



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONTAMINACIÓN AUDITIVA, EMPLEANDO  
UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS Y SENSORES BAN.

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

Profesor Guía

MSc. Jorge Wilson Granda Cantuña

Autor

Tnlgo. Santiago Leonardo Solórzano Lescano

Año

2016

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

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

---

Jorge Wilson Granda Cantuña  
Máster en Ingeniería Eléctrica  
C.I.: 1708594187

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

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

---

Tnglo. Santiago Leonardo Solórzano Lescano

C.I.: 1723667919

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a mis padres de todo y mi hermano por su cariño, amor y comprensión, por su apoyo económico y moral para culminar mi proyecto, por toda la confianza puesta en mí en todo momento en el que lo necesite.

De manera especial y sincera expreso mi agradecimiento al Ing. Jorge Granda mi director de tesis por su valiosa orientación y apoyo, por el tiempo invertido en la dirección y corrección de este proyecto para la culminación del mismo.

Tnglo. Santiago Solórzano L.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de graduación producto de mi esfuerzo y entrega en cada una de sus etapas, les dedico a mis padres y mi hermano quienes a lo largo de toda mi vida me han apoyado y motivado en mi formación académica, creyeron en mí en todo momento.

A mi querida tía Mercedes Lescano por su apoyo incondicional desde el primer momento en que llegue a su casa y quien con sus consejos me ha ayudado en muchas ocasiones a sobrellevar mi camino al triunfo y superación.

Tnglo. Santiago Solórzano L.

## RESUMEN

En la actualidad la contaminación auditiva es un fenómeno que afecta a millones de personas a nivel mundial, provocando molestias de distinta índole a causa del tráfico automotriz, aviones, equipos de construcción, fabricas, ruidos personales entre otros; se puede definir a la contaminación auditiva como ruido desagradable creado por las personas o dispositivos electrónicos así como elementos mecánicos.

Como resultado de este factor se obtiene ciertas consecuencias negativas tales como la pérdida de audición, estrés, variación de la presión arterial, migraña, insomnio, problemas del sistema nervioso, menos productividad y afectación a la salud mental; entre otros. Por ese motivo en este proyecto se realiza un sistema de medición de contaminación auditiva, con una primera etapa que consta de una red de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Networks) la cual está formada por Nodos; un nodo esta comandado por un microcontrolador ATmega328 el cual trabaja conjuntamente con un GPS (Global Position System) con el fin de conocer la posición, además, un sonómetro que permite medir el nivel de ruido así como otros elementos electrónicos y un dispositivo de radio frecuencia XBee para la transmisión de estos datos a 1500 metros de longitud.

La segunda etapa consta de una red BAN (Body Area Network) la cual permite conocer el estado de la salud de las personas por medio de sensores no invasivos; en el proyecto se dispone de un pulsioxímetro CMS50D+ que permite obtener datos de la frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno. La información obtenida se puede observar en tiempo real directamente en la PC.

La tercera etapa utiliza una interfaz gráfica amigable la cual está desarrollada en el software Visual Studio, en donde se tiene la posibilidad de observar los valores obtenidos por la red WSN como el ruido, posición y la gestión de los datos. En otra ventana se ilustran los datos de la red BAN donde se encuentra la información referida al estado de los sujetos de prueba.

## ABSTRACT

At the present time, noise pollution is a phenomenon that affects millions of people around the world. It causes several inconveniences because of automotive traffic, airplanes, construction equipment, factories, personal noise, and others. Noise pollution is an unpleasant noise created by people, electronic devices, or mechanical elements.

Because of noise pollution, there are negative consequences such as hearing loss, stress, blood pressure changes, migraine, insomnia, nervous system problems, less productivity, mental health problems, and other difficulties.

This graduation project presents a system that is able to measure noise pollution. It has a first step that includes a Wireless Sensor Network (WSN) that has nodes. The microcontroller ATmega328, which works in conjunction with a Global Positioning System (GPS), commands one of them. In addition, it has a sound level meter to measure noise, and a radio frequency device called XBee to transmit data to 1500 meters in length.

The second step consists of a Body Area Network (BAN) that permits to know people health state using non-intrusive sensors. This project has a CMS50D+ pulse oximeter, which provides data of oxygen saturation in blood and heart rate. This information will be read in real time using a PC.

The third step uses a friendly graphical interface developed in Visual Studio software. This application allows seeing obtained values from the WSN such as noise, positioning, and database transactions. In another window, the application shows BAN data referring to the state of test people.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Alcance .....	2
Justificación .....	3
Objetivos.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos específicos.....	4
1. Capítulo I. Marco teórico.....	6
1.1 Contaminación Acústica .....	6
1.1.1. La contaminación acústica y su legislación .....	8
1.1.2 Sonido.....	10
1.1.3 Ruido .....	13
1.1.4 Afectación de Ruido.....	14
1.2 Redes Inalámbricas .....	15
1.2.1 Red WSN.....	16
1.2.2 Protocolos de Enrutamiento.....	17
1.2.3 Topología.....	19
1.3 Red BAN.....	22
1.3.1 Pulsioxímetro .....	23
1.4 XBee.....	24
1.5 Software XCTU .....	26
1.7 Visual Studio.....	29
2. CAPITULO II. Diseño e Implementación del sistema .....	33
2.1 Preliminares.....	33
2.2. Elementos del Nodo .....	34
2.2.1 Arduino Pro Mini versión de 5V .....	34
2.2.2 Módulo ZigBee XBee PRO S2B.....	35
2.2.3 Módulo GPS modelo GY-GPS6MV2.....	35
2.2.4 Sonómetro Modelo JTS-1357 .....	36

2.2.5 Lipo Rider Pro 5v/1A.....	37
2.2.6 Panel Solar 2.5W 5v/50mAh.....	38
2.2.7 Batería Nano-Tech 950 mAh 3.7v.....	39
2.3 Diseño del sistema SIMCA.....	39
2.4 Diseño del Nodo Sensor.....	43
2.5 Programación de la Placa Principal.....	45
2.6 Configuración de la red WSN con los módulos XBee.....	50
2.7 Implementación red BAN.....	54
2.8 Interfaz grafica.....	57
2.8.1 Capa Presentación.....	57
2.8.2 Capa Negocio.....	58
2.8.3 Capa Datos.....	59
2.8.4 Capa Conexión.....	59
2.9 Sistema de Medición de Contaminación Auditiva SIMCA.....	60
2.10 Costos.....	60
3. CAPITULO III. Presentación de resultados.....	62
3.1 Calibración de Equipos.....	62
3.2 Escenario de prueba.....	64
4. CAPITULO IV. Conclusiones y Recomendaciones.....	68
4.1 Conclusiones.....	68
4.2 Recomendaciones.....	69
REFERENCIAS.....	71
ANEXOS.....	74

## INTRODUCCIÓN

La tecnología de las redes inalámbricas se encuentra en un creciente desarrollo, promoviendo rentabilidad y satisfaciendo la necesidad del movimiento global. Uno de los aspectos favorables, ha sido su progreso evolutivo que ha transcurrido desde la antigua comunicación punto a punto de corto alcance por medio de infrarrojo, hasta las comunicaciones multipunto como “Bluetooth” y redes de mayor alcance con protocolos de enrutamiento como “ZigBee”; así como también, la tecnología WIMAX para redes (WMAN), telefonía celular y WI-FI para redes locales (WLAN); entre otras.

Cabe recalcar el desarrollo más importante de las nuevas tecnologías y la autonomía, de la red de sensores inalámbricos (WSN – Wireless Sensor Network) aplicados en diferentes sectores (agricultura, industria, seguridad, medio ambiente). Algunos de los principales analistas de las tecnologías inalámbricas como Microsoft, Intel, IBM, Texas Instruments, han lanzado líneas de investigación sobre este tema y valoran la red de sensores inalámbrica como una tendencia en auge. (Llorente, 2014)

Las redes de sensores inalámbricas WSN, se basan en elementos de bajo consumo y costo denominado como nodos; estos son capaces de procesar información localmente de un entorno, y comunicar por medio de enlaces inalámbricos hasta a un Gateway central o nodo coordinador. Esta red está formada por varios nodos sensores, que utilizan elementos para informar distintas condiciones en varios puntos como: ruido, vibración, temperatura, presión, posición, movimiento, contaminantes químicos, etc. Las redes WSN contribuyen al análisis del medio ambiente, verificando la contaminación y determinando las afectaciones para el ser humano, siendo la contaminación auditiva una de las más importantes.

La contaminación auditiva es un ruido desagradable considerado como un fenómeno, creado por la gente, dispositivos electrónicos o elementos mecánicos y que afecta a millones de personas a nivel mundial; provocando

molestias de distinta índole en el estado de salud de las personas. (Mariscal, 2014).

Según la Organización Mundial de la Salud, (WHO) “la contaminación acústica es responsable cada año de 50.000 ataques al corazón y en la unión Europea, la (EPA) Agencia Federal de protección del medio ambiente reconoce los efectos dañinos de la misma” (Organización Mundial de la Salud, s.f.). Las consecuencias derivadas de este tipo de contaminación representan un creciente problema para la salud pública.

Los efectos negativos incluyen la pérdida de audición, estrés, variación de la presión arterial, migraña, insomnio, problemas del sistema nervioso, menos productividad y afectación a la salud mental; entre otros.

Debido al daño que causa el ruido en las personas, es de vital importancia llevar un control de los diferentes signos vitales para monitorear la afectación del ruido provocada en el cuerpo humano; con la aplicación de las redes de área corporal BAN formada por dispositivos (sensores de baja potencia) no invasivos, como una manilla o pulsera para el control de estos parámetros.

Teniendo en cuenta las limitaciones anteriores, numerosos autores recomiendan la utilización de redes de sensores inalámbricos para la monitorización de la contaminación acústica y creación de mapas de ruido en tiempo real (Santini, 2007 - 2009; Bhusari, 2013; Gubbi, 2013; Filipponi, 2008). Sin embargo, se han encontrado pocas investigaciones que establezcan una combinación de una red WSN y una WBAN, para la validación de la afectación que causa la contaminación auditiva en las personas.

### **Alcance**

La investigación del proyecto se realizará con información de tesis doctorales, libros y artículos científicos; su diseño e implementación se desglosa en tres etapas:

La primera etapa contará con una red WSN o red de sensores Inalámbricos, que durante el proceso de investigación e implementación se determinará los protocolos de enrutamiento, la topología y el procesamiento de señales; se utilizarán dispositivos finales equipados con sensores de contaminación de ruido, un equipo coordinador que permitirá la comunicación de la red.

La segunda etapa constará de la implementación de una red BAN (Body Area Network) una red de área corporal inalámbrica que por medio de una pulsera inteligente colocada en la persona realiza el monitoreo y análisis de frecuencia cardíaca, utilizando sensores no invasivos.

La etapa tres definida como interfaz gráfico o software HMI (Interfaz Hombre Maquina), se presentará en una aplicación de escritorio para PC, en donde se mostrara los valores de contaminación auditiva de los diferentes nodos, se ilustrará los sectores con mayor contaminación y los datos obtenidos por la red WBAN.

Para validar el desempeño del sistema se realizará mediciones de la contaminación auditiva en la sede QUERI de la UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS, tomando como universo de estudio los trabajadores o estudiantes de dicha Sede.

### **Justificación**

La contaminación auditiva puede llegar a perjudicar de manera crítica el estado de las personas y puede afectar el rendimiento tanto laboral y estudiantil. Como resultado, surge la necesidad de llevar una medición constante del ruido en áreas especiales como universidades, colegios, hospitales, guarderías y lugares con mayor concurrencia de personas, requiriendo de mapas precisos de ruido en zonas como:

- Núcleos urbanos
- Principales carreteras
- Infraestructura ferroviaria
- Aeropuertos

- Instituciones educativas
- Hospitales.

Es por eso que se necesita de un sistema de medición de contaminación auditiva utilizando una red WSN, equipados con sonómetros dispositivos para monitorear el nivel de ruido, así como el uso de una red BAN, para registrar el estado de la salud de las personas.

El proyecto será un aporte a la UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS contribuyendo con información técnica a fin de que se puedan llevar a cabo la implementación de proyectos diversos que tengan como bases la información que este documento desplegará.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Implementar un prototipo de un Sistema de Medición de Contaminación Auditiva, utilizando una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) y Sensores Corporales (BAN), para registrar las zonas de mayor contaminación.

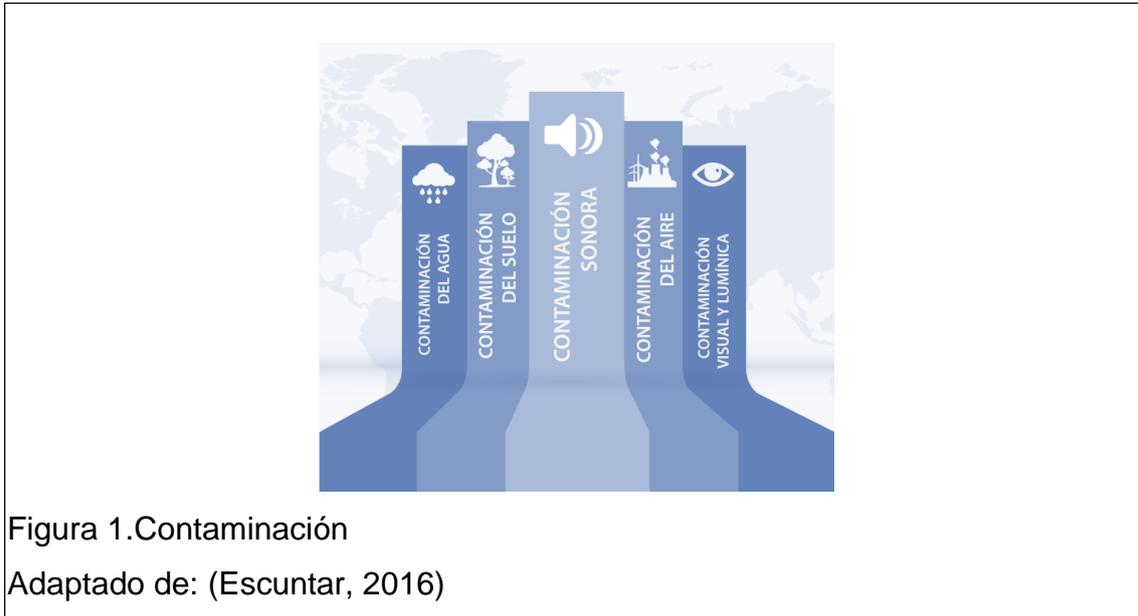
### **Objetivos específicos**

- Diseñar e implementar una red de sensores inalámbricos con la utilización de equipos finales, coordinador y protocolos de enrutamiento para medir el nivel de contaminación auditiva existente en un sitio determinado.
- Implementar una red BAN por medio de dispositivos de baja potencia montados en el cuerpo, para registrar el estado de la salud de las personas.

- Implementar un interfaz gráfico para indicar los niveles de contaminación auditiva mostrar los resultados de las redes BAN, WSN y generar un reporte.

## 1. Capítulo I. Marco teórico

### 1.1 Contaminación Acústica



Según Escuntar, “el sonido es un factor fundamental del sentido y la vivencia de los diferentes lugares en que el ser humano ha desarrollado su vida, considerado como una variable indiferente tanto en las políticas de planificación como el diseño urbano. El crecimiento de los países ha sido paralelo con la contaminación acústica, lo que permite entender la situación actual del ambiente sonoro al que asimilamos como ruido, que ha tenido incluso, en otras décadas, una valoración positiva y característica de las sociedades modernas y dinámicas”. (Escuntar, 2016)

En la actualidad esta visión está superada; el término de contaminación acústica no solo tiene plena vigencia, sino ha dado lugar a estudios, políticas y legislación para combatirla.

La intensidad de la contaminación acústica es el elemento básico en torno al cual determinamos su valor, prestando escasa atención a los aspectos subjetivos implicados como la duración, frecuencia, presión, duración; entre otros.

De acuerdo a la Organización mundial de la Salud, Los efectos nocivos tanto fisiológicos como psicológicos, son producto de la exposición prolongada a ruidos en áreas que exigen un alto nivel de concentración de personas como bares, eventos deportivos y clubes etc.

Sin embargo, si la exposición es superior a 85 dB; se debe asumir sus numerosos efectos que van desde la pérdida progresiva de la audición hasta alteraciones de la presión arterial, del ritmo cardiaco y de los niveles de segregación endocrina, insomnio, cefaleas crónicas; de la misma manera el ruido aumenta la posibilidad de infartos e incurre sobre los estados de estrés e irritabilidad; afectando la capacidad de concentración aprendizaje, productividad, siniestralidad laboral y los accidentes de tránsito.

En la actualidad, se debería hacer campañas para que las personas conozcan el límite máximo de seguridad del nivel sonoro de 80 dB y sus efectos a excederse del mismo. Estas consecuencias con carácter perjudicial cuando la exposición es alta, no se perciben de manera inmediata, sino que conforman parte de un proceso que revela sus efectos de manera retardada. (Organización mundial de la Salud, s.f.).

Se puede observar en la Tabla 1 el resumen de valores críticos.

Tabla 1. Efectos del Sonido

<b>Valor en (dB)</b>	<b>Efectos Nocivos</b>
<b>30</b>	Dificultad en conciliar el sueño
<b>40</b>	Dificultad en la comunicación verbal
<b>45</b>	Probable interrupción del sueño.
<b>50</b>	Malestar diurno moderado
<b>55</b>	Malestar diurno fuerte
<b>65</b>	Comunicación verbal extremadamente difícil.
<b>75</b>	Perdida del oído a largo plazo
<b>110-140</b>	Perdida del oído a corto plazo

Adaptado de: (UPAEP, 2015)

### **1.1.1. La contaminación acústica y su legislación**

La contaminación ambiental más que el deterioro del suelo, aguas y aire también puede ser acústica y afectar igual o inclusive más que los otros tipos de contaminación por lo que en el Ecuador se toman medidas legales.

Según la Ordenanza 213 del Distrito Metropolitano de Quito Ordenanza Sustitutiva del Título V “Del Medio Ambiente” determina:

Art. 11.358.- **Ámbito.** - Las normas de este capítulo se aplicarán a las personas naturales y jurídicas, públicas y privadas, cuyas actividades produzcan u originen emisiones contaminantes de ruido y vibraciones, que no estén contemplados en capítulo V de la Ordenanza, provenientes de fuente emisoras de ruido, móviles y fijas.

En el capítulo II de la Ordenanza se dice: todo lo que emita sonidos fuerte deberá dar un informe y está también sujeto a sanciones, es decir que cualquier vehículo o automotor que sobrepase los niveles permisibles de sonido están sujetos a realizar los cambios en un máximo de 30 días para que pueda estar en la zona con los niveles adecuados, es por ello que está prohibido realizar competencias automovilísticas en predios urbanos y todo aquello que pueda causar daño a lugares ecológicos así también como a la salud, en caso de no cumplir serán sancionados con el artículo 371 del mismo capítulo en el que dice: “Art. II.371.-Las infracciones a lo dispuesto en los artículos II.365.a., II.365.d., II.365.e., II.365.f., II.370 y II.370.a., se sancionarán con multa de 0,20 a 1,00 RBUM., para los casos previstos en el artículo II.365.f, y en aquellos establecimientos que mantengan equipos o aparatos que superen los límites permitidos, la Comisaría de Salud y Ambiente y la Unidad de Protección Ambiental de la Policía Nacional, procederán al retiro inmediato de los respectivos dispositivos sonoros.”

Esta normativa es muy clara de que existe una sanción muy fuerte para las personas que no cumplan y no ayuden al buen vivir, también se informa en

esta misma normativa que todas las recaudaciones por este concepto irán a un fondo ambiental donde se destinarán en un 50% al municipio por motivo de cobro de multas, para que se realicen programas de estudio de concientización de la contaminación acústica y la otra parte se transferirá a la Unidad de Protección Ambiental de la Policía Nacional previo la presentación de un proyecto. (Consejo Metropolitano de Quito, 2013).

Tabla 2. Niveles máximos permitidos para vehículos automotores

<b>Categoría de vehículo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Velocidad del motor en la prueba (rpm)</b>	<b>Máximo dBA</b>
<b>Motocicletas o similares</b>	Motocicletas, tricars, cuadrones y vehículos de transmisión de cadena con motores de 2 o 4 tiempos.	De 4.000 a 5.000	90
<b>Vehículos livianos</b>	Automotores de 4 o más ruedas con un peso neto vehicular inferior a 3500 kg.	De 2500 a 3500	88
<b>Vehículos pesados para carga</b>	Automotores de 4 o más ruedas destinados al transporte de carga, con peso superior o igual a 3500 kg.	De 1500 a 2500	90
<b>Buses, Busetas</b>	Automotores pesados destinados al transporte de personas, con un peso neto vehicular superior o igual a 3500 kg.	De 1500 a 2500	90

Adaptado de: (Consejo Metropolitano de Quito, 2013)

Tabla 3. Nivel de Presión Sonora

Tipos de zona según el uso del suelo	Nivel de presión sonora equivalente NPS (dBA)	
	De 06h00 a 20h00	De 20h00 a 06h00
Zona Equipamientos y Protección (1)	45	40
Zona Residencial	50	35
Zona Residencial Múltiple (2)	55	45
Zona Industrial (1)	60	50
Zona Industrial (2) (3)	65	55
Zona Industrial (3) (4)	70	60

Adaptado de: (Consejo Metropolitano de Quito, 2013)

Notas: a) Equipamiento de servicios sociales.

b) Incluye uso comercial y de servicios, uso agrícola residencial, y equipamiento de servicios públicos.

c) Incluye uso de aprovechamiento de recursos renovables.

d) Incluye uso de aprovechamiento de recursos no renovables.

Concordando con el artículo 3 de la declaración universal de los derechos humanos y el artículo 86, Sección segunda del medio Ambiente de la Carta Magna del Ecuador señala que el “El Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza.” (Asamblea Nacional, 2008).

Por tanto, existe la justificación legal en el Ecuador por medio de la ordenanza 213, para realizar estudios de la contaminación acústica y sancionar a las fuentes que lo provoquen y que sobrepasen los niveles permitidos, es por esta razón que en el proyecto se presenta un prototipo de red para poder monitorear el nivel de contaminación auditiva para localizar estas fuentes de emisión sonora y además de presentar las afectaciones en el ser humano.

### 1.1.2 Sonido

Sonido en física se refiere a ondas mecánicas de presión que se transmiten a través de fluidos o materias que permiten la propagación, viajan a una velocidad de 331m/s; a pesar de existir un sin número de sonidos no todos son captados por el por el oído humano, además, la edad de las personas juega un

papel importante al respecto de la percepción de este, a medida que se va envejeciendo ahí menos probabilidad de oír ciertas frecuencias.

Los seres humanos pueden percibir frecuencias entre los 20 Hz y 20KHz, dentro del sonido se incluyen los ruidos, música, habla, etc., estos valores son perceptibles por el cerebro humano. La unidad de medida es el decibelio (dBA) y cuando mayor sea el sonido mayor será el valor en decibelios ajustados. (Escutar, 2016)

Es decir, el sonido son movimientos vibratorios de un cuerpo por ondas elásticas en diferentes medios estos sean sólidos, líquidos o gaseoso, como se mencionó la frecuencia para medir el sonido son los HZ, para poder medir los decibeles se usa la siguiente formula:

$$dB = 20 \log \frac{P_x}{P_0} \text{ (Nivel de presión del sonido } x \text{)} \quad \textbf{(Ecuación 1)}$$

$P_x$  = A cualquier sonido

$P_0 = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ( $P_0$  es presión de referencia y  $P_a$  es Pascal) la intensidad se calcula comparando con un nivel arbitrario de presión sonora.

Frecuencia (Hz): son el número de pulsaciones en la unidad de tiempo (segundos); las frecuencias más bajas son sonidos graves, es decir que son sonidos de vibraciones lentas, y las vibraciones más rápidas son los sonidos agudos; el nivel de intervalo audible va desde los 20 Hz hasta los 20KHz, pero esto varía según la persona.

Decibel: es la medida de presión que tiene el sonido; es considerada como unidad logarítmica, utilizada en distintas áreas como forma de medición, por lo general es utilizada para la comparación de una llamada con la referencia obtenida. En la acústica la manera de comprobar la presión proveniente del aire es mediante la utilización del decibel, siempre y cuando se posea una presión de referencia, es decir que es el valor mínimo que el oído es capaz de

apreciar. El oído humano está cerca de una función logarítmica más que de una lineal y es por ello que se utilizan logaritmos para facilitar su medida.

Nivel de Referencia para la Presión Sonora (en el aire) =  $2E^{-5} Pa(ms)$  **(Ecuación 2)**

Nivel de Referencia para la Intensidad Sonora (en el aire) =  $1E^{-12} w/m^2$  **(Ecuación 3)**

Nivel de Referencia para la Potencia Sonora (en el aire) =  $1E^{-12} w$  **(Ecuación 4)**

$$L_p = 20 \log P / P_r$$

$L_p$  = Presión Sonora.

$P$  = La presión Medida.

$P_r$  = Presión de referencia ( $2E^{-5} Pa$ ).

Configuración de la relación de decibeles y voltaje:

$$dB = 20 \log(V_1/V_2)$$

$$dB = 20 \log(100/1)$$

**(Ecuación 5)**

$$dB = 40$$

Es decir que 40dB es mayor que un voltio.

- Si un voltaje es igual el uno del otro la diferencia es 0dB
- Si un voltaje es el doble que el otro la diferencia es de 6dB
- Si un voltaje es 10 veces más que el otro la diferencia es de 20dB

dB: Es el valor sin ningún ajuste de los sonidos ya sean estos muy bajos que no sean percatados por el oído humano o muy altos que afecten al oído.

dBA: Es el valor de los decibeles ajustados para la capacidad que puede oír el ser humano, un ejemplo muy claro es que 100 Hz es igual a 80dB, que ajustado a los dBA son 60.9 que es lo que están captando los oídos.”  
(Escutar, 2016)

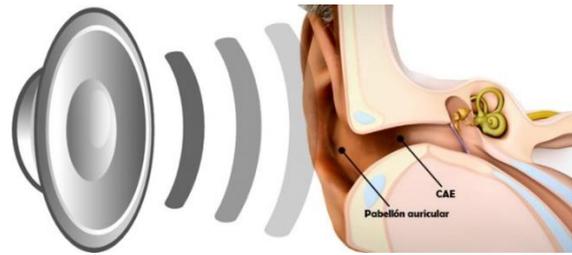


Figura 2. Sonido

Tomado de: (Tmotorrinos, s.f.)

### 1.1.3 Ruido

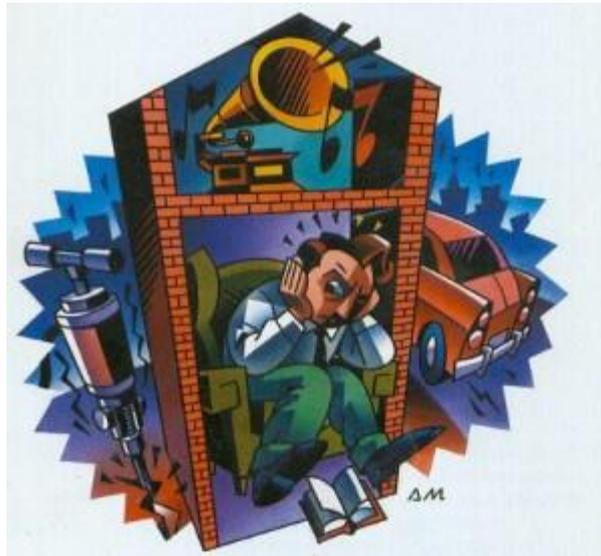


Figura 3. Ruido

Adaptado de: (Navas, 2012)

Según VAIVASUATA, (s.f.). El ruido es un tipo de sonido que normalmente son fuertes y no deseados, en electrónica analógica y física el ruido es la percepción no deseada respecto de determinada señal como ejemplo la estática en una estación de radio.

Los ruidos suelen tener una calidad irregular y pueden ser provocados por instrumentos musicales, personas, dispositivos electrónicos o elementos

mecánicos, el exceso de ruido que se puede evidenciar en las ciudades se conoce como contaminación acústica. (VAIVASUATA, s.f.)

El ruido urbano, ambiental o domestico provocado por el tráfico automotriz, aviones, equipos de construcción, fabricas, ruidos personales entre otros; se puede definir a como ruido desagradable creado por las personas o dispositivos electrónicos así como elementos mecánicos.

Es decir que el ruido es la variación del sonido, ya que este sufre una distorsión y con los cambios se vuelve molesto, irritante, sonidos desagradables los cuales son los causantes de las principales enfermedades en el país y ciudad, con ello podemos mencionar la enfermedad actual que es la hipoacusia como lo menciona American College of Occupational and Environmental Medicine, la cual es una de las causa principales y de forma silenciosa va disminuyendo la audición de las personas hasta llegar a causar la pérdida total , otro de los desencadenantes principales son enfermedades como dolores de cabeza, malestar, estrés, deficiencia del sueño, perdida de atención, dificultad para comunicarse, trastornos psicológicos, existen estudios que muestran que una persona expuesta al ruido por más de 48 horas puede desarrollar conductas agresivas en el caso de niños bajo rendimiento escolar y de esta forma desencadenar hasta en un infarto. (American College of Occupational and Environmental Medicine, 2003)

Se puede considerar ruido cuando sobrepasa los 70dBA en adelante, dependiendo las zonas, existe la norma técnica Resolución N°0002- DMA-2008 de la Dirección Metropolitana Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito (actualmente Secretaría de Ambiente), el cual estipula la zonificación y valores del ruido para cada sector.

#### **1.1.4 Afectación de Ruido**

El ruido afecta tanto a los sistemas nerviosos central como autónomo por medio del órgano del oído. Si el ruido sobrepasa el límite establecido puede

producir sordera y en muchos casos efectos patológicos, ya sean instantáneos o diferidos. A niveles menores el ruido produce malestar en muchas formas como: dificultad y el impedimento de atención, comunicación, descanso, concentración y sueño.

En el caso de que la situación sea reiterativa puede ocasionar estados crónicos de nerviosismo y estrés, conduciendo a trastornos psicológicos, enfermedades cardiovasculares y alteración en el sistema inmunitario.

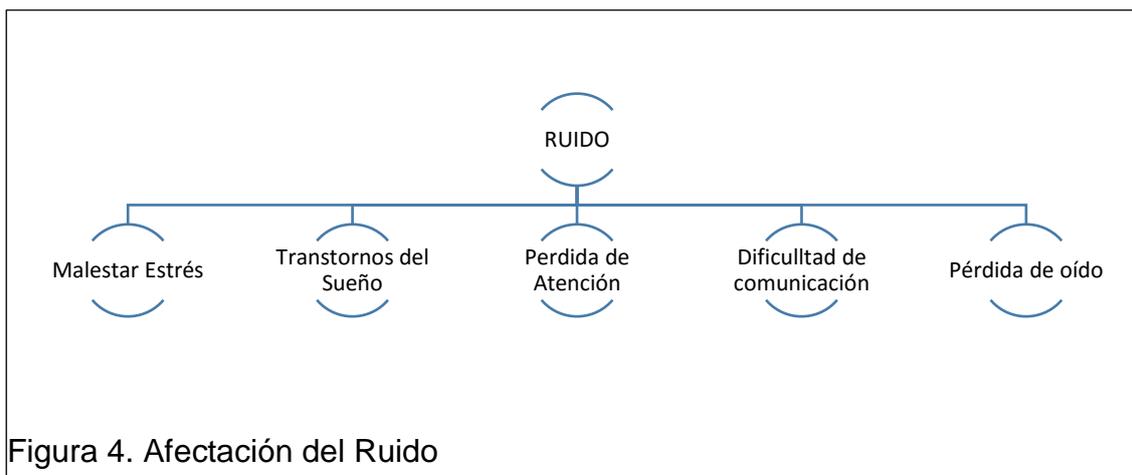


Figura 4. Afectación del Ruido

Problemas como la disminución en el rendimiento escolar y profesional, accidentes tanto laborales como de tránsito, son ocasionados muchas veces por los trastornos del sonido, ya que estos al ser intensos y convertirse en ruidos de diferente escala son la principal causa de nuevas enfermedades y también el aumento de nacimientos de nuevas generaciones con audiciones más bajas.

## 1.2 Redes Inalámbricas

La red inalámbrica son las encargadas de mantener conexiones por diferentes puertos sin la necesidad de tener cable o estar sujeta al mismo, ya que utiliza nodos los cuales se comunican a través de ondas electromagnéticas entre las cuales tenemos microondas, laser, infrarrojos, bluetooth, además estas redes permiten el acceso a lugares remotos y entre distancias largas., se puede

mencionar algunos tipos de redes inalámbricas tales como WMAN, WPAN, WLAN, WBAN y RIS. (Aguirre, 2013)

Este tipo de redes se encuentra en plena evolución, por lo cual son consideradas las nuevas tecnologías para el futuro.

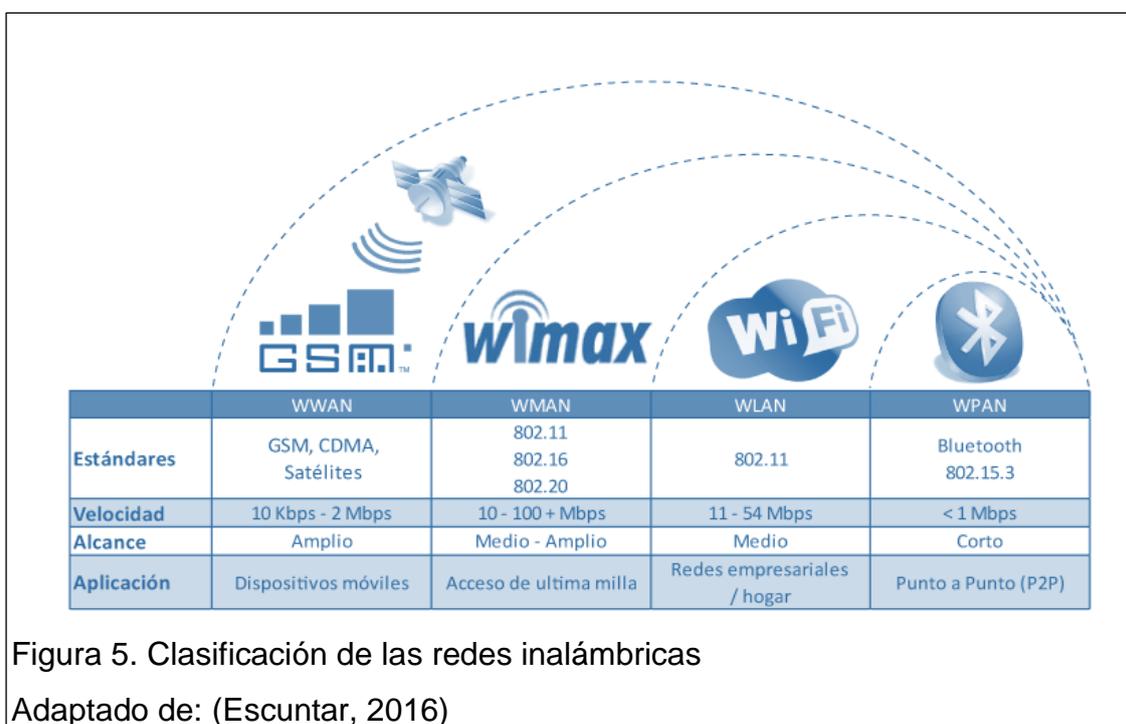


Figura 5. Clasificación de las redes inalámbricas

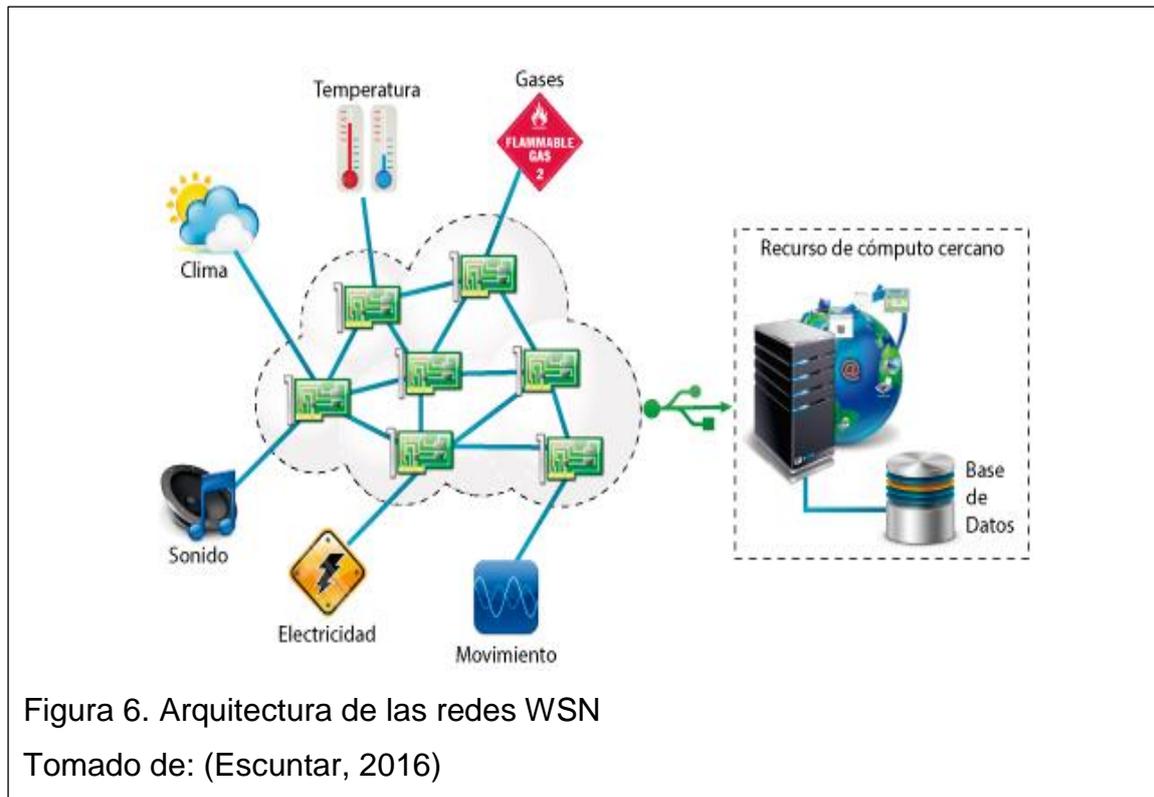
Adaptado de: (Escuntar, 2016)

### 1.2.1 Red WSN

También llamados red de sensores inalámbricos, son considerados inteligencia ambiental, han sido muy utilizado según la historia Para el campo militar en la Segunda guerra mundial, también para la agricultura, pero en esta constante evolución de esta tecnología empiezan a ser utilizadas para diferentes contaminaciones como de gases, agua y hoy en día el ruido. (Callaway, 2004)

Estas redes tienen su aparición por primera vez en el año de 1950 con el proyecto "SOUND SUVERLLIANCE SYSTEM (SOUSO)" del ejército americano, ya que les permitía detectar de forma temprana los submarinos enemigos, que tenían gran profundidad y distancia.

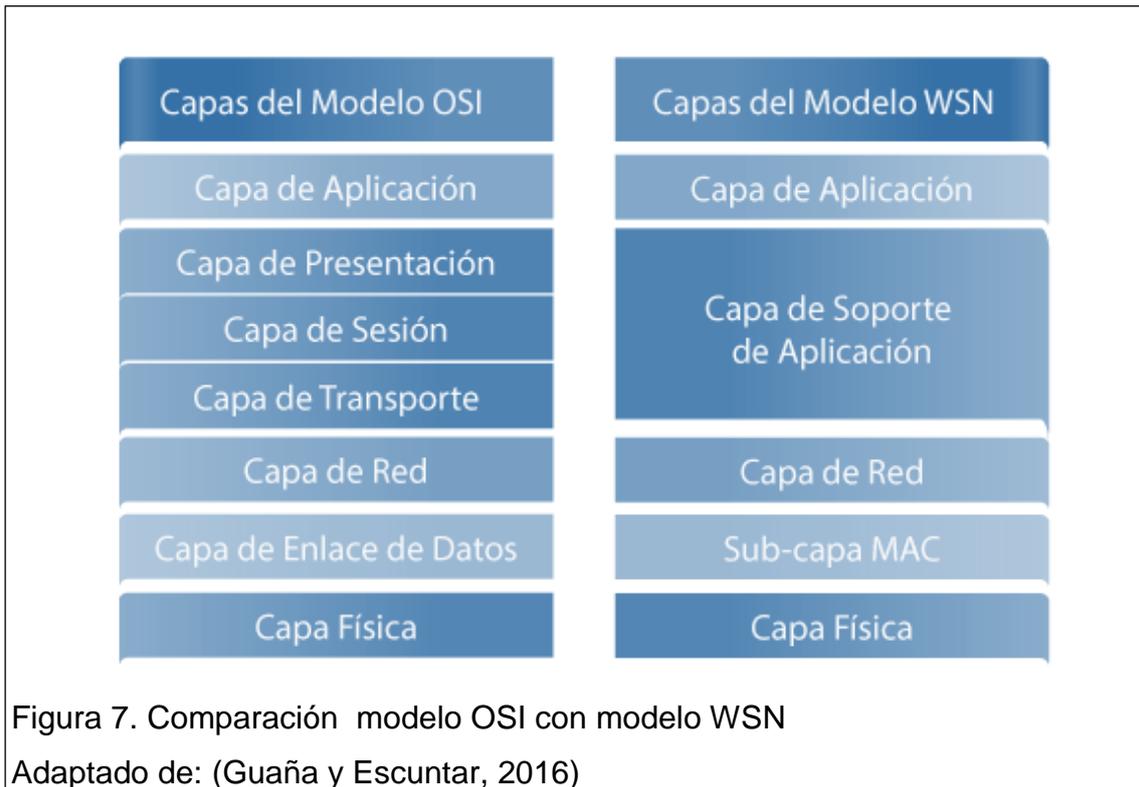
Los sensores inalámbricos utilizan estándares abiertos por lo que permite que se realice modificaciones y no necesitan ningún permiso, son muy enfocadas para la agricultura, seguridad, control ambiental así como también hoy en día en la domótica. (Escuntar, 2016)



### 1.2.2 Protocolos de Enrutamiento

Los protocolos son los encargados de la comunicación inalámbrica sea óptimos, ya que con esto permiten la seguridad al usuario o clientes de tener menor riesgo de intrusos o daños en medio de la comunicación, así como también el envío de los paquetes.

Los sensores inalámbricos permiten siempre tener una comunicación continua, ya que ellos pueden ser configurados a través de estos protocolos para que si llegan a detectar algún daño en medio de la red puedan buscar otro camino que les lleve son su receptor y de esta forma no se pierda el mensaje, sino que llegue siempre.



Ya que los nodos desconocen la topología que utiliza la red, ellos tienen que descubrirla; en el momento que ingresa un nuevo nodo a la red él anuncia su presencia a los vecinos y escucha los broadcast y anuncios de ellos, este nuevo nodo se informa la manera de enrutarse por medio de los nodos antiguos y a su vez él informa que cuentan con su presencia y que pueden acceder a él, conforme pasa el tiempo los nodos son capaces de conocerse unos a otros y como pueden acceder a ellos de diferentes formas.

El criterio de diseño de los protocolos de encaminamiento depende de la base de la red y el criterio de encaminamiento que se desea utilizar.

Según Guaña y Escuntar en su libro *Aplicaciones de las Redes de Sensores inalámbricos* se pueden dividir los protocolos de enrutamiento de la siguiente manera:

Según la estructura de red:

- Encaminamiento Plano: también llamados Flat- Based, es donde los protocolos piensan que todos son iguales y todos asumen los mismos parámetros y tiene cumplen la misma función dentro de la red.
- Enrutamiento Jerárquico: su nombre también es hierachical-based, o también conocidos como cluster-based, estos protocolos tienen diferentes papeles en la red donde ellos crean grupos de nodos que puede ser un coordinador; ç, otros nodos se encargan de recolectar la información, otros de transmitir y procesar la información, con esta forma es mucho más fácil la agregación de datos y la trasmisión de información de los sensores.
- Encaminamiento basado en la Localización (Location-based): se trata de la localización por medio de la posición de los nodos que conforman la red. (Guaña y Escuntar, 2016)

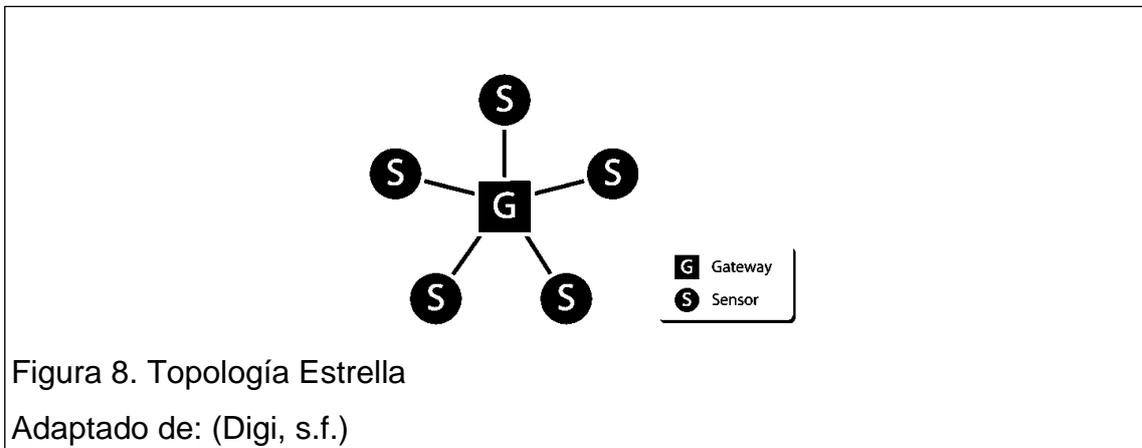
### 1.2.3 Topología

La topología es la comunicación por medio de nodos que se encuentran conectados por medio de una estructura física y logia en la cual tiene un nodo coordinador que es el encargado de los otros nodos y por medio de él se busca la mejor ruta y dependiendo la estructura de forma jerárquica, entre las topologías tenemos:

#### a) Red de Estrella

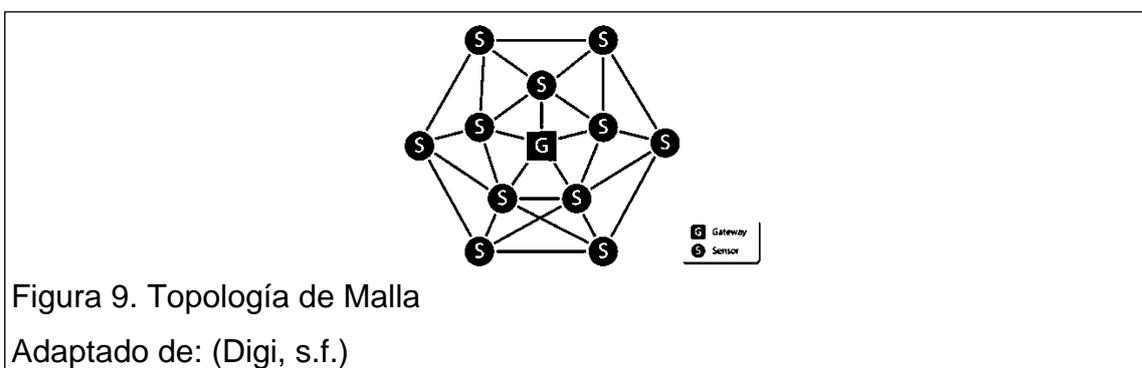
Esta topología permite la conexión desde el nodo coordinador o Gateway hacia los nodos miembros, por lo general el nodo central es el coordinador y los nodos miembros van a su alrededor conectados con él, esta red tiene poca latencia, es muy fácil de elaborar, mantiene un gasto de energía igual, su costo es bajo, es una topología muy resistente, puede sufrir colisiones y en caso de

dañarse el nodo central o coordinador falla la red o puede llegar a dañarse. (Digi, s.f.)



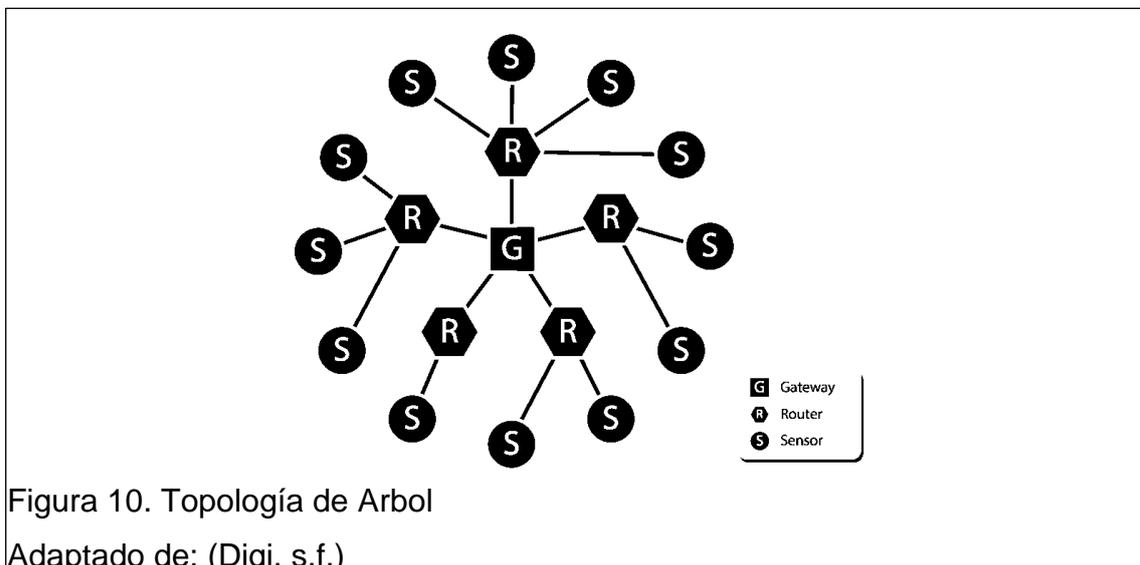
#### b) Red de Malla

Esta red tiene una estructura que permite una conexión de múltiples nodos, se encarga de buscar siempre el camino más confiable, también es llamada red Mesh; si en esta topología existiera la caída de un nodo sea este importante o no, esta red se encargaría de buscar un camino de transmisión y no existirá la caída de toda la red, no necesita muchos Gateway, existe gran posibilidad de colisiones, pero no significa que la red se dañe ya que busca otro camino para seguir trabajando, es un sistema más complejo, es una red muy confiable, permite la reducción de mantenimiento de nodos. (Guaña y Escuntar, 2016)



## c) Cúmulo en árbol

La red de Cúmulo de árbol es una conexión que se realiza siempre buscando el nodo de mayor jerarquía, es decir que los nodos miembros buscan al nodo coordinador y así sucesivamente hasta llegar al Gateway, en la cual los dispositivos se dividen como si de un árbol se tratase, esta topología tiene una similitud a la topología estrella, reduce la posibilidad de colisión, puede a llegar a ser costosa por la introducción de routers, si no se configura bien los algoritmos de enrutamiento puede ser insegura. (Digi, s.f.)



## d) Modelo de un salto

Este es un modelo en el que cada nodo trasmite directamente a la base, lo que lo vuelve costoso ya que consume más energía; algunos nodos no siempre pueden enviar la información a su destino puesto que su radio de alcance y cobertura es limitada. (Escuntar, 2016)

### e) Modelo Multi-hop

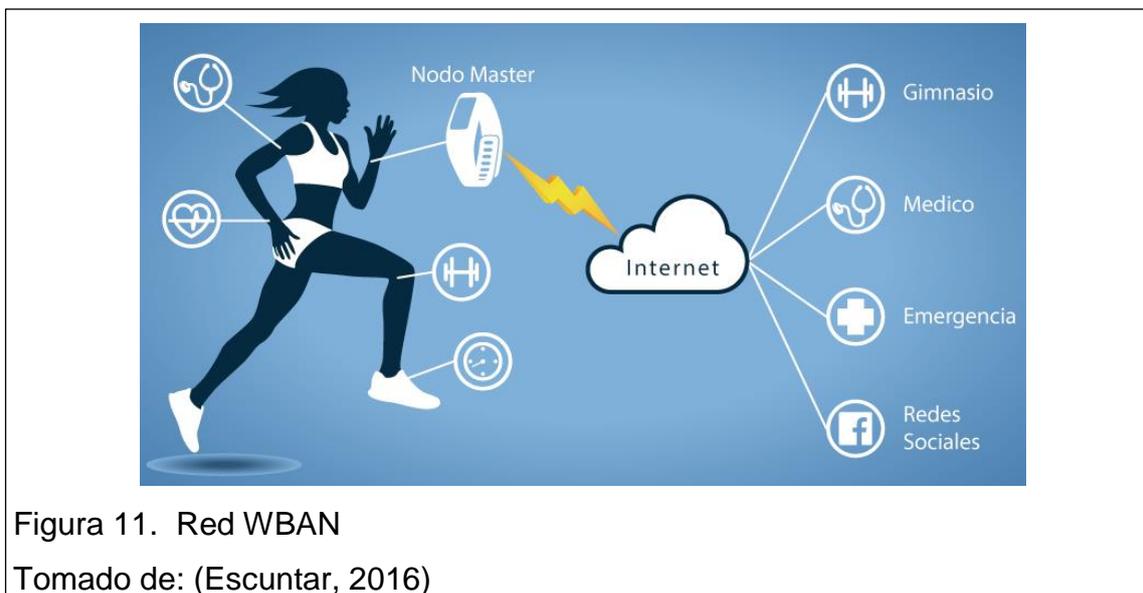
Se encarga de enviar a través de un nodo vecino los datos para que pueda llegar a la estación base y busca el nodo más cercano para llegar a otro hasta que encuentre el coordinador. (Digi, s.f.)

Es decir salto a salto la información recorre desde la fuente hasta que llega a su destino.

La mayoría de protocolos usan este modelo, entre estos tenemos:

- MultiHop de Tmote Sky.
- Telos, MultiHop LQI.
- MintRoute, Router.

### 1.3 Red BAN



La red de área corporal denominada red BAN (Body Area Network) es una red de sensores que permiten monitorear signos vitales en las personas por medio del uso de sensores no invasivos, estas redes han tenido un creciente uso en la actualidad ya que permite llevar un control de la salud sin la necesidad de asistencia médica.

En estas redes se encuentra un sin número de dispositivos que permiten monitorear ritmo cardiaco, temperatura corporal entre otros parámetros complementado con aplicaciones app Móviles y aplicaciones de Escritorio que informan de información del nivel de sueño profundo o ligero así como también de la actividad física por medio del conteo de pasos.

Características								
<b>Modelo</b>	Fitbit Charge HR	MI Band 1S	Jawbone UP3	Misfit Shine 2	Garmin Vivomart HR	Microsoft Band 2	Fitbit Blaze	Withings Activité
<b>Pantalla</b>	AMOLED Táctil	No	No	No	LCD Táctil	AMOLED Táctil	AMOLED Táctil	Analógica No táctil
<b>Autonomía</b>	5-7 días	30 días	10 días	6 meses	5-7 días	2 días	5-7 días	8 meses
<b>Compatibilidad</b>	Android y iPhone	Android, iPhone y Windows Phone	Android y iPhone	Android y iPhone				
<b>Resistencia al agua</b>	1 metro (30 minutos)	1 metro (30 minutos)	1 metro (30 minutos)	50 metros	50 metros	1 metro (30 minutos)	1 metro (30 minutos)	50 metros
<b>Conectividad</b>	Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0	Bluetooth 4.0					
<b>Notificaciones</b>	Si Llamadas	Si LEDs	No	Si LEDs	Si Llamadas, sms, mail	Si Llamadas, sms, mail	Si Llamadas y sms	No
<b>GPS</b>	No	No	No	No	No	Si	No	No
<b>Pulsómetro</b>	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
<b>Otros sensores</b>	Acelerómetro Barómetro	Acelerómetro	Acelerómetro Temperatura Ritmo respiratorio Respuesta galvánica	Acelerómetro	Acelerómetro	Acelerómetro Barómetro Rayos UV Micrófono Respuesta galvánica	Acelerómetro	Acelerómetro
<b>Calorias</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Pasos</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Sueño</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Figura 12 Comparativa de SmartBan

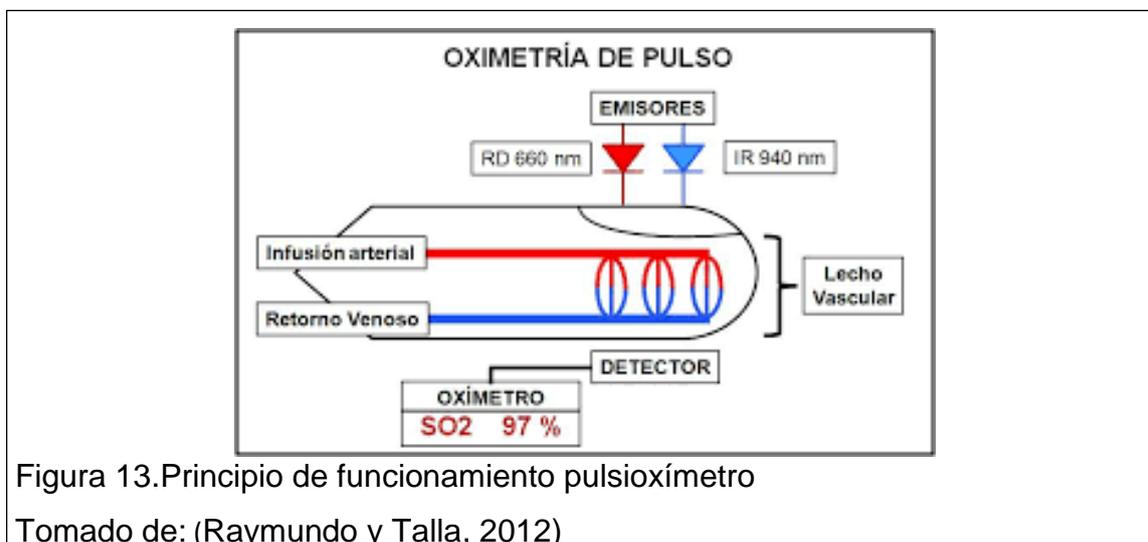
Tomada de: (Tusmartwatch, s.f.)

Estos dispositivos o SmartBands permiten formar una WBAN ya que los datos son enviados de forma inalámbrica al celular y compartidos en internet.

### 1.3.1 Pulsioxímetro

Un pulsioxímetro es un dispositivo no invasivo que por sus características técnicas se considera un sensor BAN ya que se dispone en el computador

datos como la SPO que se refiera a la saturación de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardiaca del paciente.



El principio de funcionamiento de un oxímetro consiste en la emisión de luz con dos longitudes de onda de 660 nm (roja) y 940 nm (infrarroja) que son características de la oxihemoglobina y la hemoglobina reducida, la mayor parte de la luz es absorbida por el tejido conectivo, piel, hueso y sangre en una cantidad constante, produciendo un incremento en la absorción en la sangre arterial con cada latido, lo que significa que es necesaria la presencia de pulso arterial para que el aparato reconozca alguna señal.

Mediante la comparación de la luz que absorbe durante la onda pulsátil con respecto a la absorción basal, se calcula el porcentaje de oxihemoglobina. Solo se mide la absorción neta durante una onda de pulso, lo que minimiza la influencia de tejidos, venas y capilares en el resultado. (Raymundo y Talla, 2012)

#### 1.4 XBee

Módulo de radio frecuencia RF es un dispositivo electrónico utilizado para transmitir y recibir señales de radio en diferentes frecuencias la empresa Digi produce una gran variedad de módulos RF para cumplir soluciones

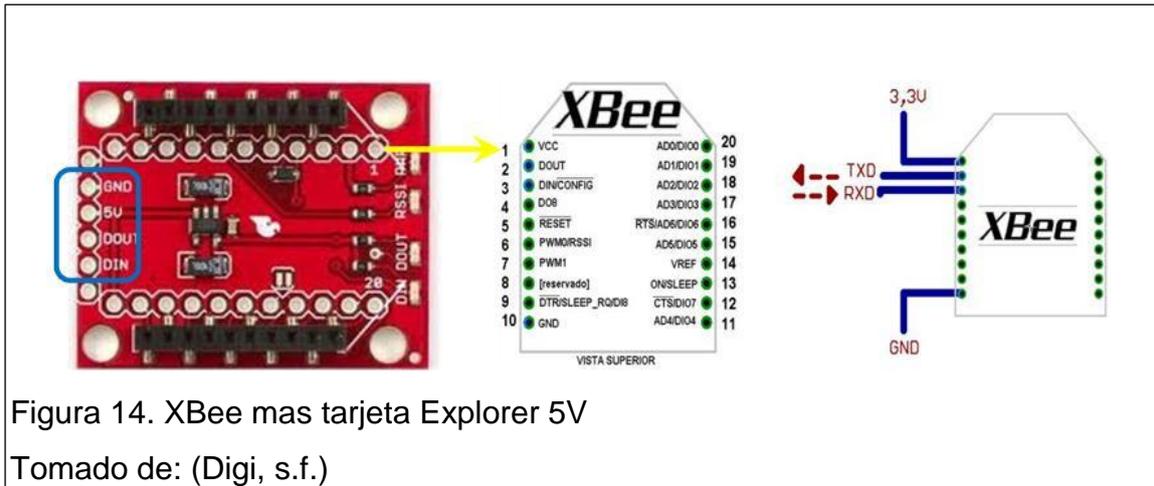
inalámbricas como de largo alcance, bajo costo, bajo consumo de potencia entre estos los más populares son los xBee RF; XBee es un nombre para comercializar productos producidos por la empresa Digi son productos modulares que hacen el despliegue de la tecnología inalámbrica se mas fácil y modular. Estos módulos utilizan un protocolo de red llamado IEEE802.15.4 para crear redes con diferentes topologías son ampliamente utilizadas en redes donde se requiere alto tráfico de datos, baja latencia, bajo consumo de potencia algunos ejemplos de estos módulos se presenta en al siguiente tabla. (Digi, s.f.)

Tabla 4. Comparativa de dispositivos para redes WSN

Mota o Nodo	Lora	Tymote TelosB	XbeeS1	XbeeS2
				
<b>Distribuido</b>	Libelium	Tymote	Digi International	Digi International
<b>Compatibilidad</b>	-	-	Serie1	Serie2
<b>Antena</b>	Wire	Wire	Wire	Wire
<b>Rango de Datos</b>	-	-	250 kbps/up to 115 kbps (1)	250 kbps/up to 1 Mbps (1)
<b>Rango interior</b>	100 m	40m	100 ft (30 m)	133 ft (40m)
<b>Línea de Visión</b>	300 ft (100 m)=	-	300 ft (100 m)=	400 ft (120 m)=
<b>Configuración</b>	API Y AT	-	API Y AT	API Y AT
<b>Frecuencia de Banda</b>	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
<b>Batería</b>	Solar/ Pila	Pila	Pila	Pila

Adaptado de: (Escuntar, 2016)

En este proyecto se va utilizar el módulo XBee S2B este posee mejoras en el hardware mejorando el uso de la potencia, funcionan con el Firmware del Módulo ZB en la siguiente figura se puede observar el módulo XBee S2B.



## 1.5 Software XCTU

El software para manejo de XBee es el XCTU.

El software XCTU se divide en 4 secciones principales:



En la parte superior de la interfaz está ubicada la Barra de herramientas y se divide en tres secciones diferentes.



Figura 16. Barra de Herramientas.

En la parte izquierda se puede evidenciar dos iconos que se utilizan para agregar módulos de radio a la lista de dispositivos.

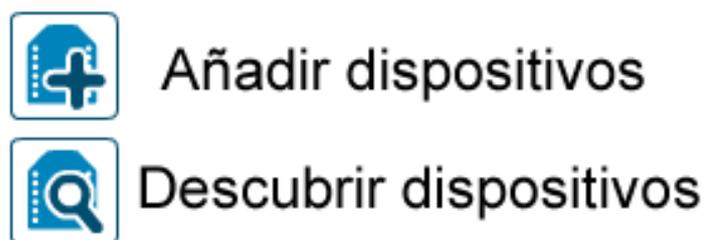


Figura 17. Iconos para agregar XBee

El segundo bloque de botones contiene la funcionalidad estática del XCTU. Esta es una funcionalidad que no necesita de un módulo de radio para funcionar, están incluidas las herramientas XCTU, el formato de comentarios, la configuración y las funciones de actualizaciones.



Figura 18. Funcionalidad estática de XCTU

En el tercer bloque que está en la barra herramientas se muestra la lista con vínculos que proporcionan ingreso a los modos de trabajo del programa y muestra los modos en el área de trabajo, para poder observar requiere que se añadan módulos en la lista de dispositivos.

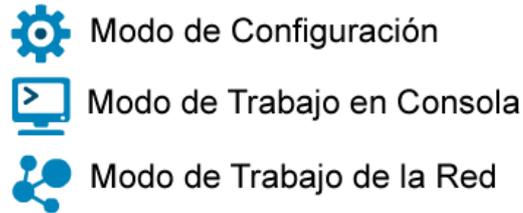


Figura 19. Ingreso a modos de trabajo

- En el modo la configuración permite configurar el módulo de radio seleccionada de la lista.
- El modo consola permite interactuar o comunicarse con el módulo de radio seleccionada.
- En el modo res permite descubrir las topologías de la red de protocolos 802.15.4, ZigBee y DigiMesh.

La lista de dispositivos de módulos de radio se encuentra en lado izquierdo del software debajo de la barra de herramientas en esta pantalla se muestra los módulos que están conectados a la PC que se puede interactuar directamente con él.

Dependiendo del protocolo de los módulos es posible añadir módulos de radio remotos a la lista utilizando la función de búsqueda del módulo.



Figura 20. Lista de dispositivos

El área de trabajo está situada a lado derecho de la aplicación, y su contenido depende de lo seleccionado en el bloque tres de la barra de herramientas, para poder interactuar en esta sección previamente deberá seleccionar algún dispositivo de la lista.

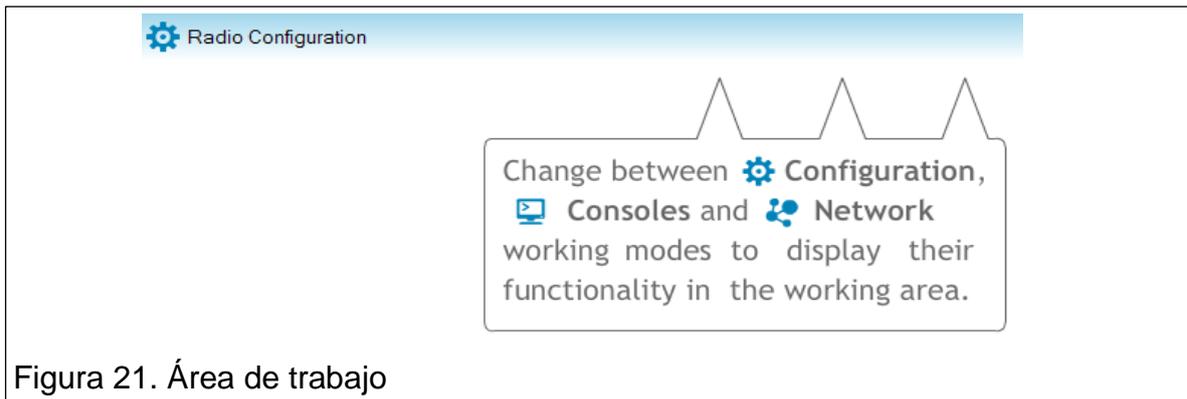


Figura 21. Área de trabajo

La barra de estado del software muestra el estado de las tareas específicas, tales como el proceso de descarga del firmware y está ubicada en la parte inferior.



Figura 22. Barra de estado

## 1.7 Visual Studio

Visual Studio es un programa que sirve para desarrollar aplicaciones de escritorio o web. Ya sea en consola o en interfaz gráfica. Este capítulo se enfoca únicamente en el desarrollo de la segunda opción. Así que respecto a eso se puede decir de forma general que Visual Studio tiene un entorno de desarrollo muy interactivo ya que el programador tiene en una parte del programa los botones, labels, cajas de texto, etc. Que los puede arrastrar hacia la forma y posterior a eso se pueden modificar su aspecto visual y programar lo que se desee que ocurra cuando estos el usuario interactúa con los mismos. Y también posee una especie de guía que sirve para detectar errores o advertencias dentro del código.



Figura 23. Logo Visual Studio

Los pasos para crear una aplicación gráfica en Windows se pueden resumir y generalizar de la siguiente manera:

- 1.- Crear un nuevo proyecto con los componentes necesarios, ya sean librerías, conexiones, o algún otro tipo de elemento que se requiera para que la aplicación funcione correctamente.
- 2.- Crear el diseño que se desee para que se muestre en pantalla. Arrastrando los elementos desde el bloque de herramientas.
- 3.- Especificar las características que se desea que el formulario lleve, y lo mismo para los elementos éste contiene.
- 4.- Escribir el código de programación respectivo para cada uno de los elementos que se encuentran en el formulario.
- 5.- Se procede a compilar, ejecutar y guardar el programa para observar su funcionamiento en la pantalla.
- 6.- Si se da la ocasión se puede ejecutar un depurador en la aplicación.

Los pasos enumerados anteriormente serán detallados minuciosamente con su respectiva teoría a continuación.

Antes de comenzar es importante aclarar que se denomina “proyecto” a la aplicación o programa que se está diseñando en Visual Studio. Dicho esto se puede decir que antes de comenzar a trabajar es imprescindible crear un nuevo proyecto. Para hacerlo se procede a seguir los siguientes pasos:

- 1.- Dentro de la interfaz de Visual Studio, se debe seleccionar en la barra de tareas ubicada en la parte superior “ARCHIVO”.
- 2.- Se debe seleccionar la opción “Nuevo”
- 3.- Se debe seleccionar la opción “Proyecto”

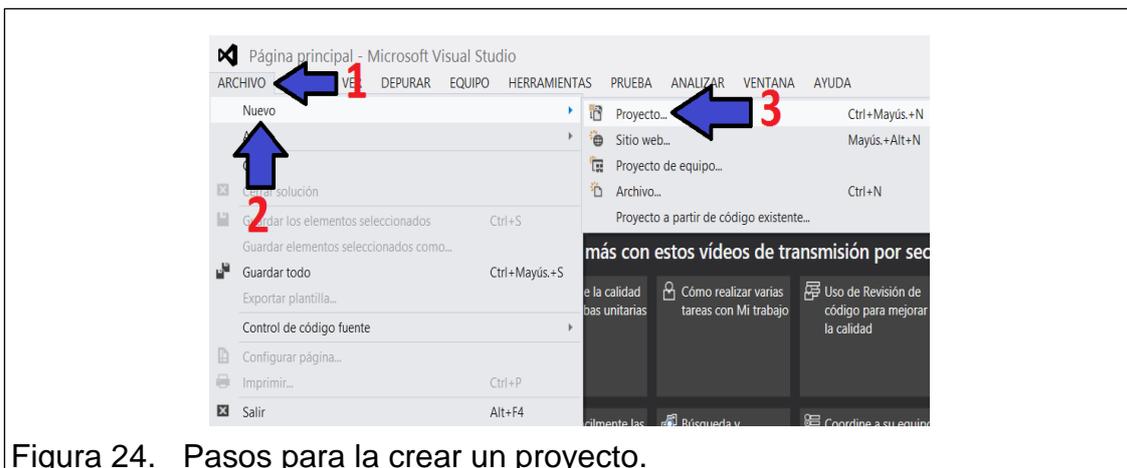


Figura 24. Pasos para la crear un proyecto.

- 4.- En la ventana emergente se procede a seleccionar en las opciones de Visual C# la opción “Windows”.
  - 5.- Se selecciona la opción “Aplicación de Windows Forms”.
  - 6.- Se escribe el nombre que deseamos que el proyecto lleve (En este caso será “Saludo”).
  - 7.- Se selecciona la ruta donde se desea que el proyecto se guarde. Este paso se puede omitir sin que afecte el comportamiento del mismo. Así mismo, existe la opción para que el proyecto se guarde automáticamente al momento que se cree el proyecto.
- Esta opción está ubicada en el menú “Herramientas” y se llama “Guardar proyectos nuevos al crearlos”.

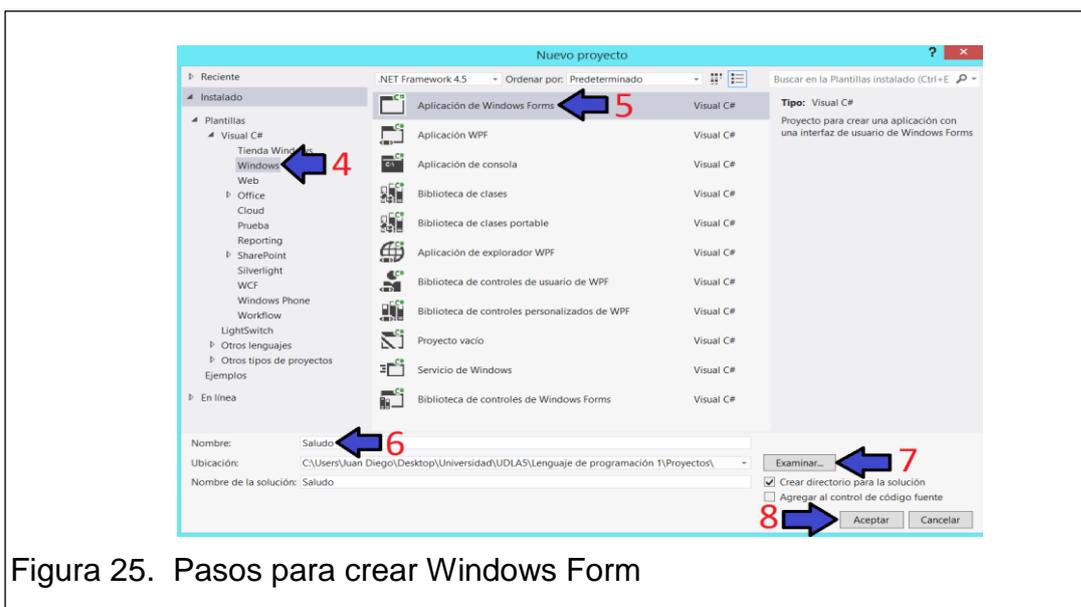


Figura 25. Pasos para crear Windows Form

## 8.- Se da clic en “Aceptar”

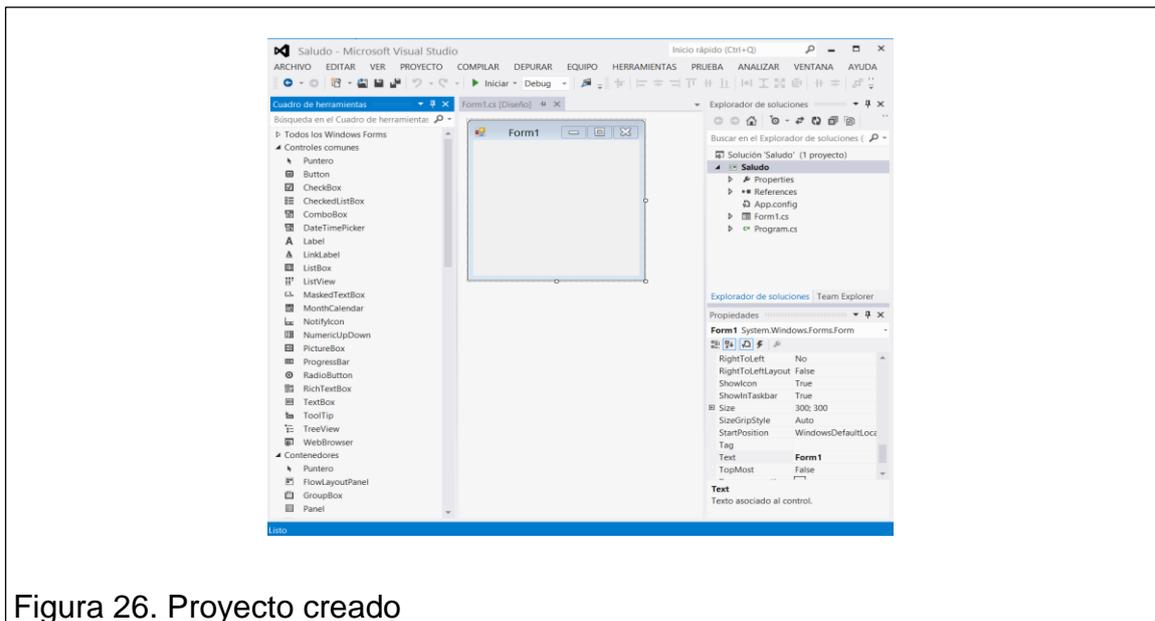


Figura 26. Proyecto creado

## 2. CAPITULO II. Diseño e Implementación del sistema

### 2.1 Preliminares

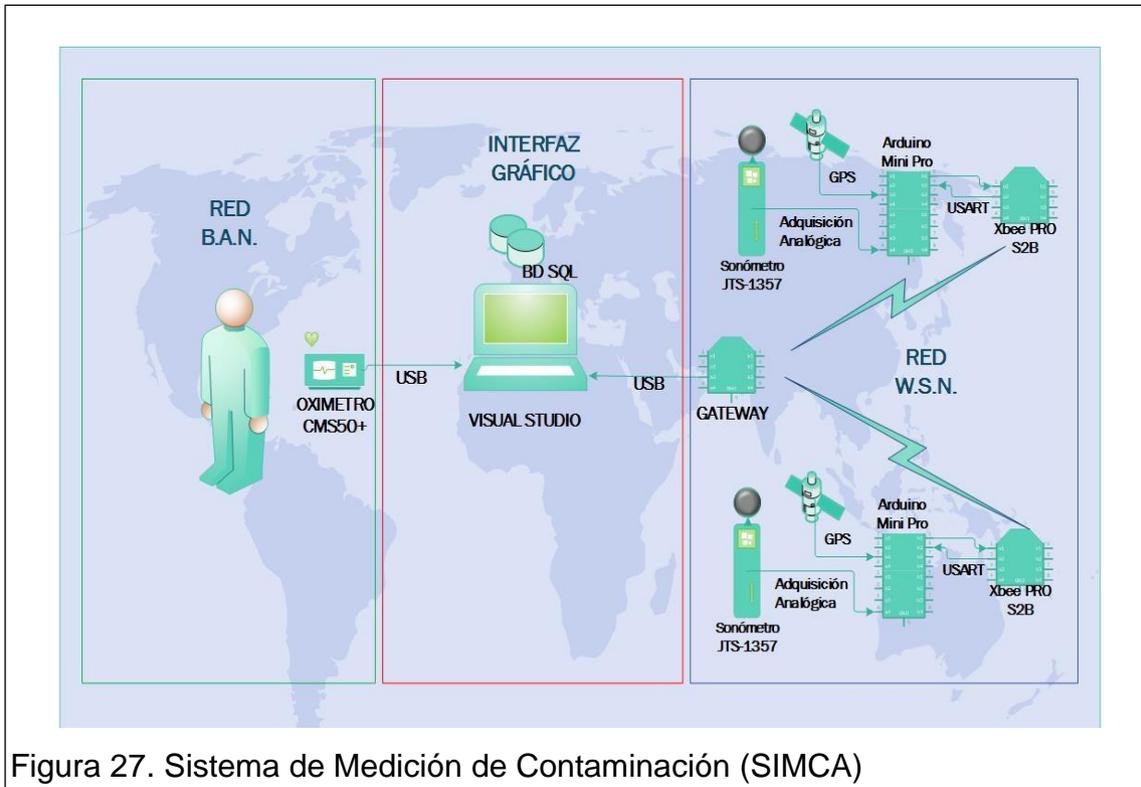


Figura 27. Sistema de Medición de Contaminación (SIMCA)

En este capítulo se detalla paso a paso como se desarrolló el sistema de medición de contaminación auditiva, la programación de los nodos, la interfaz gráfica y la adquisición de señales de la red BAN.

En la red WSN se definió los elementos para formar los nodos, el protocolo de comunicaciones la programación de los parámetros de la red en el software XCTU y la programación de los microcontroladores para la adquisición de señales de ruido y él envió de datos mediante los XBee Pro S2B.

En la red BAN se definió el equipo a utilizar para medir frecuencia cardiaca y obtener estos datos en la computadora por medio de sensores no invasivos que no alteren el estado de los sujetos de prueba.

Finalmente la interfaz gráfica realizada en el software Visual Studio en la cual se muestran los datos obtenidos por la dos redes mediante gráficos y alertas visuales.

## 2.2. Elementos del Nodo

Para el diseño del nodo se utilizó los siguientes elementos

### 2.2.1 Arduino Pro Mini versión de 5V

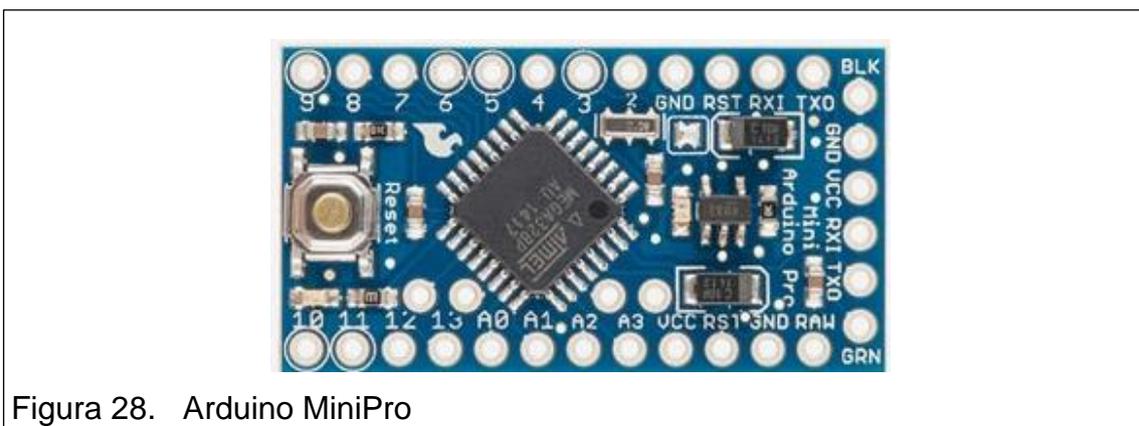


Figura 28. Arduino MiniPro

El arduino mini pro es una placa electrónica que funciona con el microcontrolador ATmega328 el diseño de esta placa permite el montaje de diferentes pines o la soldadura directa de cables, el tamaño es pequeño lo cual le permite utilizar en circuitos donde se requiera de poco espacio, existen dos versiones la de 3.3v y la de 5v que la que se utilizara en este proyecto, la especificaciones técnicas se describen a continuación.

Hoja de Datos en ANEXO 1.

Tabla 5. Datos técnicos de Arduino Mini Pro

Parámetros	Descripción
Micro controlador	ATmega328
Voltaje de Operación	5-12V
E/S Digitales	14
Corriente para E/S	40mA
Pines Analógicos	6
PWM	6
UART	1
Memoria Flash	32K
Velocidad de Reloj	16MHz

### 2.2.2 Módulo ZigBee XBee PRO S2B



Figura 29. Módulo XBee PRO S2B

Módulo ZigBee S2B proporciona conectividad inalámbrica con bajo consumo de corriente, autonomía extendida a 63mW y velocidad de 1Mbps en la banda 2,4GHz son muy utilizados en las redes WSN por tamaño reducido en este proyecto se dispone del XBee PRO S2B ver imagen a y las características se describen a continuación.

Para complementar el módulo XBee se dispone de la tarjeta XBee Explorer ver imagen a con un regulador de voltaje a 5V y cuatro pines en la parte posterior Din, Dout, 5V, GND para fácil acople a la placa principal. Hoja de Datos en ANEXO 2.

Tabla 6. Características técnicas XBee

Parámetros	Descripción
Alcance Línea de vista	1500m
Alcance Interiores	90m
Frecuencia	2,4GHz
Velocidad de Datos	1Mbps
Voltaje de Operación	5V

### 2.2.3 Módulo GPS modelo GY-GPS6MV2.



Figura 30. Módulo GPS

El modulo GPS modelo GY-GPS6MV2 viene con un memoria EEPROM con configuración de fábrica, la placa consta de una pila para mantener los datos de la memoria EEPROM, un indicador led y la antena cerámica del GPS, y en la partes posterior se encuentra 4 pines de VCC,RX, TX, GND para conectar a la placa principal mediante interfaz serial.

Tabla 7. Características técnicas GPS

Parámetros	Descripción
Voltaje de Operación	5V
Canales	50
Frecuencia de refresco	5Hz
Soporta	SBAS,WAAS,EGNOS
Baud Rate	9600bps
Batería de Respaldo	MS621FE

#### 2.2.4 Sonómetro Modelo JTS-1357



Figura 31. Sonómetro JTS-1357

Sonómetro modelo JTS-1357 dispone de un receptor que permite obtener una respuesta plana en un rango de frecuencias extendida, permite cumplir la norma IEC651 Tipo 2 ANSI S1.42, además dispone de una pantalla de 5 Dígitos y se puede seleccionar entre la ponderación A y C. En el diseño se puede destacar la salida analógica DC el puerto de alimentación de 6V y la salida rms AC. Hoja de Datos en ANEXO 3.

Tabla 8. Características técnicas sonómetro JTS-1357

Parámetros	Descripción
Voltaje de Operación	6V
Rango	30dB-130dB
Resolución	0,1dB
Tiempo de Respuesta	2-5 veces por segundo
Peso	300g
Pines de Salida	AC/DC

Adaptado de: (Multimeterwarehouse, 2016)

### 2.2.5 Lipo Rider Pro 5v/1A.

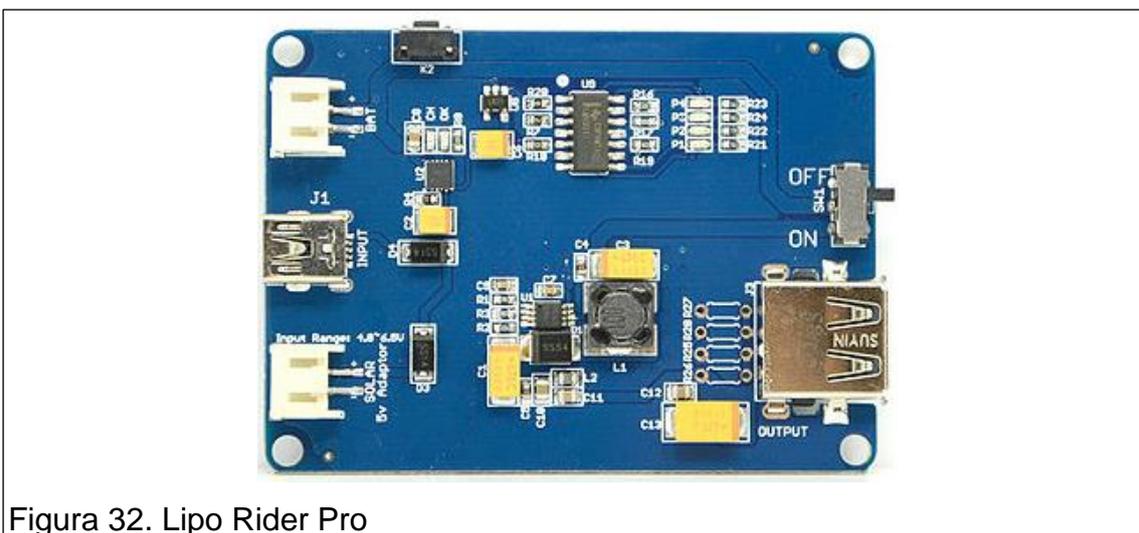


Figura 32. Lipo Rider Pro

Lipo Rider Pro es una tarjeta electrónica que permite la interconexión de un panel Solar y una batería de Lipo de 3,7v es una tarjeta amigable con el ambiente dispone de una salida constante de 5V a 1A además con la

indicación de cuatro leds en la parte superior se puede observar la carga de la batería, dispone de un switch para encendido y apagado de la placa.

Tabla 9. Características técnicas Lipo Rider Pro

Parámetros	Descripción
Voltaje de Salida	5V
Carga Salida	1A
Puertos USB	2
Indicadores Led	4
Switch on/off	1
Conector de Panel y Batería	JST 2.0

Adaptado de: (Seeedstudio, s.f.)

### 2.2.6 Panel Solar 2.5W 5v/50mAh.



El panel solar que complementa al cargador LIPO RODER PRO proporciona una potencia de 2,5W 5V/500mAh con una dimensión de 130x150mm su material PCB lo hace ideal para resistir en la intemperie, en este proyecto se considera la utilización de este tipo de energía ya que es de gran utilidad para la conservación del medio ambiente.

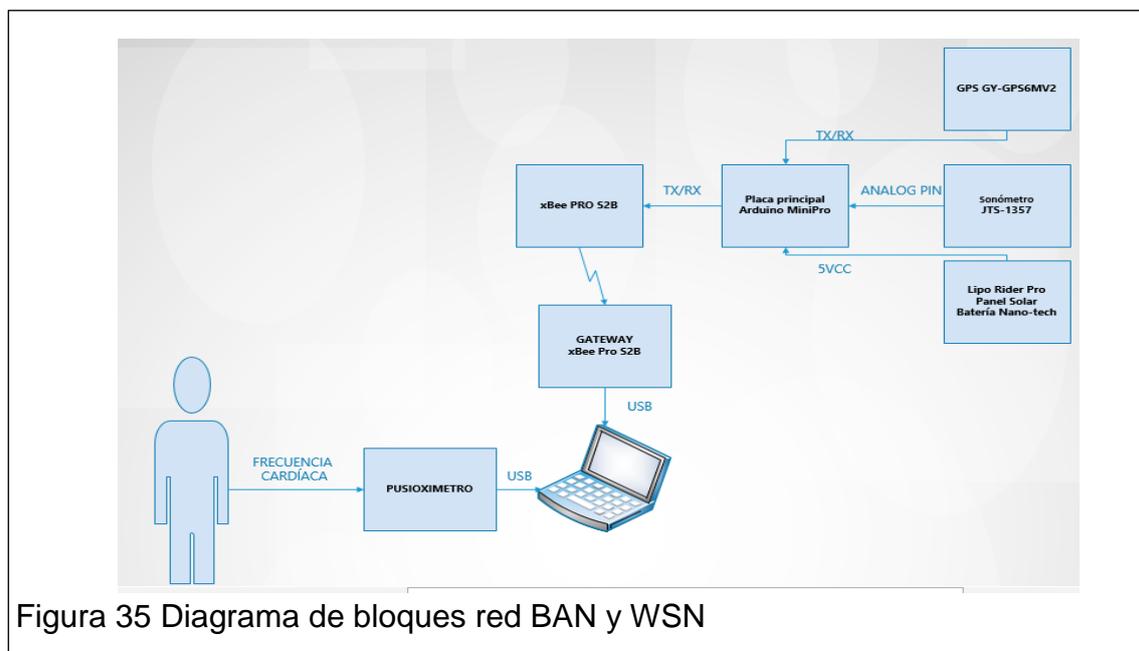
### 2.2.7 Batería Nano-Tech 950 mAh 3.7v.



La batería turnigy de 3,7V tiene un peso de 9 gramos ideal para este proyecto por tamaño y capacidad de 950mAh con una capacidad de descarga de 25-50C, con la placa Lipo Rider Pro es el complemento perfecto para la alimentación amigable con el ambiente del nodo sensor.

### 2.3 Diseño del sistema SIMCA

La interconexión de los elementos antes descritos se puede observar en el siguiente diagrama de bloques, donde la alimentación va ser de 5V constantes mediante el circuito líder Pro, y en la placa principal se conecta GPS, Sonómetro y estos datos serán enviados por medio del xBee PRO S2B.



La lógica de funcionamiento del sistema de medición de contaminación auditiva se puede observar en el siguiente diagrama de bloques.

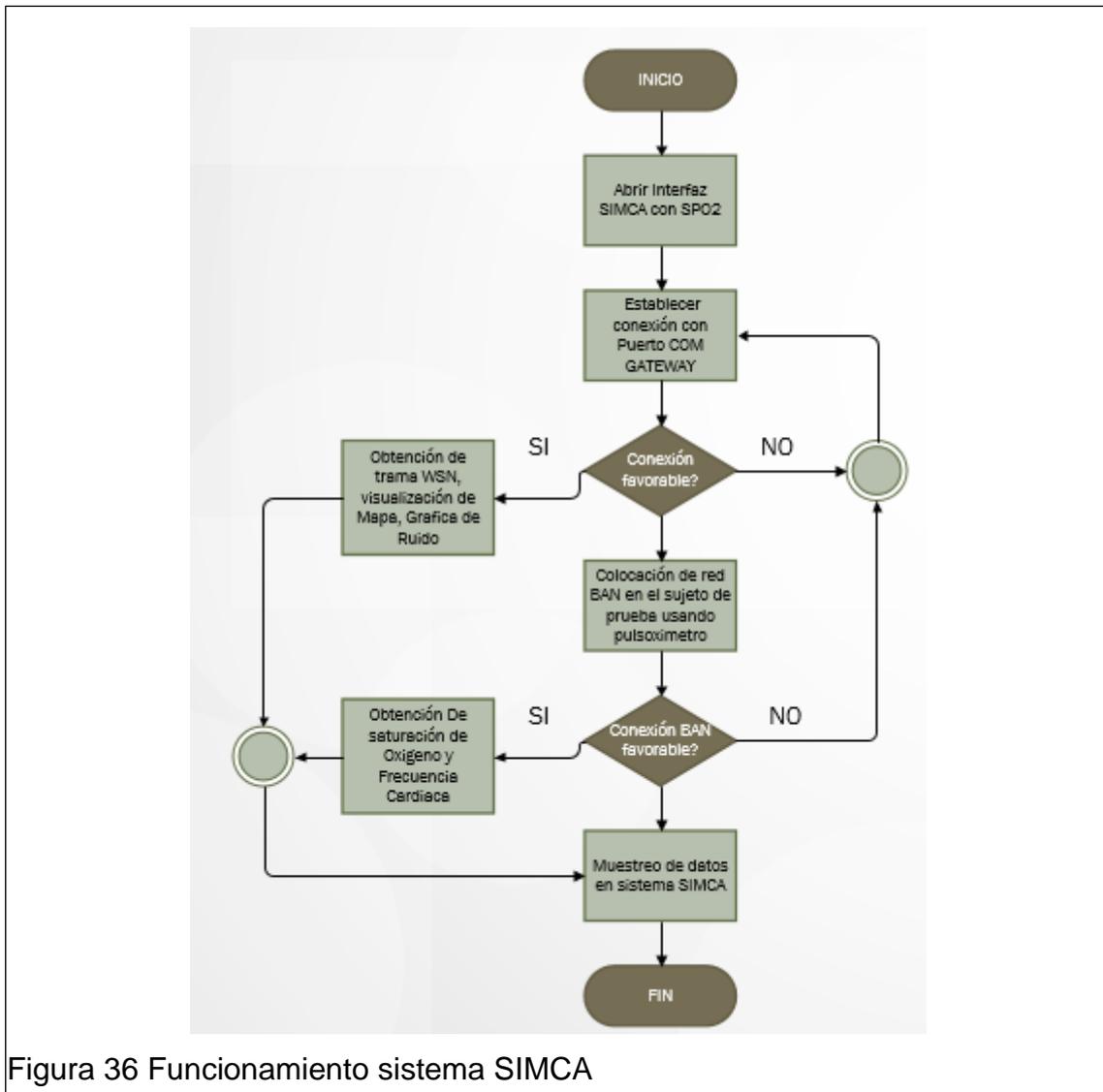


Figura 36 Funcionamiento sistema SIMCA

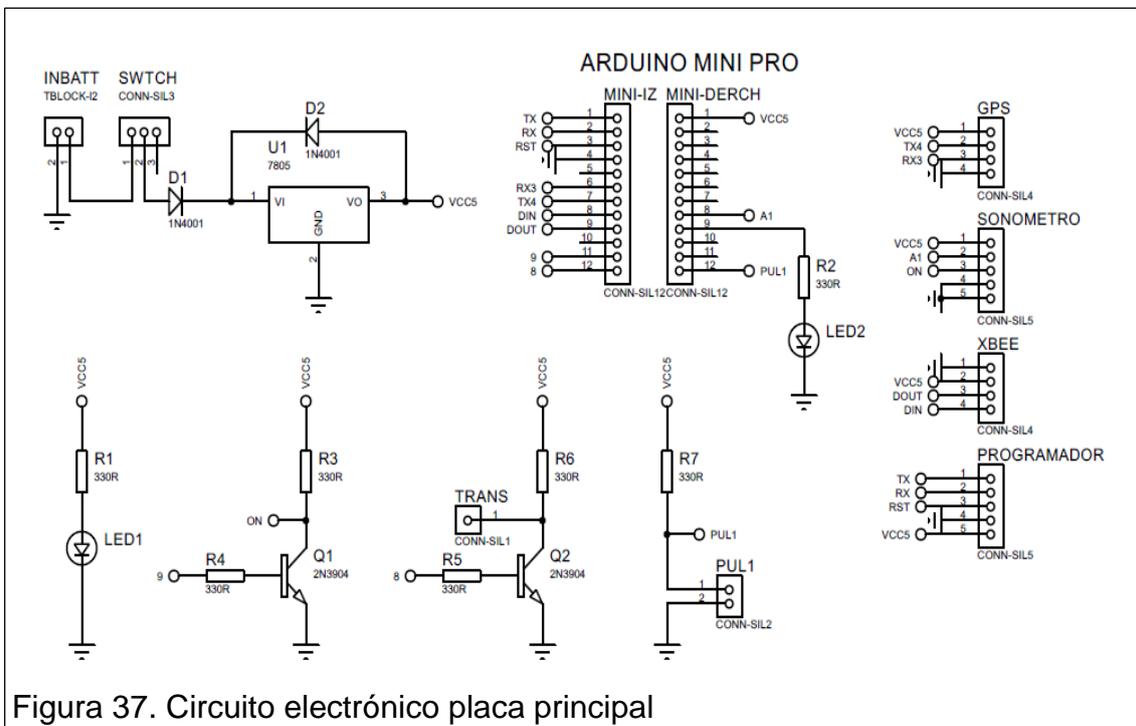
Para iniciar el sistema se ejecuta "play" desde el software Visual Studio y una vez lanzada la interfaz SIMCA y SPO2 se selecciona el puerto COM donde está conectado el GATEWAY si la conexión no es establecida se reinicia el programa o se selecciona otro puerto COM; si la conexión es favorable se empezara a mostrar la trama y se dibujara el ruido que se está obteniendo, así como en el mapa se mostrara la posición donde está el nodo.

Posteriormente se coloca el pulsioxímetro al sujeto de prueba y se empieza a obtener los datos de saturación de oxígeno SPO2 y la frecuencia cardiaca.

El sistema estará funcionando hasta que se cierre la interfaz.

Para la placa principal se diseñó el circuito electrónico en el software PROTEUS (ver Figura 37) el cual consta de una primera etapa de potencia en la que esta una bornera para la conexión de una batería un Switch y un regulador 7805 que será el encargado de alimentar los demás elementos con una salida de 5v a 1 A.

La etapa de control está conectado el Arduino Mini pro que tiene un microcontrolador ATmega 328 en este está conectados salidas para el módulo GPS, SONÓMETRO, XBEE, dos transistores los cuales van a permitir el encendido y apagado del sonómetro, un led que se enciende cuando la placa está alimentada y un led administrable que permite saber cuándo el GPS está recibiendo datos, un pulsador que permite el envío de datos cuando este se presione y adicionalmente se tiene un puerto denominado programador en el cual se va conectar para cargar el programa desde el computador.



Finalmente con el software ARES se tiene el esquema del circuito impreso siguiente figura.

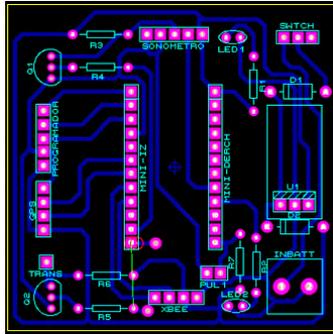


Figura 38. Circuito en software ARES

Antes de realizar la placa se puede hacer una visualización en 3D de cómo están ubicados los elementos de la placa principal. Ver Figura 39.

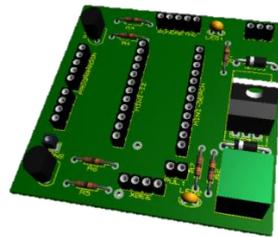


Figura 39. Visualización en 3D placa principal

Finalmente la placa principal se observa en la Figura 40.

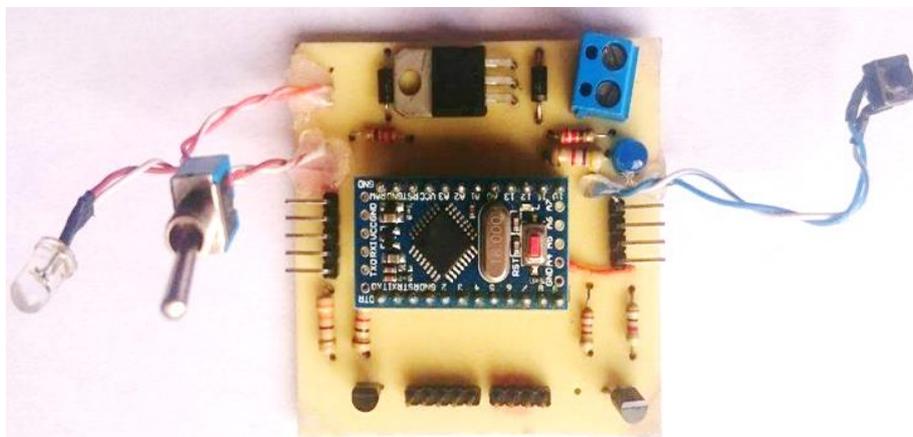


Figura 40. Placa Principal soldada

## 2.4 Diseño del Nodo Sensor

Para la realización del nodo sensor se conecta a la placa principal los elementos como GPS, SONÓMETRO, XBEE, el cargador LIPO RIDER PRO la batería de 3,7v y el panel solar.

Para cargar el programa se utiliza un Arduino Uno en los pines programador de la placa principal esto permite conectarse al computador y hacer pruebas en tiempo real con el nodo y la PC. Cabe recalcar que el arduino Uno solo se utiliza al momento de programar al nodo sensor.

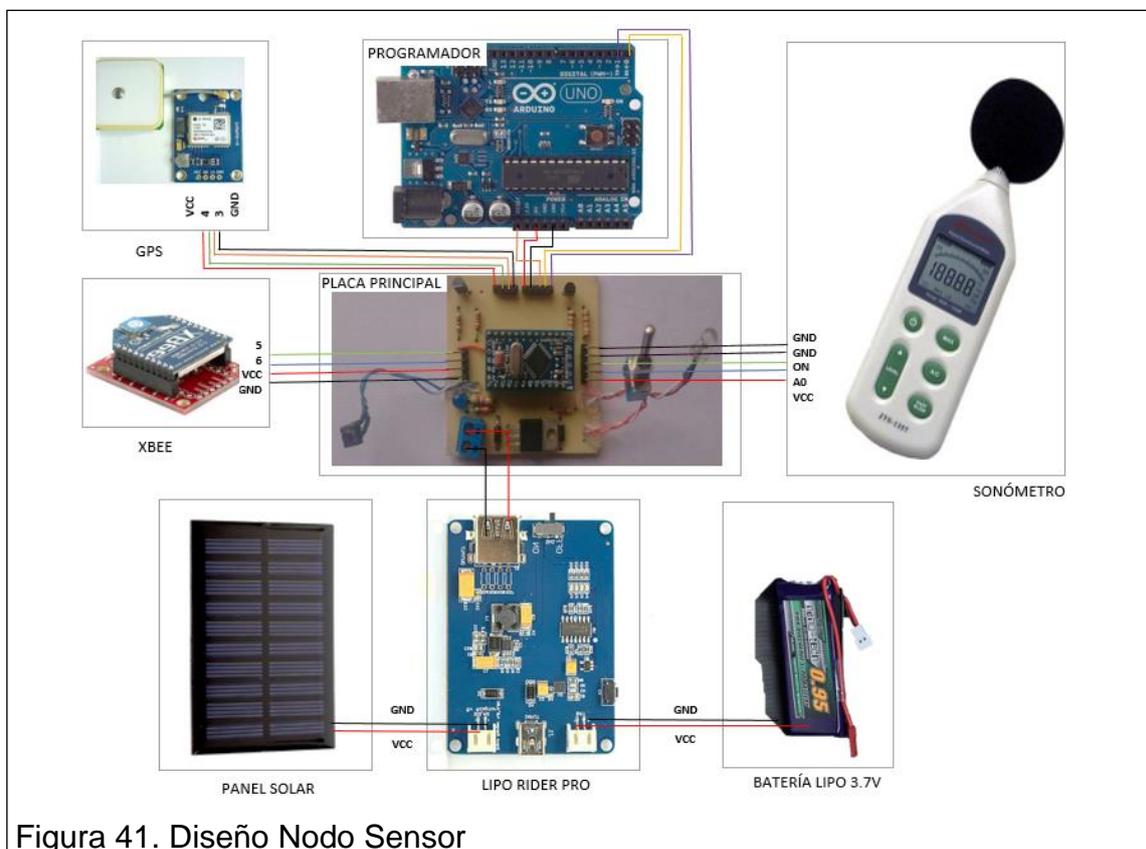
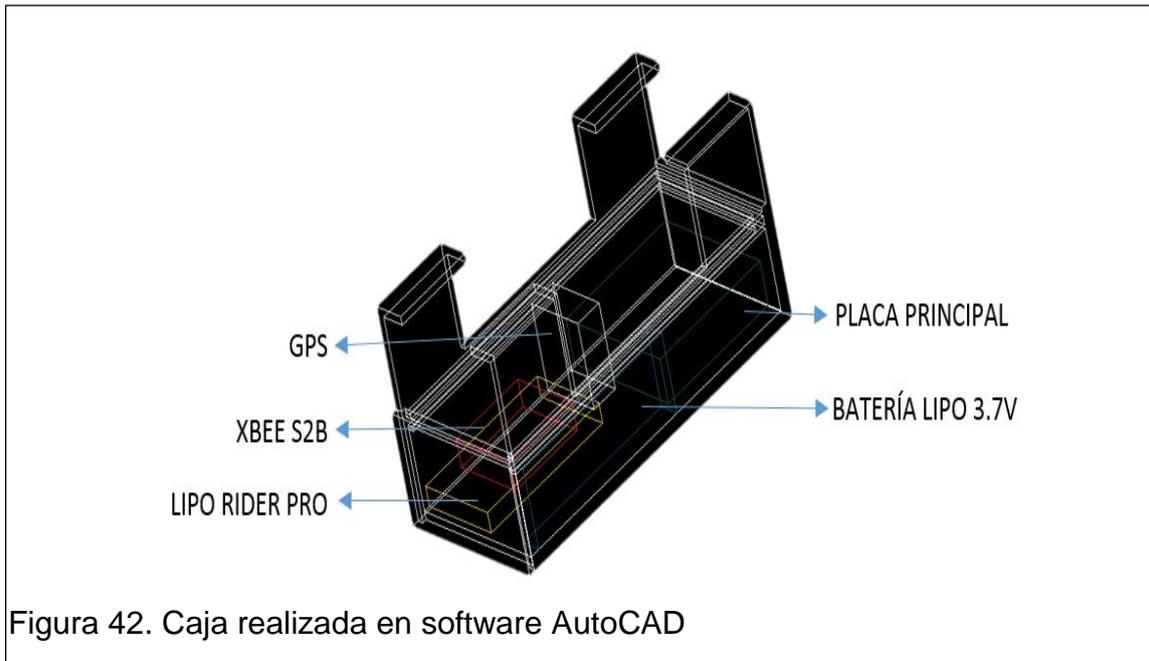
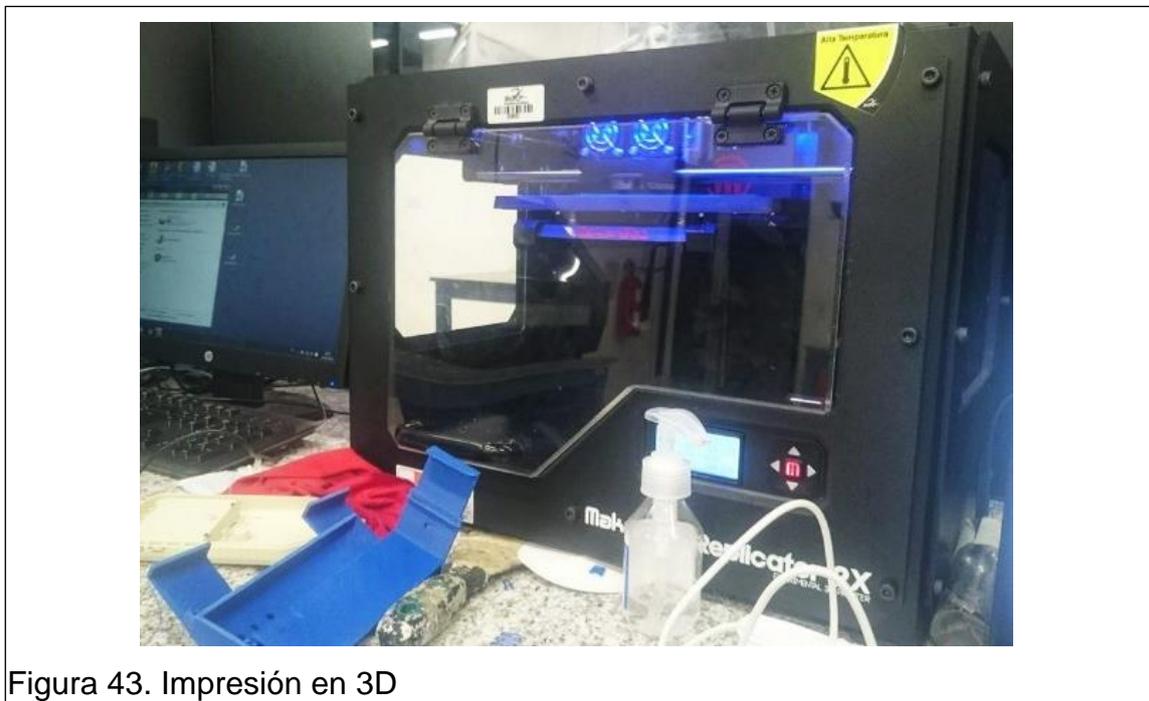


Figura 41. Diseño Nodo Sensor

En el software AutoCad se realizó el diseño de un contenedor donde se ubicaran la electrónica respectiva, el diseño final se puede observar en la siguiente figura.



Todos los elementos fueron diseñados a la medida y el prototipo contenedor fue impreso con filamento azul ABS con un total de 10 horas de Impresión en 3D.



El nodo sensor final se muestra en la Figura 44.



## 2.5 Programación de la Placa Principal

Para la programación de la placa principal se conecta como se ilustra en la Figura 45 y por medio del software Arduino se procede a la conversión analógica de los datos, la obtención de la posición del GPS y el envío de los datos mediante los módulos XBee a continuación se muestra el algoritmo utilizado para el nodo sensor.

La placa Arduino Mini Pro tiene el microcontrolador ATmega328 que contiene 8 canales análogos digitales, estos funcionan con un convertidor de 10bits, esto significa que puede medir tensiones de entrada entre 0 y 5 voltios en valores entre 0 y 1023. La resolución se muestra en la siguiente formula:

$$resolucion = \frac{5V}{1024} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

$$resolucion = 4,9mV$$

Se obtiene el valor de 4,9mV por unidad.

El fabricante del sonómetro indica que 10mV/dB en la salida DC con una resolución de 0,1dB, además el rango de medición es de 30dB hasta 130dB, por lo que para una lectura cualquiera en voltios será:

$$voltios = \left(\frac{5}{1024}\right) x Lectura \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Como cada voltio equivale a un dB se tiene:

$$\left(\frac{1V}{10mV}\right) = 100 \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Si multiplicamos el valor en voltios por 100 se obtendrá los dB del sonómetro:

$$on = \left(\frac{5xLecturax100}{1023}\right) \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Y en esta parte se le disminuye el error obtenido por el calibrador. Así en arduino se define la siguiente formula como se observa en la figura.

```
//adquiromos valores analogicos en el puerto A0
ValorSonometro = analogRead(sensorPin);
Son = (( 5.0*ValorSonometro* 100.0)/1023.0)-0.1;
```

Figura 45 Código adquisición analógica

La programación con todos los dispositivos conectados sería la siguiente:

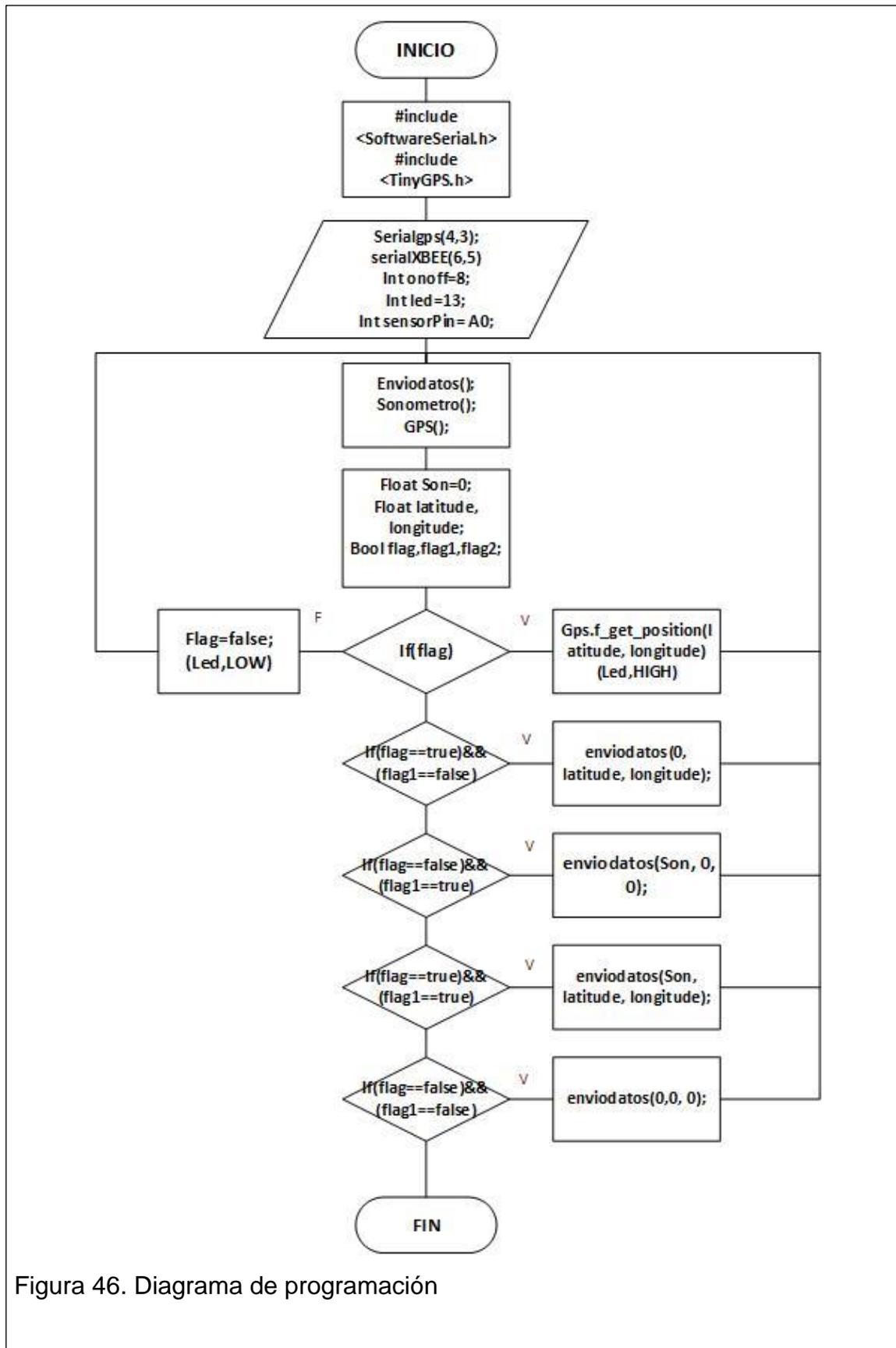


Figura 46. Diagrama de programación

En la primera etapa hace uso de las librerías Serial.h, TinyGPS.h y se declara los pines a utilizar en el microcontrolador, después se declara las funciones como *<envioddatos>* donde se realiza el envío al XBee utilizando protocolo UART la función *<sonometro>* donde se realiza la adquisición analógica, y la función *<GPS>* donde se obtiene datos de longitud y latitud, todas estas funciones activan las banderas *<flag, flag1, flag2>*, cuando cumplen una tarea específica.

El programa ingresa a una serie de sentencias IF donde permite verificar tareas como si existe adquisición analógica o datos en la GPS. Los datos son enviados en una trama de bits que empiezan con letras del alfabeto y cambian dependiendo del nodo, por ejemplo la trama para el nodo 2 sería:

*D: 75.7; E: -0.1699568; F: -78.4708885;*

D: Identificador de Nodo, seguido del valor de ruido en dB.

E: Identificador de Latitud, seguido del valor de latitud.

F: Identificador de Longitud, seguido del valor de longitud.

Trama cuando con solo adquisicion analogica:

```

D:48.27;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:54.14;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:64.40;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:60.00;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:59.03;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:58.05;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:50.72;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:51.70;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:52.18;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:56.09;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:50.23;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:52.67;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:47.79;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:45.34;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:64.89;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:64.40;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:69.78;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:74.67;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:65.87;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:65.38;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:67.34;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:62.45;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:64.89;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:63.43;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:60.98;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:56.58;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:49.25;E:0.00000;F:0.00000 CR LF
D:49.25;E:0.00000;F:0.00000 CR LF

```

Figura 47. Captura de trama primer caso

Trama sin datos de sonometro y GPS:

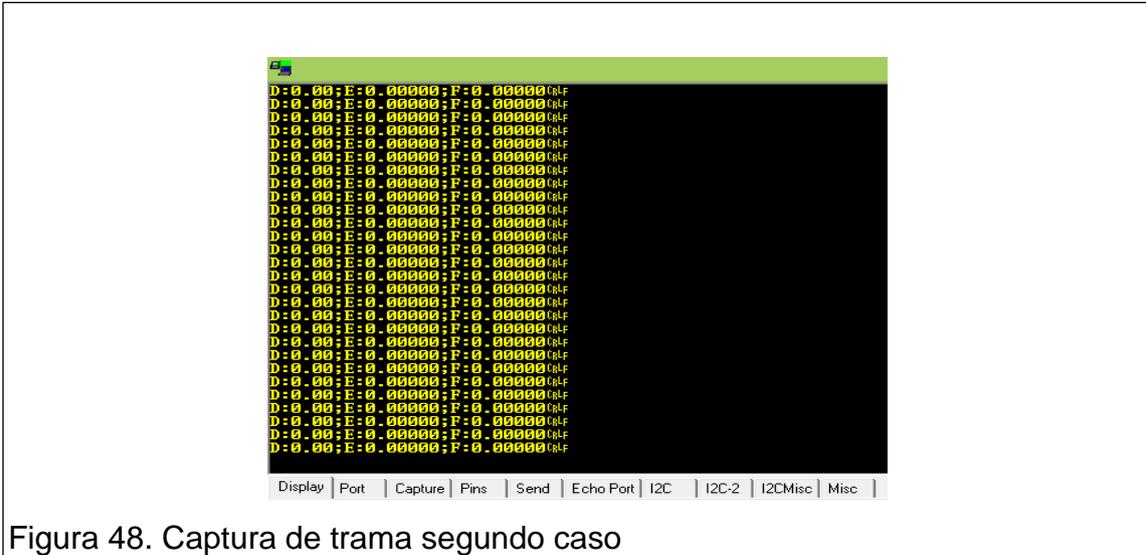


Figura 48. Captura de trama segundo caso

Trama cuando solo está funcionando GPS:

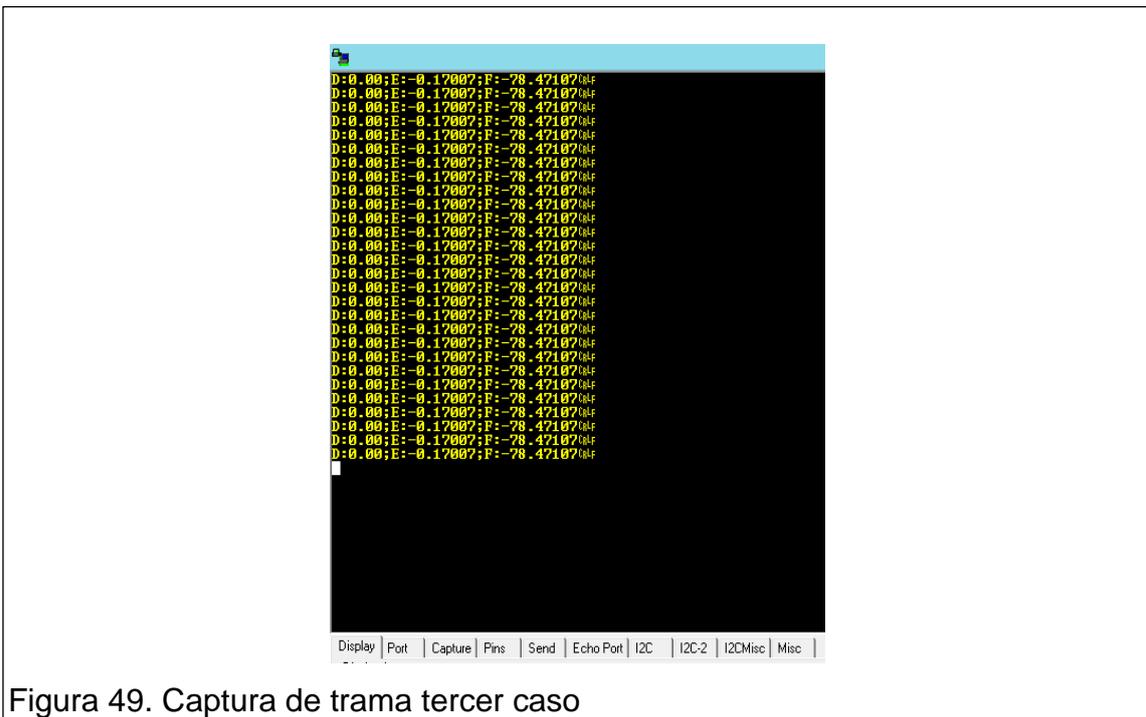


Figura 49. Captura de trama tercer caso

Trama Cuando se tiene todos los datos:

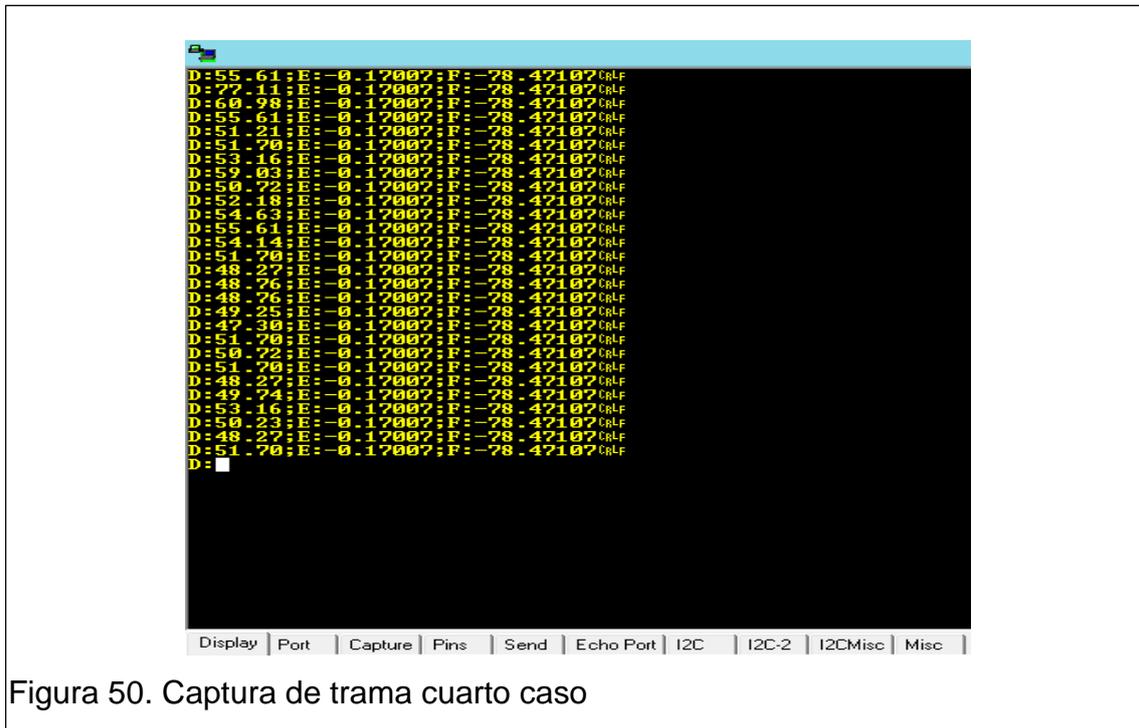


Figura 50. Captura de trama cuarto caso

## 2.6 Configuración de la red WSN con los módulos XBee

Para la configuración de los módulos XBee Pro S2B se utiliza el software XCTU.exe, lo primero que se va a realizar es añadir módulos para modificar su configuración de fábrica.

Para agregar un dispositivo de forma manual hacer clic en Agregar módulo de radio en la barra de herramientas, esta acción despliega la venta de la siguiente Figura.

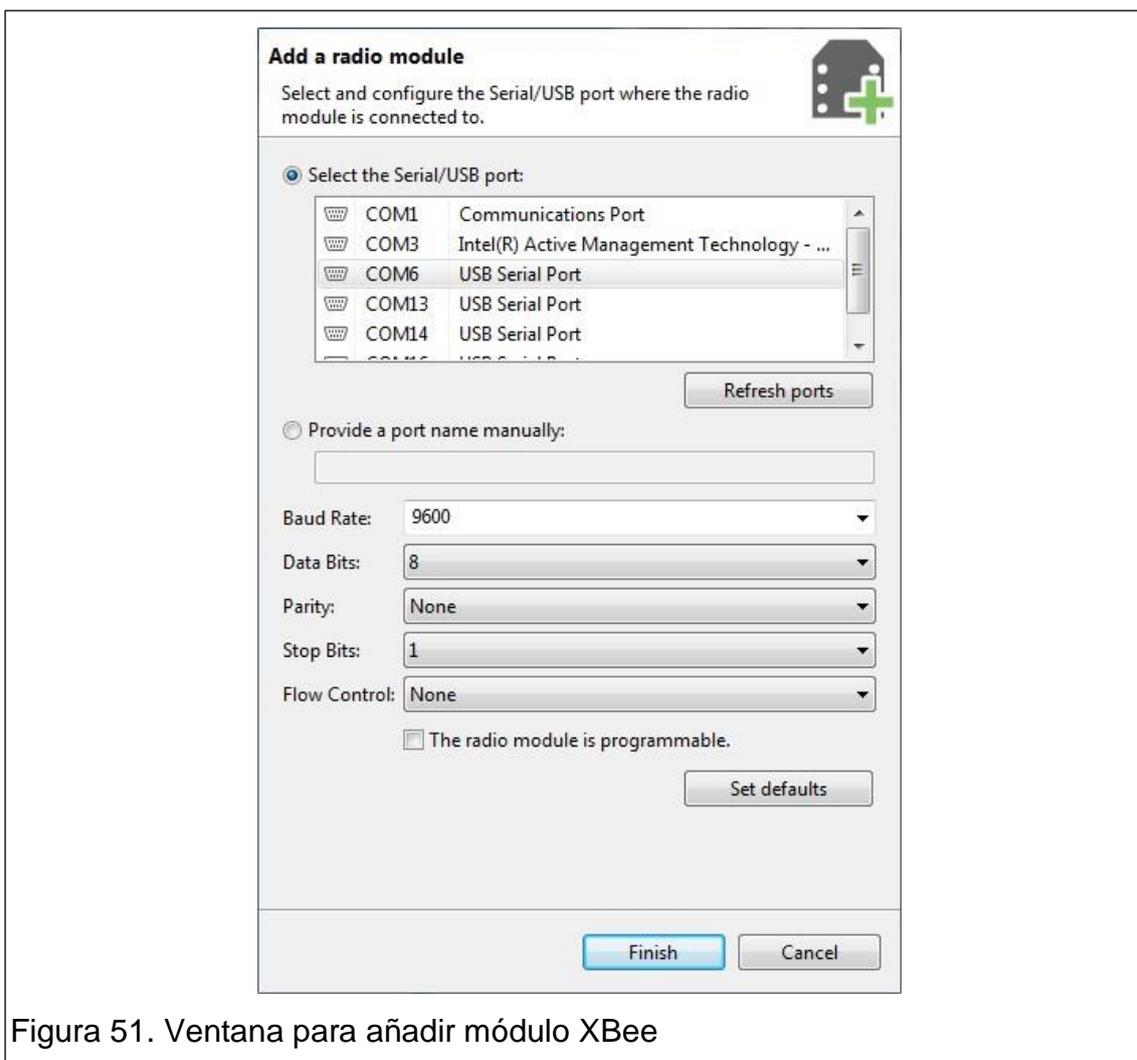


Figura 51. Ventana para añadir módulo XBee

En esta lista seleccionar el puerto serie al que está conectado el XBee y los demás datos estarán por defecto. Una vez seleccionada realizar clic en finalizar.

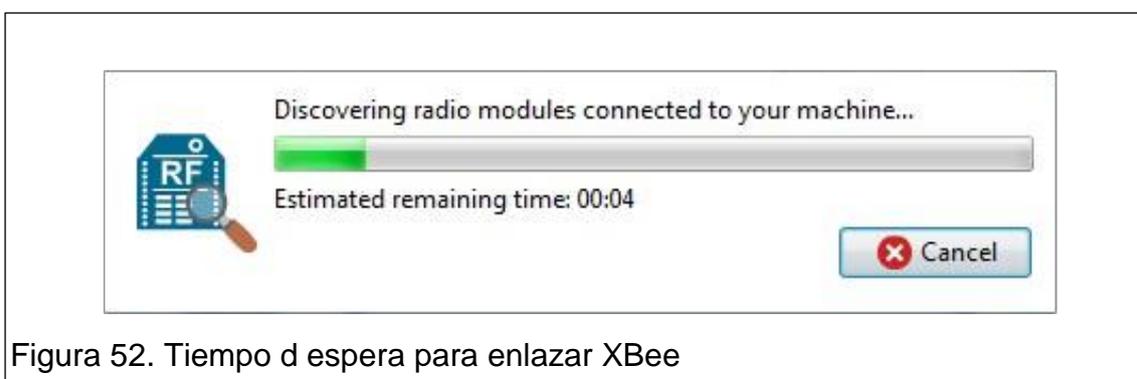


Figura 52. Tiempo de espera para enlazar XBee

Una vez seleccionado los módulos de radio deben aparecer en la lista de dispositivos.

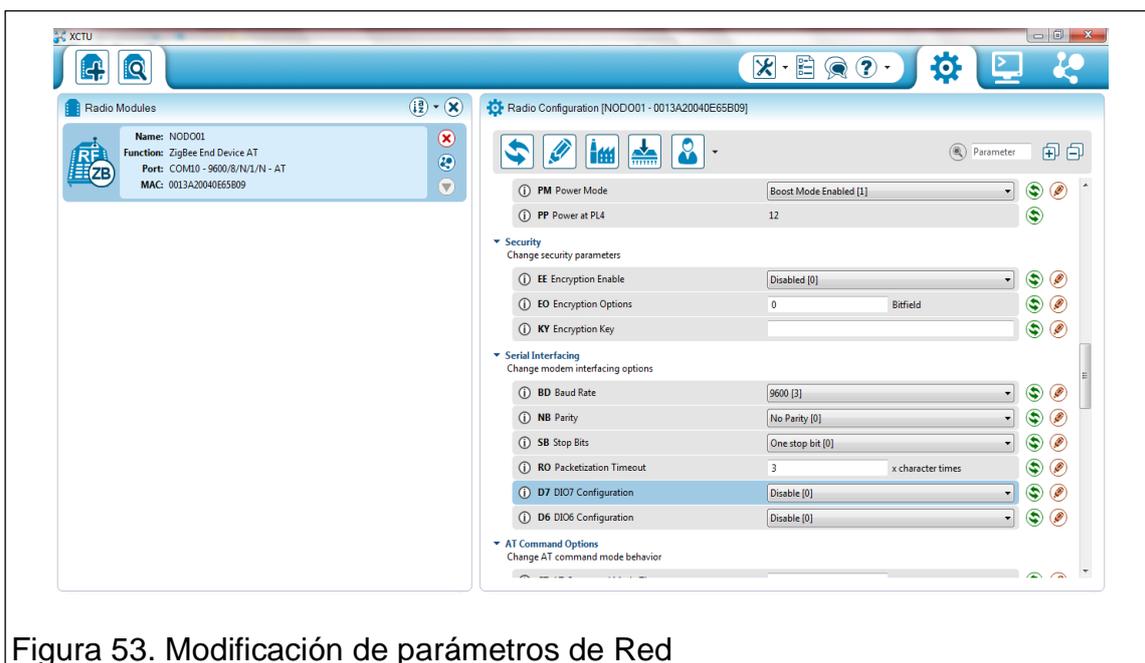


Figura 53. Modificación de parámetros de Red

Para configurar la red en modo AT, en el área de trabajo se modifican los siguientes campos:

Tabla 10. Parámetros de configuración de la red WSN

Campo	Valor
ID (PAN ID)	6679
SC (Scan Channels)	E
DH (Destination Address High)	13A200
DL (Destination Address Low)	409E6EC2
NI (Nodo Identifier)	NODO01
BD (Baud Rate)	9600

Se añadirá una identificación al Pan Id, también se coloca las direcciones SH y SL, cada XBee tiene un SH o Serial High y SL o Serial Low. Estos son sus números de serie que vienen definidos de fábrica. DH y DL son el número de serie del módulo al que se envía el dato.

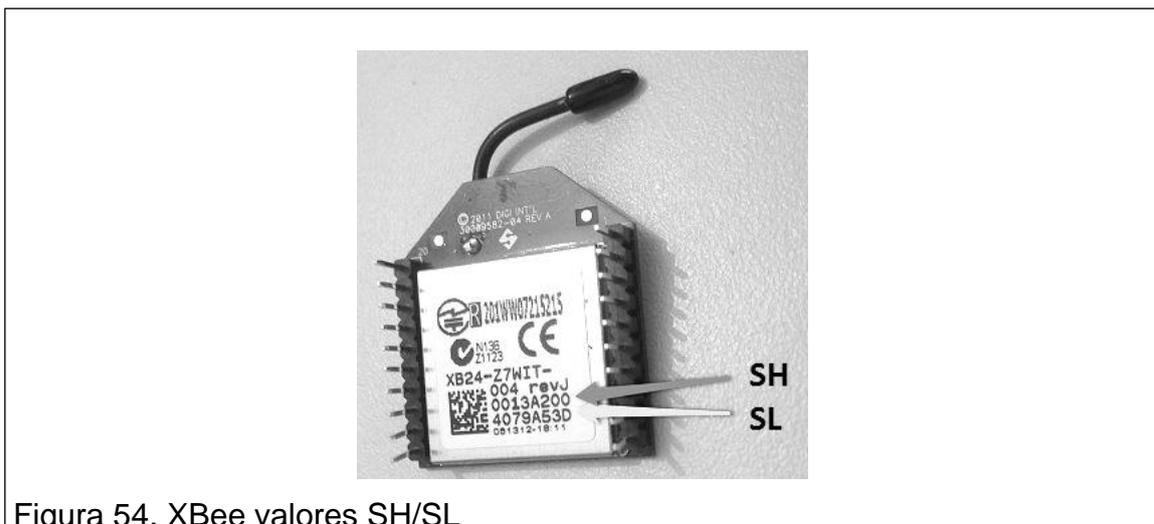


Figura 54. XBee valores SH/SL

Estos pasos se repiten para la configuración de los tres nodos cambiando únicamente el campo NI.

Este nodo también llamado Gateway es aquel que forma una red, encargado de recibir toda la información de la misma, conoce todos los PAN ID de los Router y dispositivos finales, considerando que el pan id es un número de cero a cuatro bits en la red, el cual permite que sepan que pertenecen a la red, el coordinador se queda libre para que pueda recibir de cualquiera PAN ID.

La configuración del nodo Coordinador sería la siguiente:

Tabla 11. Parámetros configuración de nodo Coordinador

Campo	Valor
ID (PAN ID)	6679
SC (Scan Channels)	E
DH (Destination Address High)	0
DL (Destination Address Low)	FFFF
NI (Nodo Identifier)	COORDINADOR
BD (Baud Rate)	9600

Una vez realizada esta configuración queda concluida la primera etapa de la red WSN con la transmisión de 3 nodos a un Gateway central conectado a la PC.

## 2.7 Implementación red BAN

Para la implementación de la red BAN se utiliza el pulsioxímetro CMS50D+ sensor no invasivo de saturación de oxígeno y frecuencia cardíaca.



Figura 55. Pulsioxímetro CMS50D+

Este dispositivo permite obtener los datos en tiempo real y transmitirlos al computador mediante cable USB, las características principales se describen en la Tabla 13.

Tabla 12. Características técnicas CMS50D+

Parámetros	Descripción
Voltaje de Operación	5V
Corriente de Operación	30mA
SPO2	0-100%
Pulso	30-250bpm
Resolución	SPO2 1%- Pulso 1bpm
Pantalla	OLED de 0.96'' azul y amarillo
Software	SPO2 Manager v1.5rel
USB	2.0

Para la implementación de la red BAN se dispone del pulsioxímetro el cual mide la saturación de oxígeno que transporta la sangre y la frecuencia cardíaca. Se decidió medir la frecuencia cardíaca ya que según la Organización Mundial de la Salud (WHO) la contaminación acústica es responsable cada año de 50.000 ataques al corazón, considerando este dato es de vital importancia mantener un monitoreo constante del corazón.

En la siguiente tabla se describe cuáles serían los valores normales que deberían tener los sujetos de prueba.

Tabla 13. Parámetros para frecuencia cardíaca

Edad	Inadecuado	Normal	Buena	Excelente
De 20 a 29	86 bpm +	70 -84 bpm	62-68 bpm	60 bpm $\geq$
De 30 a 39	86 bpm +	72-84 bpm	64-70 bpm	62 bpm $\geq$
De 40 a 49	90 bpm +	74-88 bpm	66-72 bpm	64 bpm $\geq$
Mas 50+	90 bpm +	76-88 bpm	68-74 bpm	66 bpm $\geq$

El SPO2 se divide en los siguientes indicadores: S indica saturación; P indica porcentual y O2 es de oxígeno. Esta lectura indica la cantidad de oxígeno transportado por la células rojas en la sangre, indica el grado de eficacia de un paciente en su respiración o bien si el oxígeno está siendo transportado en su cuerpo. La lectura promedio para un adulto normal, es de 96%.

Tabla 14. Parámetros para SPO2

Saturación	Porcentaje
SPO2 97%	Normal
SPO2 90%	peligro
SPO2 80%	Hipoxia severa (deficiencia de oxígeno en la sangre)

Para poner en funcionamiento el pulsioxímetro se realiza los siguientes pasos:

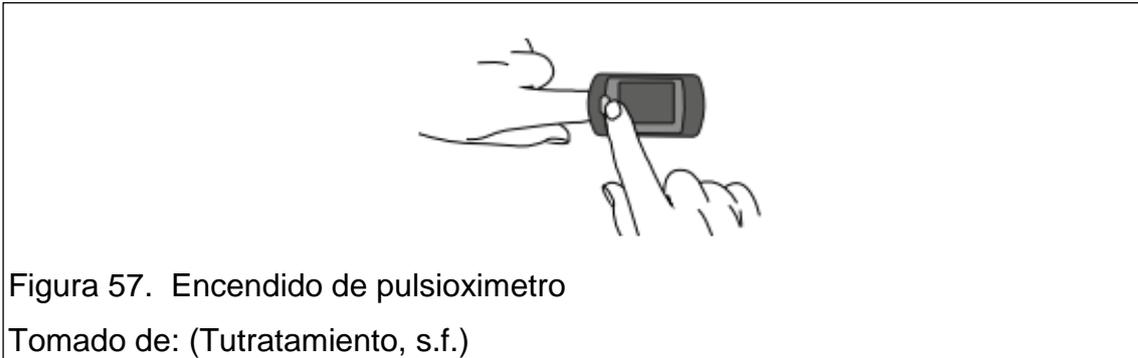
1. Primero conectar el dispositivo al computador, Introducir el dedo con el se puede realizar la medición en la abertura del pulsioxímetro, tal como se muestra en la imagen y no lo mueva.



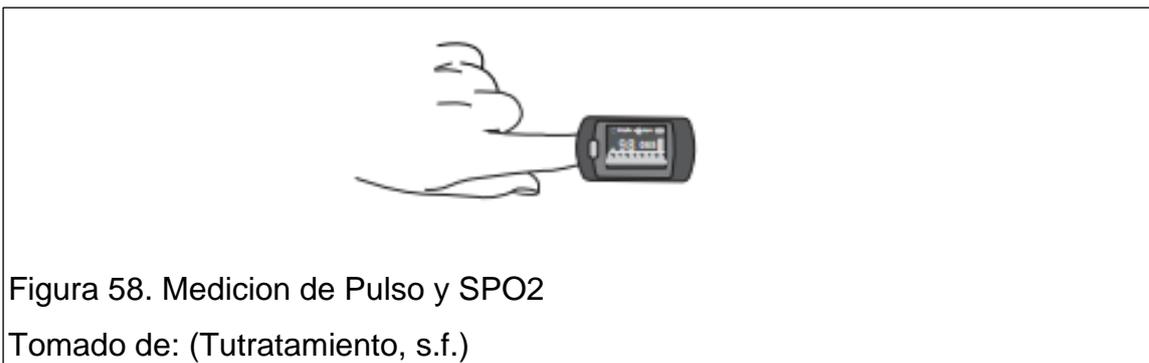
Figura 56. Colocación de pulsioxímetro

Tomado de: (Tutratamiento, s.f.)

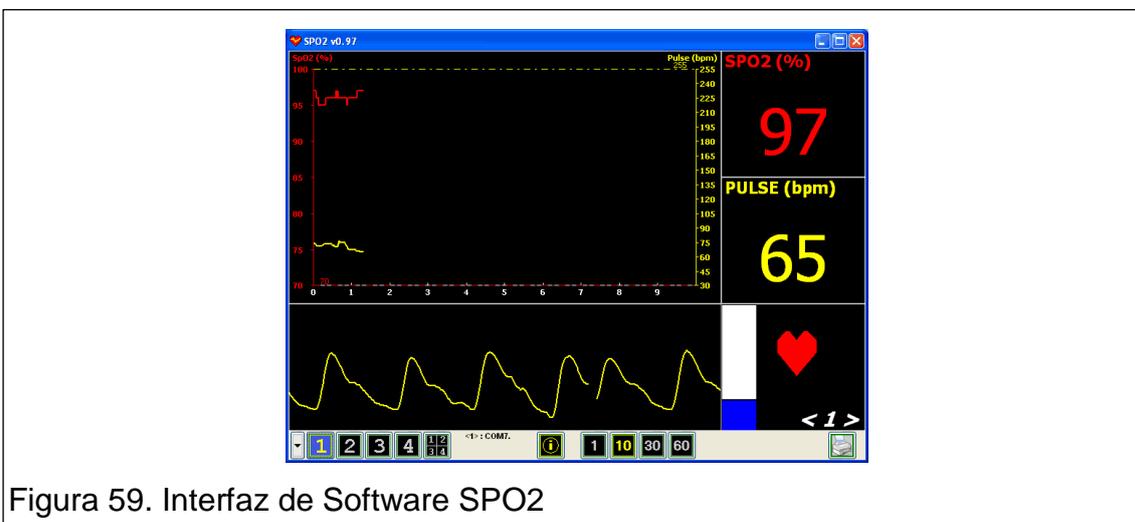
2. Pulse la tecla de función. El pulsioxímetro comenzara la medición, evite el movimiento de la mano.



3. Transcurridos unos segundos, aparecerá en la pantalla los valores médicos.

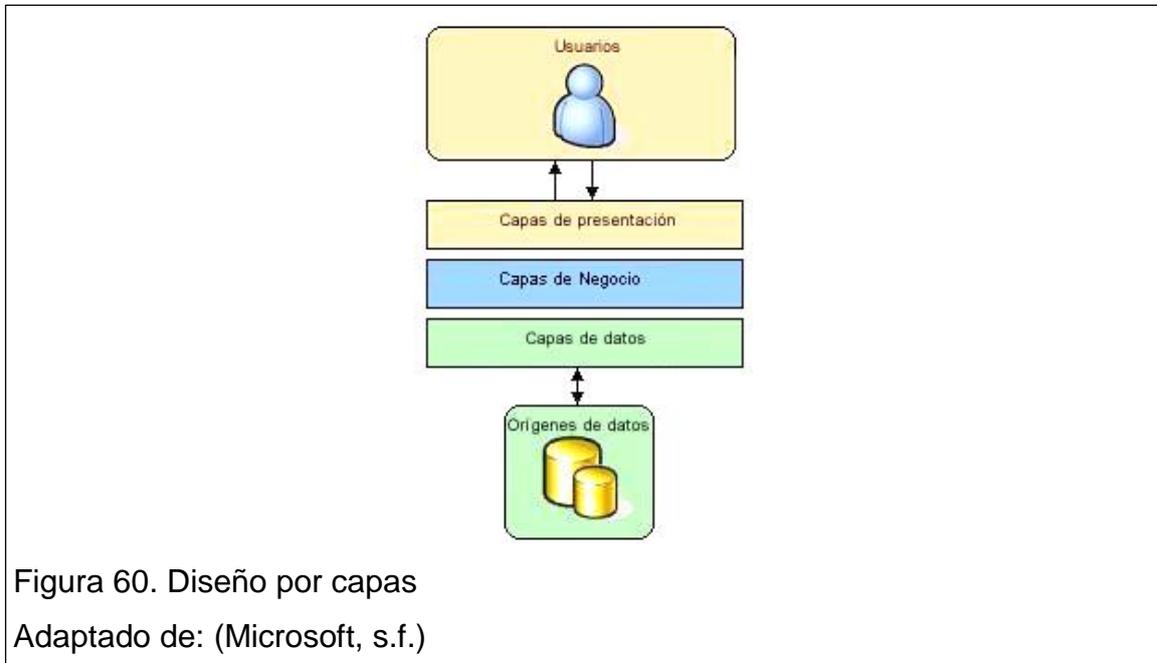


Una vez realizado esos pasos por medio del software SPO2 Manage v1.5 se puede obtener la información en la PC en tiempo real.



## 2.8 Interfaz grafica

Para la interfaz gráfica se seleccionó el software Visual Studio en el lenguaje C# para esta etapa se desarrolló una interfaz local con un diagrama de capas.



La arquitectura N de capas consta de las tres capas más utilizadas que son presentación o GUI, la capa negocio, la capa Datos y finalmente conexión.

### 2.8.1 Capa Presentación

En la capa presentación se encuentra las interfaces de las aplicaciones y componentes visuales para el usuario.

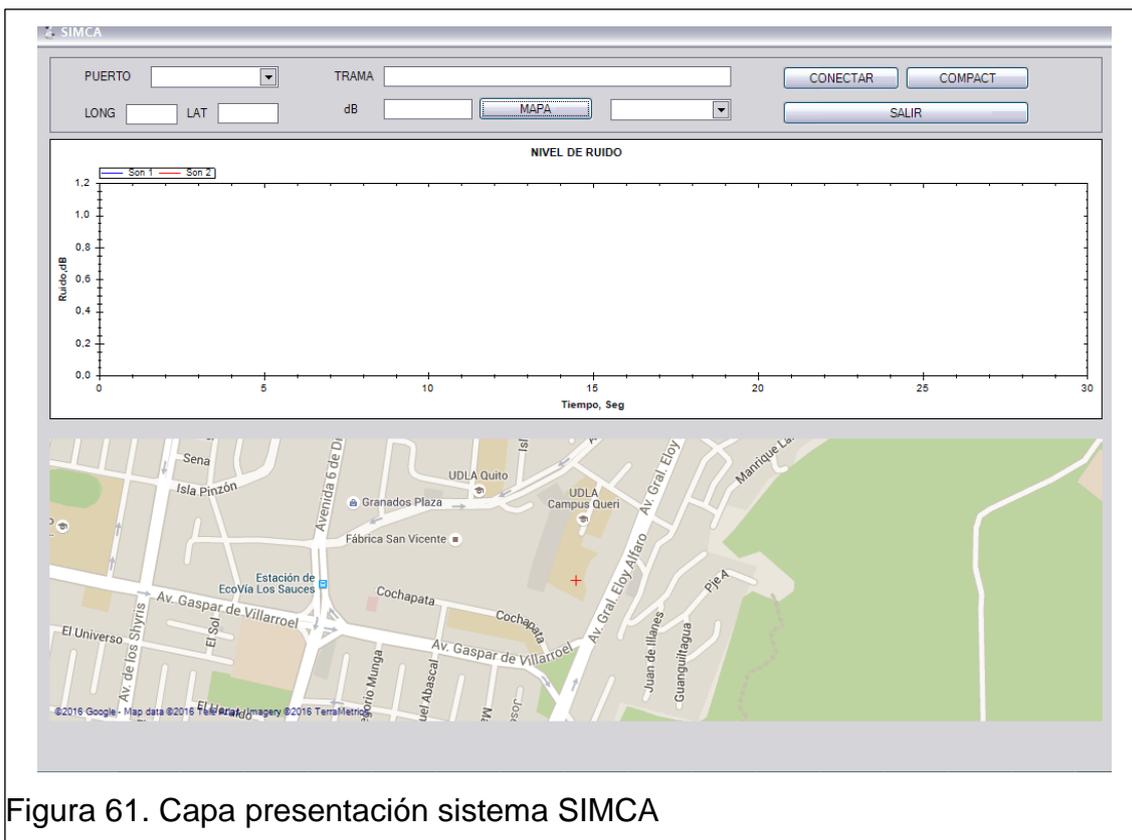


Figura 61. Capa presentación sistema SIMCA

## 2.8.2 Capa Negocio

La capa Lógica de Negocio se encuentra las transacciones de la interfaz hacia el Acceso a los Datos esta capa es la encargada de evaluar y encapsular los datos ingresados en la GUI.

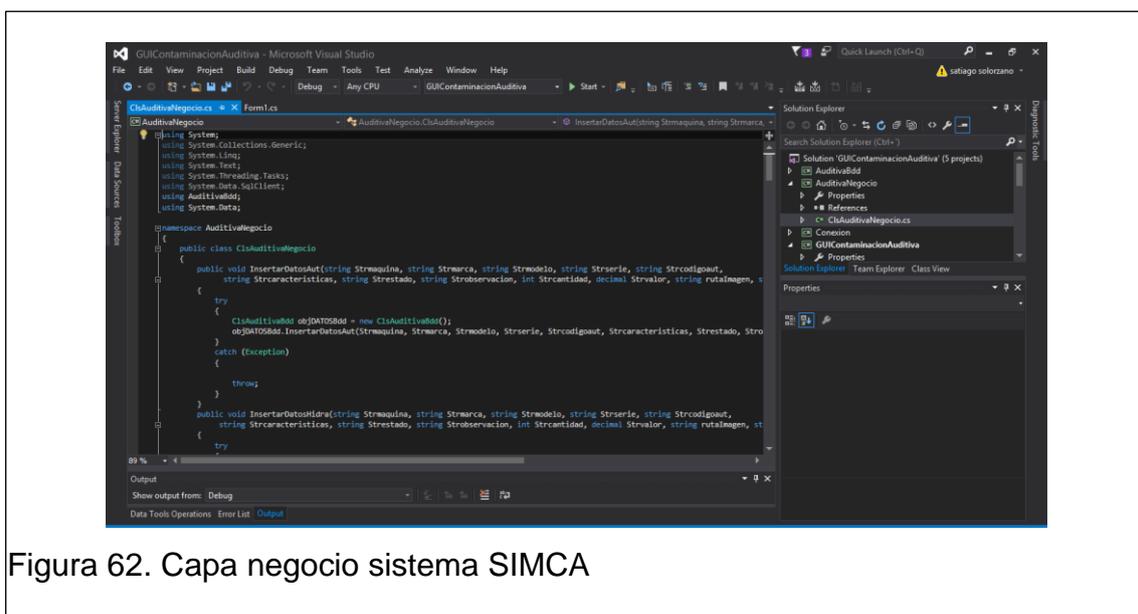


Figura 62. Capa negocio sistema SIMCA

### 2.8.3 Capa Datos

Esta capa es la encargada de obtener los datos y encapsularlos para la Base de datos en este proyecto se utilizó el motor SQLServer.

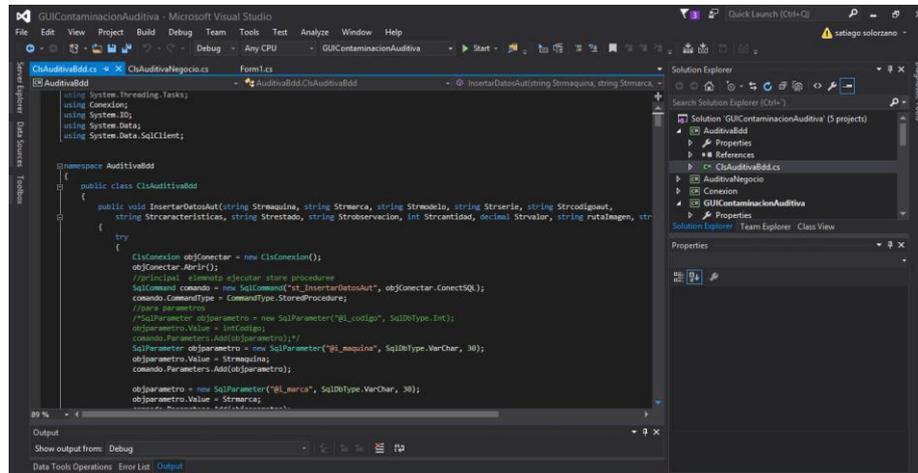


Figura 63. Capa Datos sistema SIMCA

### 2.8.4 Capa Conexión

La capa conexión es la encargada de establecer la conexión entre visual Studio y el motor SQLServer.

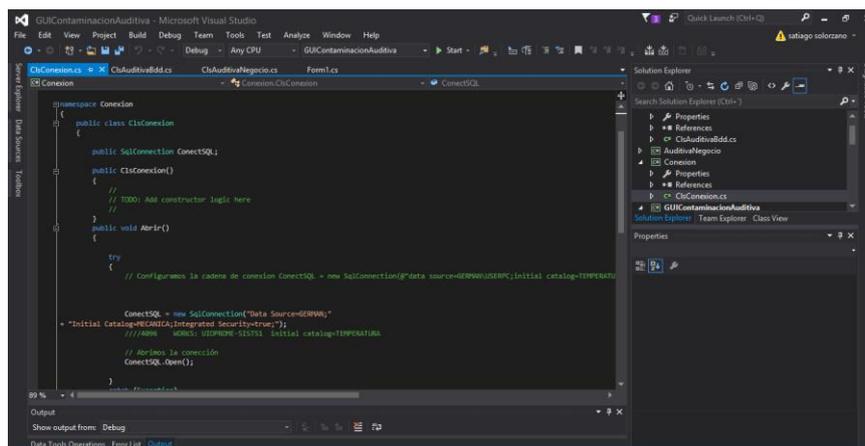


Figura 64. Capa conexión sistema SIMCA

## 2.9 Sistema de Medición de Contaminación Auditiva SIMCA

Finalmente se tiene el sistema de medición de contaminación auditiva empleando una red de sensores inalámbricos y sensores BAN, la interfaz gráfica hace cuando se ejecuta hace una llamada al software SPO2 v1.5 y permite interactuar con este mostrando los datos de nivel de ruido y los parámetros de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno del sujeto de prueba.

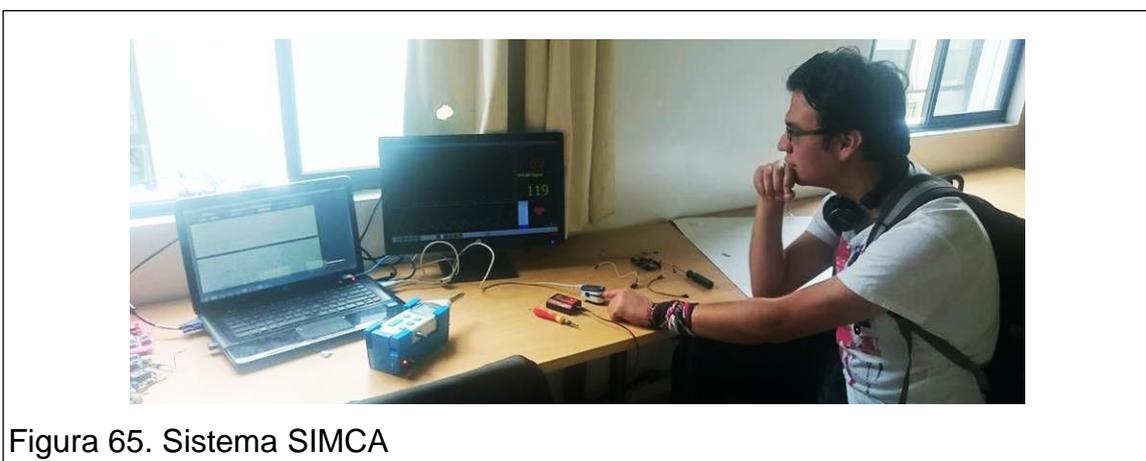


Figura 65. Sistema SIMCA

## 2.10 Costos

Para la implementación de este proyecto se determina los siguientes rubros, en los gastos primarios se detallan todos los dispositivos electrónicos y materiales usados para la realización de este proyecto.

Tabla 15. Costos Primarios

Elementos	Cantidad	C. Unidad	C. Total
Arduino MiniPro	3	18,89	56,67
XBee Pro S2B	4	77,81	311,24
XBee Explorer	4	25,84	103,36
Modulo GPS Neo	1	30,00	30,00
Sonómetro	3	182,87	545,61
Baterías Lipo	3	35,00	105,00
Panel Solar	1	9,00	9,00
Lipo Rider Pro	1	18,50	18,50
Pulsioxímetro	1	105,00	105,00
Materiales Electrónicos	Varios	50,00	50,00
Impresión 3D	1	70,00	70,00
<b>TOTAL</b>			<b>1404,38</b>

Adicional a los costos primarios se añade el costo de la programación del sistema que fue una semana, con un total de 40 horas de programación a un costo de 8 dólares la hora. Al igual que el diseño del nodo en el software Auto CAD con una duración de 40 horas.

Costo total del Sistema de contaminación auditiva:

Tabla 16. Costo Total

Costos Primarios	1404,38
Costo Programación	320,00
Costo de Diseño	320,00
<b>TOTAL</b>	<b>2044,38</b>

### 3. CAPITULO III. Presentación de resultados

#### 3.1 Calibración de Equipos

En esta fase de calibración de equipos con la colaboración de la Ingeniería en Sonido y Acústica de la Universidad de las Américas y el Ingeniero Carlos Jurado P.h.D, se procedió a la calibración de los sonómetros.

Como primera etapa de la calibración fue comparar los valores entre el sonómetro CESVA SC310 y el sonómetro del proyecto JTS-1357.



Figura 66. Sonómetros

En esta fase solo de información visual directamente en los display de los sonómetros se pudo detectar de una diferencia de 2 dB con el sonómetro del proyecto JTS-1357.

Seguido de esta prueba se dispone del calibrador acústico clase 1 para verificaciones de sonómetros y dosímetros, el objetivo de este dispositivo es inyectar de una sola frecuencia de verificación a 1KHz y un solo nivel acústico de 94dB.



Figura 67. Calibrador acústico clase 1

Con el calibrador CESVA se inyecta la señal al sonómetro SC310 verificando los 94db.



Figura 68. Calibración sonómetro CESVA

Una vez verificado el valor de los 94dB se procede a la calibración de los sonómetros JTS-1357.



Figura 69. Calibración de los tres sonómetros JTS-1357

Como se puede observar en la figura el sonómetro del nodo 1 tiene un error de 0,2dB el nodo 2 tiene 0,1dB y el nodo 3 es superior con 0,1dB comparado con el sonido estándar de 94dB; esta parte se tomara en cuenta en el programa para el cálculo analógico digital.

### 3.2 Escenario de prueba

Se planteó el siguiente escenario para la prueba de Sistema de medición de contaminación auditiva, por medio de la PC se reproduce un video de ruidos de construcción que está disponible en el siguiente enlace [Ruidos de Construcción](#) en este video se escucha varios ruidos que comúnmente existen en las construcciones de casas con una duración de 3 minutos a un promedio de 70dB. Se realizó este experimento con tres estudiantes de la Universidad.

Pasos:

- Primero se coloca el pulsoxímetro como en las instrucciones anteriores, se coloca los audífonos al estudiante Jeffrey Castellanos (carrera de Electrónica y Redes de Información) y se mide el ritmo cardiaco.



Figura 70. Datos de frecuencia cardiaca de Jeffrey

- Después de la reproducción del video durante 18min se monitorea el ritmo cardiaco de Jeffrey se puede observar en la figura.

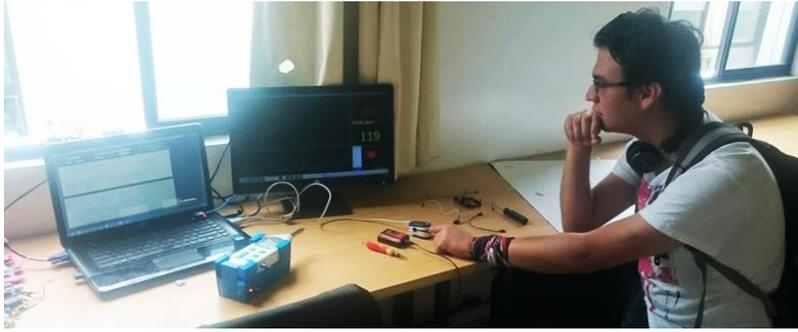


Figura 71. Sujeto de prueba Jeffrey

La segunda prueba realizada es similar con el estudiante Ricardo López, en la cual se midió el ritmo cardiaco antes de exponerlo al ruido.

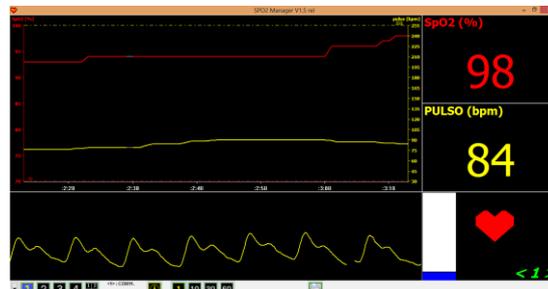


Figura 72. Datos de frecuencia cardiaca de Ricardo

- Después de la reproducción del video durante 12min se monitorio el ritmo cardiaco de Ricardo y se puede observar en la figura.



Figura 73. Sujeto de Prueba Ricardo

- Debido a la exposición al ruido se tiene la siguiente alteración a su ritmo cardiaco:

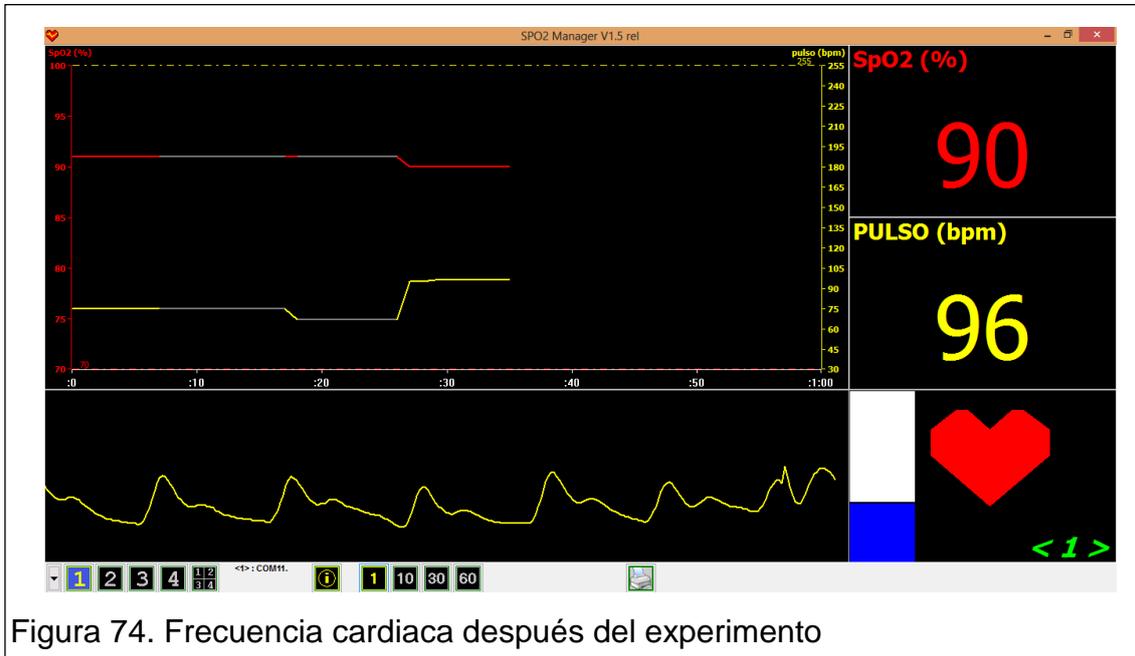


Figura 74. Frecuencia cardiaca después del experimento

El tercer alumno sometido a las pruebas es Jaime Guillen al cual se le aplico el mismo experimento con la peculiaridad de que tiene deficiencia auditiva en el oído derecho antes el ruido es demasiado molesto de colocar los audífonos la frecuencia cardiaca fue la siguiente.

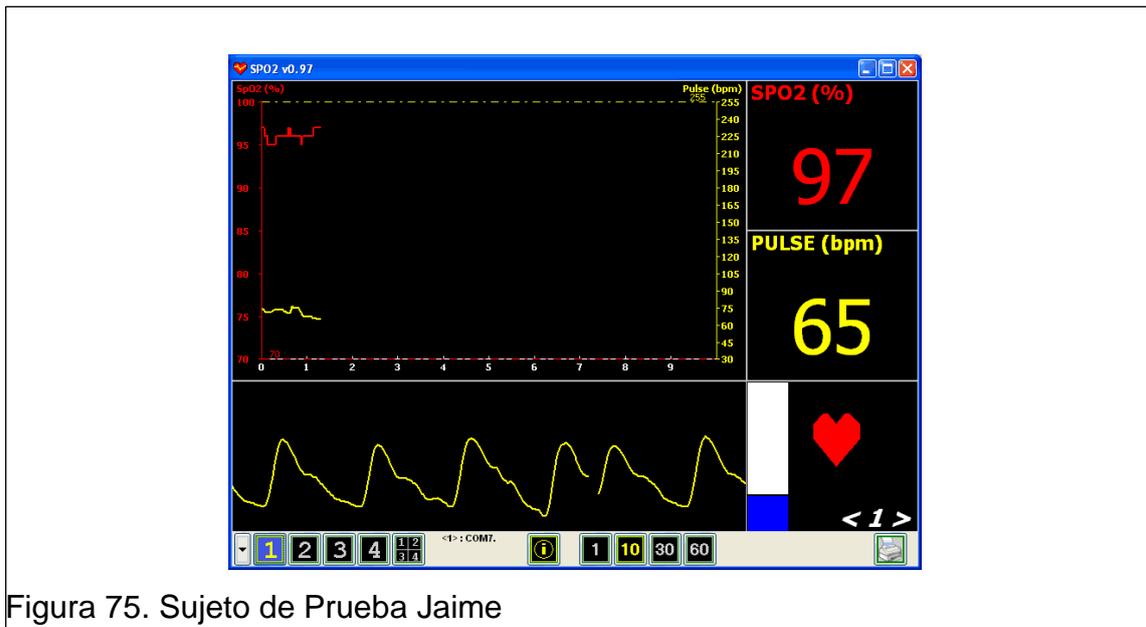


Figura 75. Sujeto de Prueba Jaime

Al tercer estudiante los ruidos escuchados le afectaron más que a los dos primeros sujetos de prueba, debido a la dificultad auditiva que tiene en el oído izquierdo.

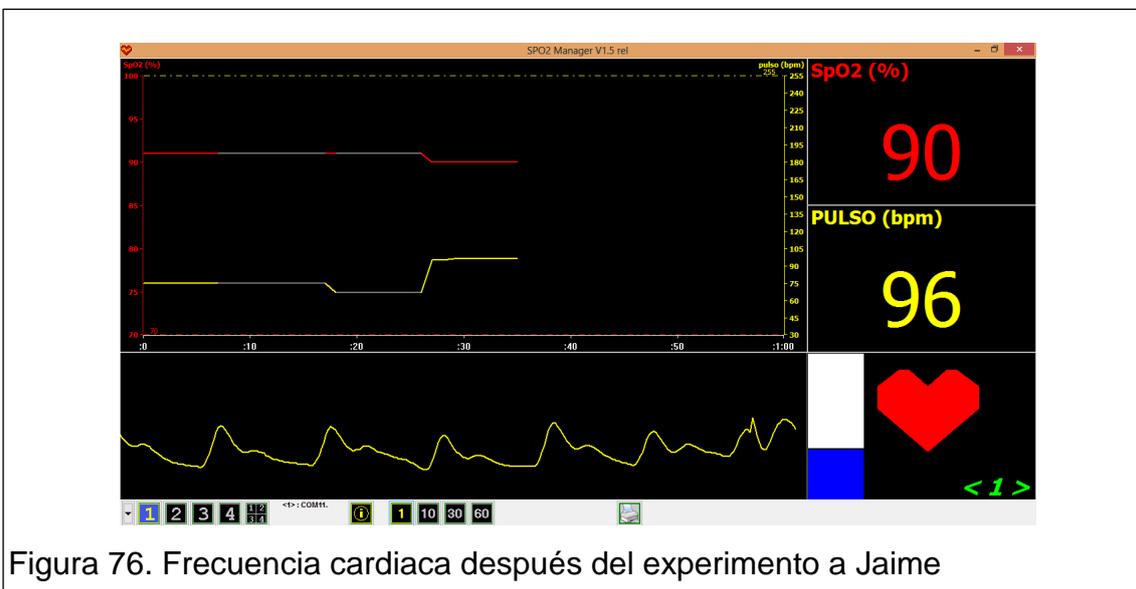


Figura 76. Frecuencia cardiaca después del experimento a Jaime

En este experimento que se realizó con tres estudiantes, se pudo observar que al estar expuestos a un sonido auditivo de ruidos de construcción durante 3 minutos su frecuencia cardiaca se alteró en los tres casos, sin embargo, los sujetos de prueba se terminaban adaptando al ruido y la frecuencia cardiaca se estabilizaba, este mismo resultado se obtenía cuando se les hacía participar en una conversación o realizaban alguna actividad que les distrajera de los ruidos.

Como los sujetos fueron elegidos al azar se pudo observar que la frecuencia cardiaca de los dos primeros estudiantes Jeffrey y Ricardo estaba ya alterada registrando valores por encima de los 80bpm la explicación fue que los estudiantes tuvieron agitaciones pequeñas antes de llegar al laboratorio, por lo que se tuvo un lapso de 30 minutos para que se regularicen y ahí se procedió con los experimentos, sin embargo, ninguno de los sujetos de prueba se sometió a un examen medico antes de las pruebas esto puede ocasionar lecturas erróneas en su ritmo cardiaco por que pueden padecer de alguna afectación en su cuerpo.

## 4. CAPITULO IV. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

Se concluye que con este diseño de nodo sensor, se convirtió un sonómetro JTS-1357 de clase II en un nodo inalámbrico que permite la transmisión de ruido a 400 metros de distancia además que se incorpora un GPS para la localización de la fuente de ruido y es amigable con el ambiente ya que funciona con una batería que se recarga con un panel solar, además, este tipo de dispositivo actualmente no se encuentra en el mercado.

Con esta investigación se concluye que si no se toman medidas en contra de la contaminación auditiva y se empieza una campaña para que las personas sepan lo perjudicial que es y también que en el Ecuador existe la ordenanza 2103 que sanciona este tipo de contaminación, puede esto ocasionar graves afectaciones a la salud de las personas y ocasionar pérdidas auditivas irreversibles.

En la interfaz SIMCA la información de un nodo es recibida a tiempo real y sin pérdidas de datos, en la interfaz se puede observar mediante google maps el punto en donde está ubicado el nodo sensor, la gráfica del ruido tiene dificultades al mostrarse en tiempo real.

El GPS modelo GY-GPS6MV2 presenta un retardo de 10 minutos para conectarse a la red satelital y obtener los datos de latitud y longitud, dependiendo del lugar en donde se encuentre, sin embargo el nodo sensor envía cero en la trama hasta que un led indicador de color azul se enciende indicando que ya se puede obtener estos datos y así se completa la trama de envío al coordinador.

En la red BAN el dispositivo CMS50D+ dispone de una buena respuesta para monitorear la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca, los datos son obtenidos en la PC de manera inmediata y también dispone de una pantalla

OLED y un porta pilas lo que facilita el uso portable para monitorear este parámetro en cualquier circunstancias.

Los sonómetros JTS-1357 por medio de la calibración mostraron una buena respuesta en cuanto al nivel de ruido comparándolo con un sonómetro profesional como es el CESVA SC310.

En la etapa de pruebas del sistema con la ayuda de los estudiantes voluntarios, se concluye que después de reproducir los ruidos de construcción y esperando el tiempo de 3 minutos de prueba el valor de la frecuencia cardiaca aumenta, pero los estudiantes se terminan adaptando y esta se estabiliza.

Este sistema es la base para seguir en la investigación de la afectación del ruido en los estudiantes y como este puede alterar su sistema nervioso, provocar estrés y desconcentración, este parámetro es muy importante para validar si es motivo de deficiencias en el rendimiento académico.

## **4.2 Recomendaciones**

Cuando se trabaja con más de dos nodos se recomienda que la configuración de los dispositivos XBee sea API por medio de un microcontrolador construir una trama especificando lo que se va a transmitir ya que este tipo de configuración se utiliza en topologías malla, evitando la pérdida de información.

Los sonómetros JTS-1357 tienen un tiempo de apagado automático después de 3 minutos para la solución de este problema y que el sonómetro sea administrable por software se recomienda modificarlo y en el pin de encendido y apagado mandar una señal desde la placa principal.

Con respecto a la red BAN y el pulsioxímetro utilizado en este proyecto se recomienda migrar a una tecnología WBAN por medio de una manilla inteligente como jawbone up3 que permita el monitoreo del ritmo cardiaco en

todo el día sin depender de un computador, esto facilitaría las mediciones y sería más cómoda para el usuario.

Para la etapa de pruebas se recomienda utilizar más sensores que permitan tener datos como nivel de estrés, respuesta galvánica cutánea, sudoración etc. que permitan la correlación entre la afectación del ruido y la salud de las personas, así como determinar de manera más selectiva y con exámenes a las personas evaluadas.

## REFERENCIAS

- Aguirre, J. (2013). Redes inalámbricas. Recuperado el 8 de Julio de 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos/redesinalam/redesinalam.shtml>
- American College of Occupational and Environmental Medicine. (2003). Noise-induced Hearing Loss. Journal of Occupation and Environmental Medicine. Recuperado el 10 de Julio de 2015 de <http://www.acoem.org/>
- Asamblea Nacional. (s.f.). Sección segunda del medio Ambiente de la Carta Magna del Ecuador. Recuperado el 17 de Mayo de 2016 de <http://pdba.georgetown.edu/Parties/Ecuador/Leyes/constitucion.pdf>
- Callaway, E. (2004). Wireless Sensor Networks: Architecture and Protocols. Taylor & Francis Group, LLC. Recuperado el 16 de Julio de 2015 de [http://phd.cs.pub.ro/sites/default/files/TOC\\_WSN.pdf](http://phd.cs.pub.ro/sites/default/files/TOC_WSN.pdf)
- Digi. (s.f.). X-Ctu. Recuperado el 2 de Septiembre de 2015, de <http://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>
- Ecuador, Consejo Metropolitano de Quito. (s.f.). Código municipal para el Distrito Metropolitano de Quito. Quito, Ecuador: Ordenanza Metropolitana N° 404 del 23 de abril de 2013.
- Escutar, V. (2016). Diseño de un prototipo de red de sensores inalámbricos para monitorear la contaminación ambiental acústica/ sonora en la ciudad de Quito sector la Coruña y San Ignacio. Quito: Universidad Metropolitana AEDE QUITO.
- Guaña, J. y Escutar, V. (2016). Aplicación de las Redes de Sensores Inalámbricos. Quito: Universidad Metropolitana.
- La Hora. (s.f.). Nadie controla el ruido que causan los vehículos. Recuperado el 25 de Julio de 2015, de [http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101417800/-1/Nadie\\_controla\\_el\\_ruido\\_\\_que\\_causan\\_los\\_veh%C3%ADculos.html#.Vr-MufLhDIU](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101417800/-1/Nadie_controla_el_ruido__que_causan_los_veh%C3%ADculos.html#.Vr-MufLhDIU)
- Microsoft. (s.f.). Programación por capas. Recuperado el 19 de Mayo de 2016 de <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms978340.aspx>

- Multimeterwarehouse. (s.f.). Características técnicas sonómetro. Recuperado el 25 Enero de 2016 de <http://www.multimeterwarehouse.com/JTS1357.htm>
- Navas, L. (2012). Analizando el ruido ambiental en el entorno de la escuela. Recuperado el 17 de Julio de 2015 de <http://www.eoi.es/blogs/lauranavas/2012/05/10/analizando-el-ruido-ambiental-en-el-entorno-de-la-escuela/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (s.f.). "Escuchar sin riesgos!". Recuperado el 28 de Julio de 2015, de <http://www.who.int/topics/deafness/safe-listening/es/>
- Organización mundial de la Salud. (s.f.). 1100 millones de personas corren el riesgo de sufrir pérdida de audición. Recuperado el 08 de Julio de 2015 de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/es/>
- Raymundo. C. y Talla. C., (2012). Principio de funcionamiento pulsioxímetro. Recuperado el 03 de Junio de 2016 de [http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/418/1/Raymundo\\_cm.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/418/1/Raymundo_cm.pdf)
- Seedstudio. (s.f.). Características técnicas Lipo Rider Pro. Recuperado el 18 de Mayo de 2016 de [http://www.seedstudio.com/wiki/Lipo\\_Rider\\_Pro](http://www.seedstudio.com/wiki/Lipo_Rider_Pro)
- Tmotorrinos. (s.f.). Sonido. Recuperado el 03 de Junio de 2016 de <http://tmotorrinos.blogspot.com/2012/07/recorrido-del-sonido-en-el-oido.html>
- Tusmartwatch. (s.f.) Redes WBAN. Recuperado el 12 de Enero de 2016 de <https://www.tusmartwatch.es/tabla-comparativa-las-mejores-smartbands-2016/>
- Tutratamiento, s.f.) Configuración pulsioxímetro. Recuperado el 18 de Mayo de 2016 de [http://www.tutratamiento.es/WebRoot/StoreES3/Shops/eb6521/4D63/9A80/F3F9/809D/0426/D94C/9B1E/0330/Manual\\_de\\_Usuario\\_Pulsioximetro\\_CMS50D\\_0.93.pdf](http://www.tutratamiento.es/WebRoot/StoreES3/Shops/eb6521/4D63/9A80/F3F9/809D/0426/D94C/9B1E/0330/Manual_de_Usuario_Pulsioximetro_CMS50D_0.93.pdf)
- UPAEP. (s.f.). LOS EFECTOS NOCIVOS DEL RUIDO. Recuperado el 02 de Julio de 2015 de <https://virtual.upaep.mx/bbcswebdav/institution/portales/ingenierias/bac>

hilleratos/Problematica\_ambiental/LOS\_EFECTOS\_NOCIVOS\_RUIDO.  
pdf

VAIVASUATA. (s.f.). Diferencia entre sonido y ruido. Recuperado el 04 de Julio  
de 2015 de <http://diferenciaentre.info/diferencia-entre-sonido-y-ruido/>

**ANEXOS**



# XBee® & XBee-PRO® ZB

ZigBee® Embedded RF Module Family for OEMs



Embedded RF modules provide low-cost, low-power wireless connectivity using the ZigBee PRO Feature Set.

## Overview

XBee and XBee-PRO ZB embedded RF modules provide cost-effective wireless connectivity to devices in ZigBee mesh networks. Utilizing the ZigBee PRO Feature Set, these modules are interoperable with other ZigBee devices, including devices from other vendors\*.

Products in the XBee family are easy to use. They require no configuration or additional development; users can have their network up and running in a matter of minutes.

Programmable versions of the XBee-PRO ZB module make customizing ZigBee applications easy. Programming directly on the module eliminates the need for a separate processor. Because the wireless software is isolated, applications can be developed with no risk to RF performance or security.

XBee modules are available in a variety of protocols and frequencies. The common hardware footprint shared by Digi's XBee modules means users can substitute one XBee for another with minimal development time and risk.

\*Interoperability requires the ZigBee Feature Set or ZigBee PRO Feature Set to be deployed on all devices. Contact Digi Support for details.

## Application Highlight



## Features/Benefits

- Inter operability with ZigBee compliant devices\*
- No configuration needed for out-of-the-box RF communications
- Common XBee footprint for a variety of RF modules
- ZigBee mesh networking protocol
  - Improved data traffic management
  - Remote firmware updates
  - Self-healing and discovery for network stability
- Programmable versions of the XBee-PRO ZB enable custom ZigBee application development
  - 8-bit Freescale™ S08 microprocessor brings intelligence to devices
  - CodeWarrior® development tools for easy customization

## Related Products



Gateways



Modules



Adapters



Development Kits



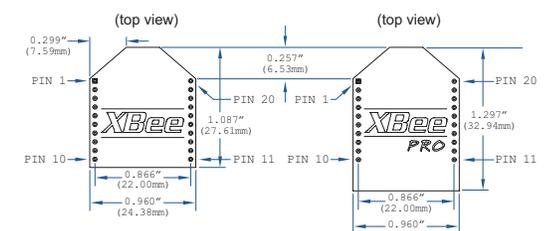
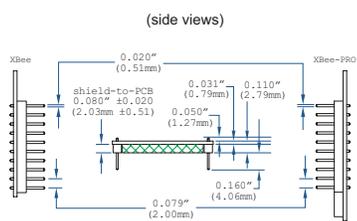
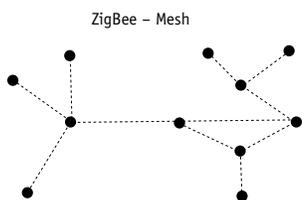
Network Extenders



Sensors



Platform	XBee® ZB	XBee-PRO® ZB	Programmable XBee-PRO® ZB
<b>Performance</b>			
RF Data Rate	250 Kbps		
Indoor/Urban Range	133 ft (40 m)	300 ft (90 m)	
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	400 ft (120 m)	2 miles (3200 m) / Int'l 5000 ft (1500 m)	
Transmit Power	1.25 mW (+1 dBm) / 2 mW (+3 dBm) boost mode	63 mW (+18 dBm) / Int'l 10 mW (+10 dBm)	
Receiver Sensitivity (1% PER)	-96 dBm in boost mode	-102 dBm	
<b>Features</b>			
Adjustable Power	Yes		
I/O Interface	3.3V CMOS UART, ADC, DIO	3.3V CMOS UART, SPI, I2C, PWM, DIO, ADC	
Configuration Method	API or AT commands, local or over-the-air		
Frequency Band	2.4 GHz		
Interference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)		
Serial Data Rate	1200 bps - 1 Mbps		
ADC Inputs	(4) 10-bit ADC inputs		
Digital I/O	10		
Antenna Options	Chip, Wire Whip, U.FL, RPSMA	PCB Embedded Antenna, Wire Whip, U.FL, RPSMA	
Operating Temperature	-40° C to +85° C, 0-95% humidity non-condensing		
<b>Programmability</b>			
Memory	N/A	32 KB Flash / 2 KB RAM	
CPU/Clock Speed	N/A	HCS08 / Up to 50.33 MHz	
<b>Networking &amp; Security</b>			
Encryption	128-bit AES		
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgments		
IDs and Channels	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 16 channels	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 15 channels	
<b>Power Requirements</b>			
Supply Voltage	2.1 - 3.6VDC	2.7 - 3.6VDC	
Transmit Current	35 mA / 45 mA boost mode @ 3.3VDC	205 mA	220 mA
Receive Current	38 mA / 40 mA boost mode @ 3.3VDC	47 mA	62 mA
Power-Down Current	<1 uA @ 25° C	3.5 uA @ 25° C	4 uA @ 25° C
<b>Regulatory Approvals</b>			
FCC, IC (North America)	Yes		
ETSI (Europe)	Yes		
C-TICK (Australia)	Yes		
TELEC (Japan)	Yes	Yes (int'l unit only)	



You can purchase with confidence knowing that Digi is always available to serve you with expert technical support and our industry leading warranty. For detailed information visit [www.digi.com/support](http://www.digi.com/support)

91001471  
D4/511

Digi International  
Worldwide HQ  
877-912-3444  
952-912-3444  
[www.digi.com](http://www.digi.com)

Digi International  
France  
+33-1-55-61-98-98  
[www.digi.fr](http://www.digi.fr)

Digi International  
Japan  
+81-3-5428-0261  
[www.digi-intl.co.jp](http://www.digi-intl.co.jp)

Digi International  
Singapore  
+65-6213-5380

Digi International  
China  
+86-21-50492199  
[www.digi.com.cn](http://www.digi.com.cn)



[www.digi.com](http://www.digi.com)

# Anexo 3. Hoja de Datos Sonometro



## JTS-1357

### DIGITAL SOUND LEVEL METER

- 4 digits LCD display with 47-segments analog bar graph
- Frequency weighting: A, C
- Time weighting: Fast, Slow
- AC/DC output for system expansion
- Auto peak-hold
- High accuracy, easy operation

### Technical specifications

Range: 30~130 dB (A), 35~130 dB (C)

Resolution: 0.1dB

Accuracy:  $\pm 1.5$ dB (94dB@1kHz)

Frequency: 31.5Hz~8.5kHz

Sampling rate: 2~5 times per second

Memory: peak value

Output: AC 0.707V rms, DC 10mV/dB

Power supply: 1.5Vx4, AA size

Dimensions: 95x277x59mm

Accessories: carrying case

REF: 031357X0000

☑ CE (EMC), ☐ UL, ☐ CE (LVD)

**Sinometer**

Anexo 4. Presentación de SIMCA en evento Día de las Telecomunicaciones UDLA



