



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INNOVACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS  
FORESTALES MEDIANTE SENSORES INALÁMBRICOS

Autor

Luis Carlos Cruel Chang

Año

2018



FACULTAD DE INGENIERÍAS CIENCIAS APLICADAS

INNOVACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE INCENDIOS  
FORESTALES MEDIANTE SENSORES INALÁMBRICOS

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

Profesor Guía  
Mg. José Julio Freire Cabrera

Autor  
Luis Carlos Cruel Chang

Año  
2018

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Innovación de un sistema de detección de incendios forestales mediante sensores inalámbricos, a través de reuniones periódicas con el estudiante Luis Carlos Cruel Chang, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

José Julio Freire Cabrera  
Magister en Gerencia Empresarial  
C.I. 1709731457

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber dirigido el trabajo, Innovación de un sistema de detección de incendios forestales mediante sensores inalámbricos, a través de reuniones periódicas con el estudiante Luis Carlos Cruel Chang, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

---

Pablo Geovanny Palacios Játiva  
Magister en Ingeniería de Redes de  
Comunicaciones  
C.I. 0927864454

## 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.”

---

Luis Carlos Cruel Chang

C.I. 1309782363

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de continuar con mis estudios. Mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios, y seguir adelante a pesar de las circunstancias, Agradecido por todos ustedes.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, gracias por su apoyo.

A mis compañeros y amigos que  
conocí en la universidad y fuera de  
ella.

Infinitamente      agradecido      con  
ustedes.

**Luis C. Cruel**

## RESUMEN

El problema de los incendios forestales han sido una constante amenaza al ecosistema del planeta, y su afectación aumenta durante el verano provocando pérdidas económicas incalculables. Una solución a este inconveniente es una red de sensores inalámbricos que es una tecnología emergente con la capacidad de enviar datos en tiempo real y en diversas condiciones ambientales. El presente trabajo propone la innovación de un sistema de detección de incendios forestales utilizando sensores inalámbricos. La principal contribución es la implementación de una aplicación web y de Nodos sensoriales que reciben información ambiental, como temperatura, humedad, presencia de humo, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y metano (CH<sub>4</sub>).

Se inicia el proyecto recopilando la información de trabajos anteriores como: “Implementación del modo API en una red de sensores WSN para la detección de incendios forestales” de Edison Cadena, para determinar cuál sería la innovación a realizar, mediante fases: el diseño del prototipo, configuración y programación del sistema, y creación de una aplicación web adaptada a las necesidades del proyecto.

Toda la información se envía de manera inalámbrica a través de dispositivos sensoriales, esta información se mostrará en la aplicación web de escritorio en un dispositivo con sistema operativo Android, para que pueda detectar un posible aviso de incendios forestales dentro de los parámetros programados. En el diseño del sitio, los informes estadísticos se muestran en el área forestal monitoreada.



Para concluir, se realizan pruebas de laboratorio y campo abierto del prototipo para comprobar el estado de funcionamiento así como también el manejo de la aplicación web. Se recomienda que este proyecto sea empleado por entidades encargadas de la preservación del Ambiente, como el Ministerio de Ambiente o Cuerpo de Bomberos.

## **ABSTRACT**

The problem of forest fires has been a constant threat to the ecosystem of the planet, and its affectation increases during the summer, causing incalculable economic losses. One solution to this problem is a wireless sensor network that is an emerging technology with the ability to send data in real time and in various environmental conditions. The present work proposes the innovation of a forest fire detection system using wireless sensors. The main contribution is the implementation of a web application and sensory nodes that receive environmental information, such as temperature, humidity, presence of smoke, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO) and methane (CH<sub>4</sub>).

The project is started by gathering information from previous works such as: "Implementation of the API mode in a network of WSN sensors for the detection of forest fires" by Edison Cadena, to determine what the innovation would be, through phases: the design of the prototype, configuration and programming of the system, and creation of a web application adapted to the needs of the project.

All the information is sent wirelessly through sensory devices, this information will be displayed in the desktop web application on a device with Android operating system, so that it can detect a possible warning of forest fires within the programmed parameters. In the design of the site, the statistical reports are displayed in the monitored forest area.

To conclude, laboratory and open field tests of the prototype are performed to check the operating status as well as the management of the web application. It is recommended that this project be used by entities responsible for the preservation of the environment, such as the Ministry of the Environment or the Fire Department.

# INDICE

1. CAPÌTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Alcance .....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivo General .....	5
1.5. Objetivos específicos .....	5
2.  CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Redes Inalámbricas .....	6
2.2. Tipos de Redes inalámbricas.....	7
2.3. Estándares de comunicación inalámbrica.....	7
2.3.1. WiFi 802.11. ....	7
2.3.2. Bluetooth 802.15.1 .....	8
2.3.3. ZigBee-802.15.4.....	8
2.4. Redes Inalámbricas con sensores .....	9
2.4.1. Introducción.....	9
2.5. Topologías .....	10
2.5.1. Red en estrella .....	11
2.5.2. Red de malla (mesh) .....	12
2.5.3. Topología en árbol.....	13
2.6. Elementos de una red de sensores inalámbricos (WSN).....	14
2.7. Estructura de un Nodo sensor .....	15
2.7.1. Sistema de adquisición de datos.....	15
2.8. Estructura de un Nodo Gateway .....	15

3. CAPITULO III. DISEÑO DE OPTIMIZACION DE UNA RED WSN .....	17
3.1. Diseño de la Red de Sensores Inalámbrica .....	17
3.2. Diseño de los elementos de la red .....	17
3.2.1. Nodo 1 .....	18
3.2.2. Nodo 2 y Nodo 3.....	20
3.2.3. Nodo coordinador .....	21
3.3. Diseño y construcción de la red de sensores inalámbricos .....	22
3.3.1. Elección de los componentes para el diseño del proyecto. ....	22
3.3.2. Diseño y construcción del circuito y la placa .....	29
3.4. Diseño de Caja en 3D para montaje de Nodos.....	35
3.4.1. Caja del Nodo principal .....	35
3.5. Diseño de la aplicación Web .....	38
3.5.1. Lenguaje <i>JavaScript</i> .....	38
3.5.2. Lenguaje PHP .....	38
3.6. Diseño de la base de datos.....	38
3.6.1. MySQL .....	39
3.7. Interfaz Gráfica mediante una aplicación Web .....	41
3.7.1. Guía de usuario de la interfaz .....	41
3.7.2. Sensores .....	44
4. CAPÍTULO III. IMPLEMENTACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS .....	47
4.1. Calibración de Sensores .....	47
4.2. Validación de datos.....	50
4.3. Escenario de pruebas .....	50
4.3.1. Ubicación.....	56

4.3.2. Vías de acceso al parque .....	56
<b>4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DEL COSTO – BENEFICIO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA .....</b>	<b>60</b>
4.1 Costos de Materiales .....	60
4.2 Costo del Diseño .....	63
4.3 Costo de Programación .....	63
4.4 Total Costo del prototipo de red WSN .....	63
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
5.1. Conclusiones.....	64
5.2. Recomendaciones .....	65
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Estructura de una red inalámbrica de sensores .....	9
<i>Figura 2.</i> Nodo.....	10
<i>Figura 3.</i> Tipos de redes inalámbricas .....	10
<i>Figura 4.</i> Topología Estrella .....	11
<i>Figura 5.</i> Topología de Malla.....	12
<i>Figura 6.</i> Topología de árbol .....	13
<i>Figura 7.</i> Elementos de las WSN .....	14
<i>Figura. 8.</i> Estructura de un Nodo Sensor .....	15
<i>Figura 9:</i> Estructura de un Nodo Gateway .....	16
<i>Figura 10.</i> Diagrama de bloques implementado.....	18
<i>Figura 11.</i> Diagrama esquemático del Nodo 1 .....	19
<i>Figura 12:</i> Circuito impreso Nodo 1 .....	20
<i>Figura 13:</i> Diagrama esquemático del Nodo 2 y Nodo 3.....	21
<i>Figura 14:</i> Circuito impreso Nodo 2 y Nodo 3.....	21
<i>Figura15:</i> Módulo MG-811.....	23
<i>Figura 16:</i> Modulo MQ7 .....	24
<i>Figura 17.</i> Sensor MQ4 .....	24
<i>Figura 18:</i> Sensor LM35.....	25
<i>Figura 20:</i> Sensor GPS Neo UBLOX.....	27
<i>Figura 22.</i> Xbee Pro S2B .....	29
<i>Figura 23.</i> Diagrama de las pistas realizadas en Proteus .....	30
<i>Figura 24.</i> Diagrama de pistas realizadas en Proteus Para el Nodo 2 y Nodo 3.....	30
<i>Figura 25.</i> Diseño de la placa en 3D para el Nodo .....	31
<i>Figura 26.</i> Placa electrónica <i>Printed Circuit Board</i> (PCB) Para el Nodo 1 .....	31
<i>Figura 27.</i> Construcción de la placa electrónica <i>Printed Circuit Board</i> (PCB) Para el Nodo 1 .....	32
<i>Figura 28.</i> Diseño de la placa en 3D para el Nodo 2 y Nodo 3.....	32
<i>Figura 29.</i> Placa electrónica <i>Printed Circuit Board</i> (PCB) Nodo 2 y Nodo 3 ...	33
<i>Figura 31.</i> Diagrama de Flujo de los Nodos y Coordinador.....	34

<i>Figura 32.</i> Estructura para alojar los sensores .....	35
<i>Figura 33.</i> Tapa de la caja .....	36
<i>Figura 34.</i> Estructura para alojar las pilas .....	36
<i>Figura 35.</i> Caja en 3D completa .....	37
<i>Figura 36.</i> Prototipo finalizado .....	37
<i>Figura 38:</i> Tablas datos y dispositivos .....	40
<i>Figura 39.</i> Estructura de la tabla Datos .....	40
<i>Figura 40:</i> Estructura de la tabla dispositivos .....	41
<i>Figura 41.</i> Ingreso de credenciales página web .....	42
<i>Figura 42.</i> Página principal de la aplicación web.....	42
<i>Figura 43.</i> Diagrama de flujo de la aplicación web .....	43
<i>Figura 44.</i> Control y monitoreo de sensores.....	44
<i>Figura 47:</i> Opción ver mapa .....	46
<i>Figura 48.</i> Mapa de ubicación .....	46
<i>Figura 50:</i> Analizador de Gases, marca TESTO modelo 350.....	51
<i>Figura 51.</i> Gráfica de la medida de CO <sub>2</sub> a diferentes distancias del Nodo 1 ...	54
<i>Figura 52.</i> Nueva Gráfica de datos de los sensores.....	54
<i>Figura 53.</i> Prototipo final .....	55
<i>Figura 54.</i> Ubicación del parque Guangüiltagua. ....	56
<i>Figura 55.</i> Nodos en la prueba 1 .....	57
<i>Figura 56.</i> Nodos en la prueba 1 a menor distancia.....	58
<i>Figura 57.</i> Nodos en la prueba 1 a 2 m de distancia .....	58
<i>Figura 58.</i> Prueba con un Nodo apagado .....	59
<i>Figura 59.</i> Vista del área de monitoreo .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Datos obtenidos sin emisión de CO2, auto apagado</i> .....	52
Tabla 2 <i>Datos obtenidos con emisión de CO2, auto encendido</i> .....	52
Tabla 3 <i>Datos obtenidos con emisión de CO2, auto encendido medido a diferentes distancias del Nodo 1.</i> .....	53
Tabla 4 <i>Costos Nodo 1</i> .....	61
Tabla 5 <i>Costo Nodo 2.</i> .....	61
Tabla 6 <i>Costo Nodo 3.</i> .....	62
Tabla 7 <i>Costo Nodo Coordinador</i> .....	62



## **1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

Los incendios forestales destruyen gran cantidad de áreas verdes con mucha biodiversidad de flora y fauna. En la actualidad los incendios forestales son una problemática que sufre el estado ecuatoriano; algunos son ocasionados por factores naturales, pero otros son la influencia irresponsable de las actividades humanas.

En el Ecuador, la Secretaria de Gestión de Riesgo (SGR) registró la pérdida de 480,8 hectáreas de cobertura vegetal en 44 eventos registrados en diferentes provincias debido a incendios forestales (Secretaria de gestión de riesgos, 2017).

La provincia que registró la mayor cantidad de incendios forestales fue Pichincha, con 8 eventos produciendo 98 hectáreas de áreas verdes quemadas.

Según el cuerpo de bomberos, sólo en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), durante el 2017 existieron 318 eventos, provocando 880.67 hectáreas afectadas por incendios forestales.

El cuerpo de Bomberos de DMQ, en coordinación con la Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad del Municipio de Quito y otras entidades responsables realizan un esfuerzo por:

- Reducir el número de incidentes.
- Minimizar la superficie afectada a causa del fuego forestal.
- Conciencia a la comunidad sobre la prevención.
- Proteger la vida y los bienes materiales de la ciudadanía, así como la biodiversidad y el patrimonio natural en el DMQ.

Sin embargo, este trabajo es aún limitado, pues no existen herramientas de decisión que ayuden a la planificación preventiva y mejore la repuesta ante la presencia de incendios forestales.

Ante la necesidad de detectar de manera oportuna el inicio de cualquier incendio, es imprescindible contar con sistemas de alarmas y detección de fuego.

Existen sistemas convencionales de detección y alarma contra incendio, dispositivos detectores, que pueden captar la presencia de irregularidades casi instantáneamente. Sin embargo, estos presentan una desventaja, ya que también son sensibles a otras fuentes de radiación de calor y cambios en las condiciones ambientales que pueden producir falsas alarmas (Sistemas Analógicos, Centrales, Detectores y Módulos Catalogo)

A diferencia de los sistemas inteligentes contra incendios que son equipos de supervisión continua de los cuatro elementos principales de un incendio: agente combustible, llama, humo y calor; que permiten responder con una gran resistencia a variaciones ambientales, cuyos parámetros se pueden ajustar completamente desde la central contra incendio y adaptar fácilmente el sistema a los cambios de uso y ocupación del área a proteger.(Sistemas de Detección Avanzada de Incendio, Protección para Zonas Especiales)

Los sistemas convencionales tienen una gran presencia en las diversas dependencias: aulas, salas de estudio, bibliotecas, uso doméstico, empresas, etc. Aquí es donde se siguen los horizontes de las comunicaciones inalámbricas, porque las redes inalámbricas son una tecnología madura y robusta que permite resolver varias de las desventajas del uso de recursos controlados.

A nivel mundial está surgiendo un importante segmento de mercado en torno a conocimientos tecnológicos de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor*) para

aplicaciones de control y supervisión de procesos industriales y convencionales lo que constituye un gran adelanto a los sensores tradicionales que por décadas han medido variables como temperatura, presión, humedad, luz, sonido o magnetismo, entre otros. (Atempa, Díaz, Ayala, & Quintero, 2015)

Hoy en día, el uso de *Wireless Sensor Network* (WSN) indica una solución a estos problemas, se considera una óptima elección, ya que esta tecnología promueve la creación de una amplia variedad de aplicaciones de ingeniería debido a su fácil instalación, operación y mantenimiento. La recolección y la administración de datos son rápidas y autónomas para una aplicación específica sin perder recursos.

Actualmente, para detectar incendios forestales, se utilizan redes inalámbricas de sensores WSN, basadas en el modo API, formadas por dos o más Nodos secundarios y una parte principal que tiene acceso a toda la cobertura de área de detección y monitoreo. La red permite garantizar esta seguridad y admitir la comunicación entre los Nodos. La principal prioridad es la energía, el tiempo de operación de cada Nodo basado en la duración de la batería, teniendo en cuenta variables de análisis como la cobertura, el tráfico y la eficiencia energética.

Los dispositivos sensoriales se comunican a través de la tecnología Zigbee, que se caracteriza por bajos costos de implementación, capacidad operativa en tiempo real y consumo de energía sustancialmente bajo. Además, Zigbee tiene una arquitectura flexible que ha sido capaz de articular esta tecnología con plataformas de desarrollo de hardware gratuitas como Arduino para el desarrollo de este tipo de red de sensores inalámbricos.

## 1.2. Alcance

Este proyecto de investigación se basa en el tema: “Implementación del modo API en una red de sensores inalámbricos para la detección de incendios forestales”, desarrollado como tema de titulación en la carrera de Redes y Telecomunicación por Edison Cadena, y como tema del proyecto: “Innovación de un sistema de detección de incendios forestales mediante sensores inalámbricos”. Su objetivo es complementar el estudio para validar la medición del dióxido de carbono y la temperatura en cualquier ubicación o entorno, proporcionando la ubicación exacta (latitud y longitud) en tiempo real de forma inalámbrica a través de una aplicación web.

## 1.3. Justificación

En la actualidad la tecnología de sensores inalámbricos se encuentra en la vanguardia de la investigación de las redes en los sistemas de control de procesos y es el mercado tecnológico a nivel mundial de miles de millones de dólares. Las redes de sensores inalámbricos, hoy en día son el dominio de la investigación académica, por ello se hace imprescindible integrar esta tecnología a la formación y capacitación de los ingenieros de la nueva era.

El conocimiento, diseño y desarrollo de una red de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Network*-WSN), representa para la Universidad de las Américas, la oportunidad de capacitar e impulsar a sus estudiantes hacia la investigación y desarrollo de la tecnología inalámbrica, mediante la utilización de herramientas flexibles, como radio transmisores y dispositivos de enlace los cuales están diseñados para solucionar problemas punto a punto, así como también, cubrir las necesidades en los procesos industriales, militares, hogar, hospitales, y de gestión ambiental, como lo es el objeto de estudio, el cual tiene como finalidad evaluar el prototipo para completar y optimizar el sistema mediante la implementación en modo API de WSN para la detección de incendios forestales, con el fin de mejorar el alcance así aprovechar esta

particularidad en todos los Nodos de la red, procediendo con una Alerta Temprana de Incendios Forestales.

Son muchas las ventajas que tienen las redes de sensores inalámbricos con respecto a las redes de sensores por cable (flexibilidad en la instalación, menor coste en su despliegue y mantenimiento etc.); por ello se plantea la necesidad introducir una nueva tecnología (WSN) en la formación de los estudiantes de Redes y Telecomunicaciones.

Es importante señalar que ya existe la placa electrónica con los componentes para obtener las mediciones. Sin embargo, en el presente estudio se llevará a cabo el rediseño de la placa que permitirá mejorar la conectividad. Se realizará la reprogramación de los sensores, incluyendo la toma de medidas con el respectivo protocolo de pruebas.

#### **1.4. Objetivo General**

El objetivo general de este trabajo se describe a continuación:

- Optimizar un sistema de protección contra incendios para bosques utilizando sensores inalámbricos.

#### **1.5. Objetivos específicos**

- Analizar el diseño y programación de la propuesta, basada en la tesis titulada "Aplicar el modo de API en una red de sensores inalámbricos para detectar incendios forestales" de Edison Cadena, adaptada y modificada al tema planteado "Sistema de detección de la innovación del sistema de incendios con sensores inalámbricos".
- Rediseñar el prototipo y el sistema para la detección de incendios forestales usando la red de sensores inalámbricos.
- Realizar el protocolo de pruebas y comparar con los datos obtenidos con fuentes certificadas.

## 2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas permiten conectar equipos sin utilizar cables de red. Gracias a esto la persona puede mantenerse al corriente de toda la información por medio de ondas electromagnéticas, que pueden ser de: microonda o luz infrarroja.

Las conocidas como redes inalámbricas (WSN), están entrando en el mercado consumidor gracias al mantenimiento de los precios populares y un conjunto de ventajas que se han visto en esta tecnología.

Las ventajas de las redes inalámbricas son las siguientes:

- **Flexibilidad**  
Dentro del área de cobertura de la red inalámbrica los Nodos podrán comunicarse entre sí.
- **Poca planificación**  
No es necesario tener un plan para conocer la distribución física de los cables lo que no sucede con una red inalámbrica.
- **Movilidad**  
Los dispositivos se pueden transportar a cualquier lugar, en este punto adicional tiene la ventaja de la movilidad.
- **Seguridad**  
El control y la administración del acceso son fáciles, ya que proporcionan fuertes protecciones de seguridad. Además, evita la emisión de accidentes de trabajo debido al tropiezo de cables o la pérdida total de desastres naturales.

- Costos

Se puede reducir costos, ya que se reduce el tema de cableado durante los traslados de un lugar a otro, nuevas configuraciones o expansiones.

## **2.2. Tipos de Redes inalámbricas**

Hay varios tipos de redes inalámbricas, por ejemplo: *Mesh Network*, o *grid*. Estas redes funcionan de la misma manera que Internet como, por ejemplo: WPAN, WLAN, WMAN, WWAN, etc. Varios Nodos están conectados entre sí y forman una red de comunicación. Cuando uno de estos Nodos falla o se satura, la red en sí misma es responsable de canalizar la señal para obtener la mejor ruta. Por lo tanto, se usa en sistemas militares o de emergencia.

## **2.3. Estándares de comunicación inalámbrica**

Los estándares de comunicación inalámbrica son uno de los primeros que se especifican cuando se va a diseñar una red inalámbrica, ya que su comunicación dependerá del patrón que se utilizará.

Los Nodos de la red de sensores inalámbricos no tienen una fuente de energía continua, por lo que se alimentan externamente con una batería de duración limitada; por lo tanto, el estándar de comunicación inalámbrica debe ser seleccionado para garantizar el alcance máximo en la red, ya que el consumo de energía es bajo. A continuación, describimos algunos patrones utilizados en redes inalámbricas.

### **2.3.1. WiFi 802.11.**

Es un estándar de red inalámbrica y se ha convertido en un medio para acceder a la red de banda ancha. WiFi, proporciona algunas ventajas como:

transmisiones de datos a gran velocidad, uso simultaneo de las bandas 2,4Ghz y 5,4 Ghz, uso múltiple de la red al mismo tiempo, etc. Así, también algunas desventajas: uso alto de energía, la seguridad es vulnerable, interferencias en la calidad del servicio, etc. Las topologías de red utilizadas son estrellas, árboles, etc. Y el cifrado de datos a través de WEP, WPA o WPA2.

### **2.3.2. Bluetooth 802.15.1**

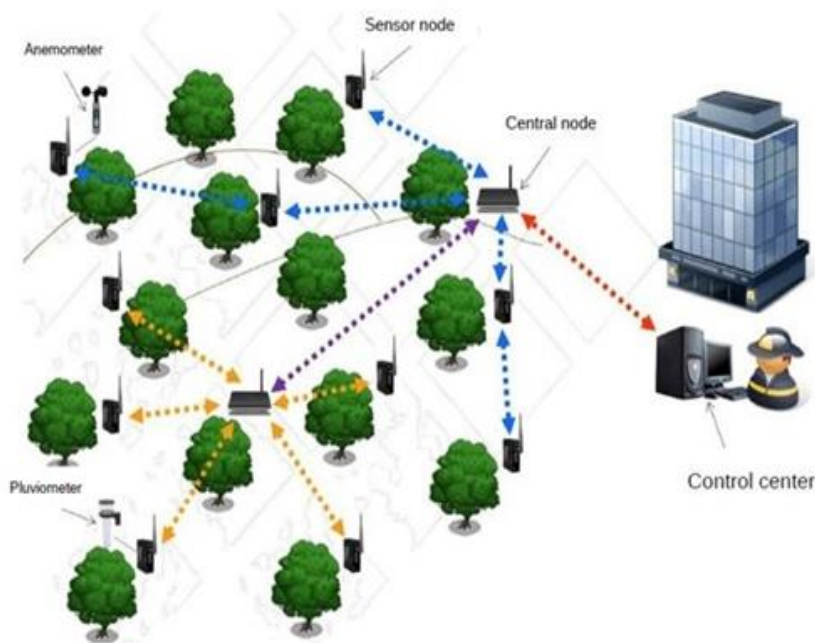
Puede cubrir distancias de hasta 10 metros y comunicar voz y datos entre dispositivos. IEEE 802.15.1 es el estándar denominado como Bluetooth, este término es la denominación comercial y popular del estándar arriba mencionado; proporciona algunas ventajas como: es de uso libre en cualquier parte del mundo y por cualquier usuario, es una tecnología gratuita, libre de cables, se mantiene la información de manera privada y como desventajas el consumo de energía, la velocidad de transmisión de archivos pesados es lenta, es de corto alcance.

### **2.3.3. ZigBee-802.15.4**

Este estándar es un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica de alto nivel.

El *ZigBee* ofrece entre sus ventajas una velocidad menor en términos de transferencia de datos con respecto al *WiFi* y *Bluetooth*, soporta múltiples topologías de red, larga duración de batería, previene reinicios del sistema y admite hasta 65000 Nodos de red y algunas desventajas como: poca transmisión de datos 250 kbps, para su instalación se necesita personal con conocimiento y presenta interferencia con las redes inalámbricas.





*Figura 1.* Estructura de una red inalámbrica de sensores  
Tomado de Araujo (2016)

## 2.4. Redes Inalámbricas con sensores

### 2.4.1. Introducción

Las redes de sensores inalámbricas son una tecnología de bajo consumo de energía y por ende de bajo costo, permiten la comunicación de manera inalámbrica, cuyo proceso es obtener la información para llevarla a un Nodo central de coordinación.

El WSN es un sistema compuesto de microcontroladores, una batería como fuente de energía, un radio-receptor (RF) y un elemento sensor (Jiménez, Ravelo, & Gómez, 2010).

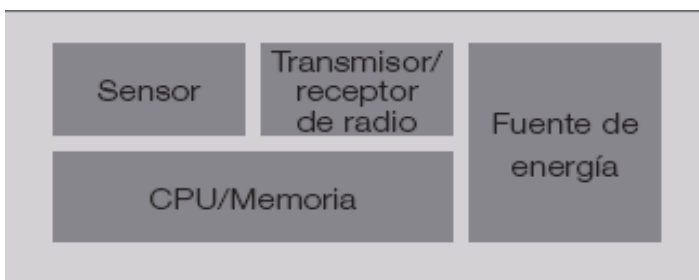


Figura 2. Nodo

Tomado de Jiménez, Ravelo, & Gómez (2010)

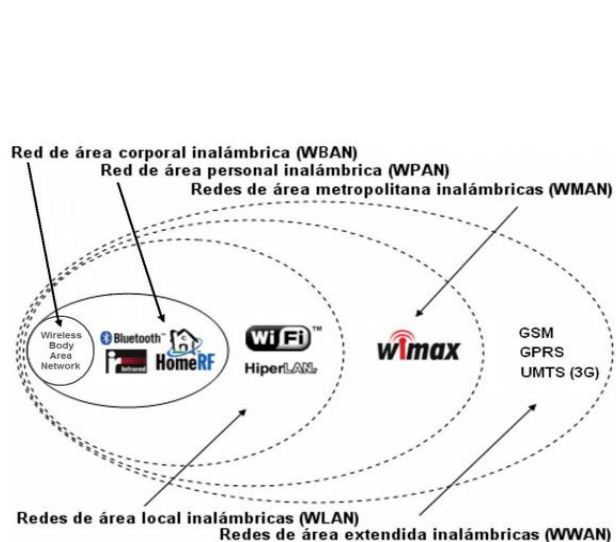


Figura 3. Tipos de redes inalámbricas

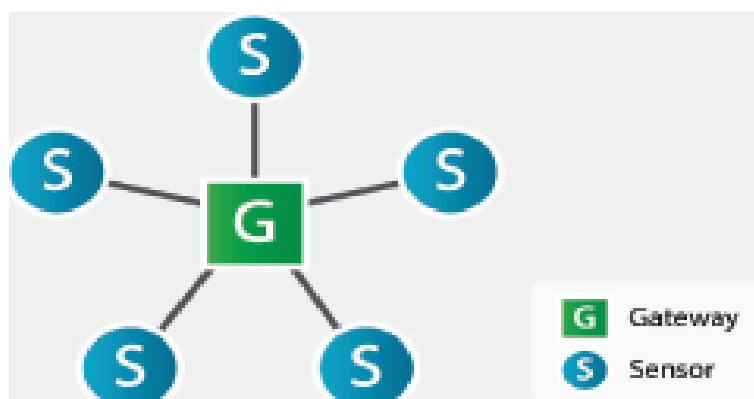
Tomado de Networks (2004)

## 2.5. Topologías

Se entiende como topología de una red a la estructura física o lógica que se utiliza para la comunicación entre Nodos, para una correcta operación de la red depende de una buena elección de topología. Por lo tanto, en la topología de una red inalámbrica de sensores existe un coordinador de Nodos y miembros de estos Nodos, que son responsables de la correcta transmisión. Se puede dividir en tres categorías: topología en estrella, topología de árbol y topología de malla. Aquí hay una breve explicación de cada uno.

### 2.5.1. Red en estrella

La conexión entre los Nodos en la red se realiza directamente contra el Nodo central o la puerta de enlace, generalmente el Nodo coordinador está ubicado en el centro de la red y miembros alrededor de ellos como se muestra en la FIG.



*Figura 4.* Topología Estrella  
Tomado de Escutar ( 2015)

#### **Ventajas.**

- Poca latencia
- La red es más sencilla
- Gasto de energía de forma igual
- Facilidad de implantación
- Resultados similares tanto en el lugar de implementación como en el lugar de prueba
- Topología muy resistente

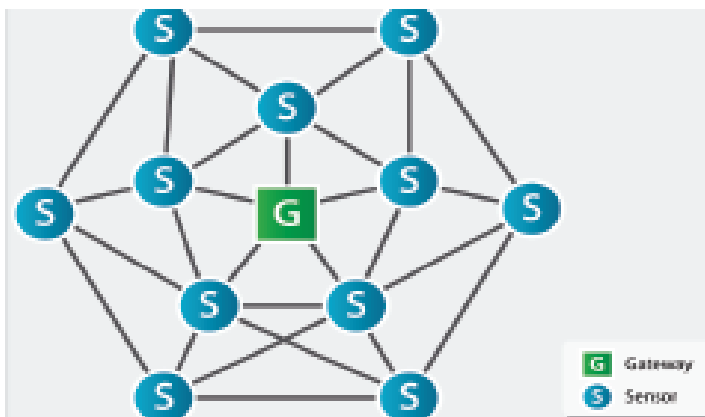
#### **Desventajas**

- No siempre es posible desarrollar ese tipo de topología.
- Escalabilidad baja, problemas de colisión con el aumento de Nodo coordinadores

- Si existe falla el Nodo central de la red.

### 2.5.2. Red de malla (mesh)

La red malla (mesh) permite la conexión de varios Nodos, siempre buscando la ruta más confiable, también llamada red de malla y si ocurre que existe un Nodo, este buscará un camino de transmisión y no habrá caída de toda la red.



*Figura 5. Topología de Malla*  
Tomado de Escuntar (2015)

#### Ventajas

- Tiene menor costo
- No necesita muchos Gateway para alcanzar una gran escalabilidad
- La transmisión de datos es continua, aunque exista fallo de uno o varios Nodos
- En caso de fallo obtiene caminos alternos
- Se reduce el mantenimiento de los Nodos
- Son redes auto ruteables y auto configurables
- Es una red muy confiable

#### Desventajas

- Alta complejidad del sistema

- Alta cantidad de colisiones
- Alta latencia en la red
- Diferencia entre pruebas de laboratorio y desarrollo real
- Tiene un desarrollo costoso

### 2.5.3. Topología en árbol

La red del tipo árbol hace la conexión buscando el Nodo con la jerarquía más alta, lo que significa que los Nodos miembros buscan el Nodo coordinador y así sucesivamente hasta alcanzar el *Gateway*, en el que los dispositivos se dividen formando un tipo de árbol.

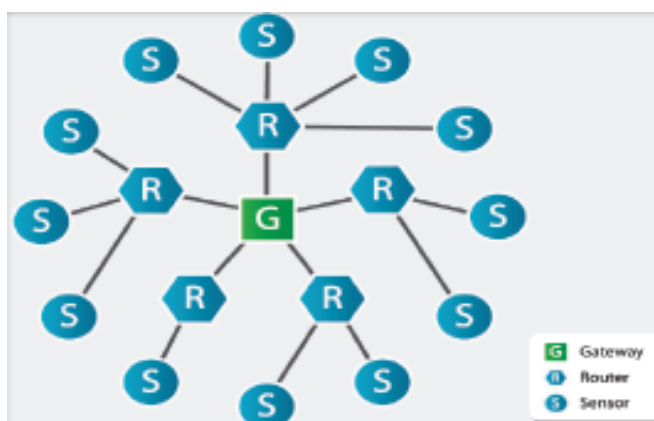


Figura 6. Topología de árbol  
Tomado de Escuntar (2015)

#### Ventajas

- Al igual que las ventajas de tipo estrella
- Alta escalabilidad y bajas colisiones
- Es similar a la conexión utilizada en una topología de red para una PC

#### Desventajas

- Puede llegar a ser costoso si se introducen *routers*.

- Si un *router* falla puede caer una gran parte de la red
- Dificultad y costos altos al desarrollar un algoritmo de enrutamiento dinámico
- Poca confianza en los algoritmos de enrutamiento

## 2.6. Elementos de una red de sensores inalámbricos (WSN)

Una WSN está constituida por dispositivos distribuidos de manera especial, que utilizan sensores para controlar varias condiciones en distintos puntos, como, por ejemplo: temperatura, sonido, vibración, etc., microcontroladores, memoria y algunas interfaces de conexión estándar.

Los enrutadores se agregan a los Nodos, lo que permite el uso de comunicación más fiable y tomando rutas alternativas de transmisión de datos si hay errores en los Nodos. Finalmente, en cada WSN hay un dispositivo que recibe toda la información generada por los Nodos y coordina el funcionamiento de la red llamada Gateway que almacena o envía datos a una ubicación remota a través de una red más grande (por ejemplo, Internet). (um.edu.uy, 2018)

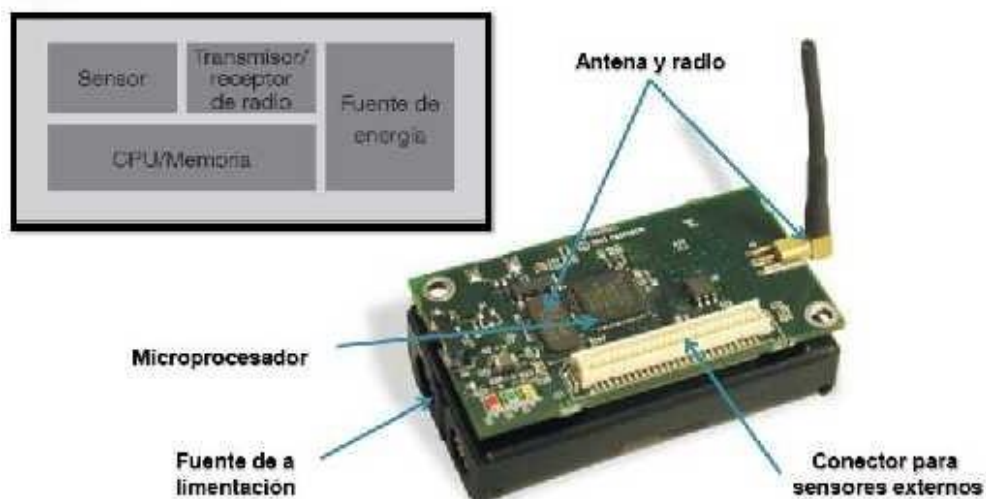


Figura 7. Elementos de las WSN

Tomado de:(ElectroSOme, 2016)

## 2.7. Estructura de un Nodo sensor

La estructura de un Nodo es completamente dependiente del propósito del despliegue o de la aplicación requerida, pero generalmente están compuestos por los siguientes elementos:



*Figura. 8.* Estructura de un Nodo Sensor  
Tomado de mfbarcell(2017)

### 2.7.1. Sistema de adquisición de datos

Los sensores adquieren la información ambiental y la convierte en una señal eléctrica, estos sensores pueden ser de diferentes tipos y tecnologías en el mercado son placas con sensores que miden diferentes parámetros, tales como sensores de luz, la humedad, la temperatura, el gas, la velocidad del viento, sonido, ruido, etc.

## 2.8. Estructura de un Nodo Gateway

El Nodo *gateway* tiene la función de establecer e identificar una red. Es responsable de establecer el canal de comunicación. Una vez establecida la comunicación, el Nodo puede formar parte de una red, permitiendo que se

unan a los demás Nodos, dispositivos *Routers* y *end points*; actuando como un *router* es decir participando en el enrutado de paquetes, enviar y recibir información.

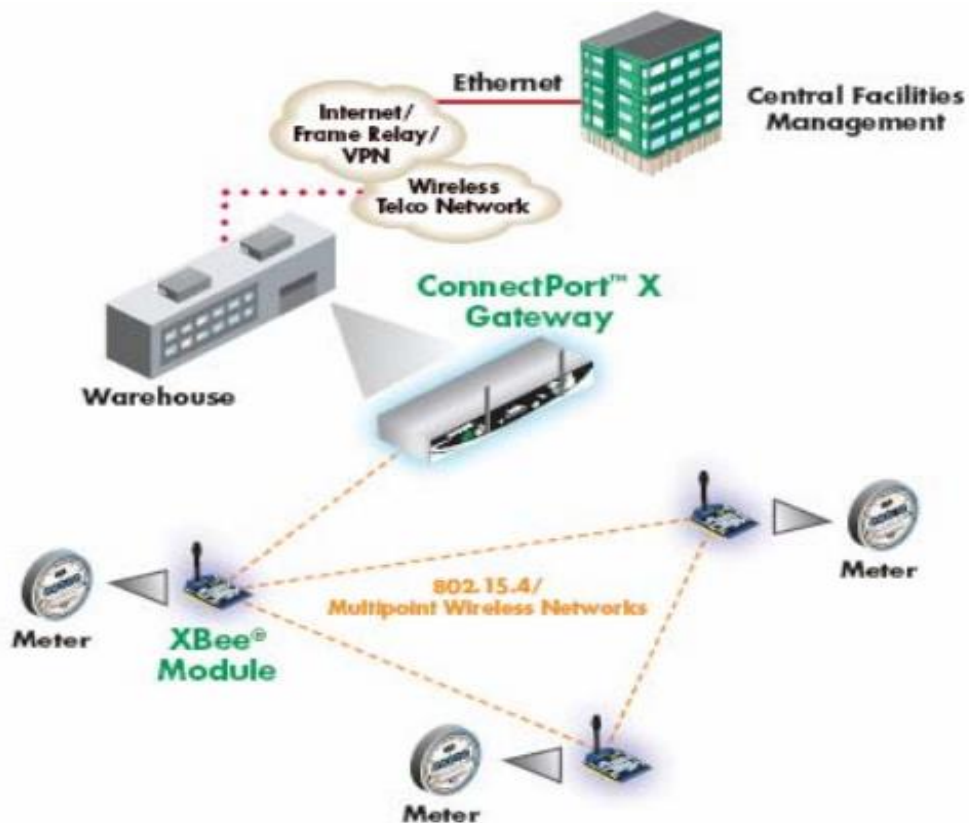


Figura 9: Estructura de un Nodo Gateway

Tomado de Digi(2017)



### **3. CAPITULO III. DISEÑO DE OPTIMIZACION DE UNA RED WSN**

#### **3.1. Diseño de la Red de Sensores Inalámbrica**

La primera fase del diseño se basa en los tres Nodos y el coordinador, en el cual se describe el funcionamiento individual y grupal, en la segunda fase se especifican los elementos que fueron usados para el desarrollo del hardware. Adicional, se presenta una descripción rápida de cada uno de los componentes utilizados en el desarrollo del software del proyecto, que incluye la aplicación Web en *JavaScript*, PHP y Mysql.

Como elemento principal tenemos el uso de un Arduino Nano en el cual se configuraron los sensores de dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, temperatura y de humo. El Arduino es el encargado de procesar los datos provenientes de los sensores que luego serán enviados a través de un módulo *Xbee S2B* a través de una estructura de datos.

Los módulos *Xbee* se sincronizan entre sí para enviar la información a la página web.

Se realiza el diseño y la fabricación en 3D de una estructura de alojamiento para la protección de los circuitos electrónicos y montaje de los sensores.

#### **3.2. Diseño de los elementos de la red**

Para el diseño de la red inalámbrica de sensores se ha optado por una red tipo malla, con la finalidad de lograr mayor alcance en el entorno seleccionado. Dentro de la arquitectura de una red de Sensores inalámbrica se realizará la descripción de los tres componentes que se considera principales dentro del diseño e implementación.

- Nodos Sensoriales.
- Nodos Coordinadores.

- Aplicación para manejo de datos.

Para complementar toda la operación que se realiza en la WSN, es necesario generar un mecanismo a nivel de aplicación para poder entender y procesar toda la información que entrega la Red de sensores Inalámbrica, es decir la WSN mediante sus Nodos se encarga de la transmisión de los datos obtenidos por los sensores, pero esta información por sí sola no es entendible para un usuario, es así que es necesario generar una aplicación que se encargue de transformar todos estos datos recibidos en información que pueda ser mostrada mediante una interfaz hacia el usuario para su entendimiento.

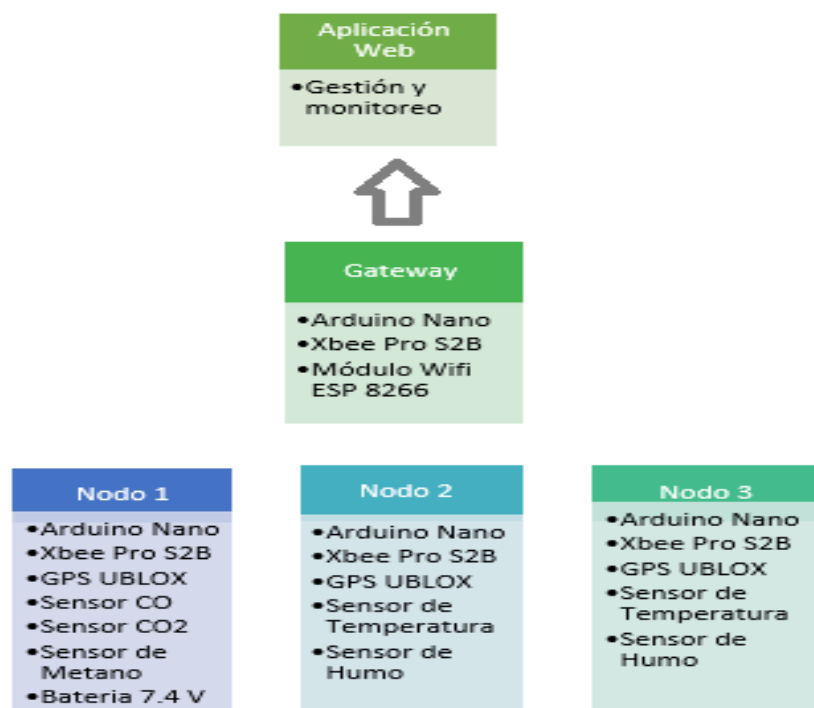


Figura 10. Diagrama de bloques implementado

### 3.2.1. Nodo 1

Es el encargado de gestionar la información proveniente de los sensores y el

GPS y enviar dicha información de manera remota mediante el módulo Xbee.

Lo elementos que lo conforman son:

- Arduino Nano
- Xbee Pro S2B
- GPS UBLOX
- Sensor CO
- Sensor CO2
- Sensor de Metano
- Batería 7.4 V

En la Figura 11 se muestra el diagrama del Nodo 1, para el desarrollo esquemático se usó la herramienta PROTEUS 8.6, tomando en cuenta las especificaciones de los fabricantes de cada sensor y cada módulo.

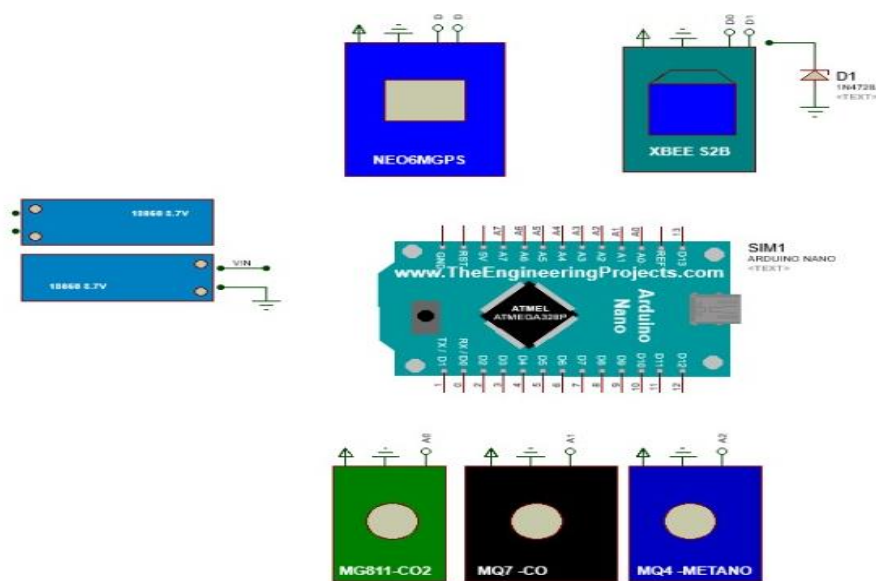


Figura 11. Diagrama esquemático del Nodo 1

En la Figura 12 se muestra el diagrama del circuito impreso para el Nodo 1, el diseño de la placa debe ser compacto de tal forma que ocupe el menor espacio.

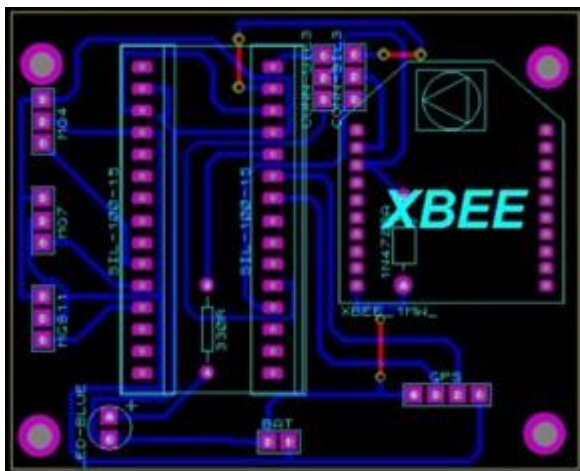


Figura 12: Circuito impreso Nodo 1

### 3.2.2. Nodo 2 y Nodo 3

Son los encargados de gestionar la información proveniente de los sensores y el GPS y enviar dicha información de manera remota mediante el módulo Xbee.

Lo elementos que lo conforman tanto al Nodo 2 como al Nodo 3 son:

- Arduino Nano
- Xbee Pro S2B
- GPS UBLOX
- Sensor de Temperatura
- Sensor de Humo

Se muestra el gráfico del Nodo 2 y Nodo 3 para el desarrollo esquemático se usó la herramienta PROTEUS 8.6, tomando en cuenta las especificaciones de los fabricantes de cada sensor y cada módulo.



- Arduino nano
- Módulo *Xbee* Pro S2B
- Módulo *WiFi* ESP 8266

El Nodo coordinador es el Nodo más importante, ya que en base a éste se formará la red, se le otorgará una dirección PAN ID (identificador de red) y será el responsable de establecer el canal de comunicaciones; cuando éstos parámetros hayan sido dados, el Nodo coordinador estará listo para añadir a la red *routers* o dispositivos finales, cabe mencionar que el Nodo coordinador actuará como un *Router* encaminando paquetes siendo origen y/o destino de información.

### **3.3. Diseño y construcción de la red de sensores inalámbricos**

#### **3.3.1. Elección de los componentes para el diseño del proyecto.**

Son los que se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano y se ajustan a las necesidades del proyecto. A continuación, se presentarán las principales características de cada uno de los componentes.

- **Modulo sensor medidor de CO<sub>2</sub> MG-811.** Este sensor es muy sensible a la detección de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este módulo es ideal para controlar la calidad del aire descompuesto. (dspace.ups.edu.ec, 2018)



*Figura15:* Módulo MG-811

Tomado de DFRobot(2017)

- **Modulo sensor medidor de CO MQ7.** Este módulo es muy fácil de usar. El MQ7, puede detectar de 20 a 2000 ppm. La sensibilidad se puede ajustar mediante potenciómetro situado en la placa, que tiene dos salidas, una digital a través de un comparador con un umbral ajustable y otro analógico para conectar cualquier microcontrolador.

Características:

- Energía: 5V
- Interfaz: Analógico.
- Pin Definido: 1-salida, 2 GND, 3-VCC
- Sensible al monóxido de carbono.
- Rápida respuesta.
- Tamaño: 40x20mm.

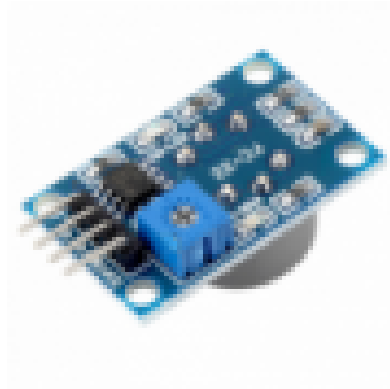


Figura 16: Modulo MQ7

Tomado de hwsensor(2017)

- **Modulo sensor medidor de Metanol MQ4.** Este sensor tiene la sensibilidad ajustable para tener suficiente lectura para el sistema específico. El sensor es pequeño, muy práctico y fácil de usar.

#### Características:

- Voltaje: 5V
- Salida digital DO
- Salida analógica AO
- Peso: 10g



Figura 17. Sensor MQ4

Tomado de Hetpro-store(2017)

- **Sensor de temperatura LM35.** Elemento electrónico que mide temperatura de forma análoga, es un circuito de diodo Tener, el







*Figura 19: Sensor MQ2*

Tomado de Cmostronics(2017)

### **Características:**

- Voltaje 5V DC o AC
  - Medición de calor: -10 a 50 °C
  - Potencia aproximada: menos de 750 mW
- 
- **Módulo GPS Neo UBLOX:** El GPS para Arduino puede funcionar con una tensión de alimentación en el rango de 3,0 a 5,0 voltios, mientras que, por lo que un convertidor de nivel es necesario si un Arduino o microcontrolador de 5 voltios se comunicará (transmitir) al módulo GPS. Si sólo desea recibir los datos NMEA, simplemente conecte el pin TX al Arduino RX y reciba los datos enviados por el módulo, en este caso, no hay necesidad de conversión de nivel, pues el Arduino reconoce los 3,3 voltios como de alto nivel.

### **Características:**

- Voltaje de alimentación 3V a 5V
- Incluye antena cerámica
- EEPROM para guardar datos de configuración

- Indicador de señal por Led
- Batería de soporte de datos
- Tamaño de Tarjeta 23x30 mm
- Tamaño de la Antena 22x22 mm
- Precisión de Posicionamiento 2.5 MCEP
- Taza de Actualización 5 Hz
- Seguimiento y Navegación -160 dBm
- Protocolo de comunicación NMEA (por defecto)/ UBX Binario
- Velocidad de Baudios 4.800, 9.600, 38400 (por defecto),57600



*Figura 20: Sensor GPS Neo UBLOX*  
Tomado de naylampmechatronics(2017)

**Placa Arduino Nano.** Se basa en un microcontrolador ATmega328. Puede ser alimentado con 5V a través de una conexión USB-Mini o externamente a través del pin 30; posee varias opciones de comunicación con un ordenador, otro Arduino u otras placas similares de microcontroladores. El ATmega328 proporciona comunicación serial UART, I2C (TWI) y SPI, que tiene las siguientes características. (Bravo, 2017)

Las prioridades del Nodo sensor deben ser: la eficiencia energética en funcionamiento, esto significa que una placa se debe seleccionar con un

microcontrolador que no requiera un alto consumo de energía, también es necesario que cada Nodo sensor utilice un mínimo de pines del microcontrolador para la conexión de sus sensores, esto convierte al Arduino nano como la mejor opción en comparación con otros modelos para este tipo de diseño e implementación.

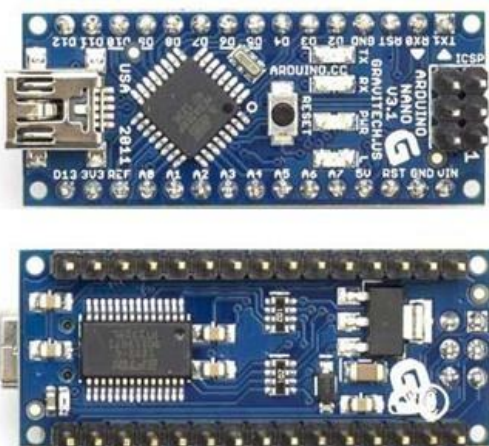


Figura 21. Arduino Nano

Tomado de Arduino(2018)

- **Módulo XBee. Pro S2B.** El módulo programable XBee PRO ZB S2B se utiliza para la comunicación inalámbrica de RF a dispositivos ZigBee en redes de red. La programación directamente en el módulo elimina la necesidad de un procesador separado

#### Características:

- Opera en la banda de frecuencia 2.4GHz.
- La velocidad de datos RF es de 250Kbps.
- La velocidad de datos Serial es entre 1200bps hasta 1Mbps.
- Tiene un rango de 90m, en interiores.
- Tiene un rango de 3.2Km, en línea de vista.

- La potencia de transmisión de salida es de +18dBm/63mW.
- La sensibilidad de recepción es de -102dBm.
- Utiliza antena tipo cable.
- Posee potencia ajustable.
- Posee 6 entradas para conversor A/D de 10 bits.
- Posee 10 líneas I/O digitales.
- Puede configurarse por medio de API, AT, local o por el aire.
- Permite encriptación AES de 128 bits.
- Permite la entrega confiable de paquetes utilizando reintentos y acuses de recibo.
- El voltaje de alimentación es entre 2.7V y 3.6V DC.
- Dimensiones 22mm x 33mm.



Figura 22. Xbee Pro S2B

Tomado de Digi(2018)

### 3.3.2. Diseño y construcción del circuito y la placa

En esta sección, detallaremos la construcción física y el diseño de la tarjeta PCB del proyecto para la red de sensores inalámbricos.

- **Diseño del circuito impreso en Proteus.** Se realizar el diseño de la tarjeta Print Circuit Board (PCB). Para este proceso, debe dibujar pistas

que conecten los elementos usados. El diseño de la pista se realizó utilizando el software Proteus y las pistas del proyecto. (Bravo, 2017)

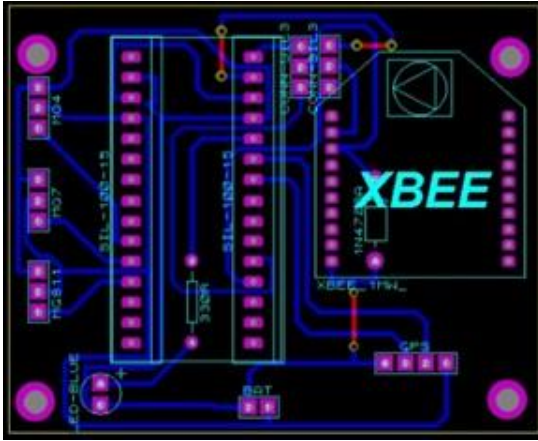


Figura 23. Diagrama de las pistas realizadas en Proteus

Para el Nodo 1

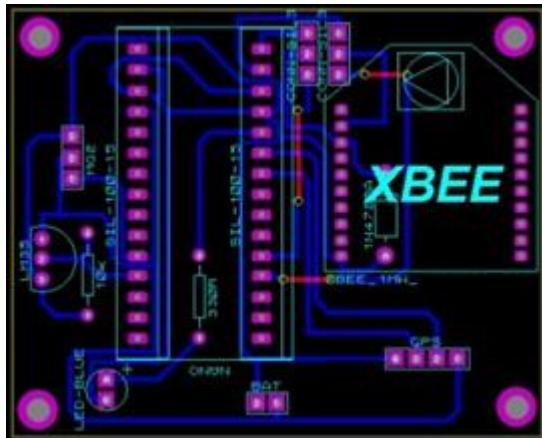


Figura 24. Diagrama de pistas realizadas en Proteus Para el Nodo 2 y el Nodo 3

El proceso de montaje y soldadura de los elementos se lo realizó de manera

manual. El resultado final de la PCB junto con los elementos se puede observar en las Figuras 25, 26,27, 28 ,29 y 30.

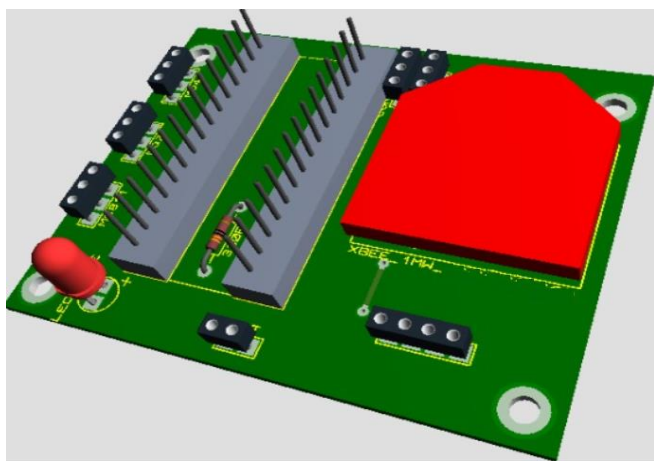


Figura 25. Diseño de la placa en 3D para el Nodo 1

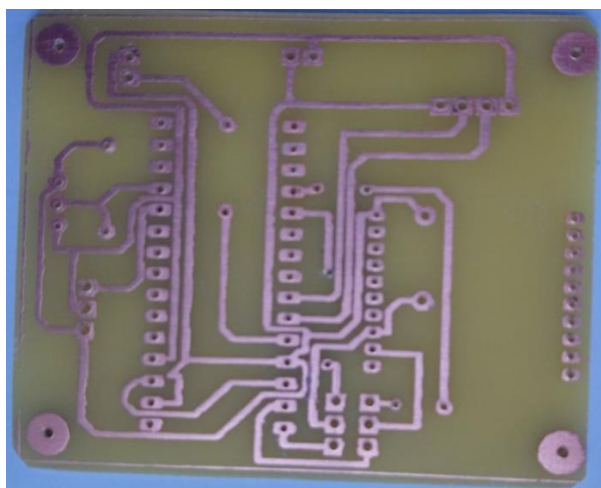


Figura 26. Placa electrónica *Printed Circuit Board* (PCB)  
Para el Nodo 1

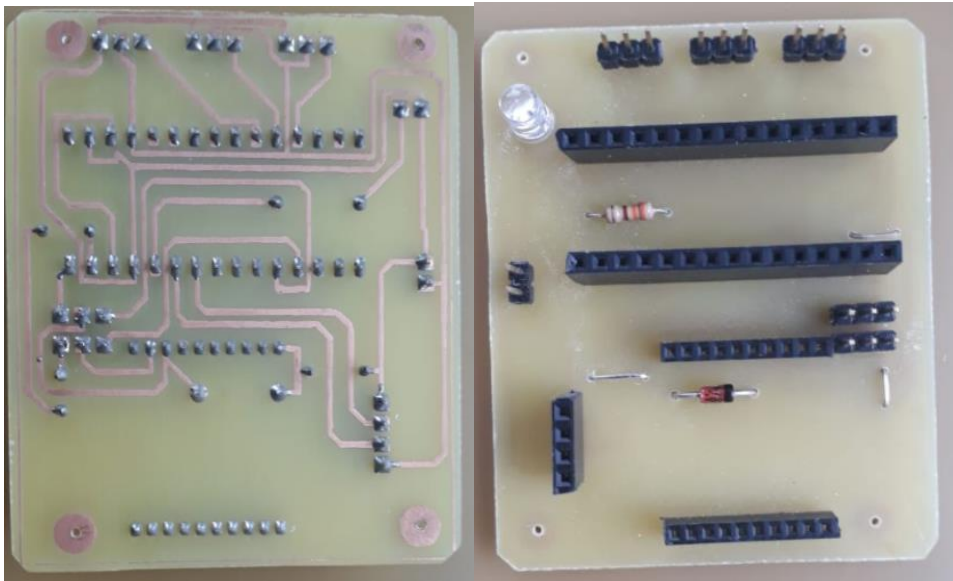


Figura 27. Construcción de la placa electrónica *Printed Circuit Board* (PCB) Para el Nodo 1

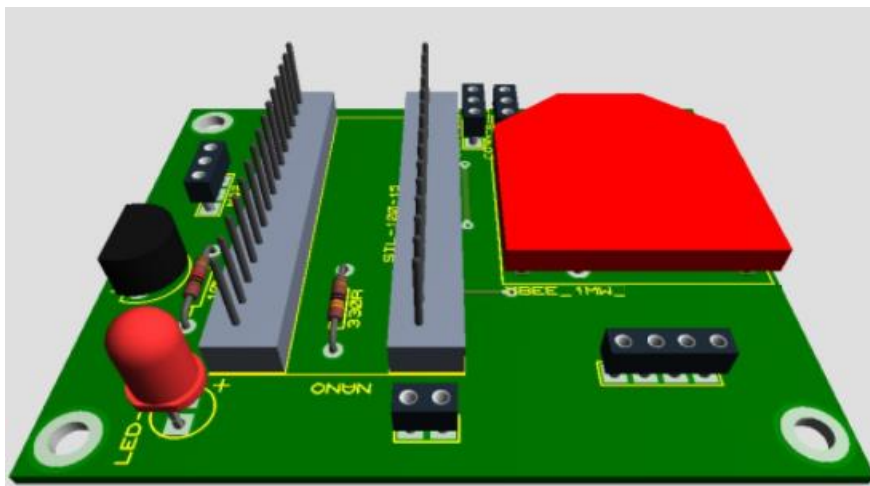


Figura 28. Diseño de la placa en 3D para el Nodo 2 y Nodo 3



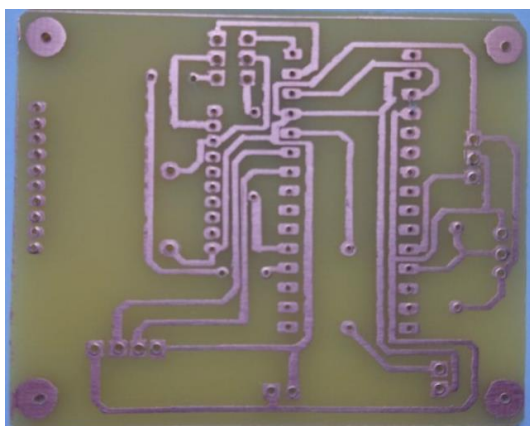


Figura 29. Placa electrónica Printed Circuit Board (PCB) para Nodo 2 y Nodo 3

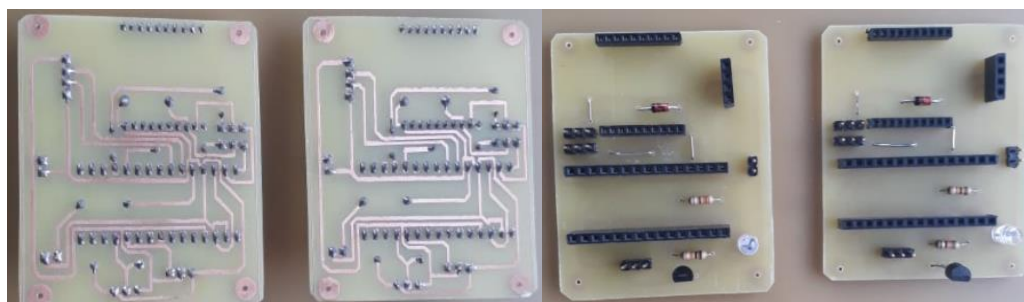


Figura 30. Construcción de la placa electrónica *Printed Circuit Board* (PCB) Para el Nodo 2 y Nodo 3

En la Figura 31 se muestra el diagrama de flujo de los Nodos y el Nodo coordinador. Para los Nodos 1,2 y 3, primero se incluye las librerías para el uso del GPS y Xbee, segundo se realiza la declaración de variables e inicialización de puertos, tercero se realiza la lectura y calibración de los sensores en los puertos analógicos del Arduino, así como también la adquisición de los parámetros de latitud y longitud provenientes del GPS y por último se realiza el

empaquetamiento de la información y envío de la trama API a través del módulo *Xbee*.

Para el Nodo coordinador, primero se incluye las librerías para WIFI y *Xbee* API, segundo se realiza la declaración e inicialización de puertos, tercero se realiza la recepción de los datos de los sensores mediante el módulo *Xbee* API, cuarto se realiza la segmentación de la trama y asignación de valores de los sensores a cada variable, quinto se realiza el procesamiento de cada variable para el envío a la página web mediante WIFI, sexto se realiza el empaquetamiento de la información en un buffer y por último se realiza el envío de datos hacia la aplicación web por WIFI.

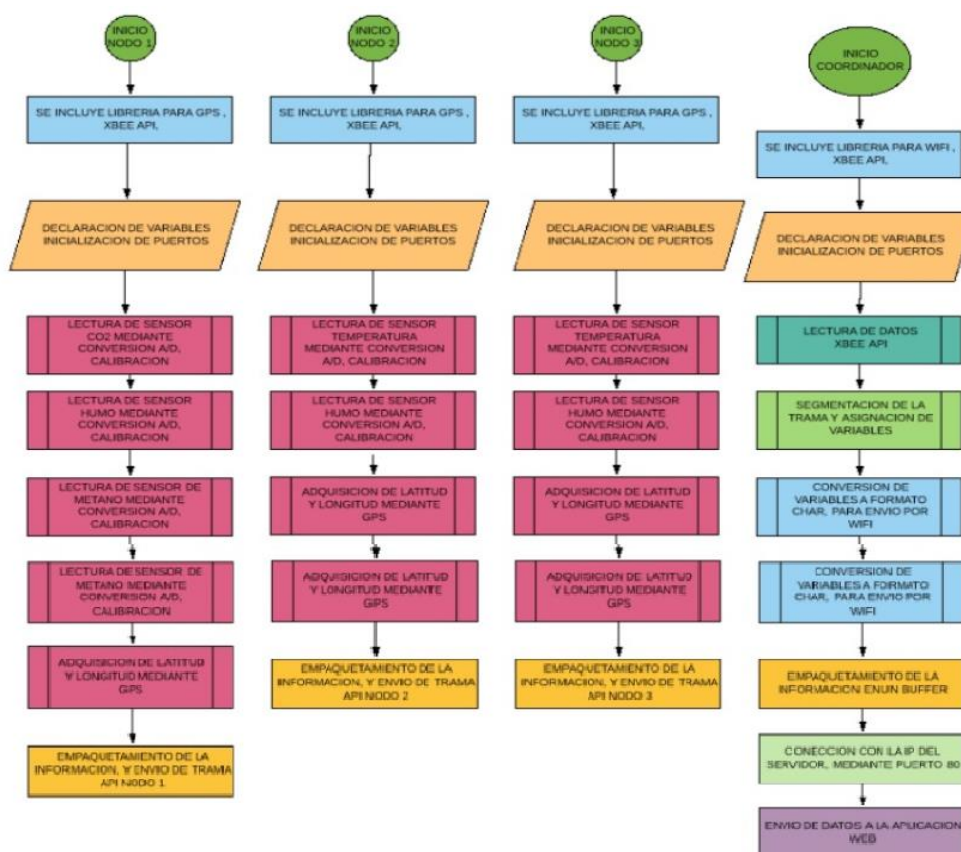


Figura 31. Diagrama de Flujo de los Nodos y Coordinador

### 3.4. Diseño de Caja en 3D para montaje de Nodos

El diseño de la caja fue hecho en el programa SOLIDWORKS, para proteger la tarjeta electrónica y todos sus componentes.

#### 3.4.1. Caja del Nodo principal

La caja está compuesta de dos estructuras sólidas, un espacio donde los sensores se almacenan, tiene baterías de 3.7 voltios y protegidas por una tapa. El PCB es la parte intermedia de la caja que está directamente conectada a los sensores que son visibles para mediciones de gas. En esta parte se concentra una cámara que almacena el humo, vapor o gas a ser contado y la temperatura; Todos estos datos se muestran en la interfaz gráfica para la interpretación de los resultados.

Se muestra cada parte de la caja en las Figuras: 32,33, 34, 35 y 36.

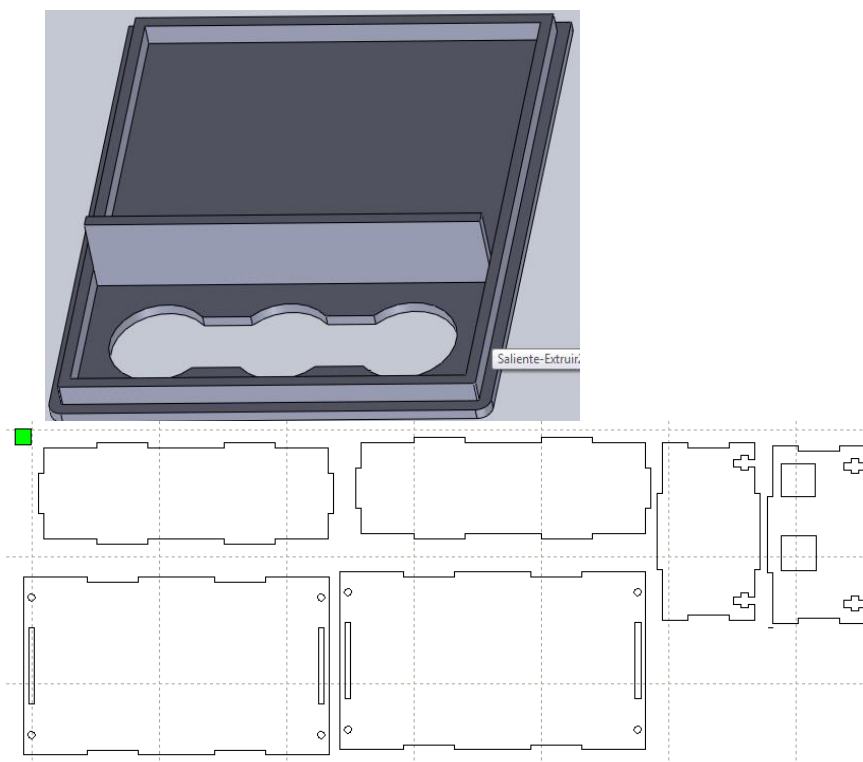


Figura 32. Estructura para alojar los sensores

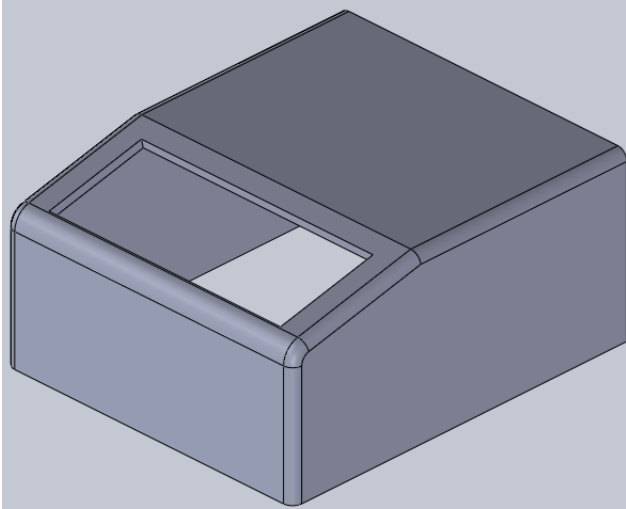


Figura 33. Tapa de la caja

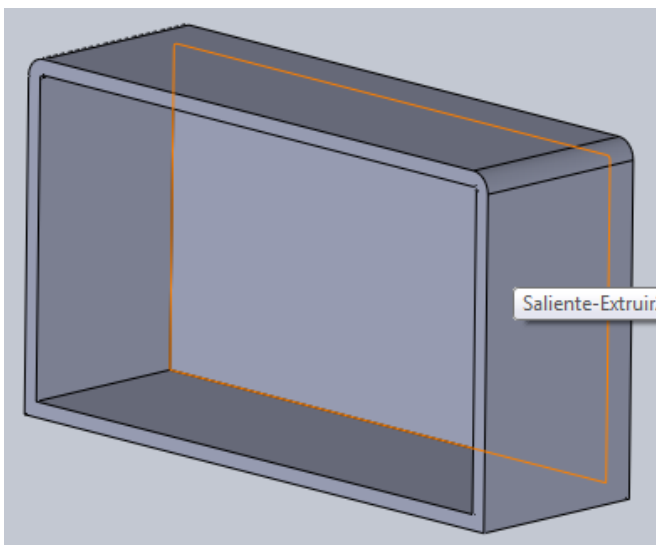


Figura 34. Estructura para alojar las pilas

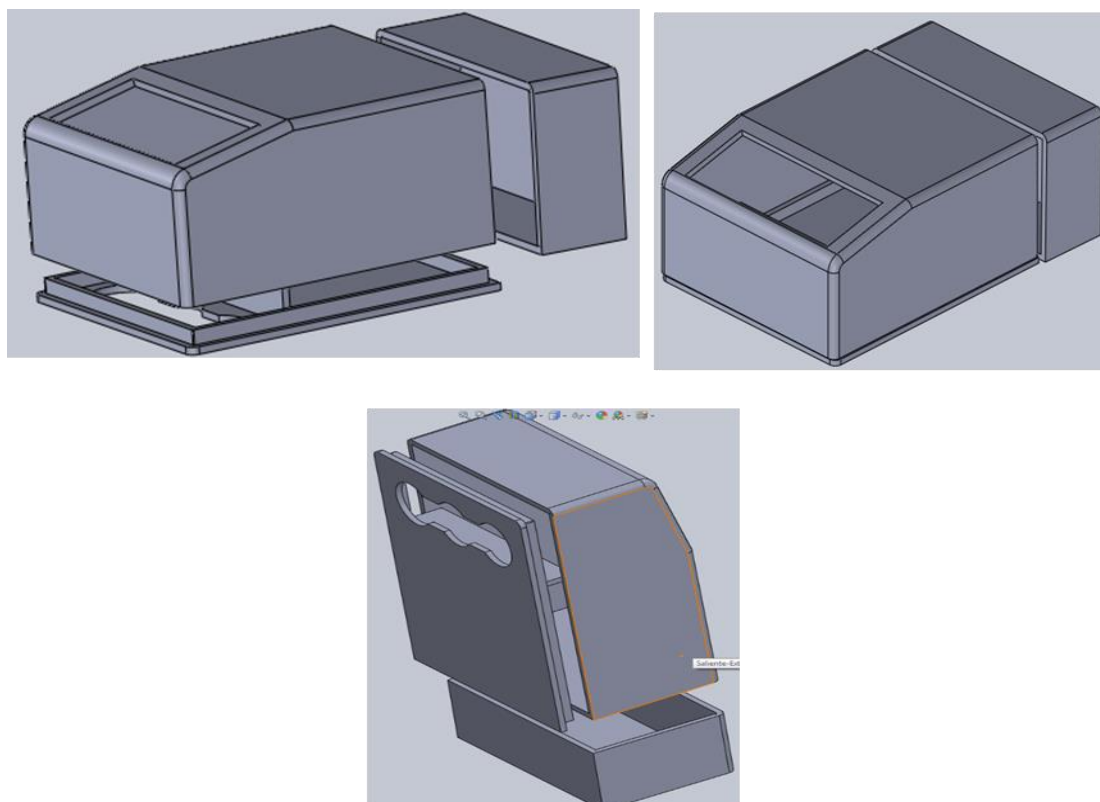


Figura 35. Caja en 3D completa

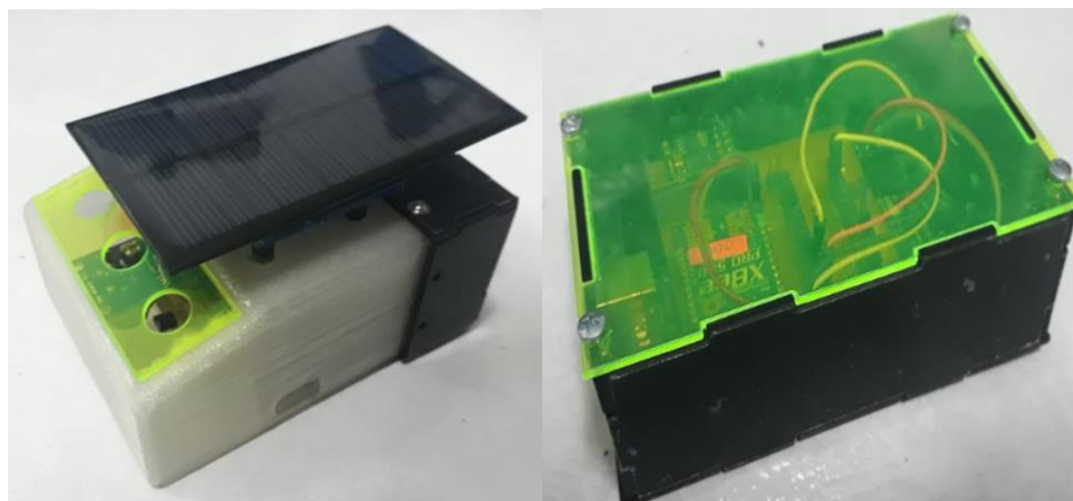


Figura 36. Prototipo finalizado

### **3.5. Diseño de la aplicación Web**

Para el diseño de la aplicación web se describen a continuación los lenguajes usados.

#### **3.5.1. Lenguaje *JavaScript***

*JavaScript* se refleja en las páginas web, ésta manipula estructuras con objetos simples dentro de los parámetros además tiene métodos y propiedades.

#### **3.5.2. Lenguaje PHP**

Uno de los lenguajes web más utilizados también tiene una de las comunidades más grandes de desarrolladores; documentación, tutoriales, ejemplos, foros, facilitan y contribuyen al desarrollo del proyecto. La simplicidad y versatilidad de PHP hace que sea fácil de implementar la funcionalidad de acuerdo con las últimas tendencias en el desarrollo web, así como la velocidad, la estabilidad (ejecutar casi cualquier plataforma, utilizando los recursos propios de la administración), la seguridad (que proporciona diferentes niveles totalmente configurables) seguridad y facilidad de codificación de asegurar la eficiencia, calidad y funcionalidad de la aplicación web a desarrollar.

### **3.6. Diseño de la base de datos**

La Figura 37 es el diseño básico de una base de datos.

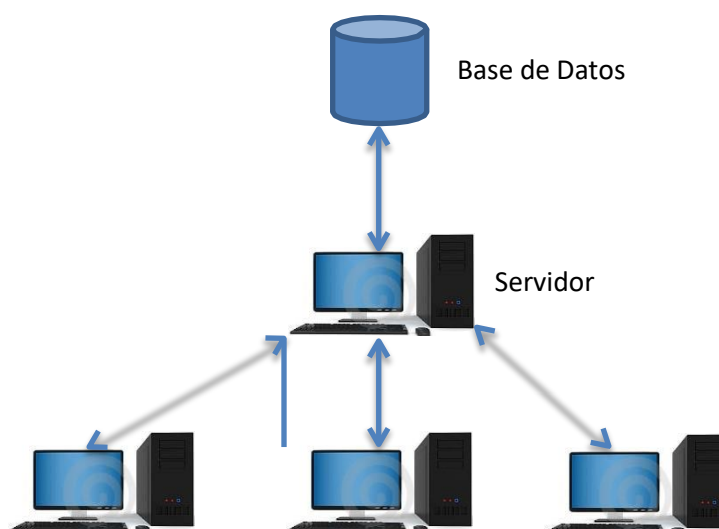


Figura 37: Funcionamiento de una BD empleando la arquitectura Cliente – Servidor

### 3.6.1. MySQL

MySQL es un software libre de fácil acceso con manuales de usuario y foros de internet. Existe bastante información en internet sobre lo que es MySQL.

A continuación se muestra las tablas principales con la base de datos del proyecto.

La base de datos está conformada por 2 tablas. En la Figura 38 se muestra las dos tablas que conforma la base de datos

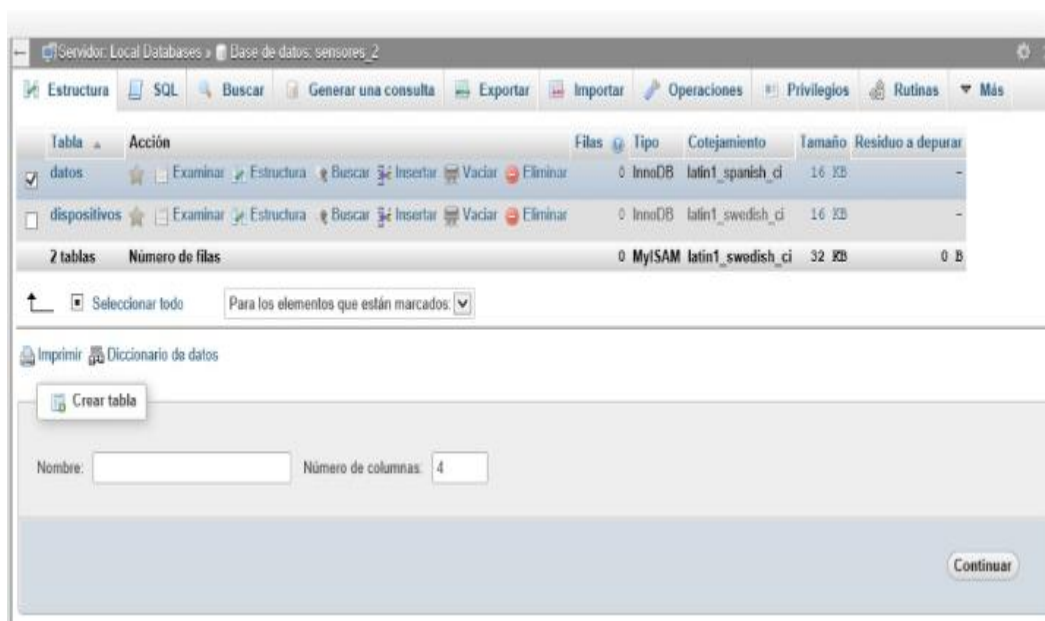


Figura 38: Tablas datos y dispositivos

La primera tabla se denomina Datos, en la que se almacenan los valores de los sensores que provienen de los Nodos, así como la ubicación del Nodo en el mapa en términos de latitud y longitud y la identificación de cada Nodo.

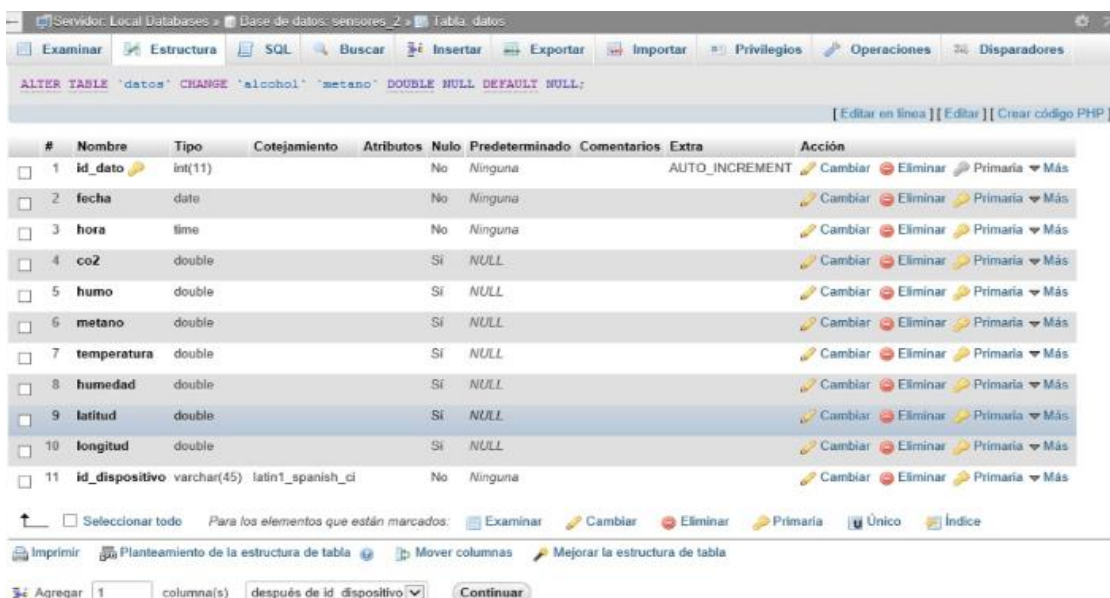


Figura 39. Estructura de la tabla Datos



La segunda tabla se denomina Dispositivos, en la cual se almacena la identificación del Nodo y el nombre del mismo.

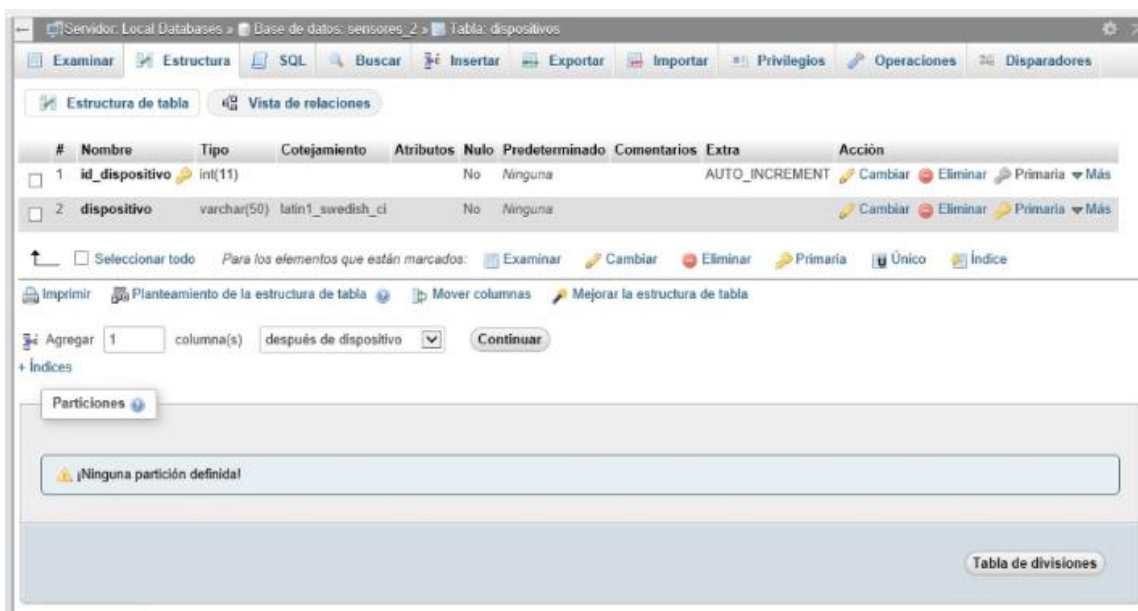


Figura 40: Estructura de la tabla dispositivos

### 3.7. Interfaz Gráfica mediante una aplicación Web

La aplicación está diseñada para la adquisición, monitoreo y reporte de los resultados de los sensores en cada Nodo con el fin de facilitar la interacción del medio con el usuario mediante una aplicación web.

#### 3.7.1. Guía de usuario de la interfaz

El procedimiento de ejecución de la interfaz gráfica es el siguiente:

1. Para acceder a la aplicación web se puede hacer en cualquier buscador mediante el siguiente link: <http://sensoresudla.ddns.net/index.html>
2. La primera pantalla que se visualiza es la página de Logeo, las credenciales para el ingreso son:  
 Contraseña: admin  
 Usuario: 1234



udla

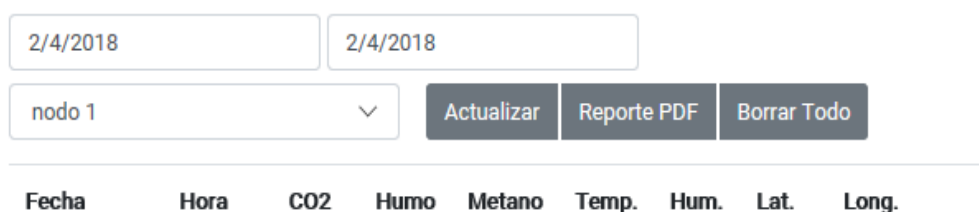
Escriba su usuario

Escriba su contraseña

Iniciar Sesión

Figura 41. Ingreso de credenciales página web

3. Luego de ingresar las credenciales se muestra la página principal en la que se puede visualizar los valores de cada uno de los sensores dependiendo del Nodo, así como seleccionar la fecha en la que se desea
4. visualizar los datos.



2/4/2018 2/4/2018

nodo 1 ▾ Actualizar Reporte PDF Borrar Todo

---

Fecha Hora CO2 Humo Metano Temp. Hum. Lat. Long.

Figura 42. Página principal de la aplicación web

En la Figura 43 se observa el diagrama de flujo de aplicación web, primero se incluye los *frameworks* que se van a utilizar, segundo la definición de encabezado y cuerpo mediante programación HTML, tercero se redirecciona a la página de “login” donde se debe validar las credenciales, cuarto una vez que se ha validado las credenciales se ejecuta el archivo INDEX.HTML donde se debe seleccionar el Nodo que vamos a graficar, quinto se realiza la lectura de los datos de los sensores en el archivo dato.php, sexto una vez que los datos han ingresado a la página web se realiza el almacenamiento en la base de datos mediante el archivo meta.php, séptimo se realiza el gráfico de cada variable con actualización automática cada cinco segundos y por último se realiza la generación de reportes en archivo PDF.

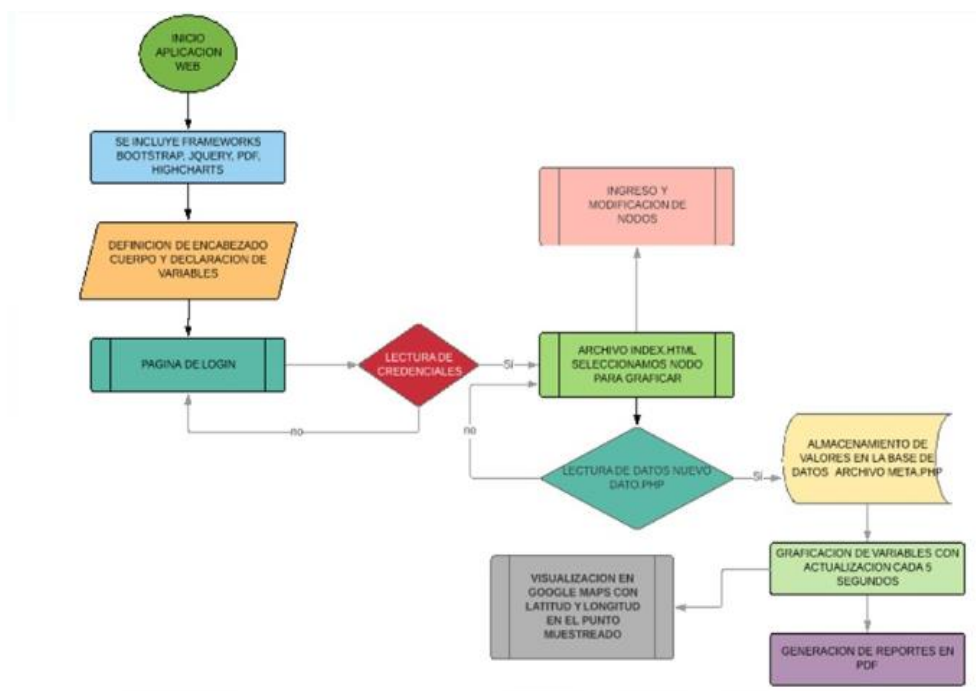


Figura 43. Diagrama de flujo de la aplicación web

### 3.7.2. Sensores

Esta opción permite realizar el monitoreo general de los sensores de manera independiente y por cada Nodo, es decir se puede monitorear los tres Nodos: el Nodo uno con los sensores para los gases: monóxido de carbono, dióxido de carbono y metano, el Nodo dos y tres contiene el sensor de humo, coordenadas geográficas y temperatura.

The screenshot shows a web interface for monitoring sensors. At the top, there are two date input fields: '2/4/2018' and '8/5/2018'. Below them is a dropdown menu set to 'nodo 1'. To the right of the dropdown are three buttons: 'Actualizar', 'Reporte PDF', and 'Borrar Todo'. Below these controls is a table with the following data:

Fecha	Hora	CO2	Humo	Metano	Temp.	Hum.	Lat.	Long.	
2018-04-21	12:30:37	45	-1	20	21.23	80.75	-0.1663	-78.47	<a href="#">Ver Mapa</a>
2018-04-21	12:30:17	45	-1	1.23	21.23	80.75	-0.1663	-78.47	<a href="#">Ver Mapa</a>
2018-04-18	13:45:36	80	-1	1.23	21.23	80.75	-0.1663	-78.47	<a href="#">Ver Mapa</a>
2018-04-18	13:44:56	80	8.23	1.23	21.23	80.75	-0.1663	-78.47	<a href="#">Ver Mapa</a>
2018-04-17	18:07:26	20	45	1.23	20	80.75	-0.1663	-78.47	<a href="#">Ver Mapa</a>
2018-04-17	17:35:56	60	8.23	1.23	20	80.75	-0.1663	-78.47	<a href="#">Ver Mapa</a>

Figura 44. Control y monitoreo de sensores

Adicional, en la Figura 45 se puede observar que la aplicación permite obtener la gráfica de tendencia de los valores obtenidos de cada sensor. Con esta opción se facilita el manejo de datos y la comparación de los resultados

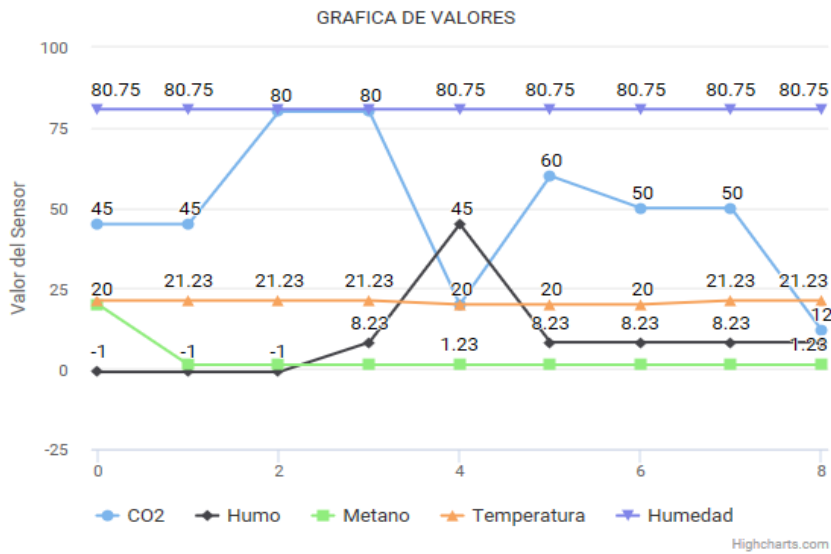


Figura 45. Gráfica de tendencia de los datos de sensores

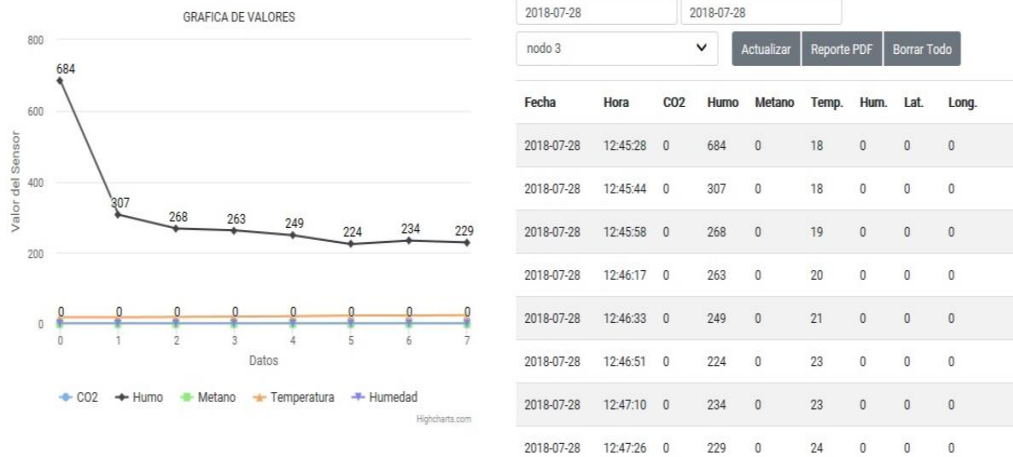


Figura 46. Corregidas las mejoras en la visualización de los datos, se procede a cambiar la lectura de izquierda a derecha

### 3.7.2.1 Ubicación de coordenadas geográficas

En la Figura 47 se visualiza la opción ver mapa, al dar click en esa opción, redirige hacia las coordenadas de ubicación dando el lugar exacto (Figura 47) en el navegador Google Maps, las coordenadas de ubicación pueden ser tanto en tiempo real como de coordenadas anteriores ya que los valores se guardan en la base de datos.

Fecha	Hora	CO2	Humo	Metano	Temp.	Hum.	Lat.	Long.	
2018-04-21	12:30:37	45	-1	20	21.23	80.75	-0.1663	-78.47	Ver Mapa

Figura 47: Opción ver mapa

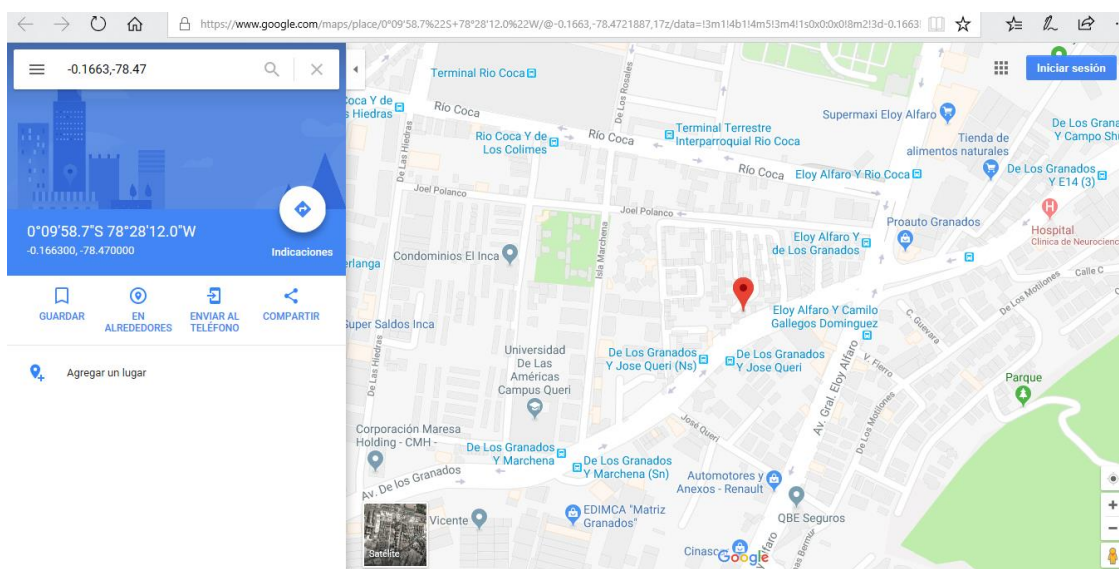


Figura 48. Mapa de ubicación

## 4. CAPÍTULO III. IMPLEMENTACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS

### 4.1. Calibración de Sensores

Los sensores que se utilizaron para este proyecto se calibran en la fábrica, sin embargo, es necesario verificar su estado de acuerdo con el uso.

Los sensores poseen dos salidas, una analógica y una digital. La salida digital proporciona dos valores, 0 si no se detecta ningún gas y 1 si hay gas, con esta salida es fácil trabajar, ya que no necesita ser calibrado, pero la cantidad de gas no se puede obtener en partes por millón (ppm).

La salida analógica, por otro lado, proporciona valores de 0 a 1023, esto depende de la concentración de gas existente, cada sensor MQ tiene su rango de detección y sensibilidad.

Para demostrar la calibración, el sensor MQ7 mide el monóxido de carbono.

Para calcular la salida de tensión, se aplica la siguiente fórmula: donde  $R_s$  y  $R_L$  forman un divisor de tensión.

$$V_o = \frac{R_L \times V_c}{R_s + R_L} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- $V_o$  = voltaje de salida.
- $V_c$  = voltaje de entrada (5v).

**Se despeja con respecto a  $R_s$ :**

$$R_s = (V_c - V_o) \times \frac{R_L}{V_o} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para calibrar cualquier sensor, es importante que se encuentre en aire

limpio es decir sin presencia de gas, después se toma el valor del sensor y se calcula  $R_o$ .

$$R_o = \frac{R_s}{R_o} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$R_o$  (factor limpio) = 10000 ohms.

Se reemplaza la ecuación 2 en la ecuación 3.

$$R_s = \frac{(V_c - V_o) \times R_L}{V_o}$$

Donde:

$R_s$  = resistencia del sensor.

$R_L$  = resistencia de carga (10k).

$V_c$  = voltaje de operación (5v).

$V_o$  = es el voltaje de salida medido por el sensor.

$$R_o = \frac{R_s}{R_o}$$

$$R_o = \frac{(V_c - V_o) \times R_L}{V_o \times R_o} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Se debe tener en cuenta el sensor de hoja de datos cuando hay una muy baja concentración de 100 ppm de  $R_s$  relación /  $R_o = 1,0$  a  $20^\circ \text{C}$  y un 65% de humedad relativa ( $R_L = 10$  kilohminos). Si la razón es baja de  $R_s / R_o$ , los valores corresponden a concentraciones más altas de CO en ppm.

Con un valor  $R_o$  calibrado se pueden tomar datos de aire, el cálculo del valor de  $R$  en lo que se refiere a la medición de la tensión de salida, y comparar el



$R_s / R_o$  proporcionado en la hoja de datos del sensor para obtener una concentración de CO en ppm.  $R_s = (V_c - V_o) * (R_L / V_o)$

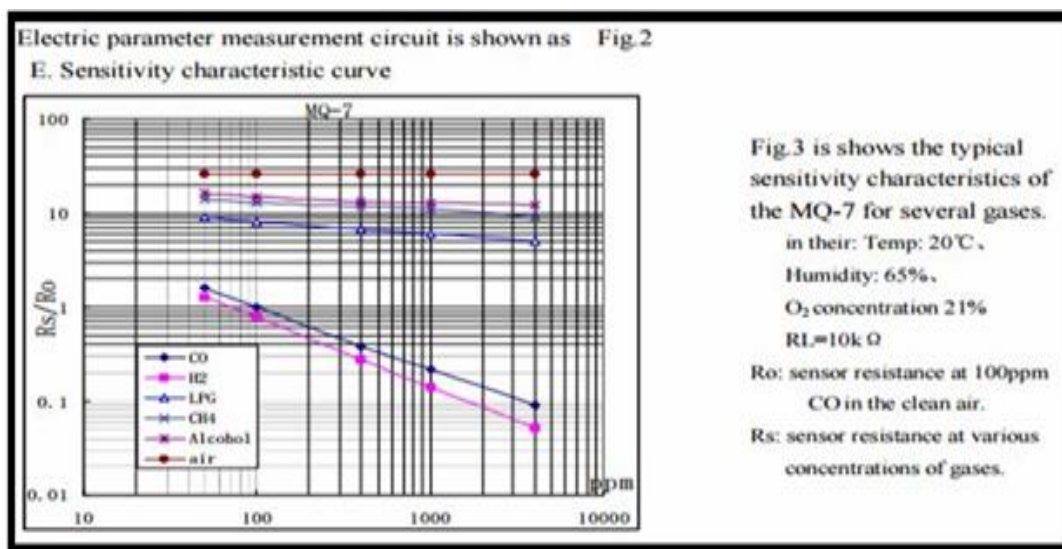


Figura 49: Características de sensibilidad del sensor Mq7.

Tomado de Datasheet MQ7(s.f.)

La hoja de datos proporciona un gráfico de la concentración de CO en ppm con respecto a  $R_s / R_o$  en una condición de 20 grados Celsius y un 65% de humedad relativa. Si los valores proporcionados se ajustan a una curva, se comprueba que:

$$\frac{R_s}{R_o} = 22.07 \times CO_{ppm}^{-0.0667} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Para resolver la concentración de CO, se utiliza logaritmos naturales:

$$CO_{ppm} = \left[ \frac{\frac{R_s}{R_o}}{22.07} \right]^{1/-0.0667} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Como se indicó anteriormente los sensores vienen calibrados de fábrica, sin embargo, sólo se realiza el proceso de calibración para el sensor de CO por algunas causas: tiempo para calibrar todos los sensores, patrones de referencia disponibles, manejo del equipo de comparación.

## 4.2. Validación de datos

Para validar los datos de los sensores en partes por millón (ppm), se trabajó conjuntamente con Alejandro Gonzales, profesor de ingeniería ambiental en la Universidad de las Américas, que es actualmente responsable de los laboratorios ambientales, donde el equipo utilizado es un analizador 350 de gases TESTO Modelo.

## 4.3. Escenario de pruebas

### Escenario 1:

Las pruebas se realizaron en el parqueadero de la Universidad de las Américas. Sede Queri, estacionamiento de docentes, se inicia armando el equipo y configurando los sensores WSN para detectar incendios forestales- El objetivo principal es realizar las pruebas para determinar su funcionalidad.

Los equipos utilizados que conforman el prototipo son:

- Nodo Coordinador
- Nodo 1 (Nodo principal)
- Celular con internet compartido para el Nodo coordinador y activa la página web (Microsoft Edge) para verificar los datos.

El recurso humano para las pruebas:

- El dueño del vehículo para las pruebas de CO<sub>2</sub> del tubo de escape.
- Una persona para medir el CO<sub>2</sub> con el Equipo calibrado.
- Una persona para acercar el Nodo 1 al tubo de escape.

Tomando Datos de Análisis

Sensor	Lugar
CO <sub>2</sub>	Sede Queri, Parqueadero

Equipo Calibrado	Equipo Testo de pruebas
Medidor de CO <sub>2</sub>	Da valores en porcentaje %

El equipo de referencia que se utilizó para las pruebas es el equipo Testo que está en el laboratorio que nos permite hacer mediciones precisas de CO<sub>2</sub>, la posibilidad de medir a largo plazo gracias al uso del valor máximo y el cálculo de la media. Contiene un sensor infrarrojo.



Figura 50: Analizador de Gases, marca TESTO modelo 350

Se procede a realizar las mediciones en el tubo de escape de auto, con los datos encontrados en el equipo podemos definir los siguientes valores:

Tabla 1

*Datos obtenidos sin emisión de CO2, auto apagado.*

## REPORTE SENSORES

FECHA	HORA	CO2	HUMO	ALCOHOL	TEMP	HUMEDAD	LATITUD	LONGITUD
2018-06-08	19:06:37	278	488	442	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:06:21	410	485	279	0	0	0	374.001
2018-06-08	19:06:00	386	486	347	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:05:42	386	485	300	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:05:09	449	485	286	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:04:49	425	485	176	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:04:19	371	485	199	0	0	0	374.001
2018-06-08	18:29:44	889	451	62	0	0	0	0
2018-06-08	18:29:26	889	461	61	0	0	0	0
2018-06-08	18:29:11	777	460	70	0	0	0	0
2018-06-08	18:28:55	850	464	59	0	0	0	0
2018-06-08	18:28:39	904	462	60	0	0	0	0
2018-06-08	18:28:24	909	446	62	0	0	0	0
2018-06-08	18:28:10	786	448	71	0	0	0	0
2018-06-08	18:27:54	899	459	67	0	0	0	0
2018-06-08	18:27:39	826	444	66	0	0	0	0

Tabla 2

*Datos obtenidos con emisión de CO2, auto encendido.*

## REPORTE SENSORES

FECHA	HORA	CO2	HUMO	ALCOHOL	TEMP	HUMEDAD	LATITUD	LONGITUD
2018-06-08	19:08:52	92	486	301	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:08:36	53	486	286	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:08:19	43	486	175	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:08:03	39	485	264	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:07:45	43	485	315	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:07:28	43	485	253	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:07:12	58	485	333	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:06:53	127	485	389	0	0	0	374.002

Se realiza nuevamente las medidas con el auto encendido, pero alejando el Nodo 1 y los resultados variaron de acuerdo a la distancia como se puede apreciar en la siguiente imagen.

Tabla 3

*Datos obtenidos con emisión de CO<sub>2</sub>, auto encendido medido a diferentes distancias del Nodo 1.*

## REPORTE SENSORES

FECHA	HORA	CO2	HUMO	ALCOHOL	TEMP	HUMEDAD	LATITUD	LONGITUD
2018-06-08	19:14:08	366	486	359	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:13:52	366	486	305	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:13:37	347	487	343	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:13:19	356	487	316	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:13:05	332	487	320	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:12:50	327	486	364	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:12:31	342	487	343	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:12:17	332	486	306	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:12:00	317	486	344	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:11:42	307	486	333	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:11:26	307	486	349	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:11:07	307	486	308	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:10:53	303	486	290	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:10:39	298	487	312	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:10:22	293	486	239	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:10:08	268	486	147	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:09:51	239	486	149	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:09:37	195	486	228	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:09:23	166	486	242	0	0	0	374.002
2018-06-08	19:09:06	136	486	287	0	0	0	374.002

Adicional la página web permite obtener la gráfica de CO<sub>2</sub> para verificar la tendencia de acuerdo a las concentraciones medidas, la misma que se encuentra de color azul y corresponde a los valores del Nodo 1 con respecto a la distancia de medición.

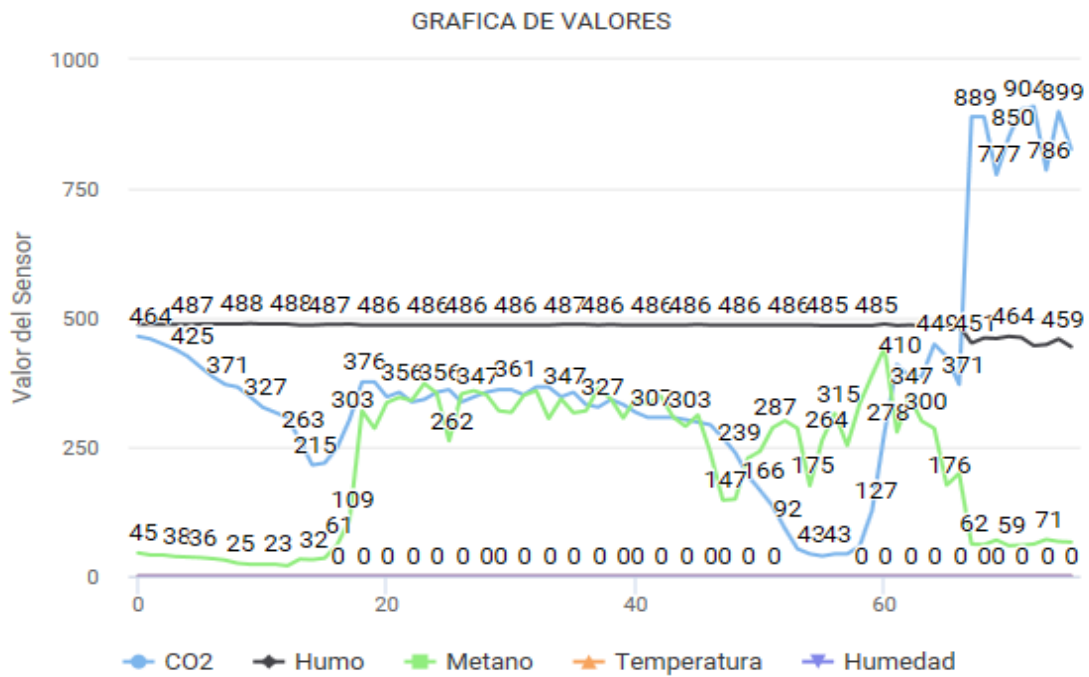


Figura 51. Gráfica de la medida de CO<sub>2</sub> a diferentes distancias del Nodo 1

Se puede concluir en esta primera prueba que se realizó en el tubo de escape del vehículo de la emisión de CO<sub>2</sub> y por los valores obtenidos en las tablas que los sensores deben estar cerca a la fuente de emisión para apreciar cambios.

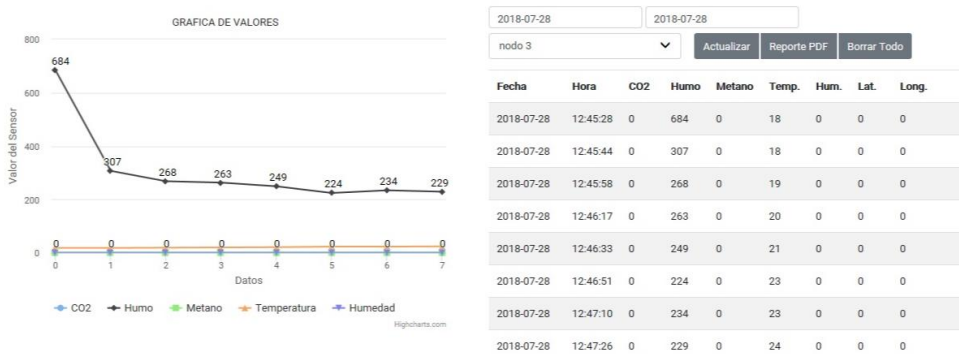


Figura 52. Nueva Gráfica de datos de los sensores

### Escenario 2:

Para la validación de los sensores de humo (MQ2) las pruebas se hicieron en el Parque Metropolitano Guanguiltagua, específicamente la prueba se realizó en el área de parrillas, lugar autorizado para encender fogatas y hacer parrilladas.

Los equipos utilizados que conforman el prototipo son:

- Nodo Coordinador
- Nodo 1 (Nodo principal)
- Nodo 2 y Nodo 3 (Nodos secundarios)
- Celular con internet compartido para el Nodo coordinador y activa la página web (Microsoft Edge) para verificar los datos.



*Figura 53.* Prototipo final

### Información del parque:



Figura 54. Ubicación del parque Guangüiltagua.

#### 4.3.1. Ubicación

Está ubicado dentro de la ciudad de Quito, desde la Avenida Eloy Alfaro y pasa por la calle Guangüiltagua.

#### 4.3.2. Vías de acceso al parque.

En la ciudad de Quito, el área de el Batán entrando por la Guangüiltagua.

El recurso humano para las pruebas:

- Una persona para colocar el humo (Leña) cerca de los sensores.
- Una persona para tomar fotos y evidenciar las pruebas.
- Una persona monitoreando la información en la página web enviada por los sensores de humo (MQ2).

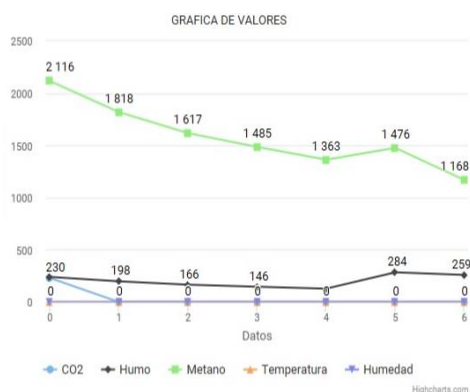
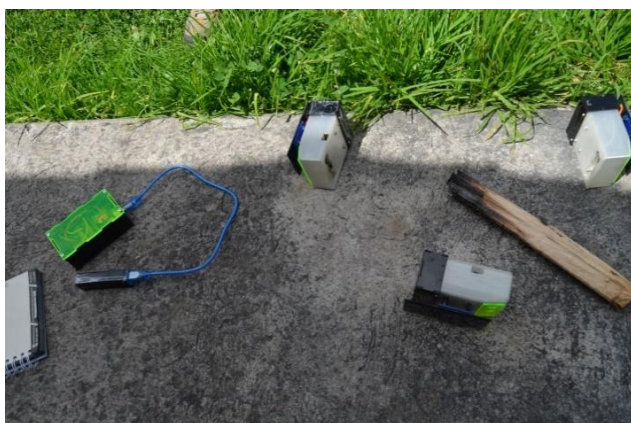


Tomando Datos de Análisis.

<b>Sensor</b>	<b>Lugar</b>
MQ2	Parque Metropolitano Guangüiltagua

Los sensores fueron ubicados haciendo un cuadrado alrededor del humo generado por la leña quemada, se hicieron algunas pruebas que detallo a continuación:

Prueba 1 En la prueba 1 se colocaron los sensores alrededor de la leña emanando el humo y el Nodo coordinador envía información a la página web.



Fecha	Hora	CO2	Humo	Metano	Temp.	Hum.	Lat.	Long.
2018-07-28	12:38:28	230	240	2116	0	0	0	0
2018-07-28	12:38:44	0	198	1818	0	0	0	0
2018-07-28	12:39:00	0	166	1617	0	0	0	0
2018-07-28	12:39:17	0	146	1485	0	0	0	0
2018-07-28	12:39:36	0	128	1363	0	0	0	0
2018-07-28	12:39:53	0	284	1476	0	0	0	0
2018-07-28	12:41:05	0	259	1168	0	0	0	0

Figura 55. Nodos en la prueba 1

Dada las mejoras para la visualiza la conexión de datos, se presenta la lectura de izquierda a derecha en la Figura 55. Luego, se coloca más leña para formar más humo cerca de los sensores y los datos fueron cambiando.



17/06/2018		17/06/2018	
nodo 1			
Actualizar	Reporte PDF	Borrar	
Fecha	Hora	CO2	Humo
2018-06-17	13:07:22	30	88
2018-06-17	13:06:37	0	80
2018-06-17	13:06:04	0	78
2018-06-17	13:03:39	0	95

Figura 56. Nodos en la prueba 1 a menor distancia

Se colocó el Nodo coordinador a una distancia de 2 metros y los valores con relación a las medidas anteriores fueron exactas.



17/06/2018		17/06/2018	
nodo 1			
Actualizar	Reporte PDF	Borrar	
Fecha	Hora	CO2	Humo
2018-06-17	13:07:22	30	88
2018-06-17	13:06:37	0	80
2018-06-17	13:06:04	0	78
2018-06-17	13:03:39	0	95

Figura 57. Nodos en la prueba 1 a 2 m de distancia

## Prueba 2

El Nodo coordinador se colocó a una distancia de 5 metros del punto de prueba y los sensores siguen receptando datos, las concentraciones varían por influencia del viento. Adicional, se realizó una prueba con un Nodo dañado (apagado) para ver el funcionamiento y el Nodo coordinador seguía enviando datos incluso del Nodo dañado (apagado).

La Gráfica en cero (0) es del Nodo apagado, sin embargo, los demás Nodos siguieron en funcionamiento.

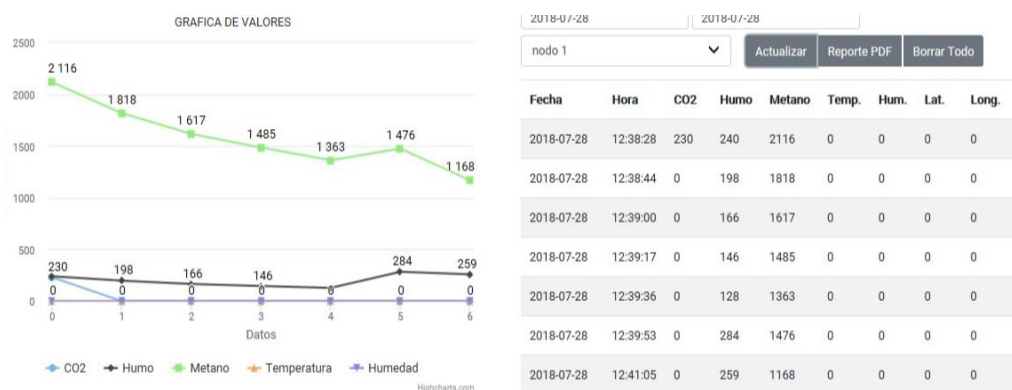


Figura 58. Prueba con un Nodo apagado

Con los datos obtenidos de las pruebas realizadas se puede observar que los sensores de humo (MQ2) deben estar cerca a la fuente de emisión (leña) para detectar cambios como se muestra en la foto.

A pesar de los vientos fuertes, los sensores detectaron concentraciones de humo, es decir en condiciones climáticas diferentes funcionan sin problema.



*Figura 59.* Vista del área de monitoreo

#### **4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DEL COSTO – BENEFICIO DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA**

##### **4.1 Costos de Materiales**

A continuación, se enlista los materiales que fueron usados para la realización del prototipo:

Tabla 4

*Costos Nodo 1.*

NODO 1			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Xbee Pro S2 B	1	69	69
Sensor MG811	1	75	75
Sensor MQ2	1	9	9
Sensor MQ4-CH4	1	9	9
Arduino Nano	1	9,9	9,9
Circuito impreso	1	5,9	5,9
zocalo para Xbee	2	1,2	2,4
Zocalo para Arduino2	2	0,3	0,6
Diodo Zener 3,3 V	1	0,25	0,25
Led azul	1	0,25	0,25
GPS Neo 6m Ublox	1	25	25
Panel solar 8V	1	7,9	7,9
Pilas 18650 3,7 V	2	5	10
Portapila doble	1	5,5	5,5
Caja impresa en 3D	1	16	16
Cables Dupont	11	0,12	1,32
Porta led	1	0,1	0,1
Diodo N4007	1	0,1	0,1
Interruptor	1	0,35	0,35
		<b>Total</b>	<b>247,57</b>

Tabla 5

*Costo Nodo 2.*

NODO 2			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Xbee Pro S2 B	1	69	69
Sensor de temperatura	1	2,95	2,95
Sensor MQ2	1	9	9
Arduino Nano	1	9,9	9,9
Circuito impreso	1	5,9	5,9
zocalo para Xbee	2	1,2	2,4
Zocalo para Arduino	2	0,3	0,6
Diodo Zener 3,3 V	1	0,25	0,25
Led azul	1	0,25	0,25
GPS Neo 6m Ublox	1	25	25
Panel solar 8V	1	7,9	7,9
Pilas 18650 3,7 V	2	5	10
Portapila doble	1	5,5	5,5
Caja impresa en 3D	1	16	16
Cables Dupont	11	0,12	1,32
Diodo N4007	1	0,1	0,1
Interruptor	1	0,35	0,35
		<b>Total</b>	<b>166,42</b>

Tabla 6

*Costo Nodo 3.*

NODO 3			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Xbee Pro S2 B	1	69	69
Sensor de temperatura	1	2,95	2,95
Sensor MQ2	1	9	9
Arduino Nano	1	9,9	9,9
Circuito impreso	1	5,9	5,9
zocalo para Xbee	2	1,2	2,4
Zocalo para Arduino	2	0,3	0,6
Diodo Zener 3,3 V	1	0,25	0,25
Led azul	1	0,25	0,25
GPS Neo 6m Ublox	1	25	25
Panel solar 8V	1	7,9	7,9
Pilas 18650 3,7 V	2	5	10
Portapila doble	1	5,5	5,5
Caja impresa en 3D	1	16	16
Cables Dupont	11	0,12	1,32
Diodo N4007	1	0,1	0,1
Interruptor	1	0,35	0,35
		Total	166,42

Tabla 7

*Costo Nodo Coordinador*

NODO COORDINADOR			
ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Elemento			
Modulo Wifi ESP8266	1	6,5	6,5
Xbee Pro S2 B	1	69	69
Arduino Mega 2560	1	24,5	24,5
Circuito impreso	1	5,9	5,9
zocalo para Xbee	2	1,2	2,4
Diodo Zener 3,3 V	1	0,25	0,25
Led azul	1	0,25	0,25
Caja corte laser acrilico	1	16	16
Cables Dupont	11	0,12	1,32
		Total	119,62

## 4.2 Costo del Diseño

Tiempo de desarrollo de diseño: 1,5 meses

Trabajo diario: 6 horas

Costo por hora: 8 dólares.

Costo por día =  $6 \times 8 = 48$  dólares

Total, costo diseño = 14 días x 48 dólares = 672 dólares.

## 4.3 Costo de Programación

Interfaz Gráfica en C#, diseño de base de datos en SQL la hora de programación está valorada en 8 dólares.

Tiempo de desarrollo: 2 semanas Trabajo diario: 8 horas

Por día  $8 \times 8 = 64$  dólares diarios.

Total = 64 dólares x 14 días = 896 dólares.

## 4.4 Total Costo del prototipo de red WSN (incluye coordinador, Nodo principal y dos Nodos secundarios) con la interfaz Gráfica:

Costo Materiales = \$700,03

Costo Diseño = \$672,00

Otros gastos = \$42,25

Total Programación = \$896,00

Total Costo = \$2310,28

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

La optimización del sistema de detección de incendios forestales se logró mediante el monitoreo remoto desde cualquier parte del mundo a través de una aplicación web y mediante la implementación de redes de sensores a través de los módulos ZigBee.

La sincronización del equipo con el gráfico es cada 10 segundos sin la necesidad de actualización manual. Sin embargo, posee un botón de actualización con el propósito de usarlo en Google Chrome, debido a la incompatibilidad con Java, el gráfico no se muestra.

Se concluye que el prototipo mediante los sensores detecta los gases de CO<sub>2</sub>, CO y CH<sub>4</sub>, cuando son expuestos al humo que produce cualquier tipo de material en combustión.

Se concluye que el uso de paneles solares es una mejora al prototipo ya que utiliza energía renovable para la recarga de baterías.

Las validaciones realizadas al prototipo conjuntamente con el equipo de comparación determinan que puede funcionar en cualquier condición y permiten valores precisos en caso de un incendio forestal.

Las pruebas realizadas con dióxido de carbono o CO<sub>2</sub> de un automóvil fueron satisfactorias, por lo que fue posible modificar la fórmula estándar del sensor y restaurarla para que los valores sean menores a mayor concentración para obtener datos más precisos en ppm (partes por millón).

Las pruebas realizadas con monóxido de carbono o CO, también revelaron valores provenientes del ambiente, toda la cantidad de información se recibe



dentro del humo, los valores se muestran en el PPM en el gráfico.

El Nodo coordinador es el único que no posee panel solar ya que debe estar cerca de los Nodos y cerca del administrador de los sensores, la energía proporcionada para el coordinador es por carga regulada de pared o carga portátil USB.

La interfaz gráfica de usuario puede presentar los datos en tiempo real y almacenarlos en la base, su manejo es muy sencillo y útil para el usuario, esto es muy importante porque el sistema de detección de incendios puede ser manipulado por cualquier persona con un breve entrenamiento adicional a los datos de las mediciones reporta en forma gráfica las medidas de los gases para identificar la tendencia de éstos.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda el uso de sensores con mayor alcance de detección de gas y con mayor sensibilidad para que el sistema tenga un mejor rendimiento.

Se recomienda un modo de transmisión inalámbrica ZigBee con antena externa para mejorar la distancia de envío y recepción de datos.

El monitoreo remoto del sitio funciona desde el navegador Internet Explorer para desktop o portátil y Microsoft Edge para Android.

El informe del gráfico se puede descargar en formato PDF manualmente y diariamente para almacenar la información.

Después de realizar el análisis y rediseño de prototipo encontrado en la tesis "Aplicación del estado API en una red de sensores inalámbricos para la detección de incendios forestales," la interfaz gráfica está construido, configurado, programado y desarrollado en diferentes ambientes y de prueba

correspondiente y se puede concluir que el prototipo funciona para el propósito previsto, por lo tanto, se han cumplido los objetivos establecidos.

Las pruebas realizadas con monóxido de carbono o CO, también revelaron valores provenientes del ambiente, toda la cantidad de información se recibe dentro del humo, los valores se muestran en partes por millón en el gráfico.

El Nodo coordinador ahora es portátil y puede ser transportado sin la necesidad de un CPU.

Colocar una pantalla táctil del Nodo coordinador o convertir al coordinador en una tableta para cambiar la contraseña de WiFi donde se puede conectar fácilmente sin tener que ingresar manualmente el código con el programa.

Los Nodos pueden ser convertidos a Nodos dron con hélices para realizar monitoreo de manera portátil en distancias y lugares inaccesibles.

Se recomienda que el proyecto sea utilizado por entidades responsables de la preservación del medio ambiente, como el Ministerio de Medio Ambiente o el Cuerpo de Bomberos.

La caja en 3D, está hecha de material plástico y permanece generalmente a cielo abierto, se podría utilizar otro material, como acrílico y herméticamente sellado.

## Referencias

- Araujo, A. (2016). *Diseñan una red de sensores contra incendios forestales*. Recuperado el 21 de mayo de 2018 de CIDIT: <https://ciditpy.org/diseño-de-una-red-de-sensores-contra-los-incendios-forestales/>
- Atempa, J., Díaz, A., Ayala, R., & Quintero, V. (2015). *Red de sensores inalámbricas para incendios forestales*. Recuperado el 17 de Julio de 2018, de Instituto Tecnológico de México: [http://www.rcs.cic.ipn.mx/2015\\_107/Red%20de%20sensores%20inalámbrica%20para%20la%20detección%20de%20incendios%20forestales.pdf](http://www.rcs.cic.ipn.mx/2015_107/Red%20de%20sensores%20inalámbrica%20para%20la%20detección%20de%20incendios%20forestales.pdf)
- Bastidas, D. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo de red de sensores inalámbricos para detectar incendios en el Parque Metropolitano Guangüiltagua de Quito*. Recuperado el 29 de Marzo de 2018 de Universidad de las Américas.
- Bernal, I. (2005). *Comunicaciones inalámbricas*. Recuperado el 15 de junio de 2018, de <http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Oct06Marzo07/ComInalám/ClasesNuevas/802.11Partell.pdf>
- Bomberos Quito. (2017). *Balance de plan de prevención y respuestas a incendios forestales 2017*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de <https://www.bomberosquito.gob.ec/balance2017/>
- Cmotronics. (s.f.). *Sensores*. Recuperado el 14 de Julio de 2017 de <http://www.cmostronics.in/>
- DFROBOT. (2017). *Módulos*. Recuperado el 26 de Junio de 2017 de <https://www.dfrobot.com/>
- Digi. (2007). *Xbee Series 2 OEM RF Modules, Product Manual v1.x.1x - ZigBee Protocol.*, Recuperado el 18 de Abril de 2017 de <https://www.digi.com/products>
- Electrosone. (2016). *Wireless Sensor Networks*. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de <https://electrosone.com/wireless-sensor-networks/>
- Escutar, V. (2015). *Diseño de un prototipo de red de sensores inalámbricos (WSN) para monitorear la contaminación ambiental acústica/sonora de la ciudad de Quito sector la Coruña y San Ignacio*. Recuperado el 15 de Julio de 2017
- Fernández, R. (2011). *El impacto de las redes inalámbricas en la tecnología*. Recuperado el 11 de abril de 2018 de <http://trabajosdelaprofeheydi.blogspot.com/>

- Granda, J., Bastidas, D., Solórzano, S., & Clairand, J. (2017). Design and Implementation of a Wireless Sensor Network to Detect Forest Fires. *Fourth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)*, Recuperado el 16 de Julio de 2018 de UDLA
- Guaña, J., & Escuntar, V. (2016). *Aplicaciones inalámbricas utilizando Tecnologías Wireless Sensor Network (WSN)*. Recuperado el 17 de octubre de 2017 de Escuela Politécnica Nacional .
- Heiderman, Y., Ye, W., Heidermann, J., & Estrin, D. (s.f.). *An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks. (IEEE, Ed.)*. Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Recuperado el 17 de Julio de 2018 de <https://www.isi.edu/~johnh/PAPERS/Ye02a.pdf> Proceedings:
- HETPRO. (s.f.). *Sensor MQ4*. Recuperado el 10 de Julio de 2018 de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-gas-mq2/>
- hwsensor. (s.f.). *Mòdulos*. Recuperado el 14 de Julio de 2018 de <https://www.hwsensor.com/products>
- Jiménez, A., Ravelo, D., & Gómez, P. (2010). Sistema de adquisición, almacenamiento y análisis de información fenológica para el manejo de plagas y enfermedades de un duraznero mediante tecnologías de agricultura de precisión. Recuperado el 15 de Enero de 2016 *Revista Tecnura*, 14(27), 41-51.
- mfbarell. (2016). *Wireless Sensor Network*. Recuperado el 21 de Mayo de 2017 de <http://www.mfbarell.es/conferencias/wsn.pdf>
- Molina, A., Cuesta, D., Araujo, A., Alejandro, J., & Rozas, A. (2016). *Forest Monitoring and Wildland Early Fire Detection by a Hierarchical Wireless Sensor Network*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de *Jornal of Sensors*: <https://www.hindawi.com/journals/js/2016/8325845/>
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Modulo GPS Neo 6 mm*. Recuperado el 03 de Julio de 2017, de <https://naylampmechatronics.com/36-sensores-gas>
- Networks. (2004). *Introducción a las redes de sensores inalámbricas*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <http://www.mfbarell.es/es/esconferencias/wsn.pdf>
- Secretaria de gestión de riesgos. (2017). *Informe de situación-Incendios forestales*. Recuperado el 15 de noviembre de 2017, de [https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Informe-de-Situaci%C3%B3n\\_INF\\_14092017\\_14h00.pdf](https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Informe-de-Situaci%C3%B3n_INF_14092017_14h00.pdf)
- T-Ben. (s.f.). *LM 35 Sensor de Temperatura*. Recuperado el 10 de Junio de 2017 Obtenido de <http://teslabem.com/lm35-sensor-de-temperatura.html>.

ZigBee Alliance. (s.f.). *ZigBee Specification*. Recuperado el Agosto de 2017, de <https://www.zigbee.org/>

## **ANEXOS**

## Anexo 1.

### MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas

Sensitive material of MQ-2 gas sensor is  $\text{SnO}_2$ , which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ-2 gas sensor has high sensitivity to LPG, Propane and Hydrogen, also could be used to Methane and other combustible steam, it is with low cost and suitable for different application.

#### Character

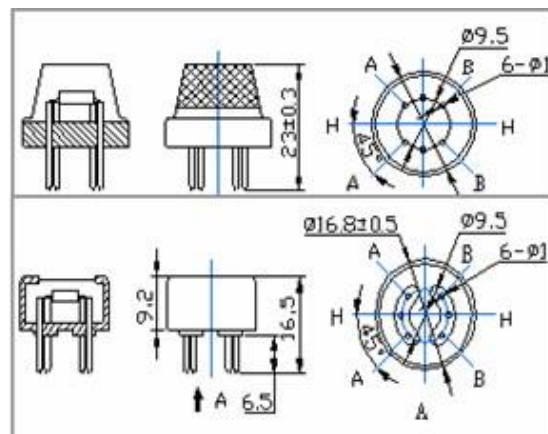
- \* Good sensitivity to Combustible gas in wide range
- \* High sensitivity to LPG, Propane and Hydrogen
- \* Long life and low cost
- \* Simple drive circuit

#### Application

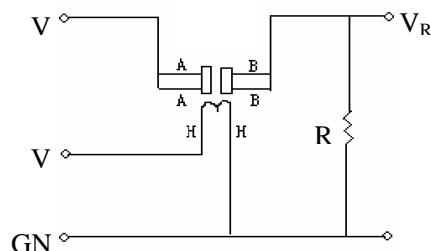
- \* Domestic gas leakage detector
- \* Industrial Combustible gas detector
- \* Portable gas detector

#### Technical Data

#### Configuration



Model No.		MQ-2	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Combustible gas and smoke	
Concentration		300-10000ppm (Combustible gas)	
Circuit	Loop Voltage	$V_c$	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	$5.0V \pm 0.2V$ AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Character	Heater Resistance	$R_H$	$31\Omega \pm 3\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	$R_s$	$2K\Omega - 20K\Omega$ (in 2000ppm $C_3H_8$ )
	Sensitivity	$S$	$R_s(\text{in air})/R_s(1000ppm \text{ isobutane}) \geq 5$
	Slope	$\alpha$	$\leq 0.6$ ( $R_{5000ppm}/R_{3000ppm} CH_4$ )
Condition	Tem. Humidity	$20^\circ C \pm 2^\circ C$ ; $65\% \pm 5\% RH$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V$ ; $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage ( $V_H$ ) and test voltage ( $V_C$ ).  $V_H$  used to supply certified working temperature to the sensor, while  $V_C$  used to detect voltage ( $V_R$ ) on load resistance

( $R_L$ ) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity,  $V_c$  need DC power.  $V_C$  and  $V_H$  could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable  $R_L$  value is needed:

Power of Sensitivity

body ( $P_s$ ):

$$P_s = V_c^2 \times R_s / (R_s L)^2$$

Resistance of sensor( $R_s$ ):  $R_s=(V_c/V_{RL}-1)\times R_L$

**Sensitivity Characteristics**

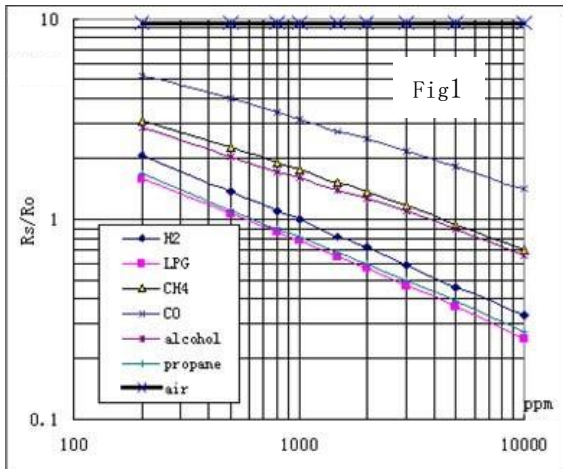


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2, ordinate means resistance ratio of the sensor ( $R_s/R_o$ ), abscissa is concentration of gases.  $R_s$  means resistance in different gases,  $R_o$  means resistance of sensor in 1000ppm Hydrogen. All test are under standard test conditions.

**Influence of Temperature/Humidity**

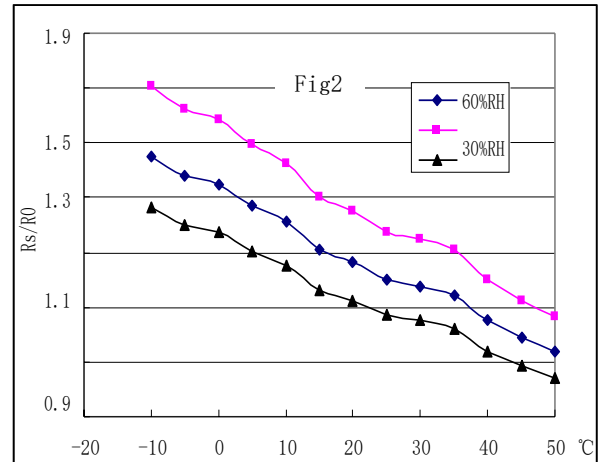
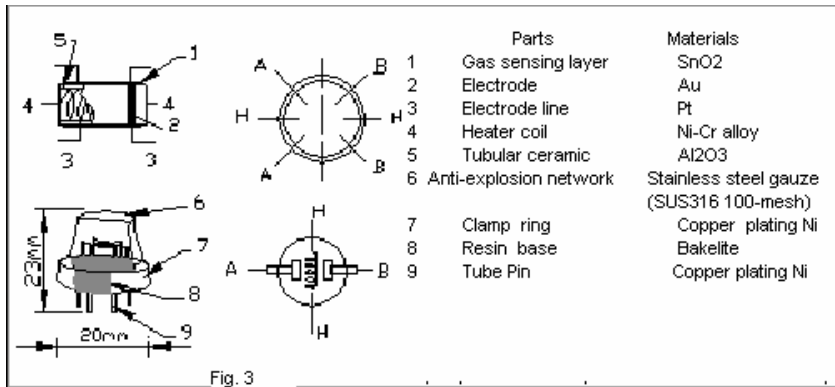


Fig.2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor ( $R_s/R_o$ ),  $R_s$  means resistance of sensor in 1000ppm Butane under different tem. and humidity.  $R_o$  means resistance of the sensor in environment of 1000ppm Methane, 20°C/65%RH

**Structure and configuration**



Structure and configuration of MQ-2 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by micro AL2O3 ceramic tube, Tin Dioxide ( $SnO_2$ ) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



# MQ-4 Semiconductor Sensor for Natural Gas

Sensitive material of MQ-4 gas sensor is SnO<sub>2</sub>, which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ-4 gas sensor has high sensitivity to Methane, also to Propane and Butane. The sensor could be used to detect different combustible gas, especially Methane, it is with low cost and suitable for different application.

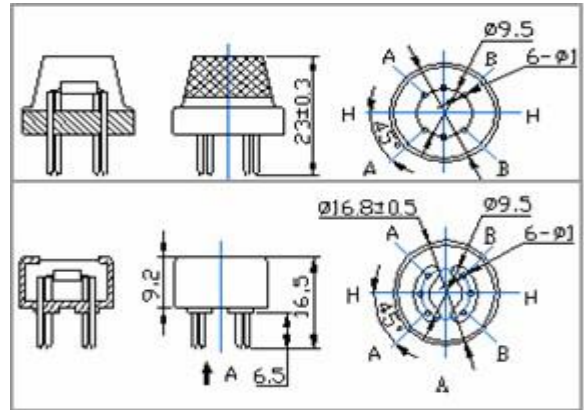
## Character

- \* Good sensitivity to Combustible gas in wide range
- \* High sensitivity to Natural gas
- \* Long life and low cost
- \* Simple drive circuit

## Application

- \* Domestic gas leakage detector
- \* Industrial Combustible gas detector
- \* Portable gas detector

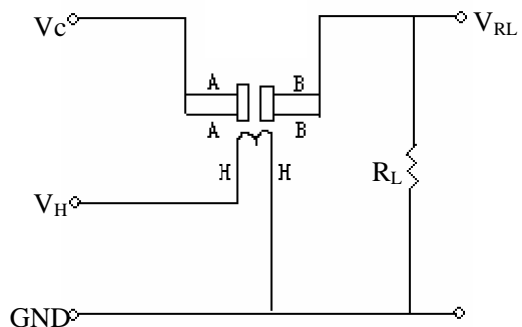
## Configuration



## Technical Data

Model No.		MQ-4	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Natural gas/ Methane	
Concentration		300-10000ppm ( Natural gas / Methane)	
Circuit	Loop Voltage	V <sub>c</sub>	≤24V DC
	Heater Voltage	V <sub>H</sub>	5.0V±0.2V AC or DC
	Load Resistance	R <sub>L</sub>	Adjustable
Character	Heater Resistance	R <sub>H</sub>	31Ω±3Ω ( Room Tem. )
	Heater consumption	P <sub>H</sub>	≤900mW
	Sensing Resistance	R <sub>s</sub>	2KΩ-20KΩ(in 5000ppm CH <sub>4</sub> )
	Sensitivity	S	R <sub>s</sub> (in air)/R <sub>s</sub> (5000ppm CH <sub>4</sub> ) ≥5
	Slope	α	≤0.6(R <sub>5000ppm</sub> /R <sub>3000ppm</sub> CH <sub>4</sub> )
Condition	Tem. Humidity	20°C±2°C; 65%±5%RH	
	Standard test circuit	V <sub>c</sub> :5.0V±0.1V; V <sub>H</sub> : 5.0V±0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	

## Basic test loop



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage(V<sub>H</sub>) and test voltage(V<sub>C</sub>). V<sub>H</sub> used to supply certified working temperature to the sensor, while V<sub>C</sub> used to detect voltage (V<sub>RL</sub>) on load resistance (R<sub>L</sub>) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, V<sub>c</sub> need DC power. V<sub>C</sub> and V<sub>H</sub> could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R<sub>L</sub> value is needed:

Power of Sensitivity body(P<sub>s</sub>):

$$P_s = V_c^2 \times R_s / (R_s + R_L)^2$$

$$\text{Resistance of sensor}(R_s): R_s = (V_c / V_{RL} - 1) \times R_L$$

**Sensitivity Characteristics Temperature/Humidity**

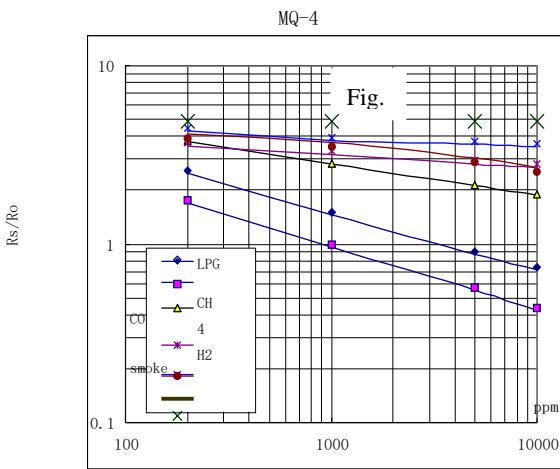


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4, ordinate means resistance ratio of the sensor characteristics. Ordinate means resistance ratio ( $R_s/R_o$ ), abscissa is concentration of gases.  $R_s$  means of the sensor ( $R_s/R_o$ ),  $R_o$  means resistance of in 1000ppm Methane under different tem. and humidity sensor in 1000ppm Methane. All test are under standard  $R_o$  means resistance of the sensor in environment of test conditions. 1000ppm Methane 20°C/65%RH

P.S.: Sensitivity to smoke is ignite 10pcs cigarettes in 8m<sup>3</sup>

**Influence of**

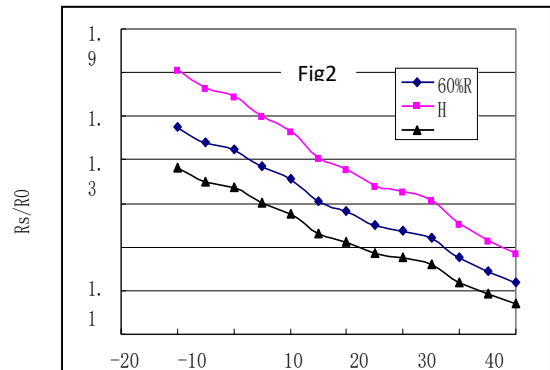
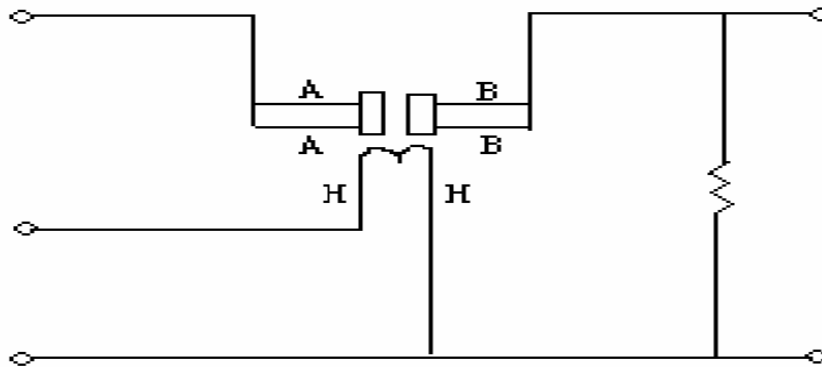


Fig.2 shows the



room, and the output equals to 200ppm Methane

**Structure and configuration**

Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by micro AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

# Centigrade Temperature Sensors

## LM35

### Precision

- *Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)*
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full -55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates From 4 V to 30 V
- Less Than 60-μA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

### 1 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

### 3 Description

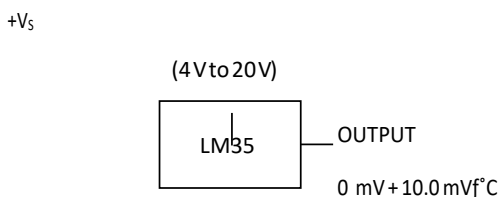
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 μA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a -40°C to 110°C range (-10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

#### Device Information<sup>(1)</sup>

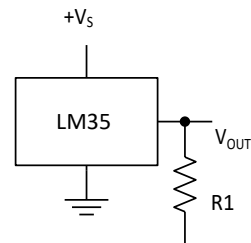
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

#### Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



#### Full-Range Centigrade Temperature Sensor





-V<sub>s</sub>

Choose  $R_1 = -V_s / 50 \mu A$   
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV}$  at  $150^\circ C$   
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV}$  at  $25^\circ C$   
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV}$  at  $-55^\circ C$



Figure 20. 4-To-20 mA Current Source (0°C to 100°C)

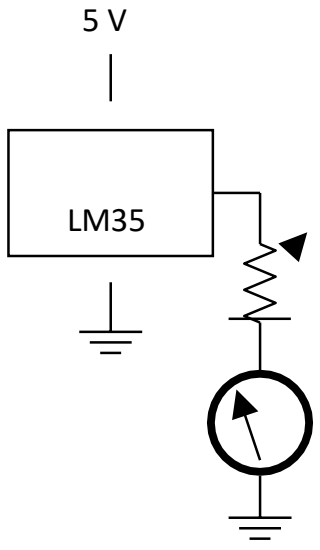


Figure 22. Centigrade Thermometer (Analog Meter)

Figure 21. Fahrenheit Thermometer

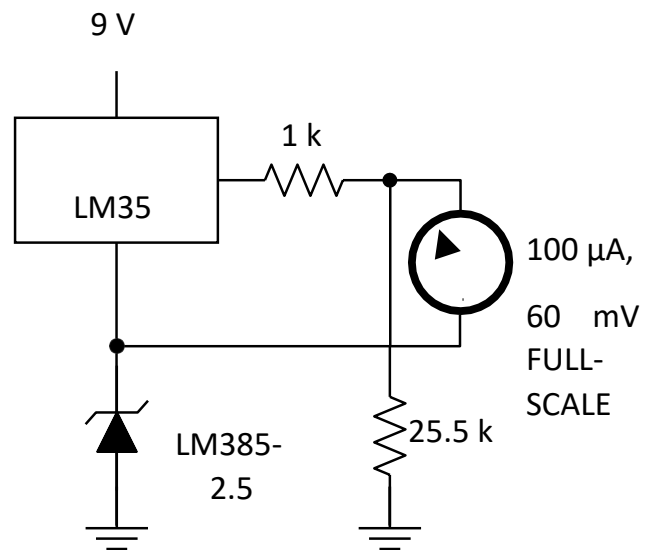


Figure 23. Fahrenheit Thermometer, Expanded Scale Thermometer (50°F to 80°F, for Example Shown)



# NEO-6 u-blox 6 GPS Modules

Data Sheet

## Abstract

Technical data sheet describing the cost effective, high-performance u-blox 6 based NEO-6 series of GPS modules, that brings the high performance of the u-blox 6 positioning engine to the miniature NEO form factor. These receivers combine a high level of integration capability with flexible connectivity options in a small package.

This makes them perfectly suited for mass-market end products with strict size and cost requirements.

# 1 Functional description

## Overview

The NEO-6 module series is a family of stand-alone GPS receivers featuring the high performance u-blox 6 positioning engine. These flexible and cost effective receivers offer numerous connectivity options in a miniature 16 x 12.2 x 2.4 mm package. Their compact architecture and power and memory options make NEO-6 modules ideal for battery operated mobile devices with very strict cost and space constraints.

The 50-channel u-blox 6 positioning engine boasts a Time-To-First-Fix (TTFF) of under 1 second. The dedicated acquisition engine, with 2 million correlators, is capable of massive parallel time/frequency space searches, enabling it to find satellites instantly. Innovative design and technology suppresses jamming sources and mitigates multipath effects, giving NEO-6 GPS receivers excellent navigation performance even in the most challenging environments.

## Product features

Table 1: Features of the NEO-6 Series

Model	Type					Supply		Interfaces				Features						
	GPS	PPP	Timing	Raw Data	Dead Reckoning	1.75 V - 2.0 V	2.7 V - 3.6 V	UART	USB	SPI	DDC (FC compliant)	Programmable (Flash) FW update	TCXO	RTC crystal	Antenna supply and supervisor	Configuration pins	Timepulse	External interrupt/Wakeup
NEO-6G	●					●		●	●	●	●		●	●	○	3	1	●
NEO-6Q	●						●	●	●	●	●		●	●	○	3	1	●
NEO-6M	●						●	●	●	●	●			●	○	3	1	●
NEO-6P	●	●		●			●	●	●	●	●			●	○	3	1	●
NEO-6V	●				●		●	●	●	●	●			●	○	3	1	●
NEO-6T	●		●	●			●	●	●	●	●		●	●	○	3	1	●

○ = Requires external components and integration on application processor



All NEO-6 modules are based on GPS chips qualified according to AEC-Q100. See Chapter 5.1 for further information.

## GPS performance

Parameter	Specification			
Receiver type	50 Channels GPS L1 frequency, C/A Code SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS			
Time-To-First-Fix <sup>1</sup>		NEO-6G/Q/T	NEO-6M/V	NEO-6P
	Cold Start <sup>2</sup>	26 s	27 s	32 s
	Warm Start <sup>2</sup>	26 s	27 s	32 s
	Hot Start <sup>2</sup>	1 s	1 s	1 s
	Aided Starts <sup>3</sup>	1 s	<3 s	<3 s
Sensitivity <sup>4</sup>		NEO-6G/Q/T	NEO-6M/V	NEO-6P
	Tracking & Navigation	-162 dBm	-161 dBm	-160 dBm
	Reacquisition <sup>5</sup>	-160 dBm	-160 dBm	-160 dBm
	Cold Start (without aiding)	-148 dBm	-147 dBm	-146 dBm
	Hot Start	-157 dBm	-156 dBm	-155 dBm
Maximum Navigation update rate		NEO-6G/Q/M/T	NEO-6P/V	
		5Hz	1 Hz	
Horizontal position accuracy <sup>6</sup>	GPS	2.5 m		
	SBAS	2.0 m		
	SBAS + PPP <sup>7</sup>	< 1 m (2D, R50) <sup>8</sup>		
	SBAS + PPP <sup>7</sup>	< 2 m (3D, R50) <sup>8</sup>		
Configurable Timepulse frequency range		NEO-6G/Q/M/P/V	NEO-6T	
		0.25 Hz to 1 kHz	0.25 Hz to 10 MHz	
Accuracy for Timepulse signal	RMS	30 ns		
	99%	<60 ns		
	Granularity	21 ns		
	Compensated <sup>9</sup>	15 ns		
Velocity accuracy <sup>6</sup>		0.1m/s		
Heading accuracy <sup>6</sup>		0.5 degrees		
Operational Limits	Dynamics	≤ 4 g		
	Altitude <sup>10</sup>	50,000 m		
	Velocity <sup>10</sup>	500 m/s		

**Table 2: NEO-6 GPS performance**



- All satellites at -130 dBm
- Without aiding
- Dependent on aiding data connection speed and latency
- Demonstrated with a good active antenna
- For an outage duration 10s
- CEP, 50%, 24 hours static, -130dBm, SEP: <3.5m
- NEO-6P only
- Demonstrated under following conditions: 24 hours, stationary, first 600 seconds of data discarded. HDOP < 1.5 during measurement period, strong signals. Continuous availability of valid SBAS correction data during full test period.
- Quantization error information can be used with NEO-6T to compensate the granularity related error of the timepulse signal
- Assuming Airborne <4g platform

# Block diagram

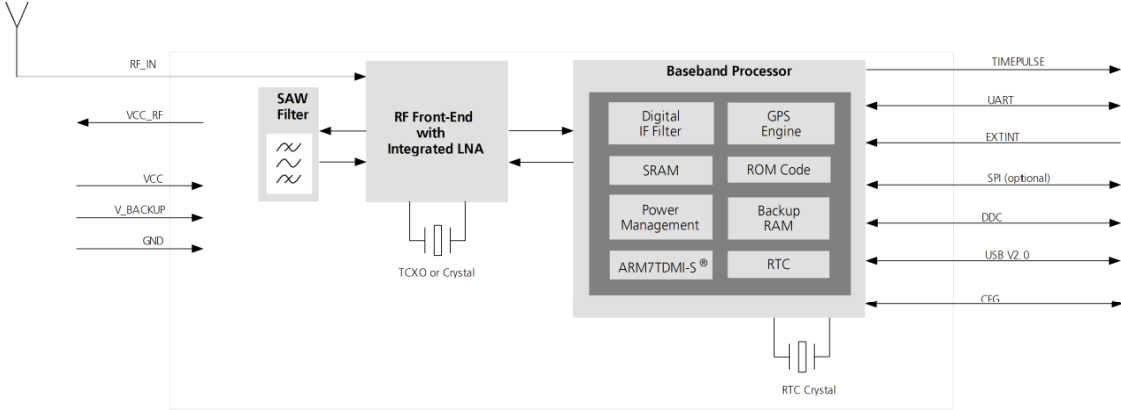


Figure 1: Block diagram (For available options refer to the product features table in section 1.2).

# Pin Definition

## Pin assignment

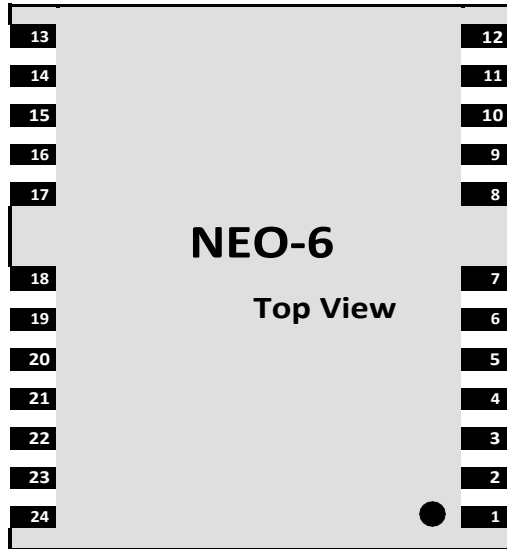


Figure 2 Pin Assignment

No	Module	Name	I/O	Description
1	All	Reserved	I	Reserved
2	All	SS_N	I	SPI Slave Select
3	All	TIMEPULSE	O	Timepulse (1PPS)
4	All	EXTINT0	I	External Interrupt Pin
5	All	USB_DM	I/O	USB Data
6	All	USB_DP	I/O	USB Data
7	All	VDDUSB	I	USB Supply
8	All	Reserved		See Hardware Integration Manual Pin 8 and 9 must be connected together.
9	All	VCC_RF	O	Output Voltage RF section Pin 8 and 9 must be connected together.
10	All	GND	I	Ground
11	All	RF_IN	I	GPS signal input
12	All	GND	I	Ground
13	All	GND	I	Ground
14	All	MOSI/CFG_COM0	O/I	SPI MOSI / Configuration Pin. Leave open if not used.
15	All	MISO/CFG_COM1	I	SPI MISO / Configuration Pin. Leave open if not used.
16	All	CFG_GPS0/SCK	I	PowerMode Configuration Pin/SPI Clock. Leave open if not used.
17	All	Reserved	I	Reserved
18	All	SDA2	I/O	DDC Data
19	All	SCL2	I/O	DDC Clock
20	All	TxD1	O	Serial Port 1
21	All	RxD1	I	Serial Port 1

No	Module	Name	I/O	Description
22	All	V_BCKP	I	Backup voltage supply
23	All	VCC	I	Supply voltage
24	All	GND	I	Ground

**Table 8: Pinout**

Pins designated Reserved should not be used. For more information about Pinouts see the *LEA-6/NEO-6/MAX-6 Hardware Integration Manual* [1].

# Electrical specifications

## Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	Module	Min	Max	Units	Condition
Power supply voltage	VCC	NEO-6G	-0.5	2.0	V	
		NEO-6Q, 6M, 6P, 6V, 6T	-0.5	3.6	V	
Backup battery voltage	V_BCKP	All	-0.5	3.6	V	
USB supply voltage	VDDUSB	All	-0.5	3.6	V	
Input pin voltage	Vin	All	-0.5	3.6	V	
	Vin_usb	All	-0.5	VDDU SB	V	
DC current trough any digital I/O pin (except supplies)	Ipin			10	mA	
VCC_RF output current	ICC_RF	All		100	mA	
Input power at RF_IN	Prfin	NEO-6Q, 6M, 6G, 6V, 6T		15	dBm	source impedance = 50 , continuous wave
		NEO-6P		-5	dBm	
Storage temperature	Tstg	All	-40	85	°C	

**Table 9: Absolute maximum ratings**

## Operating conditions

All specifications are at an ambient temperature of 25°C.

Parameter	Symbol	Module	Min	Typ	Max	Units	Condition	
Power supply voltage	VCC	NEO-6G	1.75	1.8	1.95	V		
		NEO-6Q/M NEO-6P/V/T	2.7	3.0	3.6	V		
Supply voltage USB	VDDUSB	All	3.0	3.3	3.6	V		
Backup battery voltage	V_BCKP	All	1.4		3.6	V		
Backup battery current	I_BCKP	All		22		µA	V_BCKP = 1.8 V, VCC = 0V	
Input pin voltage range	Vin	All	0		VCC	V		
Digital IO Pin Low level input voltage	Vil	All	0		0.2*VCC	V		
Digital IO Pin High level input voltage	Vih	All	0.7*VCC		VCC	V		
Digital IO Pin Low level output voltage	Vol	All			0.4	V	Iol=4mA	
Digital IO Pin High level output voltage	Voh	All	VCC -0.4			V	Ioh=4mA	
USB_DM, USB_DP	VinU	All	Compatible with USB with 22 Ohms series resistance					
VCC_RF voltage	VCC_RF	All		VCC-0.1		V		
VCC_RF output current	ICC_RF	All			50	mA		
Antenna gain	Gant	All			50	dB		
Receiver Chain Noise Figure	NFtot	All		3.0		dB		
Operating temperature	Topr	All	-40		85	°C		

**Table 10: Operating conditions**

Operation beyond the specified operating conditions can affect device reliability.

## Indicative power requirements

Table 11 lists examples of the total system supply current for a possible application.

Parameter	Symbol	Module	Min	Typ	Max	Units	Condition
Max. supply current <sup>15</sup>	Iccp	All			67	mA	VCC = 3.6 V <sup>16</sup> / 1.95 V <sup>17</sup>
			Icc Acquisition	All	47 <sup>19</sup>		mA
Average supply current <sup>18</sup>	Icc Tracking (Max Performance mode)	NEO-6G/Q/T		40 <sup>20</sup>		mA	VCC = 3.0 V <sup>10</sup> / 1.8 V <sup>17</sup>
		NEO-6M/P/V		39 <sup>20</sup>		mA	
		NEO-6G/Q/T		38 <sup>20</sup>		mA	

**Table 11: Indicative power requirements**



Values in Table 11 are provided for customer information only as an example of typical power requirements. Values are characterized on samples, actual power requirements can vary depending on FW version used, external circuitry, number of SVs tracked, signal strength, type of start as well as time, duration and conditions of test.

<sup>15</sup> Use this figure to dimension maximum current capability of power supply. Measurement of this parameter with 1 Hz bandwidth.

<sup>16</sup> NEO-6Q, NEO-6M, NEO-6P, NEO-6V, NEO-6T

<sup>17</sup> NEO-6G

<sup>18</sup> Use this figure to determine required battery capacity.

<sup>19</sup> >8 SVs in view, CNo >40 dBHz, current average of 30 sec after cold start.

<sup>20</sup> With strong signals, all orbits available. For Cold Starts typical 12 min after first fix. For Hot Starts typical 15 s after first fix.

## SPI timing diagrams

In order to avoid a faulty usage of the SPI, the user needs to comply with certain timing conditions. The following signals need to be considered for timing constraints:

Symbol	Description
SS_N	Slave Select signal
SCK	Slave Clock signal

Table 12: Symbol description

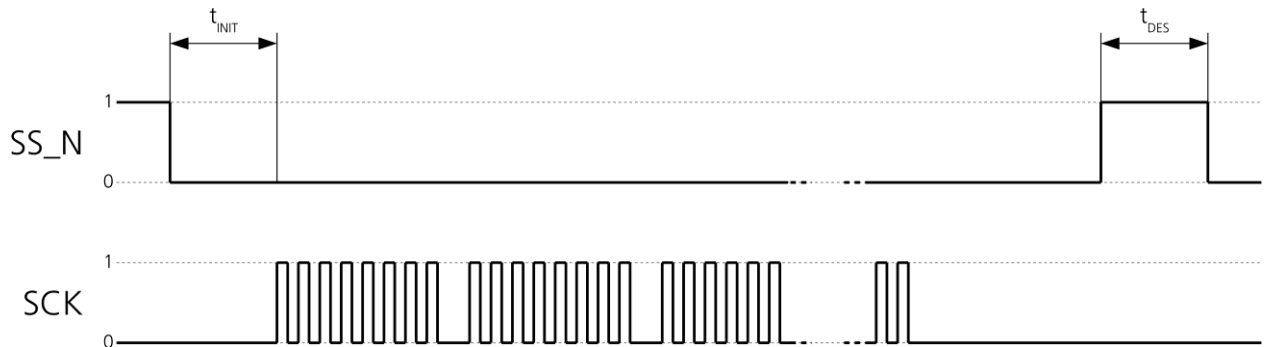


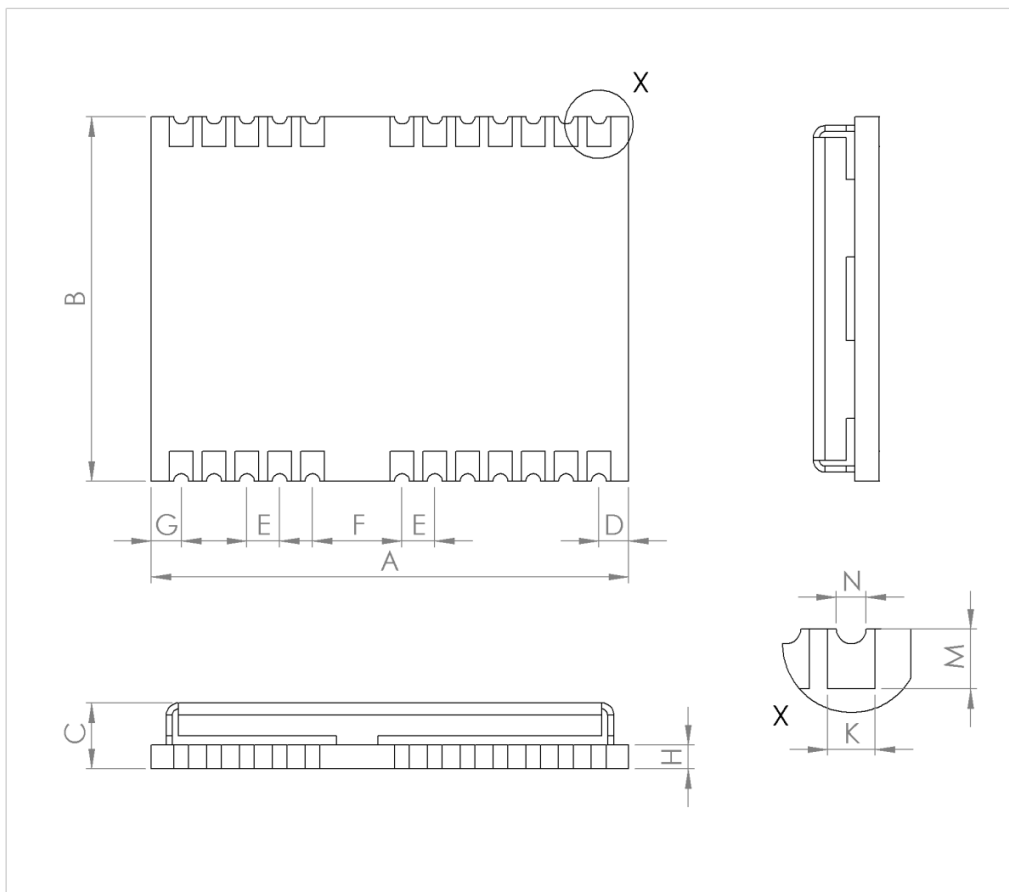
Figure 3: SPI timing diagram

## Timing recommendations

Parameter	Description	Recommendation
$t_{INIT}$	Initialization Time	$\mu$ 500 s
$t_{DES}$	Deselect Time	1 ms
Bitrate		100 kbit/s

Table 13: SPI timing recommendations

# Mechanical specifications



Symbol	Min. (mm)	Typ. (mm)	Max. (mm)
A	15.9	16.0	16.6
B	12.1	12.2	12.3
C	2.2	2.4	2.6
D	0.9	1.0	1.3
E	1.0	1.1	1.2
F	2.9	3.0	3.1
G	0.9	1.0	1.3
H		0.82	
K	0.7	0.8	0.9
M	0.8	0.9	1.0
N	0.4	0.5	0.6
Weight		1.6g	

Figure 4: Dimensions



For information regarding the Paste Mask and Footprint see the *LEA-6/NEO-6/MAX-6 Hardware Integration Manual*



# Zigbee RF Modules

## XBEE PRO S2B

### Specifications of the XBee/XBee-PRO ZB RF Module

**Note** Range figure estimates are based on free-air terrain with limited sources of interference. Actual range will vary based on transmitting power, orientation of transmitter and receiver, height of transmitting antenna, height of receiving antenna, weather conditions, interference sources in the area, and terrain between receiver and transmitter, including indoor and outdoor structures such as walls, trees, buildings, hills, and mountains.

Specification	XBee	XBee-PRO (S2)	XBee-PRO (S2B)
<b>Performance</b>			
Indoor/urban range	up to 133 ft. (40 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant
Outdoor RF line-of- sight range	up to 400 ft. (120 m)	Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant	Up to 2 miles (3200 m), up to 5000 ft (1500 m) international variant
Transmit power output	2 mW (+3dBm), boost mode enabled 1.25 mW (+1dBm), boost mode disabled	50 mW (+17 dBm) 10 mW (+10 dBm) for International variant	63mW (+18 dBm) 10mW (+10 dBm) for International variant
RF data rate	250,000 b/s	250,000 b/s	250,000 b/s
Data throughput	up to 35000 b/s (see <a href="#">Transmission, addressing, and routing</a> on page 53)	up to 35000 b/s (see <a href="#">Transmission, addressing, and routing</a> on page 53)	up to 35000 b/s (see <a href="#">Transmission, addressing, and routing</a> on page 53)
Serial interface data rate (software selectable)	1200 b/s - 1 Mb/s (non-standard baud rates also supported)	1200 b/s - 1 Mb/s (non-standard baud rates also supported)	1200 b/s - 1 Mb/s (non-standard baud rates also supported)
Receiver sensitivity	-96 dBm, boost mode enabled -95 dBm, boost mode disabled	-102 dBm	-102 dBm

Power Requirements			
Supply voltage	2.1 - 3.6 V	3.0 - 3.4 V	2.7 - 3.6 V
Operating current (transmit, max output power)	40 mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 35 mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	295 mA (@3.3 V) 170 mA (@3.3 V) international variant	205 mA, up to 220 mA with programmable variant (@3.3 V) 117 mA, up to 132 mA with programmable variant (@3.3 V), International variant
Operating current (receive)	40mA (@ 3.3 V, boost mode enabled) 38mA (@ 3.3 V, boost mode disabled)	45 mA (@3.3 V)	47 mA, up to 62 mA with programmable variant (@3.3 V)
Idle current (receiver off)	15mA	15mA	15mA
Specification	XBee	XBee-PRO (S2)	XBee-PRO (S2B)
Power-down current	< 1 uA @ 25°C	3.5 µA typical @ 25°C	3.5 µA typical @ 25°C
General			
Operating frequency band	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960 x 1.297 (2.438 cm x 3.294 cm)	0.960 x 1.297 (2.438 cm x 3.294 cm)
Operating temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna options	Integrated whip antenna, embedded PCB antenna, RPSMA, or U.FL connector	Integrated whip antenna, embedded PCB antenna, RPSMA or U.FL connector	Integrated whip antenna, embedded PCB antenna, RPSMA or U.FL connector
I/O interface	3.3 V CMOS UART (not 5 V tolerant), DIO, ADC	3.3 V CMOS UART (not 5 V tolerant), DIO, ADC	3.3 V CMOS UART (not 5 V tolerant),

			DIO, ADC
<b>Networking and Security</b>			
Supported network topologies	Point-to-point, point-to-multipoint, peer-to-peer, and mesh	Point-to-point, point-to-multipoint, peer-to-peer, and mesh	Point-to-point, point-to-multipoint, peer-to-peer, and mesh
Number of channels	16 direct Sequence channels	14 Direct sequence channels	15 Direct sequence channels
Channels	11 to 26	11 to 24	11 to 25
Addressing options	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)
<b>Agency Approvals</b>			
United States (FCC Part 15.247)	FCC ID: OUR-XBEE2	FCC ID: MCQ-XBEEPRO2	FCC ID: MCQ-PROS2B
Industry Canada (IC)	IC: 4214A-XBEE2	IC: 1846A-XBEEPRO2	IC: 1846A-PROS2B
Europe (CE)	No	Yes	Yes
Australia	RCM/R-NZ	RCM/R-NZ	RCM/R-NZ
Japan	R201WW07215215 (Wire, chip, RPSMA, and U.FL versions) R210-101040 (PCB antenna version)	R201WW08215142 (international variant)  Wire, chip, RPSMA, and U.FL versions are certified for Japan. PCB antenna version is not.	R201WW10215062 (international variant)
Brazil		ANATEL: 2256-14-1209	
RoHS	Compliant	Compliant	Compliant

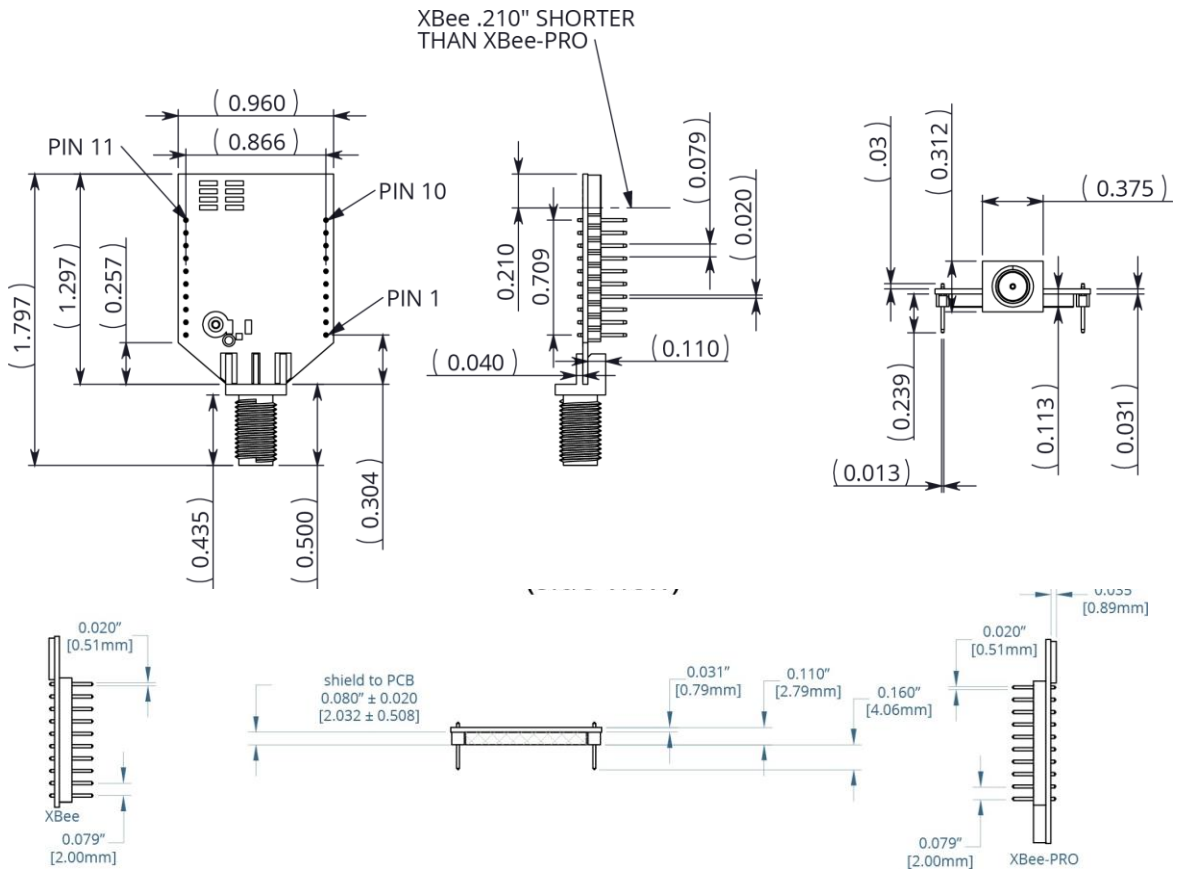
## Hardware specifications for programmable variant

The following specifications need to be added to the current measurement of the previous table if the module has the programmable secondary processor. For example, if the secondary processor is running and constantly collecting DIO samples at a rate while having the RF portion of the XBee sleeping the new current will be  $I_{total} = I_{r2}$

+  $I_0$ , where  $I_{r2}$  is the runtime current of the secondary processor and  $I_s$  is the sleep current of the RF portion of the module of the XBee-PRO (S2B) listed in the table below.

Optional Secondary Processor Specification	These numbers add to S2B specifications (Add to RX, TX, and sleep currents depending on mode of operation)
Runtime current for 32 k running at 20 MHz	+14 mA
Runtime current for 32 k running at 1MHz	+1 mA
Sleep current	+0.5 uA typical
For additional specifications see the Freescale datasheet and manual	MC9S08QE32
Minimum reset low pulse time for EM250	+50 nS (additional resistor increases minimum time)
VREF range	1.8 VDC to VCC

# Mechanical drawings

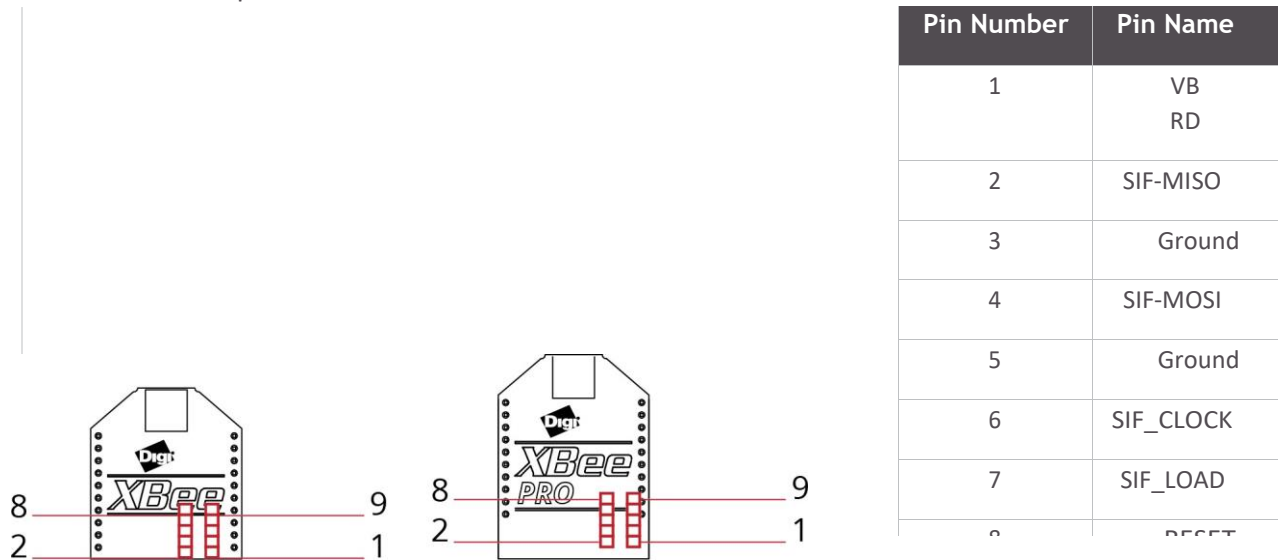


Mechanical drawings of the XBee/XBee-PRO ZB RF Modules (antenna options not shown).

## Mechanical Drawings for the RPSMA Variant

## SIF headerinterface

The XBee/XBee-PRO ZB modules include a SIF programming header that can be used with Ember's programming tools to upload custom firmware images onto the XBee module. The SIF header orientation and pinout are shown below.



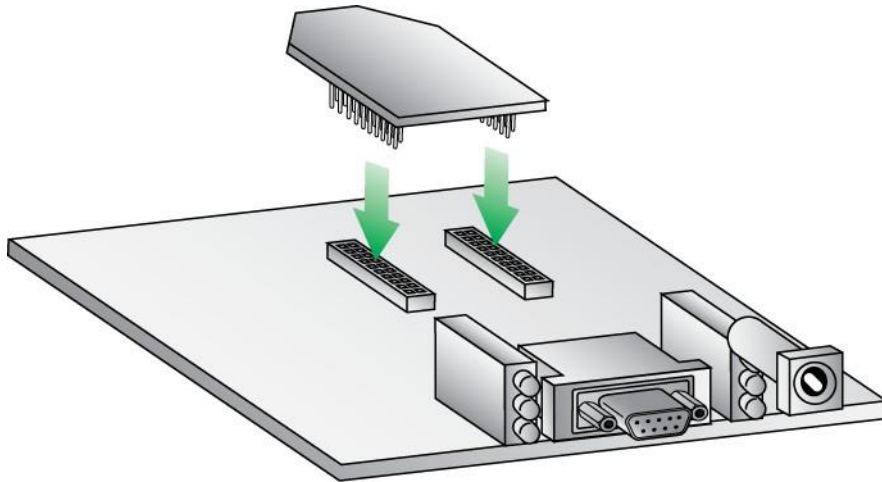
The figure shows the orientation of the insight port header.

A male header can be populated on the XBee that mates with Ember's 2x5 ribbon cable. The male header and ribbon cables are available from Samtec:

- 2x5 Male Header - FTSH-105-01-F-DV-K
- 2x5 Ribbon Cable - FFSD-05-D-12.00-01-N

## Mounting considerations

The XBee module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee-PRO development kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules. The following image shows the XBee-PRO module mounting to an RS-232 interface board.



The receptacles used on Digi development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, Digi currently uses the following receptacles:

- Through-hole single-row receptacles - Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Through-hole single-row receptacles - Mill-Max P/N: 831-43-0101-10-001000
- Surface-mount double-row receptacles - Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles - Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

---

**Note** We also recommend printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

---

## Pin signals

The following table shows the pin assignments for the XBee/XBee-PRO Modules (low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name). Signal direction is specified with respect to the module.

See [Design notes](#) on page 18 for details on pin connections.

Pin #	Name	Direction	Default State	Description
1	VCC	-	-	Power supply
2	DOUT	Output	Output	UART Data Out
3	<hr/> DIN / CONFIG	Input	Input	UART Data In
4	DIO12	Both	Disabled	Digital I/O 12
5	RESET	Both	Open-Collector with pull-up	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	RSSI PWM / DIO10	Both	Output	RX Signal Strength Indicator / Digital IO
7	DIO11	Both	Input	Digital I/O 11
8	[reserved]	-	Disabled	Do not connect
9	<hr/> DTR / SLEEP_R Q/ DIO8	Both	Input	Pin Sleep Control Line or Digital IO 8
10	GND	-	-	Ground
11	DIO4	Both	Disabled	Digital I/O 4
12	<hr/> CTS / DIO7	Both	Output	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7. CTS, if enabled, is an output.
13	<hr/> ON / SLEEP	Output	Output	Module Status Indicator or Digital I/O 9



14	VREF	Input	-	Not used for EM250. Used for programmable secondary processor.  For compatibility with other XBee modules, we recommend connecting this pin voltage reference if Analog sampling is desired. Otherwise, connect to GND.
15	Associate / DIO5	Both	Output	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	— RTS / DIO6	Both	Input	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6. RTS, if enabled, is an input.
17	AD3 / DIO3	Both	Disabled	Analog Input 3 or Digital I/O 3

Pin #	Name	Direction	Default State	Description
18	AD2 / DIO2	Both	Disabled	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Both	Disabled	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0 /  Commissioning Button	Both	Disabled	Analog Input 0, Digital IO 0, or Commissioning Button

## EM250 pinmappings

The following table shows how the EM250 pins are used on the device.

EM250 Pin Number	XBee Pin Number	Other Usage
13 (Reset)	5 <sup>1</sup>	Connected to pin 8 on 2x5 SIF header.
19 (GPIO 11)	16 <sup>1</sup>	
20 (GPIO 12)	12 <sup>1</sup>	
21 (GPIO 0)	15	

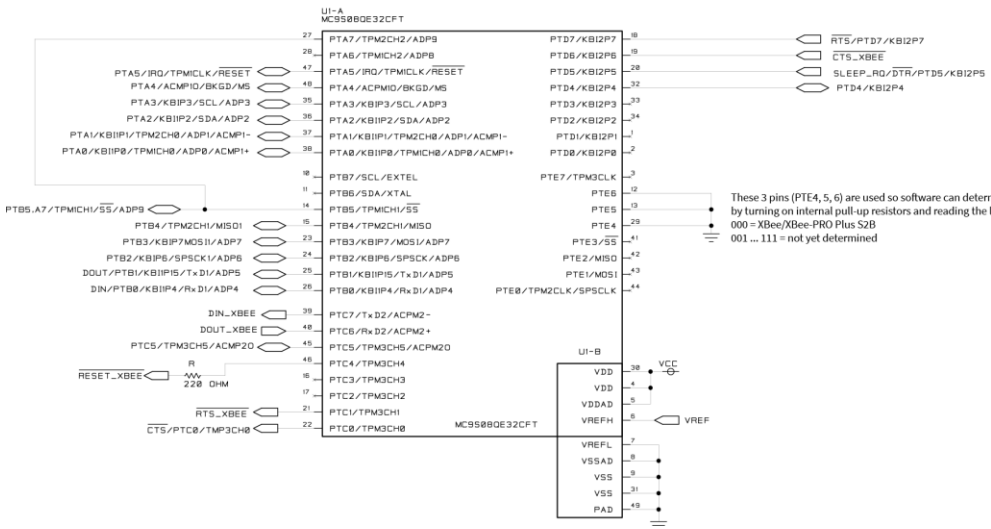
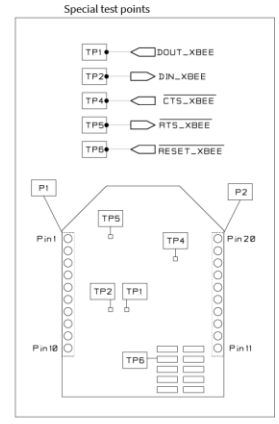
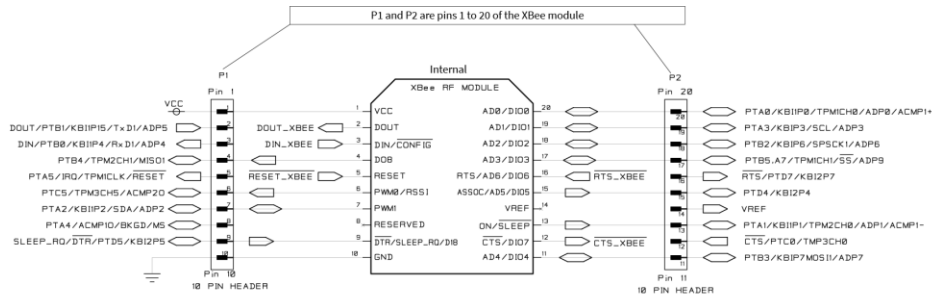
22 (GPIO 1)		<p>XBee</p> <p>Tied to ground (module identification) XBee-PRO (S2)</p> <p>Low-asserting shutdown line for output power compensation circuitry.</p> <p>XBee-PRO (S2B)</p> <p>Used to communicate with Temp Sensor and control Shutdown for low power mode.</p>
24 (GPIO 2)		<p>XBee</p> <p>Not connected. Configured as output low.</p> <p>XBee-PRO (S2)</p> <p>Powers the output power compensation circuitry.</p> <p>XBee-PRO (S2B)</p> <p>Used to communicate with Temp Sensor and control Shutdown for low power mode.</p>
25 (GPIO 3)	13	
26 (GPIO 4 / ADC 0)	20	Connected to pin 9 on 2x5 SIF header.
27 (GPIO 5 / ADC 1)	19	Connected to pin 10 on 2x5 SIF header.
29 (GPIO 6 / ADC 2)	18	
30 (GPIO 7 / ADC 3)	17	
31 (GPIO 8)	4	
32 (GPIO 9)	2 <sup>1</sup>	
33 (GPIO 10)	3 <sup>1</sup>	
34 (SIF_CLK)		Connected to pin 6 on 2x5 SIF header.
35 (SIF_MISO)		Connected to pin 2 on 2x5 SIF header.

EM250 Pin Number	XBee Pin Number	Other Usage
36 (SIF_MOSI)		Connected to pin 4 on 2x5 SIF header.
37 (SIF_LOAD)		Connected to pin 7 on 2x5 SIF header.
40 (GPIO 16)	7	
41 (GPIO 15)	6	
42 (GPIO 14)	9	
43 (GPIO 13)	11	
1. These lines may not go to the external XBee pins of the module if the programmable secondary processor is populated.		

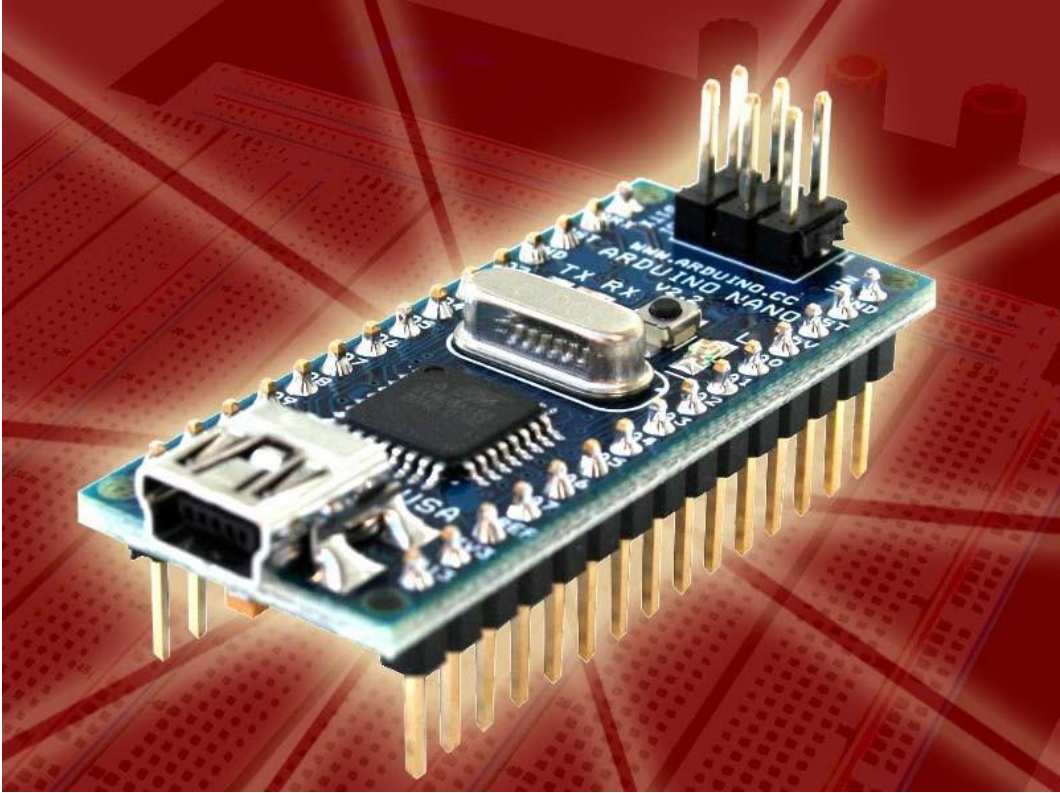
In order for the secondary processor to sample with ADCs, the XBee pin 14 (VREF) needs to be connected to a reference voltage.

Digi provides a bootloader that can take care of programming the processor over the air or through the serial interface. This means that over the air updates can be supported through an XMODEM protocol. The processor can also be programmed and debugged through a one wire interface BKGD (Pin 8).

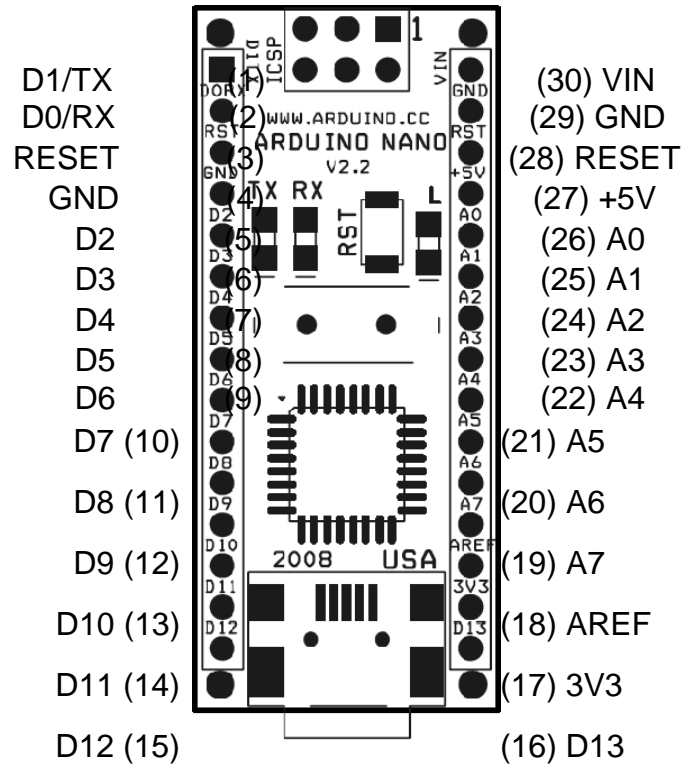
The following block diagram show the XBee-PRO plus S2B.



# Arduino Nano

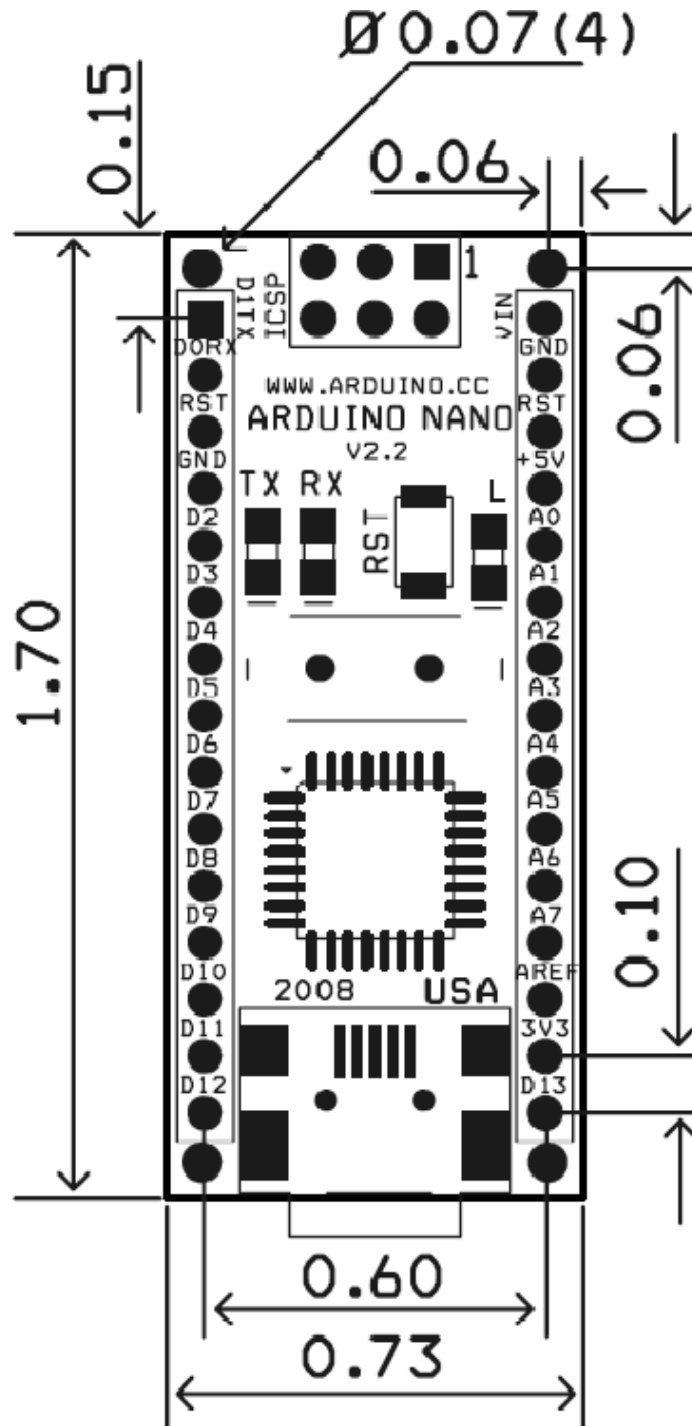


## Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

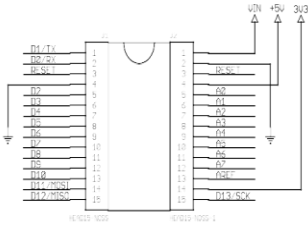
fi Nano Mechanical Drawing



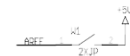
ALL DIMENTIONS ARE IN INCHES

# Arduino Nano Schematic

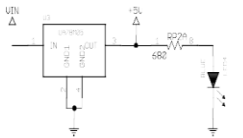
Copyright 2008 under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>



+5V AREF OPTION



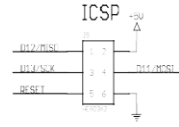
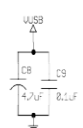
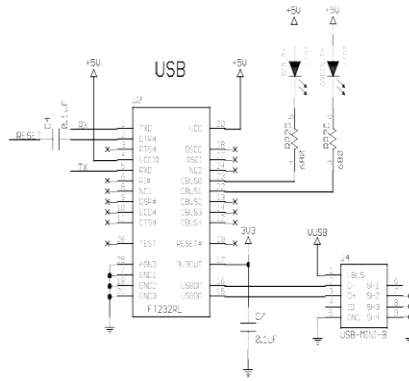
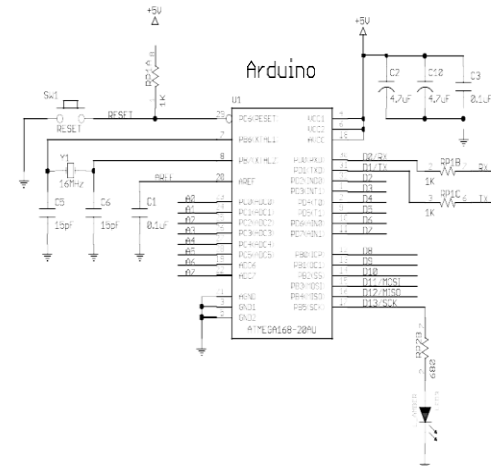
+5V REG



+5V AUTO SELECTOR



NOT USED



v2.3 - Modified FT232RL to use +5V	
TITLE: Arduino Nano	
Document Number:	REV: 2.3
Date: 6/26/2008 8:35:54 PM	Sheet: 1/1



