



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
MULTIMODAL SONÓMETRO PARA MEDIR LA FRECUENCIA
DEL NIVEL SONORO EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIEROS EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORES: MARCIA ELIZABETH YUCTA INGUILLAY
EDUARDO GIOVANNY TENEZACA CARPIO
TUTOR: ING. OSWALDO MARTINEZ G. MSC.

Riobamba – Ecuador

2016

©2016, Marcia Elizabeth Yucta Inguillay y Eduardo Giovanni Tenezaca Carpio

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MULTIMODAL SONÓMETRO PARA MEDIR LA FRECUENCIA DEL NIVEL SONORO EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, de responsabilidad de los señores Marcia Elizabeth Yucta Inguillay, Eduardo Giovanni Tenezaca Carpio, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay PhD. DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Oswaldo Martínez DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Verónica Mora MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____
DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH	_____	_____

Nosotros, Marcia Elizabeth Yucta Inguillay, Eduardo Giovanni Tenezaca Carpio somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

MARCIA ELIZABETH YUCTA INGUILLAY

EDUARDO GIOVANNY TENEZACA CARPIO

DEDICATORIA

A Dios quien con su bendición me ha permitido culminar mi carrera profesional. Con mucho amor a mis padres quienes con su apoyo incondicional han estado siempre presentes en todo momento permitiéndome hacer realidad un sueño más en mi vida. Desde lo más profundo de mi corazón a mis abuelitos que siempre deseaban lo mejor para mi. A mis hermanos Patricio y Geovanny por su apoyo total en estos últimos años y principalmente a Danna quien me ha inspirado con su sonrisa para seguir adelante. A mi novio y amigos quienes me han brindado su apoyo y confianza total para esforzarme día a día.

Marcia

A Dios quien ha bendecido y ha guiado cada uno de mis pasos en este largo proceso compuesto de experiencias felices como tristes. A mis queridos padres que han depositado su confianza en mí, por sus sabios consejos que me han permitido no decaer a pesar de todas las adversidades que conlleva estar lejos del hogar. A mis maestros quienes con su sabiduría han sabido depositar en mi los conocimientos necesarios para poder seguir adelante en este camino que hoy no termina, sino al contrario acaba de empezar, por último pero no menos importante a mis amigos quienes me brindaron su amistad y cariño.

Eduardo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos salud y vida para esforzarnos día a día y hacer realidad uno de los sueños más anhelados para nosotros y padres. A nuestras familias por su apoyo absoluto y sabios consejos durante este largo camino de vida estudiantil.

Nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, maestros que forman parte de nuestra querida escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes que durante diez semestres de nuestra carrera profesional han impartido sus conocimientos en las aulas, anécdotas, consejos y sobre todo respeto.

A nuestro Director Ing. Geovanny Martínez por brindarnos su confianza y apoyo, académico y moral durante el desarrollo del trabajo, de la misma manera a la Ing. Verónica Mora por sus palabras sabias de amiga y maestra.

Y como no agradecer a nuestros compañeros, amigos quienes nos han brindado su apego en todo momento.

Marcia y Eduardo

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DETABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESÚMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1	MARCO TEÓRICO	7
1.1	Contaminación Ambiental	7
1.2	Contaminación Acústica	8
<i>1.2.1</i>	<i>El Sonido</i>	8
<i>1.2.2</i>	<i>El Ruido</i>	9
1.3	Decibel (dB)	10
1.4	Fuente fija	10
1.5	Instrumento y Norma de validación	11
<i>1.5.1</i>	<i>Sonómetro</i>	11
<i>1.5.1.2</i>	<i>Tiempo de Integración</i>	12
<i>1.5.1.3</i>	<i>Nivel de Presión Sonora</i>	13
<i>1.5.1.4</i>	<i>Nivel de Presión Sonora continuo equivalente (NPS_{eq})</i>	13
<i>1.5.2</i>	<i>Micrófonos</i>	13
<i>1.5.2.1</i>	<i>Micrófonos Dinámicos</i>	13
<i>1.5.2.2</i>	<i>Micrófonos de Condensador</i>	14
<i>1.5.3</i>	<i>Pre amplificación</i>	14
<i>1.5.4</i>	<i>Norma de validación</i>	15
1.6	Sensores	16
<i>1.6.1</i>	<i>Sensor de Temperatura</i>	16
<i>1.6.2</i>	<i>Sensor de Humedad</i>	17
1.7	Arduino	17
1.8	XBee	18
<i>1.8.1</i>	<i>Series módulo Xbee</i>	19
<i>1.8.2</i>	<i>Tipo de antenas Xbee</i>	20
<i>1.8.3</i>	<i>Arquitectura básica de una red Xbee</i>	21

1.8.4	Modos de operación	22
1.8.4.1	Modo de Recibir/Transmitir.....	22
1.8.4.2	Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode).....	23
1.8.4.3	Modo de Comando	23
1.8.4.4	Modo Idle	23
1.8.5	Elemento hardware adicional	23
1.8.6	Software X-CTU	24
1.9	Redes de Sensores Inalámbricas	25
1.9.1	Elementos de una WSN	26
1.9.1.1	Nodo Sensores.....	26
1.9.1.2	Nodo (Motas)	26
1.9.1.3	Gateway o Puerta de Enlace.....	26
1.9.1.4	Estación Base	27
1.9.2	Elementos de un nodo	27
1.9.2.1	Fuente de Poder	27
1.9.2.2	Sensores	28
1.9.2.3	Procesador	28
1.9.2.4	Radio	28
1.9.3	Características principales de una WSN	28
1.9.4	Aplicaciones de una WSN	29
1.10	Protocolos de ruteo en WSN	31
1.10.1	Clasificación Basada en la Estructura de la Red	31
1.10.1.1	Ruteo Plano (Flat routing).....	31
1.10.1.2	Ruteo Jerárquico (Hierarchical routing).....	32
1.10.1.3	Ruteo basado en la Localización (Location-based routing)	32
1.10.2	Clasificación Basada en la Operación del Protocolo	33
1.10.2.1	Enrutamiento basado en la Negociación	33
1.10.2.2	Enrutamiento basado en Múltiples Rutas	33
1.10.2.3	Enrutamiento basado en Consultas	33
1.10.2.4	Enrutamiento basado en Calidad de Servicio.....	34
1.10.2.5	Enrutamiento basado en Coherencia.....	34
1.11	El estándar IEEE 802.15.4	34
1.126	LoWPAN	36
1.12.1	Arquitectura 6LoWPAN	37
1.12.2	Características	38
1.12.3	Aplicaciones	39
1.13	LabVIEW	40

1.13.1	<i>Definición</i>	40
1.13.2	<i>Áreas de Aplicación</i>	40
1.13.3	<i>Beneficios del Software</i>	40
CAPITULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	43
2.1	Desarrollo Ingenieril	43
2.1.1	<i>Diseño y desarrollo del prototipo Sonómetro</i>	44
2.1.1.1	<i>Amplificador</i>	45
2.1.2	<i>Desarrollo de prototipo Sonómetro en LabVIEW</i>	47
2.1.2.1	<i>Recepción de Datos</i>	47
2.1.2.2	<i>Calibración de Sonómetro</i>	50
2.1.2.3	<i>Diagrama de bloques de la WSN Sonómetro</i>	51
2.2	Diseño de la red WSN con 6LoWPAN	51
2.2.1	<i>Diseño de Hardware</i>	52
2.2.1.1	<i>Proceso de Sensado</i>	53
2.2.1.2	<i>Proceso de Transmisión de datos</i>	56
2.2.1.3	<i>Procesamiento y Almacenamiento de información</i>	58
2.2.2	<i>Diseño de Software</i>	59
2.2.2.1	<i>Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Arduino</i>	59
2.2.2.2	<i>X-CTU</i>	59
CAPITULO III		
3	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN	62
3.1	Descripción de las zonas seleccionadas	62
3.2	Análisis de Resultados	63
3.2.1	<i>Características Técnicas del prototipo Sonómetro</i>	63
3.2.2	<i>Generación de Reportes</i>	64
3.2.3	<i>Medidas Realizadas</i>	65
3.3	Validación de Resultados	69
CONCLUSIONES		75
RECOMENDACIONES		76
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Características IEEE 802.15.4.....	35
Tabla 1-2	Características Técnicas Micrófono EVL TDM-220.....	46
Tabla 2-2	Especificaciones Técnicas DTH11.....	55
Tabla 2-3	Especificaciones Técnicas Arduino Mega 2560.....	57
Tabla 2-4	Características Técnicas Módulo XBee Pro S1.....	59
Tabla 3-1	Configuración para las Mediciones.....	70
Tabla 3-2	Datos comparativos de los Sonómetros.....	71
Tabla 3-3	Datos comparativos de los Sonómetros	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Representación gráfica de una oscilación.....	8
Figura 2-1	Curvas de ponderación A, B y C.....	12
Figura 3-1	Pre amplificación.....	15
Figura 4-1	Entorno programación de Arduino.....	17
Figura 5-1	Conexiones básicas Xbee.....	18
Figura 6-1	Antenas Xbee.....	21
Figura 7-1	Topologías de red con Xbee.....	22
Figura 8-1	Modo de operación.....	22
Figura 9-1	XBee Shield.....	24
Figura 10-1	Programador para XBee.....	24
Figura 11-1	Interfaz Software X-CTU.....	25
Figura 12-1	Red WSN y sus elementos.....	26
Figura 13-1	Elementos que compone un nodo WSN.....	27
Figura 14-1	Fuente de energía.....	27
Figura 15-1	Ciudad inteligente.....	30
Figura 16-1	Clasificación de los Protocolos de Ruteo en WSN.....	31
Figura 17-1	Stack de protocolos IP y 6LoWPAN.....	36
Figura 18-1	Arquitectura 6LoWPAN.....	37
Figura 19-1	Aplicación para monitorear el estado físico de las personas.....	39
Figura 1-2	Sistema general desarrollo prototipo Sonómetro	44
Figura 2-2	Diagrama de bloques del algoritmo para programar en LabVIEW	45
Figura 3-2	SAMSON MDR624.....	46
Figura 4-2	Circuito conversor AC /DC y Sensor Humedad Temperatura Dht11.....	47
Figura 5-2	Diseño impreso.....	47
Figura 6-2	Presentación proponentes en LabVIEW.....	48
Figura 7-2	Recepción de datos.....	49
Figura 8-2	Sincronización de tiempo.....	49
Figura 9-2	Buffer almacenamiento de datos.....	49
Figura 10-2	Transformada de Fourier.....	50
Figura 11-2	Velocidad de muestreo según IEC 61672-1.....	50
Figura 12-2	Parámetros norma IEC 61672-1.....	51
Figura 13-2	Calibración prototipo Sonómetro.....	51
Figura 14-2	Diagrama de bloques WSN en prototipo Sonómetro	52

Figura 15-2	Esquema red WSN con 6LoWPAN	52
Figura 16-2	Nodo Transmisor.....	53
Figura 17-2	Nodo Receptor.....	54
Figura 18-2	Sensor Humedad Temperatura Dht11.....	54
Figura 19-2	Modelo: MCA01328A.....	56
Figura 20-2	Funciones interfaz del GPS Shield.....	56
Figura 21-2	Arduino Mega 2560.....	57
Figura 22-2	Módulo XBee Pro S1.....	58
Figura 23-2	Shield XBee Arduino.....	59
Figura 24-2	Equipo Administrador.....	59
Figura 25-2	Conexión Arduino Mega 2560.....	60
Figura 26-2	Software X-CTU.....	60
Figura 27-2	PC Settings.....	61
Figura 28-2	Range Test.....	61
Figura 29-2	Terminal.....	62
Figura 30-2	Modem Configuration.....	62
Figura 1-3	Localización de las mediciones.....	63
Figura 2-3	Reporte calles Olmedo y Carabobo.....	65
Figura 3-3	Reporte calles José Orozco y Cristóbal Colon.....	65
Figura 4-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	66
Figura 5-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	66
Figura 6-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	67
Figura 7-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	67
Figura 8-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	68
Figura 9-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	68
Figura 10-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	69
Figura 11-3	NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max.....	69
Figura 12-3	Prototipo Sonómetro vs Aplicación en Samsung Galaxy S4 Mini.....	70
Figura 13-3	Prototipo Sonómetro vs Aplicación en Sony Xperia M4 Aqua.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. MDR624 - Samson

ANEXO B. Medición calles Olmedo y Carabobo

INDICE DE ABREVIATURAS

ACK	Acknowledgement
ACQUIRE	Active Query Forwarding in Sensor Networks
ADC	Conversión Analógica/Digital
AES	Advanced Encryption Standard
API	Application Program Interface
AT	Adaptador Terminal
CO2	Dióxido de Carbono
CSMA/CA	Carrier Sense Múltiple Access Collision Avoidance
dB	Decibel
DLL	Capa de Enlace de Datos
GAF	Geographic Adaptive Fidelity
GEAR	Geographic and Energy Aware Routing
GOAFR	Greedy Other Adaptive Face Routing
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
IDE	Integrated Development Environment
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
IETF	Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet
IP	Protocolo de Internet
IPv6	Protocolo de Internet versión 6
ISM	Industrial, Scientific, Medical
LEACH	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy
LoWPAN	Low-Power Wireless Personal Area Networks
MCFA	Minimum Cost Forwarding Algorithm
MECN	Small Minimum Energy Communication Network
NPS	Nivel de Presión Sonora
NPSeq	Nivel de Presión Sonora equivalente
OMS	Organización Mundial de la Salud
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos
OS	Sistema Operativo
PC	Computadora Personal
PEGASIS	Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems
PHY	Capa Física

PWM	Pulse Width Modulation
QoS	Calidad de Servicio
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio
RF	Radio Frecuencia
ROLL	Routing over Low-power and Lossy Networks
RTD	Detector de Resistencia de Temperatura
Rx	Recepción
SAR	Sensor Aggregates Routing
SFE	SparkFun Electronics
SPIN	Sensor Protocols for Information via Negotiation
S1	Serie 1
S2	Serie 2
TCP	Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet
TEEN	Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol
TTL	Transistor Transistor Logic
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria
Tx	Transmisión
UDP	User Datagram Protocol
USB	Universal Serial Bus
UPS	Suministro ininterrumpido de energía
WSN	Redes de Sensores Inalámbricos
WPAN	Red Inalámbrica de Área Personal
6LoWPAN	IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks

RESÚMEN

Se diseñó e implementó un prototipo multimodal sonómetro para medir la frecuencia del nivel sonoro en la ciudad de Riobamba. Para este fin, se muestra el desarrollo del sistema de adquisición del nivel de presión sonora en dos puntos localizados por un GPS, con el propósito de ser una herramienta fundamental para el análisis y estudio de la contaminación auditiva. El instrumento de medida se caracteriza por permitir el registro y la visualización de la temperatura y humedad del ambiente en tiempo real. Por otro lado el dispositivo de medida se desarrolló teniendo en cuenta la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 61672-1 y características fundamentales de un sonómetro. Para el diseño e implementación del prototipo sonómetro, se construyó un nodo sensor transmisor y otro nodo receptor, basado en hardware Arduino que envía información mediante reportes continuos, desarrollada mediante el ambiente gráfico de programación Labview. Se realizó el sistema de comunicación de datos a través de comunicación serial utilizando dos módulos Xbee mediante el protocolo 6LoWPAN basadas sobre el estándar (IEEE 802.15.4), en una red de sensores inalámbrica (WSN), la duración de cada medición fue de 10 min en periodos considerados de mayor ruido por el centro de la ciudad de Riobamba. Para la validación de los resultados obtenidos se comparó con información de aplicación sonómetros en el celular Samsung Galaxy S4 Mini y Sony Xperia M4 Aqua. Como resultado se obtuvo que el sistema propuesto brinda información semejante a un sonómetro clase 2 existente en el mercado comercial de acuerdo a la norma IEC 61672, en un 99% de efectividad y fiabilidad, al momento de obtener los niveles sonoros. Se concluye que el prototipo brinda confiabilidad para realizar mediciones en zonas urbanas con facilidad de comunicación. Se recomienda utilizar el prototipo sonómetro a la ESPOCH-FIE para determinar los niveles de ruido en el ambiente de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5, debido a su versatilidad y bajo costo.

Palabras claves: TELECOMUNICACIONES Y REDES < SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL [GPS]>, < COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL [IEC]>, <RED INALÁMBRICA DE AREA PERSONAL DE BAJA POTENCIA SOBRE IPV6 [6LOWPAN]>, < INSTITUTO DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA [IEEE]>, < RED DE SENSORES INALÁMBRICOS [WSN]>, < TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL DE SECUNDARIA [TULAS]>

SUMMARY

A multimodal sound level meter prototype was implemented to measure the frequency of the sound level in the city of Riobamba. For this purpose, it is shown the development of the acquisition system sound pressure level at two points located by GPS, in order to be an essential tool for the analysis and study of noise pollution. The measuring instrument is characterized by allowing the registration and display of temperature and humidity in real time. On the other hand the measuring device was developed taking into account the standard of International Electrical Commission IEC 61672-1 and fundamental characteristics of a sound level meter. For the design and implementation of sound level meter prototype, it was built a sensor transmitter node and a receiving node, based on Arduino hardware which sends information through continuous reports, developed by LabVIEW graphical programming environment. The data communication system was made through serial communication using two XBee modules using the 6LOWPAN protocol based on the standard (IEEE 802.15.4) in a wireless sensor network (WSN), the duration of each measurement was 10 minute periods considered most noise in the downtown area of Riobamba. For validation of the result obtained it was compared with the information of the sound level meter application on the smartphone Samsung Galaxy S4 mini and Sony Aqua. As a result was obtained that the proposed system offered information similar to a sound level meter class 2 existing in the market according to the IEC 61672 standard, with 99% of efficiency and reliability, when getting the sound levels. It is concluded that the prototype provides reliability for measurements in urban areas with ease of communication. It is recommended to use the sound level meter prototype in ESPOCH-FIE to determine noise levels in the environment according to the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (UTSEL) BOOK VI Annex 5, due to its versatility and low cost.

Keywords: TELECOMMUNICATIONS AND NETWORKS < GLOBAL POSITIONING SYSTEM [GPS]>, < INTERNATIONAL ELECTRO TECHNICAL COMMISSION [IEC]>, <LOW POWER WIRELESS PERSONAL AREA NETWORK ON IPV6 [6LOWPAN]>, < INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS [IEEE]>, <WIRELESS SENSOR NETWORK [WSN]>, < UNIFIED TEXT OF SECONDARY ENVIRONMENTAL LEGISLATION [TULAS]>

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la contaminación auditiva ha incrementado, debido al rápido crecimiento económico, la expansión demográfica y las grandes concentraciones urbanas creando una serie de condiciones que afectan, en mayor o menor cuantía, la calidad del medio ambiente. Es así que el ruido es uno de los “contaminantes” a los que se han dedicado hasta ahora menos atención. Esta situación está motivada fundamentalmente por el hecho de que, en general, su peligrosidad no es inmediata. El crecimiento incesante del ruido que si no se le pone a este elemento se puede convertir en una de las mayores fuentes de malestar de la vida moderna.

El ruido es un problema en la actualidad que la mayor parte de las personas no le dan importancia lo que permite que siga creciendo debido a este desinterés si no se toma atención las consecuencias serán más notorias en un futuro. El estrés es una enfermedad resultado del exceso del nivel de ruido. Pero como ayudar a las autoridades de la ciudad a tomar decisiones tales como en qué parte ubicar zonas verdes, zonas industriales, centros médicos.

Para prevenir posibles patologías que se podrían originar por el ruido es tomar conciencia de su peligro y tener dispositivos efectivos que permitan cuantificar el nivel sonoro al que una persona se expone. En base a estas consideraciones se plantea abordar el problema de ruido para tomar conciencia del peligro que representa; y, lo más importante, ofrecer un instrumento que permita medir lo más fielmente el nivel de ruido. Si bien en la actualidad existen una gran variedad de instrumentos que realizan esta función; sin embargo son bastantes costosos.

A raíz del problema de la contaminación auditiva y al tener en cuenta el costo de sonómetros existentes en el mercado, se desarrolla un prototipo multimodal sonómetro para medir la frecuencia del nivel sonoro en la ciudad de Riobamba que se produce actualmente. Instrumento de medida económicamente conveniente, de fácil adquisición, manejable y sin equipamiento complejo, capaz de realizar las mismas funciones semejantes a un sonómetro tipo 2 en base a la norma de validación IEC 61672-1.

El sonómetro diseñado servirá para determinar los niveles de ruido en el ambiente, existentes por el centro de la ciudad de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5; dos puntos de medición determinados por un GPS.

El presente trabajo se caracteriza por utilizar diferentes tecnologías, red inalámbrica de sensores (WSN) y 6LoWPAN. Además se utiliza una PC portátil como herramienta primordial para

desarrollar las señales de sonido, cumpliendo parámetros especificados en la norma IEC 61671-1. Se implementara el software LabVIEW desarrollado por la compañía National Instruments. La gran ventaja de este lenguaje radica en que su ambiente de programación es amistoso con el usuario, ya que es una programación orientada a objetos.

ANTECEDENTES

El crecimiento económico, la expansión demográfica y las grandes concentraciones urbanas crean una serie de condiciones que afectan, en mayor o menor cuantía, la calidad del medio ambiente. Entre otros factores, el desarrollo incontrolado de las actividades del hombre en el seno de las sociedades industrializadas, originan la contaminación del aire y del agua, la desaparición de zonas verdes, el aumento de la radiactividad ambiental y *el crecimiento incesante del ruido*. Si no se pone fin a su crecimiento, este último elemento se puede convertir en una de las mayores fuentes de malestar de la vida moderna. Para monitorear los niveles de ruido existe el *sonómetro o decibelímetro* que es un instrumento que permite medir el nivel de presión acústica (expresado en dB). Está diseñado para responder al sonido casi de la misma forma que el oído humano y proporcionar mediciones objetivas y reproducibles del nivel de presión acústica.

En la actualidad existen una gran variedad de instrumentos que permiten medir el nivel sonoro; la elección de un instrumento en particular depende de varios factores determinados ya sea por el tipo de ruido y el ambiente donde se han de realizar las mediciones, así, como también por la rigurosidad en bandas de frecuencias, entre los equipos más habituales para la medida del sonido encontramos al sonómetro, instrumento que mide el nivel de presión sonora en dB. Los sonómetros más modernos presentan directamente el nivel de presión sonora equivalente de cualquier ruido y el nivel sonoro continuo equivalente diario. Estos equipos por su tamaño son portátiles, lo cual permite medir todo tipo de ruidos expuestos de trabajos fijos como móviles.

El ruido es uno de los “contaminantes” a los que se han dedicado hasta ahora menos atención. Esta situación está motivada fundamentalmente por el hecho de que, en general, su peligrosidad no es inmediata. En efecto, salvo a situaciones excepcionales, los niveles de ruido a los que está sometido el hombre moderno no son lo suficientemente elevados como para atentar gravemente contra su salud. En este mismo sentido cabe señalar también el hecho de que el ruido está asociado a ciertas funciones que consideramos indispensables en nuestra vida actual. La utilización del sonómetro puede ayudar a crear conciencia necesaria para bajar los niveles de exposición al ruido. Existen diferentes tipos de sonómetros los cuales se clasifican según su grado de precisión en clase 0, 1, 2 y 3 siendo la clase 0 los de mayor precisión utilizados como

patrones, los de clase 1 son usados como los de precisión, los de clase 2 son de precisión y uso general y los de clase 3 son solo de inspección

El impacto que causa la investigación es tecnológico porque es un diseño de prototipo sonómetro utilizando 6LoWPAN para medir la frecuencia del nivel sonoro. Debido que a partir del desarrollo económico micro empresarial en Ecuador como por ejemplo: en la ciudad de Riobamba el ambiente se ve desequilibrado, por varios procesos contaminantes debido a diferentes métodos de nuevas tecnologías; uno de los contaminantes es el ruido. Es así que la ciudad está expuesta al ruido por diversas fuentes propias de desarrollo, las molestias provenientes de este contaminante se incrementa cada día más en todos los sectores, básicamente en el céntrico por la afluencia de vehículos y peatones que provocan congestión y ruido.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Justificación Teórica

La presente investigación se enfoca a estudiar y utilizar la tecnología 6LoWPAN para medir los niveles de frecuencia a los que están expuestos los habitantes de la ciudad de Riobamba permitiendo poner en alerta a los departamentos de inspección de la ciudad con los resultados que se obtendrán de las mediciones. Existen estudios realizados en la ciudad de Quito en la Escuela Politécnica Nacional por Héctor Manuel Hernández Hidalgo y Roberto Javier Torres Páez en el Diseño y Construcción de un Sonómetro Integrador que Trabaja con Ponderaciones de Frecuencia A y C con el cual se realizó medidas en diferentes ambientes de la ciudad como en un taller de mecánica industrial, taller de carpintería, oficina, salón de clase y en un patio de colegio, sin embargo el presente proyecto se trata del diseño e implementación de un prototipo de sonómetro utilizando 6LoWPAN con un módulo de localización para realizar mediciones en la ciudad de Riobamba.

El diseño e implementación del prototipo sonómetro mediante sensores inalámbricos se obtendrá valores de la frecuencia del nivel de ruido en diferentes puntos localizados mediante un GPS en la ciudad de Riobamba y utilizando tecnología abierta para que sea procesado en un computador.

En el 2002, la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC por sus siglas en inglés, publicó la norma IEC 61672 parte 1, la cual establece las nuevas especificaciones para la fabricación de

los sonómetros, anulando y reemplazando, por consiguiente, a las normas IEC 60651 e IEC 60804.

El presente trabajo definirá como Norma de validación:

IEC 61672-1 publicada en el 2002, la norma IEC 61672, que especifica la característica de aplicación en sonómetros convencionales. Esta característica definirá los alcances entre $3 \pm 1,5$ dB con aplicaciones de reconocimiento de los niveles sonoros para determinar si se han violado los límites de ruido establecidos.

El ruido es un problema en la actualidad que la mayor parte de las personas no le dan importancia lo que permite que siga creciendo debido a este desinterés si no se toma atención las consecuencias serán más notorias en un futuro. El estrés es una enfermedad resultado del exceso del nivel de ruido. Pero como ayudar a las autoridades de la ciudad a tomar decisiones tales como en qué parte ubicar zonas verdes, zonas industriales, centros médicos.

El prototipo sonómetro que se va hacer sería útil para conocer en qué sectores de la ciudad sobrepasan los límites permisibles de niveles de ruido de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5

Justificación Aplicativa

El sonómetro a implementarse se encuentra constituido por hardware Arduino de placa reducida que cuenta con diferentes puertos para cumplir varias funciones y tendrá instalado software libre especializado, dedicado a mostrar la gráfica del niveles de ruido recibido, juntamente con un decodificador para el procesamiento de señales y un algoritmo, donde se utilizará los componentes más adecuados para el correcto funcionamiento de este prototipo y la compatibilidad entre ellos.

Según los equipos instalados en la ciudad de Riobamba se ha detectado que el sonido oscila entre los 68,3 y 83,3 decibeles, es decir, sobrepasaba lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

“Los valores registrados son elevados, pues solo el motor de un bus produce entre 73 a 75 decibeles, mientras que un claxon alcanza los 83 decibeles. Los resultados le convierten en una urbe bulliciosa, según la tabla de niveles de ruido de la OMS y la escala internacional”.

La implementación de un sonómetro prototipo brindará la posibilidad de poseer un sistema de fácil adquisición, manejable, sin equipamiento complejo y costoso, que medirá el nivel de ruido de un lugar determinado por el GPS y en un momento dado y para garantizar la cobertura inalámbrica se utiliza módulos Xbee utilizando el protocolo 6LoWPAN en la comunicación Nodo Receptor a Nodo Transmisor formando una red inalámbrica de sensores. La función del trabajo está centrada en la recolección de valores del nivel de ruido para ser ejecutado por el proceso de transmisión de datos.

El Nodo Transmisor es el encargado de recibir los datos provenientes del Nodo Receptor a través de su módulo Xbee, para luego procesarlos en su placa Arduino y posteriormente enviarlos a la computadora.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo multimodal sonómetro para medir la frecuencia del nivel sonoro en la ciudad de Riobamba.

Objetivos Específicos

- Investigar la tecnología y configuración de los sensores inalámbricos basado en 6LoWPAN, WSN.
- Esquematizar el hardware libre de la red de sensores en dos puntos de referencia en la ciudad de Riobamba.
- Implementar el prototipo sonómetro de acuerdo a la norma de validación IEC 61672-1.
- Validar los niveles de recepción y alcances de los niveles sonoros máximos en la Ciudad de Riobamba.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

La presente investigación diseño e implementación de un prototipo de sonómetro utilizando 6LoWPAN para medir la frecuencia del nivel sonoro en la ciudad de Riobamba es un trabajo de innovación tecnológica, la misma que requiere además de un estudio a través de la aplicación de métodos y técnicas de investigación científica. Para investigar información sobre los sensores inalámbricos, tecnología 6LoWPAN, WSN y su comunicación con Arduino es imprescindible abordar la investigación descriptiva, ya que se describirá el estado actual de la cantidad de ruido

a la que está expuesta los habitantes de la ciudad de Riobamba esta aproximación permitirá trabajar sobre una realidad de hecho.

Dentro del esquema de los componentes necesarios para construir la red de sensores integrando el sonómetro el presente proyecto describe un trabajo de investigación analítica y aplicada que permite desarrollar la primera aproximación del proyecto de tal forma que en la etapa de implementación se pueda plasmar con objetividad el desarrollo del estudio.

La implementación del prototipo configurando los dispositivos según los requerimientos del sistema de acuerdo a las normas técnicas del sonómetro persigue un estudio no experimental, se detallará e implementará el prototipo de sonómetro para medir los niveles de ruido identificando cada una de las características a través de la observación y el testing de las pruebas de laboratorio.

La comprobación de la recepción de los valores obtenidos del monitoreo del nivel de ruido y verificar su correcto funcionamiento determinará la factibilidad funcional del proyecto es así que la investigación correlacional y analítica de acuerdo a tablas de resultados basada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5 derivadas de la comprobación de las mediciones de la frecuencia del nivel sonoro. La investigación posee una connotación de desarrollo transversal debido a que el prototipo de sonómetro para medir los niveles de ruido requiere de 4 etapas de desarrollo comprendidas en ciclos cortos de tiempo incluye análisis diseño implementación y validación del análisis funcional.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se analiza conceptos fundamentales que servirá como base para el desarrollo de los objetivos. Para este fin se describe de manera general contaminación ambiental y contaminación acústica, que es el decibel (dB), fuente fija, umbral auditivo de las personas, instrumentación de medida y normas de validación. Luego a esto se indaga la tecnología y configuración de los sensores inalámbricos que se utilizan en una red de sensores inalámbricos (WSN) y por ultimo 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Área Networks).

1.1 Contaminación Ambiental

Contaminación ambiental se denomina a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o de varios de los mismos en combinación alterando desfavorablemente el medio en el que vivimos; afectando en su mayor parte la salud, la higiene, el bienestar de la población y la calidad de los recursos naturales. Se menciona también contaminación ambiental a la incorporación de los cuerpos receptores de sustancias (sólidas, líquidas o gaseosas) o en composición de ellas. La contaminación ambiental se entiende como la contaminación del agua, contaminación del suelo y la contaminación del aire dentro de la contaminación ambiental.

Actualmente la contaminación ambiental se ha convertido en un problema a nivel global causada por diferentes factores, por ejemplo: desechos sólidos domésticos, tala de árboles, desechos sólidos industriales, el monóxido de carbono de los vehículos, etc. A medida que crece el poder de la persona en la naturaleza y surgen necesidades de la vida en sociedad, el medio ambiente que lo rodea se deteriora cada día más.

En la contaminación ambiental urbana tenemos la contaminación sónica causada por el tráfico, aviones, maquinarias, etc. El avance tecnológico y el acelerado crecimiento demográfico causan la alteración del medio en el que habitamos por no saber armonizarlos.

1.2 Contaminación Acústica

Se define contaminación acústica al conjunto de sonidos y ruidos que viajan a nivel aéreo por las calles de una población. Las ciudades en desarrollo están expuestas a diversas actividades del hombre que poseen elementos generadores de ruido, como es el tráfico e industrias. La contaminación acústica hace referencia al ruido generado por las actividades del hombre en la sociedad, produciendo efectos negativos esencialmente en la salud auditiva de las personas.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más significativos que afecta hoy en día a nuestro mundo, así por ejemplo el efecto del ruido ambiental va desde insignificante hasta psicológicamente perturbador, catalogándolo como uno de los principales problemas medioambientales. Se dice que la futura generación de jóvenes en un futuro será sorda, debido al exceso de ruido presente en las ciudades y por estar fuera de los niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo, TULAS libro VI Anexo 5.

1.2.1 El Sonido

El sonido es el resultado del movimiento de las moléculas de la mezcla gaseosa de que se compone el aire. Las moléculas vibran y son captadas en algún momento por un receptor, por ejemplo nuestro oído o micrófono. El sonido se propaga en el aire a una velocidad de 340m/s a temperatura ambiente; se propaga en forma de ondas de densificación o longitudinales. Las ondas sonoras necesitan de un medio material y pueden suponerse como causadas debido a la compresión y rarefacción de las moléculas del medio. El sonido resulta ser contaminante cuando es dañino para la salud.

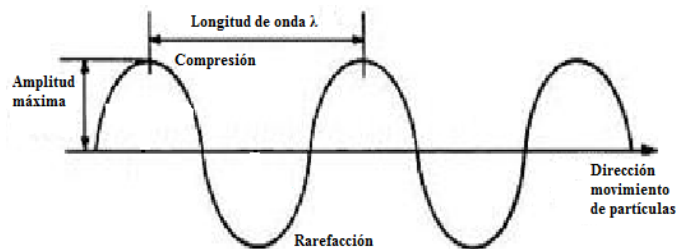


Figura 1-1 Representación gráfica de una oscilación

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

La escala de transformación de longitud esta dada por la velocidad del sonido dependiente del medio y por la longitud de la onda λ que corresponde a un periodo de vibración T. Entonces se tiene que $\lambda=c/f$.

La mínima percepción de intensidad de campo libre de un tono que se puede detectar a cada frecuencia sobre toda la gama se denomina umbral auditivo. La máxima intensidad que es capaz de soportar el oído humano sin dañarse se denomina umbral de dolor. El umbral auditivo varía de acuerdo a la edad de las personas.

Un sonido se caracteriza por su: intensidad, tono, timbre y duración. La intensidad se relaciona con la energía que la fuente emite y la distancia a la cual se manifiesta, de tal manera que un sonido puede ser fuerte, débil o moderado; depende de la amplitud de la onda. El nivel de intensidad sonora se mide en decibelios (dB). El tono de un sonido se encuentra relacionado con la frecuencia, el oído humano es capaz de responder sobre un intervalo aproximado de 20 a 20 KHz. El timbre es la cualidad de un sonido y permite identificar los distintos sonidos de los instrumentos o de las voces. La duración del sonido es el tiempo que permanece la vibración, nos permite distinguir sonidos largos y cortos.

1.2.2 El Ruido

El ruido, en física es una señal acústica, eléctrica o electrónica formada por una composición aleatoria de longitudes de onda. En teoría de la información el ruido es una señal que no contiene información. El ruido es una noción subjetiva aplicada a cualquier sonido no deseado. Es necesario determinar a que niveles de ruido estamos expuestos para cuidar nuestra salud auditiva; el instrumento más útil para tal aplicación es el sonómetro.

El ruido de acuerdo a la norma técnica del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULAS) libro VI Anexo 5 clasifica al ruido ambiente en: ruido estable, ruido fluctuante, ruido imprevisto y ruido de fondo.

- **Ruido estable**

Se denomina ruido estable cuando presenta fluctuaciones del nivel de presión sonora, en un rango inferior o igual a 5 dB(A) Lento, observado en un período de tiempo igual a un minuto. La respuesta lenta es la que genera el instrumento de medición que evalúa la energía media en un intervalo de un segundo. Cuando el instrumento mide el nivel de presión sonora con

respuesta lenta, dicho nivel se denomina NPS Lento. Si además se emplea el filtro de ponderación A, el nivel obtenido se expresa en dB(A) Lento

- **Ruido fluctuante**

Es aquel ruido que presenta fluctuaciones de nivel de presión sonora, en un rango superior a 5 dB(A) Lento, observado en un período de tiempo igual a un minuto.

- **Ruido imprevisto**

Es aquel ruido fluctuante que presenta una variación de nivel de presión sonora superior a 5 dB(A) Lento en un intervalo no mayor a un segundo

- **Ruido de fondo**

Es aquel sonido indeseado que prevalece en ausencia del ruido generado por la fuente objeto de evaluación. El ruido de fondo no se mide, se evalúa.

1.3 Decibel (dB)

Decibel en honor a físico norteamericano Alexander Graham Bell (1847-1922), que se usó primeramente para medir la intensidad del sonido. El decibel (dB) es la unidad adimensional utilizada para expresar el logaritmo de la razón entre una cantidad medida y una cantidad de referencia. Se utiliza para describir niveles de presión, de potencia o de intensidad sonora. Los logaritmos son muy usados debido a que la señal en decibeles puede ser sencillamente sumada o restada y sobre todo porque el oído humano responde naturalmente a niveles de señal en una forma aproximadamente logarítmica.

1.4 Fuente fija

Se considera como un elemento o un conjunto de elementos que generan ruido desde un inmueble, ruido que es emitido hacia el exterior, a través de las colindancias del predio, por el aire y/o por el suelo, así por ejemplo fuentes fijas son: calderas, refinерías, botaderos de desechos sólidos a cielo abierto, etc. Se pueden encontrar bajo la responsabilidad de una sola persona física o social. Las fuentes fijas alteran la calidad de aire.

1.5 Instrumento y Norma de validación

1.5.1 Sonómetro

El equipo más habitual para medir el sonido es el sonómetro, instrumento y herramienta que permite medir el nivel de presión sonora de un ruido en dB, en un momento y lugar determinado. El sonómetro responde ante un sonido de una forma aproximada al oído humano, es designado según las especificaciones de la normativa vigente. En cuestión de ausencia de normativas la elección deberá establecerse en la precisión que la medida requiera

El sonómetro normalizado y previamente calibrado permite realizar mediciones de los ruidos en ambiente exterior. Los sonómetros que se utilicen deben cumplir con los requerimientos señalados por la norma IEC (International Electrotechnical Commission) 61672. En la norma IEC 61672-1 especifican 2 clases de sonómetros:

- Clase 1: Para laboratorios o en campo donde el ambiente acústico puede especificarse o controlarse de manera precisa. Permite trabajo de campo con precisión.
- Clase 2: Para mediciones generales.

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

- a) **Sonómetro básico:** Adquiere solo el nivel de presión momentánea en decibelios (dB).
- b) **Sonómetro integrador - promediador:** Se emplean para la medición del Nivel de presión sonora continuo equivalente (NPSeq).
- c) **Sonómetro integrador:** Permite elegir la curva de ponderación que va a ser usada, es decir, mide el nivel de exposición al ruido que estamos expuestos.

Las curvas de ponderación las cuales siguen aproximadamente la misma ley que el oído en cuanto a intensidad en función de la frecuencia:

- Curva A (dBA): Red de ponderación más comúnmente utilizada. Es la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano. Se emplea para analizar sonidos de baja intensidad. Se utiliza para establecer el nivel de contaminación acústica y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a la misma.

- Curva B (dBB): Su función era medir la respuesta del oído ante intensidades medias. Hoy en día es la menos utilizada.
- Curva C (dBC): Mide la respuesta del oído ante sonidos de gran intensidad.

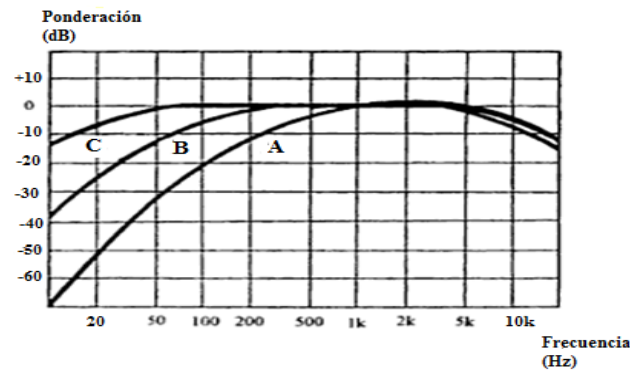


Figura 2-1 Curvas de ponderación A, B y C

Fuente: <https://books.google.com.ec/books?isbn=958983146X>

1.5.1.2 Tiempo de Integración

El tiempo de integración de los sonómetros es el tiempo de respuesta deseado. El tiempo de integración de los sonómetros ajusta la constante de tiempo que se utilizará en las medidas y con ello encuentra la velocidad de respuesta del sonómetro ante las variaciones de presión sonora; evitando diferencias de lecturas de señales sonoras idénticas, los períodos de promediación o constantes de tiempo están unificados de acuerdo a varias normas internacionales y son los siguientes:

- S (lento o slow), promediación sobre 1s. Se usa cuando la señal fluctúa ampliamente.
- F (rápido o fast), promediación sobre 125 ms. Se usa para señales estacionarias.
- I (impulso o impulse), promediación de subida 35 ms. promediación de caída 1s. Se usa para medir señales transitorias desde el punto de vista de sensación sonora en el oído humano como señales impulsivas.

En pocos casos es preciso recurrir a constantes de tiempo más rápidas que las antes vistas, el valor de cresta (Peak), con tiempos de subida en el orden de los 50 μ s (IEC 61672-1, 2002, <http://ergonomiavenezuela.com/RECURSOS/13LasNormasIECSobreSonometros>).

1.5.1.3 Nivel de Presión Sonora

Al saber que la presión sonora tiene relación, la presión del aire y la presión atmosférica, causada por una onda sonora. El nivel de presión sonora (NPS o SPL) se define como la medición logarítmica del valor promedio de la presión sonora, respecto a un nivel de referencia, matemáticamente se formula:

$$NPS = 20 \log \left(\frac{PS}{20 * 10^{-6}} \right)$$

Dónde:

PS : presión sonora expresada en pascales (N/m²).

1.5.1.4 Nivel de Presión Sonora continuo equivalente (NPS_{eq})

El nivel de presión sonora continuo equivalente es aquel nivel de presión sonora invariable, expresada en decibeles A [dB (A)], que en el mismo período de tiempo, contiene la misma energía total que el ruido medido.

1.5.2 Micrófonos

El micrófono es un aparato que se usa para convertir los sonidos (ondas sonoras) en energía eléctrica y viceversa. El micrófono trabaja como un transductor o sensor electroacústico, es decir, permite traducir las vibraciones correspondidas a la presión acústica realizada sobre su cápsula por las ondas sonoras en energía eléctrica, permitiendo grabar sonidos de cualquier zona o elemento.

Existen diversos tipos de micrófonos de acuerdo a su funcionamiento pero los más comunes y utilizados son:

1.5.2.1 Micrófonos Dinámicos

Los micrófonos dinámicos o micrófonos de bobina móvil, son muy populares alrededor del mundo debido a su precio (baratos), gran robustez, y uso sencillo; también por su autonomía en otras palabras los micrófonos dinámicos no requieren de energía externa para su alimentación, no son sensibles a la humedad. Presenta ciertos inconvenientes, son sensibles a los golpes y

vibraciones, mala respuesta cuando existen frecuencias altas de la banda de audio y la bobina se comporta como una antena.

Debido a la vibración del diafragma con las ondas sonoras, hace vibrar la bobina suspendida en un campo magnético, logrando así corriente eléctrica (alrededor de 0.5 a 1 mV) causada por la fricción, obteniendo la variación de esta corriente similar en forma, amplitud y frecuencia a la onda sonora que la creó.

1.5.2.2 Micrófonos de Condensador

Los micrófonos de condensador o también llamados micrófonos electrostáticos son de alta calidad basada su funcionamiento en principios de la atracción y repulsión de cargas eléctricas. Tienen un condensador o capacitor para almacenar energía en forma de campo electrostático. Los micrófonos de este tipo poseen alta sensibilidad, reducido tamaño, poco sensible a las vibraciones y la manipulación, con respuesta plana en las altas frecuencias y buena relación señal/ ruido.

Una de sus desventajas es el uso de una fuente externa de energía, debido a la alta sensibilidad que presenta puede crear distorsión, son sensibles a la humedad y su precio es alto.

Su funcionamiento se fundamenta en un par de placas metálicas separadas. Al momento que se conecta la fuente de energía el condensador se carga eléctricamente, destinando un voltaje a las placas del capacitor, el cual varía de acuerdo al área de cada placa y la distancia entre ellas. Normalmente llevan dos placas una fija y la otra móvil, pudiendo usar una de estas como diafragma directamente, también se puede variar el voltaje que es el objetivo del micrófono y el voltaje crece cada vez que las placas se unen y viceversa.

El voltaje polarizante debe estar entre un rango de 50 y 200 voltios, que variara de acuerdo a las vibraciones mecánicas del diafragma causadas a su vez por las vibraciones sonoras.

La impedancia es muy alta lo cual resulta un problema, es preferible una impedancia baja para no distorsionar el sonido a distancias de más de cinco metros; debido al impedancia lata se coloca un preamplificador para generar una impedancia de entre 50Ω y 200Ω .

1.5.3 Pre amplificación

Es un tipo de amplificador electrónico manejado esencialmente para audio, al momento de la reproducción del sonido. Puesto que todo amplificador tiene como función aumentar su nivel de

señal de entrada de acuerdo a la ganancia; se denomina ganancia como la relación entre la señal de salida y la señal de entrada. Se utiliza para producir niveles bajos de voltaje del orden de los mili voltios a niveles nominales definidos en +4dBu o niveles de línea. (1.23Voltios).

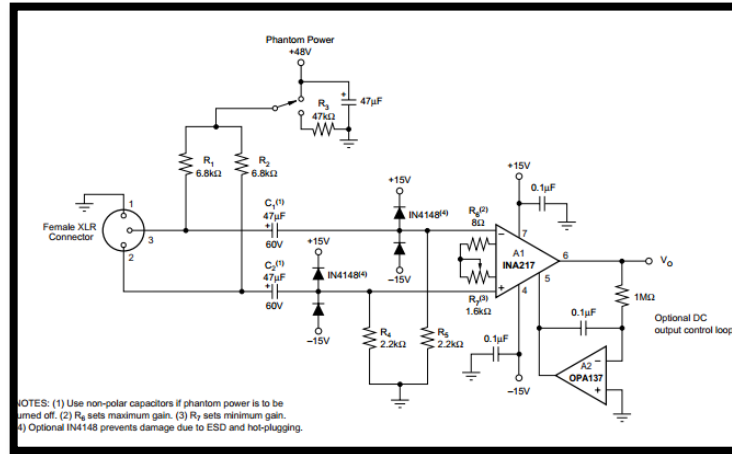


Figura 3-1 Pre amplificación

Fuente: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/82123.pdf>

1.5.4 Norma de validación

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) o también conocida por sus siglas en inglés como IEC (International Electrotechnical Commission), es la encargada de establecer normas y publicar los diferentes criterios y modos de valoración de los dispositivos de medida.

Las características que tienen cada uno de los sonómetros han estado normalizadas por algunas comisiones nacionales e internacionales. Desde un principio la IEC ha estado actualizando las normas publicadas acorde al avance de la tecnología según lo necesario. Las normas más utilizadas por los fabricantes de sonómetros tenemos desde la IEC123, la IEC179 hasta la actual IEC 61672, que a partir del año 2002 esta norma en su parte 1, unifica las normas IEC 60651 (1979) e IEC 60804 (1985).

En conclusión se tiene las siguientes normas que deben cumplir los sonómetros:

- IEC 651/804 - Internacional
- IEC 61672- Actual Norma: Sustituye a los estándares IEC 651/804
- ANSI S1. 4-1961 - América

La norma internacional IEC 61672 y su equivalente europea UNE EN 61672, consta de dos partes:

- IEC 61672-1, Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.
- IEC 61672-2, Electroacústica. Sonómetros. Parte 2: Ensayos de evaluación de modelo.

Es una norma substancial debido a que en España, así como en el resto de la Unión Europea, la legislación en materia de ruido ambiental hace referencia a esta norma para la especificación de los sonómetros, puede variar las leyes de cada país o cada región, pero la norma siempre será la IEC 61672. Asimismo, lo señalado en la norma IEC 61672 es de carácter obligatorio al momento de la medición de ruido sujeta a condiciones de metrología legal.

1.6 Sensores

Un sensor desde el punto de vista de ingeniería es un dispositivo eléctrico y/o mecánico capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación que son las que queremos medir o censar dependiendo de nuestra necesidad , así por ejemplo: temperatura, humedad relativa, sonido, etc. Y transformarlas en variables o señales eléctricas (Areny, 2004, https://books.google.com.ec/books?id=Eevyk28_fVkc&redir_esc=y). Esto se efectúa en tres etapas:

- Una variable de instrumentación es captado por un sensor, y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la magnitud física o química.
- La señal eléctrica es cambiada por un acondicionador de señal, obteniendo a la salida un respectivo voltaje.
- El sensor transforma y/o amplifica el voltaje de salida, el cual pasa a un conversor analógico a digital (ADC), conectado a un PC. El ADC entonces convierte la señal de tensión continua en una señal discreta.

1.6.1 *Sensor de Temperatura*

Es un dispositivo que se utilizan en todo tipo de proceso que requiera indicación y/o control de la variable de temperatura; básicamente se encuentran tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares.

1.6.2 *Sensor de Humedad*

Es un dispositivo que mide la humedad en una respectiva zona, manipulado tanto en interiores como en exteriores. Estos sensores se encuentran disponibles tanto analógicas como digitales.

Un sensor de humedad analógico mide la humedad del aire relativo empleando un sistema basado en un condensador, formado por una película habitualmente de vidrio o de cerámica. Su material aislante absorbe el agua debido al polímero que toma y libera el agua basándose en la humedad relativa del lugar que desees.

Un sensor de humedad digital trabaja mediante dos micro-sensores los cuales se calibran a la humedad relativa del lugar deseado. Convirtiéndose luego en el formato digital mediante el proceso de conversión de analógico a digital (ADC) que se ejecuta a través un chip ubicado en el mismo circuito. El sistema fundado en una máquina creada de electrodos con polímeros es lo que compone la capacitancia del sensor, protegiendo de esta manera el sensor del panel frontal del usuario.

1.7 **Arduino**

Arduino se puede definir como una plataforma de hardware de código abierto, que se fundamenta en el lenguaje de programación Wiring y el entorno de programación multimedia Processing(lenguaje de programación de alto nivel) y el cargador de arranque (boot loader) que se ejecuta en la placa. Con esta herramienta se puede utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino, ya que Arduino emplea transmisión serial de datos tolerada por la mayoría de los lenguajes de programación. El IDE de Arduino se puede manejar en Windows, Linux (de 32 y 64 bits) y Mac OS X.

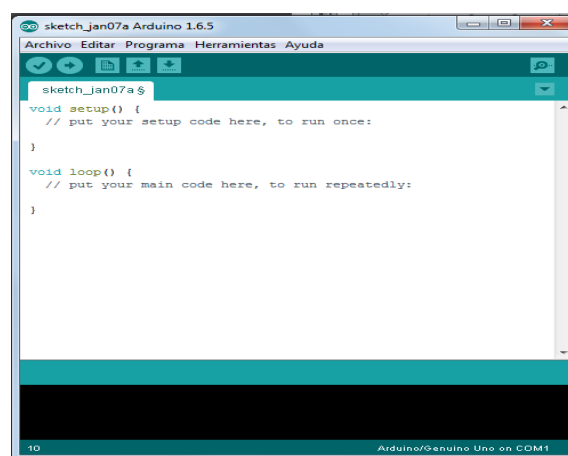


Figura 4-1 Entorno programación de Arduino

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

La herramienta de hardware libre Arduino cuenta con diferentes modelos de placas, que dependerá su uso de acuerdo a la necesidad de aplicación. Entre las placas oficiales, es decir, aquellas que son oficialmente manufacturadas por la compañía italiana Smart Projects y otras diseñadas por la empresa estadounidense SparkFun Electronics (SFE) o también estadounidense Gravitech, se encuentran las siguientes: Arduino UNO, Arduino TRE, Arduino/Genuino 101, Arduino Zero, Arduino Yun, Arduino Leonardo, Arduino Due, Arduino Mega, Arduino Ethernet, Arduino Nano, Arduino Pro, Arduino Micro, etc. Las características de cada uno de ellos son los que le diferencian entre sí, por ejemplo: Arduino Mega es el que más pines i/o (54, 15 administran salidas PWM) y más RAM posee, indicado para trabajos ya más complejos (Arduino, 2016, <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>).

1.8 XBee

Los módulos de comunicación inalámbrica XBee son soluciones integradas que permiten la interconexión y comunicación entre dispositivos, utilizan el protocolo de red IEEE 802.15.4, trabaja en la banda de frecuencia ISM (Industrial, Scientific, Medical) de 2.4 GHz también posee un transmisor y un receptor de ZigBee y un procesador en un mismo módulo permitiendo a los usuarios realizar aplicaciones de manera rápida, fáciles de usar, de bajo costo y bajo consumo de energía de las WSN (Wireless Sensor Networks). Los módulos Xbee necesitan un mínimo de energía y proveen entrega fiable de datos entre dispositivos (FALUDI, 2010, <http://ab-log.ru/files/File/books/WirelessSensorNetwork.pdf>, pp. 2-5).

Xbee es el nombre comercial y propiedad de Digi International, existen diferentes modelos y 2 series sin embargo poseen los pines similares, como muestra la Figura 5-1.

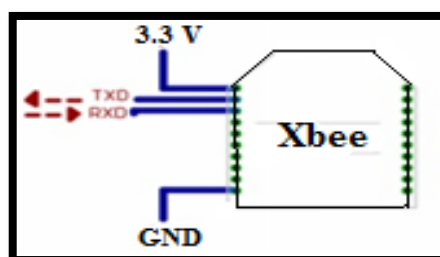


Figura 5-1 Conexiones básicas Xbee

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

El módulo Xbee funciona a 3.3V, pines de comunicación (Tx/Rx) y se comunica por un puerto serie con Arduino. Puertos integrados de entrada y salida digitales y analógicos.

Existe 2 modos de comunicación de los Xbee la primera es el modo serial transparente (modo AT) y la segunda es el modo API (Application Programming Interface).

- a) **Modo AT:** Por defecto estos dispositivos trabajan en modo serial transparente, permiten utilizar comandos AT en el módulo Xbee pudiendo así configurar, ajustar o modificar parámetros, es un modo de comandos. Su primordial desventaja se considera al momento de enviar información a distintos nodos debido a que es obligatorio ingresar continuamente al modo configuración para cambiar la dirección de destino, mientras que para comunicación punto a punto esto no es necesario.

- b) **Modo API:** La comunicación, es decir, todos los datos que entran y salen del módulo están contenidos en tramas. Es el modo más complicado pero preciso al estilo TCP, con el cual se puede transmitir datos a varios destinatarios así también se puede identificar la dirección de origen de cada paquete. Este tipo de modo otorga alternativas de configuración de los dispositivos y ruteo de datos para la capa de aplicación del Host. Útil principalmente para redes grandes así por ejemplo, con topología de Malla.

1.8.1 Series módulo Xbee

Existen 2 series de módulos Xbee fabricados por Digi:

- Serie 1
- Serie 2 o también conocida como 2.5

Xbee S1

Los Xbee serie 1 o también llamados Xbee 802.15.4, basado chipset Freescale, se puede hacer redes punto a punto y punto a multipunto; con esta serie no se puede hacer redes Mesh, es uno de los modelos de más bajo costo y fáciles al momento de su configuración. Esta serie de módulo Xbee brinda una conversión analógica-digital, también tiene entradas y salidas digitales, y tiene un cifrado de 128-bit AES. No necesitan ser configurados por lo tanto ideales para empezar a manipular.

Xbee S2

Los Xbee serie 2 basado en chipset de Ember, permiten hacer redes Mesh, comunicación punto a punto y punto- multipunto, permiten una comunicación de manera bidireccional ante cualquier dispositivo que tenga un puerto Serie/USB a nivel TTL como poder ser entre microcontroladores, ordenadores, etc. Necesitan ser configurados.

Sin embargo los dos tipos de series Xbee utilizan el mismo pin-out y pueden ser utilizados en los modos AT y API, pero no son compatibles entre sí debido a que emplean distintos chipset, es decir, no es posible la comunicación inalámbrica al utilizar diferentes series y utilizan distintos protocolos.

1.8.2 Tipo de antenas Xbee

Los Xbee, requieren antenas para recibir y transmitir señales, existiendo distintos tipos de antenas que componen el módulo. Así encontramos las siguientes:

- **Antena de cable:** Es un cable que sobresale del Xbee sin embargo su inconveniente es que es frágil y tiene como distancia máxima de transmisión más o menos la misma en todas las direcciones.
- **Antena de Chip:** Básicamente es un pequeño chip de cerámica plana. La desventaja es que tiene una radiación cardiode, es decir la señal se atenúa en muchas direcciones. Se manejan cuando hay el riesgo que la antena de cable se rompa o cuando se posea poco espacio para instalarla.
- **Antena U.FL y conector RP-SMA:** Tiene un conector pequeño con el fin de conectar tu propia antena, es decir, cuando se requiere una antena externa (tipo especial de antena). Es útil cuando se desea poner la antena fuera de una caja al momento de diseñar para orientar a diversas posiciones según sea necesario.

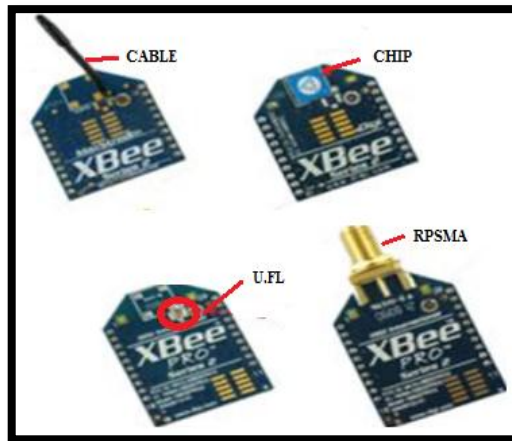


Figura 6-1 Antenas Xbee

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

1.8.3 *Arquitectura básica de una red Xbee*

En una red XBee constituyen básicamente 3 tipos de elementos: Coordinador, Routers y dispositivos finales (end devices).

- **El Coordinador:** Nodo de una red cuya función es formar una red, hacia él está conectado el dispositivo router y los dispositivos finales. Cuando esta ya formada la red el coordinador cumple funciones de un router, en otras palabras, participa en el enrutamiento de paquetes y es el origen y/o destino de información; siendo así el responsable de crear el canal de comunicación.
- **Los Routers:** Nodo que permite crear y conservar información en la red con el objetivo de determinar la mejor ruta al momento de enrutar un paquete de información. Un router obviamente se debe unir a una red ZigBee antes de actuar como Router para retransmitir paquetes de otros Routers o end devices.
- **End devices:** Estos dispositivos no poseen capacidad de enrutar paquetes, por lo general estos dispositivos van conectados a baterías, teniendo un consumo de energía mínimo debido a que no cumple funciones de enrutamiento. Para poder enviar información a un coordinador o routers debe interactuar siempre con su nodo padre.

Al utilizar el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 se puede crear algunas topologías de red (punto a punto, punto a multipunto, árbol, malla, etc.) que dependerán claro de la serie de módulo con la que vayamos a trabajar.

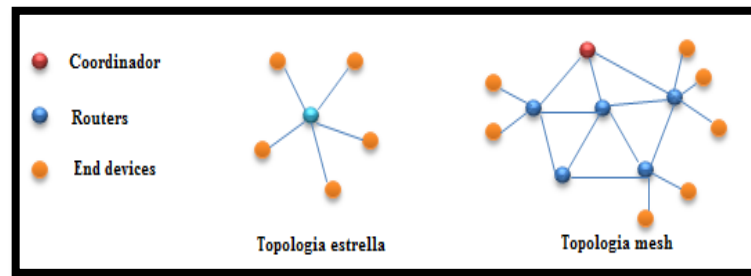


Figura 7-1 Topologías de red con Xbee

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

1.8.4 Modos de operación

En la Figura 8-1 se muestra los modos en los que un módulo Xbee puede operar, así como son:

- Modos Recibir/Transmitir
- Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode)
- Modo de Comando
- Modo Idle

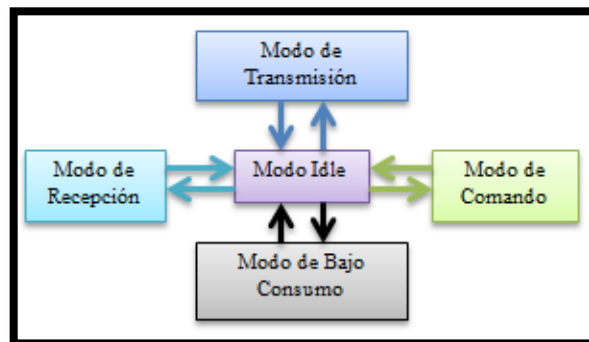


Figura 8-1 Modo de operación

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

1.8.4.1 Modo de Recibir/Transmitir

Hablamos de estos modos, al recibir el módulo un paquete RF debido a que este proceso lo hace mediante una antena (Modo Receive) o cuando se envía información serial al buffer generalmente al pin 3 (UART Data in) que a continuación se transmite existiendo así el modo Transmit.

La información es enviada inmediatamente cuando es de manera directa, mientras que de manera indirecta la información es retenida por el módulo Xbee un periodo de tiempo hasta que la dirección de destino lo solicite. Puede ser Unicast (comunicación one-to-one, confirmación por ACK) y Broadcast (comunicación uno-a-todos, no existe confirmación por ACK).

1.8.4.2 Modo de Bajo Consumo (Sleep Mode)

El modo de bajo consumo permite que el módulo RF entre en un modo de bajo consumo de energía cuando no esté en uso. A este modo también se le conoce como Sleep mode para apagar por Pin.

1.8.4.3 Modo de Comando

Cuando se deba hacer una configuración en el Xbee utilizando comandos AT se tiene que hacer mediante este modo, facilitando realizar los ajustes o modificaciones respectivas de parámetros así como la dirección propia o la de destino, como cambiar el modo de operación entre otras alternativas. El software Hyperterminal de Windows es indispensable para ingresar los comandos AT como el programa CoolTerms, el programa X-CTU trata de solo una interfaz gráfica que permite cambiar el conjunto de parámetros del módulo Xbee de modo amigable y sencillo.

1.8.4.4 Modo Idle

Si no se encuentra en ninguno de los anteriores modos citados, entonces esta en Modo IDLE. En otras palabras, si no está transmitiendo/ recibiendo, no está ahorrando energía, no esta en modo de comandos, entonces se halla en un estado llamado IDLE.

1.8.5 Elemento hardware adicional

Para cumplir el objetivo del proyecto es necesario usar también otros componentes hardware, los cuales son: Shield Xbee Arduino y un Adaptador Xbee Explorer USB.

Shield Xbee Arduino

El Shield Xbee Arduino permite a la placa Arduino establecer comunicación inalámbricamente haciendo uso de Zigbee. Eso fue desarrollado en colaboración con Arduino. Esta tarjeta es

compatible con las diferentes series Xbee (S1, S2 o S2.5, versiones estándar y pro). En la Figura 9-1 se observa XBee Shield Arduino.

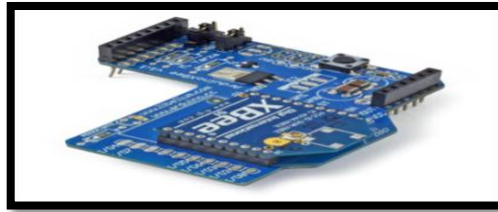


Figura 9-1 XBee Shield

Fuente: <http://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/arduino-xbee-shield>

Adaptador Xbee Explorer USB

Este programador para XBee es lo más práctico que podrás encontrar para programar tus módulos y establecer comunicación entre tu computadora y otro módulo a distancia. Se conecta directamente al puerto USB de tu computadora, no requiere cables adicionales. Funciona con todos los módulos de XBee: Series 1 y 2.5 en versiones estándar y pro.



Figura 10-1 Programador para XBee

Fuente: <http://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/arduino-xbee-shield>

1.8.6 Software X-CTU

X-CTU es una aplicación gratuita compatible con Windows, MacOS y Linux que permite configurar y manejar dispositivos Xbee de una manera fácil y sencilla además permite hacer pruebas de cobertura. Se puede configurar de 2 maneras por comandos AT en la pestaña Terminal y mediante la pestaña Modem Configuration.



Figura 11-1 Interfaz Software X-CTU

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

1.9 Redes de Sensores Inalámbricas

Las Redes de Sensores Inalámbricas o más conocidas por sus siglas en inglés WSN (Wireless Sensor Network) son de gran importancia para el desarrollo del Internet de las Cosas (IoT) debido a su rápido desarrollo y variadas aplicaciones. Las WSN se encuentran dentro de la llamada Inteligencia Ambiental (Ambient Intelligence) que significa el último avance de la computación abicua y los nuevos conceptos de interacción inteligente entre usuario y máquina.

Una red WSN está compuesta por sensores que forman parte de un nodo cuya función es detectar y tomar información de una área geográfica determinada para controlar diversas condiciones como será en nuestro trabajo, el sonido y la temperatura en múltiples puntos para luego estos ser procesados y comunicar inalámbricamente en tiempo real; pudiendo formar así redes inalámbrica descentralizada ad-hoc ya que no depende de una infraestructura preexistente ni administración central.

Las WSN pueden estar constituidas por muchos nodos mientras más nodos mejor será su rendimiento. Una característica importante es su facilidad de despliegue y por ser auto configurables, y tienen la capacidad de auto restauración, en otras palabras, si un nodo pierde potencia o se avería la red siempre encontrará nuevas rutas para encaminar los paquetes de datos sin intervención humana (AAKVAAG, 2006, http://interelectricas.co/pdf/ABB/02-2006/39-42%25202M631_SPA72dpi.pdf).

1.9.1 Elementos de una WSN

Las Redes de Sensores Inalámbricos están formadas por 4 elementos principales como son: Nodo Sensores, Nodo (Mota), Gateway y la Estación Base, que se distribuyen en un lugar determinado para monitorizar. En la Figura 12-1 se tiene una red WSN y sus elementos.

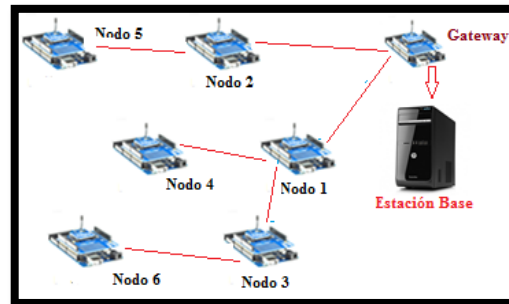


Figura 12-1 Red WSN y sus elementos

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

1.9.1.1 *Nodo Sensores*

Un nodo sensor es el que se encarga de recolectar, enviar/recibir información. Un nodo sensor más una mota forman un nodo sensor. Opera como un convertidor analógico/digital (ADC) una vez recolectado los datos, se comunican a través de los nodos llamados motas hacia el servidor principal para su procesamiento conocida como estación base.

1.9.1.2 *Nodo (Motas)*

El nodo inalámbrico o motas, conceden de procesamiento y de comunicación al nodo sensor. Es un dispositivo electrónico que toma los datos del sensor luego los procesa y transmite hacia la estación base de forma inalámbrica. Entonces las motas se definen básicamente como una placa de procesador y trasmisión/recepción de radio. En una red WSN pueden existir algunas placas (boards).

1.9.1.3 *Gateway o Puerta de Enlace*

El Gateway se define como el elemento para tener interconexión entre la red de sensores y una red de datos, así por ejemplo: TCP/IP. El Gateway cumple dos funciones, la primera es ser una puerta de enlace de comunicaciones entre la red de sensores inalámbricos y el exterior, la segunda ser reprogramador de nodo de sensores al que podremos conectarnos desde una PC.

1.9.1.4 Estación Base

Una estación base es un dispositivo electrónico de mayor capacidad, por ejemplo un computador; actúa como recolector de datos de los diferentes nodos almacenando, analizando y procesando los datos, siendo sus funciones principales de controlar y gestionar la WSN.

1.9.2 Elementos de un nodo

En la Figura 13-1 se tiene los elementos que forman un nodo en una red WSN.

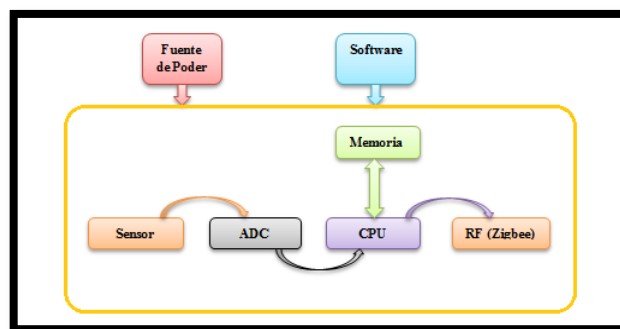


Figura 13-1 Elementos que compone un nodo WSN

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Los componentes de un nodo en una red de sensores inalámbricos se describen a continuación:

1.9.2.1 Fuente de Poder

Las fuentes de poder se encargan de suministrar energía necesaria para alimentar al nodo o mota. La fuente de poder debe ser adecuada y eficaz durante un periodo de tiempo permitiendo cumplir lo que se requiere de acuerdo a la utilidad que se le proporcione. En la Figura 14-1 se observa una fuente de energía más un conector para Arduino.

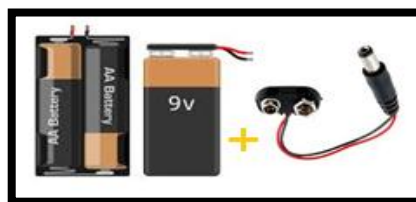


Figura 14-1 Fuente de energía

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Aparte de poseer larga autonomía, se debe considerar también el tamaño, peso y disponibilidad de las baterías, así como estándares internacionales para envíos de baterías. El bajo costo y la extensa disponibilidad de las baterías de zinc-carbono y alcalinas las convierten en elección muy común. Sin embargo, hoy en día se recomienda hacer uso de celdas solares como opción de fuente de alimentación en las redes de sensores inalámbricos para cuidar el medio ambiente.

1.9.2.2 Sensores

Los sensores forman parte e interactúan en el entorno físico tomando información para convertirlos en señales eléctricas en una red WSN. Los sensores son dispositivos eléctricos y/o mecánico capaz de detectar variables medioambientales, químicas, acústicas, etc. Para medir o censar dependiendo de nuestra necesidad, así por ejemplo: temperatura, humedad relativa, sonido, etc., distribuidos en varios puntos. Un sensor más una mota forman un nodo sensor.

1.9.2.3 Procesador

El procesador es el encargado de controlar todas las funciones de la mota o nodo inalámbrico, por ejemplo: acceso a los sensores en nuestro trabajo al sensor de temperatura, tener el control de comunicaciones, ejecución de la máquina de estados, corrección de errores, etc. Entonces el procesador se denomina como el circuito integrado central y más complejo de un sistema informático.

1.9.2.4 Radio

Mientras que el módulo de radio se encarga de ejecutar las emisiones y recepciones a través de un estándar de comunicaciones (p. ej. IEEE 802.15.4).

1.9.3 Características principales de una WSN

Cuando se requiera diseñar una red de sensores es indispensable tener en cuenta las siguientes características:

- **Topología de red dinámica:** Una WSN se considera de topología dinámica debido al continuo movimiento de los nodos sensores, a su vez por tener que adaptarse a cambios muy a menudo para poder comunicar nueva datos censados del entorno físico.

- **Tolerancia a errores:** Un nodo dentro de la red debe funcionar a pesar que el sistema presente errores. Son tolerante a fallos debido a que son redes con nodos auto-configurables lo que representa tener una alta fiabilidad.
- **Fácil instalación:** Al ser una red de sensores inalámbrica no tiene necesidad alguna de infraestructura para poder operar y ser utilizados en cualquier lugar, siendo así fácil en su instalación y alternativa aceptable en áreas de difícil acceso.
- **Bajo consumo de energía:** Los nodos que componen las WSN tienen elementos de reducido tamaño que si se unifican ser la mayor parte de consumo muy bajo con una gestión adecuada se llega a reducir el requerimiento energético maximizando el tiempo de vida de la red.
- **Limitaciones de Hardware:** Para ahorrar energía, el componente hardware es necesario que sea lo más sencillo posible, lo cual nos limita tener una capacidad de procesamiento limitada y una reducida cantidad de memoria.
- **Múltiples opciones de conectividad:** Las redes WSN no limitan el uso de la tecnología a emplear, todo depende del objetivo de la aplicación y las condiciones del lugar. La comunicación entre nodos se realiza a través de la utilización de mensajes en broadcast. Además permite la integración con otras tecnologías (p.ej. medio ambiente: aire, ruido, residuos).
- **Costo de producción:** Generalmente económicos en comparación a otras tecnologías, menor uso de recursos. Dado que la naturaleza de una red de sensores tiene que ser en número muy elevado, para poder obtener datos con fiabilidad (mayor número de nodos o más mejora su rendimiento).

1.9.4 *Aplicaciones de una WSN*

Las aplicaciones de las WSN son diversas y en diferentes áreas, así por ejemplo y una de las más importantes que se está desarrollando es las Smart Cities con el fin de tener en un futuro ciudades inteligentes, ciudades que utilizaran el poder de la tecnología de las redes de sensores inalámbricos. Los primeros escenarios para el desarrollo de las redes de sensores inalámbricos fueron motivados para aplicaciones militares. Así encontramos por ejemplo, con el fin de tener vigilados los campos de batallas. Sin embargo, las WSN tomaran mayor importancia en las

tareas militares que convertirán de los ataques y defensa más inteligentes, con menor alcance humano. En la Figura 15-1 se tiene lo mencionado.

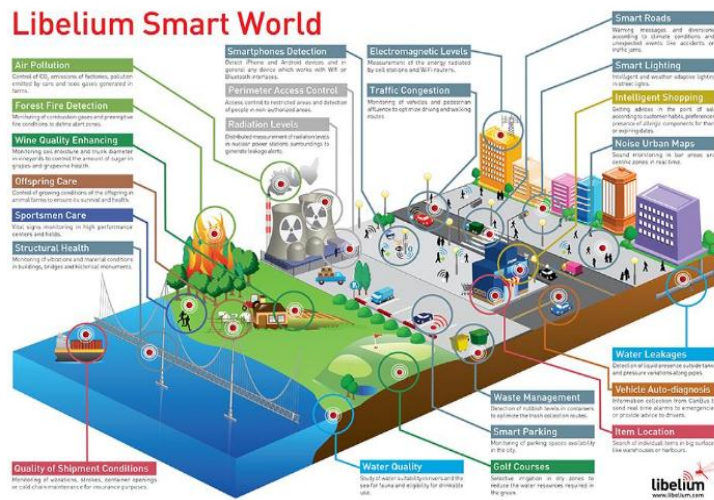


Figura 15-1 Ciudad inteligente

Fuente: <http://www.libelium.com/>

A continuación se detallan algunas de las aplicaciones en campos como:

Medicina: Monitoreo y medición de características fisiológicas del ser humano como: presión arterial, ritmo cardíaco, temperatura, etc. Todo esto puede ser administrado a distancia sin tener que estar frente a un médico. Todo esto y más debido a la existencia de sensores inalámbricos que se han desarrollado.

Agricultura: La agricultura es una de las áreas donde las redes de sensores tienen una gran alcance hoy en día, para tener un cultivo exitoso. Mediante la utilización de redes de sensores y la medición de determinados parámetros se llevan a cabo los siguientes trabajos:

- Control de la cantidad de agua, fertilizante o pesticida que las plantas necesitan.
- Monitoreo de la humedad del suelo y temperatura relativa.
- Decisión del momento recomendable para cosechar, optimizando de esta manera la producción.
- Gestión de alarmas por intrusión de animales.

Domótica: En el control de la seguridad de una casa, generando comodidad al instante o momento de salir las personas en caso de emergencia o por varios días.

Medio Ambiente: Es una de las aplicaciones que se optó en este trabajo, como es conocer en tiempo real los niveles de ruido en algunos puntos de la ciudad, también es posible tener Información Ambiental (Aire, CO2 y Ruido) para el ciudadano, etc.

1.10 Protocolos de ruteo en WSN

Las redes de sensores inalámbricos WSN al contar con características especiales y limitaciones, existen protocolos de enrutamiento diseñados específicamente para ellas, se diferencia principalmente de las redes tradicionales por:

- Los nodos (sensores) no poseen direcciones IP
- Tienen una batería limitada
- Poseen una capacidad de procesamiento pequeño, debido a que los protocolos establecidos en IP no deben ser empleados

Los protocolos de enrutamiento en WSN se pueden clasificar: de acuerdo a la estructura de la red y por la operación del protocolo, tal como se muestra en la Figura 16-1.

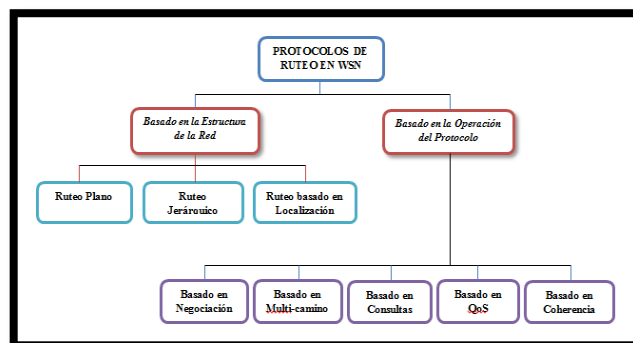


Figura 16-1 Clasificación de los Protocolos de Ruteo en WSN

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

1.10.1 Clasificación Basada en la Estructura de la Red

1.10.1.1 Ruteo Plano (Flat routing)

A excepción de la estación bases, los nodos o motas de la red cumplen las mismas funcionalidades, tareas de proceso de la información y de enrutamiento de paquetes, trabajando unos con otros en la monitorización y reenvío de los mismos a través de la red.

Debido que al poder existir cientos y miles de nodos en la red no se tiene asignado un identificador global, así por ejemplo tenemos SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation) de acuerdo al modelo basado en eventos, es decir, los nodos sensores reaccionan cuando existe un evento en el entorno y punto que se está monitorizando e inician con la transmisión de paquetes hacia la estación base.

Otros protocolos tenemos:

- ACQUIRE (Active Query Forwarding in Sensor Networks)
- COUGAR
- Directed Diffusion (Difusión directa)
- MCFA (Minimum Cost Forwarding Algorithm)

1.10.1.2 Ruteo Jerárquico (Hierarchical routing)

Particularmente para las redes de sensores inalámbricos WSN, el enrutamiento jerárquico surge con el fin de mejorar el consumo de energía. Una vez que los nodos se encuentren clasificados de manera jerárquica, esto permitirá a su vez la respectiva asignación de tareas para contribuir a la eficiencia energética de la red y también a la escalabilidad de la misma. Así tendremos nodos, cumple tareas de procesamiento y transmisión los que reserven de energía mayor y mientras que los de poca energía disponible trabajaran solo en el rol de censado.

El protocolo más representativo durante la última década en este tipo de redes se conoce como Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) sin embargo también tenemos:

- PEGASIS (Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems)
- TEEN (Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol)
- MECN (Small Minimum Energy Communication Network)
- SAR (Sensor Aggregates Routing)

1.10.1.3 Ruteo basado en la Localización (Location-based routing)

En este tipo de enrutamiento los protocolos toman en cuenta la posición de los nodos así como la distancia entre nodos vecinos la cual se obtiene en base a la potencia de su señal. Y las coordenadas de los nodos vecinos se adquieren mediante el intercambio de información; en algunos casos, dependiendo de la red y de la aplicación, las coordenadas pueden ser proporcionadas directamente a los nodos a través de un satélite.

A continuación se da a conocer los protocolos que utilizan este tipo de ruteo:

- GAF (Geographic Adaptive Fidelity)
- GEAR (Geographic and Energy Aware Routing)
- GOAFR (Greedy Other Adaptive Face Routing)

1.10.2 Clasificación Basada en la Operación del Protocolo

1.10.2.1 Enrutamiento basado en la Negociación

En este tipo de encaminamiento los protocolos operan en los nodos sensores intercambiando diferentes mensajes de negociación con el propósito de eliminar información redundante y evitar la sobrecarga de la red. La información que se transmite es mediante el modelo de inundación (*flooding model*). Un ejemplo es el protocolo SPIN el que aplica negociación antes de empezar la comunicación.

1.10.2.2 Enrutamiento basado en Múltiples Rutas

En el enrutamiento basado en múltiples rutas los protocolos realizan el envío de datos dentro de la red haciendo uso de varias rutas o caminos, permitiendo mejorar así el rendimiento de la red, también presta mecanismos para un balanceo de la carga de la misma. El mantenimiento de estos caminos crea como consecuencia un incremento en el consumo de energía y en la generación extra de tráfico, ya que se transmiten mensajes periódicamente para dicho objetivo.

1.10.2.3 Enrutamiento basado en Consultas

En este tipo de protocolos, la operación consulta de sensado es tarea creada por la estación base; por lo general la consultas se detallan por medio de lenguaje de consulta de alto nivel. Cada uno de los nodos sensores que cumplan con los parámetros solicitados en dicha consulta envía los datos hacia el nodo estación base.

1.10.2.4 Enrutamiento basado en Calidad de Servicio

Dentro de la WSN la primordial limitación que se tiene es la cantidad de energía disponible en los nodos sensores. Este tipo de protocolos trata de mantener obligadamente el equilibrio entre el consumo de energía y la calidad de los datos transmitidos, por medio del balanceo uniforme de las transmisiones de los datos recogidos por la red y enviados a la estación base. Parámetros de QoS ejemplos: energía, el retardo extremo a extremo, el ancho de banda, etc.

1.10.2.5 Enrutamiento basado en Coherencia

Este tipo de protocolos toma importancia el procesamiento de los datos que se transmiten dentro de la red, componente indispensable en el funcionamiento de las redes de sensores inalámbricos WSN. En el enrutamiento utilizando la técnica de procesamiento de datos coherentes los datos se reenvían a los agregadores (nodo encargado de agregación de la información) luego de un procesamiento mínimo. Para llevar a cabo un enrutamiento energéticamente eficiente es importante usar encaminamiento basado en Coherencia (p.ej. supresión de la duplicación)

1.11 El estándar IEEE 802.15.4

La necesidad de la creación de un nuevo estándar para redes inalámbricas de bajo consumo de energía y de bajo costo, en el año 2003 se publicó el IEEE 802.15.4 posicionándose como el primer estándar de radio de bajo consumo constituyendo el factor más importante hacia la estandarización de 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Área Networks). La última versión del estándar es IEEE 802.15.4-2006.

Este estándar define los niveles de red básicos con el fin de brindar servicio a redes inalámbricas de área personal o WPAN (Wireless Personal Área Networks) de baja tasa de transmisión, cuyo principal uso se enfoca en aplicaciones de monitoreo ofreciendo comunicación entre dispositivos embebidos de bajo coste, bajo consumo de energía y bajo uso del ancho de banda así por ejemplo, en redes de sensores inalámbricas o WSN (Wireless Sensor Networks) (ACOSTA, 2006, <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/55/1/CD-0024.pdf>).

El estándar IEEE 802.15.4 presenta ventajas como , permite la utilización de dispositivos de fácil instalación que entregan transmisiones fiables a distancias cortas a bajo coste términos de requerimientos ; permite suministrar un tiempo de vida largo al utilizar fuentes de energía limitada (p.ej. baterías de zinc-carbono y alcalinas) y al mismo tiempo provee una pila

de protocolos simple. En la Tabla 1-1 se citan a continuación las características más importantes desde el punto de vista técnico.

Tabla 1-1 Características IEEE 802.15.4

CARACTERÍSTICAS	RANGO
Transmisión de datos	868/915 MHz permiten velocidades de transmisión de 20Kb/s y 40Kb/s respectivamente; 2.4 GHz ofrece velocidades de transmisión de 250Kb/s.
Latencia	Bajo los 15ms
Canales	En IEEE 802.15.4 SE definen 27 canales de la siguiente manera: 868 MHz: 868-868.6 MHz, canal 0 915 MHz: 902.0-928.0 MHz: 1 al 10 canales 2.4 GHz: 2400-2483.5 MHz, 11 al 26 canales
Bandas de Frecuencia	Dos capa PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz
Alcance	10 – 20 m
Direccionamiento	Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE
Canal de Acceso	CSMA/CA (Carrier Sense Múltiple Access Collision Avoidance o acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones)
Energía	Presentan autonomía de energía (óptimo 1%)
Temperatura	-40° a 85 °C
Seguridad	Cifrado 128 AES

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Es importante recalcar que el estándar 802.15.4 no es sinónimo de la especificación ZigBee, debido a que el 802.15.4 es un protocolo de capa Física (OSI, PHY 1) y de capa de Enlace (OSI, DLL 2); mientras que ZigBee es un protocolo de capa de Red (OSI capa 3). Asimismo, ZigBee es una marca comercial registrada en Alianza Zigbee (ZigBee Alliance), asociación que crea y mantiene el estándar.

1.12 6LoWPAN

El término 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Área Networks) hace mención a un conjunto de estándares de Internet definidos por la IETF (Internet Engineering Task Force o Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet), que rompe las barreras al uso del protocolo IPv6 en redes de área personal inalámbricas de baja potencia o LR-WPAN, siendo capaces de participar en el Internet de las cosas (KO, 2011, <http://www2.cs.uh.edu/~gnawali/papers/rpltinyos2011.pdf>).

El estándar 6LoWPAN permite el uso eficiente de IPv6 en redes inalámbricas de bajo consumo, baja velocidad en simples dispositivos embebidos mediante la capa de adaptación y la optimización de protocolos relacionados. La relación de 6LoWPAN con otras tendencias, existen varias en consideración cuando se piensa sobre el Internet de las Cosas. Estos incluyen comunicación Zigbee, machine-to-machine (M2M), el Futuro Internet, y redes de sensores inalámbricos o WSNs. La Figura 17-1 muestra el stack de protocolos de IPV6 con 6LoWPAN (también llamado stack de protocolos 6LoWPAN) en comparación con el stack de protocolos IP y las correspondientes cinco capas del Modelo de Internet.

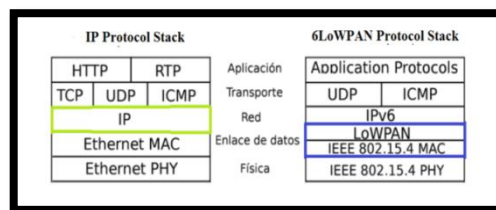


Figura 17-1 Stack de protocolos IP y 6LoWPAN

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Un simple stack de protocolos 6LoWPAN es casi semejante a un normal stack IP por las siguientes diferencias: el estándar 6LoWPAN solo soporta IPv6, para lo cual una pequeña capa de adaptación (llamada la capa LoWPAN) fue definida para optimizar IPv6 sobre IEEE 802.15.4

Las primeras publicaciones sobre el planteamiento del problema y metas 6LoWPAN se encontraba en RFC4949 por la IETF RFC4919 en el año 2007, después se indica el formato y la funcionalidad para transmisiones IPv6 en 6LoWPAN en el RFC4944. A través de experiencia con implementaciones y despliegues el grupo de trabajo continuaba con mejoras a compresión de cabecera, descubrimiento de vecinos (Neighbor Discover) 6LoWPAN, casos prácticos y requerimientos de enrutamiento. Debido a que el estándar 6LoWPAN y el IEEE 802.15.4 no

definen protocolos de enrutamiento. En el 2008 un nuevo grupo de trabajo IETF fue formado, “Routing over Low-power and Lossy Networks (ROLL)”. Este grupo de trabajo especifica requerimientos de enrutamiento y soluciones para un ahorro de energía, inalámbrico, red fiable. Aunque como objetivo principal se tiene a no limitarse al uso con 6LoWPAN.

1.12.1 Arquitectura 6LoWPAN

En la arquitectura 6LoWPAN hay diferentes tipos de LoWPANs que han sido definidas:

- Simple LoWPANs
- Extended LoWPANs
- Ad-hoc LoWPANs

Una LoWPAN (Low-Power Wireless Personal Área Networks) está formada por un conjunto de nodos 6LoWPAN. Nodos los cuales comparten en común un prefijo de dirección IPv6 (los primeros 64 bits de la dirección IPv6). Un Ad-hoc LoWPANs no está conenctada al Internet, sin embargo opera sin una infraestructura. Una Simple LoWPANs, se encuentra conectedo a través de un Edge router (router de Borde) a otra red IP, por medio de un enlace backhaul (punto-a-punto) como se muestra en la Figura 18-1 pero también podría ser conectedo por un enlace backbone (compartido). Al tener una Extended LoWPANs comprende múltiples Edge routers con enlace backbone (p.ej. Ethernet) interconectados.

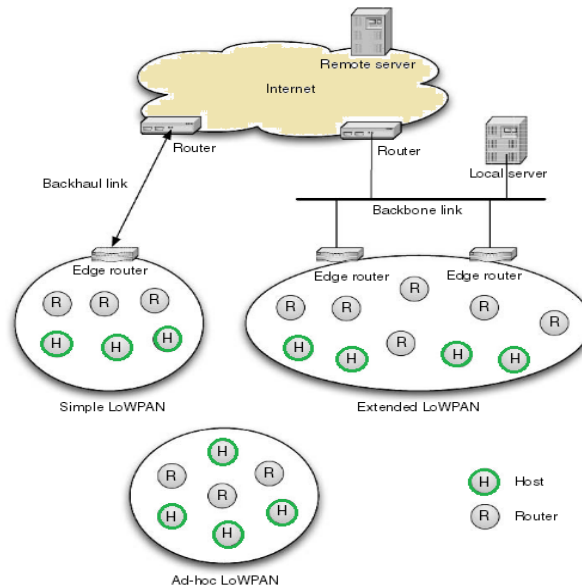


Figura 18-1 Arquitectura 6LoWPAN

Fuente: <http://www.sase.com.ar/2013/files/2013/09/SASE2013-6LOWPAN-A-Diedrichs.pdf>

LoWPANs están conectados a otras redes IP por los router de Borde, como se ve en la Figura I.16. El router de Borde muestra un importante rol, registro del tráfico de rutas que ingresan y salen de la LoWPAN, para ayudar al proceso de la compresión de cabecera de 6LoWPAN y descubrimiento de vecinos para la LoWPAN. Nodos LoWPAN podrán participar en más de un LoWPAN al mismo tiempo lo que se conoce como “multi-homing”. Cada nodo LoWPAN es identificado por una única dirección IPv6, y es capaz de enviar y recibir paquetes IPv6. Por lo general los nodos LoWPAN soportan tráfico ICMPv6, tal como un “ping”, y el uso del protocolo UDP (Protocolo de datagrama de usuario)

1.12.2 Características

Al analizar las características principales de 6LoWPAN se tiene:

- Las versiones del protocolo IP (IPv4/IPv6) asumen que los dispositivos siempre están conectados a la red, a pesar de que no estén transmitiendo. En 6LoWPAN, los dispositivos sólo se conectan a la red cuando deben transmitir información, lo que permite un uso eficiente de la energía necesaria para dicha operación.
- IPv6 requiere de multicast. 6LoWPAN incorpora el uso de este método de transmisión en comunicaciones inalámbricas de baja potencia, lo que anteriormente no era soportado por las tecnologías de comunicación de radio existentes.
- La topología de malla es más eficiente en el uso de la energía. 6LoWPAN permite utilizar de manera más fácil este tipo de topología de red con IPv6.
- 6LoWPAN comprime el tamaño de las cabeceras a 6 Bytes, disminuyendo el tamaño del frame necesario para transmitir sobre LLNs, el cual se encuentra definido por el estándar IEEE 802.15.4 en 127 Bytes en capa de enlace, con una carga de al menos 72 Bytes.
- 6LoWPAN optimiza el uso de los estándares de Internet sobre redes inalámbricas de baja potencia

1.12.3 Aplicaciones

La razón de porque existe un gran número de soluciones técnicas en sistemas embebidos mediante comunicación inalámbrico en el mercado de redes es debido a que día a día varia ampliamente. Las aplicaciones de 6LoWPAN pueden ir desde el monitoreo de la salud de una persona por medio de un sensor a larga escala fácilmente monitoreado, que difieren considerablemente.

El uso ideal de 6LoWPAN es en aplicaciones donde:

- dispositivos embebidos necesitan comunicarse con servicios basados en Internet,
- bajo consumo energía en redes heterogéneas que necesitan estar juntas,
- la red necesitaser libre , reutilizable y capaz de evolucionar para nuevos usos y servicios, y
- es necesario escalabilidad a través de infraestructuras de redes grandes con movilidad.

La conexión del Internet con el mundo físico habilita un amplio rango de interesantes aplicaciones donde la tecnología 6LoWPAN puede ser aplicable, por ejemplo:

- la automatización de casas y edificios,
- automatización de la asistencia sanitaria y logística,
- salud de las personas y estado físico (Mirar en la Figura 19-1, por ejemplo: control y monitoreo de los Signos Vitales)
- mejora de la eficiencia energética,
- automatización industrial, etc.

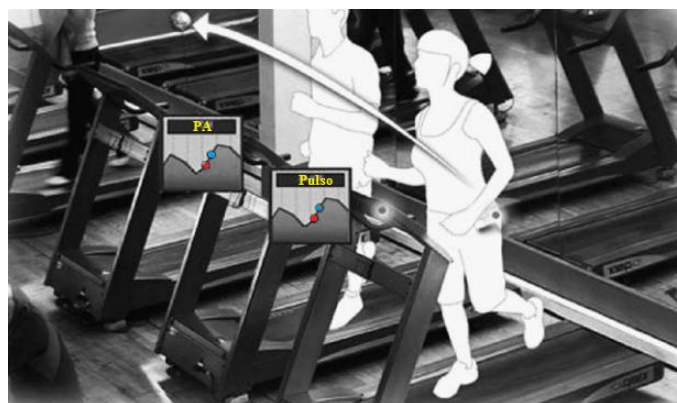


Figura 19-1 Aplicación para monitorear el estado físico de las personas

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

1.13 LabVIEW

1.13.1 Definición

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es el lenguaje gráfico. Permite el desarrollo de programas informáticos complejos facilitando al mismo tiempo la programación y en consecuencia disminuir los plazos de desarrollo (NATIONAL INSTRUMENTS, <http://www.ni.com/labview/esa/>).

1.13.2 Áreas de Aplicación

- LabVIEW es un entorno enfocado a ingenieros y científicos para desarrollar aplicaciones de *pruebas, control y medida*; en un enfoque gráfico.
- La naturaleza intuitiva de la programación gráfica de LabVIEW lo hace fácil de usar por educadores e investigadores para incorporar el software a varios cursos y aplicaciones.
- Combina la potencia de la programación gráfica con hardware para simplificar y acelerar drásticamente el desarrollo de diseños.
- LabVIEW permite, automatizar medidas y procesar datos de señal, control de instrumentos, automatizar sistemas de pruebas de pruebas y validación, diseñar sistemas de monitoreo y control embebidos y enseñanza académica.
- Ahora LabVIEW no solamente se integra con hardware, también ofrece todas las herramientas que los ingenieros y científicos necesitan en un entorno; esto incluye habilidades de análisis, interfaces de usuario para datos científicos y de ingeniería, e incluso habilidades de incorporar diferentes enfoques de programación como matemática basada en texto, todo en un solo entorno.

1.13.3 Beneficios del Software

LabVIEW, tiene varios beneficios los más importantes se tiene:

- **Resuelva la Complejidad:** LabVIEW incrementa la productividad al abstraer la complejidad de bajo nivel y al integrar toda la tecnología que usted necesita en un solo entorno de desarrollo unificado, a diferencia de cualquier otra alternativa basada en texto. Programar en un entorno unificado significa que usted no tiene que invertir tiempo en

adquirir experiencia en una variedad de herramientas para lograr su meta. En cambio, usted puede estar seguro que los elementos de su sistema se ajustarán a la perfección. En LabVIEW, usted puede usar diferentes enfoques de programación con las últimas tecnologías para describir la manera en la que funciona su sistema y después compilar al mejor dispositivo para ejecutar su sistema. De esta manera usted puede realizar iteraciones rápidas no solamente en el diseño, sino también en la implementación de los sistemas que usted necesita.

- **Integración de Primera Clase con Hardware:** Con LabVIEW, usted puede usar todo su hardware de medidas y control en un solo entorno de desarrollo. LabVIEW ofrece una perfecta integración en múltiples tipos de instrumentos, buses y sensores. Por ejemplo, LabVIEW se integra con una variedad de dispositivos de adquisición de datos, instrumentos de laboratorio, instrumentos modulares y FPGAs. NI LabVIEW no solamente incluye controladores sofisticados para todo el hardware de NI, la Red de Controladores de Instrumentos de NI también ofrece 10,000 controladores de instrumentos para conectar a instrumentos de terceros.
- **Interfaces de Usuario Personalizadas:** Desarrollado específicamente con datos técnicos de ciencia e ingeniería en mente, LabVIEW contiene una extensa colección de controles e indicadores drag-and-drop que usted puede usar para crear rápidamente una interfaz de usuario personalizada para su aplicación. Con una interfaz de usuario flexible y personalizado, usted puede permitir comandos cruciales del operador, visualizar datos en vivo de manera eficiente y visualizar resultados analizados en menos tiempo que los entornos de programación tradicionales.
- **Extenso IP de Análisis y Procesamiento de Señales:** El análisis es una parte fundamental de muchas aplicaciones de pruebas, medidas y control. Analizar una señal le da información adicional sobre lo que significan sus datos; usted puede obtener una imagen más clara de la señal deseada o buscar un comportamiento particular en una señal. LabVIEW ofrece una solución integrada que le da la habilidad de adquirir y analizar simultáneamente datos en un solo entorno. Usted puede seleccionar entre más de 850 funciones matemáticas y de procesamiento de señales para obtener información valiosa sobre sus datos, sin usar sus recursos desarrollando desde cero rutinas de análisis.
- **La Herramienta Adecuada, La Tarea Adecuada:** Varios ingenieros y científicos conocen y valoran LabVIEW por su lenguaje de programación gráfica, permitiendo también integrar

múltiples enfoques de programación para encontrar la mejor solución para el problema en cuestión. Ya sea usando programación gráfica, escritura de algoritmos usando matemática textual, interacción con código ANSI C o .NET o usando herramientas especializadas para modelado y simulación, LabVIEW ofrece el juego completo de herramientas y los enfoques necesarios para construir sistemas en menos tiempo.

- **Implemente Software en el Hardware Adecuado:** Con LabVIEW, sus habilidades como desarrollador se mudan de un dispositivo a otro, porque usa la misma herramienta y paradigma de programación. Utilizar una herramienta para múltiples plataformas y múltiples dispositivos lo vuelve más versátil. Los sistemas de pruebas y control a menudo tienen múltiples componentes que pueden ejecutarse en diferente hardware. La interfaz humano-máquina puede ser un TPC o una PC de escritorio. El código de pruebas puede ser ejecutado en un controlador industrial o un sistema PXI embebido.
- **Potente Ejecución de Hilos Múltiples:** Usted no tiene que ser un experto en programación paralela para aprovechar todos sus recursos de cómputo. LabVIEW maneja automáticamente la asignación de hilos y procesos en paralelo, así usted puede enfocarse en resolver su problema, en lugar de emplear tiempo en mapear el código a procesadores multinúcleo. Si usted desea control a bajo nivel, puede asignar recursos manualmente para una sección de código para definir completamente su asignación de recursos. Además de programar CPUs multinúcleo, usted puede usar LabVIEW con otro hardware paralelo incluyendo FPGAs, GPUs e incluso nubes de cómputo.
- **Registre y Comparta Datos de Medidas:** Existen varias fuentes de datos, pero las señales procedentes del mundo físico son algunas de las más interesantes para los ingenieros y los científicos. Se recopilan desde medidas de vibración, señales de RF, temperatura, presión, sonido, imagen, luz, magnetismo, voltaje, etc. Administrar datos de estas diversas fuentes plantea un desafío para el análisis, búsqueda, integración y reportes de datos, así como el mantenimiento del sistema. El software NI LabVIEW está diseñado para el proceso completo de ingeniería e incluye funcionalidad para ayudarle a guardar datos a disco con facilidad y crear informes profesionales. Las herramientas de LabVIEW para almacenamiento, administración y reportes, abstraen los detalles y retos de escritura y lectura de archivos y reportes para que usted se pueda enfocar en adquirir datos. Al proporcionar interfaces sencillas y robustas para escritura y lectura de archivos y reportes, usted puede aprovechar al máximo sus datos adquiridos y tomar decisiones respaldadas con información, más rápido (NATIONAL INSTRUMENTS, <http://www.ni.com/labview/esa/>)

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se lleva a cabo la determinación de las herramientas de estudio que se van a emplear, que ayudarán de manera factible a solucionar el problema. El desarrollo del prototipo multimodal sonómetro para la adquisición y visualización del nivel de presión sonora utilizando tecnología que mejor se adapte a las necesidades del sistema. Explicación sobre la adaptación del dispositivo de medida, Modulo GPS y Modulo Sensor Humedad Temperatura. Descripción sobre los elementos hardware que integra el prototipo y sus respectivas especificaciones técnicas. Y por último se detalla el software utilizado y como fueron configurados los dispositivos utilizados, la comunicación entre el Nodo Tx mediante 6LoWPAN hacia el Nodo Rx hacia el computador generando registros secuenciales y la salida a la red pudiendo visualizarse los resultados finales.

2.1 Desarrollo Ingenieril

El diseño se fundamenta en tres etapas fundamentales descritas en la Figura 1-2 que se muestra a continuación.

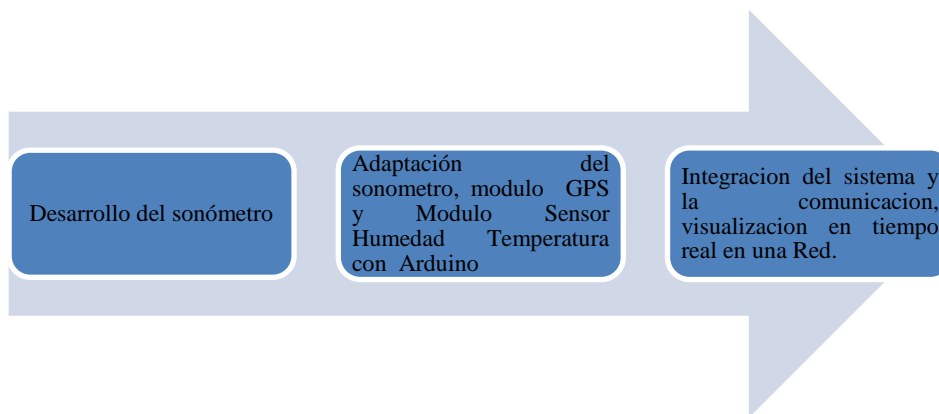


Figura 1-2 Sistema general desarrollo prototipo Sonómetro

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Para la comunicación se utiliza comunicación Serial pudiendo leer el hardware/software del Arduino, transmitir datos utilizando el protocolo 6LoWPAN del Sensor Humedad Temperatura, modulo GPS e información capada por el sonómetro desde el nodo sensor Tx hacia el nodo Rx.

2.1.1 *Diseño y desarrollo del prototipo Sonómetro*

Para el respectivo diseño y desarrollo del sonómetro se toma como base las siguientes especificaciones plasmadas en la norma IEC61672-1, al momento de adquirir el nivel de presión sonora:

- Sonómetro con ponderación A
- Rango de frecuencias 16 Hz - 16000 kHz
- Velocidad de integración: S (slow o lento), F (fast o rápido), I (Impulse o impulso)
- Visualización de la Humedad y Temperatura del ambiente

El desarrollo del sonómetro está compuesto por dos etapas, la primera es una etapa de hardware donde se desarrolla el proceso de pre amplificación de las señales de audio y la segunda, una etapa de software donde se digitalizan las señales de audio y se transmiten desde el sistema Arduino Mega.

La etapa de hardware se enfoca en el desarrollo de los elementos tangibles que modifican las señales analógicas generadas por el micrófono de medición, este hardware adecua las señales para ser digitalizadas posteriormente en la etapa de software.

En la Figura 2-2 se da a conocer el algoritmo de programación que se sigue al programar el prototipo Sonómetro, realizado en el lenguaje de programación LabVIEW.

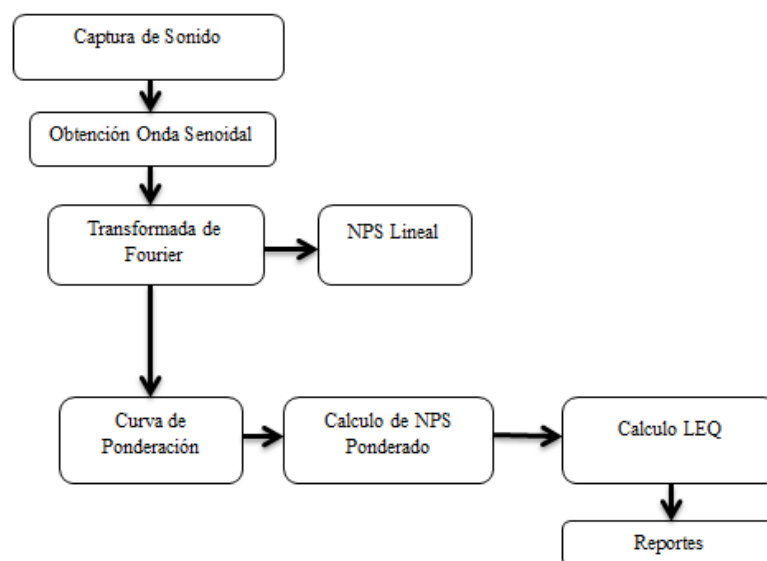


Figura 2-2 Diagrama de bloques del algoritmo para programar en LabVIEW

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.1.1.1 Amplificador

En el proceso de pre amplificación se realizó algunas pruebas de diagramas, presentándose varios problemas como: fidelidad del amplificador, exceso de ruido y la falta de producción de materiales siendo algunos obsoletos en el mercado comercial. Debido a esto para el desarrollo del trabajo se optó por utilizar Samson MDR624, mezcladora de 6 canales con dos preamplificadores de micrófono de bajo ruido con respuesta en frecuencia 10 Hz-50 kHz.



Figura 3-2 SAMSON MDR624

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Los valores máximo y mínimo del rango dinámico se eligieron por ser valores centrales en el rango de audición de las personas, a partir de exposiciones continuas a 70 dB se produce un deterioro auditivo, por esta razón se deja un ajuste de -10 dB para tener un rango dinámico enfocado a los niveles que producen daños auditivos por altos tiempos de exposición (60dB a 120dB).

El elemento más determinante es el micrófono. Debe tener una precisión, estabilidad y fiabilidad muy altas para cumplir con los estándares requeridos. Se utiliza el micrófono EVL TDM-220, el cual es tipo profesional, tiene buena calidad de sonido, muy buena sensibilidad, Conector XLR, Interruptor Apagado/Encendido, Suministrado con cable de 6m XLR-jack mono.

Tabla 2-1 Características Técnicas Micrófono EVL TDM-220

Características Técnicas	
Tipo	Dinámico Cardioide
Patron Polar	Unidireccional
Respuesta en Frecuencia	20 Hz - 20 kHz
Sensibilidad	-72 dB
Impedancia	600 Ohm

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Circuito conversor AC /DC

Se construye un circuito conversor AC /DC para alimentar Arduino, para lo cual necesitamos, un diodo de alta velocidad 1n4148 y un Filtro RC en paralelo; además se adapta el Sensor Humedad Temperatura Dht11. Se utiliza Proteus 8 Profesional para simular y probar su correcto funcionamiento antes de su debida implementación.

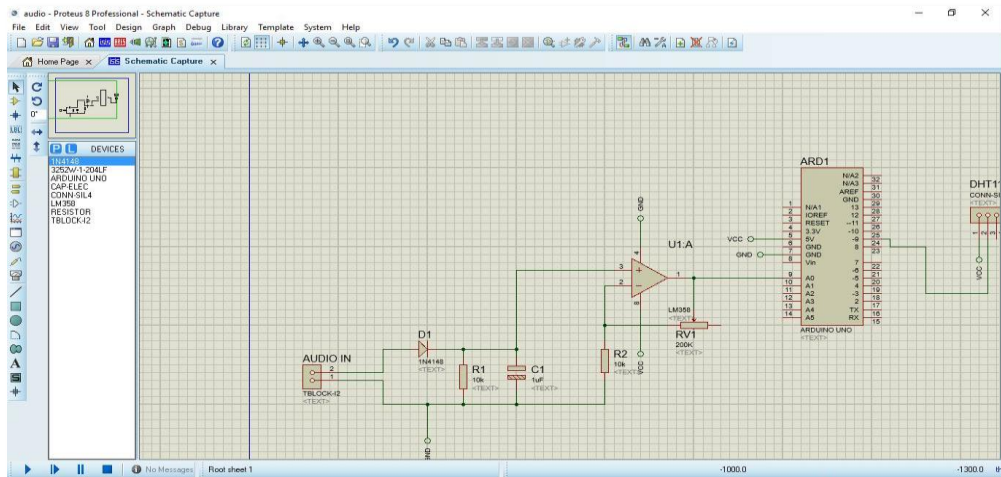


Figura 4-2 Circuito conversor AC /DC y Sensor Humedad Temperatura Dht11

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

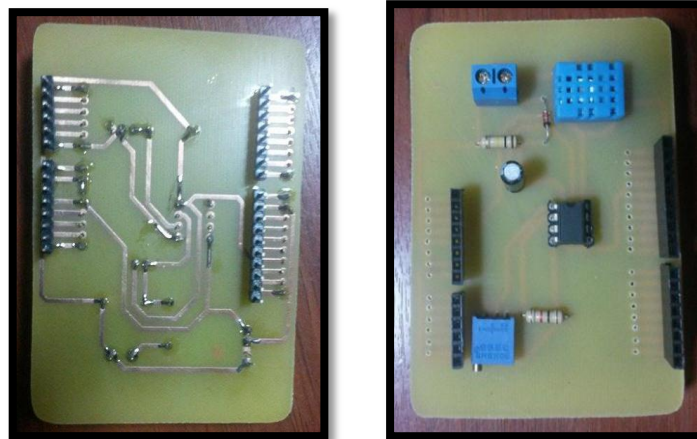


Figura 5-2 Diseño impreso

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Al acoplar el amplificador en lo que respecta alimentación con Arduino, se realizó una prueba de sonido mediante aplicación osciloscopio digital.

2.1.2 *Desarrollo de prototipo Sonómetro en LabVIEW*

Para empezar a conocer el entorno de LabVIEW primero se tiene que saber que es un instrumento virtual. Un instrumento virtual es un módulo de software que simula un panel frontal y apoyándose en elementos hardware, accesibles para el ordenador como: tarjetas de adquisición, instrumentos accesibles vía USB o Ethernet entre otros.

De este modo cuando se ejecuta un programa o instrumentación virtual, los usuarios pueden observar en la pantalla de su computadora un panel idéntico al de un instrumento a manipular, pero con la ventaja de facilitar la visualización y el control del instrumento.



Figura 6-2 Presentación proponentes en LabVIEW

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.1.2.1 *Recepción de Datos*

Para la recepción de datos se sincroniza la tasa de baudios con el arduino con algunos bits de control y se recibe por el puerto serial, como la cantidad de datos que ingresa al sistema es demasiado, Arduino no recupera toda la señal de audio por lo que debemos recurrir a un artificio el cual consiste en ayudar a captar con el computador el audio.

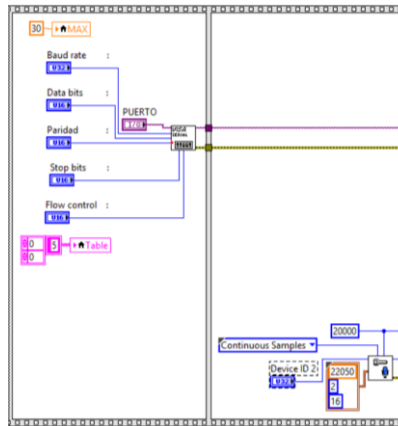


Figura 7-2 Recepción de datos

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

En este diagrama fijamos el tiempo de sincronización el cual nos sirve para no forzar la portatil.

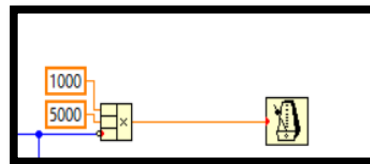


Figura 8-2 Sincronización de tiempo

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

En esta sección tenemos el buffer el cual nos almacena temporalmente los datos recibidos del puerto serial, para la transmisión sumamos valores realizando un arreglo matemático para recuperar los datos de cada sensor, en el caso del audio el rango es de 0 a 999

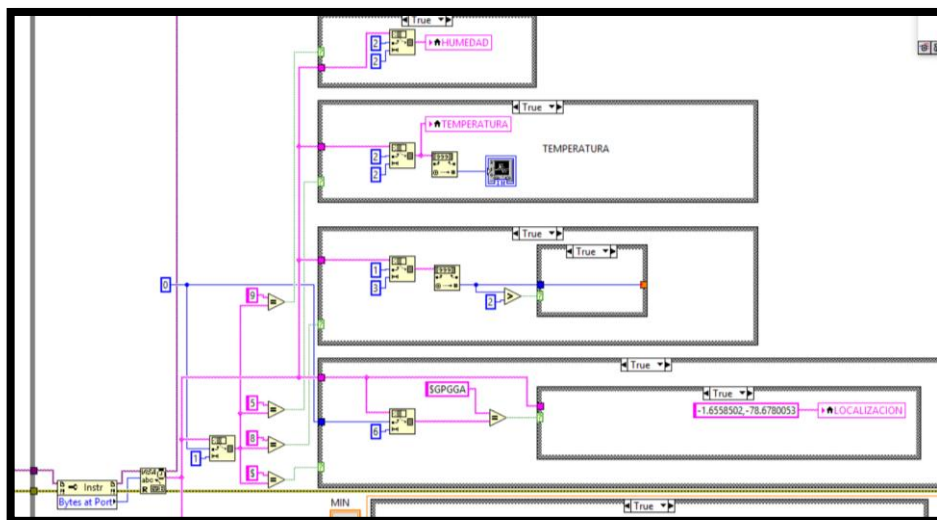


Figura 9-2 Buffer almacenamiento de datos

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

La señal de audio llega a un comparador el cual inicia el sistema cuando haya datos, es aquí cuando realizamos la transformada de Fourier, en el siguiente bloque ponderamos la señal de acuerdo a lo señalados por la norma IEC (International Electrotechnical Commission) 61672. En la norma IEC 61672-1 especificado para el Sonómetro clase 2 con ponderación A.

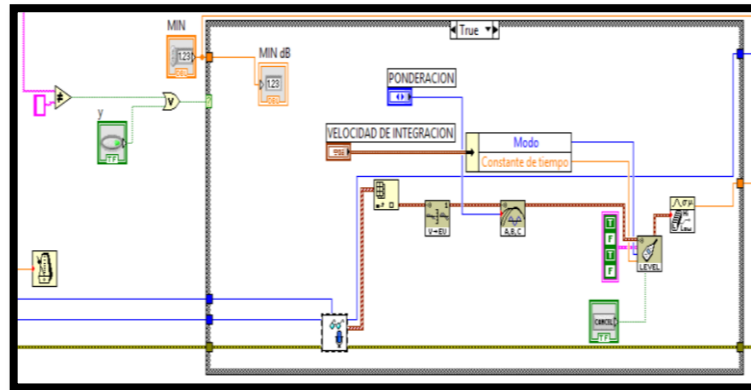


Figura 10-2 Transformada de Fourier

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

El paquete SVT Sound Level (1 Ch) nos ayuda para elegir la velocidad de integración de acuerdo a la norma IEC 61672-1 y transformar a Decibeles (dB).

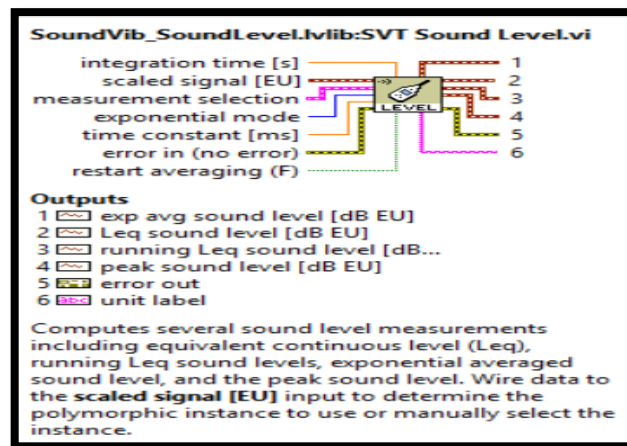


Figura 11-2 Velocidad de muestreo según IEC 61672-1

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

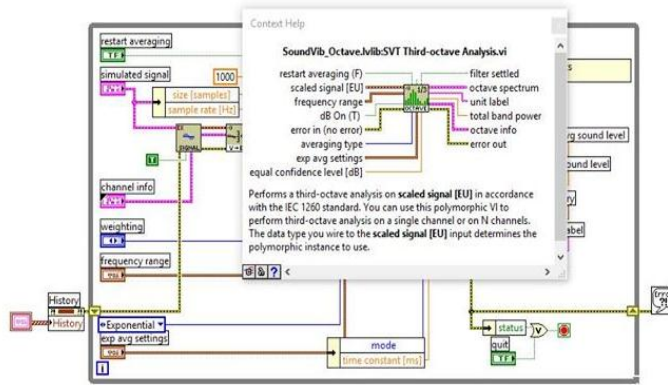


Figura 12-2 Parámetros norma IEC 61672-1

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.1.1.2.2 Calibración de Sonómetro

Para calibrar el prototipo sonómetro, como sonómetro real, cabe recalcar que el sonómetro real también tiene que ser calibrado antes de usarse. Lo mismo se hará con el sonómetro virtual. En esta calibración se utilizó el criterio de igualdad para obtener la ganancia deseada con respecto al sonómetro real. Calibramos los datos y mostramos en pantalla en tiempo real.

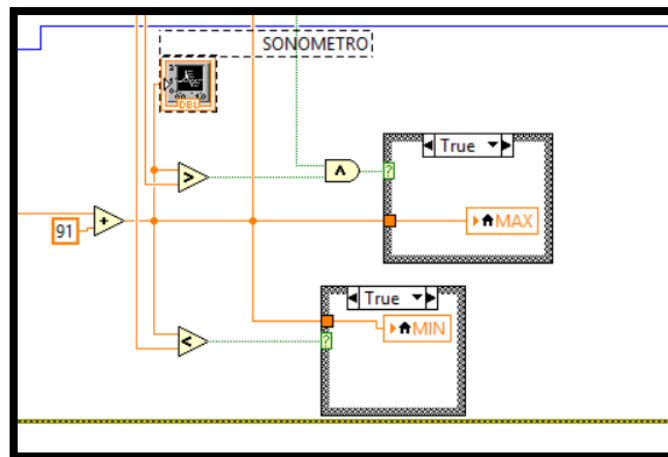


Figura 13-2 Calibración prototipo Sonómetro

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.1.2.3 Diagrama de bloques de la WSN Sonómetro

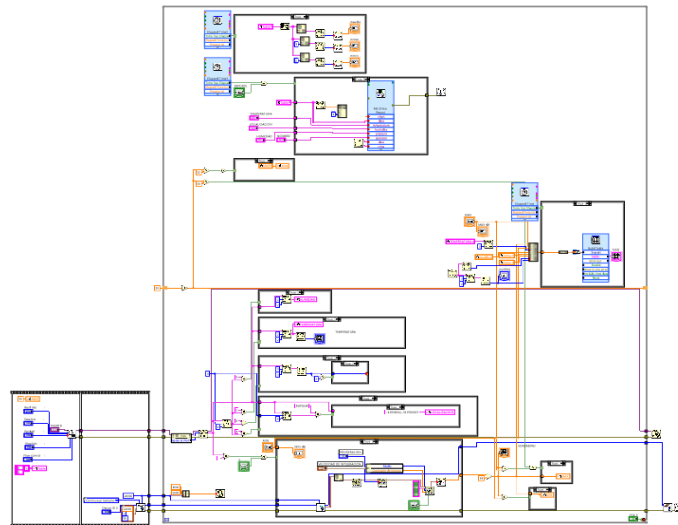


Figura 14-2 Diagrama de bloques WSN en prototipo Sonómetro

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.2 Diseño de la red WSN con 6LoWPAN

Para el desarrollo del prototipo, se utiliza diferentes tecnologías; en esta sección se describe los elementos hardware y software que constituye y sus respectivas características técnicas. La red de sensores inalámbrica está compuesta por dos nodos, un Nodo Tx y un Nodo Rx con una separación de 5m entre ellos. En la Figura 15-2 se esquematiza de manera general el prototipo multimodal sonómetro.

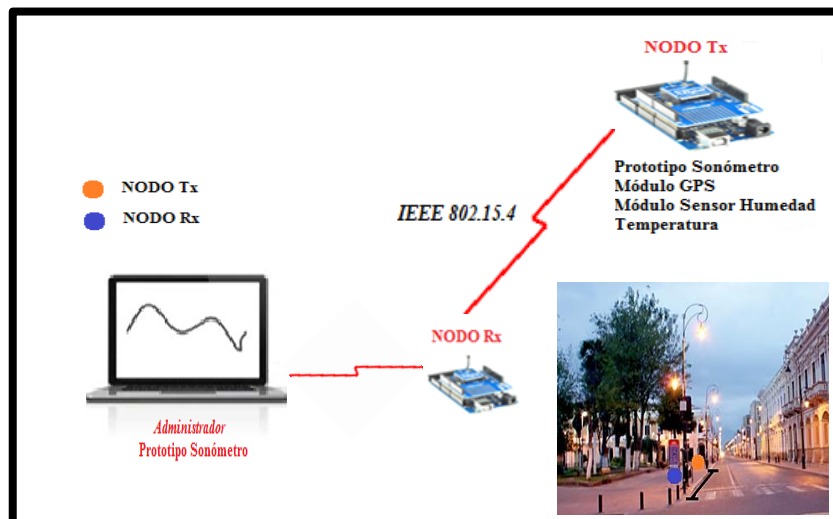


Figura 15-2 Esquema red WSN con 6LoWPAN

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Como se mencionó anteriormente existe en nuestra red dos nodos, nodo1 que envía información de manera inalámbrica hacia el nodo 2 mediante el protocolo 6LoWPAN, para la respectiva comunicación entre sí. La característica del diseño propuesto es el uso de librerías de Arduino, utilizando elementos hardware como Arduino Mega 2560/antena Xbee/sensor para Arduino y elemento Software IDE Arduino. El uso de dispositivos de comunicación XBee Pro S1 es común en plataformas Arduino, presentando la particularidad de operar con el estándar IEEE 802.15.4 necesario para la implementación de 6LoWPAN.

Dentro del funcionamiento se encuentra cuatro procesos específicos y bien diferenciados que componen la red: sensado, transmisión de datos y almacenamiento y procesamiento de la información. Cada uno ayuda para el adecuado funcionamiento de la red.

En el diseño del sistema, se considera utilizar topología estrella, por ser la más adecuada para la red de sensores inalámbrica o WSN (Wireless Sensor Networks), que en nuestro trabajo el Nodo Tx se conecta directamente con el Nodo Rx estableciendo comunicación bidireccional.

2.2.1 *Diseño de Hardware*

En esta sección se detallara las características técnicas de funcionamiento y configuración de los principales elementos que conforma los nodos de acuerdo a la red planteada.

El nodo sensor de cuerdo a los elementos de la WSN es llamado Nodo Tx en el desarrollo del trabajo, integrado de 4 dispositivos como son: Arduino Mega 2560, Sensor Humedad Temperatura, Módulo XBee Pro S1 y Modulo GPS; alimentado por un UPS. En la Figura 16-2 se puede observar los elementos del Nodo Transmisor.



Figura 16-2 Nodo Transmisor

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Mientras que el Nodo Receptor encargado de recibir toda la información sensada, enviada por el Nodo Transmisor por medio de su módulo Xbee Pro S1, para procesarlo en su placa Arduino Mega 2560.



Figura 17-2 Nodo Receptor

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.2.1.1 *Proceso de Sensado*

Su función esta centrado en la recolección de información de los parámetros ambientales (humedad temperatura relativa) y el nivel de presión sonora, en puntos determinados mediante un sistema de posicionamiento global (GPS).

Modulo Sensor Humedad Temperatura Dht11 Arduino

Dentro de proceso de sensado, el DHT11 es un sensor básico digital de medición de temperatura y humedad. Este sensor está basado en un termistor que sirve para medir el aire circundante (temperatura) e implementa un sensor interno capacitivo para la medición de humedad. Para su correcto funcionamiento se conoce que tiene tres terminales, +Vcc (1), Gnd (2) y DATA (3). El pin DATA obtiene una señal digital que es tratada a través de la placa del Arduino Mega2560. Su implementación es sencilla. El DHT11 caracterizado por ser de dimensiones pequeñas, con bajo consumo de energía, de bajo costo. Además el DHT11 está estrictamente calibrado.

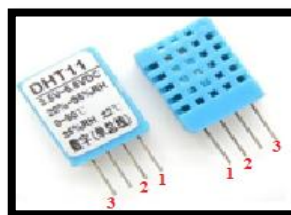


Figura 18-2 Sensor Humedad Temperatura Dht11

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

En la Tabla 2-2 se encuentran las especificaciones técnicas del Sensor Humedad Temperatura Dht11.

Tabla 2-2 Especificaciones Técnicas DTH11

Modelo	Dht11
Fuente de alimentación	3-5.5V DC
Señal de Salida	Señal digital a través de un único bus (Single-bus)
Elemento de detección	Resistencia de polímetro
Rango de medición	Humedad 20-90%RH; temperatura 0-50 ° C
Exactitud	Humedad +/-4% RH (Máx. +/-5% RH); temperatura +/-2 ° C
Resolución y sensibilidad	Humedad +/-1% RH; temperatura 0.1° C
Repetibilidad	Humedad ± 1% HR; temperatura +/-1 ° C
Histéresis de humedad	+/-1%RH humedad
Estabilidad a largo plazo	+/-0.5% RH/ año
Periodo de detección	2s promedio
Intercambiabilidad	Completamente intercambiables
Dimensiones:	12*15.5*5.5mm

Fuente: <http://www.exp-tech.de/service/datasheet/DHT11.PDF>

GPS Shield en Arduino

El GPS Shield está basado en el módulo receptor ublox's NEO-6M y es compatible con placas Arduino / MEGA. Por lo general los pines (RX, TX) del GPS se pueden conectar a D0-D7 del Arduino. Soporta software SerialPort y tarjeta MicroSD.

Es muy fácil de usar. Basta con leer SerialPort y obtendrá los datos del GPS. Las interfaces del módulo GPS Shield a la aplicación del cliente la da a través de un puerto serie, que utiliza los niveles de voltaje CMOS. Trabaja con 3.3V / 5V IO para operar. Esto significa que es compatible en un 100% con todas las placas Arduino. En la Figura 19-2 se observa el modelo MCA01328A del GPS Shield.



Figura 19-2 Modelo: MCA01328A

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

A continuación se detallan las características más importantes:

- Interfaz: Micro SD
- Tensión lógica compatible: 3.3-5V
- El diseño de antena activa externa con alta sensibilidad, compatible antena normal
- Tiempo extremadamente rápido para fijar satélites por primera vez en el bajo nivel de señal
- Temperatura de funcionamiento: $-40^{\circ} \sim +85^{\circ}$

Especificación: NEO-6M-0-001

A continuación en la figura 2-20 se muestra las respectivas funciones del interfaz del GPS Shield para conectar al Arduino correctamente.

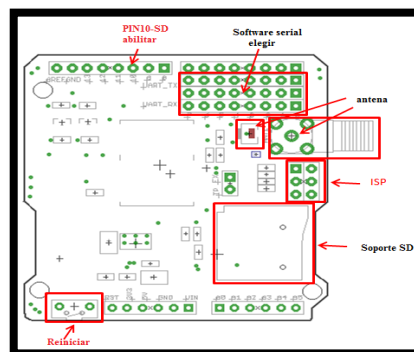


Figura 20-2 Funciones interfaz del GPS Shield

Fuente: http://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=GPS_shield

2.2.1.2 Proceso de Transmisión de datos

Arduino Mega 2560

Es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega2560. Este tiene 54 pines digitales de entrada/salida, (de los cuales 15 pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (hardware puertas seriales), un oscilador de cristal de 16MHz, memoria Flash 256 KB, SRAM 8 KB Y EEPROM 4KB, una conexión USB, un jack para su alimentación, una conector ICSP y su botón de reinicio . Su uso es sencillo ya que vienen listos para ser usados y se pueden aplicar en cualquier campo de la electrónica y control. Para su programación se requiere conectarlo al computador a través de su puerto USB y correr el programa propio de Arduino junto con la interfaz Arduino IDE.

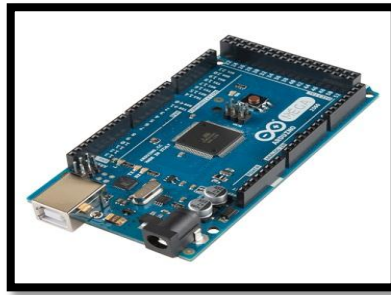


Figura 21-2 Arduino Mega 2560

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Arduino Mega se alimenta a través de su puerto USB, mediante baterías o de cualquier fuente de poder externa en nuestro trabajo se utiliza un sistema de Suministro Ininterrumpido de Energía (UPS), para la cual se debe utilizar un convertidor AC/DC y regular dicho voltaje al rango operativo de la placa.

A continuación las especificaciones técnicas:

Tabla 2-3 Especificaciones Técnicas Arduino Mega 2560

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines digitales I/O	54 (15 pueden proveer salidas PWM)

Pines de entrada análogos	16
Modo de Programación	USB por software Arduino
Corriente DC para pines I/O	20 mA
Corriente DC para pines 3.3V	50 mA
Flash Memory	256 KB de los cuales 8KB usados como bootloader
SDRAM	8KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Longitud	101.52 mm
Ancho	53.3 mm
Peso	37g

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

Módulo XBee Pro S1

En la Figura 22-2 se tiene el módulo de radiofrecuencia que trabaja en la banda de 2.4 GHz y utiliza para su comunicación el protocolo 802.15.4. Su programación se realiza mediante el software X-CTU.



Figura 22-2 Módulo XBee Pro S1

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Es muy importante la utilización, debido a que es el medio de comunicación entre el nodo Tx y el nodo Rx, una vez conectado a la placa Arduino a través del shield XBee de Arduino quien se encarga de su alimentación, generar una red propia e inmediatamente busca dispositivos dentro de su red a los que pueda asociarse.



Figura 23-2 Shield XBee Arduino

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

En la Tabla 2-4 se detalla las características técnicas de dicho modulo Xbee Pro S1.

Tabla 2-4 Características Técnicas de Módulo XBee Pro S1

Características Técnicas de Módulo XBee	
Alcance	100 m
Antena	Incorporada
Interfaz	Serial
Velocidad de datos	250Kbps
Consumo	Funcionando: 50 mA Modo Sleep: 10 μ A
I/O	9 analógicas y digitales

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.2.1.3 *Procesamiento y Almacenamiento de información*

Esta etapa de construcción esta basad en una Laptop Toshiba con las siguientes características más relevantes como son: Intel Core i7 4510U 2.0GHz (3.1 GHz), 12GB RAM / Disco Duro 1TB, sistema operativo Windows de 32 bits. Ver Figura 24-2.



Figura 24-2 Equipo Administrador

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.2.2 *Diseño de Software*

2.2.2.1 *Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Arduino*

Para la respectiva configuración se descargó arduino 1.6.5, se puede observar en la Figura 25-2; así también al ejecutar el software arduino debemos elegir el puerto COM al que está conectado el dispositivo y el tipo de hardware que se tiene conectado.

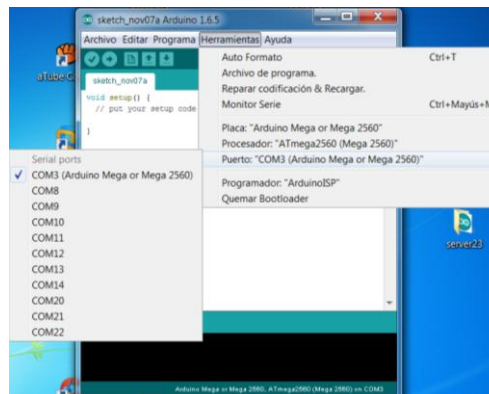


Figura 25-2 Conexión Arduino Mega 2560

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

2.2.2.2 *X-CTU*

X-CTU, es un programa con lo que se configura los Xbee Pro S1, basado en Windows que a través de una interface gráfica se configura e interactúa con los nodos Tx y Rx por radiofrecuencia en la red de sensores inalámbrica.

Lo primero que tenemos que hacer es descargar o instalar el software para lo que se debe hacer clic en programa, y se mostrara la siguiente pantalla.

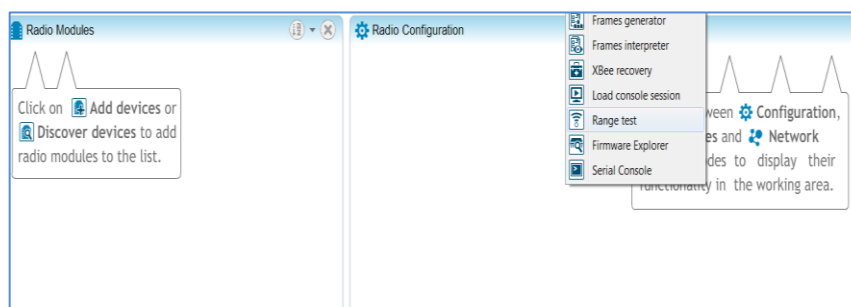


Figura 26-2 Software X-CTU

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Abierta la ventana del programa se tiene las siguientes opciones:

- **PC Settings**

En esta pestaña se puede configurar el puerto y seleccionar el necesario de acuerdo a las características del módulo XBee. En este caso seleccionamos el puerto COM y luego verificar si la selección fue correcta.

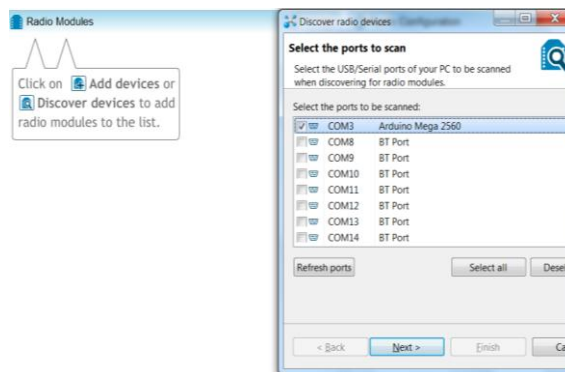


Figura 27-2 PC Settings

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

- **Range Test**

Esta función permite saber el rango entre los nodos y determinar si hay algún problema en la transmisión de datos, como se muestra en la Figura 28-2 a continuación.

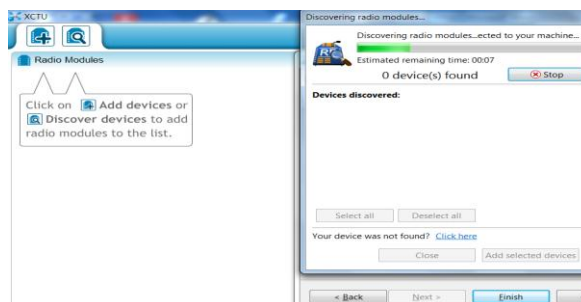


Figura 28-2 Range Test

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

- **Terminal**

Esta opción permite llegar al puerto COM seleccionado anteriormente del ordenador mediante comandos AT que lo encontramos en el datasheet del dispositivo. Como se tiene en la siguiente Figura 29-2.

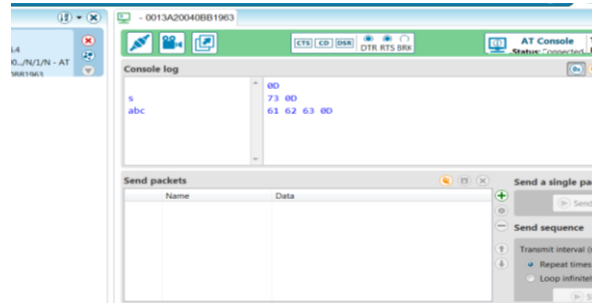


Figura 29-2 Terminal

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

- **Modem Configuration**

Mientras que esta opción permite establecer los parámetros de la interface gráfica así también además se puede escribir o borrar el módulo XBee. En esta pestaña lo primero que debemos realizar es leer el módulo XBee a su vez se puede variar la versión de firmware de acuerdo a nuestras necesidades.

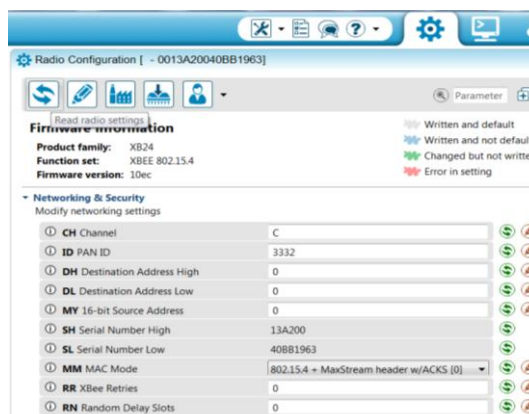


Figura 30-2 Modem Configuration

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Una vez realizado todos los pasos correctamente procedemos a guardar y por ultimo hacemos clic en *Write*.

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN

Luego del proceso de diseño y desarrollo del prototipo sonómetro y del software para analizar los datos obtenidos, el siguiente paso es realizar medidas por el centro de la ciudad de Riobamba, en dos puntos referenciados por un GPS.

3.1 Descripción de las zonas seleccionadas

Las mediciones de ruido realizadas fueron en las calles:

- Olmedo y Carabobo: -1.6710502,-78.6564665,17
- José Orozco y Cristóbal Colón: -1.6710502,-78.6506331,17

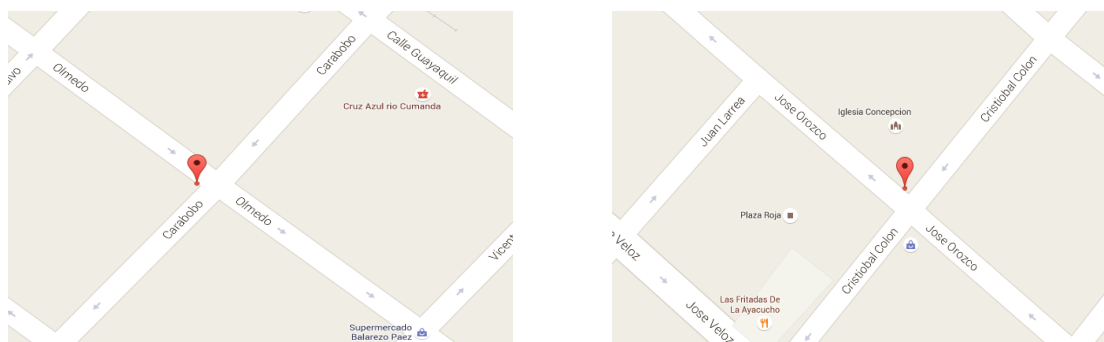


Figura 1-3 Localización de las mediciones

Fuente: Yucta M., Tenezaca E., 2016

En estos dos puntos concurridos del centro de la ciudad de Riobamba, se presume exceden el nivel de ruido ambiente en zona comercial de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5. Las zonas seleccionadas se caracterizan por el alto flujo vehicular y comercial.

El micrófono del instrumento de medición estará ubicado a una altura entre 1,0 y 1,5 m del suelo, y a una distancia de por lo menos 3 metros de las paredes de edificios o estructuras que puedan reflejar el sonido.

La duración de cada medición será de 10 minutos y se realizarán en periodos de mayor congestión vehicular, así también cuando no exista tráfico demostrando su correcto funcionamiento, en ambiente silencioso.

Los horarios de medición se han dispuesto teniendo en cuenta lo especificado en el TULAS (de 06H00 a 20H00 y de 20H00 a 06H00), de la siguiente manera:

- Mañana: período comprendido entre las 7:00 y 9:00 am
- Medio día: período comprendido entre las 12:00 y 14:00 pm
- Tarde: período comprendido entre las 17:00 y 19:00 pm
- Noche: período comprendido entre las 21:00 y 23:00 pm

3.2 Análisis de Resultados

Para el debido análisis de resultados de información captada por el dispositivo de medida, se emitió reportes cada 10 minutos, el cual indica las coordenadas del punto de medición, NPS dB(A), Nivel Continuo Equivalente Leq(A), Nivel Máximo de Presión Sonora, Nivel Mínimo de Presión Sonora, Temperatura, Horas y Minutos.

3.2.1 Características Técnicas del prototipo Sonómetro

Las características técnicas del sonómetro diseñado se describen a continuación:

- Sonómetro clase 2
- Rango de medida 20-120 dB
- Ponderación A
- Velocidad de integración: S (slow), F (fast), I (Impulse)
- Mide parámetros NPS dB(A), Leq(A), Nivel Máximo y Nivel Mínimo de Presión Sonora
- Rango de frecuencia 16 Hz a 16KHz
- Fácil calibración
- Indicador cuando las señales sobrepasan los 60 dB

3.2.2 Generación de Reportes

LabVIEW tiene la función de almacenar los resultados de una adquisición de datos en un archivo de Excel mediante el uso del *Report Generation Toolkit*. Un ejemplo se muestra de las mediciones realizadas en la Figura 2-3 y Figura 3-3.

Reporte									
Nombre:		EDUARDO TENEZACA							
Fecha:		3/10/2016							
Hora:		8:00							
Temperatura:		19							
Humedad:		57							
Localización:		-1.6710502,-78.6506331,17							
Audio	Pico Max	Pico Min	Temperatura	Maudio	Mmax	Mmin	Horas	Minuto	
48,89	30	30	25	31,16	15	15,22	8	0	0
63,24	59,96	53,36	25	31,16	15	15,22	8	0	0
63,64	63,3	45,23	25	31,16	15	15,22	8	0	0
47,83	67,27	45,23	25	31,16	15	15,22	8	0	0
64,66	67,27	45,23	25	31,16	15	15,22	8	0	0
70,2	69,53	45,23	25	31,16	15	15,22	8	1	1
68,96	79,05	45,23	25	31,16	15	15,22	8	1	1
68,22	79,05	45,23	25	31,16	15	15,22	8	1	1
57,49	79,05	45,23	24	31,16	15	15,22	8	1	1
60,33	79,05	45,23	24	31,16	15	15,22	8	1	1
68,03	79,05	45,23	24	31,16	15	15,22	8	2	2
67,56	79,05	45,23	24	31,16	15	15,22	8	2	2
62,64	79,05	45,23	23	31,16	15	15,22	8	2	2
62,3	79,05	45,23	23	31,16	15	15,22	8	2	2
67,47	79,05	45,23	22	31,16	15	15,22	8	2	2
56,1	79,05	40,95	22	31,16	15	15,22	8	3	3
54,64	79,05	40,95	22	31,16	15	15,22	8	3	3
45,68	79,05	40,08	21	31,16	15	15,22	8	3	3
35,53	79,05	37,16	21	31,16	15	15,22	8	3	3

Figura 2-3 Reporte calles Olmedo y Carabobo

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Reporte									
Nombre:		EDUARDO TENEZACA							
Fecha:		3/1/2016							
Hora:		21:00							
Temperatura:		17							
Humedad:		60							
Localización:		-1,6710502 -78,6564665							
Audio	Pico Max	Pico Min	Temperatura	Maudio	Mmax	Mmin	Horas	Minuto	
43,39	30	30	21	31	24,33	24,33	21	0	0
35,97	39,83	27,33	22	31	24,33	24,33	21	0	0
41,22	48,51	27,33	22	31	24,33	24,33	21	0	0
29,38	59,16	27,33	22	31	24,33	24,33	21	0	0
34,14	59,16	27,33	22	31	24,33	24,33	21	0	0
37,88	59,16	27,33	22	36,4	26,56	28,33	21	1	1
44,37	59,16	27,33	22	36,4	26,56	28,33	21	1	1
50,02	61,66	27,33	22	36,4	26,56	28,33	21	1	1
27,62	61,66	27,33	21	36,4	26,56	28,33	21	1	1
29,77	61,66	27,33	21	36,4	26,56	28,33	21	1	1
36,54	61,66	27,33	21	36,4	26,56	28,33	21	2	2
39,19	61,66	27,33	22	36,82	26,56	28,33	21	2	2
39,26	61,66	27,33	21	36,82	26,56	28,33	21	2	2
43,59	62,08	27,33	21	36,82	26,56	28,33	21	2	2
50,18	62,08	26,8	21	36,82	26,56	28,33	21	2	2
50,77	62,08	26,8	22	36,82	26,56	28,33	21	3	3
31,84	62,08	26,8	21	39,12	26,56	28,33	21	3	3

Figura 3-3 Reporte calles José Orozco y Cristóbal Colon

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

3.2.3 Medidas Realizadas

Se midió cada 10 segundos en periodos de 10 minutos. A continuación se muestra las gráficas 4-3, 5-3, 6-3, 7-3, 8-3, 9-3, 10-3 y 11-3 que representan el comportamiento del nivel de presión sonora, resultados obtenidos en el centro de la ciudad de Riobamba.

Medición calles Olmedo y Carabobo de 7:00 a 7:10 am

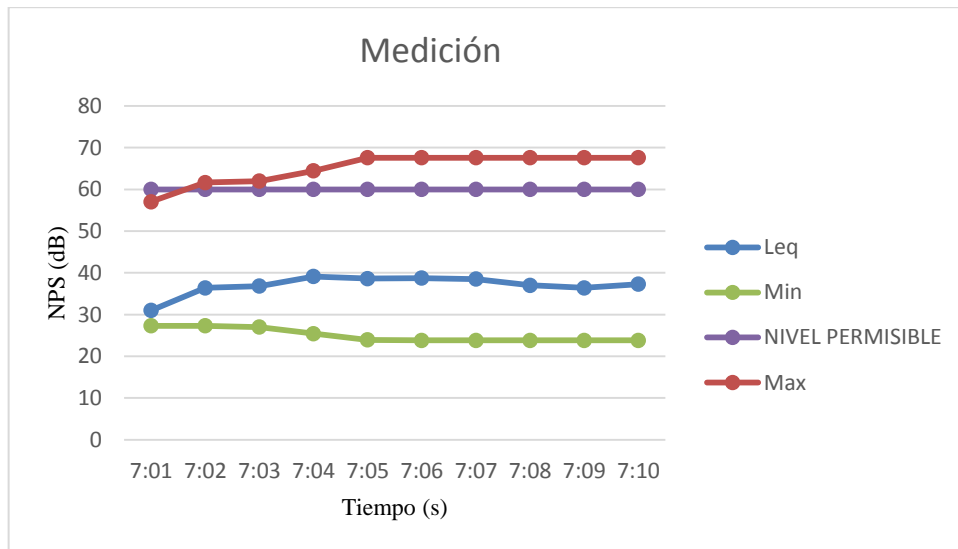


Figura 4-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Mín y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Medición calles José Orozco y Cristóbal Colón de 8:00 a 8:10 am

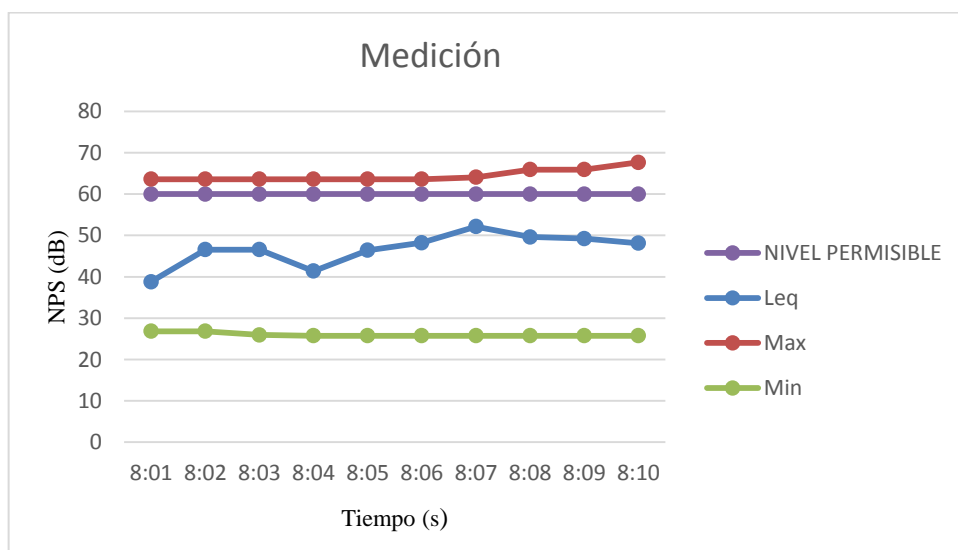


Figura 5-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Mín y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Medición calles Olmedo y Carabobo de 12:00 a 12:10 pm

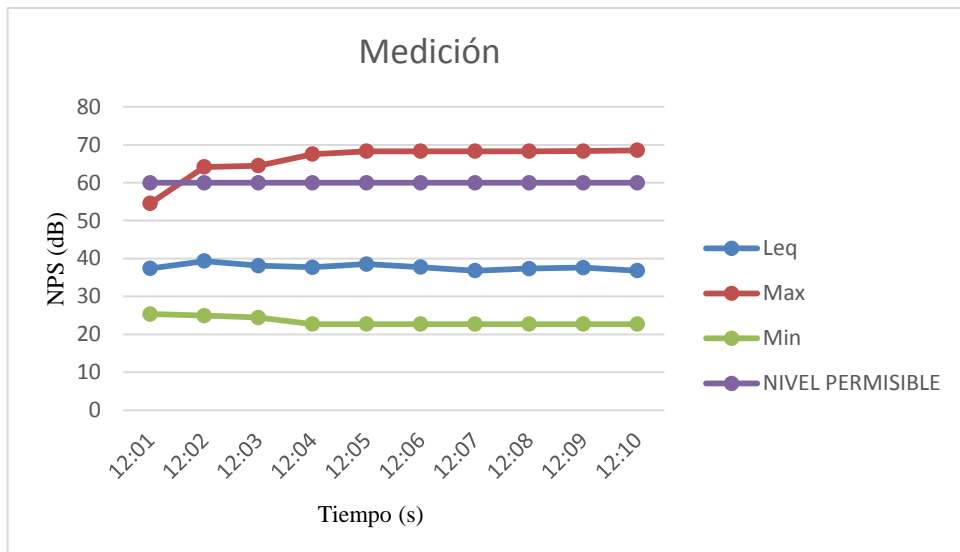


Figura 6-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Medición calles José Orozco y Cristóbal Colón de 13:00 a 13:10 pm

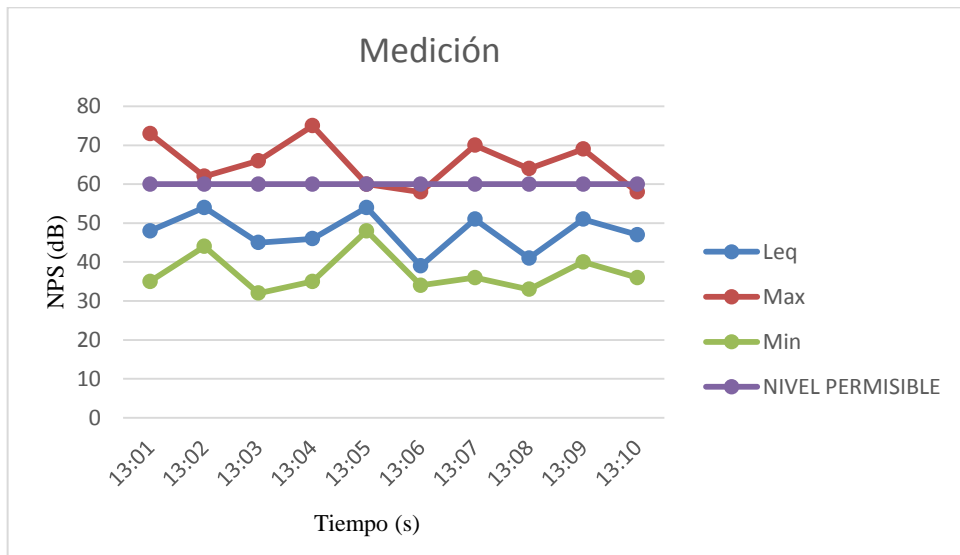


Figura 7-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Medición calles Olmedo y Carabobo de 17:00 a 17:10 pm

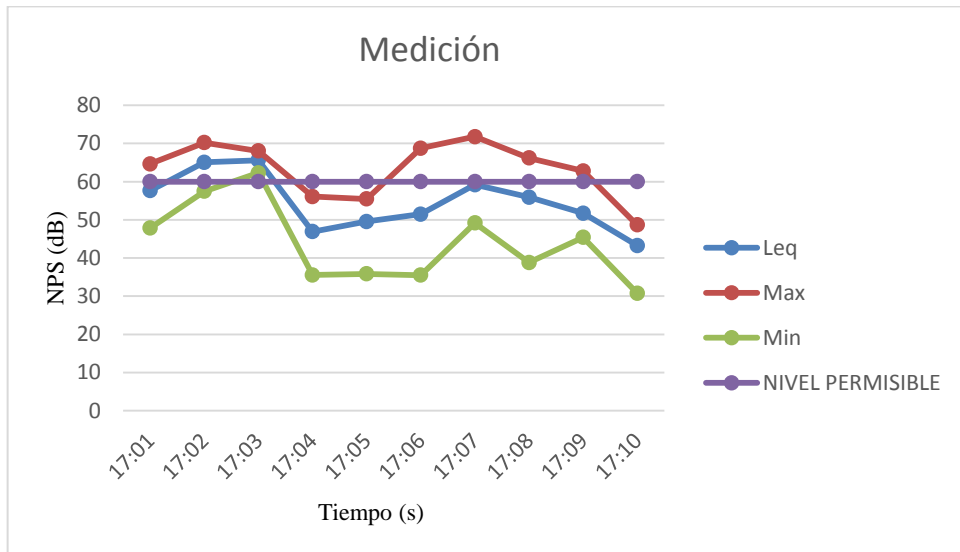


Figura 8-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Medición calles José Orozco y Cristóbal Colón de 18:00 a 18:10 pm

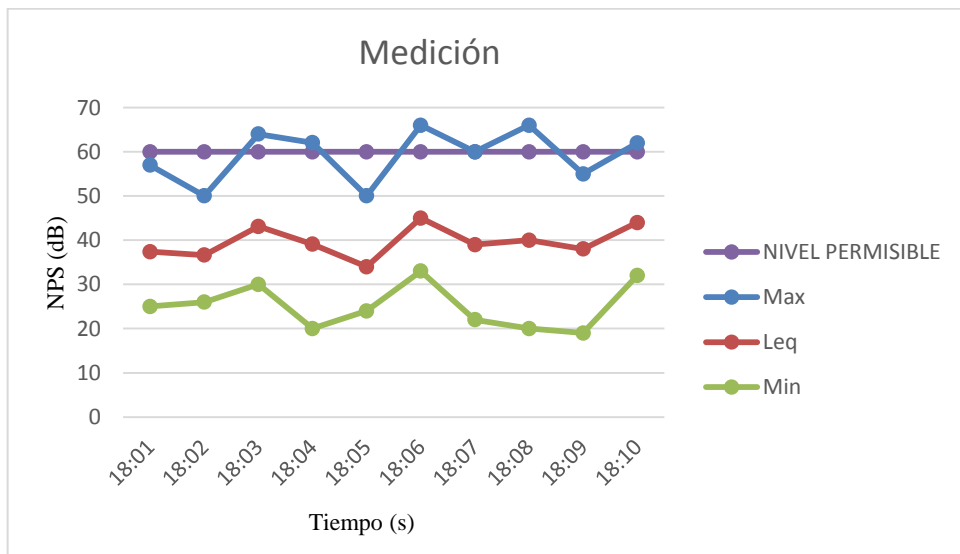


Figura 9-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Medición calles Olmedo y Carabobo de 21:00 a 21:10 pm

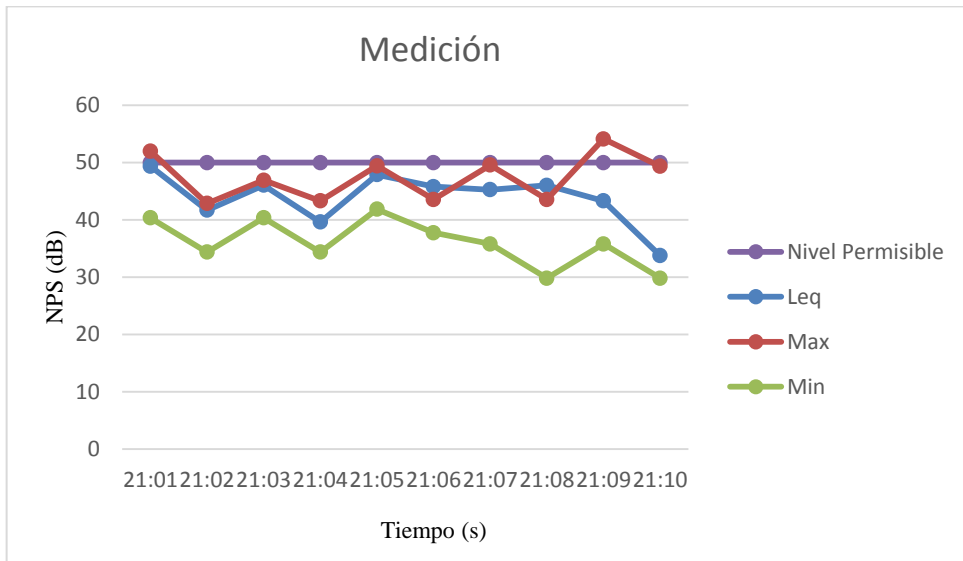


Figura 10-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Medición calles José Orozco y Cristóbal Colón de 22:00 a 22:10 pm

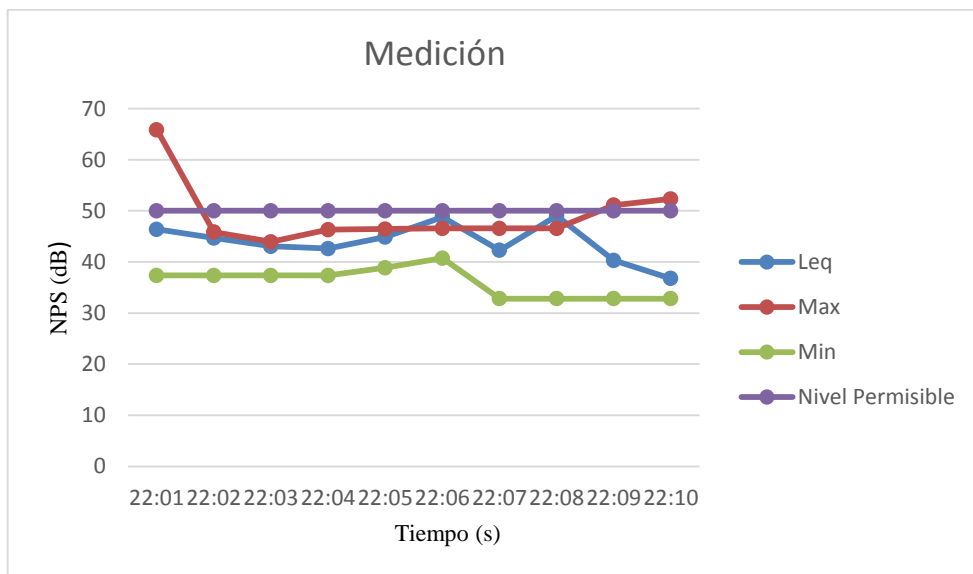


Figura 11-3 NPS (dB), Leq (dB), Nivel Min y Nivel Max

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

3.3 Validación de Resultados

En cada una de las mediciones de ruido ambiental, 10 segundos tiene de duración para cada una de las velocidades de integración, así como se especifica en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1 Configuración para las Mediciones

Tipo de Medición	Duración (s)	Tiempo de Integración	Ponderación
Ruido Ambiental	10	Slow (1 segundo)	Tipo A
Ruido Ambiental	10	Fast (125 milisegundos)	Tipo A
Ruido Ambiental	10	Impulsive (35 milisegundos)	Tipo A

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Para la respectiva validación del prototipo sonómetro se utiliza aplicación sonómetros instalados en el celular Samsung Galaxy S4 Mini y Sony Xperia M4 Aqua, se observa claramente en la Figura 12-3 y Figura 13-3 respectivamente.



Figura 12-3 Prototipo Sonómetro vs Aplicación en Samsung Galaxy S4 Mini

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

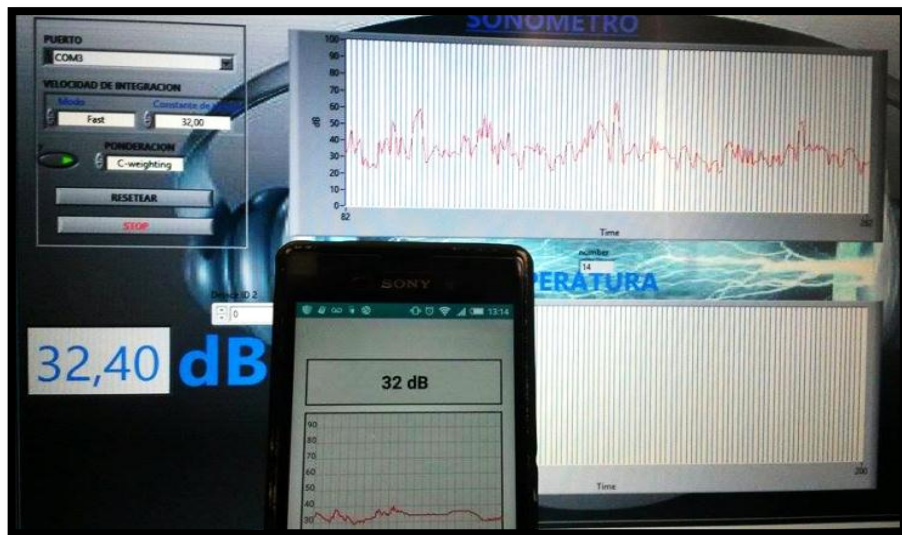


Figura 13-3 Prototipo Sonómetro vs Aplicación en Sony Xperia M4 Aqua

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

La comparación de datos con los niveles continuos equivalentes, niveles máximos y niveles mínimos con la ponderación tipo A. Se tiene en la Tabla 3-2, que indica valores de la información utilizando el prototipo sonómetro y el celular Samsung Galaxy S4 Mini.

Tabla 3-2 Datos comparativos de los Sonómetros

Medición Ruido ambiental 1 – 10 segundos			
	Leq	Max	Min
Sonómetro del Sistema	32.40 dB	73 dB	18.75 dB
Sonómetro Aplicación	32 dB	71.5 dB	19.2 dB

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Leq

El cálculo del error absoluto está dado por la siguiente ecuación.

Dónde:

- fm es el valor medido
- fr el valor de comparación

$$e_{abs} = |fm - fr|$$

$$e_{abs} = |32.40 \text{ dB} - 32 \text{ dB}|$$

$$e_{abs} = 0.40 \text{ dB}$$

El cálculo del porcentaje del error relativo de Leq entre las dos comparaciones esta dada por la ecuación.

$$e_{rel} = \frac{|fm - fr|}{fr} \times 100\%$$
$$e_{rel} = \frac{|32.40 \text{ dB} - 32 \text{ dB}|}{32 \text{ dB}} \times 100\%$$
$$e_{rel} = 1.25\%$$

Entonces se tiene como resultado un error relativo de **1.25%**

Min

El cálculo del error absoluto está dado por la siguiente ecuación.

Dónde:

- fm es el valor medido
- fr el valor de comparación

$$e_{abs} = |fm - fr|$$
$$e_{abs} = |18.75 - 19.2 \text{ dB}|$$
$$e_{abs} = 0.45 \text{ dB}$$

El cálculo del porcentaje del error relativo de Min entre las dos comparaciones esta dada por la ecuación.

$$e_{rel} = \frac{|fm - fr|}{fr} \times 100\%$$
$$e_{rel} = \frac{|18.75 \text{ dB} - 19.2 \text{ dB}|}{19.2 \text{ dB}} \times 100\%$$
$$e_{rel} = 2.34 \%$$

Entonces se tiene como resultado un error relativo de **2.34%**

Max

El cálculo del error absoluto está dado por la siguiente ecuación.

Dónde:

- fm es el valor medido
- fr el valor de comparación

$$e_{abs} = |fm - fr|$$

$$e_{abs} = |73 \text{ dB} - 71.5 \text{ dB}|$$

$$e_{abs} = 1.5 \text{ dB}$$

El cálculo del porcentaje del error relativo de Max entre las dos comparaciones esta dada por la ecuación.

$$e_{rel} = \frac{|fm - fr|}{fr} \times 100\%$$

$$e_{rel} = \frac{|73 \text{ dB} - 71.5 \text{ dB}|}{71.5 \text{ dB}} \times 100\%$$

$$e_{rel} = 2.09\%$$

Entonces se tiene como resultado un error relativo de **2.09%**

De igual manera se tiene la Tabla 3-3, que indica valores de información utilizando el prototipo sonómetro y el celular Sony Xperia M4 Aqua.

Tabla 3-3 Datos comparativos de los Sonómetros

Medición Ruido ambiental 1 – 10 segundos			
	Leq	Max	Min
Sonómetro del Sistema	36.50 dB	72 dB	19.70 dB
Sonómetro Aplicación	36 dB	70.9 dB	20 dB

Realizado por: Yucta M., Tenezaca E., 2016

Leq

El cálculo del error absoluto está dado por la siguiente ecuación.

Dónde:

- *fm* es el valor medido
- *fr* el valor de comparación

$$e_{abs} = |fm - fr|$$

$$e_{abs} = |36.50 \text{ dB} - 36 \text{ dB}|$$

$$e_{abs} = 0.50 \text{ dB}$$

El cálculo del porcentaje del error relativo de Leq entre las dos comparaciones esta dada por la ecuación.

$$e_{rel} = \frac{|fm - fr|}{fr} \times 100\%$$
$$e_{rel} = \frac{|36.50 \text{ dB} - 36 \text{ dB}|}{36 \text{ dB}} \times 100\%$$
$$e_{rel} = 1.39\%$$

Entonces se tiene como resultado un error relativo de **1.39%**

Min

El cálculo del error absoluto está dado por la siguiente ecuación .

Dónde:

- fm es el valor medido
- fr el valor de comparación

$$e_{abs} = |fm - fr|$$
$$e_{abs} = |19.7 \text{ dB} - 20 \text{ dB}|$$
$$e_{abs} = 0.30 \text{ dB}$$

El cálculo del porcentaje del error relativo de Leq entre las dos comparaciones esta dada por la ecuación.

$$e_{rel} = \frac{|fm - fr|}{fr} \times 100\%$$
$$e_{rel} = \frac{|19.7 \text{ dB} - 20 \text{ dB}|}{20 \text{ dB}} \times 100\%$$
$$e_{rel} = 1.5\%$$

Entonces se tiene como resultado un error relativo de **1.5%**

Max

El cálculo del error absoluto está dado por la siguiente ecuación .

Dónde:

- f_m es el valor medido
- f_r el valor de comparación

$$e_{abs} = |f_m - f_r|$$

$$e_{abs} = |72 \text{ dB} - 70.9 \text{ dB}|$$

$$e_{abs} = 1.1 \text{ dB}$$

El cálculo del porcentaje del error relativo de Leq entre las dos comparaciones esta dada por la ecuación.

$$e_{rel} = \frac{|f_m - f_r|}{f_r} \times 100\%$$

$$e_{rel} = \frac{|72 \text{ dB} - 70.9 \text{ dB}|}{70.9 \text{ dB}} \times 100\%$$

$$e_{rel} = 1.55\%$$

Entonces se tiene como resultado un error relativo de **1.55%**

Una vez realizado los respectivos cálculos de error absoluto y error relativo en un tiempo de integración Slow (1 segundo) se puede dar cuenta que nuestro prototipo sonómetro tiene una fiabilidad de un 99% al momento de hacer las mediciones.

CONCLUSIONES

1. Al utilizar diferentes tecnologías en el diseño e implementación del prototipo sonómetro hacen del instrumento de medida ser multimodal; así la comunicación en la red de sensores inalámbrica utilizando el protocolo 6LowPAN permiten el uso del IEEE 802.15.4 para el Internet de las Cosas como solución SMART para el medio ambiente: ruido.
2. El Esquema del hardware se lo realizó en Arduino y sus shields, tomando como referencia los puntos de más afluencia vehicular ya que en estos lugares se encuentra la mayor contaminación acústica, se implementó un vúmetro digital que nos da una alarma creando conciencia del ruido del entorno para tratar de reducirlo.
3. La utilización del entorno de desarrollo basado en programación gráfico LABVIEW permite trabajar con la Norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) 61672-1 para medir el nivel de sonido en la ciudad de Riobamba, permitiéndonos cumplir con los requerimientos para la validación del prototipo sonómetro.
4. El nivel de presión sonora equivalente en zona comercial sobrepasan lo establecido de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5 que es 60 dB(A) en periodos de tiempo de 06H00 a 20H00 y 50 dB(A) en periodo de tiempo de 20H00 a 06H00, llegando a su nivel máximo de 75 dB (A) y 68 dB (A) respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar un estudio minucioso de hardware Arduino MEGA 2560 ya que el dispositivo requiere de configuraciones específicas para un correcto funcionamiento de los materiales adicionales en cada nodo de la red de sensores inalámbricos.
2. Implementar estrategias de almacenamiento de los datos obtenidos por el prototipo Sonómetro, como bases de datos en Mysql, SQL, Acces etc.
3. Para la transmisión de cadenas cortas de datos seriales entre dos dispositivos, se recomienda utilizar velocidades altas de transmisión como 115200 baudios, para poder tener un mayor control de la información, si las cadenas de datos son largas es preferible utilizar velocidades medias y bajas como 9600 y 4800 baudios para no tener pérdida de datos por la latencia propia del sistema.
4. Se debe utilizar dispositivos más robustos en el caso de implementar un prototipo Sonómetro de mayor precisión, así por ejemplo si se requiere implementar un sonómetro clase 1 en base a la norma IEC 61672-1.
5. Se recomienda utilizar el prototipo sonómetro a la ESPOCH-FIE para determinar los niveles de ruido en el ambiente de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5, debido a su versatilidad y bajo costo.

BIBLIOGRAFÍA

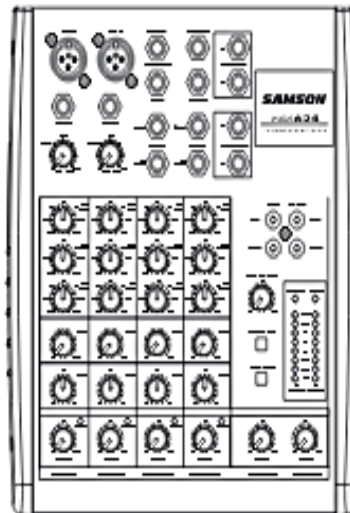
- **ARDUINO, S. A.** Arduino Mega 2560. *Internet: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>, [Nov., 2013]*, 2014.
- **ARELLANO ESPINO, ABRAHAM CHRISTIAN.** *MICROFONOS*. 2010. Tesis Doctoral.
- **BURNEO, César Augusto.** Contaminación ambiental por ruido y estrés en el Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2003.
- **EGEA ROCA, Daniel, et al.** Diseño, implementación y validación de un sistema de localización híbrido basado en una red de sensores inalámbricos (WSN). 2012.
- **FASTCOEXIST.** *Sensors inalámbricos*. [En línea], 2011, [Consulta: 19 de septiembre de 2015] Disponible en: <http://www.fastcoexist.com/1680111/intels-sensors-will-warn-you-about-running-outside-when-the-air-is-polluted>
- **HERNÁNDEZ, Josué.** Diseño de un sonómetro. *Trabajo de grado (Ingeniería en comunicación y electrónica), Mexico DF: Instituto Politecnico Nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica unidad profesional" Adolfo López Mateos*, 2009.
- **HERRADOR, Rafael Enríquez.** Guía de Usuario de Arduino. *Universidad de Córdoba*, 2009, p. 8.
- **IACONO, Lucas, et al.** Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, 2012, no 10, p. 57-68.
- **MA, Xin; LUO, Wei.** The analysis of 6lowpan technology. En *2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application*. IEEE, 2008. p. 963-966.
- **MERCADO, Gustavo; DIEDRICHS, A.; AGUIRRE, M.** The Wireless Embedded Internet. *Annals of CASE*, 2011.

- **MULLIGAN, Geoff.** The 6LoWPAN architecture. En *Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors*. ACM, 2007. p. 78-82.
- **NORM, Din.** Electroacoustics-Sound level meters-Part 1: Specifications (IEC 61672-1: 2002). 2003.
- **RUIZ, M.,** “*Diseño e Implementación de un Sistema de Adquisición y Control de Temperatura mediante Zigbee*”. (TESIS). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito-Ecuador. 2007. pp. 14-15.
- **SALAZAR SORIA, Lorena Alejandra.** Análisis y medición de contaminación acústica en sectores de alta densidad vehicular de la ciudad de Quito. 2009.
- SECUNDARIAS, Texto Unificado De Legislación Ambiental. del Ministerio del Ambiente “TULAS” Libro VI Anexo 5 “Límites Permisibles De Niveles De Ruido Ambiente Para Fuentes Fijas Y Fuentes Móviles. Y Para Vibraciones.
- **SHELBY, Zach; BORMANN, Carsten.** *6LoWPAN: The wireless embedded Internet*. John Wiley & Sons, 2011.
- **SEXTO, Luis Felipe.** ¿Cómo elegir un sonómetro?[en línea]. 2007 [citado junio 11, 2007]. Disponible de World Wide Web: <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/sonometr.htm>.
- **SEXTO, Luis Felipe.** ¿Cómo elegir un sonómetro?. La Habana, Cuba, 2007.
- **VADILLO GUTIÉRREZ, Óscar, et al.** Provisión de servicios de la Internet de las Cosas sobre redes de sensores basadas en 6LoWPAN. 2014.
- **VIZCAÍNO, José Rafael Lajara; SEBASTIÁ, José Pelegrí.** *LabView: entorno gráfico de programación*. Marcombo, 2011.
- **YUSOFF, Mohd Ashiq Kamaril; SAMIN, Reza Ezuan; IBRAHIM, Babul Salam Kader.** Wireless mobile robotic arm. *Procedia Engineering*, 2012, vol. 41, p. 1072-1078.

ANEXO A.

MDR624 - Samson

MDR624 Features



The Samson MDR624 six channel mixer, is a comprehensive, all-in-one solution for live sound, recording, fixed installation and post production applications. Here are some of its main features:

- Six channels – Two Mic/Line plus two Stereo inputs.
- Flexible design topology ideal for live sound, recording and post production.
- 2 Track To Mix Level control allows you to mix in a CD, DAT, Cassette, Computer Sound Card or Mini Disk with the channel faders.
- Three-band channel equalizer, ± 15 dB at 80Hz, 2.5 KHz and 12KHz provides precise and musical results in sound shaping.
- An Auxiliary Send for external effects, on stage monitor mix, or headphone mixing.
- Eight segment LED Meter with VU ballistics displays the main MIX output.
- High quality, low noise, discrete microphone pre-amplifiers with 48-Volt phantom power, provide Maximum Dynamic Range and transparent audio.
- Advanced circuit design using discrete components and high quality, low noise op-amps carefully selected at each stage of the signal path.
- Quality build and rugged construction ensure reliable performance from venue to venue and session to session.
- Three-year extended warranty.

MDR624 Specifications

Mono Input channels

Microphone input	electronically balanced, discrete input configuration
Frequency response	10Hz to 45kHz, +0/-3dB
Distortion (THD&N)	0.05% at +4dBu, 1 kHz
Gain range	5dB to 60dB(MIC)
SNR (Signal to Noise Ratio)	110dB
Line input	electronically balanced
Frequency response	10Hz to 45kHz, +0/-3dB
Distortion (THD&N)	0.05% at +4dBu, 1 kHz
Sensitivity range	-40dBu to -10dBu

Stereo Input channels

Line input	balanced
Frequency response	10Hz to 55kHz, +0/-3dB
Distortion (THD&N)	0.05% at +4dBu, 1 kHz

Impedances

Microphone input	3.6Kohm
All other inputs	10Kohm or greater
Tape out	1Kohm
All other outputs	120ohm

Equalization

Hi shelving	+/- 15dB @ 12kHz
Mid bell	+/- 15dB @ 2.5kHz
Low shelving	+/- 15dB @ 80Hz

Main Mix Section

Noise(Bus noise)	Fader 0 dB, channels muted:100.0dB _r (ref.:+4dBu) Fader 0dB, all input channels assigned and set to UNITY gain: -90dB _r (ref.: 4dBu)
Max output	+22dBu balanced
AUX Return gain range	0 to +15dB
AUX Send max out	+22dBu

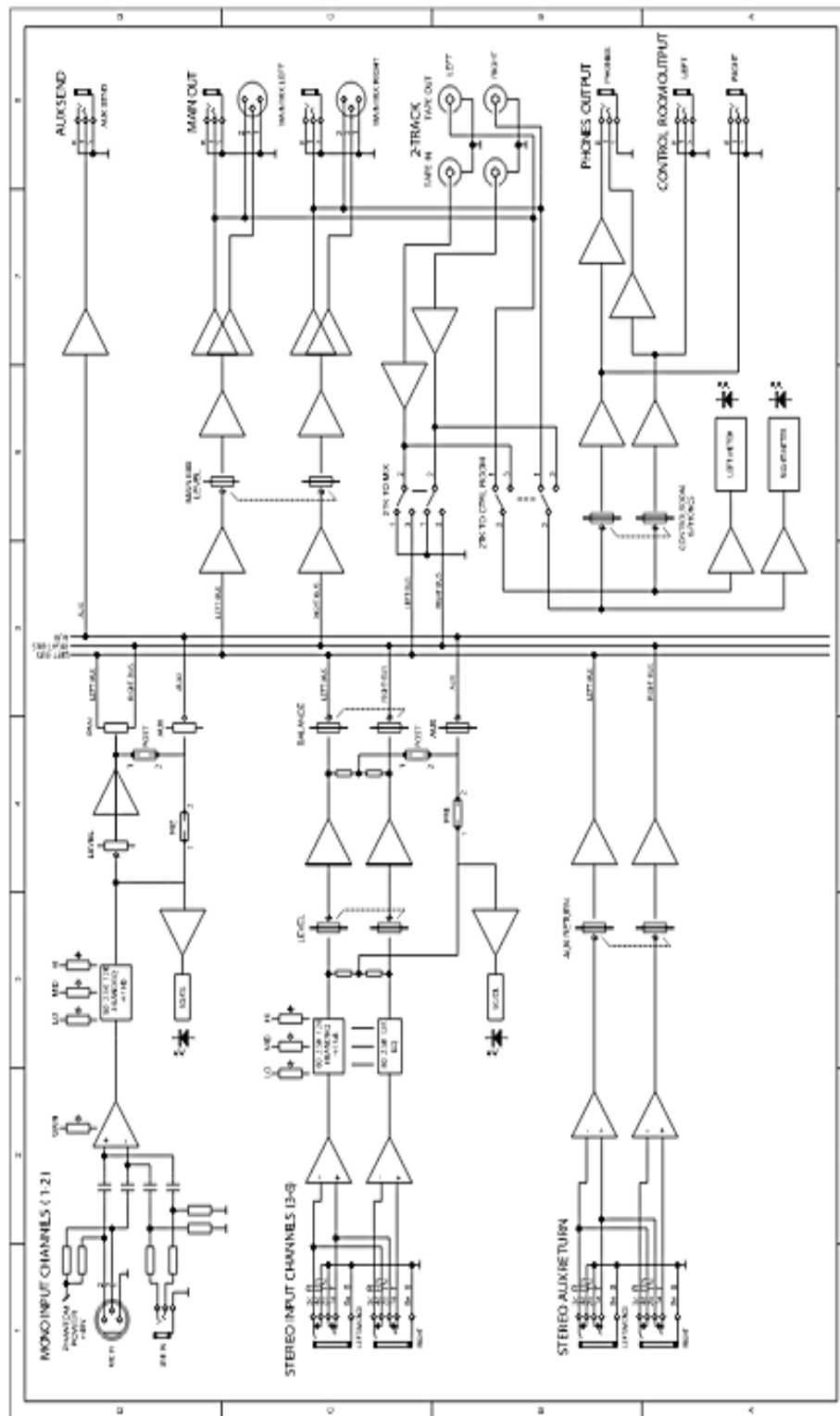
Power supply

Main Voltage	(AC/AC Adaptor) USA/Canada 95-120V~, 60Hz
Europe	210-230V~, 50Hz
U.K./Australia	240V~, 50Hz
Power Consumption	10Watts

Physical

Dimension	(W, D, H) 167mm 257mm 36/50mm
Net weight	3.7 lb. (1.7 kg) Without Adaptor

Block Diagram



ANEXO B.

Medición calles Olmedo y Carabobo

