análisis más minucioso de las variables de interés (x, y), al dividir el diagrama de dispersión con las medias (x_i , y_i) y de esta forma conocer los puntos que tienen mayor fuerza de correlación. También se pudo respaldar con el método matemático quedando sustentado los resultados de la saturación de oxígeno y la presión arterial con respecto al ruido.

El análisis de datos mediante la correlación lineal de Pearson indica que, hay una correlación negativa de la saturación de oxígeno con respecto al ruido ya que, mientras el nivel de ruido aumenta la saturación de oxígeno disminuye produciendo daños en la salud. Por otro lado, se logra evidenciar que no hay relación entre el nivel de ruido y la presión arterial; esta última cambia, pero en valores no significativos y que aún están dentro del rango normal.

El rango de trabajo del nodo sensor tiene un límite de medición que depende de factores de fabricación del sonómetro como su sensibilidad, y rango de medida, además otro de los factores, es la precisión en la interpretación de los datos analógicos que van de 0 a 1023 bits.

De acuerdo a las muestras obtenidas en siete zonas en la ciudad de Quito, se pudo observar que el nodo sensor realiza una medición confiable en un rango de trabajo tolerable para la medición en los diferentes ambientes.

Se cumple con el objetivo de implementar un plan de validación de pruebas en el cual consta un punto de partida, requerimientos para la verificación y la metodología para la toma de muestras, lo cual es importante para obtener los resultados.

5.2 Recomendaciones

Lo recomendable es utilizar otro tipo de alimentación más eficiente que proporcione movilidad y la alimentación de batería dure más tiempo ya que, las pilas de litio soportan aproximadamente 30 minutos con toda la carga y no siempre se tiene la posibilidad de tener un cargador y donde conectarlo.

Lo recomendable es utilizar una red inalámbrica como en este proyecto para evidenciar contaminación auditiva, ya que se ha notado que en la Ordenanza Metropolitana N.213 y su Norma Técnica no se ha cambiado desde el año 2011 y el Sistema de Contaminación Auditiva sólo se compone de tres estaciones fijas para el monitoreo. Partir de este estudio sería acertado ya que, la red de sensores inalámbricos permite tener nodos sensores que podrían obtener información ya sea en una fuente fija o móvil lo que permitirá un mayor control de la Contaminación Auditiva.

Lo recomendable es tomar al menos dos a tres meses de muestras para obtener una desviación estándar ≤ 2 dB y de esta manera obtener el intervalo que confianza que permitirá obtener un dato más acertado y confiable para los planes de mitigación.

Lo recomendable utilizar más *Gateways* ya que el alcance de la red de sensores inalámbricos (WSN) tiene un radio de 1.81 metros, si colocamos más nodos sensores la red sería más robusta obteniendo más exactitud en los datos. También se podría

complementar a los módulos Xbee con una antena lo cual permitiría más alcance de la red.

REFERENCIAS

- Andreu, J. (2010). *Servicios en Red*. Recuperado el 8 de marzo de 2017, de https://books.google.com.ec/books?id=98_TAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+son+las+redes+inalambricas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwill5ng4bPSAhVLKiYKHxjxBCoQ6AEIGDA#v=onepage&q&f=false
- Arcos. (s.f.). *Wireless Sensor Network*. Recuperado el 2 de enero de 2017, de <https://www.google.com.ec/webhp?hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjWiPO3-Z7UAhVEfiYKHZHQA0sQPAgD#hl=es-419&tbm=bks&q=red+wsn+%2Barcos>
- Atmel Corporation. (s.f.) *Atmega 328/P Datasheet Complete*. Recuperado el 18 de 13 de marzo de 2017, de http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf
- Camacho, C. (2007). *Correlación*. Recuperado el 27 de Julio de 2017, de <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- Chávez, M. (2015). *Gestión sobre ruido ambiental en el Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de www.udla.edu.ec/ojs/index.php/sonac/article/download/44/45
- Da Paz, J. (2015). *Una red de sensores para las Smart Cities*. Universitas Complvtensis
- Digi. (s.f.). *Xbee S2C 802.15.4 RF Modules Datasheet*. Recuperado el 10 de marzo de 2017, de https://www.digi.com/pdf/ds_xbee-s2c-802-15-4.pdf
- Digi. (s.f.). *XCTU*. Recuperado el 12 de marzo de 2017, de <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>
- Ehu. (s.f.). *Efectos y Normativa*. Recuperado el 1 de marzo de 2017, de <http://www.ehu.eus/acustica/espanol/ruido/efectos%20y%20normativa/efectos%20y%20normativa.html>

- Electrocomponentes. (s.f.). Módulo XBEE de Digi International. Recuperado el 14 de marzo de 2017, de http://www.electrocomponentes.com/educacion/download/SASE_2014_DIGI_Tutorial_Modulos_XBEE.pdf
- Fceia. (s.f.). Criterios sobre Ruido de la Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 20 de febrero de 2017, de <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/omscrit.htm>
- Garbarino. (s.f.). Protocolos para redes inalámbricas de sensores. Recuperado el 8 de marzo de 2017, de <http://materias.fi.uba.ar/7500/Garbarino.pdf>
- Hdez, S. (2009). Análisis de correlación y regresión. Recuperado el 27 de julio de 2017, de http://www.mcgraw-hill.com.mx/pye01e/cap13/13analisis_de_correlacion_y_regresion.pdf
- Insht. (s.f.). Aspectos Ergonómicos del Ruido Evaluación. Recuperado el 21 de febrero de 2017, de <http://www.insht.es/Ergonomia2/Contenidos/Promocionales/Ruido%20y%20Vibraciones/ficheros/DTE-AspectosErgonomicosRUIDOVIBRACIONES.pdf>
- Insh. (s.f.). NTP 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos. Recuperado el 17 de abril de 2017, de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_270.pdf
- Insht. (s.f.). Ruido. Recuperado el 15 de febrero de 2017, de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/47.pdf>
- Leantec. (s.f.). Tutorial Arduino: Módulo GPS GPS6MV2. Recuperado el 15 de marzo de 2017, de http://www.leantec.es/blog/54_Tutorial-Arduino-Modulo-GPS-GPS6MV2.html
- Mapama. (s.f.). Conceptos Básicos del Ruido Ambiental. Recuperado el 10 de febrero de 2017, de <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y->

evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-
aire/contaminacion_acustica_tcm7-1705.pdf

Organización Mundial de la Salud. (s.f.) Sordera y pérdida de la audición. Recuperado el 22 de febrero de 2017, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/es/>

Parrondo, J. L., Velarde, S., Ballesteros, R., González, J., & Santolaria, C. (2006). Acústica Ambiental. Recuperado el 7 de febrero de 2017, de https://books.google.com.ec/books?id=s7r-6NMTe2AC&printsec=frontcover&dq=contaminacion+acustica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwin0sGyu67SAhVqrVQKHZ_mAskQ6AEIlzAD#v=onepage&q=contaminacion%20acustica&f=false

Proyma. (s.f.). Acústica Ambiental. Recuperado el 10 de febrero de 2017, de <http://www.proyma-acustica.com/acustica-ambiental.html>

Quitoambiente. (s.f.). Resolución N.- SA-DGCA-NT002-2016. Recuperado el 25 de febrero de 2017, de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/2.%20RESOLUCI%20N%20NO.SA-DGCA-NT002-2016.PDF

Quitoambiente. (s.f.). Ordenanza Metropolitana 123 Quito, Consejo Metropolitano. Recuperado el 15 de febrero de 2017, de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDM-123%20-%20RUIDO%20-%20MEDIO%20AMBIENTE.pdf#page=1&zoom=auto,-158,848

Quitoambiente. (s.f.) Ordenanza Metropolitana 003 Quito. Recuperado el 3 de marzo de 2017, de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDM-003%20-%20USO%20DE%20SUELO.pdf

Rjesky. (s.f). Poster Xbee traducido. Recuperado el 14 de marzo de 2017, de <https://www.olimex.cl/owncloud/public.php?service=files&t=338f16e96a313c4cfff75f5956b9bde>

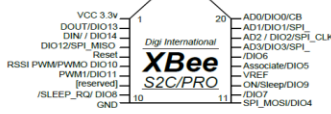
Robotshop. (s.f.). Xbee Explorer USB explorer. Recuperado el 17 de marzo de 2017, de <http://www.robotshop.com/media/files/pdf/datasheet-wrl-11697.pdf>

Solórzano, S. (2016). Sistema de medición de contaminación auditiva, empleando una red de sensores inalámbricos y sensores Ban. (Tesis de Pregrado). Universidad de las Américas.

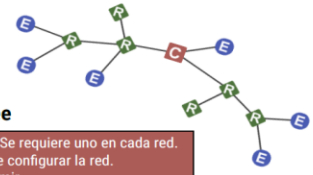
Wordpress. (s.f.). Redes Inalámbricas. Recuperado el 20 de febrero de 2017, de <https://jamonaduran.wordpress.com/redes/redes-inalambricas/>

ANEXOS

ANEXO 1. GUÍA DE REFERENCIA PARA XBEE S2C PRO



XBee es un microcontrolador fabricado por digi, el cual utiliza el protocolo Zigbee. XBee utiliza 3.3V y tienen un espaciado entre pines menor que el utilizado en un protoboard. Dado lo anterior es recomendable utilizar una tarjeta o kit para que sea más fácil su uso.



Roles XBee

Coordinador: Se requiere uno en cada red. Se encarga de configurar la red. No puede dormir.

Router: Pueden existir multiples en una red. Pueden redirigir los mensajes a otros routers o End Devices. No pueden dormir.

End Device: Pueden existir muchos, no pueden redirigir mensajes. Pueden dormir para ahorrar energía.

Modelo	Especificaciones	Pines I/O: 13	Firmware: Zigbee, DigiMesh, 802.15.4
S2C	Voltaje de operación: 2.1 - 3.6V Corriente de operación: 33mA@3.3V Rango en interiores: 60 metros Rango en línea vista: 1200 metros Max valor lectura analógica: 1.2V	Entradas analógicas: 4 <i>Configurable como red mesh</i> <i>Red auto reparable</i>	Velocidad de transmisión RF: 250kbps Frecuencia: 2.4GHz - 2.5GHz Temperatura operación: -40 a 85°C
S2C PRO	Voltaje de operación: 2.7 - 3.6V Corriente de operación: 31mA@3.3V Rango en interiores: 90 metros Rango en línea vista: 3200 metros Max valor lectura analógica: 1.2V	Entradas analógicas: 4 <i>Configurable como red mesh</i> <i>Red auto reparable</i>	Velocidad de transmisión RF: 250kbps Frecuencia: 2.4GHz - 2.5GHz Temperatura operación: -40 a 85°C

Modos XBee
Transparente: Los dispositivos actúan como un reemplazo de cable serial. Cuando los datos RF son recibidos, el dispositivo envía los datos a través del puerto serie. Utilice la interfaz de modo de comando AT para configurar los parámetros del dispositivo.
Comando: Basada en tramas, amplía el nivel en que una aplicación host puede interactuar con las capacidades de red del dispositivo. Cuando esta en modo API, el dispositivo contiene todos los datos que entran y salen en marcos que definen operaciones o eventos dentro del dispositivo.

Setup XBee
Conecta el Xbee a un adaptador TTL a Serial como un FTDI
Utiliza el software gratuito X-CTU para configurar el módulo XBee
Baud:9600 - FC: Hardware - Data Bits 8 - Parity: None - Stop Bits: 1

Ajustes Básicos
PAN ID: es la red a la cual se conectará el módulo. Si es 0, el Xbee se asociará a cualquiera que esté disponible
DH/DL: Es la dirección del módulo de destino. Se utiliza para enviar información a un Xbee en específico. Si se configura en 0 enviará datos solo al coordinador. Si se configura en 0x000000000000FFFF hará un broadcast (envío a todos los módulos de la red)

Ajustes Pin
Para poder trabajar con los pines como entradas/salidas en un Xbee, debe estar configurado en modo API.
D0 - Configura el pin en 0 para comenzar a leer datos
IR - realiza una lectura del pin cada XX milisegundos

Byte	Ejemplo	Descripción
0	0x7E	Byte de inicio - indica el comienzo del paquete de datos (frame)
1	0x00	Largo - Número de bytes (ChecksumByte# - 1 - 2)
2	0x10	
3	0x17	Tipo de mensaje - 0x17 significa que es solicitud de comando AT
4	0x01	Frame ID - secuencia del paquete
5	0x00	Dirección de destino de 64-bit (número de serie)
6	0x13	MSB es el byte 5, LSB es el byte 12
7	0xA2	
8	0x00	0x0000000000000000 = Coordinador
9	0x40	0x0000000000000000 = Broadcast
10	0x8B	
11	0x78	
12	0x4E	
13	0xFF	Dirección de la red de destino
14	0xFE	(configúralo como 0xFFFE para enviar un broadcast)
15	0x02	Opción del comando remoto (configúralo como 0x02 para aplicar los cambios)
16	0x44 (D)	Nombre del comando AT (Dos caracteres ASCII)
17	0x34 (2)	
18	0x05	Parámetro del comando
19	0x25	Checksum

Byte	Ejemplo	Descripción
0	0x7E	Byte de inicio - indica el comienzo del paquete de datos (frame)
1	0x00	
2	0x14	
3	0x92	Tipo de frame 0x92 indica que es un muestreo de las entradas del XBee
4	0x00	Dirección de origen de 64-bit (número de serie)
5	0x13	MSB es el byte 4, LSB es el byte 11
6	0xA2	
7	0x00	
8	0x40	
9	0x8B	
10	0x78	
11	0x4E	
12	0xA4	Dirección de 16-bit de la red de origen
13	0x02	
14	0x01	Opciones de recepción: 01 = Packet acknowledged 02 = Broadcast packet
15	0x01	Número de muestras. Siempre debe ser 1 dadas las limitaciones de XBee
16	0x00	Máscara para el canal digital, indica que pines están configurados como DIO
17	0x30	
18	0x01	Máscara para el canal analógico, indica cuales pines están configurados como ADC
19	0x00	Lectura de los canales digitales. Estos dos bytes contienen los estados de los pines configurados como DIO
20	0x20	
21	0x02	Lectura del canal analógico.
22	0x0C	Cada canal entrega 2 bytes con el resultado de la lectura del ADC
23	0x20	Checksum (0xFF - la suma de todos los bytes desde el byte 3 a hasta el último)

Conexión con Arduino:
Arduino TX se conecta a la RX de XBee (Data IN)
Arduino RX se conecta a la TX de XBee (Data Out)

Integración con Arduino:
Los datos enviados utilizando Serial.print() saldrán por el puerto TX del Arduino, que estará conectado al RX del módulo XBee. Si XBee está en modo AT, se transmitirá inalámbricamente hacia el destino. Los datos recibidos en el módulo XBee serán enviados al puerto serial.

Ejemplo para Arduino: Lectura de un valor analógico utilizando modo API

```
// XBee remoto: AT, XBee base: API
if (Serial.available() >= 2) { // Nos aseguramos que ha llegado el mensaje completo
  if (Serial.read() == 0x7E) { // 7E es el byte de inicio
    for (int i = 1; i < 19; i++) { // descartamos los bytes hasta llegar los datos analógicos
      byte discardByte = Serial.read();
    }
    int analogMSB = Serial.read(); // Lee el primer byte del dato analógico
    int analogLSB = Serial.read(); // Lee el segundo byte del dato analógico
    int analogReading = analogLSB + (analogMSB * 256);
  }
}
```

Ejemplo Arduino: Cambiar la configuración de un pin en un XBee remoto

```
// XBee remoto: AT, XBee base: API
Serial.write(0x7E); // byte de inicio
Serial.write((byte)0x0); // Largo MSB (siempre 0)
Serial.write(0x10); // Largo LSB
Serial.write(0x17); // 0x17 es el tipo de mensaje para enviar comandos AT
Serial.write((byte)0x0); // Frame ID (no solicitamos respuesta)
Serial.write((byte)0x0); // Envía los 64 bit de la dirección de destino
Serial.write((byte)0x0); // (Enviando 0x000000000000FFFF (broadcast))
Serial.write((byte)0x0);
Serial.write((byte)0x0);
Serial.write((byte)0x0);
Serial.write((byte)0x0);
Serial.write(0xFF); // Red de destino
Serial.write(0xFF); // Red de destino
Serial.write(0xFE); // (enviar 0xFFFE si es desconocida)
Serial.write(0x02); // configurar 0x02 para aplicar los cambios
Serial.write('D'); // Comando AT : D1
Serial.write('1');
Serial.write(0x05); // Configura D1 para ser 5 (Digital Out HIGH)
long checksum = 0x17 + 0xFF + 0xFF + 0xFF + 0xFE + 0x02 + 'D' + '1' + 0x05;
Serial.write(0xFF - (checksum & 0xFF)); // Checksum
```

Modo Sleep
End Device puede dormir para ahorrar energía. Un End Device que solo despierta cada 5 minutos para enviar datos puede solo estar despierto por 6 segundos en un día.
SM - 4 = Cyclic Sleep
SP - Sleep time (hasta 28 segundos)
SN - Número de ciclos sleep
ST - Tiempo que permanecerá despierto

Pin I/O Opciones
0 - Disabled
1 - N/A
2 - ADC
3 - Digital IN
4 - Digital OUT, LOW
5 - Digital OUT, HIGH

Máscara para canal digital
Primer Byte
n/a n/a n/a D12 D11 D10 n/a n/a
Segundo Byte
D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0
Ejemplo:
0x00 0x13 = 0000 0000 0000 1101
Pins D3, D2 y D0

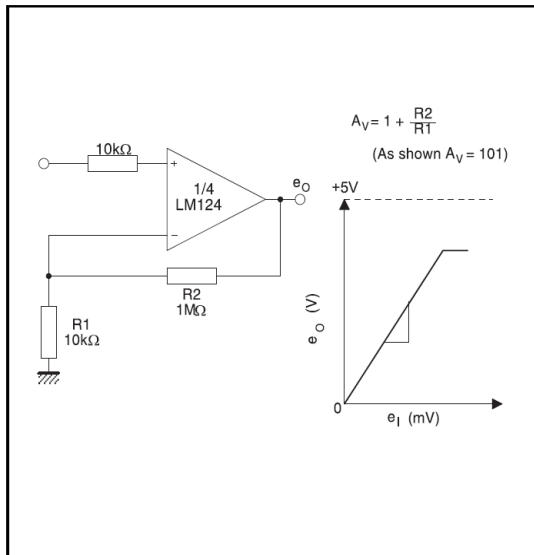
Máscara para canal analógico
(volt) n/a n/a n/a A3 A2 A1 A0
Ejemplo:
0x05 = 0000 0101 = Pin A2 and A0

ANEXO 2. APLICACIONES TÍPICAS-SIMPLES DE SUMINISTRO

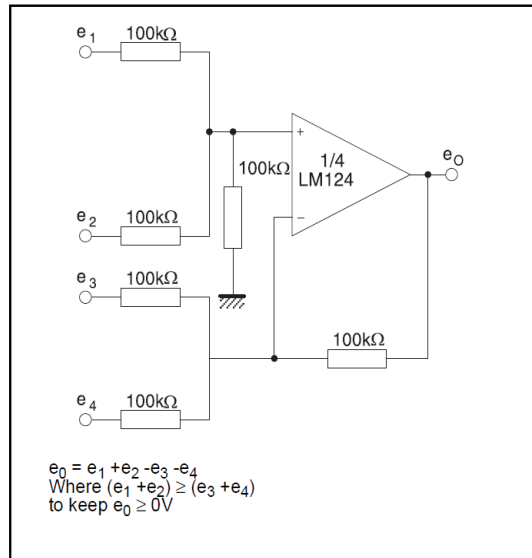
LM124-LM224-LM324

TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

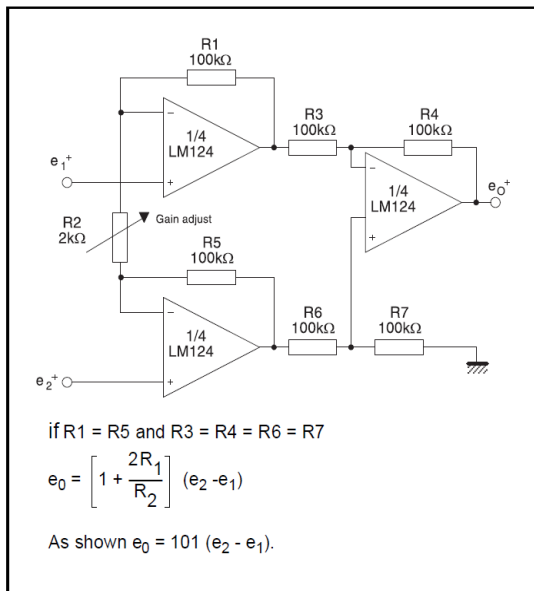
NON-INVERTING DC GAIN



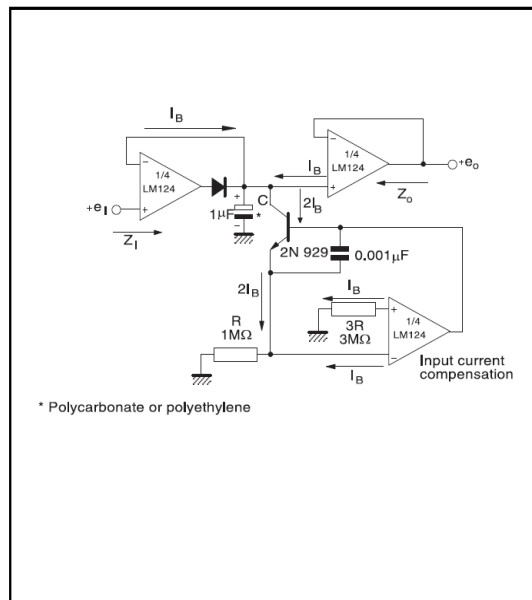
DC SUMMING AMPLIFIER



HIGH INPUT Z ADJUSTABLE GAIN DC INSTRUMENTATION AMPLIFIER



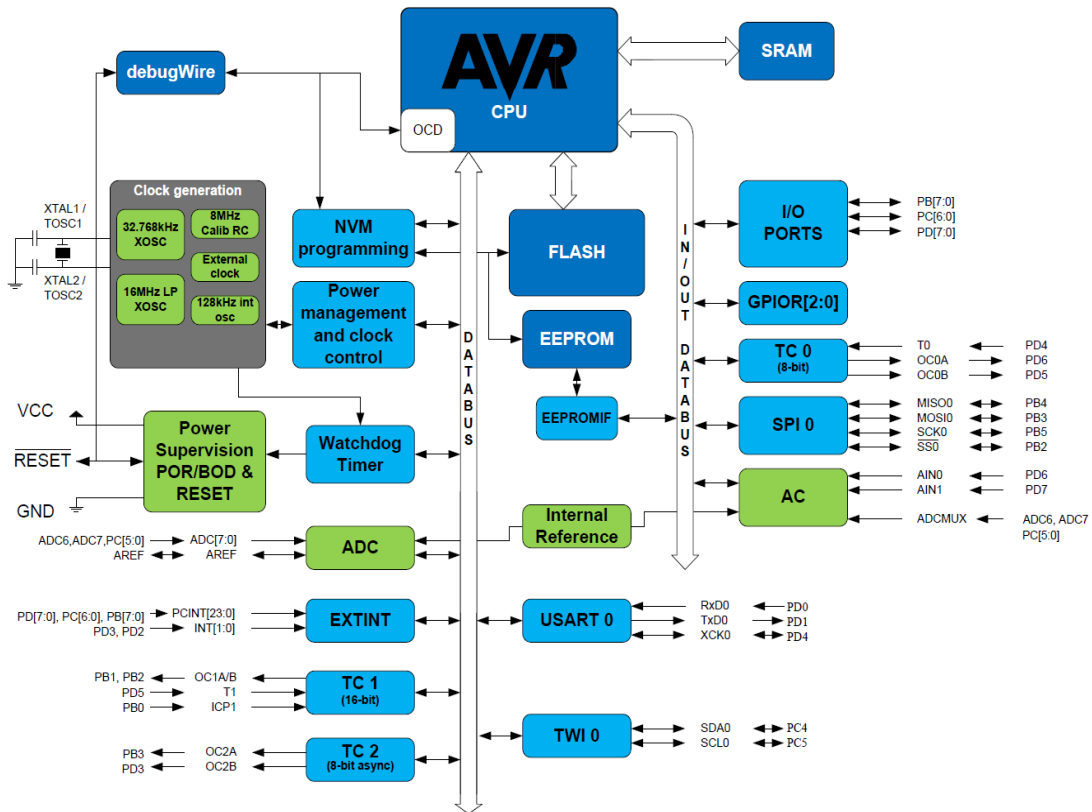
LOW DRIFT PEAK DETECTOR



ANEXO 3. ATMEGA 328/P FRAGMENTO DATASHEET

4. Block Diagram

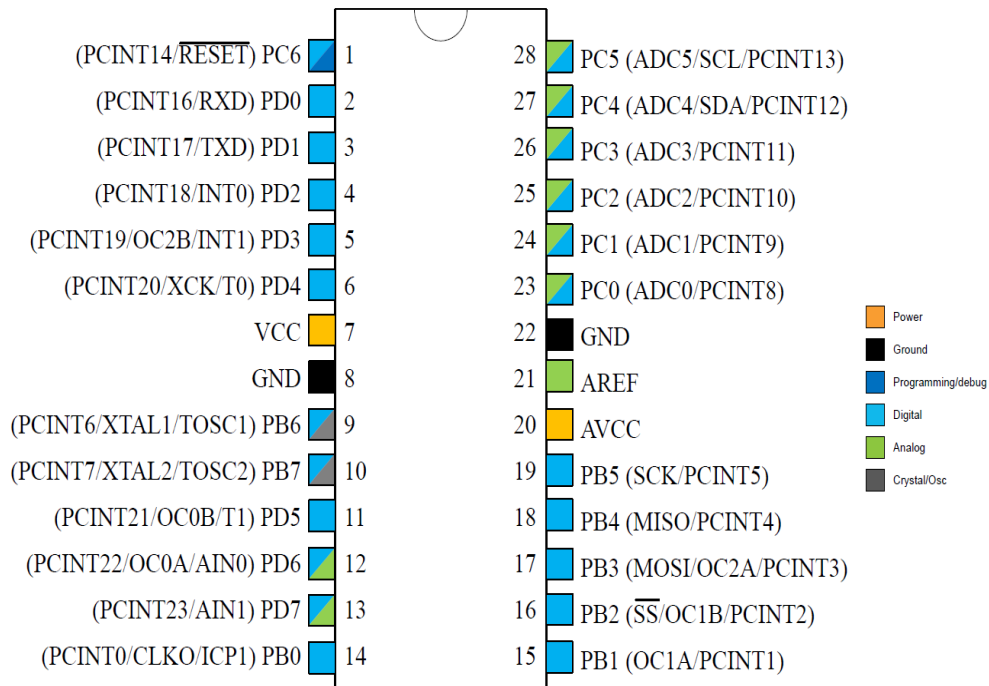
Figure 4-1. Block Diagram



5. Pin Configurations

5.1. Pin-out

Figure 5-1. 28-pin PDIP



5.2. Pin Descriptions

5.2.1. VCC

Digital supply voltage.

5.2.2. GND

Ground.

5.2.3. Port B (PB[7:0]) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB[7:6] is used as TOSC[2:1] input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

5.2.4. Port C (PC[5:0])

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC[5:0] output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

5.2.5. PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in the *Alternate Functions of Port C* section.

5.2.6. Port D (PD[7:0])

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

5.2.7. AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC[3:0], and PE[3:2]. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC[6:4] use digital supply voltage, V_{CC}.

5.2.8. AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

5.2.9. ADC[7:6] (TQFP and VFQFN Package Only)

In the TQFP and VFQFN package, ADC[7:6] serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

ANEXO 4. CONFIGURACION DE LOS MÓDULOS XBEE S2C/SCB EN MODO

Configuración Nodo modo API Xbee S2C

The screenshot shows the XCTU software interface for configuring a ZigBee S2C node. The 'Radio Configuration' window is open, displaying various networking parameters. A red box highlights the 'Networking' section, which includes fields for ID PAN ID, SC Scan Channels, SD Scan Duration, ZS ZigBee Stack Profile, NI Node Join Time, NW Network Watchdog Timeout, NV Channel Verification, NJ Join Notification, OP Operating PAN ID, OS Operating 16-bit PAN ID, OH Operating Channel, NC Number of Relaying Children, CE Coordinator Enable, DO Device Options, SH Serial Number High, SL Serial Number Low, MY 16-bit Network Address, MP 16-bit Parent Address, DH Destination Address High, DL Destination Address Low, NI Node Identifier, NH Maximum Hops, and BH Broadcast Radius. The NI Node Identifier is set to 'N0001'.

Parameter	Value
ID PAN ID	EA21
SC Scan Channels	7FFF Bitfield
SD Scan Duration	1 exponent
ZS ZigBee Stack Profile	2
NI Node Join Time	FF x 1 sec
NW Network Watchdog Timeout	0 x 1 minute
NV Channel Verification	Enabled [1]
NJ Join Notification	Disabled [0]
OP Operating PAN ID	0
OS Operating 16-bit PAN ID	FFFF
OH Operating Channel	0
NC Number of Relaying Children	14
CE Coordinator Enable	Disabled [0]
DO Device Options	0 Bitfield
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	415AB3CA
MY 16-bit Network Address	FFFF
MP 16-bit Parent Address	FFFF
DH Destination Address High	0
DL Destination Address Low	0
NI Node Identifier	N0001
NH Maximum Hops	16
BH Broadcast Radius	0

Configuración Coordinador modo API S2C

The screenshot shows the XCTU software interface for configuring a Zigbee Coordinator in API S2C mode. The interface is divided into several sections:

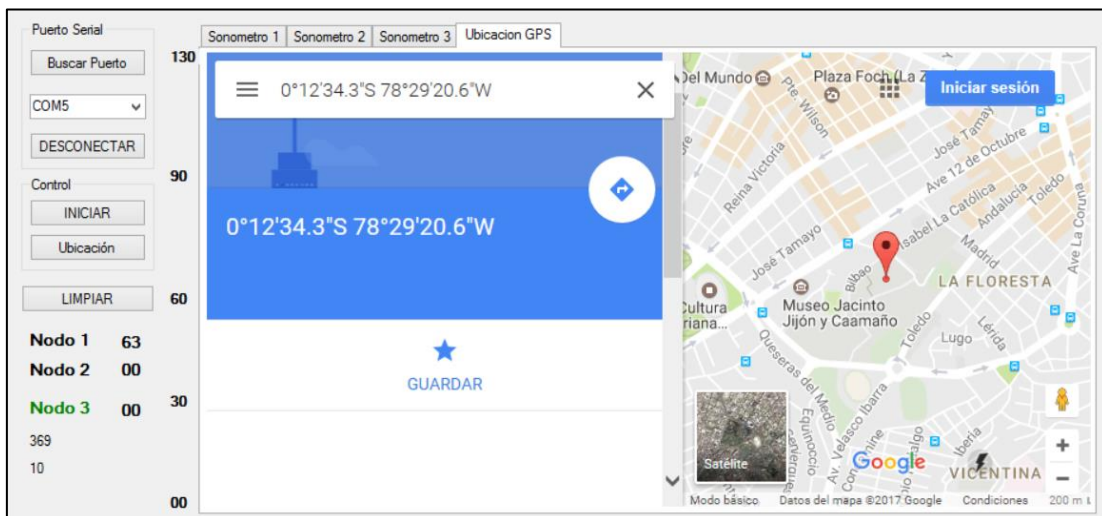
- Radio Modules:** Lists two modules:
 - N0001:** Name: N0001, Function: ZIGBEE TH PRO, Port: COM421 - 9600/8/N/1/N - API 1, MAC: 0013A200415A83CA.
 - Gateway:** Name: Gateway, Function: 802.15.4 TH PRO, Port: COM9 - 9600/8/N/1/N - AT, MAC: 0013A200415A83C8.
- Radio Configuration [N0001 - 0013A200415A83CA]:**
 - Networking:**
 - ID PAN ID: EA21
 - SC Scan Channels: 7FFF (Bitfield)
 - SD Scan Duration: 3 (exponent)
 - ZS Zigbee Stack Profile: 2
 - NJ Node Join Time: FF (x 1 sec)
 - NW Network Watchdog Timeout: 0 (x 1 minute)
 - NV Channel Verification: Enabled [1]
 - NH Join Notification: Disabled [0]
 - OP Operating PAN ID: 0
 - OI Operating 16-bit PAN ID: FFFF
 - OH Operating Channel: 0
 - NC Number of Remaining Children: 14
 - CE Coordinator Enable: Enabled [1]
 - DO Device Options: 0 (Bitfield)
 - DC Device Controls: 0 (Bitfield)
 - Addressing:**
 - SH Serial Number High: 13A200
 - SL Serial Number Low: 415A83CA
 - MY 16-bit Network Address: FFFE
 - MP 16-bit Parent Address: FFFE
 - DH Destination Address High: 0
 - DL Destination Address Low: 0
 - NI Node Identifier: COORDINADOR
 - NH Maximum Hops: 1E
 - EE Encryption Enable: Enabled [1]
 - EO Encryption Options: 0 (Bitfield)
 - EK Encryption Key: [Empty]
 - NK Network Encryption Key: [Empty]
 - Serial Interfacing:**
 - BD Baud Rate: 9600 [2]
 - MB Parity: No Parity [0]
 - SB Stop Bits: One stop bit [2]
 - RO Packetization Timeout: 3 (x character times)
 - D7 DIO7 Configuration: CTS flow control [1]
 - D6 DIO6 Configuration: Disable [2]
 - AP API Enable: API enabled [1]
 - AO API Output Mode: Native [0]

ANEXO 5. PRUEBAS DE VALIDACIÓN

- Ambientes No Controlados

1.- Zona de Equipamientos y Protección

Lugar: Biblioteca Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional



MUESTRA 1

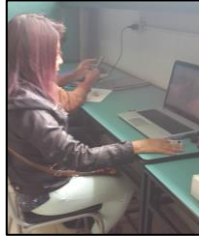
Nombre: Giovanna Suquillo

Edad: 28 años

Fecha: 2017/05/04

Tiempo: 12^a (19:00)

Duración: 15 minutos



MUESTRA 2

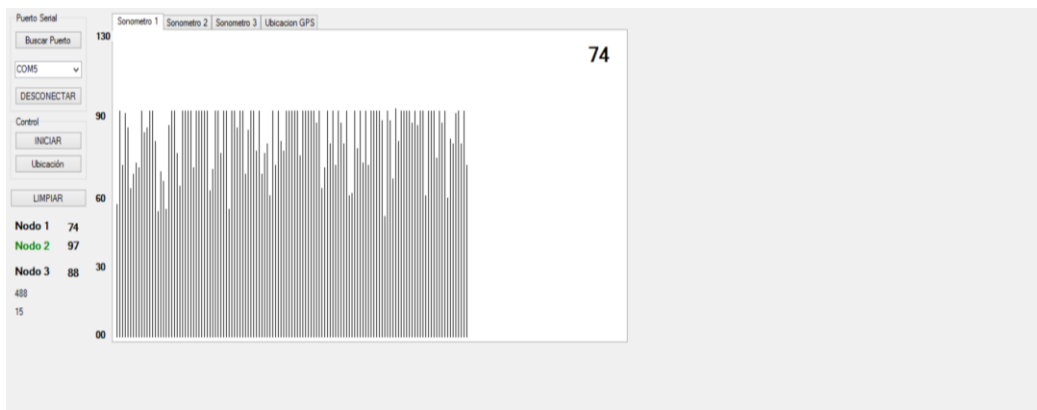
Nombre: Eddy Llumiyinga

Edad: 21 años

Fecha: 2017/05/06

Tiempo: 8^a (14:00)

Duración: 20 minutos



MUESTRA 3

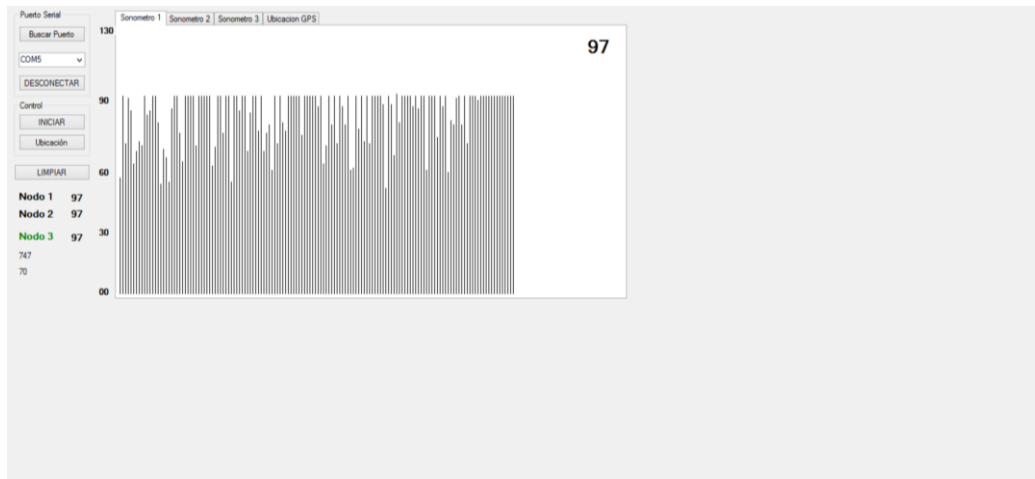
Nombre: Samantha Toinga

Edad: 24 años

Fecha: 2017/05/09

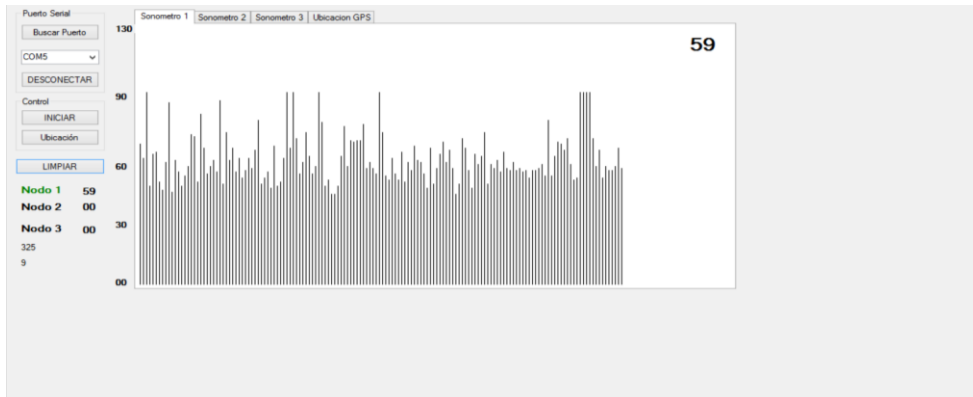
Tiempo: 3^a (9:00)

Duración: 25 minutos



MUESTRA 4

Nombre: Andrés Solórzano	
Edad: 24 años	Fecha: 2017/05/05
Tiempo: 11 ^a (18:00)	Duración: 30 minutos



MUESTRA 5

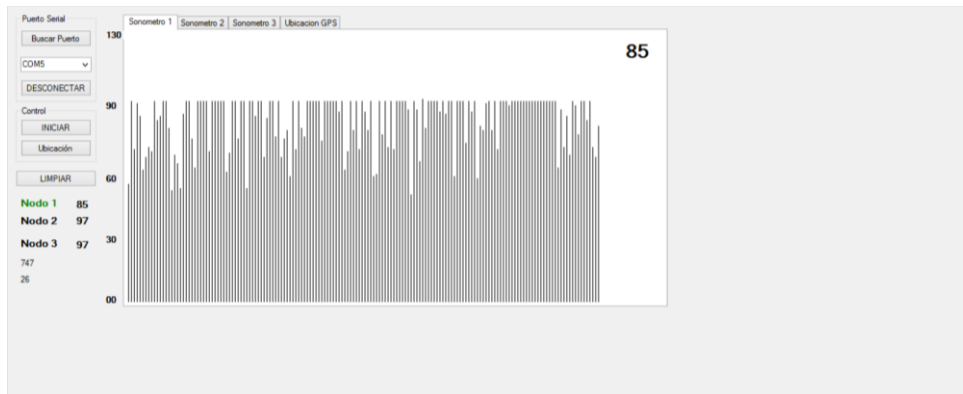
Nombre: Carlos Quimuña

Edad: 25 años

Fecha: 2017/05/07

Tiempo: 8^a (14:00)

Duración: 35 minutos



MUESTRA 6

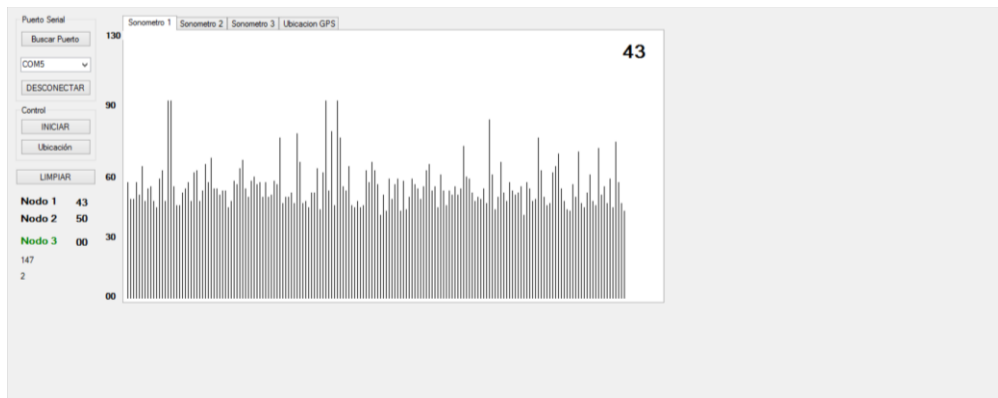
Nombre: Héctor Guamán

Edad: 25 años

Fecha: 2017/05/08

Tiempo: 1ª (7:00)

Duración: 40 minutos



MUESTRA 7

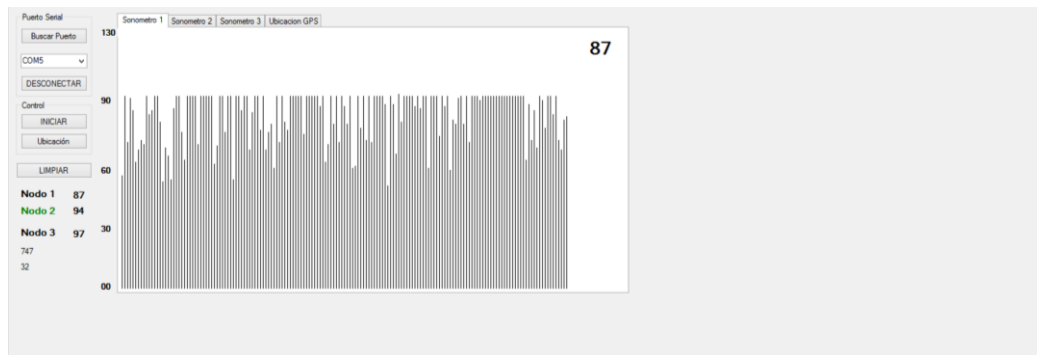
Nombre: Oscar Cuasapaz

Edad: 30 años

Fecha: 2017/05/10

Tiempo: 4ª (10:00)

Duración: 45 minutos



CÁLCULOS

n1= 64	n2= 74	n3= 97	n4= 59	n5= 85	n6= 43	n1= 87
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Se aplica la Ecuación 8 que nos da la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente A:

$$LAeq = \frac{\sum Li}{ni}$$

$$LAeq = \frac{(64 + 74 + 97 + 59 + 85 + 43 + 87)}{7}$$

$$LAeq = \frac{509}{7}$$

$$LAeq = 72.71 \sim 73 \text{ dBA}$$

La desviación estándar según la Ecuación 9 es:

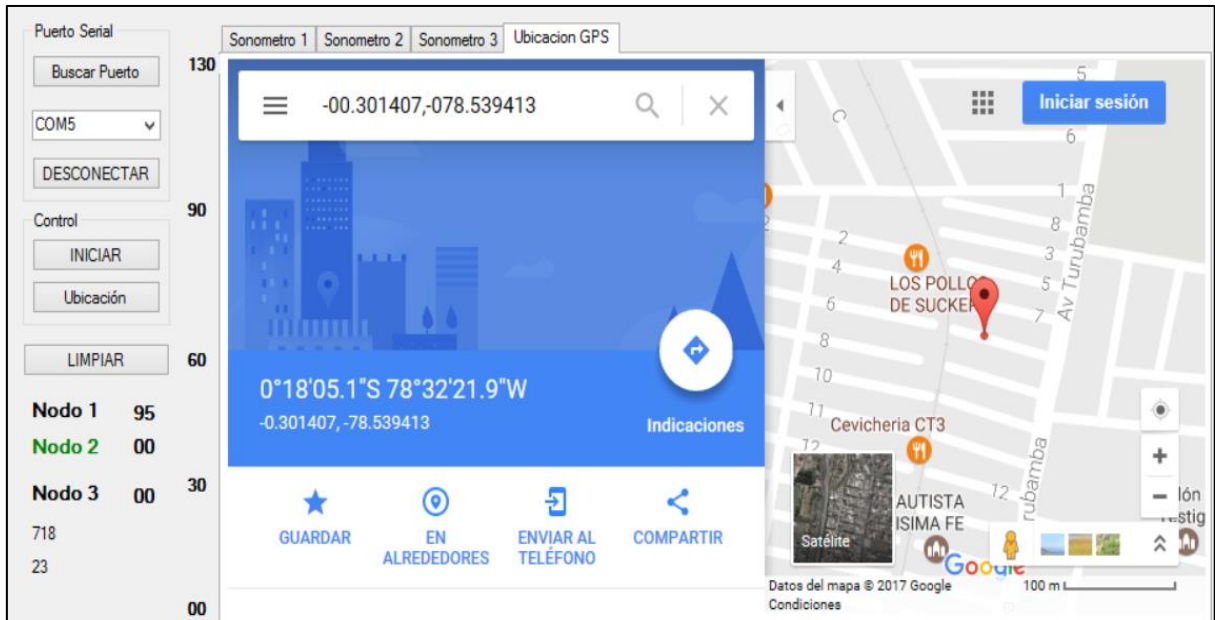
$$SL = \sqrt{\frac{\sum(Li - L)^2}{n - 1}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{(64 - 73)^2 + (74 - 73)^2 + (97 - 73)^2 + (59 - 73)^2 + (85 - 73)^2 + (43 - 73)^2 + (87 - 73)^2}{6}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{2094}{6}} = 18.67$$

2.- Zona Residencial

Lugar: Casa



MUESTRA 1

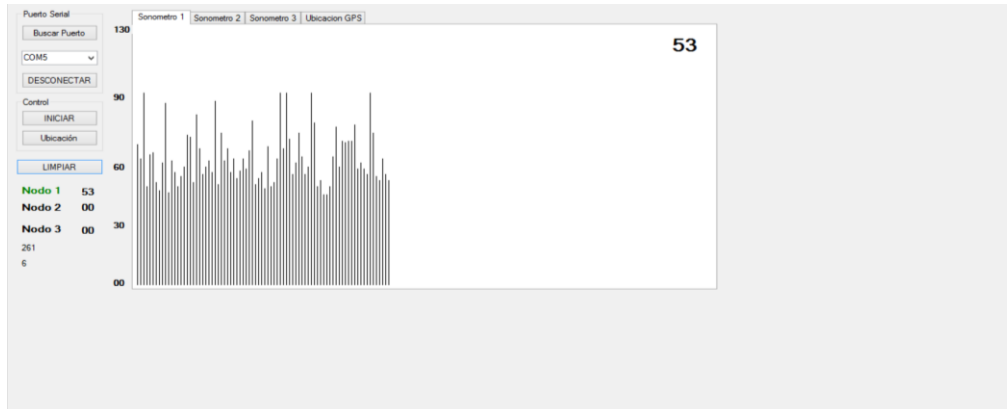
Nombre: Carmen Achig

Edad: 66 años

Fecha: 2017/05/03

Tiempo: 3ª (9:00)

Duración: 15 minutos



MUESTRA 2

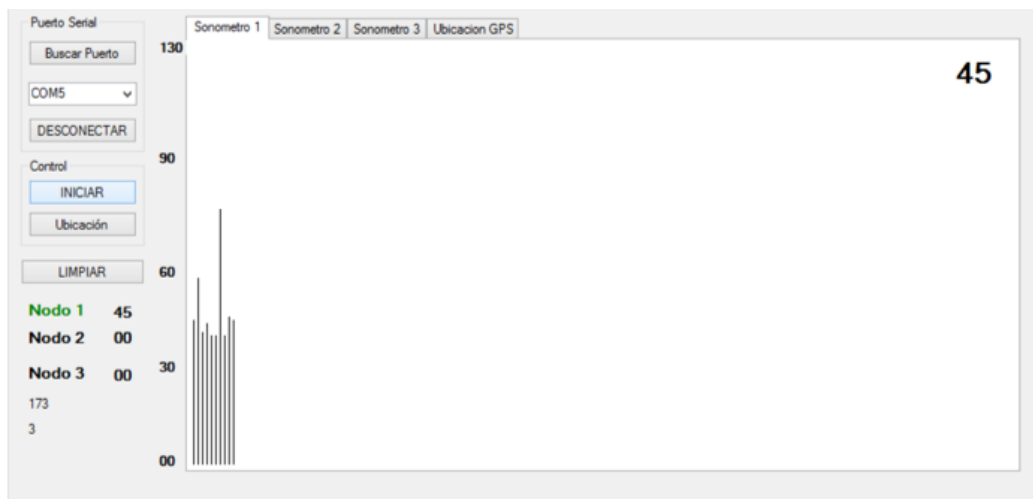
Nombre: Alejandro Morales

Edad: 9 años

Fecha: 2017/05/06

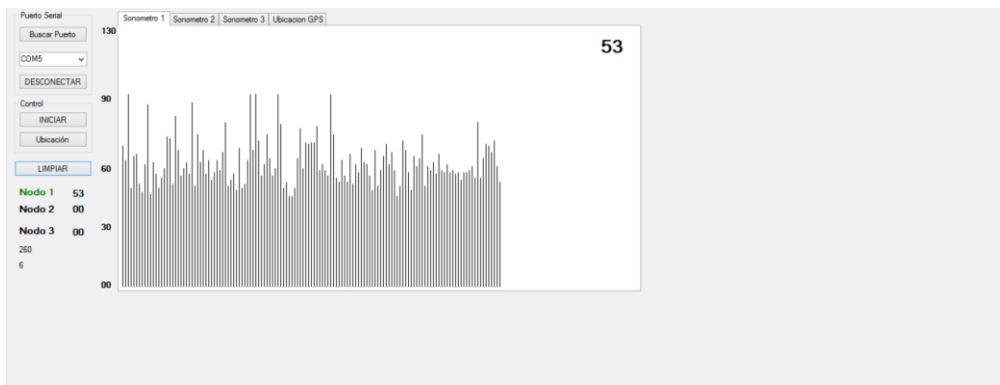
Tiempo: 2ª (8:00)

Duración: 20 minutos



MUESTRA 3

Nombre: Carmen Achig	
Edad: 66 años	Fecha: 2017/05/01
Tiempo: 10 ^a (16:00)	Duración: 25 minutos



MUESTRA 4

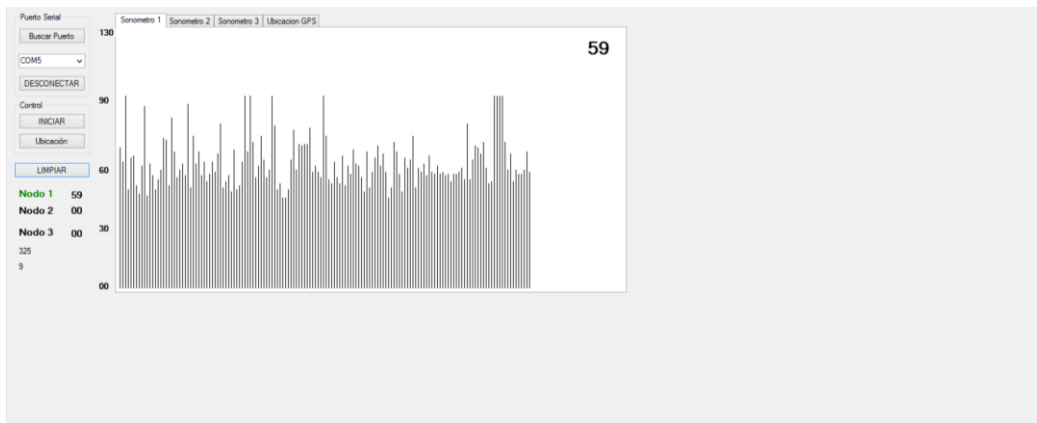
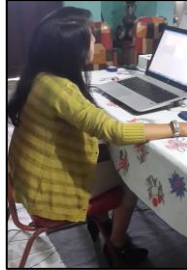
Nombre: Sonia Cajamarca

Edad: 38 años

Fecha: 2017/05/04

Tiempo: 6^a (12:00)

Duración: 30 minutos



MUESTRA 5

Nombre: Carmen Achig	
Edad: 66 años	Fecha: 2017/05/02
Tiempo: 1ª (7:00)	Duración: 35 minutos



MUESTRA 6

Nombre: Alejandro Morales

Edad: 9 años

Fecha: 2017/05/07

Tiempo: 1ª (7:00)

Duración: 40 minutos



MUESTRA 7

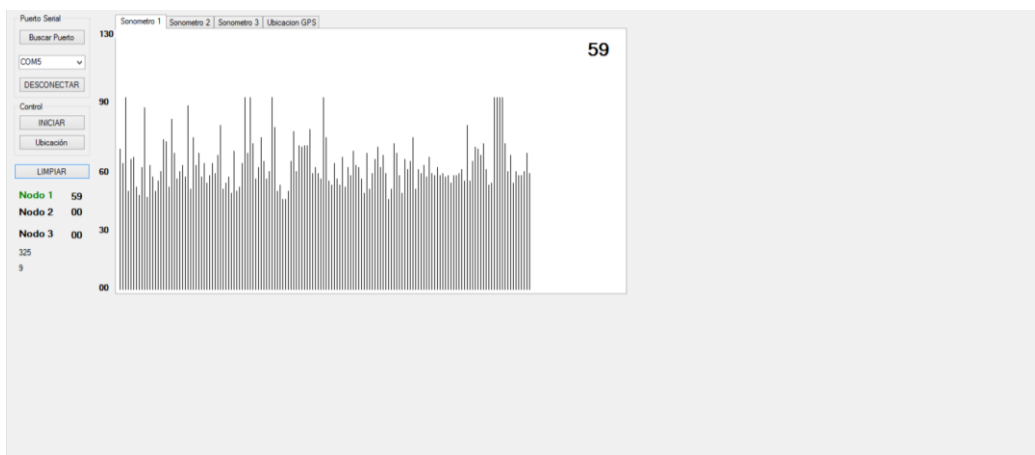
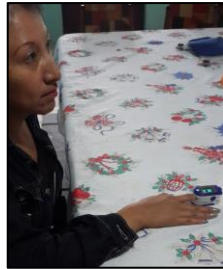
Nombre: Sonia Cajamarca

Edad: 9 años

Fecha: 2017/05/05

Tiempo: 5^a (11:00)

Duración: 45 minutos



CÁLCULOS:

n1= 53	n2= 45	n3= 53	n4= 59	n5= 41	n6= 43	n1= 59
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Se aplica la Ecuación 8 que nos da la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente A:

$$LAeq = \frac{\sum Li}{ni}$$

$$LAeq = \frac{(53 + 45 + 53 + 59 + 41 + 43 + 59)}{7}$$

$$LAeq = \frac{353}{7}$$

$$LAeq = 50.42 \sim 50 \text{ dBA}$$

La desviación estándar según la Ecuación 9 es:

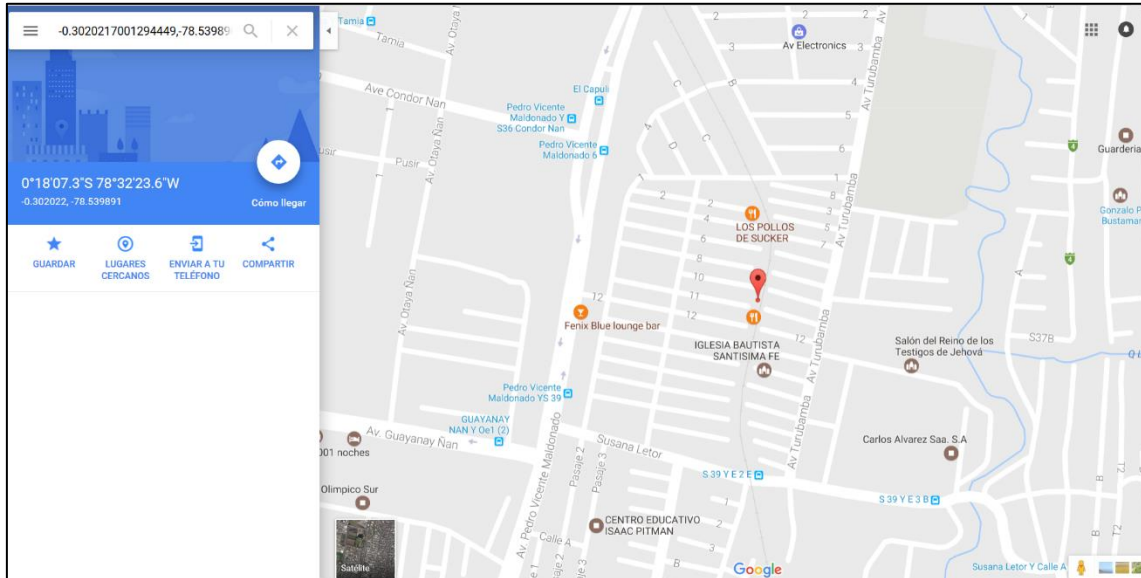
$$SL = \sqrt{\frac{\sum(Li - L)^2}{n - 1}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{(53 - 50.42)^2 + (45 - 50.42)^2 + (53 - 50.42)^2 + (59 - 50.42)^2 + (41 - 50.42)^2 + (43 - 50.42)^2 + (59 - 50.42)^2}{6}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{333.7148}{6}} = 7.45$$

3.- Zona Residencial Múltiple

Lugar: Restaurante



MUESTRA 1

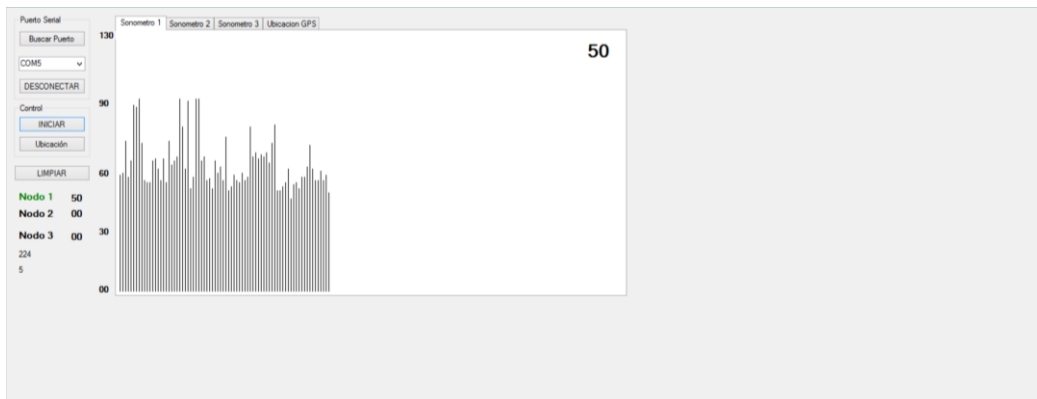
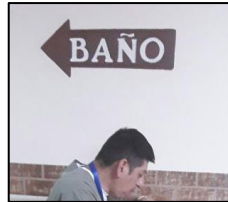
Nombre: Andrés Suarez

Edad: 41 años

Fecha: 2017/05/01

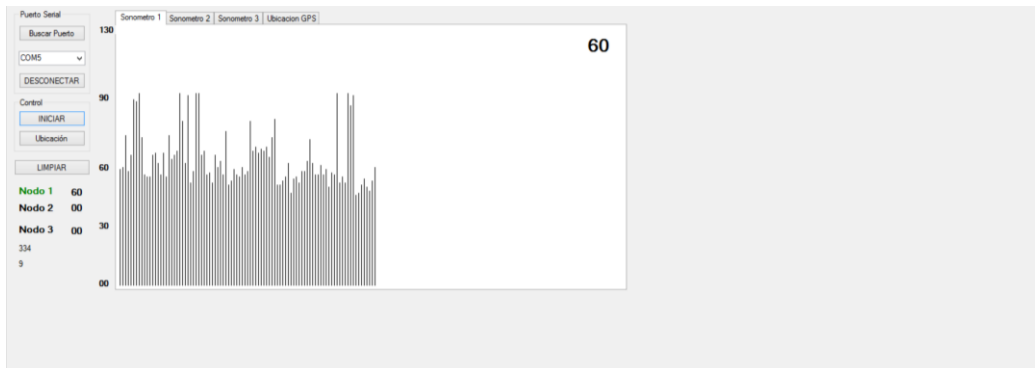
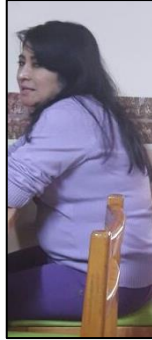
Tiempo: 8ª (14:00)

Duración: 15 minutos



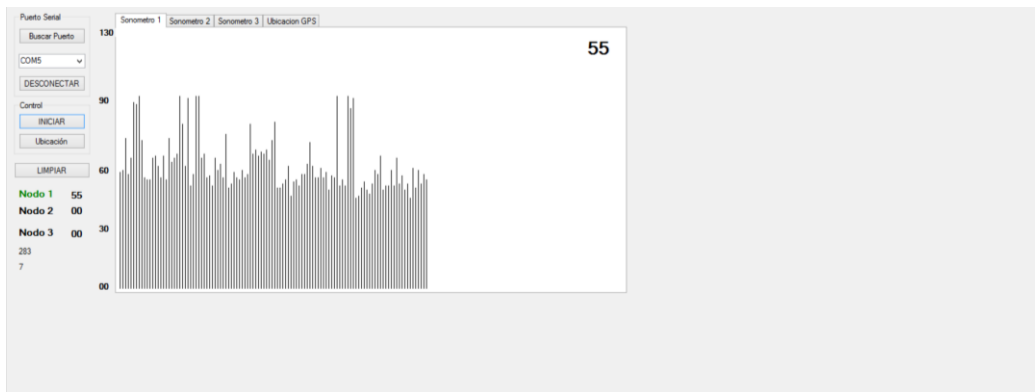
MUESTRA 2

Nombre: Fanny Carvajal	
Edad: 37 años	Fecha: 2017/05/06
Tiempo: 1 ^a (7:00)	Duración: 20 minutos



MUESTRA 3

Nombre: Anita Tipan	
Edad: 28 años	Fecha: 2017/05/09
Tiempo: 12 ^a (19:00)	Duración: 25 minutos



MUESTRA 4

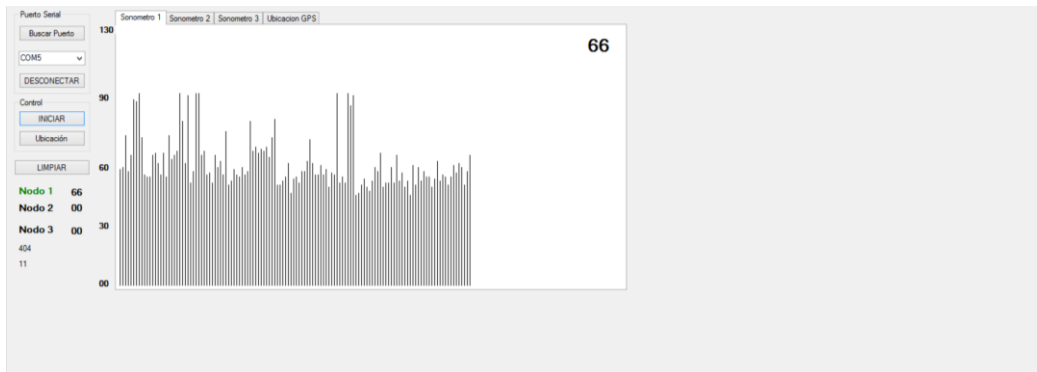
Nombre: Geovanny Terreros

Edad: 33 años

Fecha: 2017/05/07

Tiempo: 10^a (17:00)

Duración: 30 minutos



MUESTRA 5

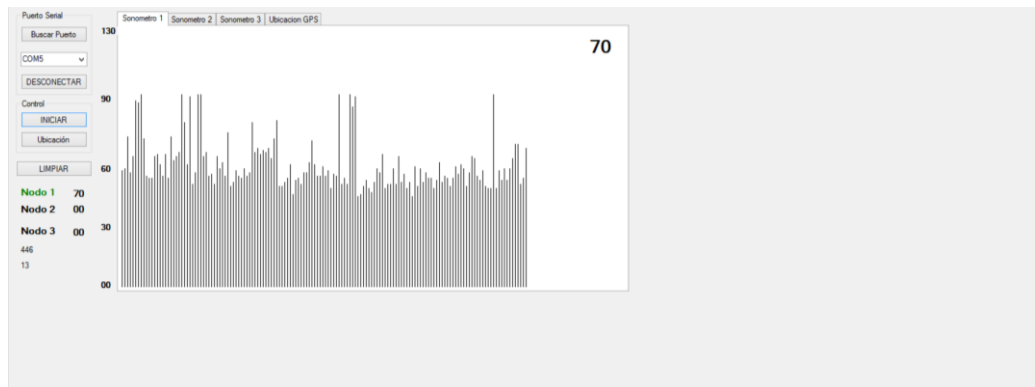
Nombre: Liliana Asnalema

Edad: 42 años

Fecha: 2017/05/05

Tiempo: 12^a (19:00)

Duración: 35 minutos



MUESTRA 6

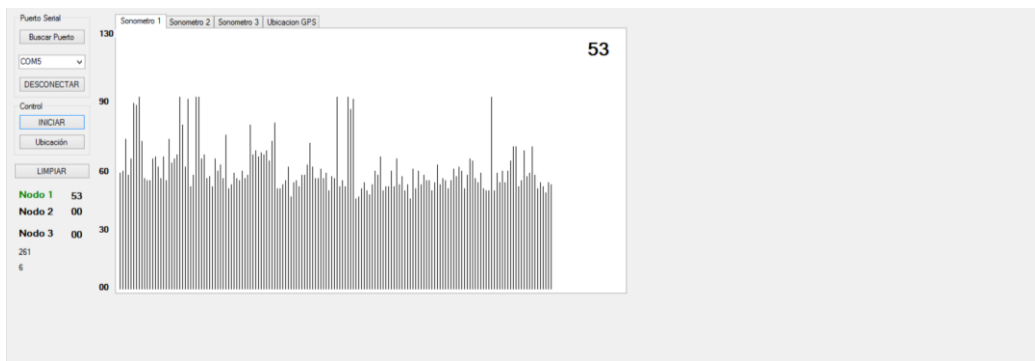
Nombre: Ángela Guamán

Edad: 29 años

Fecha: 2017/05/03

Tiempo: 11^a (18:00)

Duración: 40 minutos



MUESTRA 7

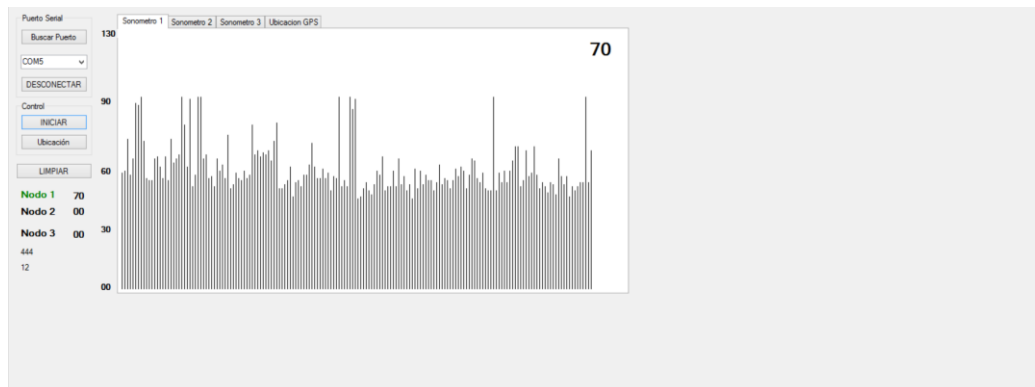
Nombre: Marco Antonio Carrera

Edad: 42 años

Fecha: 2017/05/04

Tiempo: 3^a (9:00)

Duración: 45 minutos



CÁLCULOS:

n1= 50	n2= 60	n3= 55	n4= 66	n5= 70	n6= 53	n1= 70
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Se aplica la Ecuación 8 que nos da la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente A:

$$LA_{eq} = \frac{\sum Li}{ni}$$

$$LA_{eq} = \frac{(50 + 60 + 55 + 66 + 70 + 53 + 70)}{7}$$

$$LA_{eq} = \frac{424}{7}$$

$$LA_{eq} = 60.57 \sim 61 \text{ dBA}$$

La desviación estándar según la Ecuación 9 es:

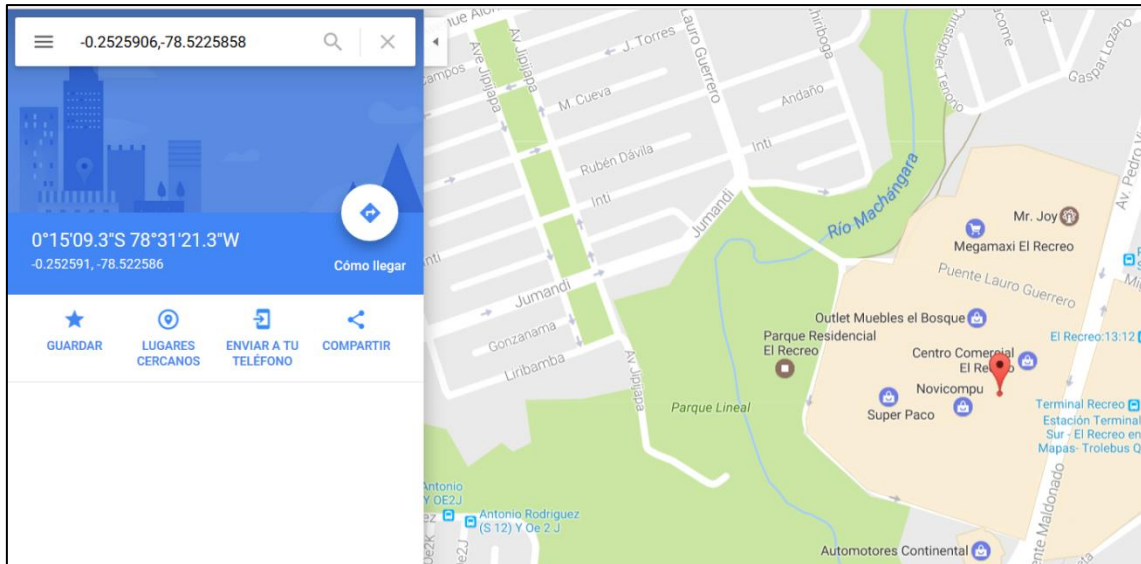
$$SL = \sqrt{\frac{\sum(Li - L)^2}{n - 1}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{(50 - 60.57)^2 + (60 - 60.57)^2 + (55 - 60.57)^2 + (66 - 60.57)^2 + (70 - 60.57)^2 + (53 - 60.57)^2 + (70 - 60.57)^2}{6}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{407.71}{6}} = 8.24$$

4.- Zona Comercial

Lugar: Centro Comercial “Recreo”



MUESTRA 1

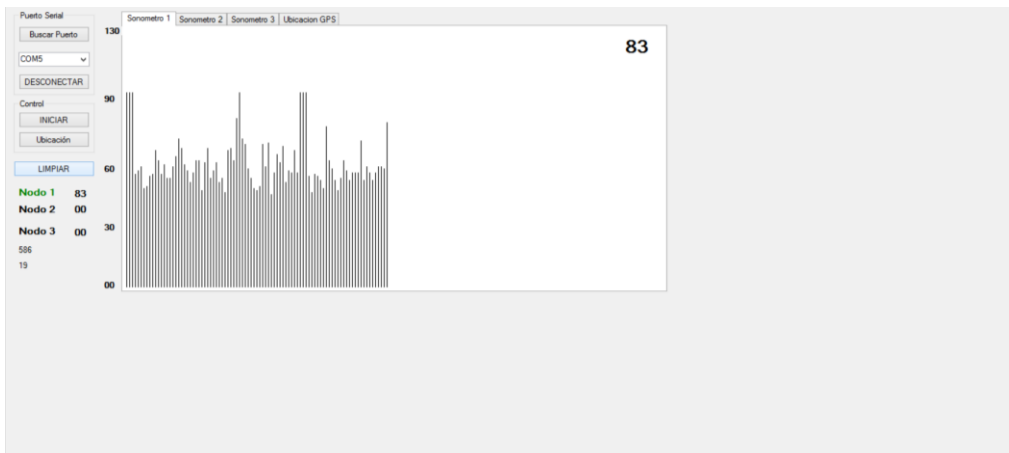
Nombre: Franklin Pantoja

Edad: 31 años

Fecha: 2017/05/02

Tiempo: 8^a (14:00)

Duración: 15 minutos



MUESTRA 2

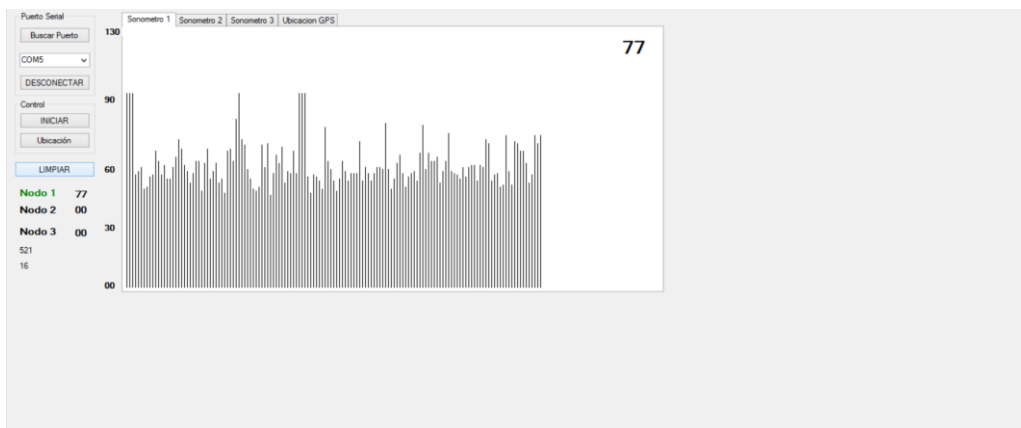
Nombre: Franklin Pantoja

Edad: 31 años

Fecha: 2017/05/07

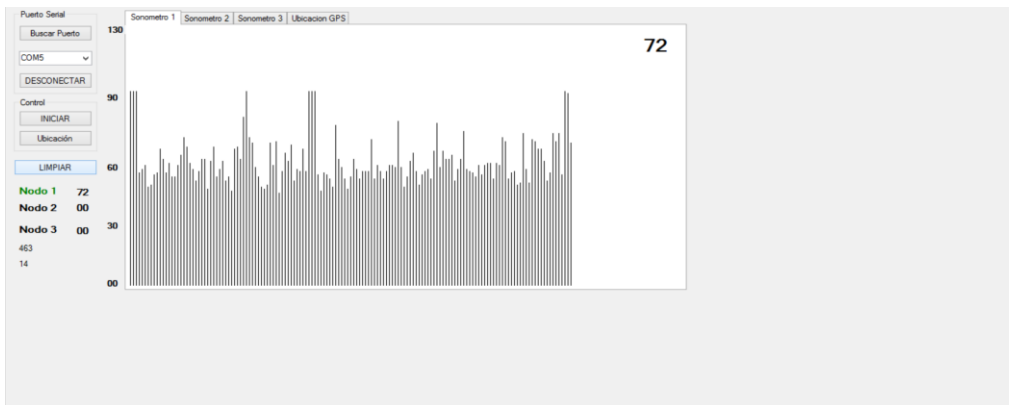
Tiempo: 6^a (12:00)

Duración: 20 minutos



MUESTRA 3

Nombre: Franklin Pantoja	
Edad: 31 años	Fecha: 2017/05/04
Tiempo: 9 ^a (15:00)	Duración: 25 minutos



MUESTRA 4

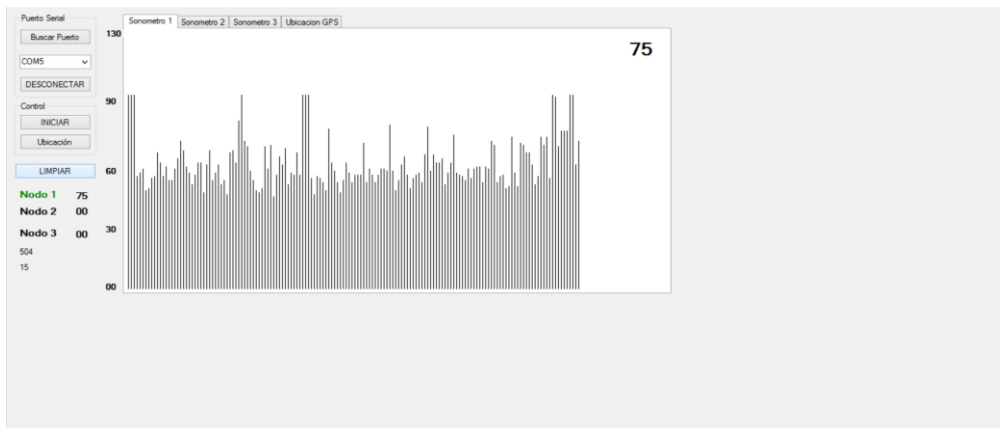
Nombre: Franklin Pantoja

Edad: 31 años

Fecha: 2017/05/01

Tiempo: 7^a (13:00)

Duración: 30 minutos



MUESTRA 5

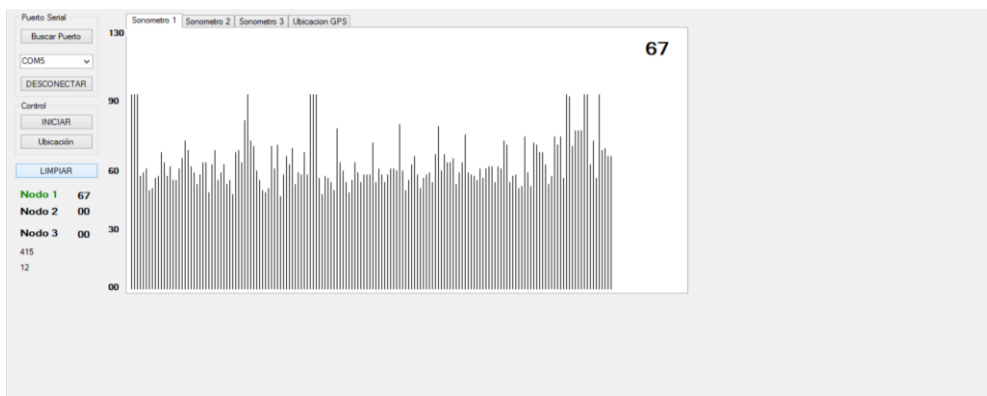
Nombre: Franklin Pantoja

Edad: 31 años

Fecha: 2017/05/06

Tiempo: 11^a (18:00)

Duración: 35 minutos



MUESTRA 6

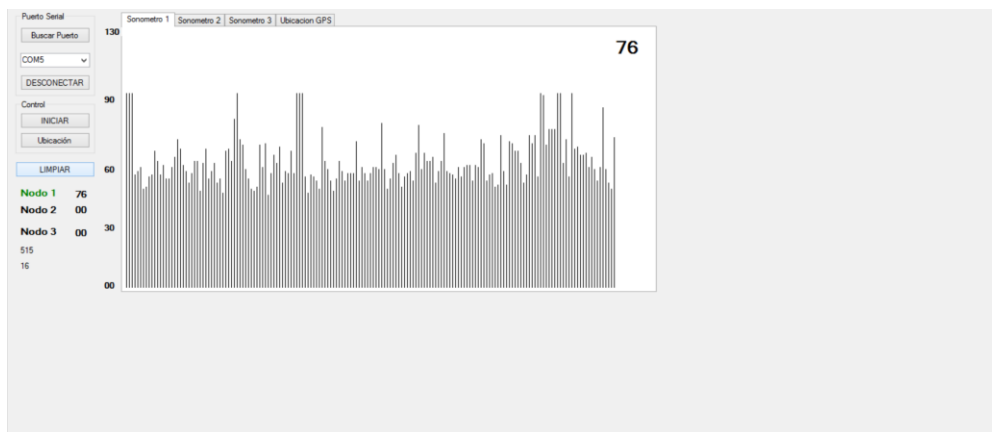
Nombre: Franklin Pantoja

Edad: 31 años

Fecha: 2017/05/05

Tiempo: 6^a (12:00)

Duración: 40 minutos



MUESTRA 7

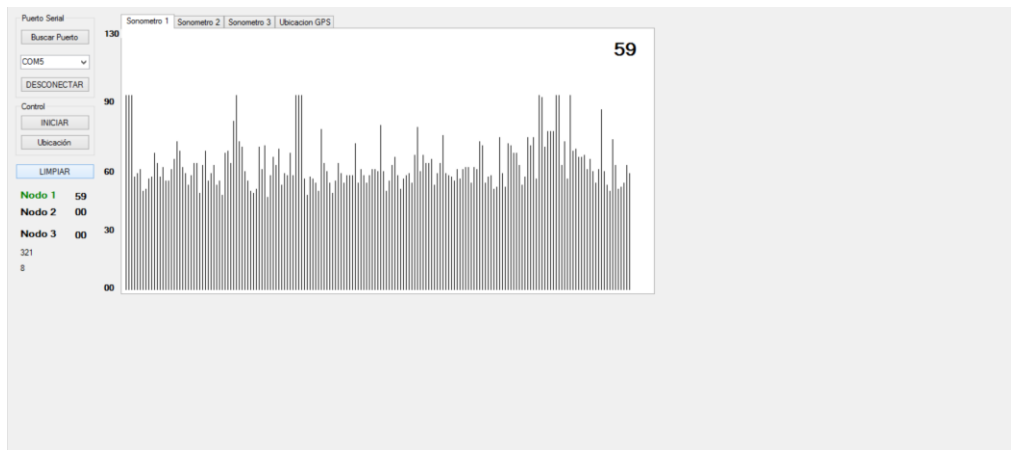
Nombre: Franklin Pantoja

Edad: 31 años

Fecha: 2017/05/03

Tiempo: 12^a (19:00)

Duración: 45 minutos



CÁLCULOS:

n1= 83	n2= 77	n3= 72	n4= 75	n5= 67	n6= 76	N7= 59
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Se aplica la Ecuación 8 que nos da la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente A:

$$LAeq = \frac{\sum Li}{ni}$$

$$LAeq = \frac{(83 + 77 + 72 + 75 + 67 + 76 + 59)}{7}$$

$$LAeq = \frac{509}{7}$$

$$LAeq = 72.71 \sim 61 \text{ dBA}$$

La desviación estándar según la Ecuación 9 es:

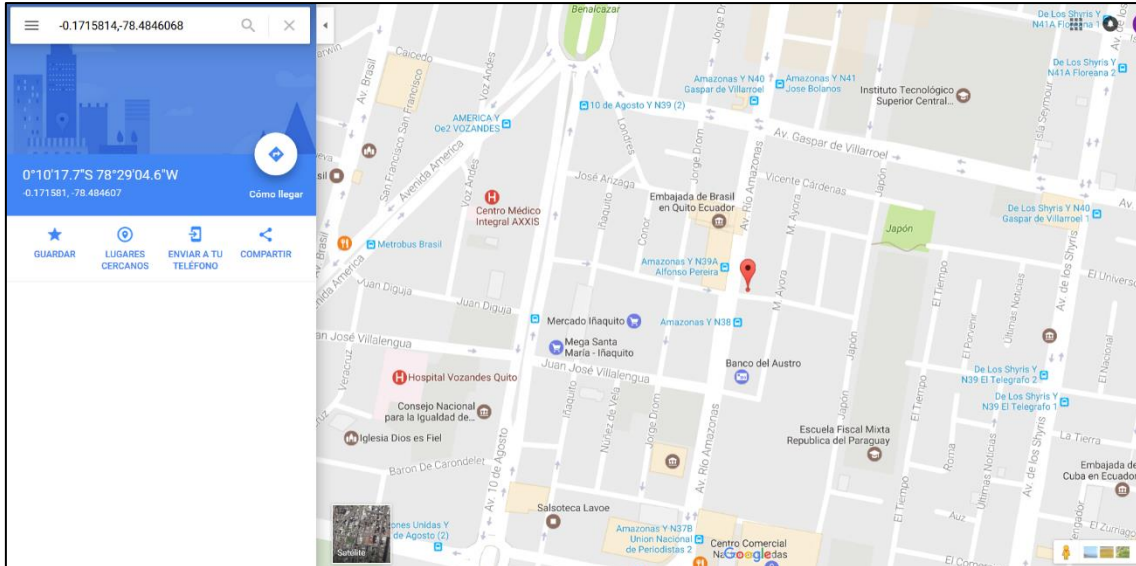
$$SL = \sqrt{\frac{\sum(Li - L)^2}{n - 1}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{(83 - 72.71)^2 + (77 - 72.71)^2 + (72 - 72.71)^2 + (75 - 72.71)^2 + (67 - 72.71)^2 + (76 - 72.71)^2 + (59 - 72.71)^2}{6}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{361.428}{6}} = 7.76$$

5.- Zona Industrial 1

Lugar: Empresa Puntonet “Call Center masivo”



MUESTRA 1

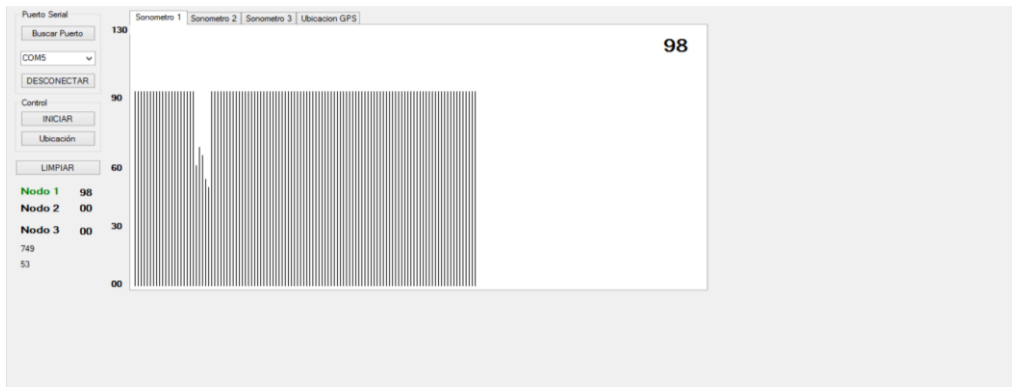
Nombre: Henry Aguirre

Edad: 32 años

Fecha: 2017/05/08

Tiempo: 11^a (18:00)

Duración: 15 minutos



MUESTRA 2

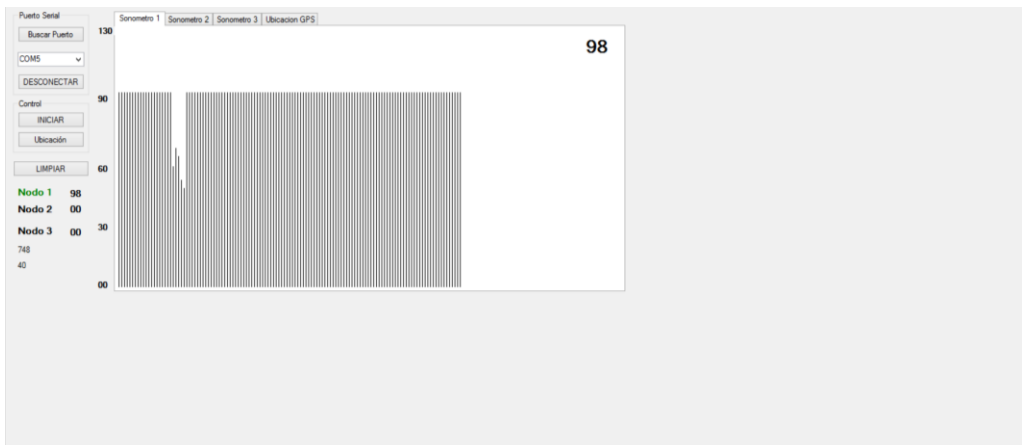
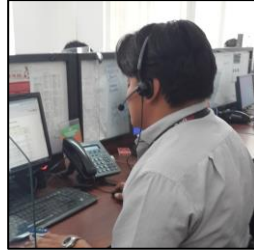
Nombre: Xavier Quinga

Edad: 28 años

Fecha: 2017/05/03

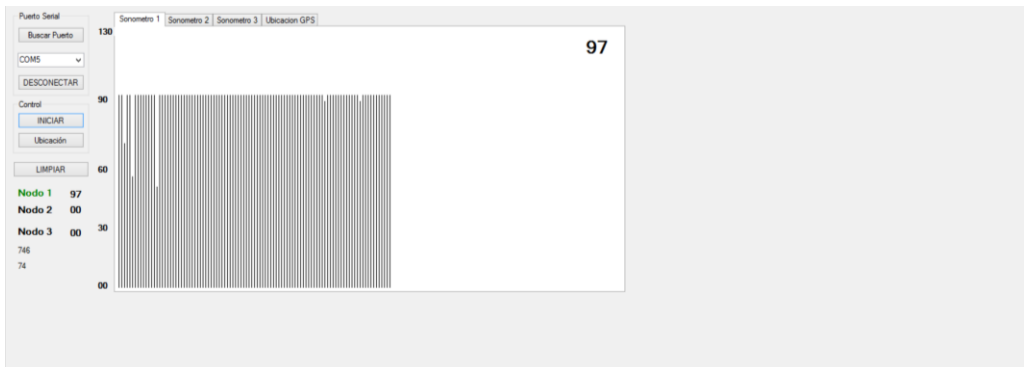
Tiempo: 10^a (17:00)

Duración: 20 minutos



MUESTRA 3

Nombre: Santiago Aushay	
Edad: 24 años	Fecha: 2017/05/06
Tiempo: 4ª (10:00)	Duración: 25 minutos



MUESTRA 4

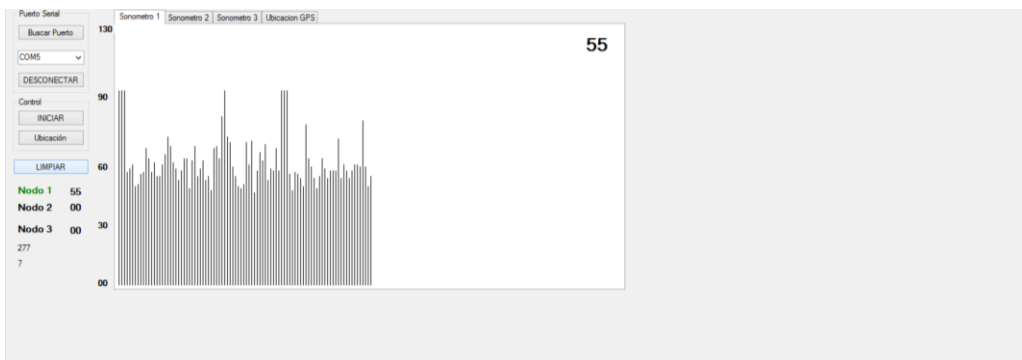
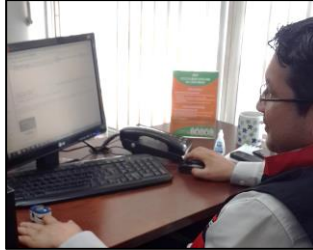
Nombre: Geovanny Terreros

Edad: 33 años

Fecha: 2017/05/04

Tiempo: 1^a (7:00)

Duración: 30 minutos



MUESTRA 5

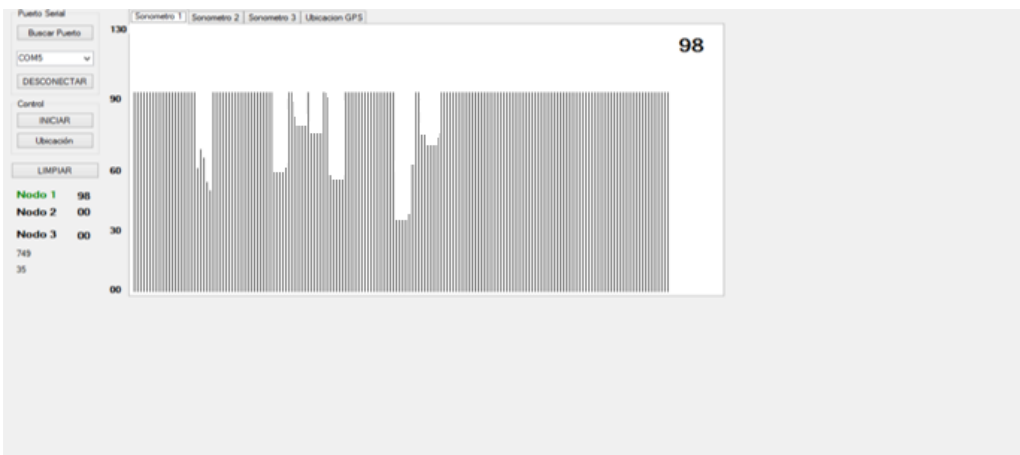
Nombre: José Gaibor

Edad: 28 años

Fecha: 2017/05/07

Tiempo: 4^a (10:00)

Duración: 35 minutos



MUESTRA 6

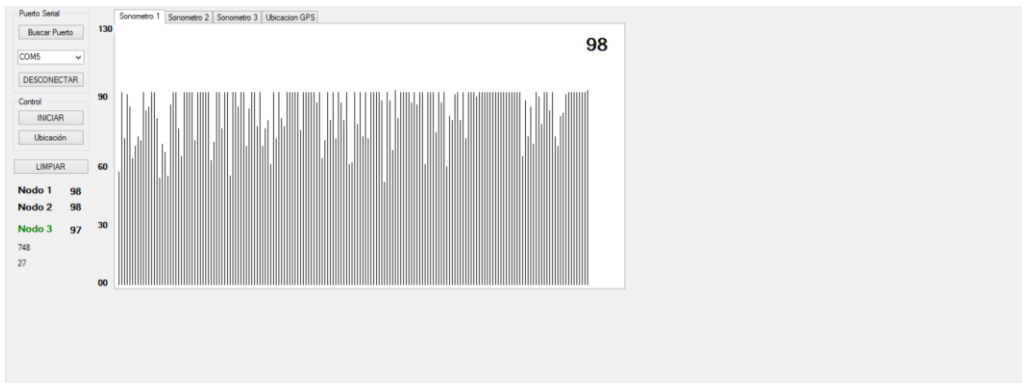
Nombre: Rony Viñachi

Edad: 26 años

Fecha: 2017/05/09

Tiempo: 7^a (13:00)

Duración: 40 minutos



MUESTRA 7

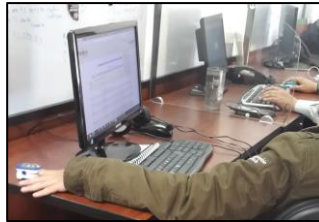
Nombre: Fernando Galarza

Edad: 29 años

Fecha: 2017/05/09

Tiempo: 1^a (7:00)

Duración: 45 minutos



CÁLCULOS:

n1= 98	n2= 98	n3= 97	n4= 55	n5= 98	n6= 98	N7= 52
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Se aplica la Ecuación 8 que nos da la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente A:

$$LAeq = \frac{\sum Li}{ni}$$

$$LAeq = \frac{(98 + 98 + 97 + 55 + 98 + 98 + 52)}{7}$$

$$LAeq = \frac{596}{7}$$

$$LAeq = 85.14 \sim 85 \text{ dBA}$$

La desviación estándar según la Ecuación 9 es:

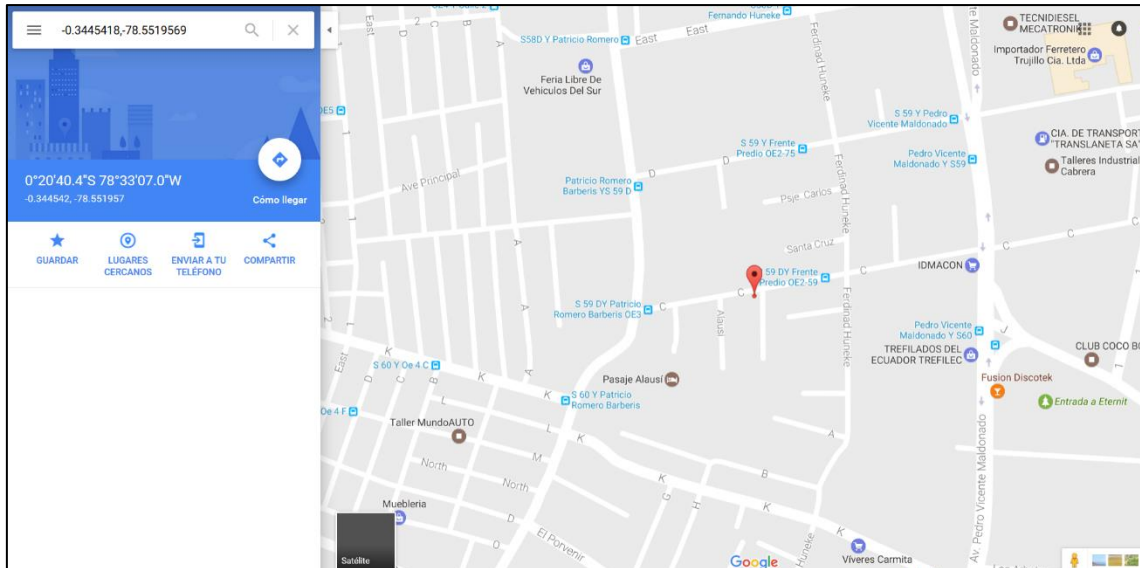
$$SL = \sqrt{\frac{\sum(Li - L)^2}{n - 1}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{(98 - 85.14)^2 + (98 - 85.14)^2 + (97 - 85.14)^2 + (55 - 85.14)^2 + (98 - 85.14)^2 + (98 - 85.14)^2 + (52 - 85.14)^2}{6}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{2680.0576}{6}} = 21.13$$

6.- Zona Industrial 2

Lugar: Taller Mecánico “Quito Sur”



MUESTRA 1

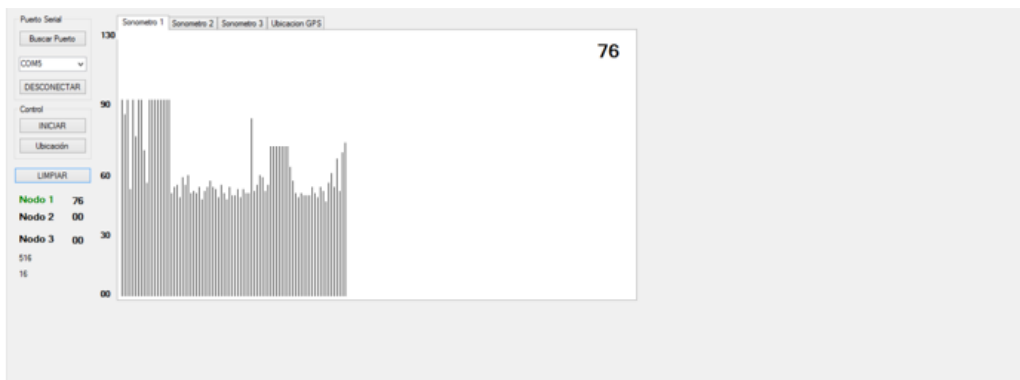
Nombre: Mario Cajamarca

Edad: 47 años

Fecha: 2017/05/08

Tiempo: 9^a (15:00)

Duración: 15 minutos



MUESTRA 2

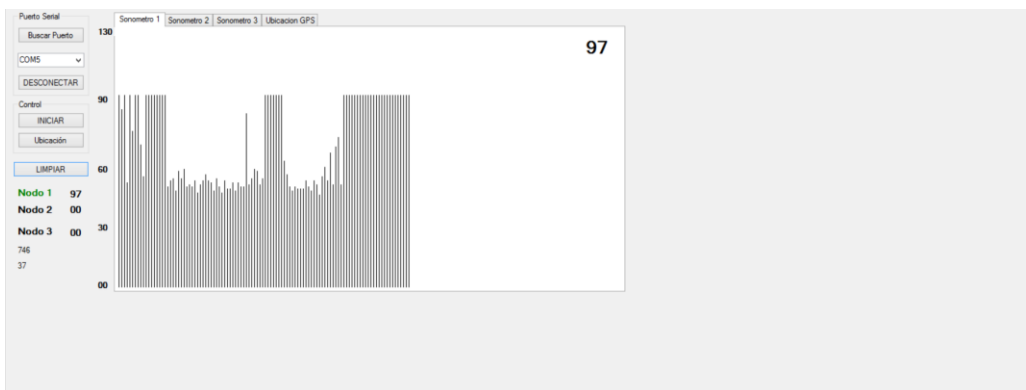
Nombre: Pablo López

Edad: 24 años

Fecha: 2017/05/04

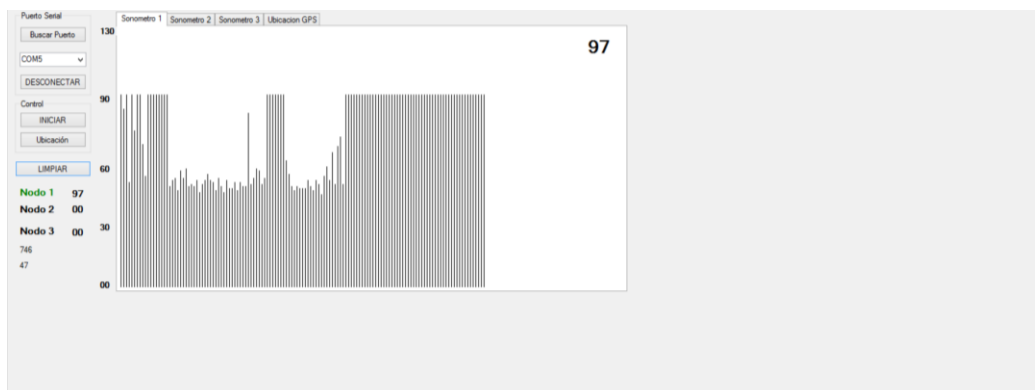
Tiempo: 7^a (13:00)

Duración: 20 minutos



MUESTRA 3

Nombre: Luis Cornejo	
Edad: 32 años	Fecha: 2017/05/07
Tiempo: 10 ^a (16:00)	Duración: 25 minutos



MUESTRA 4

Nombre: Felipe Pérez

Edad: 37 años

Fecha: 2017/05/03

Tiempo: 12^a (19:00)

Duración: 30 minutos



MUESTRA 5

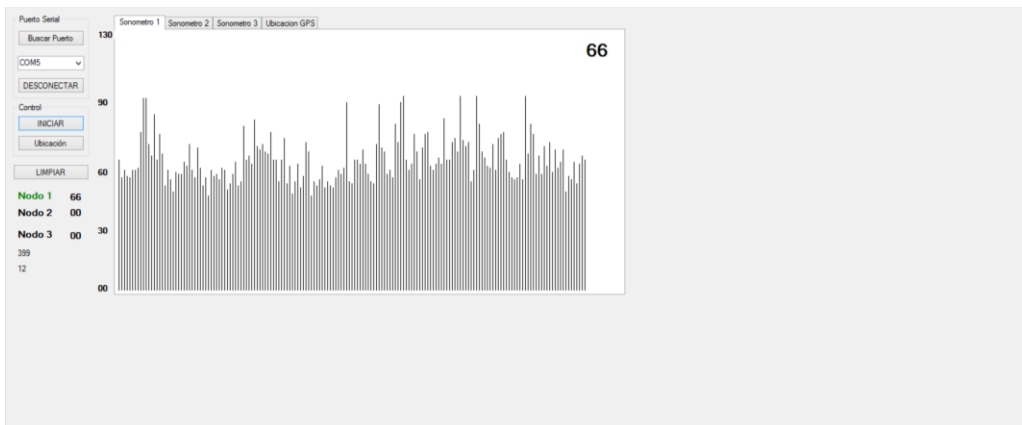
Nombre: Carlos Barrionuevo

Edad: 35 años

Fecha: 2017/05/09

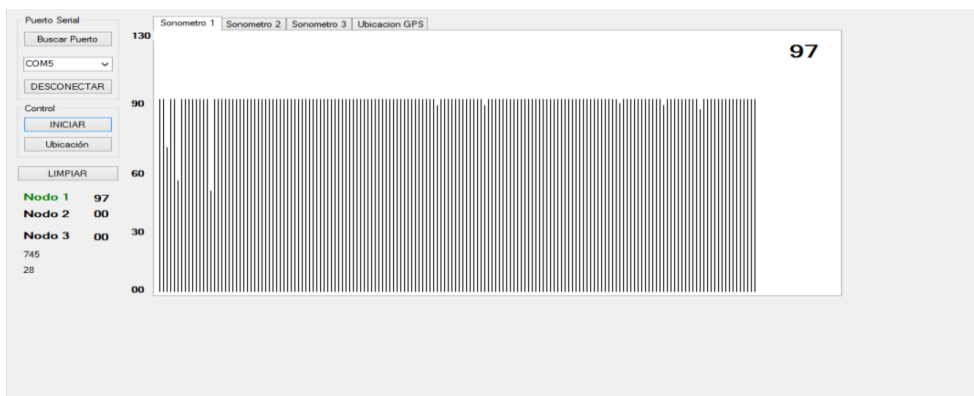
Tiempo: 11^a (18:00)

Duración: 35 minutos



MUESTRA 6

Nombre: Paúl Córdova	
Edad: 31 años	Fecha: 2017/05/06
Tiempo: 9ª (15:00)	Duración: 40 minutos



MUESTRA 7

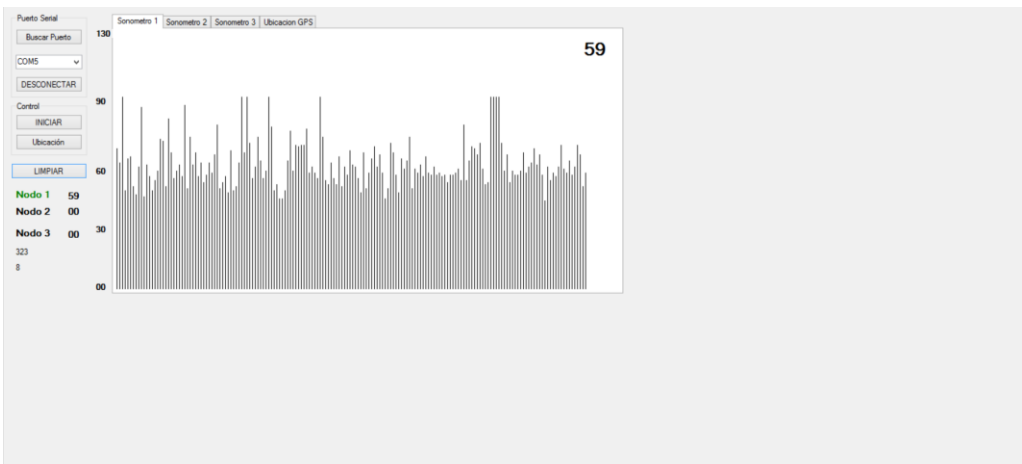
Nombre: Lenin Cornejo

Edad: 42 años

Fecha: 2017/05/05

Tiempo: 12^a (19:00)

Duración: 45 minutos



CÁLCULOS:

n1= 76	n2= 97	n3= 97	n4= 54	n5= 66	n6= 97	N7= 59
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Se aplica la Ecuación 8 que nos da la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente A:

$$LA_{eq} = \frac{\sum Li}{ni}$$

$$LA_{eq} = \frac{(76 + 97 + 97 + 54 + 66 + 97 + 59)}{7}$$

$$LA_{eq} = \frac{546}{7}$$

$$LA_{eq} = 78 \text{ dBA}$$

La desviación estándar según la Ecuación 9 es:

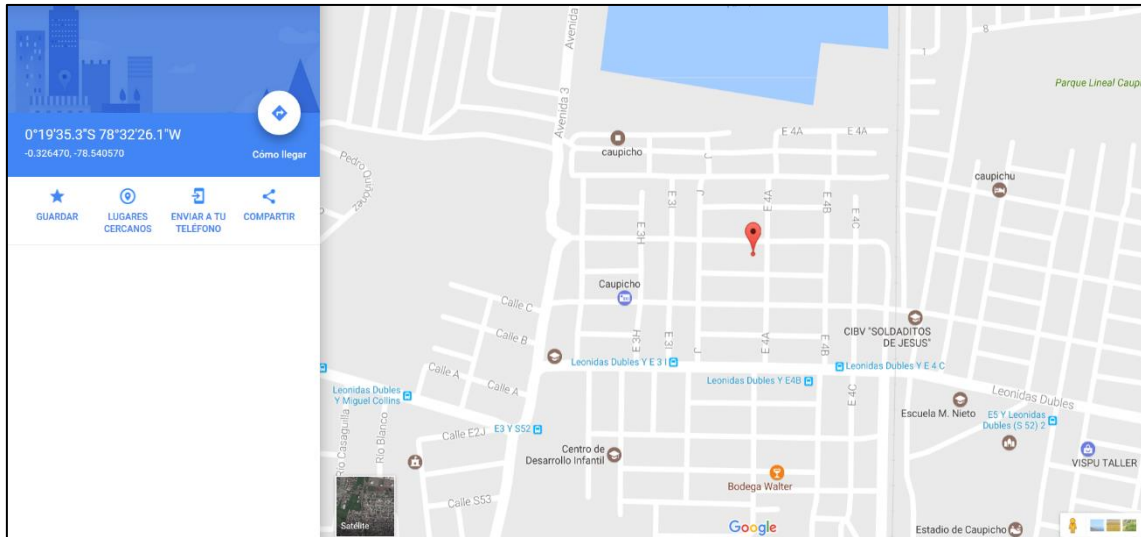
$$SL = \sqrt{\frac{\sum(Li - L)^2}{n - 1}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{(76 - 78)^2 + (97 - 78)^2 + (97 - 78)^2 + (54 - 78)^2 + (66 - 78)^2 + (97 - 78)^2 + (59 - 78)^2}{6}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{2168}{6}} = 19.008$$

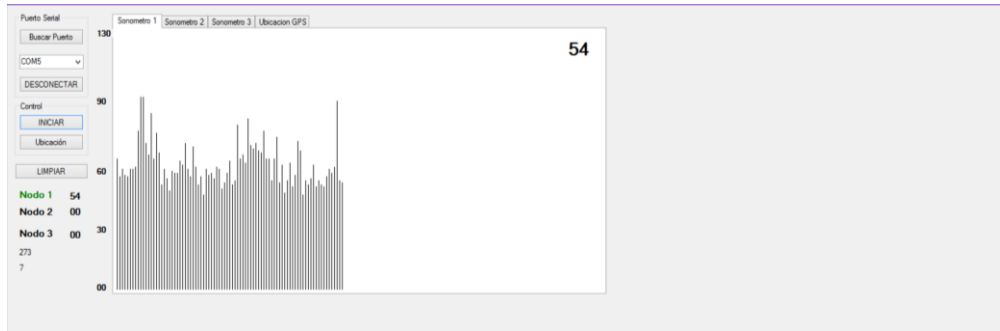
7.- Zona Industrial 3

Lugar: EP PETROECUADOR “TERMINAL BEATERIO”

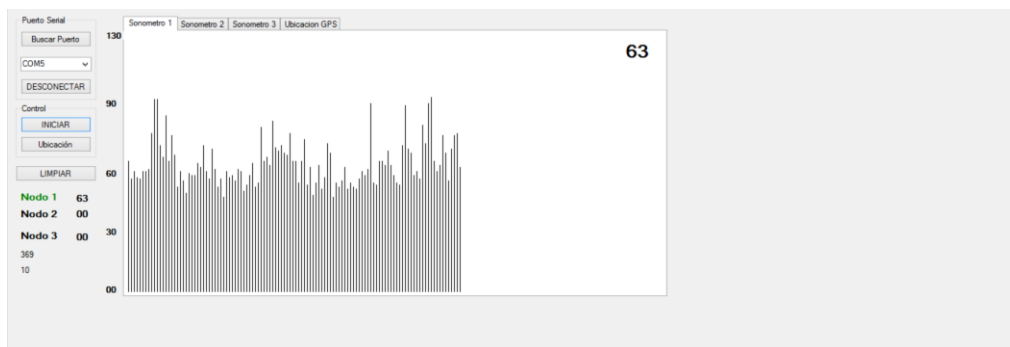


MUESTRA ÚNICA

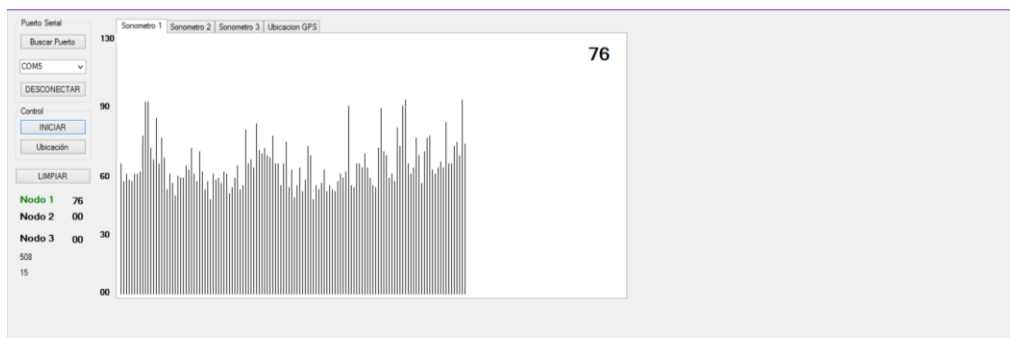
15 MINUTOS



20 MINUTOS

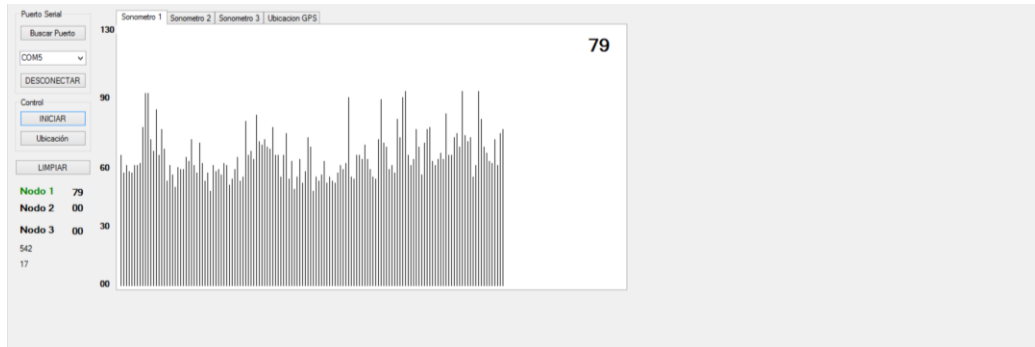


25 MINUTOS

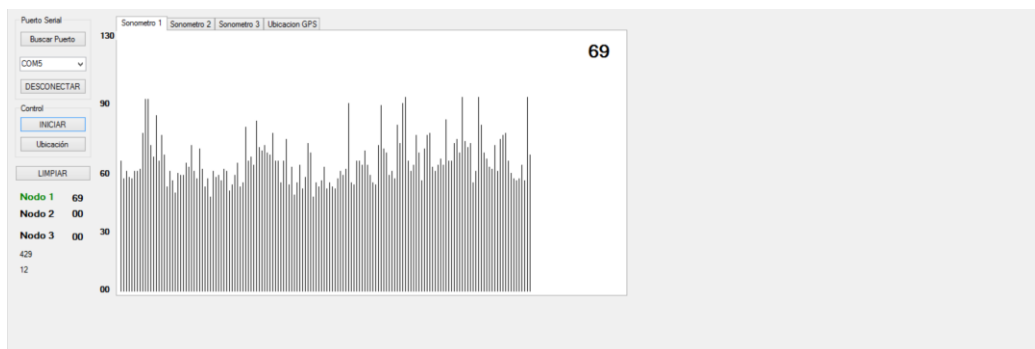


MUESTRA ÚNICA

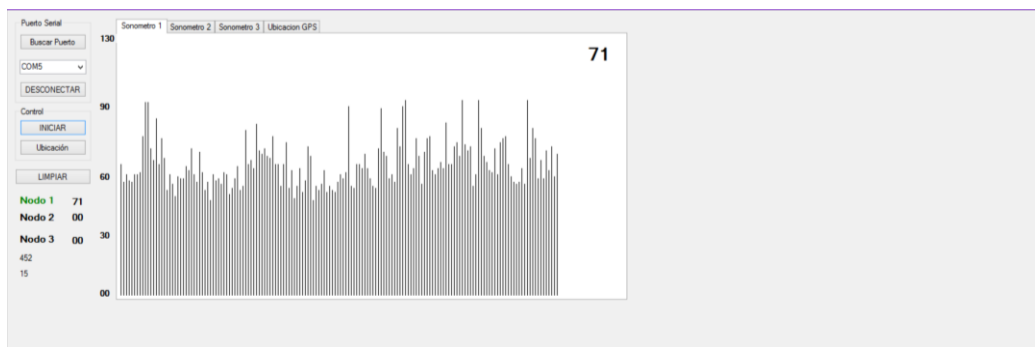
30 MINUTOS



35 MINUTOS

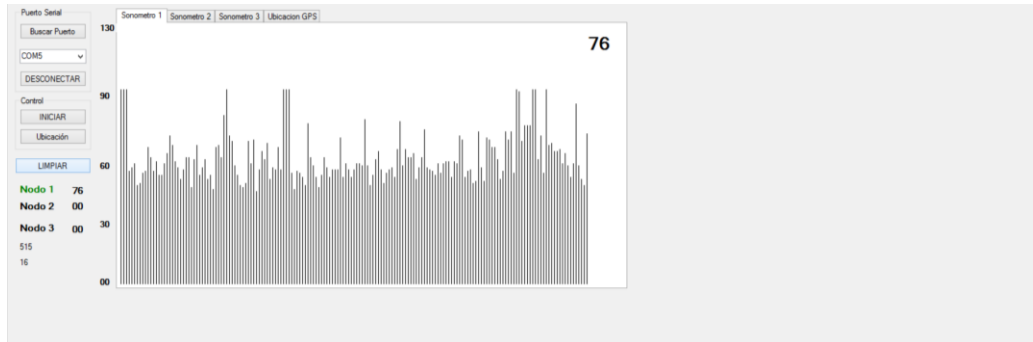


40 MINUTOS



MUESTRA ÚNICA

45 MINUTOS



Nombre: Galo Chavarrea

Edad: 33 años

Fecha: 2017/05/07

Tiempo: 7:30 – 12:30 (5 h)

Duración: Intervalo 15-45 minutos



MUESTRA ÚNICA

Nombre: Luis Galarza	
Edad: 34 años	Fecha: 2017/05/07
Tiempo: 7:30 – 12:30 (5 h)	Duración: Intervalo 15-45 minutos



CÁLCULOS:

n1= 54	n2= 63	n3= 76	n4= 79	n5= 69	n6= 71	N7= 76
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Se aplica la Ecuación 8 que nos da la estimación del nivel de presión acústica continuo equivalente A:

$$LA_{eq} = \frac{\sum Li}{ni}$$

$$LA_{eq} = \frac{(54 + 63 + 76 + 79 + 69 + 71 + 76)}{7}$$

$$LA_{eq} = \frac{488}{7}$$

$$LA_{eq} = 69.71 \sim 70 \text{ dBA}$$

La desviación estándar según la Ecuación 9 es:

$$SL = \sqrt{\frac{\sum(Li - L)^2}{n - 1}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{(54 - 69.71)^2 + (63 - 69.71)^2 + (76 - 69.71)^2 + (79 - 69.71)^2 + (69 - 69.71)^2 + (71 - 69.71)^2 + (76 - 69.71)^2}{6}}$$

$$SL = \sqrt{\frac{459.428}{6}} = 8.75$$

- **Ambientes Controlados**

MUESTRA ÚNICA

